

怎样看 电气控制电路图

ZENYANG KAN DIANQI KONGZHI DIANLUTU

郑凤翼 杨洪升 等 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

怎样看 电气控制



电路图

机械工业出版社

ISBN 7-115-11372-6



9 787115 113726 >

人民邮电出版社 www.ptpress.com.cn

ISBN7-115-11372-6/TN·2102

定价:31.00元

怎样看电气控制电路图

郑凤翼 杨洪升 等 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

怎样看电气控制电路图/郑凤翼, 杨洪升等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2003.12

ISBN 7-115-11372-6

I. 怎... II. ①郑... ②杨... III. 电气控制—电路图—识图法 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 051225 号

内 容 提 要

本书通过列举大量常用的电气控制电路图来介绍各种电路图的识图方法和步骤, 书中使用了独特的助记符描述电器元件的动作过程, 叙述更加直观清晰, 便于理解, 适合电气工人和电气技术人员阅读参考, 帮助他们提高识图能力。

怎样看电气控制电路图

-
- ◆ 编 著 郑凤翼 杨洪升 等
责任编辑 张 鹏

 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129264
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销

 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 24.5
字数: 599 千字 2003 年 12 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2003 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11372-6/TN·2102

定价: 31.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

在生产实践中，广大的电气技术人员和电气工人，都要接触到各种各样的电气控制电路图，而且随着我国工农业生产的迅速发展，各种电气设备也随之增加，电气控制电路越来越复杂，技术含量越来越高，其电气控制电路图也越来越复杂，因此看图的难度越来越大。这就要求广大电气技术人员和电气工人，不但要具有扎实的理论基础和丰富的实践经验，而且还要具有一定的看图能力。为此，我们编写了此书以便迅速提高广大电气技术人员和电气工人的看图能力，以适应实际工作的需要。

本书从生产实际出发，从看图的基本知识和组成电气控制电路的基本规律讲起，逐步深入浅出地介绍看图的方法和步骤。在编写风格上，力求结合实际，讲究实用，图文并茂，通俗易懂，因此特别适合广大电工，尤其是青年电工掌握看图技巧和方法之用。

本书所有电气控制电路图均采用新的国家标准绘制，所有的电路都非常实用，且覆盖面较广。

本书着重介绍“怎样看”电气控制电路图，并对每一类电路图的看图方法和步骤都作了介绍；对每个具体电路图，采用逆读溯源法和查线跟踪法相结合的看图方法，就如何着手进行分析，看图的切入点和关键点，都作了较为详细的介绍，以便使读者尽快地掌握看常规电路图的方法和掌握看复杂电路图的技能。通过对实用电路的分析，达到举一反三、触类旁通的目的，使读者通过看图练习，能看懂更多更新的电气控制电路图，迅速提高电气电路的安装、调试和维修水平。

由于在电气控制电路中电器元件的动作相互制约、相互联系，因此为了叙述方便，对电器元件的动作过程的描述，采用助记符来表示。例如，断电延时时间继电器的瞬动动断触头KT(5-7)复位闭合，用符号“*#KT(5-7)”表示，其中*表示瞬动触头，以与延时触头相区别；#表示断电延时时间继电器，以与通电延时时间继电器相区别；上面的横杠表示动断触头，以与动合触头相区别；右上角的“-”表示外力作用撤销，以与右上角的“+”表示外力作用相区别。这样，用助记符表示的电器元件的动作顺序来描述电气控制电路的工作过程，不但比较直观简洁，而且更加清楚易懂。

参加本书编写的工作人员有郑凤翼、杨洪升、郑丹丹、孟庆涛、赵春江、齐宝霞、苏阿莹、冯建辉、王晓林、温永库、杨长瑞、鞠华、马玉环、杨保德、李春生、王军利、王美娜、朱春华等。

在本书的写作过程中，编者参考了大量的书刊杂志和有关资料，并引用其中一些资料，难以一一列举，在此一并向有关书刊和资料的作者表示衷心感谢。

由于作者水平有限，实践经验不足，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 电气图的基本知识	1
第一节 电气符号	1
一、图形符号	1
二、文字符号	4
三、项目代号	6
四、回路标号（也称回路线号）	8
第二节 电气图的分类及其主要特点	8
一、电气图的分类	8
二、电气图的主要特点	11
第三节 电气制图的一般规则	12
一、电气图的组成	12
二、电气图的布局	13
三、电气图的基本表示方法	15
第四节 看电气图的基本要求和步骤	20
一、看图的基本要求	20
二、看图的一般步骤	22
第二章 看机械设备电气控制图的方法和步骤	24
第一节 机械设备电气控制图的分类及原则	24
一、机械设备系统的组成	24
二、电气控制图的分类及其绘制原则	26
第二节 看电气控制图的方法和步骤	32
一、电路图的查线看图法	32
二、电路图的间接看图法（逻辑代数法）	35
三、看电气控制安装接线图的方法和步骤	39
第三节 看图时设定的助记符	41
第三章 组成电气控制电路的基本规律及保护措施	43
第一节 按电气连锁规律组成的基本控制电路	43
一、启动停止控制电路（自锁电路）	43
二、互锁控制电路——接触器按钮正反转控制电路	45
三、按先决条件制约的连锁（顺序）控制电路	48

四、选择性连锁控制电路（连续工作与点动工作的连锁控制）	62
五、多地点与多条件连锁控制	65
第二节 按时间控制原则组成的基本控制电路	72
一、按时间原则组成的三相笼形感应电动机减压启动控制电路	74
二、按时间原则控制的定子串电阻减压启动控制电路	87
三、按时间原则组成的自耦变压器减压启动控制	88
四、绕线转子感应电动机按时间原则短接电阻启动电路（串电阻减压启动控制）	95
五、转子绕组串频敏变阻器启动控制电路	98
六、按时间原则组成笼形感应电动机能耗制动电路	107
七、按时间原则组成的停电后来电的电动机自启动电路	112
八、按时间原则组成的电动机自动循环控制电路	115
九、按时间原则组成的顺序控制电路	120
十、按时间原则组成的双速感应电动机控制电路	124
十一、按时间控制原则的三相异步电动机电容和电容电磁制动控制电路	126
第三节 按电流控制原则组成的电动机基本控制电路	129
一、按电流原则控制的绕线式感应电动机转子串电阻减压启动控制电路	129
二、按电流原则组成的三相笼形感应电动机Y- Δ -Y转换节能控制电路	130
第四节 按行程控制原则组成的电动机基本控制电路	135
一、单机自动循环控制电路	135
二、多机自动往复运动控制电路	138
三、三相笼形感应电动机自动延时往复运动控制电路	140
第五节 速度控制原则组成的电动机基本控制电路	142
一、单相运转反接制动控制电路	142
二、按速度原则控制的单向旋转能耗制动控制电路	144
三、正反向运行的能耗制动控制线路	145
四、正反向运行的反接制动控制电路	145
五、可逆运行反接制动控制电路	147
第六节 按温度、压力、流量、转速等物理量变化规则组成的基本控制电路	151
一、按压力控制原则组成的电动机基本控制电路	151
二、位置控制（两种液体混合搅拌装置控制电路）	155
三、以温度为原则的控制电路	157
第七节 电气控制系统的保护环节	158
一、电流型保护	158
二、电压型保护	160
三、位置保护	162
四、温度、压力、流量、转速等保护	162
五、弱励磁保护	162
六、电动机保护电路示例	162

第四章 机床电气控制电路	167
第一节 看复杂电气控制电路图的方法和步骤	167
一、了解生产工艺与执行电器的关系	167
二、通过主电路了解电动机（或其他用电器）的配置情况及其控制	167
三、化整为零，采用逆读溯源法将电路进行分解	168
四、集零为整，综合分析	170
第二节 普通车床电气控制电路	170
一、卧式车床的主要结构、运动形式及控制要求	170
二、CA6140型普通车床电气控制电路	171
三、CM6132型车床电气控制电路	172
四、C650型卧式车床电气控制电路	175
五、C5225型双柱立式车床电气控制电路	182
第三节 磨床电气控制电路	196
一、平面磨床的主要结构、运动形式和控制要求	196
二、M7120型平面磨床电气控制电路	197
三、M7130型平面磨床电气控制电路	201
四、M1432A型万能外圆磨床电气控制电路	205
第四节 摇臂钻床电气控制电路	208
一、摇臂钻床的主要结构、运行形式及控制要求	208
二、Z3040型摇臂钻床电气控制电路	210
三、Z35型摇臂钻床电气控制电路	217
第五节 铣床的电气控制电路	221
一、铣床的主要结构、运动形式和控制要求	221
二、X62W型万能升降台铣床电气控制电路	223
三、XA613型立式升降台铣床电气控制电路	236
第六节 镗床电气控制电路	243
一、镗床的主要结构、运动形式和控制要求	243
二、T68型卧式镗床电气控制电路	244
三、T6113型卧式镗床电气控制电路	256
第七节 齿轮加工机床电气控制电路	277
一、Y3150型齿轮机床电气控制电路	277
二、Y3180型滚齿机电气控制电路	279
三、Y4632A型珩齿机电气控制电路	284
第五章 液压机床电气控制电路	296
第一节 液压传动的工作原理和组成	296
一、液压传动的工作原理	296
二、液压传动系统的组成	298

三、液压传动系统图及图形符号	299
第二节 液压控制阀	299
一、方向控制阀	300
二、压力控制阀	305
三、流量控制阀	308
四、二通插装阀	310
第三节 液压基本回路	311
一、方向控制回路	312
二、压力控制回路	313
三、速度控制回路	317
第四节 组合机床的电气控制电路	320
一、怎样看电液控制图	321
二、液压动力滑台的电液控制及其控制电路	322
三、带定位夹紧的一次进给系统控制电路	326
四、双面单工位组合机床电气控制电路	328
第五节 液压压力机电气控制电路	333
一、YB32-200 型万能液压压力机电气控制电路	333
二、YH32-500D 型液压压力机电气控制电路	338
第六章 起重机械电气控制电路	347
第一节 建筑工地用起重机电气控制电路	347
一、建筑工地用简易起重机电气控制电路	347
二、快速拆装式塔式起重机电气控制电路	349
三、TQ60/80 型塔式起重机电气控制电路	353
第二节 起重运输机械的电气控制电路	357
一、电动葫芦的电气控制电路	358
二、提升机电气控制电路	360
三、桥式起重机主要结构、运动形式与控制要求	363
四、5t 桥式起重机电气控制电路	365
五、15t/3t 桥式起重机电气控制电路	368

第一章 电气图的基本知识

电气图是用各种电气符号、带注释的围框、简化的外形来表示系统、设备、装置、元件等之间的相互关系或联接关系的一种简图。“简图”是一技术术语，切不可从字义上去理解为简单的图。应用这一术语的目的，是为了把这种图与其他图相区别。电气图阐述电的工作原理，描述电气产品的构成和功能，用来指导各种电气设备、电气电路的安装接线、运行、维护和管理。它是沟通电气设计人员、安装人员、操作人员的工程语言，是进行技术交流不可缺少的重要手段。

要做到会看图和看懂图，首先必须掌握有关电气图的基本知识，即应该了解电气图的构成、种类、特点以及在工程中的作用，了解各种电气图形符号，了解常用的土木建筑图形符号，还应该了解绘制电气图的一些规定，以及看图的基本方法和步骤等。

掌握了这些基本知识，也就掌握了看图的一般原则和规律，为看图打下了基础。

第一节 电气符号

电气符号包括图形符号、文字符号、项目代号和回路标号等，它们相互关联、互为补充，以图形和文字的形式从不同角度为电气图提供了各种信息。只有弄清楚电气符号的含义、构成及使用方法，才能正确地看图。

一、图形符号

图形符号通常用于图样或其他文件以表示一个设备（如电动机）或概念（如接地）的图形、标记或字符。图形符号是构成电气图的基本单元，是电工技术文件中的“象形文字”，是电气“工程语言”的“词汇”和“单词”。因此，正确、熟练地理解、绘制和识别各种电气图形符号是电气制图与看图的基本功。

1. 图形符号的概念

图形符号通常由符号要素、一般符号和限定符号组成。

(1) 符号要素 指一种具有确定意义的简单图形，通常表示电器元件的轮廓或外壳。符号要素必须同其他图形符号组合，以构成表示一个设备或概念的完整符号。如接触器的动合主触头的符号（如图 1.1.1 (f) 所示），就由接触器的触头功能符号（如图 1.1.1 (b) 所示）和动合触头（常开）符号（如图 1.1.1 (a) 所示）组合而成。

符号要素不能单独使用，而通过不同形式组合后，即能构成多种不同的图形符号。

(2) 一般符号 用以表示一类产品或此类产品特征的一种简单符号。一般符号可直接应用，也可加上限定符号使用。如“○”为电动机的一般符号，“□”为接触器或继电器线圈的一般符号。

(3) 限定符号 指用来提供附加信息的一种加在其他图形符号上的符号。限定符号一般不能单独使用。但一般符号有时也可用作限定符号，如电容器的一般符号加到扬声器符号上即构成电容式扬声器的符号。

限定符号的应用使图形符号更具多样性。例如，在电阻器一般符号的基础上，分别加上不同的限定符号，则可得到可变电阻器、滑线变阻器、压敏(U)电阻器、热敏(θ)电阻器、光敏电阻器、碳堆电阻器等。

2. 图形符号的构成

实际用于电气图中的图形符号，通常由一般符号、限定符号、符号要素等组成，图形符号的构成方式有多种，最基本和最常用的有以下几种：

(1) 一般符号+限定符号 例如图 1.1.1 中，表示开关的一般符号图 (a)，分别与接触器功能符号图 (b)、断路器功能符号图 (c)、隔离器功能符号图 (d)、负荷开关功能符号图 (e) 这几个限定符号组成接触器符号图 (f)、断路器符号图 (g)、隔离开关符号图 (h)、负荷开关符号图 (i)。

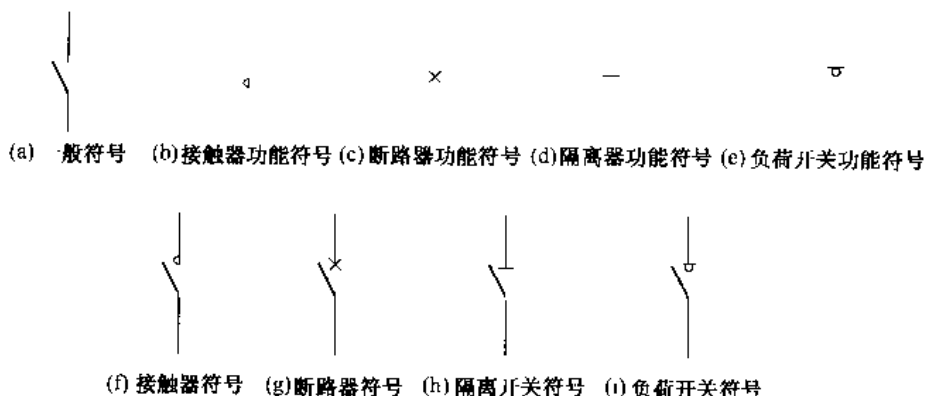


图 1.1.1 一般符号与限定符号的组合

(2) 符号要素+一般符号 例如图 1.1.2 中，屏蔽同轴电缆图形符号图 (a)，由表示屏蔽的符号要素图 (b) 与同轴电缆的一般符号图 (c) 组成。

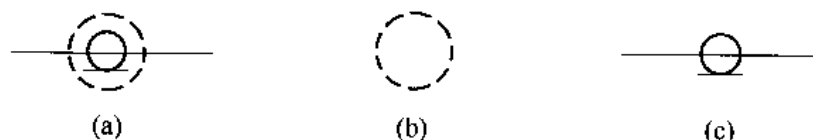


图 1.1.2 符号要素与一般符号的组合

(3) 符号要素+一般符号+限定符号 例如图 1.1.3 中的图 (a) 是表示自动增益控制放大器的图形符号，由表示功能单元的符号要素图 (b)、表示放大器的一般符号图 (c)、表示自

动控制的限定符号图 (d) 以及文字符号 dB (作为限定符号) 构成。

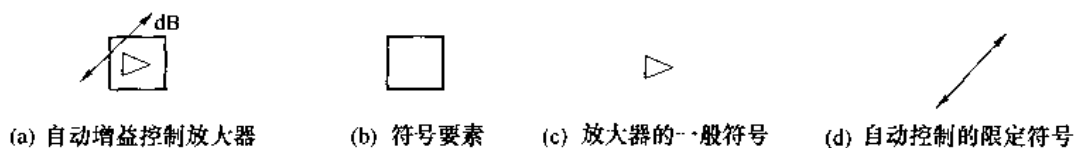


图 1.1.3 符号要素、一般符号与限定符号的组合

以上是图形符号的基本构成方式, 在这些构成方式基础上加上其他符号即可构成电气图常用图形符号。

电气图形符号还有一种方框符号, 用以表示设备、元件间的组合及功能。它既不给出设备或元件的细节, 也不反映它们之间的任何关系, 是一种简单的图形符号, 通常只用于系统图或框图。方框符号的外形轮廓一般应为正方形, 如图 1.1.4 所示。

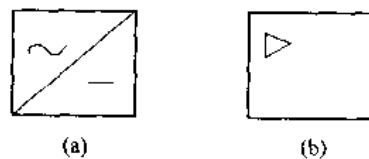


图 1.1.4 方框符号

3. 图形符号的使用

(1) 图形符号表示的状态 图形符号是按未得电、无外力作用的“自然状态”画成的。例如, 开关未合闸; 继电器、接触器的线圈未得电, 其被驱动的动合触头处于断开位置, 而动断触头处于闭合位置; 断路器和隔离开关处于断开位置; 带零位的手动开关处于零位位置, 不带零位的手动开关处于图中规定的位置。

(2) 尽可能采用优选形符号 某些设备或电器元件有几个图形符号, 在选用时应尽可能采用优选形, 尽量采用最简单的形式, 在同类图中应使用同一种形式。有国家标准的应按标准符号画。

(3) 突出主次 为了突出主次和区别不同用途, 对相同的图形符号, 其符号尺寸大小、线条粗细依国家标准可放大与缩小。例如, 电力变压器与电压互感器、发电机与励磁机、主电路与副电路、母线与一般导线等的表示。但在同一张图样中, 同一符号的尺寸应保持一致, 各符号间及符号本身比例应保持不变。

(4) 符号方位 标准中示出的符号方位, 在不改变符号含义的前提下, 可根据图面布置的需要旋转或成镜像位置, 但文字和指示方向不得倒置。

有方位规定的图形符号为数很少, 但其中在电气图中占重要位置的各类开关、触头, 当符号呈水平形式布置时, 应下开上闭; 当符号呈垂直布置时, 应左开右闭, 即可逆时针旋转 90° , 如图 1.1.5 所示。

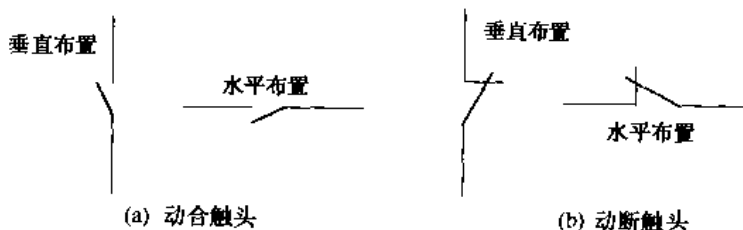


图 1.1.5 开关、触头符号的方位

(5) 图形符号的引线 图形符号所带的连接线不是图形符号的组成部分，在大多数情况下，引线可取不同的方向。例如图 1.1.6 所示的变压器、扬声器、倍频器和整流器中的引线改变方向，都是允许的。

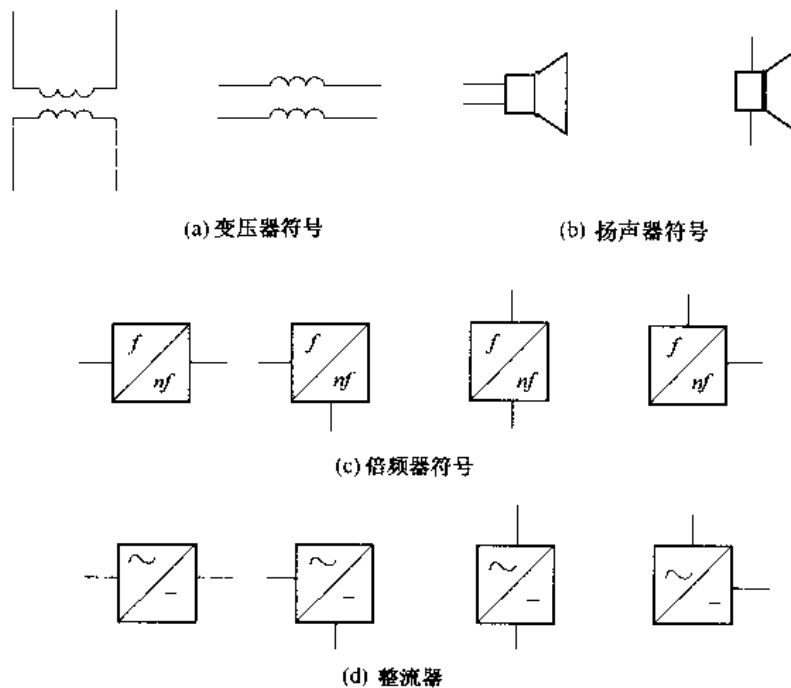


图 1.1.6 符号引线方向改变示例

(6) 大多数符号都可以加上补充说明标记。

(7) 有些具体电器元件的符号由设计者根据国家标准的符号要素、一般符号和限定符号组合而成。

(8) 国家标准未规定的图形符号，可根据实际需要，按突出特征、结构简单、便于识别的原则进行设计，但需要报国家标准局备案。当采用其他来源的符号或代号时，必须在图样和文件上说明其含义。

二、文字符号

文字符号是表示电气设备、装置、电器元件的名称、状态和特征的字符代码。

1. 文字符号的用途

- (1) 为项目代号提供电气设备、装置和电器元件种类字符代码和功能代码。
- (2) 作为限定符号与一般图形符号组合使用，以派生新的图形符号。
- (3) 在技术文件或电气设备中表示电气设备及电路的功能、状态和特征。

2. 文字符号的构成

文字符号分为基本文字符号和辅助文字符号两大类。文字符号可以用单一的字母代码或数字代码来表达，也可以用字母与数字组合的方式来表达。

(1) 基本文字符号 基本文字符号主要表示电气设备、装置和电器元件的种类名称，分为单字母符号和双字母符号。

单字母符号用拉丁字母将各种电气设备、装置、电器元件划分为 23 个大类，每大类用一个大写字母表示。如“R”表示电阻器类，“S”表示开关选择器类。对于标准中未列入大类分类的各种电器元件或设备，可以用字母“E”来表示。

双字母符号由一个表示大类的单字母符号与另一个字母组成，组合形式以单字母符号在前、另一字母在后的次序标出。例如，“G”表示电源类，“GB”表示蓄电池，“B”为电池的英文名称（Battery）的首位字母。

若标准给出的双字母符号仍不够使用，则可以自行增补。自行增补的双字母代号，可以按照专业需要编制成相应的标准，在较大范围内使用；也可以用设计说明书的形式在小范围内约定俗成，只应用于某个单位、部门或某项设计中。

(2) 辅助文字符号 电气设备、装置和电器元件的种类名称用基本文字符号表示，而它们的功能、状态和特征用辅助文字符号表示。通常用表示功能、状态和特征的英文单词的前一位或前两位字母构成，也可采用缩略语或约定俗成的习惯用法来构成，一般不能超过三位字母。例如，表示“启动”，采用“START”的前两位字母“ST”作为辅助文字符号；而表示“停止（STOP）”的辅助文字符号必须再加一个字母，为“STP”。

辅助文字符号也可放在表示种类的单字母符号后边组合成双字母符号，此时辅助文字符号一般采用表示功能、状态和特征的英文单词的第一个字母。如“GS”表示同步发电机，“YB”表示制动电磁铁等。

某些辅助文字符号本身具有独立、确切的含义，也可以单独使用。例如，“N”表示交流电源的中性线，“DC”表示直流电，“AC”表示交流电，“AUT”表示自动，“ON”表示开启，“OFF”表示关闭等。

(3) 数字代码 数字代码的使用方法主要有两种：

① 数字代码单独使用。数字代码单独使用时，表示各种电器元件、装置的种类或功能，需按序编号，还要在技术说明中对代码意义加以说明。比如，电气设备中有继电器、电阻器、电容器等，可用数字来代表电器元件的种类，如“1”代表继电器，“2”代表电阻器，“3”代表电容器。再比如，开关有“开”和“关”两种功能，可以用“1”表示“开”，用“2”表示“关”。

电路图中电气图形符号的连线处经常有数字，这些数字称为线号。线号是区别电路接线的重要标志。

② 数字代码与字母符号组合使用。将数字代码与字母符号组合起来使用，可说明同一类电气设备、电器元件的不同编号。数字代码可放在电气设备、装置或电器元件的前面或后面，若放在前面应与文字符号大小相同，放在后面应作为下标。例如，3 个相同的继电器可以表示为“1KA, 2KA, 3KA”或“KA₁, KA₂, KA₃”。

3. 文字符号的使用

(1) 一般情况下，编制电气图及编制电气技术文件时，应优先选用基本文字符号、辅助文字符号以及他们的组合。而在基本文字符号中，应优先选用单字母符号。只有当单字母符号不能满足要求时方可采用双字母符号。基本文字符号不能起过两位字母，辅助文字符号不能起过 3 位符号。

(2) 辅助文字符号可单独使用，也可将首位字母放在表示项目种类的单字母符号后面组成双字母符号。

(3) 当基本文字符号和辅助文字符号不够用时，可按有关电气名词术语国家标准或专业标准中规定的英文术语缩写进行补充。

(4) 由于字母“1”、“O”易与数字“1”、“0”混淆，因此不允许用这两个字母作文字符号。

(5) 文字符号不适于电气产品型号编制与命名。

(6) 文字符号一般标注在电气设备、装置和电器元件的图形符号上或其近旁。

三、项目代号

在电气图上，通常用一个图形符号表示的基本件、部件、组件、功能单元、设备、系统等，称为项目。项目有大有小，可能相差很多，大至电力系统、成套配电装置，以及发电机、变压器等，小至电阻器、端子、连接片等，都可以称为项目。

项目代号是用以识别图、表图、表格中和设备上的项目种类，并提供项目的层次关系、种类、实际位置等信息的一种特定的代码，是电气技术领域中极为重要的代号。由于项目代号是以一个系统、成套装置或设备的依次分解为基础来编定的，建立了图形符号与实物间一一对应的关系，因此可以用来识别、查找各种图形符号所表示的电器元件、装置和设备以及它们的隶属关系、安装位置。

1. 项目代号的组成

项目代号由高层代号、位置代号、种类代号、端子代号根据不同场合的需要组合而成，它们分别用不同的前缀符号来识别。前缀符号后面跟字符代码，字符代码可由字母、数字或字母加数字构成，其意义没有统一的规定（种类代号的字符代码除外），通常可以在设计文件中找到说明。大写字母和小写字母具有相同的意义（端子标记例外），但优先采用大写字母。一个完整的项目代号包括4个代号段，其名称及前缀符号见表1.1.1。

表 1.1.1 项目代号段及前缀符号

分 段	名 称	前缀符号	分 段	名 称	前缀符号
第一段	高层代号	=	第二段	种类代号	-
第二段	位置代号	+	第四段	端子代号	;

(1) 高层代号 系统或设备中任何较高层次（对给予代号的项目而言）的项目代号，称为高层代号，如电力系统、电力变压器、电动机、启动器等。

由于各类子系统或成套配电装置、设备的划分方法不同，某些部分对其所属下一级项目就是高层。例如，电力系统相对于其所属的变电所来说，其代号是高层代号，但该变电所相对于其中的某一开关（如高压断路器）的项目代号而言，该变电所代号则是高层代号。因此，高层代号具有项目总代号的含义，但其命名是相对的。

(2) 位置代号 项目在组件、设备、系统或者建筑物中实际位置的代号，称为位置代号。

位置代号通常由自行规定的拉丁字母及数字组成，在使用位置代号时，应画出表示该项目位置的示意图。

(3) 种类代号 种类代号是用于识别所指项目属于什么种类的一种代号，是项目代号中的核心部分。

种类代号通常有 3 种不同的表达形式：

① 字母+数字：这种表达形式较为常见，如“-K₅”表示第 5 号继电器。种类代号中字母采用文字符号中的基本文字符号，一般是单字母，不能超过双字母。

② 给每个项目规定一个统一的数字序号：这种表达形式不分项目的类别，所有项目按顺序统一编号，例如可以按电路中的信息流向编号。这种方法简单，但不易识别项目的种类，因此必须将数字序号与其代表的项目种类列成表，置于图中或图后，以利识读。其具体形式为：位置代号前缀符号+数字序号。如示例“-3”代表 3 号项目，在技术说明中必须说明“3”代表的种类。

③ 按不同种类的项目分组编号：数码代号的意义可自行确定，例如，“-1”表示电动机，“-2”表示继电器等。当某个单元中使用的项目大类较多时，数字“0”也可以表示一个大类。数字代码后紧接数字序号。当某个单元内同类项目数量超过 9 个时，数字序号可以为两位数，但是全图的注法应该一致，以免误解。例如电动机为-11、-12、-13、…；继电器为-21、-22、-23、…。

在种类代号段中，除项目种类字母外，还可附加功能字母代码，以进一步说明该项目的特征或作用。功能字母代码没有明确规定，由使用者自定，并在图中说明其含义。功能字母代码只能以后缀形式出现。其具体形式为：前缀符号+种类的字母代码+同一项目种类的字母代码+同一项目种类的序号+项目的功能字母代码。

(4) 端子代号 指项目（如成套柜、屏）内、外电路进行电气连接的接线端子的代号。电气图中端子代号的字母必须大写。

电器接线端子与特定导线（包括绝缘导线）相连接时，规定有专门的标记方法。例如，三相交流电器的接线端子若与相位有关系时，字母代号必须是 U、V、W，并且与交流三相导线 L₁、L₂、L₃ 一一对应。电气接线端子的标记见表 1.1.2，特定导线的标记见表 1.1.3。

表 1.1.2 特定导线端子的标记

电气接线端子的名称	标记符号	电气接线端子的名称	标记符号
1 相	U	接 地	E
交流系统：2 相	V	无噪声接地	TE
3 相	W	机壳或机架	MM
中性线	N	等 电 位	CC
保护接地	PE		

表 1.1.3 特定导线的标记

导线名称	标记符号	导线名称	标记符号
1 相	L ₁	保护接线	PE
交流系统：2 相	L ₂	不接地的保护导线	PU
3 相	L ₃	保护接地线和中性线共用一线	PEN
中性线	N	接地线	E

续表

导线名称	标记符号	导线名称	标记符号
直流系统的电源： 正 负 中间线	L ₊	无噪声接地线	TE
	L	机壳或机架	MM
	M	等电位	CC

2. 项目代号的应用

一个项目代号可以由一个代号段组成，也可以由几个代号段组成。通常，种类代号可以单独表示一个项目，而其余大多应与种类代号组合起来，才能较完整地表示一个项目。

为了能够很方便地根据电气图对电路进行安装、检修、分析与查找故障，在电气图上要标注项目代号。但根据使用场合及详略要求的不同，在一张图上的某一项目不一定都有4个代号段。比如，不需要知道设备的实际安装位置时，可以省掉位置代号；当图中所有高层项目相同时，可以省掉高层代号而只需另外加以说明即可。

在集中表示法和半集中表示法的图中，项目代号只在图形符号旁标注一次，并用机械连接线连接起来。在分开表示法的图中，项目代号应在项目每一部分旁都标注出来。

在不致引起误解的前提下，代号段的前缀符号也可省略。

四、回路标号（也称回路线号）

电路图中用来表示各回路种类、特征的文字和数字标号统称回路标号。其目的是为了便于接线和查线。

回路标号的一般原则是：

(1) 回路标号按照“等电位”原则进行标注，即电路中连接在一点上的所有导线具有同一电位而标注相同的回路标号。

(2) 由电气设备的线圈、绕组、电阻、电容、各类开关、触头等电器元件分隔开的线段，应视为不同的线段，标注不同的回路标号。

(3) 在一般情况下，回路标号由三位或三位以下的数字组成。以个位代表相别，如三相交流电路的相别分别用1、2、3表示；以个位奇偶数区别回路的极性，如直流回路的正极侧用奇数表示，负极侧用偶数表示。以标号中的十位数字的顺序区分电路中的不同线段。以标号中的百位数字来区分不同供电电源的电路，如直流电路中A电源的正、负极电路标号用“101”和“102”表示，B电源的正、负极电路标号用“201”和“202”表示。若电路中共用同一个电源，则可以省略百位数。当要表明电路中的相别或某些主要特征时，可在数字标号的前面或后面增注文字符号，文字符号用大写字母，并与数字标号并列。在机床电气控制电路图中，回路标号实际上是导线的线号。

第二节 电气图的分类及其主要特点

一、电气图的分类

根据表达方式和使用场合的不同，电气图通常分为以下几种。

1. 电气系统图或框图

电气系统图或框图是用电气符号或带注释的围框，概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征的一种简图。它往往是某一系统、某一装置或某一成套设计图中的第一张图样。

电气系统图或框图原则上没有区别。在实际使用时，系统图通常用于系统或成套装置，框图则用于分系统或设备。

图 1.2.1 为某工厂供电系统图，它描述了该供电系统的几个主要组成部分及其相互间的功能关系。该工厂电力取自 10kV 电网，经变压装置将电压降至 0.4kV，供各车间用电。该图由 6 个方框组成： $=PL_1$ 为三相 10kV 配电装置， $=PB_1$ 为 10kV 汇流排， $=T_1$ 与 $=T_2$ 为 10kV 变压设备， $=PB_2$ 与 $=PB_3$ 为 0.4kV 汇流排，但该图对每个部分的具体结构、形状、安装位置、联系方式等未作详细说明。

图 1.2.2 所示电动机的主电路就表示了其供电关系，即由三相电源 L_1 、 L_2 、 L_3 → 熔断器 FU → 接触器 KM 主触头 → 热继电器 FR 热元件 → 电动机。图 1.2.3 所示为某供电系统图，表示该变电所把 10kV 电压通过变压器 T 变换为 380V 电压，经断路器 QF 和母线后通过 FU_1 、 FU_2 、 FU_3 分别供给三条支路。

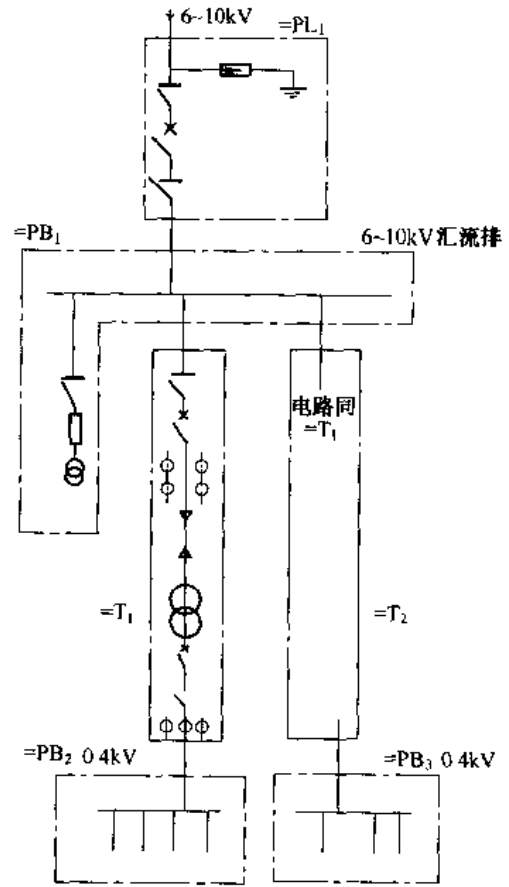


图 1.2.1 某工厂供电系统图

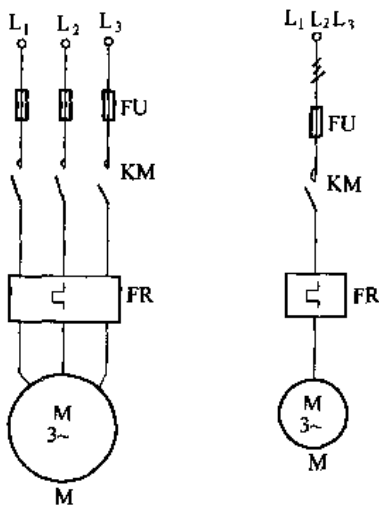


图 1.2.2 电动机供电系统图

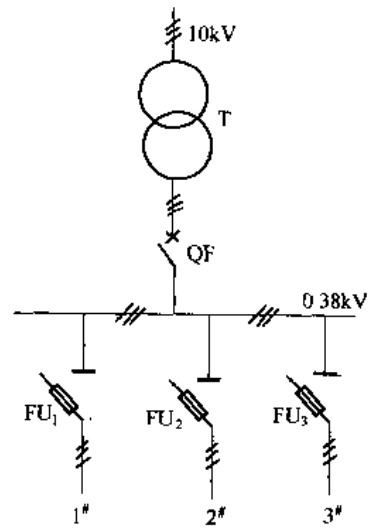


图 1.2.3 某变电所供电系统图

系统图或框图常用来表示整个工程或其中某一项目的供电关系或电能输送关系，也可表

示某一装置或设备各主要组成部分的关系。

2. 电路图

电路图是根据电路的工作原理，以阅读和分析电路方便为原则，用国家统一规定的电气图形符号和文字符号，采用电器元件展开形式，按工作顺序从上而下或从左而右排列，详细表示电路、设备或成套装置的全部组成和连接关系，而不考虑其实际位置和大小简图。

电路图的作用是，便于详细理解电路、设备或成套装置及其组成部分的工作原理；便于分析和计算电路的特性及参数，为测试和寻找故障提供信息，为编制接线图、实际安装和维修提供依据。

按照电路图所描述的对象及其所表示的工作原理，电路图可分为：

(1) 电力系统电路图 电力系统电路图又分为发电厂变电电路图、厂矿变配电电路图以及动力及照明配电电路图。其中每种又分主电路图和副电路图。主电路图也称主结线图或一次电路图，以下称其为主结线图。电力系统电路图中的主结线图实际上就是电力系统的系统图。

主结线图是把电气设备或电器元件，如隔离开关、断路器、互感器、避雷器、电力电容器、变压器、母线等（称为一次设备），按一定顺序连接起来，汇集和分配电能的电路图。

副电路图也称二次结线图或二次电路图，以下称其为二次结线图。为了保证一次设备安全可靠地运行及方便操作，必须对其进行控制、提示、检测和保护，这就需要许多附属设备。我们把这些设备称为二次设备。将表示二次设备的图形符号按一定顺序绘制成的电气图，称为二次结线图。

(2) 生产机械电气控制电路图 对电动机及其他用电设备的供电和运行方式进行控制的电气图，称为生产机械电气控制电路图。生产机械电气控制电路图一般分为主电路和辅助电路两部分。主电路是指从电源到电动机或其他用电装置大电流所通过的电路。辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路和保护电路等。辅助电路主要由继电器或接触器的线圈、触头、按钮、照明灯、信号灯及控制变压器等电器元件组成。

(3) 电子电路图 反映由电子电器元件组成的设备或装置工作原理，又可分为电力电子电路图和电子电器（无触头电子电路）图。

3. 位置图（布置图）

位置图是指用正投法绘制的图。位置图表示成套装置和设备中各个项目的布局、安装位置。位置简图一般用图形符号绘制。

4. 接线图或接线表

表示成套装置、设备、电器元件的连接关系，用以进行安装接线、检查、试验与维修的一种简图或表格。接线图（表）可分为单元接线图（表）、互连接线图（表）、端子接线图（表）以及电缆配置图（表）。

5. 功能图

功能图是用于表示理论的或理想的电路而不涉及具体实现方法的图，这种图可以为绘制

电路图等提供依据。

6. 功能表图

功能表图是表示控制系统（如一个供电过程或工作过程）的作用和状态的图。这种图通常采用图形符号和文字叙述相结合的表示方法，用以全面表达控制系统的控制过程、功能和特性，但并不表达具体实施过程。

7. 等效电路图

等效电路图是表示理论的或理想的元件（如电阻、电感、电容等）及其连接关系的、供分析和计算电路特性、状态之用的图。

8. 逻辑图

逻辑图是主要用二进制逻辑单元图形符号绘制的图，一般的数字电路图便属于这种图。

9. 程序图

程序图是详细表示程序单元和程序片及其连接关系的简图，用于对程序的理解。

二、电气图的主要特点

电气图与机械图、建筑图以及其他专业的技术图相比，具有一些明显不同的特点。

1. 简图是电气图的主要形式

简图是用图形符号、带注释的围框或简化的外形表示系统或设备中各组成部分之间相互关系的一种图。绝大多数电气图都采用简图形式。除了必须标明实物形状、位置、安装尺寸的图外，大量的电气图都是简图，即仅表示电路中各设备、装置、电器元件等功能及连结关系的图。

值得一提的是，简图并不是指内容简单，而是指形式的简化，是相对于严格按几何尺寸、绝对位置而绘制的机械图而言的。

简图的特点是：

- (1) 各组成部分或电器元件用电气图形符号表示，而不具体表示其外形及结构等特征。
- (2) 在相应的图形符号旁标注文字符号、数字编号。
- (3) 按功能和电流流向表示各装置、设备及电器元件的相互位置和连接顺序。
- (4) 没有投影关系，不标注尺寸。

2. 元件和连接线是电气图的主要表达内容

3. 图形符号、文字符号是组成电气图的主要要素

4. 电气图中的电器元件均按自然状态绘制

所谓“自然状态”，是指电器元件和设备的可动部分表示为非激励（未通电、未受外力

作用)或不工作的状态或位置。比如,接触器线圈未得电时,其触头处于尚未动作的位置;断路器、负荷开关等处在断开位置。

5. 电气图往往与主体工程及其他配套工程的图有密切关联

第三节 电气制图的一般规则

电气制图有一定的规范。了解和掌握电气制图的一般规则,有助于快速、准确地看图。

一、电气图的组成

电气图一般由电路、技术说明和标题栏三部分组成。

1. 电路

电路是电流的通路,它是为了某种需要由某些电工设备或电器元件按一定方式组合起来的。把这种电路画在图纸上,就是电路图。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,就构成电路的目的来说一般有两个,一是进行电能的传输、分配与转换;二是进行信息的传递和处理。

如图 1.3.1 (a) 所示,电力系统的作用是实现电能的传输、分配和转换,其中包括电源、负载和中间环节。

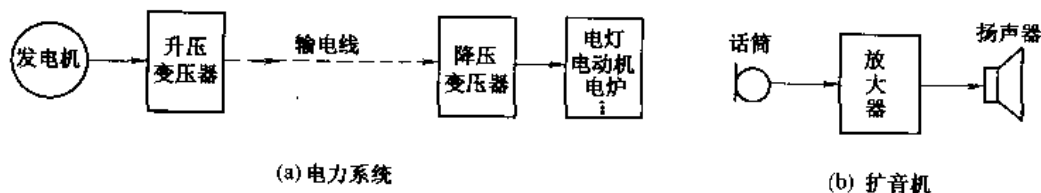


图 1.3.1 电路示意图

发电机是电源,是供应电能的设备。在发电厂内可把热能、水能或核能转换为电能。除发电机外,电池也是常用的电源。

电灯、电动机、电炉等都是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等。

变压器和输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,起传输和分配电能的作用。

图 1.3.1 (b) 所示为扩音机电路示意图,是进行信号传递和处理的一个实例。在这个电路中,先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电信号,而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间还要用放大器将电信号放大,这个过程称为信号的处理。

在图 1.3.1 (b) 中,话筒是输出电信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池这种电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接收和转换电信号的设备,也就是负载。

信号传递和处理的例子是很多的，如收音机和电视机，它们的接收天线（信号源）把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号，而后通过电路对电信号进行传递和处理（调谐、变频、检波、放大等），送到扬声器和显像管（负载），最终还原为原始信息。

不论电能的传输和转换，或者信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流称为激励，它推动电路工作；由于激励而在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路的结构和电器元件参数的条件下，讨论电路的激励与响应之间的关系。本书着重介绍前一类电路，即进行电能的传输、分配与转换的电路（以下简称电路）。

电路是电气图的主要构成部分。由于电器元件的外形和结构比较复杂，因此采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示电器元件的不同种类、规格以及安装方式。此外，根据电气图的不同用途，要绘制成不同形式的图。有的只绘制电路图，以便了解电路的工作过程及特点。对于比较复杂的电路，通常还要绘制安装接线图。必要时，还要绘制分开表示的接线图（俗称展开接线图）、平面布置图等，以供生产部门和用户使用。

2. 技术说明

电气图中的文字说明和元件明细表等总称为技术说明。文字说明是为了注明电路的某些要点及安装要求等，通常写在电路图的右上方，若说明较多，也可附页说明。元件明细表用来列出电路中元件的名称、符号、规格和数量等。元件明细表以表格形式写在标题栏的上方，其中的序号自下而上编排。

3. 标题栏

标题栏画在电路图的右下角，其中注有工程名称、图名、图号，还有设计人、制图人、审核人、批准人的签名和日期等。标题栏是电气图的重要技术档案，栏目中的签名人对图中的技术内容各负其责。

二、电气图的布局

为了清楚地表明电气系统或设备各组成部分间、各电器元件间的连接关系，以便于使用者了解其原理、功能和动作顺序，对电气图的布局有一定要求。

电气图布局的原则是便于绘制、易于识读、突出重点、均匀对称以及清晰美观；布局的要点是从总体到局部、从主结线图（主电路图或一次接线图）到二次结线图（副电路图或二次接线图）、从主要到次要、从左到右、从上到下、从图形到文字。

1. 整个图面的布局

图面的布局应体现重点突出，主次分明，疏密匀称，清晰美观等特点。为此，应精心构思，做到心中有数；进行规划，划定各部分的位置；找出基准，逐步绘图。

如某供电系统电气主结线图，包括结线图、主要电气设备明细表、技术说明和标题栏等4部分。在进行整个图面的布局时，首先按此表达内容构思，经构思后选定用A1图幅；第二步便划定各部分的位置，如图1.3.2(a)所示；第三步找出基准线，如图1.3.2(b)所示，再具体进行各部分的绘制。

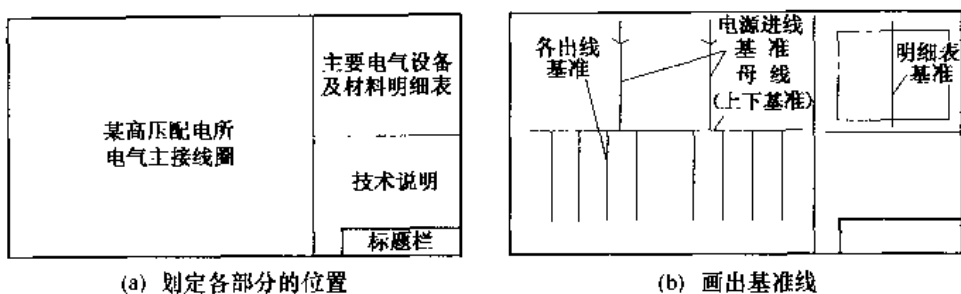


图 1.3.2 图面布局示例

2. 电路或电器元件的布局

(1) 电路或电器元件布局的原则

① 电路垂直布局时，相同或类似项目应横向对齐，如图 1.3.3 (a) 所示；水平布局时，则应纵向对齐，如图 1.3.4 (a) 所示。

② 功能相关的项目应靠近绘制，以清晰表达其相互关系并利于识图。

③ 同等重要的并联通路应按主电路对称布局。

(2) 电路或电器元件的布局

① 功能布局法 是指电气图中电路或电器元件符号的布置，只考虑便于看出他们所表示的电路或电器元件功能关系，而不考虑实际位置的一种布局方法。在这种布局中，将表示对象划分为若干功能组，按照因果关系从左到右或从上到下布置；为了强调并便于看清其中的功能关系，每个功能组的电器元件应集中布置在一起，并尽可能按工作顺序排列；也可将电器元件的多组触头分散在各功能电路中，而不必将它们画在一起，以利于看清其中的功能关系。功能布局法广泛应用于概略图、电路图、功能表图及逻辑图中。

② 位置布局法 是指电气图中电路或电器元件符号的布置与该电器元件实际位置基本一致的布局方法。接线图、平面图、电缆配置图均采用这种方法，这样可以清楚地看出电路或电器元件的相对位置和导线的走向。

3. 图线的布置

电气图的布局要求重点突出信息流及各功能单元间的功能关系，因此图线的布置应有利于识别各种过程及信息流向，并且图中的各部分之间的间隔要均匀。对于因果关系清楚的电气图，其布局顺序应使信息的基本流向为自左至右或从上到下。例如，在电子线路中，输入在左边，输出在右边。如果不符合这一规定且流向不明显，则应在信息线上加开口箭头。

表示导线、信号通路、连接线等的图线一般应为直线，即横平竖直，尽可能减少交叉和弯曲。

(1) 水平布置 将表示设备和元件的图形符号按横向（行）布置，连接线呈水平方向，各类似项目纵向对齐。如图 1.3.3 所示，图中各电器元件、二进制逻辑单元按行排列，从而使各连接线基本上都是水平线。水平布置图的电器元件和连接线在图上的位置可用图幅分区（见第二章第一节）的行号来表示。

(2) 垂直布置 将设备或电器元件图形符号按纵向(列)排列, 连接线呈垂直布置, 类似项目应横向对齐, 如图 1.3.4 所示。垂直布置图的电器元件、图线在图上的位置可用图幅分区(见第二章第一节)的列号表示。

(3) 交叉布置 为了把相应的元件连接成对称的布局, 也可以采用斜向交叉线表示, 如图 1.3.5 所示。

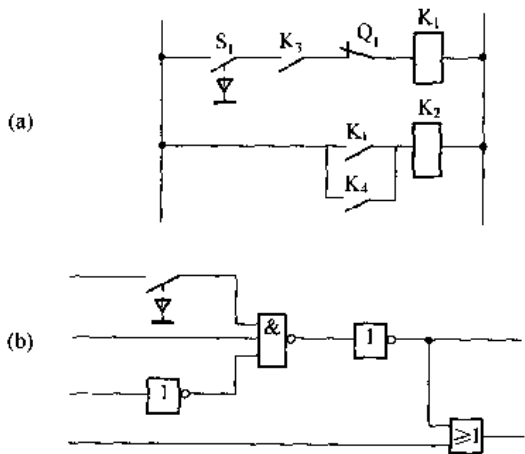


图 1.3.3 图线的水平布置

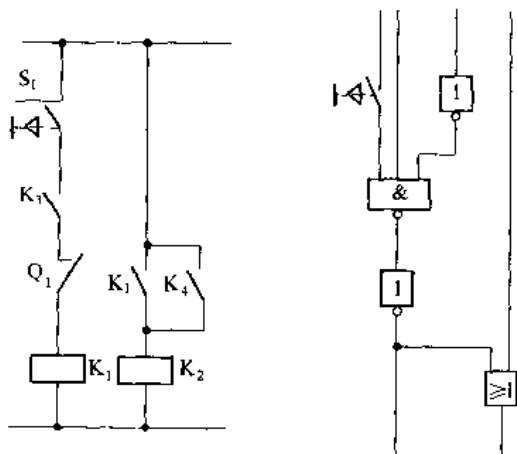


图 1.3.4 图线的垂直布置

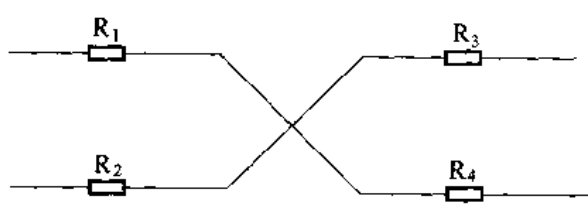


图 1.3.5 图线的交叉布置

电器元件的排列一般应按因果关系、动作顺序从左到右或从上到下布置。看图时, 也应按这一规律分析阅读。在概略图中, 为了便于表达功能概况, 常需绘制非电过程的部分流程, 但其控制信号流的方向应与电控信号流的流向相互垂直, 以示区别。

三、电气图的基本表示方法

1. 电器元件的表示方法

(1) 电器元件的集中、半集中和分开布置的表示方法

同一个电气设备或电器元件在不同类型的电气图中往往采用不同的图形符号来表示。例如, 对概略图、位置图, 往往用方框符号、简化外形符号或简单的一般符号来表示; 对电路图和部分接线图, 往往用一般图形符号来表示, 绘出其电气连接关系, 在符号旁标注项目代号, 必要时还标注有关的技术数据。对于驱动部分和被驱动部分间具有机械连接关系的电器元件, 如继电器、接触器的线圈和触头, 以及同一个设备的多个电器元件, 例如转换开关的各对触头, 可用集中布置、半集中布置、分开布置法来表示。

集中布置法是把电器元件、设备或成套装置中一个项目各组成部分的图形符号在电气图上集中绘制在一起的方法，各组成部分用机械连接线（虚线）连接，连接线必须是一条直线。

为了使设备和装置的电路布局清晰，易于识别，通常将一个项目的某些部分的图形符号分开布置，并用机械连接符号表示它们之间关系，这种方法称为半集中布置法。

为了使设备和装置的电路布局清晰，易于识别，把一个项目图形符号的各部分分开布置，并仅用项目代号表示它们之间关系，这种方法称为分开布置法。

图 1.3.6 是这三种布置方法的示例，其中继电器 K 的线圈和触头分别集中布置（如图 1.3.6 (a) 所示）、半集中布置（如图 1.3.6 (b) 所示）和分开布置（如图 1.3.6 (c) 所示）。采用分开布置法的图与采用集中或半集中布置法的图给出的信息应等量，这是一条基本原则。

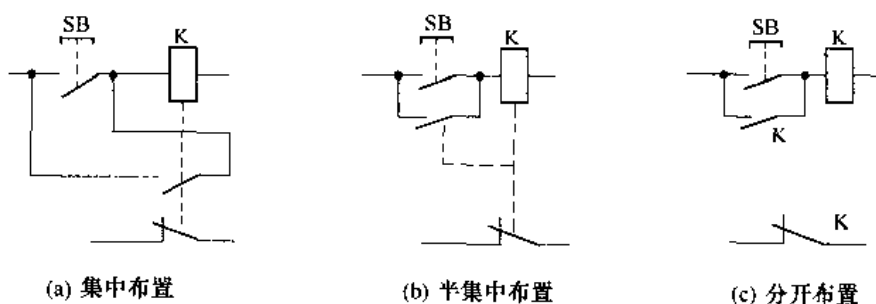


图 1.3.6 设备和元件的布置

由于采用分开布置法的电气图省去了项目各组成部分的机械连接线，因此查找某个元件的相关部分比较困难。为识别元件各组成部分或寻找它们在图中的位置，除了要重复标注项目代号外，还可以采用引入插图或表格等方法来表示电器元件各部分的位置。

(2) 电器元件工作状态的表示方法

均按自然状态表示。所谓“自然状态”或“自然位置”，是指电器元件或设备的可动部分处于未得电、未受外力或不工作的状态或位置。如：

① 中间继电器、时间继电器、接触器和电磁铁的线圈未得电时，动铁芯未被吸合，因而其触头处于尚未动作的位置。

② 断路器、负荷开关和隔离开关处在断开位置。

③ 零位操作的手动控制开关在零位状态或位置，不带零位的手动控制开关在图中规定的位置。

④ 机械操作开关、按钮和行程开关处在非工作状态或不受力状态时的位置。

⑤ 保护用电器处在设备正常工作状态时的位置，如热继电器处在双金属片未受热而未脱扣时的位置；速度继电器处在主轴转速为零时的位置。

⑥ 标有“OFF”位置的有多个稳定位置的手动控制开关处在“OFF”位置；未标有断开“OFF”位置的控制开关处在图中规定的位置。

⑦ 对于有两个或多个稳定位置或状态的其他开关装置，可处在其中的任何一个位置或状态，必要时在图中说明。

⑧ 事故、备用、报警等开关处在设备、电路正常使用或正常工作位置。

(3) 电器元件触头位置的表示方法

① 对于继电器、接触器、开关、按钮等项目的触头，其触头符号通常规定为“左开右闭、下开上闭”，即当触头符号垂直布置时，动触头在静触头左侧为动合（常开）触头、而在右侧为动断（常闭）触头；当触头符号水平布置时，动触头在静触头下侧为动合（常开）触头，而在上侧为动断（常闭）触头，见图 1.1.5。

② 万能转换开关、控制器等非电或人工操作的触头符号一般用图形、操作符号以及触头闭合表来表示。例如，5 个位置的控制器或操作开关可用图 1.3.7 所示的图形表示，以“0”代表操作手柄在中间位置，两侧的罗马数字表示操作位置数，此数字处也可写手柄转动位置的角度。在该般字上方可标注文字符号来表示向前、向后、自动、手动等操作。短划表示手柄操作触头开闭的位置线，有黑点“·”者表示手柄（手轮）转向此位置时触头控通，无黑点者表示触头不控通。复杂开关允许不以黑点的有无来表示触头的开闭而另用触头闭合表来表示。多于一个以上的触头分别接于各电路中，可以在触头符号上加注触头的线路号（本图例为 4 个线路号）或触头号。一个开关的各触头允许不画在一起。也可用表 1.3.1 所示的触头闭合表来表示。

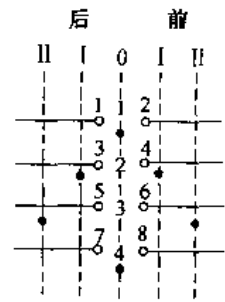


图 1.3.7 多位置控制器或操作开关的表示方法

表 1.3.1 触头闭合表

触 头	向 后 位 置		中 间 位 置	向 前 位 置	
	2	1	0	1	2
1-2	-	-	+	-	-
3-4	-	+	-	+	-
4-6	+	-	-	-	+
2-8	-	-	+	-	-

(4) 电器元件技术数据及有关控释和标志的表示方法

① 电器元件技术数据的表示方法 电器元件的技术数据（如型号、规格、整定值等）一般标注在其图形符号附近。当连接为水平布置时，尽可能标注图形符号的下方，见图 1.3.8 (a)；垂直布置时，标注在项目代号下方，见图 1.3.8 (b)。技术数据也可以标注在继电器般圈、仪表、集成电路等的方框符号或简化外形符号内，见图 1.3.8 (c)。

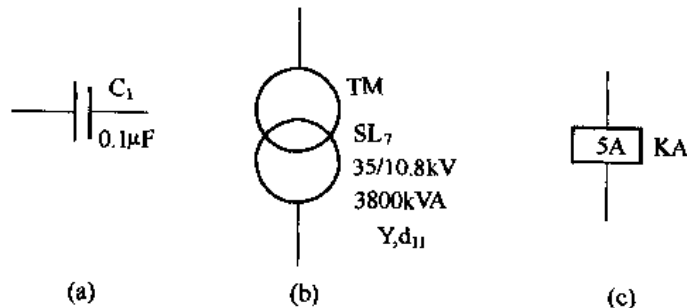


图 1.3.8 电器元件技术数据的表示方法

在生产机械电气控制电路图和电力系统电路图中，技术数据常用表格形式标注。

② 注释和标志的表示方法 当电器元件的某些内容不便于用图示形式表达清楚时,可采用注释方法。注释可放在需要说明的对象附近。

2. 连接线的一般表示方法

电气图上各种图形符号之间的相互连线,统称为连接线。

(1) 导线的一般表示方法

① 导线的一般表示符号如图 1.3.9 (a) 所示,可用于表示单根导线、导线组,也可以根据情况通过图线粗细、图形符号及文字、数字来区分各种不同的导线,如图 1.3.8 (b) 所示的母线及如图 1.3.8 (c) 所示的电缆等。

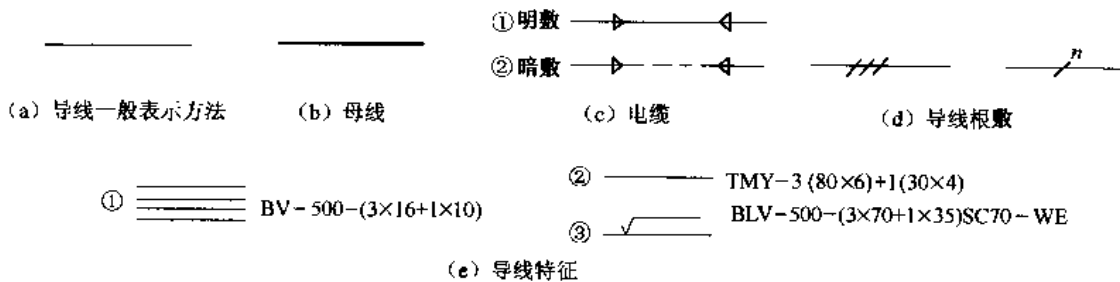


图 1.3.9 导线的一般表示方法及示例

② 导线的根数表示方法 如图 1.3.9 (d) 所示,根数较少时,用斜线(45°)数量代表导线根数;根数较多时,用一根小短斜线旁加注数表示。

③ 导线特征的标注方法 如图 1.3.9 (e) 所示,导线特征通常采用字母、数字符号标注。

(2) 图线的粗细

主电路图、主结线图、电流电路等采用粗实线;辅助电路图、二次结线路图、电压电路图则采用一般实线或细实线,而母线通常要比粗实线宽 2~3 倍。

(3) 导线连接点的表示

“T”形连接点可加实心圆点“·”,也可不加实心圆点,如图 1.3.10 (a) 所示。对“+”形连接点,则必须加实心圆点,如图 1.3.10 (b) 所示。

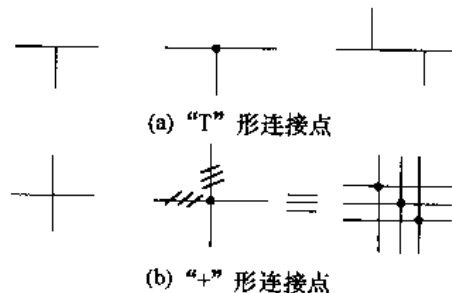


图 1.3.10 导线连接点的表示方法

(4) 连接线的连续表示法和中断表示法

① 连接线的连续表示法 是将表示导线的连接线用同一根图线首尾连通的方法。连续线既可用多线也可用单线表示。当图线太多时,为使图面清晰,易画易读,对于多条去向相同的连接线常用单线法表示。

当多条线的连接顺序不必明确表示时,可采用图 1.3.11 (a) 的单线表示法,但单线的两端仍用多线表示;导线组的两端位置不同时,应标注相对应的文字符号,如图 1.3.11 (b) 所示。

当导线汇入用单线表示的一组平行连接线时,汇接处用斜线表示,其方向应易于识别连接线进入或离开汇总线的方向,如图 1.3.11 (c) 所示;当需要表示导线的根数时,可按图 1.3.11 (d) 所示来表示。

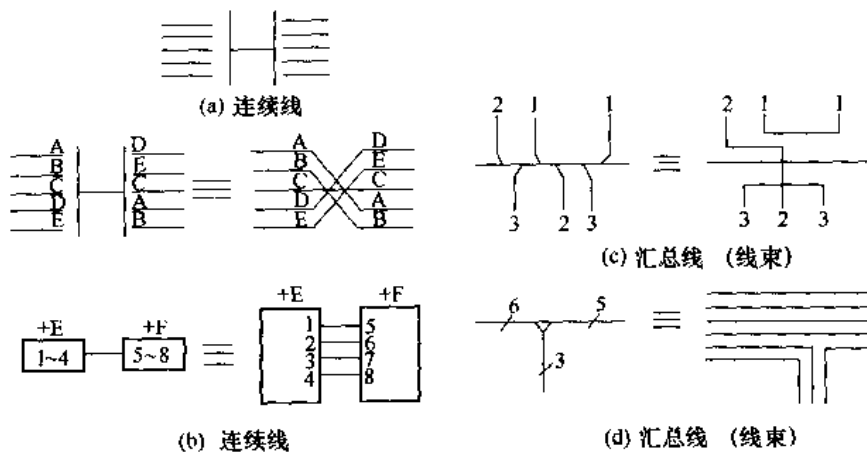


图 1.3.11 单线表示法

② 连接线的中断表示法 去向相同的导线组，在中断处的两端标以相应的文字符号或数字编号，如图 1.3.12 (a) 所示。

两设备或电器元件之间的连接线，如图 1.3.12 (b) 所示，用文字符号及数字编号表示中断。

连接线穿越图线较多的区域时，将连接线中断，在中断处加相应的标记，如图 1.3.12 (c) 所示。

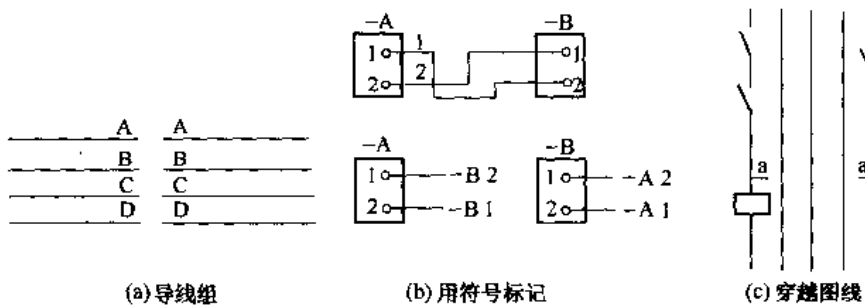


图 1.3.12 连接线的中断表示法

(5) 电器设备特定接线端子和特定导线端的识别

与特定导线直接或通过中间电器相联的电器设备接线端子应按表 1.1.2 和表 1.1.3 的字母进行标记。

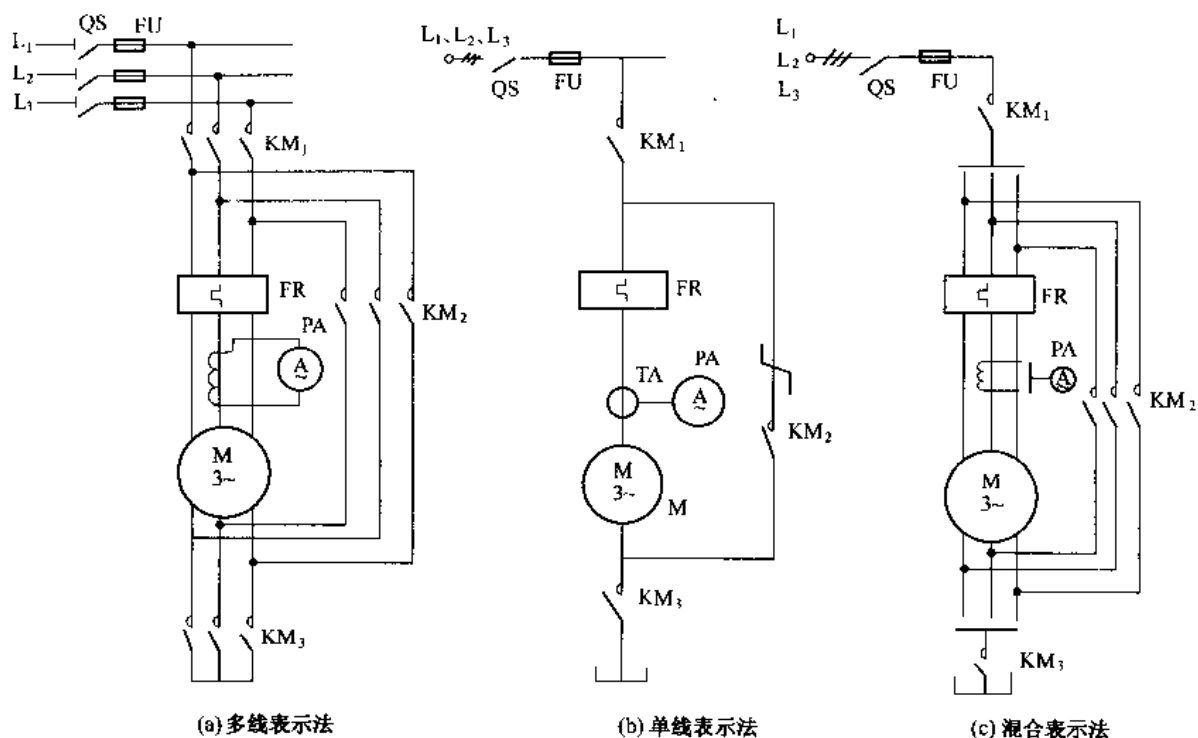
(6) 连接线的多线、单线和混合表示法

按照电路图中图线的表达根数不同，连接线可分为多线、单线和混合表示法。

每根连接线各用一条图线表示的方法，称为多线表示法，其中大多数是三线；两根或两根以上（大多数是表示三相系统的 3 根线）连接线用一条图线表示的方法，称为单线表示法；在同一图中，单线和多线同时使用的方法，称为混合表示法。

图 1.3.13 所示为三相笼形感应电动机 Y-Δ 减压启动电路的多线、单线、混合表示法的电气控制电路图。图 (a) 所示为多线表示法，接述电路工作原理比较清楚，但图线太多；图 (b)

为单线表示法，图面简单，但对某些部分（如 Δ 连接）描述不够详细；图（c）为混合表示，兼有二者的优点，在许多情况下被采用。



QS—刀开关； FU—熔断器； KM₁、KM₂、KM₃—接触器； FR—热继电器；
TA—电流互感器； PA—电流表； M—电动机

图 1.3.13 在电路中连接线的表示方法

第四节 看电气图的基本要求和步骤

看电气图，应弄清看图的基本要求，掌握好看图步骤，这样才能提高看图的水平，加快分析电路的速度。

在初步掌握电气图的基本知识，熟悉电气图中常用的图形符号、文字符号、项目代号和回路标号，以及电气图的基本构成、分类、主要特点的基础上，本节讲述看电气图的基本要求和基本步骤，为以后看图或绘制各类电气图提供总体思路和引导。

一、看图的基本要求

1. 从简单到复杂，循序渐进地看图

初学者要本着从易到难、从简单到复杂的原则看图。一般来讲，照明电路比电器控制电路简单，单项控制电路比系列控制电路简单。复杂的电路都是简单电路的组合，从看简单的电路图开始，搞清每一电气符号的含义，明确每一电器元件的作用，理解电路的工作原理，

为看复杂电气图打下基础。

2. 应具有电工学、电子技术的基础知识

电工学讲的主要就是电路和电器。电路又可分为主电路、主结线电路以及辅助电路、二次结线电路。主电路是电源向负载输送电能的电路。主电路一般包括发电机、变压器、开关、熔断器、接触器主触头、电容器、电力电子器件和负载（如电动机、电灯）等。辅助电路是对主电路进行控制、保护、监测以及指示的电路。辅助电路一般包括继电器、仪表、指示灯、控制开关和接触器辅助触头等。通常，主电路通过的电流较大，导线线径较粗；而辅助电路中通过的电流较小，导线线径也较小。

电器是电路不可缺少的组成部分。在供电电路中，常常用到隔离开关、断路器、负荷开关、熔断器和互感器等；在机床等机械设备的电气控制电路中，常常用到各种继电器、接触器和控制开关等。读者应了解这些电器元件的性能、结构、原理、相互控制关系以及在整个电路中的地位 and 作用。

在实际生产的各个领域，所有电路如输变配电、电力拖动、照明、电子电路、仪器仪表和家电产品等，都是建立在电工、电子技术理论基础之上的。因此，要想准确、迅速地看懂电气图，必须具备一定的电工、电子技术基础知识，进而分析电路，理解图纸所包含的内容。如三相笼形感应电动机的正转和反转控制，就是利用电动机的旋转方向是由三相电源的相序来决定的原理，用倒顺开关或两个接触器进行切换，通过改变输入电动机的电源相序来改变电动机的旋转方向。而Y- Δ 启动则应用的是电源电压的变动引起电动机启动电流及转矩变化的原理。

也可以结合电器元件的结构和工作原理看图。电路由各种电器元件、设备或装置组成，例如电子电路中的电阻、电容、各种晶体管等，供配电高低压电路中的变压器、隔离开关、断路器、互感器、熔断器、避雷器以及继电器、接触器、控制开关、各型高低压柜和屏等，必须掌握它们的用途、主要构造、工作原理及与其他元件的相互关系（如连接、功能及位置关系），才能真正看懂电路图。例如，KA、KT、KS 分别表示电流、时间、信号继电器，要看懂图，必须要把这几种继电器的功能、主要构造（线圈、触头）、动作原理（如时间继电器的延时闭合）及相互关系搞清楚。又例如，要看懂电子电路的放大电路图，必须把三极管、晶闸管、电阻、电容的基本构造和工作原理弄清。

3. 要熟记和会用电气图形符号和文字符号

电气简图所用的图形符号和文字符号以及项目代号、接线端子标记等是电气技术文件的“词汇”，“词汇”掌握得越多，记得越牢，“文章”才能写得越好。

图形符号和文字符号很多，要做到熟记会用，可从个人专业出发，先熟读会背各专业共用的和本专业的图形符号，然后逐步扩大，掌握更多的符号，就能读懂更多的不同专业的电气图。

4. 熟悉各类电气图的典型电路

典型电路一接是最常见、常用的基本电路。如供配电系统的电气主结线图、单母线结线，由此典型电路可导出单母线不分段、单母线分段结线，而由单母线分段再区别是隔离开

关分段还是断路器分段。电力拖动中的启动、制动、正反转控制电路，连锁电路，行程限位控制电路，电子电路中的整流电路和放大、振荡、调谐等电路，都是典型电路。

不管多么复杂的电路，都是由典型电路派生而来的，或者是由若干典型电路组合而成的。掌握熟悉各种典型电路，有利于对复杂电路的理解，能较快地分清主次环节及其与其他部分的相互联系，抓住主要矛盾，从而看懂较复杂的电气图。

5. 掌握各类电气图的绘制特点

各类电气图都有各自的绘制方法和绘制特点。掌握了电气图的主要特点及绘制电气图的一般规则，例如电气图的布局、图形符号及文字符号的含义、图线的粗细、主副电路的位置、电气触头的画法，电气图与其他专业技术图的关系等，并利用这些规律，就能提高看图效率，进而自己也能设计制图。大型的电气图纸往往不只一张，也不只是一种图，因而读图时应将各种有关的图纸联系起来，对照阅读。通过概略图、电路图找联系，通过接线图、布置图找位置，交错阅读会收到事半功倍的效果。

6. 把电气图与土建图、管路图等对应起来看

电气施工往往与主体工程（土建工程）及其他，如工艺管道、给排水管道、采暖通风管道、通信线路、机械设备等安装工程配合进行。电气设备的布置与土建平面布置、立面布置有关，线路走向与建筑结构的梁、柱、门窗、楼板的位置、走向有关，还与管道的规格、用途、走向有关；安装方法又与墙体结构、楼板材料有关。特别是一些暗敷线路、电气设备基础及各种电气预埋件，更与土建工程密切相关。因此，阅读某些电气图还要与有关的土建图、管路图及安装图对应起来看。

7. 了解涉及电气图的有关标准和规程

看图的主要目的是用来指导施工、安装，指导运行、维修和管理。有些技术要求不可能都一一在图样上反映出来，标注清楚。由于这些技术要求在有关的国家标准或技术规程、技术规范中已作了明确的规定，因而在读电气图时，还必须了解这些相关标准、规程、规范，这样才能真正读懂图。

二、看图的一般步骤

1. 详看图纸说明

拿到图纸后，首先要仔细阅读图纸的主标题栏和有关说明，如图纸目录、技术说明、电器元件明细表、施工说明书等，结合已有的电工知识，对该电气图的类型、性质、作用有一个明确的认识，从整体上理解图纸的概况和所要表述的重点。

2. 看概略图和框图

由于概略图和框图只是概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征，因此紧接着就要详细看电路图，才能搞清它们的工作原理。概略图和框图多采用单线图，只有某些 380/220V 低压配电系统概略图才部分地采用多线图。

3. 看电路图是看图的重点和难点

电路图是电气图的核心，也是内容最丰富、也最难读懂的电气图纸。

看电路图首先要看有哪些图形符号和文字符号，了解电路图各组成部分的作用、分清主电路和辅助电路，交流回路和直流回路。其次，按照先看主电路，再看辅助电路的顺序进行。

看主电路时，通常要从下往上看，即先从用电设备开始，经控制电器元件，顺次往电源端看；看辅助电路时，则自上而下、从左至右看，即先看主电源，再顺次看各条支路，分析各条支路电器元件的工作情况及其对主电路的控制关系，注意电气与机械机构的连接关系。

通过看主电路，要搞清负载是怎样取得电源的，电源线都经过哪些电器元件到达负载和为什么要通过这些电器元件；通过看辅助电路，应搞清辅助电路的构成，各电器元件之间的相互联系和控制关系及其动作情况等。同时，还要了解辅助电路和主电路之间的相互关系，进而搞清楚整个电路的工作原理和来龙去脉。

4. 电路图与接线图对照起来看

接线图和电路图互相对照，有助于搞清楚接线图。读接线图时，要根据端子标志和回路标号从电源端顺次查下去，搞清楚线路走向和电路的连接方法，以及每条支路是怎样通过各个电器元件构成闭合回路的。

配电盘（屏）内、外电路相互连接必须通过接线端子板。一般来说，配电盘内有几号线，端子机上就有几号线的接点，外部电路的几号线只要在端子板的同号接点上接出即可。因此，看接线图时，要想把配电盘（屏）内、外的电路走向搞清楚，就必须搞清楚端子机的接线情况。

第二章 看机械设备电气控制图的方法和步骤

第一节 机械设备电气控制图的分类及原则

一、机械设备系统的组成

在工农业生产、交通运输以及家庭生活中，广泛地使用着各种各样的机械设备，如轧钢机、造纸机、电机车、车床、刨床、铣床以及洗衣机等。驱动这些生产机械运转使其工作，必须有原动机。我们把原动机带动生产机械运转叫拖动，而把由电动机带动生产机械运转的拖动方式叫电力拖动。

现代社会，大多数机械设备都采用电力拖动，这是因为：电能的传输和分配方便；电动机的种类和规格多，具有各种各样的特性，能较好地满足生产机械的不同要求；对电动机的控制较方便，容易实现自动控制和远距离控制。

1. 生产机械设备的组成

由电动机、控制装置、传动装置、生产机械以及电源组成的整体叫电力拖动系统或生产机械系统，如图 2.1.1 所示。图 2.1.2 为普通机床加工示意图。

电动机是电力拖动的原动机，它是将电能转换成机械能的部件，通过对电动机的控制，得到所需要的转矩、转向及转速。电动机有交流电动机和直流电动机之分，且具有很多的类型，可以满足不同运动机械的需求。

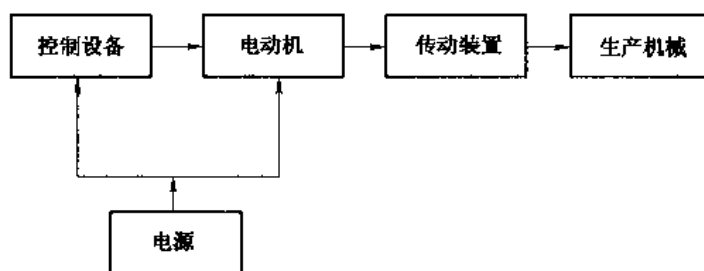


图 2.1.1 机械设备电气控制系统示意图

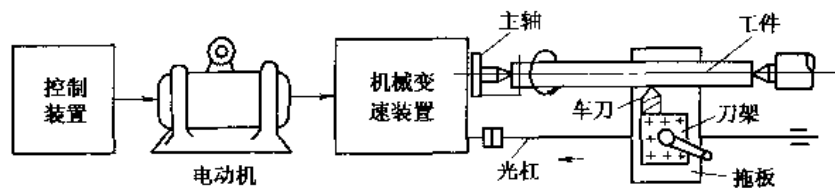


图 2.1.2 普通机床加工示意图

控制装置是控制电动机运转的装置。它由各种控制电器（如开关、按钮、熔断器、接触器和继电器等），按照一定的加工工艺或运动的要求和规律连接组成，用以控制电动机的启动、停止、正反转、制动和调速等。按其操作方式，控制装置可分为手动和自动控制两种类型。

传动装置是电动机与生产机械之间的能量传动机械，它将电动机与生产机械连成一体。传动装置的种类主要有齿轮减速箱、蜗轮蜗杆减速箱、皮带轮、连轴节和摩擦片等。不同的生产机械对传动装置的要求也不同，选用合适的传动装置，可以使生产机械达到理想的工作状态。

2. 生产机械电气控制装置的组成

众所周知，要将一台电动机接到电网上，需要用到好几类电器，如刀开关、转换开关、熔断器、低压断路器、接触器、热继电器以及各种启动电器，而且随着所用开关电器种类和数量的不同，电动机的供电电路也各有差异。然而，从原则上来说，电动机供电电路中的电器元件，总不外乎是隔电设备、短路保护设备和操作设备等，它们串接在一起形成一个完整的电动机供电电路（见图 2.1.3）。

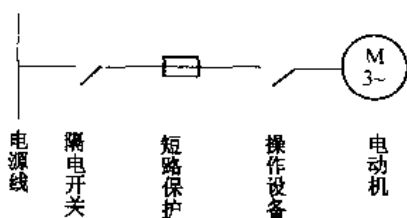


图 2.1.3 电动机供电电路示意图

隔电开关是整个电动机供电电路中最靠近电源的一个部分，它主要是刀开关、转换开关等手动电器。隔电开关的用途是在检修设备时将电源断开，以保障检修人员的安全。因此，它一般不用来接通或分断载流电路，其操作顺序也同高压电路中的隔离开关一样，即先于其他开关电器接通，后于它们断开。

短路保护设备是紧接在隔电设备之后的一个部分，它主要是熔断器和能够切断短路电流的低压断路器。短路保护设备的任务在于切断电动机供电电路中出现的短路故障电流，借此保护电路中的其他电气设备，使之不为过大的短路电流所损坏。

操作设备是用电器供电电路中紧靠用电器的那部分，它主要是接触器、电磁启动器或其他启动电器，其中还包括过载保护电器，如热继电器等。操作设备有手动的，也有电磁操作或电动机操作的，视对操作控制的要求而定。操作设备的任务主要是接通和分断供电电路，不但接通和分断已发生短路的故障电路，同时还兼有一定程度的过载保护能力。

应当指出，用电器的供电电路并不千篇一律地包含所有上述各个部分，往往是根据实际需要和电器元件的性能，有时甚至是根据具体的物质条件来选配和组合的。

为了保证电力拖动控制系统良好、可靠地工作，必须根据控制电路的技术要求正确选择和使用低压控制电器。若选择或使用不当，将导致各种故障，严重时甚至损坏电气设备。为

此，要求掌握低压控制电器的选择原则和使用方法。

控制装置的种类较多，但大体上可分为手动和自动两大类。手动控制装置是由工作人员操作的，例如刀开关、组合开关、按钮开关等；自动控制装置则是按照指令、信号或某个物理量（时间、转速、温度等）的变化而自动动作的，如各种继电器、接触器、行程开关等。

二、电气控制图的分类及其绘制原则

由各种电气控制元件和电路构成，对电动机或生产机械的供电和运行方式进行控制的装置，称为电动机或生产机械的电气控制装置。

以电动机或生产机械的电气控制装置为主要描述对象，表示其工作原理、电气接线、安装方法等的图样，称为电气控制图。其中，主要表示其工作原理的称为电气控制电路图；主要表示其电器元件实际安装位置和接线关系的称为电气安装接线图；主要表示其元件布置的称为电器元件布置图。电器元件布置图和电气安装接线图又总称为电气设备安装图。本章主要介绍电气控制电路图和接线图，由于它们的作用不同，绘制原则也有所不同。电气控制图是最大量、最常见的一类电气图，因而有必要深入了解这类图的形式、特点及其看图方法。

1. 电气控制电路图

电气控制电路图是将电气控制装置各种电器元件用图形符号表示并按其工作顺序排列，详细表示控制装置、电路的基本构成和连接关系的图。图 2.1.4 是控制三相异步电动机正反转运行的控制电路图，一些电器元件的不同组成部分，按照电路连接顺序分开布置。

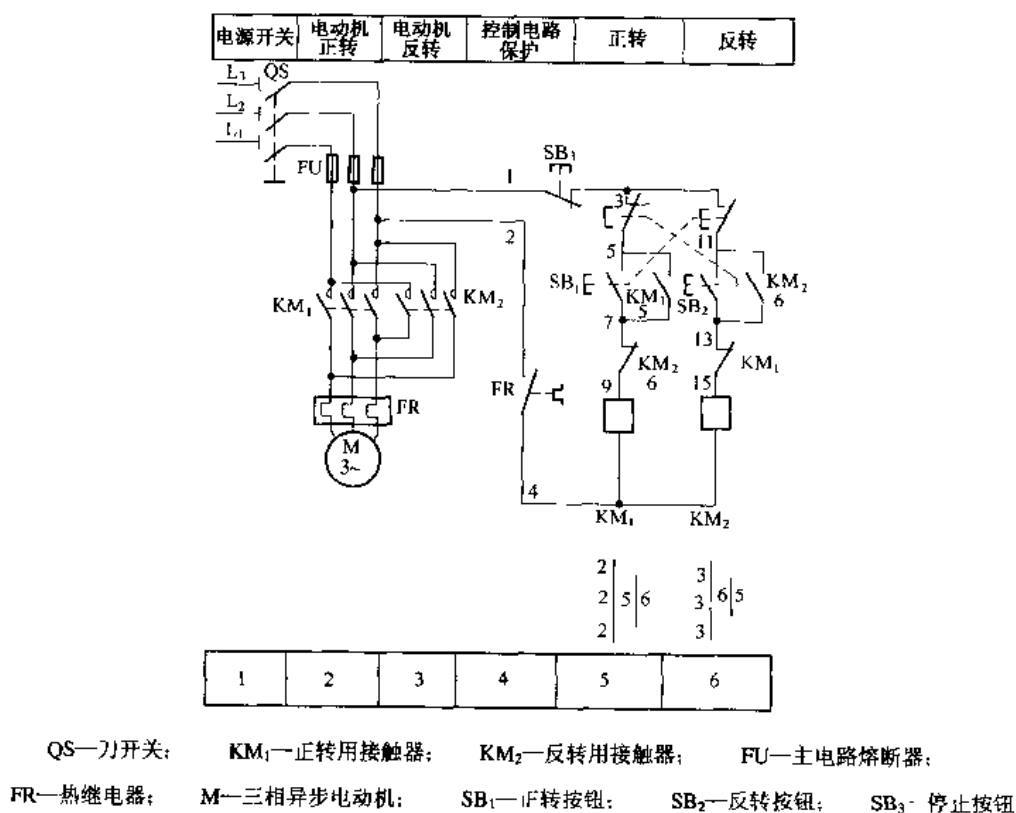


图 2.1.4 电动机正反转控制电路图

绘制电气控制电路图，是为了便于阅读和分析电路。它遵循简明、清晰、易懂的原则，根据电气控制电路的工作原理来绘制的。图中包括所有电器元件的导电部分和接线端子，但并不按照电器元件的实际布置来绘制。

电气控制电路图一般分为主电路和辅助电路两个部分。主电路是电气控制电路中强电流通过的部分，是由电动机以及与它相连接的电器元件（如组合开关、接触器的主触点、热继电器的热元件和熔断器等）所组成的电路图。辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路及保护电路。辅助电路中通过的电流较小。控制电路由按钮、接触器、继电器的吸引线圈和辅助触头以及热继电器的触头等组成。这种电路能够清楚地表明电路的功能。对于分析电路的工作原理十分方便。

在实际的电气控制电路图中，主电路一般比较简单，电器元件数量较少；而辅助电路比主电路要复杂，电器元件也较多。有的辅助电路是很复杂的，由多个单元电路组成，每个单元电路中又有若干个小支路，每个小支路中有一个或几个电器元件。这样复杂的控制电路分析起来是比较困难的，要求有坚实的理论基础和丰富的实践经验。

在电气控制电路图中，主电路图与辅助电路图是相辅相成的，其控制功能实际上是由辅助电路控制主电路。对于不太复杂的电气控制电路，主电路和辅助电路可以绘制在同一幅图上。

下面简述电气控制电路图的绘制规则和特点。

(1) 在电气控制电路图中，主电路和辅助电路应分开绘制。电气控制电路图可水平或垂直布置。水平布置时，电源线垂直画，其他电路水平画，控制电路中的耗能元件（如线圈、电磁铁、信号灯等）画在电路的最右端；垂直布置时，电源线水平画，其他电路垂直画，控制电路中的耗能元件画在电路的最下端。

当电路垂直（或水平）布置时，电源电路一般画成水平（或垂直）线，三相交流电源相序 L_1 、 L_2 、 L_3 由上到下（或由左到右）依次排列画出，中线 N 和保护地线 PE 画在相线之下（或之右）。直流电源则按正端在上（或在左）、负端在下（或在右）画出。电源开关要水平（或垂直）画出。

主电路，每个受电的动力装置（如电动机）及保护电器（如熔断器、热继电器的热元件等）应垂直电源线画出。主电路可用单线表示，也可用多线表示。

控制电路和信号电路应垂直（或水平）画在两条或几条水平（或垂直）电源线之间。电器的线圈、信号灯等耗电元件直接与下方（或右方） PE 水平（或垂直）线连接，而控制触点连接在上方（或左方）水平（或垂直）电源线与耗电元件之间。

无论主电路还是辅助电路，均应按功能布置，各电器元件一般应按生产设备动作的先后顺序从上到下或从左到右依次排列，可水平布置或垂直布置。看图时，要掌握控制电路编排上的特点，也要一列列或一行行地进行分析。

(2) 电气控制电路图涉及到大量的电器元件（如接触器、继电器开关、熔断器等），为了表达控制系统的设计意图，便于分析系统工作原理、安装、调试和检修控制系统，在绘制电气控制电路图时，所有电器元件均不画出其实际外形，而采用统一的图形符号和文字符号来表示。

(3) 在电路图中，同一电器元件的不同部分（如线圈、触头）分散在图中，如接触器主触头画在主电路，接触器线圈和辅助触头画在控制电路中。为了表示是同一电器元件，要在电器的不同部分使用同一文字符号来标明。对于几个同类电器元件，在表示名称的文字符号

后的下标加上一个数字序号，以示区别，如 K_1 、 K_2 等。

(4) 在机床电气控制电路的不同工作阶段，各个控制电器的工作状态是不同的，各控制电器的众多触头有时断开，有时闭合，而在电气控制电路图中只能表示一种情况。为了不造成混乱，特作如下规定：所有电器的可动部分均以自然状态画出。

所谓自然状态是指各种电器在没有通电和没有外力作用时的状态。电器元件工作状态的表示在第一章第三节已作介绍，不再赘述。

具有循环运动的机械设备，应在电气控制电路图上绘出工作循环图。转换开关、行程开关等应绘出动作程序及触头工作状态表。

由若干元件组成的具有特定功能的环节，可用虚线框括起来，并标注出环节的主要作用，如速度调节器、电流继电器等。

对于电路和电器元件完全相同并重复出现的环节，可以只绘出其中一个环节的完整电路，其余相同环节可用虚线方框表示，并标明该环节的文字符号或环节的名称。该环节与其他环节之间的连线可在虚线方框外面绘出。

对于外购的成套电气装置，如稳压电源、电子放大器、晶体管时间继电器等，应将其详细电路与参数绘在电气控制电路图上。

(5) 在原理图上可将图分成若干图区，以便阅读查找。在电路图的下方（或右方）沿横坐标（或纵坐标）方向划分图区，并用数字 1, 2, 3, …（或字母 A, B, C, …）标明，同时在图的上方（或左方）沿横（或纵）坐标方向划分图区，分别用文字标明该图区电路的功能和作用。使读者能清楚地知道某个电器元件或某部分电路的功能，以便于理解整个电路的工作原理。如图 2.1.4 所示，1 区对应的为“电源开关”QS。

电路图中的接触器、继电器的线圈与受其控制的触头的从属关系（即触头位置）应按下述方法标志：

在每个接触器线圈的文字符号 KM 的下面画两条竖直线，分成左、中、右（或上、中、下）3 栏，把受其控制而动作的触头所处的图区号数字，按表 2.1.1 规定的内容填上。对备用的触头，在相应的栏中用记号“X”标出。

在每个继电器线圈的文字符号（如 KT）下面画一条竖直线，分成左、右（或上、下）两栏，把受其控制而动作的触头所处的图区号数字，按表 2.1.2 规定的内容填上，同样，对备用的触头在相应的栏中用记号“X”标出。

表 2.1.1 接触器线圈符号下的数字标志

左(上)栏	中 栏	右(下)栏
主触头所处的图区号	辅助动合(常开)触头所处的图区号	辅助动断(常闭)触头所处的图区号

表 2.1.2 继电器线圈符号下的数字标志

左(上)栏	右(下)栏
动合(常开)触头所处的图区号	动断(常闭)触头所处的图区号

在控制电路图上，一般还在每一并联支路旁注明该部分的控制作用。掌握了这些特点，分析控制电路的作用就会比较容易。

(6) 电路图中，有直接电联系的交叉导线连接点要用黑圆点或小圆圈表示。

(7) 在完整的电路图中还应包括标明主要电器元件的型号、文字符号、有关技术参数和用途。例如电动机应标明用途、型号、额定功率、额定电压、额定电流和额定转速等。所有电器元件的型号、文字符号、用途、数量、安装技术数据，均应填写在元件明细表内。

(8) 根据电路图的简易或复杂程度，既可完整地画在一起，也可按功能分块绘制，但整个电路的连接端应统一用字母、数字加以标志，这样可方便地查找和分析其相互关系。

(9) 电气控制电路标号：

① 主回路的线号、主电路各接点标记 在机床电气控制电路的主电路中，线号由文字标号和数字标号构成。文字符号用来标明主回路中电器元件和电路的种类和特征，如三相电动机绕组用 U、V、W 表示。数字标号由三位数字构成，并遵循回路标号的一般原则。

三相交流电源的引入线用 L_1 、 L_2 、 L_3 来标记，1、2、3 分别代表三相电源的相别，中性线用 N 表示。经电源开关后标号变为 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{13} ，由于电源开关两端属于不同的线段，因此加一个十位数“1”。电源开关之后的三相交流电源上电路分别按 U、V、W 顺序标志，分级三相交流电源主电路采用文字代号 U、V、W 的前面加阿拉伯数字 1、2、3 等标记，如 1U、1V、1W 及 2U、2V、2W 等。电动机分支电路各接点标记采用三相文字代号后面加数字来表示，数字中的个位数表示电动机代号，十位数字表示该支路各接点的代号，如 U_{21} 为电动机 M_1 支路的第二个接点代号，以此类推。电动机定子三组首端分别用 U、V、W 标记，尾端分别用 U' 、 V' 、 W' 标记。双绕组的中点则用 U'' 、 V'' 、 W'' 标记。

电动机动力电路的标号应从电动机绕组开始自下而上标号。对图 2.1.5 所示的双电动机控制电路，以电动机 M_1 的回路为例，电动机定子绕组的标号为 U_1 、 V_1 、 W_1 （或首端用 U_1 、 V_1 、 W_1 表示；尾端用 U_1' 、 V_1' 、 W_1' 表示），在热继电器 FR_1 的上触点的另一组线段，标号为 U_{11} 、 V_{11} 、 W_{11} ，再经接触器 KM 的上触点，标号为 U_{21} 、 V_{21} 、 W_{21} ，经过熔断器 FU_1 与三相电源线相连，并分别与 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{13} 同电位，因此不再用标号。电动机 M_2 回路的标号可依此类推。这个电路的各回路因共用一个电源，故省去了标号中的百位数字。

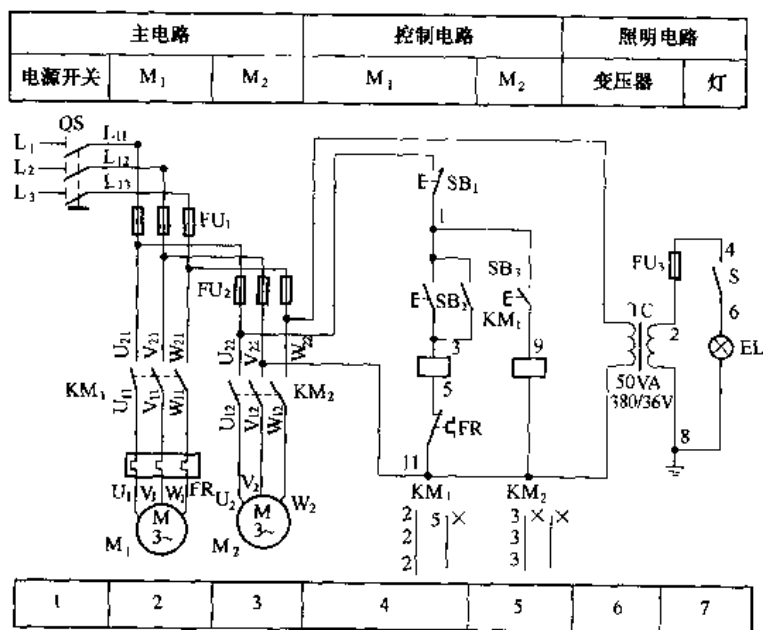


图 2.1.5 电动机中电气控制电路图中的线号标记（一）

对图 2.1.6 所示的单电动机控制电路，由于电路中只有一台电动机，因此标号中不出现表示电动机分号的标记。

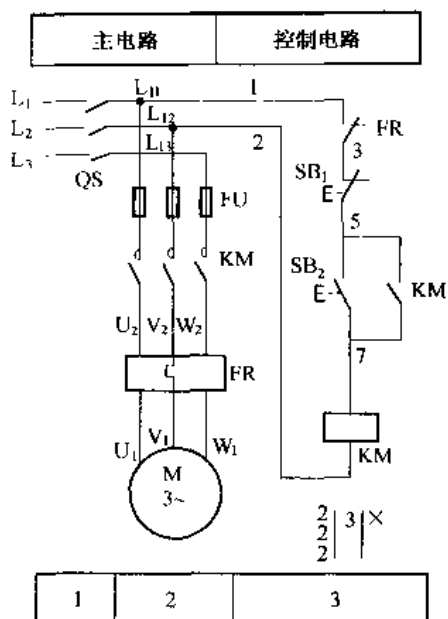


图 2.1.6 电动机中电气控制电路图中的线号标记 (二)

若主回路是直流回路，则按数字标号的个位数的奇偶性来区分回路的极性：正电源侧用奇数，负电源侧用偶数。

② 辅助回路的标号 采用阿拉伯数字编号，一般由三位或三位以下的数字组成。标注方法按“等电位”原则进行，在垂直绘制的电路中，标号顺序一般由上而下编号，凡是被线圈、绕组、触头或电阻、电容等元件所间隔的线段，都应标以不同的电路标号。无论是直流还是交流的辅助回路，标号的标注都有以下两种方法：

a. 常用的标注方法是首先编好控制电路电源引线线号，“1”通常标在控制线的最上方，然后按照控制电路从上到下、从左到右的顺序，以自然序数递增，每经过一个触头，线号依次递增，电位相等的导线线号相同，接地线作为“0”号线，如图 2.1.5 中的控制电路所示。

b. 以压降元件为界，其两侧面的不同线段分别按标号的个位数的奇偶性来依序标号。有时回路中的不同线段较多，标号可连续递增到两位奇偶数，如“11、13、15”、“12、14、16”等。压降元件包括接触器线圈、继电器线圈、电阻、照明灯和电铃等。

在垂直绘制的回路中，线号采用自上而下或自上至中、自下至中的方式，这里的“中”指压降元件所在位置，线号一般标在连接线的右侧。在水平绘制的回路中，线号采用自左而右或自左至中、自右至中的方式，这里的“中”同样是指压降元件所在位置，线号一般标注于连接线的上方。图 2.1.7 是垂直绘制的直流控制电路， K_1 、 K_2 为耗能元件，因此它们上下两侧的线号分别为奇偶数。与正电源相连的是 1 号线，在 K_1 支路中，从上至 K_1 元件，经一个触头后线段的标号为 3 号，再经一个触头后的标号为 5 号；在 K_1 下侧与负电源相联的线段的标号为 2，经一个触头后线段的标号为 4。在 K_2 的支路中，也在 K_2 元件两侧按奇偶数依照 K_1 支路的顺序继续编号。

无论采用哪种标号方式，电路图与接线图上相应的线号应一致。

2. 电气设备安装图

电气设备安装图是按电器元件的实际安装位置和接线绘制的，根据电器元件布置最合理、连接导线最经济等原则来安排。它为电气设备、电器元件之间的配线及检修电气故障等提供了必要的依据。它包括电器布置图和电气安装接线图两种。

(1) 电器布置图是用来表明生产设备上所有电动机、电器元件的实际位置的图纸，它为

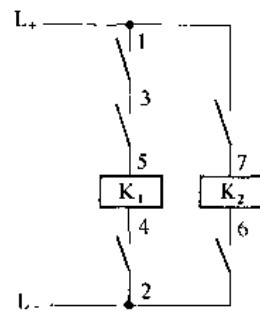


图 2.1.7 线号的奇偶数标记法

电气控制设备的制造、安装、维修提供必要的资料。它一般包括生产设备上的操纵台、操纵箱、电气柜、电动机的位置图，电气柜内电器元件的布置图，操纵台、操纵箱上各元件的布置图等。上述图按复杂程度可集中绘制在一张图上，也可分别绘制。但图中各电器元件的文字符号应与电路图和电器元件清单上的文字符号相同。在电器布置图中，机械设备的轮廓线用细实线或点划线表示，所有可见的和需要表达清楚的电器元件、设备，用粗实线绘出其简单的外形轮廓。各电器元件的安装位置是由机械设备的结构和工作要求决定的，如电动机要和被拖动的机械部件在一起，行程开关应放在要取运行信号的地方，操纵元件放在操纵方便的地方，一般电器元件放在控制框内。

(2) 电气安装接线图是按照电器元件的实际位置和实际接线绘制的，是表示电器元器件、部件、组件或成套装置之间的连接关系的图纸，是电气安装接线、线路检查及维修的依据。根据电器元件布置最合理、连接导线最经济的原则来安排。

电气接线图用来表明电气设备各单元之间的接线关系，并标出所需的数据，如接线端子号、连接导线参数等，便于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理，在生产现场得到广泛应用。

电气安装接线图与电气控制电路图的绘制有很大区别。电气控制电路图以表明电气设备、装置和控制元件之间的相互控制关系为出发点，以使人能明确分析出电路工作过程为目标。电路接线图以表明电气设备、装置和控制元件的具体接线为出发点，以接线方便、布线合理为目标。

电气安装接线图常与电气控制电路图、电器布置图配合使用。它有以下特点：

① 图中表示的电器元件、部件、组件、成套装置都尽量用简单外形轮廓表示（如圆形、方形、矩形等），必要时可用图形符号表示。各电器元件位置应与电器布置图中所在位置基本一致。

在电气安装接线图中，电气设备、装置和电器元件均按照国家规定的电气图形符号绘出，而不考虑其真实结构。各电器元件的图形符号、文字符号等均与电气原理图一致。

② 电气安装接线图必须标明每条线所接的具体位置，每条线都有具体明确的线号。

③ 每个电气设备、装置和电器元件都有明确的位置，并应与实际安装位置一致，而且将每个电器元件的不同部件都画在一起，并且常用虚线框起来。比如，一个接触器是将其线圈、主触头、辅助触头都绘制在一起，并用虚线框起来。有的电器元件用实线框图表示出来，其内部结构全部略去，而只画出外部接线。比如，在半导体集成电路图中只画出集成块的外部接线，而在实线框内只标出电器元件的型号。

④ 不在同一控制箱和同一配电板上的各电器元件的连接是经接线端子板连接的，电气互联关系以线束表示，连接导线应标明导线参数（型号、规格、数量、截面积和颜色等）一般不标注实际走线途径。各电器元件的文字符号及端子板编号应与电路图一致，并按电路图和穿线管尺寸的接线进行连接。对于同一控制箱或同一块配电板上的各电器元件之间的导线连接，可直接连接。

⑤ 走线相同的多根导线可用单线表示。

⑥ 用连续的实线表示端子之间实际存在的导线。当穿越图面的连接线较长时，可将其中断，并在中断处加注相应的标记。

第二节 看电气控制图的方法和步骤

电气控制电路的主电路和控制电路为其主要部分。主电路一般为执行元件及其附加元件所在的电路。控制电路为控制元件和信号元件所组成的电路，主要用来控制主电路工作。

看电路图的一般方法是先看主电路，再看辅助电路，并用辅助电路的各支路去研究主电路的控制程序。

阅读和分析电气控制电路图的方法主要有两种：查线看图法（直接看图法或跟踪追击法）和逻辑代数法（间接读图法）。这里重点介绍查线看图法，通过对某个具体电气控制电路的剖析，学习阅读和分析电气控制电路的方法。

一、电路图的查线看图法

1. 看主电路的步骤

（1）看清主电路中用电设备。用电设备系指消耗电能的用电器具或电气设备，如电动机、电弧炉等。看图首先要看清楚有几个用电器，弄清它们的类别、用途、接线方式及一些不同要求等。

图 2.1.5 中的用电器就是两台电动机 M_1 、 M_2 。以此为例，应了解下列内容：

① 类别 有交流电动机、直流电动机、感应电动机、同步电动机等。一般生产机械中所用的电动机以交流笼形感应电动机为主。

② 用途 有的电动机是带动油泵或水泵的，有的是带动塔轮再传到机械上，如传动脱谷机、碾米机、铡草机等。

③ 接线 有的电动机是 Y（星）形接线或 YY（双星）形接线，有的电动机是 Δ （三角）形接线，有的电动机是 Y - Δ （星 - 三角）形即 Y 形启动、 Δ 形运行。

④ 运行要求 有的电动机要求始终一个速度，有的电动机则要求具有两种速度（低速和高速），还有的电动机是多速运转的，也有的电动机有几种顺向转速和一种反向转速，顺向作功，反向走空车等。

图 2.1.5 中有两台电动机 M_1 和 M_2 。 M_1 是油泵电动机，通过它带动高压油泵，再经液压传动使主轴作功； M_2 是工作台快速电动机。两台电动机接线方法均为 Y 形。

（2）要弄清楚用电设备是用什么电器元件控制的。控制电器设备的方法很多，有的直接用开关控制，有的用各种启动器控制，有的用接触器或继电器控制。图 2.1.5 中的电动机是用接触器控制的。当接触器 KM_1 得电吸合时， M_1 启动；当 KM_2 得电吸合时， M_2 启动。

（3）了解主电路中所用的控制电器及保护电器。前者是指除常规接触器以外的其他电器元件，如电源开关（转换开关及断路器）、万能转换开关等。后者是指短路保护器件及过载保护器件，如断路器中电磁脱扣器及热过载脱扣器、熔断器、热继电器和过电流继电器等。

在图 2.1.5 中，两条主电路中接有电源开关 QS、热继电器 FR 和熔断器 FU_1 ，分别对电动机 M_1 起过载保护和短路保护作用。 FU_2 对电动机 M_2 和控制电路起短路保护作用。

(4) 看电源。要弄清电源电压等级，是 380V 还是 220V，是从母线汇流排供电还是配电屏供电，还是从发电机组接出来的。

一般生产机械所用的电源均是三相、380V、50Hz 的交流电源，对需采用直流电源的设备，往往采用直流发电机供电或整流装置供电。随着电子技术的发展，特别是大功率整流管及晶闸管的出现，一般通过整流装置来获得直流电。

在图 2.1.5 中，电动机 M_1 、 M_2 的电源均为三相 380V。主电路的构成情况是：三相电源 L_1 、 L_2 、 L_3 →电源开关 QS →熔断器 FU_1 →接触器 KM_1 →热断电器 FR →鼠笼式感应电动机 M_1 。另一条支路，熔断器 FU_2 接在熔断器 FU_1 端头 U_{21} 、 V_{21} 、 W_{21} 上→接触器 KM_2 →鼠笼式感应电动机 M_2 。

一般来说，对主电路作如上内容的分析以后，即可分析辅助电路。

2. 看辅助电路的步骤

由于存在着各种不同类型的生产机械设备，它们对电力接动也提出了各不相同的要求，表现在电路图上也就有种种不同的辅助电路。因此要说明如何分析辅助电路，就只能介绍方法和步骤。辅助电路包含控制电路、信号电路和照明电路。

在分析控制电路时，要根据主电路中各电动机和执行电器的控制要求，逐一找出控制电路中的控制环节，用第三章中将要介绍的基本控制电路的知识，将控制电路“化整为零”，按功能不同划分成若干个局部控制电路来进行分析。如果控制电路较复杂，则可先排除照明、显示等与控制关系不密切的电路，以便集中精力分析控制电路。分析控制电路的最基本的方法是“查线看图”法。

(1) 看电源。首先看清电源的种类，是交流的还是直流的，其次，要看清辅助电路的电源是从什么地方接来的，其电压等级是多少。辅助电路的电源一般从主电路的两条相线上接来，其电压为单相 380V。有的从主电路的一条相线和零线上接来，电压为单相 220V；此外，也可以从专用隔离电源变压器接来，电压有 127V、110V、36V、6.3V 等。变压器的一端应接地，各二次线圈的一端也应接在一起并接地。辅助电路为直流时，直流电源可从整流器、发电机组或放大器上接来，其电压一般为 24V、12V、6V、4.5V、3V 等。辅助电路中的一切电器元件的线圈额定电压必须与辅助电路电源电压一致。否则，电压低时电路元件不动作；电压高时，则会把电器元件放圈烧坏。在图 2.1.5 中，辅助电路的电额定从主电路的两条相线上接来，电压为单相 380V。

(2) 了解控制电路中所采用的各种继电器、接触器的用途。如果电路中采用了一些特殊结构的放电器，则应了解它们的动作原理，只有这样，才能了解它们在电路中如何动作以及具有何种用途。

(3) 根据控制电路来研究主电路的动作情况。

分析了上面这些内容再结合主电路中的要求，就可以分析控制电路的动作过程。控制电路总是按动作顺序画在两条水平线或两条垂直线之间的。因此，也就可从左到右或从上到下进行分析。复杂的辅助电路在电路中构成一条大支路，在这条大支路中又分成几条独立的小支路，每条小支路控制一个用电器或一个动作。当某条小支路形成闭合回路有电流流过时，支路中的电器元件（接触器或放电器）便动作，把用电设备接入或切断电源。在控制电路中，一放是靠按钮或转换开关把电路接通的。对控制电路的分析，必须随时结合主电路的动作要

求来进行。只有全面了解主电路对控制电路的要求以后，才能真正掌握控制电路的动作原理。不可孤立地看待各部分的动作原理，而应注意各个动作之间是否有互相制约的关系，如电动机正、反转之间应设有连锁等。在图 2.1.5 中，控制电路有两条支路，即接触器 KM_1 和 KM_2 支路，其动作过程如下：

① 合上电源开关 QS，主电路和辅助电路均有电压，辅助电路由线段 U_{22} 、 V_{22} 和 W_{22} 、 V_{22} 引出。

② 当按下启动按钮 SB_2 时，即形成一条支路，电流经线段 U_{22} →停止按钮 SB_1 →启动按钮 SB_2 →接触器 KM_1 线圈→热继电器 FR→线段 V_{22} 形成回路，使接触器 KM_1 得电吸合。 KM_1 得电吸合，其主电路中的主触头闭合，使电动机 M_1 得电，开始运转。同理，按下启动按钮 SB_3 ，电动机 M_2 开始运转。

在启动按钮 SB_2 两端并接了一个接触器 KM_1 的辅助动合触头 $KM_1(1-3)$ 。其作用是，在松开启动按钮 SB_2 时， SB_2 触头断开，由于此时 KM_1 已启动，其辅助动合触头 $KM_1(1-3)$ 已闭合，电流经辅助触头 $KM_1(1-3)$ 流过，电路不会因启动按钮 SB_2 的松开而失电，辅助触头 $KM_1(1-3)$ 起了自保持作用。对于接触器 KM_2 ，由于工作的要求，不需自保持，当 SB_3 松开，电动机 M_2 即停转。

③ 停车只要按下停止按钮 SB_1 。 SB_1 串联在 KM_1 和 KM_2 电路中。按下停止按钮 SB_1 时，电路开路，接触器 KM_1 失电释放，使主电路中的接触器主触头 KM_1 断开，使电动机失电。当再启动时，必须重新按下启动按钮 SB_2 、 SB_3 。

综上所述，电动机的启动由接触器或继电器控制，而接触器或继电器的吸合或释放则由开关或按钮控制。这种开关或按钮→接触器或继电器→电动机的控制形式，就是机械自动化的基本形式。

(4) 研究电器元件之间的相互关系。电路中的一切电器元件都不是孤立存在的，而是相互联系、相互制约的。这种互相控制的关系有时表现在一条支路中，有时表现在几条支路中。图 2.1.5 的电路比较简单，没有相互控制的电器元件，看图时就省略了这一步。

(5) 研究其他电气设备和电器元件，如整流设备、照明灯等。对于这些电气设备和电器元件，只要知道它们的线路走向以及电路的来龙去脉就行了。在图 2.1.5 中，EL 是局部照明灯，TC 是 380/36V 照明变压器，提供 36V 安全电压。照明灯开关 S 闭合时，照明灯 EL 就亮。

上面所介绍的读图方法和步骤，只是一般的通用方法，需通过具体线路的分析逐步掌握，不断总结，才能提高看图能力。

3. 查线看图法的要点

综上所述，电路图的查线看图法的要点如下：

(1) 分析主电路。从主电路入手，根据每台电动机和执行电器的控制要求去分析各电动机和执行电器的控制内容，包括第三章中将要介绍的电动机启动、转向控制、调速和制动等基本控制电路。

(2) 分析控制电路。根据主电路中各电动机和执行电器的控制要求，逐一找出控制电路中的控制环节，将控制电路“化整为零”，按功能不同划分成若干个局部控制电路来进行分析。如果控制电路较复杂，则可先排除照明、显示等与控制关系不密切的电路，以便集中精力进行分析。

(3) 分析信号、显示电路与照明电路。控制电路中执行元件的工作状态显示、电源显示、

参数测定、故障报警和照明电路等部分，多是由控制电路中的元件来控制的，因此还要回过头来对照控制电路对这部分电路进行分析。

(4) 分析连锁与保护环节。生产机械对于安全性、可靠性有很高的要求，实现这些要求，除了合理地选择拖动、控制方案以外，在控制电路中还设置了一系列电气保护和必要的电气连锁。在电气控制电路图的分析过程中，电气连锁与电气保护环节是一个重要内容，不能遗漏。

(5) 分析特殊控制环节。在某些控制电路中，还设置了一些与主电路、控制电路关系不密切，相对独立的某些特殊环节，如产品计数装置、自动检测系统、晶闸管触发电路和自动调温装置等。这些部分往往自成一个小系统，其看图分析的方法可参照上述分析过程，并灵活运用所学过的电子技术、变流技术、自控系统、检测与转换等知识逐一分析。

(6) 总体检查。经过“化整为零”，逐步分析每一局部电路的工作原理以及各部分之间的控制关系后，还必须用“集零为整”的方法，检查整个控制电路，看是否有遗漏。特别要从整体角度去进一步检查和理解各控制环节之间的联系，以达到清楚地理解电路图中每一个电器元件的作用、工作过程及主要参数。

二、电路图的间接看图法（逻辑代数法）

逻辑代数法是通过电路的逻辑表达式的运算来分析控制电路的，其关键是正确写出电路的逻辑表达式。这种看图方法的优点是，各电器元件之间的联系和制约关系在逻辑表达式中一目了然。通过对逻辑函数的具体运算，一般不会遗漏或看错电路的控制功能。根据逻辑表达式可以迅速正确地得出电路元件是如何得电的，为故障分析提供方便。该方法的主要缺点是，对于复杂的电气线路，其逻辑表达式很繁琐、冗长。但采用逻辑代数法以后，可以对电气电路采用计算机辅助分析的方法进行分析。

逻辑代数又叫做布尔代数、开关代数。逻辑代数的变量只有“1”和“0”两种取值，“0”和“1”分别代表两种对立的、非此即彼的概念，如果“1”代表“真”，“0”即为“假”；“1”代表“有”，“0”代表“无”；“1”代表“高”，“0”代表“低”。在机械设备电气控制电路中，开关的触头只有“闭合”和“断开”两种截然不同的状态；电路中的执行元件如继电器、接触器、电磁阀的线圈也只有“得电”和“失电”两种状态。由它们组成的电路也是一个通、断两态系统。因此可以很方便地用逻辑值“1”和“0”来表示它们的工作状态；用“1”表示触点闭合或线圈得电；“0”表示触头断开或线圈失电。

1. 电器元件的逻辑表示

继电器接触器组成的控制电路，分析其工作状况常以线圈得电或失电来判定。构成线圈得电、失电的条件是供电电源及与线圈相连接的那些动合、动断触头所处的状态。若确认供电电源变不变，则触头的闭合、断开是决定因素。电器触头只存在闭合或断开两种状态，分别用“1”或“0”表示。

对于继电器、接触器、电磁铁、电磁阀和电磁离合器等电器元件，线圈得电状态规定为“1”，触头断开状态规定为“0”。继电器、接触器、控制按钮和开关的触头闭合状态规定为“1”，触头断开状态规定为“0”。

电气控制系统由开关量构成控制时，电路状态与逻辑函数式之间存在对应关系，为将电

路用逻辑函数式的方式描述出来，通常对电器作出如下规定：

用 KM, KA, SQ, \dots 等分别表示接触器、继电器、行程开关等电器的动合（常开）触头； $\overline{KM}, \overline{KA}, \overline{SQ}, \dots$ 等表示动断（常闭）触头。

触头闭合时，逻辑状态为“1”；断开时逻辑状态为“0”；线圈得电时为“1”状态；失电时为“0”状态。表达方式如下：

(1) 线圈状态

$F(KM)、F(KA) = "1"$ ，接触器、继电器线圈处于得电状态。

$F(KM)、F(KA) = "0"$ ，接触器、继电器线圈处于失电状态。

(2) 触头处于非激励或非工作的原始状态

$KM、KA = "0"$ ，接触器、继电器动合触头状态。

$\overline{KM}、\overline{KA} = "1"$ ，接触器、继电器动断触头状态。

$SB = "0"$ ，按钮动合触头状态。

$\overline{SB} = "1"$ ，按钮动断触头状态。

(3) 触头处于激励或工作状态

$KM、KA = "1"$ ，接触器、继电器动合触头状态。

$\overline{KM}、\overline{KA} = "0"$ ，接触器、继电器动断触头状态。

$SB = "1"$ ，按钮动合触头状态。

$\overline{SB} = "0"$ ，按钮动断触头状态。

2. 逻辑运算法则

用逻辑函数来表达电器元件的状态，实质是以触头的状态（以同一字符表示）作为逻辑变量，通过逻辑与、逻辑或、逻辑非的基本运算，得出的运算结果就表明了继电器接触器控制电路的控制作用。逻辑函数的电路实现是十分方便的。

用继电器组成各种逻辑门电路，起到逻辑控制的作用。

(1) 逻辑与——触头串联 图 2.2.1(a)所示的串联电路就实现了逻辑与运算，逻辑与运算用符号“ \cdot ”表示（也可省略），接触器的状态就是其线圈 KM 的状态，当线路接通，线圈 KM 得电，则 $F(KM) = "1"$ ；如果线路断开，线圈 KM 失电，则 $F(KM) = "0"$ 。图 2.2.1(a)的电路就可用逻辑关系式表示为

$$F(KM) = KA_1 \cdot KA_2$$

若将输入逻辑变量 $KA_1、KA_2$ 与输出逻辑变量 KM 可列成表格形式，称此表为真值表。表 2.2.1 即为逻辑与的真值表。

表 2.2.1

逻辑与的真值表

KA_1	KA_2	$F(KM) = KA_1 \cdot KA_2$
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

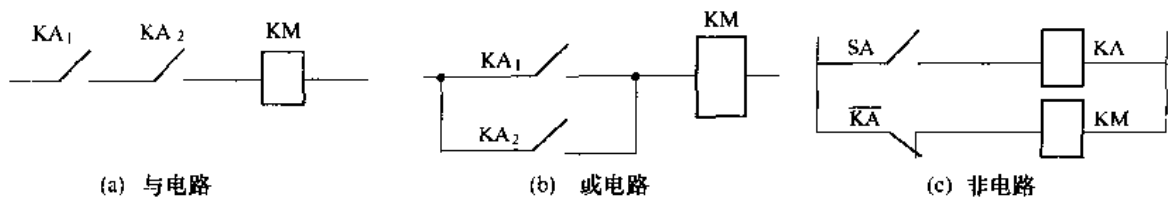


图 2.2.1 与、或、非电路

由真值表可总结逻辑与的运算规律：虽然“0”、“1”不是数值的量度，但其运算法则在形式上与普通数学的乘法运算相同，即见 0 为 0，全 1 为 1。

(2) 逻辑或——触头的并联 图 2.2.1 (b) 所示的并联电路就实现了逻辑或运算，逻辑或运算用符号“+”表示。要表示接触器的状态就要确定线圈 KM 的状态。按照图 2.2.1 (b) 的接线，可列出逻辑或的逻辑关系式

$$F(KM) = KA_1 + KA_2$$

也可按图示接线列出逻辑或状态的真值表，见表 2.2.2。

表 2.2.2 逻辑或的真值表

KA ₁	KA ₂	F(KM) = KA ₁ + KA ₂
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

按其真值表可总结逻辑或的运算规律为：见 1 出 1，全 0 为 0。

(3) 逻辑非 图 2.2.1 (c) 表示电器元件 KA 的动断触头 KA 状态与接触器 KM 线圈状态的控制是逻辑非关系。其逻辑关系表达式为

$$F(KM) = \overline{KA}$$

当 SA 合上时，动断触头 KA 的状态为“0”，则 F(KM) = “0”，线圈不得电，KM 为“0”状态；当 SA 打开时，KA = “1”，则 F(KM) = “1”，线圈得电，接触器得电吸合，KM 为“1”状态。其真值表如表 2.2.3 所示。

表 2.2.3 逻辑非真值表

KA	F(KM) = \overline{KA}
1	0
0	1

有时也称 KA 对 KM 是“非控制”。

以上与、或、非逻辑运算，其逻辑变量不超过两个，但对多个逻辑变量也同样适用。

3. 接触器、继电器控制电路的逻辑函数（电路状态的逻辑表示）

前已说明，继电器、接触器电路是开关电路，符合逻辑规律。它以执行元件作为逻辑函

数的输出变量，而以检测信号、中间单元和输出逻辑变量的反馈触头作为逻辑变量，可按一定规律列出其逻辑表达式。

电路各触头的串联关系可用逻辑“与”，即逻辑乘（·）表达式来表达，触头的并联关系可用逻辑或，即逻辑“加”（+）的表达式来表达。图 2.2.2 所示启动控制电路中的接触器 KM 线圈的逻辑表达式可写成：

$$F(KM) = SB_1 \cdot (SB_2 + KM_{(3-5)})$$

线圈 KM 得电、失电由启动按钮 SB₂、停止按钮 SB₁ 和白锁触头 KM (3-5) 控制。SB₁ 为线圈 KM 的停止条件，SB₂ 线圈 KM 的启动条件，KM (3-5) 具有记忆保持功能。

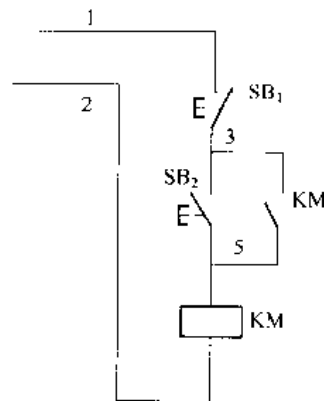


图 2.2.2 接触器按钮启动控制电路

4. 逻辑代数法分析电动机正、反转控制电路

应用逻辑代数法分析的具体步骤如下：

(1) 写出控制电路的各控制元件、执行元件动作条件的逻辑表达式。

(2) 记住初始状态时各逻辑变量的状态，然后假定某一个指令（主令器的操作、按钮按下、压力开关断开等）发生，看哪一个逻辑代数式运算后为“1”，表示等号左边的那个控制元件得电，再将该运算结果代入其他方程式，求出其他控制元件的状态，一直到求出所有出口元件（执行元件）和被控制对象的状态。

对图 2.1.4 所示的控制电路，采用逻辑代数法分析，首先列出控制元件的方程式，正转时，接触器 KM₁ 线圈（用 F(KM₁) 表示，以便区别于其本身的符号）：

$$F(KM_1) = SB_3 \cdot \overline{SB_2(3-5)} \cdot (SB_1(5-7) + KM_1(5-7)) \cdot \overline{KM_2(7-9)} \cdot FR$$

反转时，接触器 KM₂ 线圈：

$$F(KM_2) = SB_3 \cdot \overline{SB_1(3-11)} \cdot (SB_2(11-13) + KM_2(11-13)) \cdot \overline{KM_1(13-15)} \cdot FR$$

然后根据指令求解上述逻辑方程。如果运算结果为“1”，则表示接触器（继电器）的电磁线圈得电吸合或指示灯亮；若运算结果为“0”，则结论相反。接下来考察相应的执行元件的动作情况，按下正转按钮，SB₁(5-7) = 1，则

$$F(KM_1) = 1 \cdot 1 \cdot (1 + KM_2(7-9)) \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$F(KM_2) = 1 \cdot 0 \cdot (0 + KM_1(13-15)) \cdot 0 \cdot 1 = 0$$

由于 F(KM₁) = 1，正转接触器 KM₁ 得电吸合，其动断触头 KM₁(13-15) 打开，使反转接触器 KM₂ 不能得电，防止将电源短路；其主触头闭合，使风机正转；辅助动合触头 KM₁(5-7) 闭合，进行自锁。

同理，若按下反转按钮，SB₂(11-13) = 1，则 F(KM₁) = 0，F(KM₂) = 1，KM₂ 得电吸合，使风机正转；其辅助动断触头 KM₂(7-9) 断开，使正转接触器 KM₁ 不能得电，防止误操作造成电源短路。

这种逻辑代数看图法一般用于比较复杂的继电器、接触器控制电路。该看图法可用于验证继电器、接触器控制电路的设计是否合理，是否存在“竞争”、“冒险”等情况。

在实际分析电气控制电路时，直接读图法和间接读图法既可单独使用，也可混合使用。

三、看电气控制安装接线图的方法和步骤

学会看电路图是学会看电气控制安装接线图（下称安装接线图）的基础，学会看安装接线图是进行实际接线的基础；反过来，通过对具体电路接线，又会促进看安装接线图和看电路图能力的提高。

看安装接线图，首先应对电气控制电路图弄得很清楚，然后再结合电气控制电路图看安装接线图，这是看懂安装接线图最好的方法。

看安装接线图的一般规律是：

(1) 分析清楚电气控制电路图中主电路和辅助电路所含有的电器元件，弄清楚每个电器元件的动作原理。要特别弄清楚辅助电路中电器元件之间的关系，弄清楚辅助电路中有哪些电器元件与主路有关系。

(2) 弄清楚电气控制电路图和安装接线图中电器元件的对应关系。在电气控制电路图中，表示电器元件的图形符号与安装接线图中的图形符号都是按照国家标准规定的图形符号绘制的，但是电气控制电路图是根据电路工作原理绘制的，而安装接线图是按电路实际接线绘制的，因而同一个元器件在两种图中的绘制方法可能有些区别。例如，接触器、继电器、热继电器和时间继电器等在电气控制电路图中是将它们的线圈和触头画在不同位置（不同支路中），在安装接线图中是将同一个继电器的线圈和触头画在一起。

(3) 弄清楚安装接线图中接线导线的根数和所用导线的具体规格。通过对安装接线图进行细致观察，可以确定所需导线的准确根数和所用导线的具体规格。

在很多安装接线图中并不标明导线的具体型号、规格，而是将电路中所有元器件和导线型号列入元件明细表中。

如果安装接线图中没有标明导线的型号、规格，而明细表中也没有注明导线的型号、规格，则需要接线人员做出选择。

(4) 在安装接线图中，主电路的看图与电气控制电路图的主电路的看图方法恰恰相反。看电气控制电路图的主电路时，是从下到上，即先看用电器，再看是什么电器元件来控制用电器的；而看电气安装接线图的主电路时，是从引入的电源线开始，顺次往下看，直到电动机，主要看用电设备是通过哪些电器元件而获得电源的。

(5) 看辅助电路要按每条小支路去看，每条小支路要从电源顺线去查，经过哪些电气元件后又回到另一相电源。按动作顺序了解各条小支路的作用，主要目的是明白辅助电路是怎样控制电动机的。

(6) 根据安装接线图中的线号，研究主电路的线路走向和连接方法。

图 2.2.3 为按图 2.1.5 电路图绘制的 B690 型液压牛头刨床电气安装接线图。

以图 2.2.3 为例，说明安装接线图的看图步骤如下：

首先，根据线号了解主电路的线路走向和连接方法。电源与电动机 M 之间连接线要经过配电盘端子→刀开关 QS→接触器 KM 的主触头（三副主触头）→配电盘端子→电动机接线盒的接线柱。

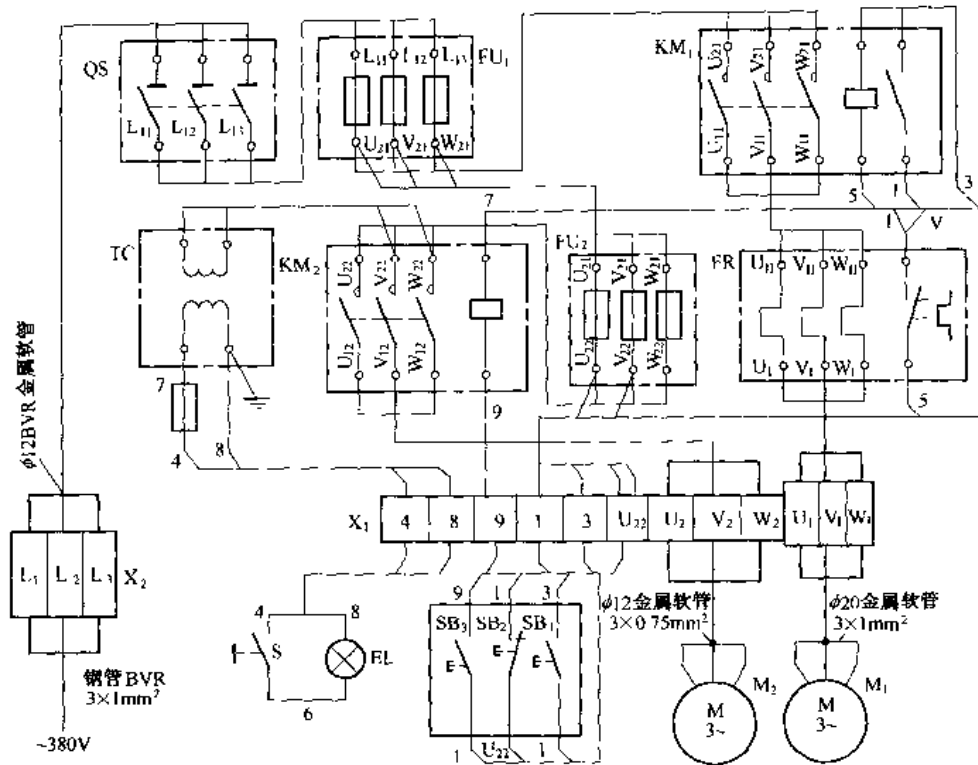


图 2.2.3 B690 型液压牛头刨床电气安装接线图

在图 2.2.3 中，三相电源经接线端子排 X_2 的 L_1 、 L_2 、 L_3 三条线与电源开关 QS 的 3 个接线端子相连，其另一出线端子 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{13} 与熔断器 FU_1 的 3 个进线端钮相接， FU_1 的另 3 个出线端子 U_{21} 、 V_{21} 、 W_{21} 与接触器 KM_1 的 3 个进线端子相连。 KM_1 的出线端子 U_{11} 、 V_{11} 、 W_{11} 和热继电器 FR 的发热元件端子连接，发热元件的 3 个出线端子 U_1 、 V_1 、 W_1 ，通过端子排 U_1 、 V_1 、 W_1 经 $\phi 20$ 穿线管和电动机 M_1 连接，使电动机 M_1 获得三相电源线。

在图 2.2.3 中，熔断器 FU_1 的出线端子 U_{21} 、 V_{21} 、 W_{21} 除与 KM_1 连接外，还与熔断器 FU_2 的 3 个接线端子连接。 FU_2 的出线端子 U_{22} 、 V_{22} 、 W_{22} 与接触器 KM_2 进线端子连接， KM_2 的出线端子 U_{12} 、 V_{12} 、 W_{12} 经端子排 X_1 的 U_2 、 V_2 、 W_2 号端子经 $\phi 12$ 穿线管（金属软包管）与电动机 M_2 连接，使电动机 M_2 获得三相电源。

其次，根据线号了解控制电路是怎样接成闭合回路而工作的。从图 2.1.5 所示电路图可知，控制电路有两条支路：即接触器 KM_1 线圈支路和接触器 KM_2 线圈支路。这两条支路的电源线是从熔断器 FU_2 的出线端子 U_{22} ，通过端子排 X_1 的 U_{22} 端子接到停止按钮 SB_1 触头，用线段 1 和启动按钮 SB_2 及 SB_3 的触头连接，用线段 3 经端子排 X_1 的 3 号端子排接到接触器 KM_1 的线圈和辅助动合触头上，用 1 号线段接到接触器 KM_1 线圈的另一个触头上，用 5 号将 KM_1 线圈另一端与热继电器 FR 动断触头连接。用 7 号线段将 FR 触头的另一端、 KM_2 线圈与熔断器 FU_2 的出线端子 V_{22} 连接，这样，接成了一个闭合回路，使 M_1 启动，用线段 3、1 经端子排 X_1 的 3、1 号端子，使 KM_1 的辅助触头与启动按钮 SB_2 触头并联。

接触器 KM_2 线圈支路的电源线也是从熔断器 FU_2 的 U_{22} 的端子接出的，通过停止按钮 SB_1 的 1 号线段而接到 SB_3 ，然后经端子排 X_1 的 9 号端子经线段 9 与 KM_2 的线圈连接， KM_2 线圈另一端点经线段 7 和 FU_2 的 V_{22} 号端子相连。这样，又接成了一条闭合回路。当按下启动按钮

SB₃时,接触器 KM₂得电吸合,其主触头闭合,使电动机 M₂得电,带动工作台快速移动。因其没有接触器辅助触头并联,当松开按钮 SB₃时,电路即断开,电动机 M₂被脱离电源。

照明变压器 TC 的电源由 FU₂ 的 U₂₂、V₂₂ 端子接到 TC 的一次侧,TC 的二次侧经线段 4、8,通过端子排 X₁ 的 4、8 号端子接至开关 S 和照明灯 EL 上。

实现机械的启动、调速、反转和制动是电力拖动的主要环节,一切电气装置都是为这种电力拖动服务的。图 2.2.3 正是利用按钮→接触器→电动机的控制形式来实现电力拖动的。因此按钮、接触器和电动机是该图的主要部分,把这三种电器元件相互控制的关系弄清楚,此图就看懂了。其他保护装置,如热继电器 FR,熔断器 FU₁、FU₂ 都是为电动机的安全运转服务的。

根据线号分析辅助电路的线路走向时,先从辅助电路电源引入端开始,再依次研究每条支路的线路走向。

在实际电路接线过程中,主电路和辅助电路是分先后顺序接线的。这样做的原因,是为了避免主电路、控制电路线路混杂。另外,主电路和控制电路所用导线号规格也不相同。

第三节 看图时设定的助记符

在下面的几章中,在叙述电路工作原理时,除采用文字叙述、电器元件动作顺序表外,还将采用用助记符表示的电器元件动作顺序表。这样,除采用电器元件的文字符号外,还将接触器、继电器、电磁铁等的电磁线圈和触头,以及按钮、行程开关、转换开关触头的工作状态,用相应的助记符来代表,如表 2.3.1 所示。

在“自然状态”下,只用其文字符号表示,动断触头在其文字符号上方加上一横杠表示。接触器、继电器、电磁铁线圈得电吸合,触头动作,按钮行程开关受压(受外力作用),电子元件导通等,均在其文字符号的右上方用“+”号(即上标)表示;接触器、继电器、电磁铁线圈失电释放,触头复位,按钮行程开关受压撤销(受外力作用撤销)复位,电子元件截止等,均在其文字符号的右上方用“-”号表示。因此,在“自然状态”下,只需在文字符号上方加上一横杠来表示动断触头,其右上角没有“+”或“-”号。

当一个电器元件动作后引起另一个电器元件动作时,用符号“→”表示。当一个电器元件动作由另一个电器元件动作而引起时,用符号“←”表示。

查线看数法,比较直观,特别是用助记符表示时,其动作顺序表达得更清楚。

表 2.3.1 看图时设定的助记符

类别	助记符	含义
接触器线圈	KM ₁ ⁺	接触器 KM ₁ 得电吸合,主触头闭合
	KM ₁ □ ⁺	接触器 KM ₁ 得电吸合并自锁,主触头闭合
	KM ₁ ⁻	接触器 KM ₁ 失电释放,主触头断开
	KM ₁ □ ⁻	接触器 KM ₁ 失电释放并解除自锁,主触头断开
继电器线圈	KA ₁ ⁺	继电器 KA ₁ 得电吸合
	KA ₁ □ ⁺	继电器 KA ₁ 得电吸合并自锁
	KA ₁ ⁻	继电器 KA ₁ 失电释放
	KA ₁ □ ⁻	继电器 KA ₁ 失电释放并解除自锁

续表

类别	助记符	含义
时间继电器线圈	$(\#)KT_1^+$ $(\#)KT_{11}^+$ $(\#)KT_1$ $(\#)KT_{11}$	(断电延时) 通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合 (断电延时) 通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合并自锁 (断电延时) 通电延时时间继电器 KT_1 失电释放 (断电延时) 通电延时时间继电器 KT_1 失电释放并解除自锁
触头	$KM_1 (\text{□-□})^+$ $KA_1 (\text{□-□})^+$ $KT_1 (\text{□-□})^+$ $\#KT_1 (\text{□-□})^+$ $*(\#)KT_1 (\text{□-□})^+$ $\overline{KM_1 (\text{□-□})^+}$ $\overline{KA_1 (\text{□-□})^+}$ $\overline{KT_1 (\text{□-□})^+}$ $\# \overline{KT_1 (\text{□-□})^+}$ $*(\#) \overline{KT_1 (\text{□-□})^+}$ $KM_1 (\text{□-□})^-$ $KA_1 (\text{□-□})^-$ $KT_1 (\text{□-□})^-$ $\#KT_1 (\text{□-□})^-$ $*\#KT_1 (\text{□-□})^-$ $\overline{KM_1 (\text{□-□})^-}$ $\overline{KA_1 (\text{□-□})^-}$ $\overline{KT_1 (\text{□-□})^-}$ $\# \overline{KT_1 (\text{□-□})^-}$ $*(\#) \overline{KT_1 (\text{□-□})^-}$	KM_1 的辅助动合触头 $KM_1 (\text{□-□})$ 闭合 KA_1 的动合触头 $KA_1 (\text{□-□})$ 闭合 通电延时的延时闭合的动合触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 闭合 断电延时的延时断开的动合触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 在 KT_1 得电后立即闭合 (断电延时) 通电延时的瞬动的动合触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 立即闭合 KM_1 的辅助动断触头 $KM_1 (\text{□-□})$ 断开 KA_1 的动断触头 $KA_1 (\text{□-□})$ 断开 通电延时的延时断开的动断触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 断开 断电延时的延时闭合的动断触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 在 KT_1 得电后立即断开 (断电延时) 通电延时的瞬动的动断触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 立即断开 辅助动合触头 $KM_1 (\text{□-□})$ 复位断开 动合触头 $KA_1 (\text{□-□})$ 复位断开 通电延时的延时闭合的动合触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 复位断开 断电延时的延时断开的动合触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 在 KT_1 失电后延时复位断开 (断电延时) 通电延时的瞬动的动合触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 在 $(\#)KT_1$ 失电后立即复位断开 辅助动断触头 $KM_1 (\text{□-□})$ 复位闭合 动断触头 $KA_1 (\text{□-□})$ 复合闭合 通电延时的延时断开的动断触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 在 KT_1 失电后立即复位闭合 断电延时的延时闭合的动断触头 $KT_1 (\text{□-□})$ 在 KT_1 失电后延时复位闭合 (断电延时) 通电延时的瞬动的动断触头 $(\#)KT_1 (\text{□-□})$ 在 KT_1 失电后立即复位闭合
按钮行程开关转换开关	SB_1^+ SB_1^- SB_1^- SQ_1^+ SQ_1^- $SB_1 (\text{□-□})^+$	压下按钮后再松开 按钮 SB_1 受压 按钮 SB_1 受压消失复位 行程开关 SQ_1 受压 行程开关 SQ_1 受压消失复位 按钮 SB_1 的动合触头 $SB_1 (\text{□-□})$ 受压闭合
按钮行程开关转换开关	$\overline{SQ_1 (\text{□-□})^+}$ $\overline{SB_1 (\text{□-□})^+}$ $\overline{SQ_1 (\text{□-□})^+}$ $SB_1 (\text{□-□})^-$ $SQ_1 (\text{□-□})^-$ $\overline{SB_1 (\text{□-□})^-}$ $\overline{SQ_1 (\text{□-□})^-}$	行程开关 SQ_1 的动合触头 $SQ_1 (\text{□-□})$ 受压闭合 按钮 SB_1 的动断触头 $SB_1 (\text{□-□})$ 受压断开 行程开关 SQ_1 的动断触头 $SQ_1 (\text{□-□})$ 受压断开 按钮 SB_1 的动合触头 $SB_1 (\text{□-□})$ 复位断开 行程开关 SQ_1 的动合触头 $SQ_1 (\text{□-□})$ 复位断开 按钮 SB_1 的动断触头 $SB_1 (\text{□-□})$ 复位闭合 行程开关 SQ_1 的动断触头 $SQ_1 (\text{□-□})$ 复位闭合
其他	Δ ∇ $A \rightarrow B$ $A \leftarrow B$ Δt (□-□) $[\text{□}]$ $\text{---} \text{⊙} \text{---}$	为某电器元件得电提供条件 使某电器元件不能得电提供保障 表示由 A 引起 B 动作 表示 A 受 B 控制 表示延时推动其他电器元件动作 文字符号后面括弧内的阿拉伯数字, 是该电器元件触头的代号 方括号内的阿拉伯数字, 是该电器元件或其触头所在图区的代号 元器件动作顺序前后衔接, 圆圈内的英文字母为衔接点

第三章 组成电气控制电路的基本规律 及保护措施

组成电气控制电路的基本规律有：按电气连锁进行控制的规律和按控制过程的变化参量进行控制的规律。前者包括启动与停止控制（自锁电路）、正反向接触器间的互锁控制、实现按顺序工作时的连锁控制、连续工作与点动工作的连锁控制、多地或条件的连锁控制、自动循环控制等；后者包括按时间、电流、行程、速度等原则控制的规律。

第一节 按电气连锁规律组成的基本控制电路

一台机械有较多的运动部件，这些部件根据工艺要求或保护要求的不同，应有互相配合、互相制约、按先后顺序等各种要求。例如，电梯及升降机械的上、下运行不能同时进行，机械加工车床的主轴必须在油泵电动机启动使齿轮箱有充足的润滑油后才能启动。又例如，龙门刨床的工作台运动时不允许刀架移动等。这些要求若用电气控制来实现，就称为电气连锁或工作连锁保护。同时，电气控制系统本身也有互相制约、按先后顺序等各种要求，这也由电气连锁来实现。

实际上，电气连锁控制就是顺序控制，就是将各种控制电器及其触头，按照一定的逻辑关系组合来实现控制系统的要求。

连锁控制分为自锁、互相制约（互锁）、按先决条件制约、选择制约、两地或多地操作控制等。

一、启动停止控制电路（自锁电路）

图 3.1.1 所示为笼形感应电动机单向全压启动、停止控制电路。主电路由刀开关 QS、熔断器 FU、接触器 KM 主触头、热继电器 FR 的热元件和电动机 M 组成。控制电路由热继电器 FR 的动断触头 FR (5-7)、停止按钮 SB₁、启动按钮 SB₂、接触器 KM 的线圈及其辅助动合触头 KM (3-5) 组成，这是最典型的启动、停止控制电路。

启动时，合上开关 QS，按下按钮 SB₂，则接触器 KM 线圈得电吸合（以下简称为 KM 得电吸合，其他电器元件相同），其主触头闭合，电动机接通电源开始启动运转，同时与启动按钮 SB₂ 并联的 KM 的辅助动合触头 KM (3-5) 也闭合，使 KM 的吸引线圈经两条路径得电。这样当松开 SB₂ 时，SB₂ 自动复位断开，KM 线圈通过其自身辅助动合触头 KM (3-5) 和停

止按钮 SB_1 的串联支路继续保持得电，从而保证电动机 M 连续运转。这种依靠接触器自身辅助动合触头保持线圈得电的电路，称为自锁或自保电路，起自锁作用的动合触头被称为自锁触头或自保触头。

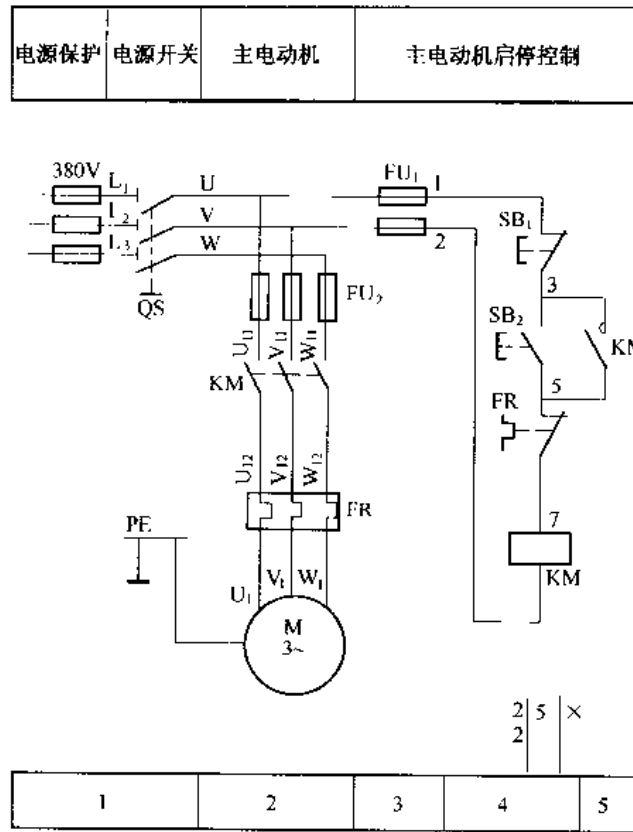


图 3.1.1 电动机长动控制电路

要使电动机停止转动，只要按下停止按钮 SB_1 即可。按下 SB_1 ，切断 KM 线圈电路，使 KM 线圈失电释放（以下简称为 KM 失电释放，其他电器元件相同），则 KM 的主触头断开电源，电动机停转，同时辅助动合触头 KM (3-5) 也断开，控制电路解除自锁，控制回路也不能再自行启动，松开 SB_1 后， KM 线圈已不能再依靠自锁触头得电了，因为原先闭合的自锁触头已在 SB_1 复位之前断开。若使电动机重新运转，则必须进行第二次启动。

上述过程可用电器元件动作顺序表示为：

启动：按下 $SB_2 \rightarrow KM$ 线圈得电吸合 \rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} KM(3-5) \text{ 闭合（接通控制电路），自锁} \\ KM \text{ 主触头闭合} \rightarrow \text{电动机 } M \text{ 启动运转} \end{array} \right.$

停止：按下 $SB_1 \rightarrow KM$ 失电释放 \rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} KM(3-5) \text{ 断开，解除自锁} \\ KM \text{ 主触头断开} \rightarrow \text{电动机 } M \text{ 停转} \end{array} \right.$

用助记符表示则为：

启动： $SB_2^- \rightarrow KM_1^+ \rightarrow M^+$

停止： $SB_1^+ \rightarrow KM_1^- \rightarrow M^-$

按下启动按钮，电动机转动；松开按钮后，电动机停转。这种控制称为点动控制。

按下启动按钮后松开按钮，电动机能够连续运行，只有按下停车按钮时电动机才停止，这种具有记忆功能的电路称为自锁电路。

二、互锁控制电路 —— 接触器按钮正反转控制电路

在生产实践中，很多设备需要两个相反的运行方向。例如，主轴的正向转动或反向转动，机床工作台的前进或后退，起重机吊钩的上升或下降等，这就要求电动机能正、反向运行；三相感应电动机可借助正、反向接触器改变定子绕组电源相序来实现正、反向运行，电路如图 3.1.2 所示。

【看图思路】

主电路（见图 3.1.2 (a)）采用两只接触器 KM_1 和 KM_2 ，分别控制电动机 M 的正向运行和反向运行。这两只接触器主触头所接通的电源相序不同，接触器 KM_1 按 $L_1-L_2-L_3$ 相序接线，接触器 KM_2 则按 $L_3-L_2-L_1$ 相序接线，这实质上是两个方向相反的单向运行控制电路的组合，由启动按钮 SB_2 和 KM_1 线圈等组成电动机 M 的正向运行控制电路，由启动按钮 SB_3 与 KM_2 线圈等组成电动机 M 的反向运行控制电路，如图 3.1.2 (b) 所示。

由图 3.1.2 (b) 可以看出，当按下正转启动按钮时， KM_1 得电吸合并自锁，其主触头闭合，接通正相序电源，电动机 M 正向运行。但此时如果按下反转启动按钮 SB_3 ，则 KM_2 得电吸合，其主触头闭合，将接通反相序电源。由于 KM_1 和 KM_2 同时得电吸合，它们的主触头同时闭合，将造成两相（ $L_1、L_3$ ）短路。这样，需要反转时，必须先按下停止按钮 SB_1 使电动机 M 停转，然后才能按反转启动按钮 SB_3 使电动机反转启动。这样操作起来极不方便，而若直接操作反转启动按钮，则会发生两相短路故障，因此这种电路不能被采用。

为了防止误操作，保证每次只允许一只接触器得电吸合，而另一只接触器不能得电吸合，因此两只接触器间需要有一种连锁关系，互串对方接触器或复合启动按钮的动断触头。在 KM_2 线圈电路中串接 KM_1 的辅助动合触头或复合启动按钮 SB_2 的动断触头，在 KM_1 线圈电路中串接 KM_2 的辅助动断触头或 SB_3 的动断触头，如图 3.1.2 (c)、(d)、(e) 所示。

【看图实践】

(1) 图 3.1.2 (c) 所示的电路

按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M 正转启动；同时 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (7-8) 断开，使 KM_2 无法得电，实现互锁。若需要电动机 M 反转，则只有按下停止按钮 SB_1 ，使 KM_1 失电释放，其主触头断开，电动机 M 停转，同时其辅助动断触头 KM_1 (7-8) 复位闭合后， KM_2 才有得电条件。这时，按下反转启动按钮 SB_3 ，使接触器 KM_2 得电吸合并自锁，电动机 M 反转启动；同时 KM_2 的辅助动断触头 KM_2 (5-6) 断开，使 KM_1 无法得电，实现互锁。这种利用接触器的辅助动断触头的连锁称为电气连锁或接触器连锁，它能有效防止由于误操作而引起的相间短路故障。但是，该电路只能实现“正→停→反”或“反→停→正”，若使电动机由正转变为反转（或由反转变正转），则必须先按下停止按钮 SB_1 后，才能再反向（或正向）启动，这样操作极不方便。

(2) 图 3.1.2 (d) 的电路

按下正转复合启动按钮 SB_2 ，其动合触头 $SB_2(4-5)$ 闭合，使 KM_1 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M 正转启动；其动断触头 $SB_1(7-8)$ 断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁。若需电动机 M 反转，按下反转复合启动按钮 SB_3 ，其动断触头 $SB_3(5-6)$ 首先断开，使 KM_1 失电释放，电动机停转，然后其动合触头 $SB_3(4-7)$ 闭合，使 KM_2 得电吸合，电动机 M 反转启动，这样若改变电动机的旋转方向，当中就不必再按停止按钮 SB_1 ，可直接操作正反转复合启动按钮 SB_2 、 SB_3 ，就能实现电动机的正反转互换，给操作带来了方便。这种利用复合按钮的动合、动断触头在电路中起相互制约的接法，称为机械连锁或按钮连锁。该电路能实现“正→反→停”或“反→正→停”控制。

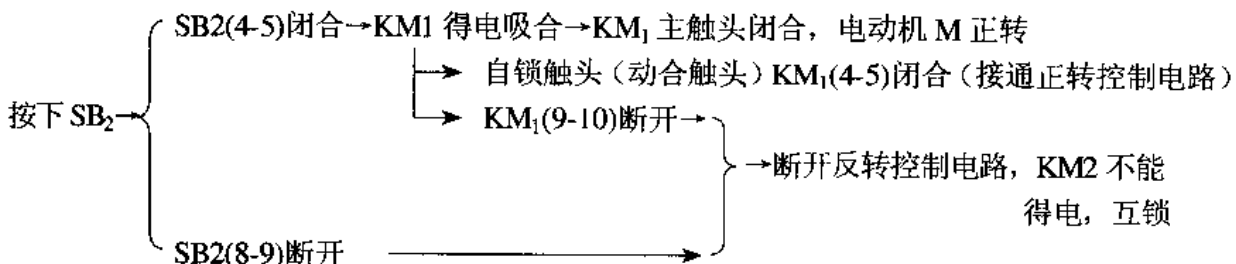
复合按钮具有连锁功能，但工作不可靠，因为在实际使用中，由于短路或大电流的长期作用，接触器主触头会被强烈的电弧“烧焊”在一起，或者当接触器的机构失灵，使主触头不能断开，这时若另一接触器动作，将会造成电源短路事故。如果采用接触器的动断触头进行连锁，不论什么原因，当一个接触器处于吸合状态，其连锁动断触头必将另一接触器的线圈电路切断，从而避免事故的发生。

若把两种连锁结合起来，就可以解决上述不足。把同时具有电气、机械双重连锁控制电路，称为复合连锁控制电路，如图 3.1.2 (e) 所示，它既能实现“正→停→反→停”控制，又能实现“正→反→停”控制。这种控制线路兼有接触器连锁和按钮连锁的优点，操作方便、安全可靠且反转迅速，因此应用甚广。

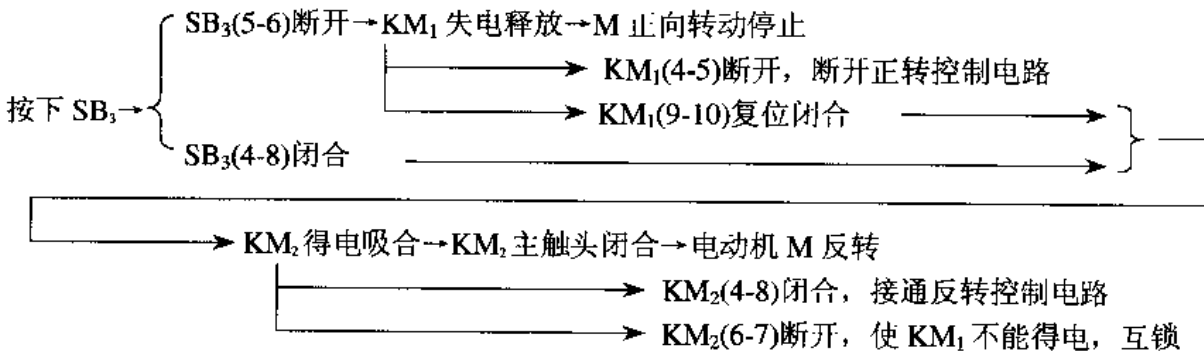
(3) 图 3.1.2 (e) 所示的电路

① 电器元件动作顺序

1) 正向启动:



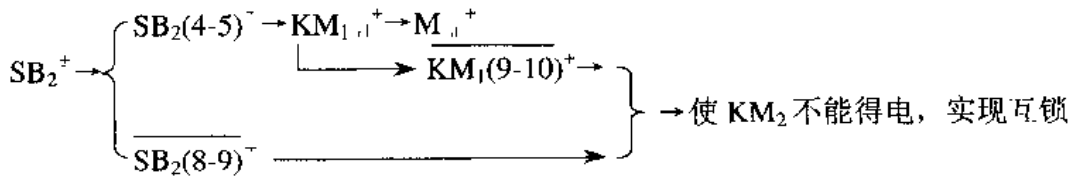
2) 反向启动:



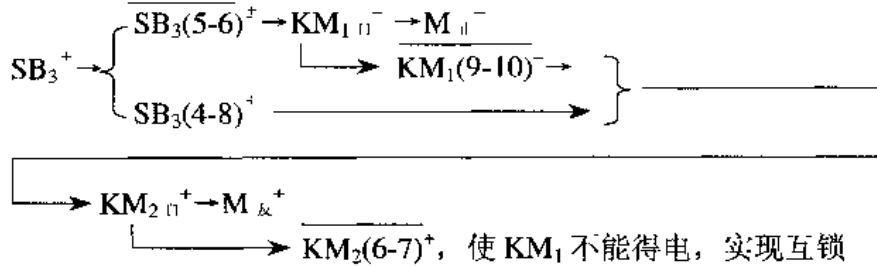
3) 停止: 按下 SB_1 → KM_2 失电释放 → 电动机反转停止转动。

② 电器元件动作顺序用助记符表示

1) 正向启动:



2) 反向启动:



【看图小结】

若要求甲、乙两只接触器不能同时接通，则可在其线圈前互串对方的辅助动断触头，即在乙接触器线圈前串接甲接触器的辅助动断触头，在甲接触器线圈前串接乙接触器的辅助动断触头，这样可保证每次最多只能有一只接触器得电，而另一只则不能得电，这种逻辑关系称为互锁。互锁实际上是一种连锁关系，之所以这样称谓，是为了强调触头之间的互锁作用。

有时根据控制的需要，将若干个继电器作为一组，在同一组中的继电器同时只准许一个继电器吸合，又必须将其余的继电器锁定在释放状态，这就要用到互锁电路。

互锁电路又称为先动作优先电路，即先按下的启动开关所控制的继电器吸合，而后按下的启动开关所控制的继电器被锁定在释放状态。若同时按下两个启动开关，则动作快者有效。

三、按先决条件制约的连锁（顺序）控制电路

在实际生产中，对装有多台电动机的生产机械，由于每台电动机所起的作用不同，有时需要按一定的先后顺序启动，才能符合生产工艺规程的要求，保证安全生产。如铣床工作台的进给电动机必须在主轴电动机已启动工作的条件下才能启动工作，自动加工设备必须在前一工步已完成，转换控制条件具备，方可进入新的工步。还有一些设备要求液压泵电动机首先启动，正常供液后，其他动力部件的驱动电动机方可启动工作。这种有先后顺序的电动机控制方式称为电动机的顺序控制或连锁控制。

两台电动机的动作顺序控制可以通过主电路连锁或控制电路连锁来实现。

1. 通过控制电路连锁实现两台电动机的顺序控制

电路如图 3.1.3 所示，要求电动机 M_1 启动后，才能启动电动机 M_2 。其中图 (a) 为主电路，图 (b) ~ (k) 为控制电路。

【看图思路】

(1) 对于图 3.1.3 (b) 所示的电路，由于 KM_1 、 KM_2 的辅助动合触头 $KM_1(7-9)$ 、 $KM_2(9-11)$ 串联后，与启动按钮 SB_2 并联，因此能实现电动机 M_1 和 M_2 同时启动、同时停止的控制要求。

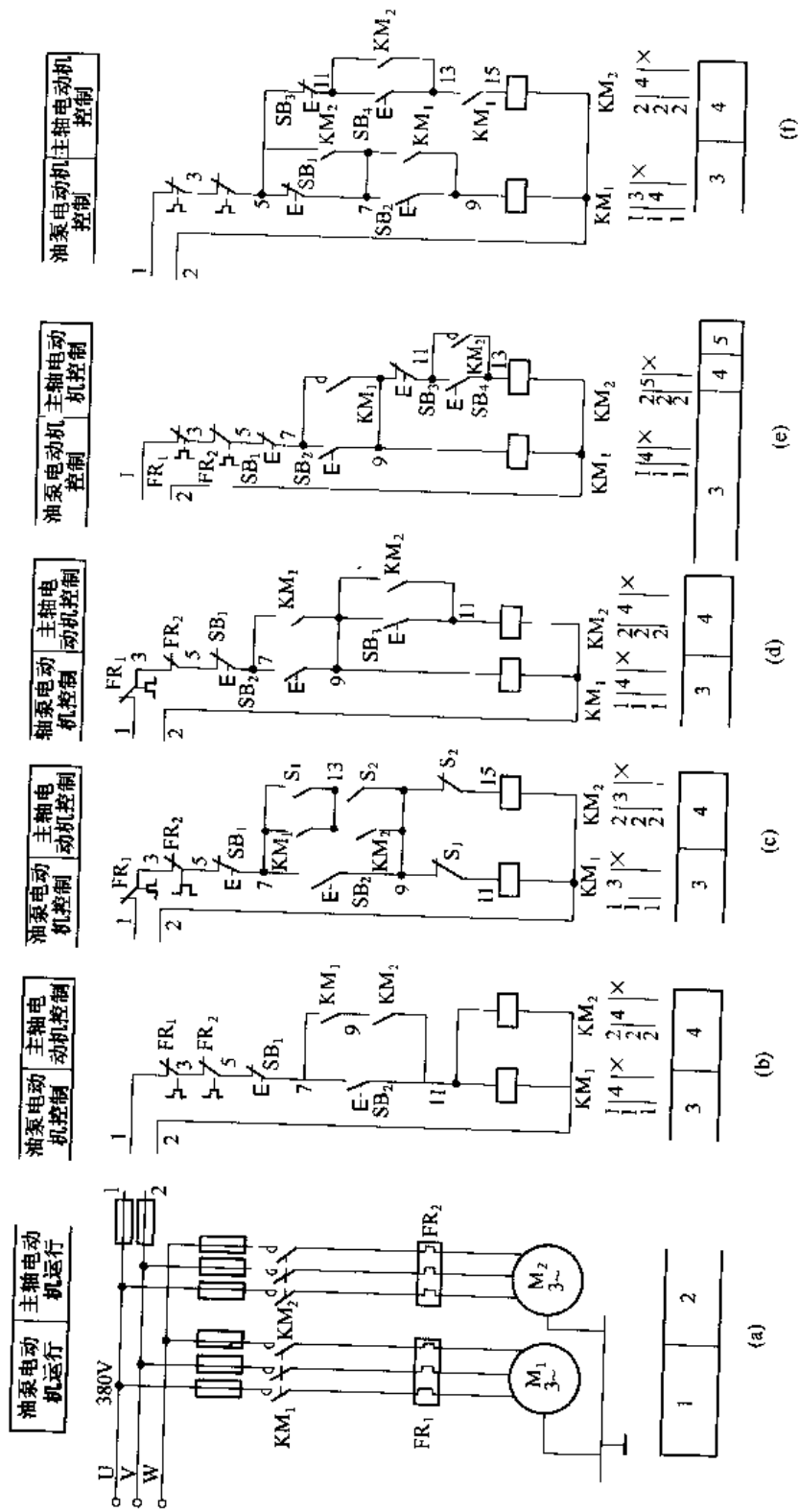


图 3.1.3 控制电路连锁的控制电路 (一)

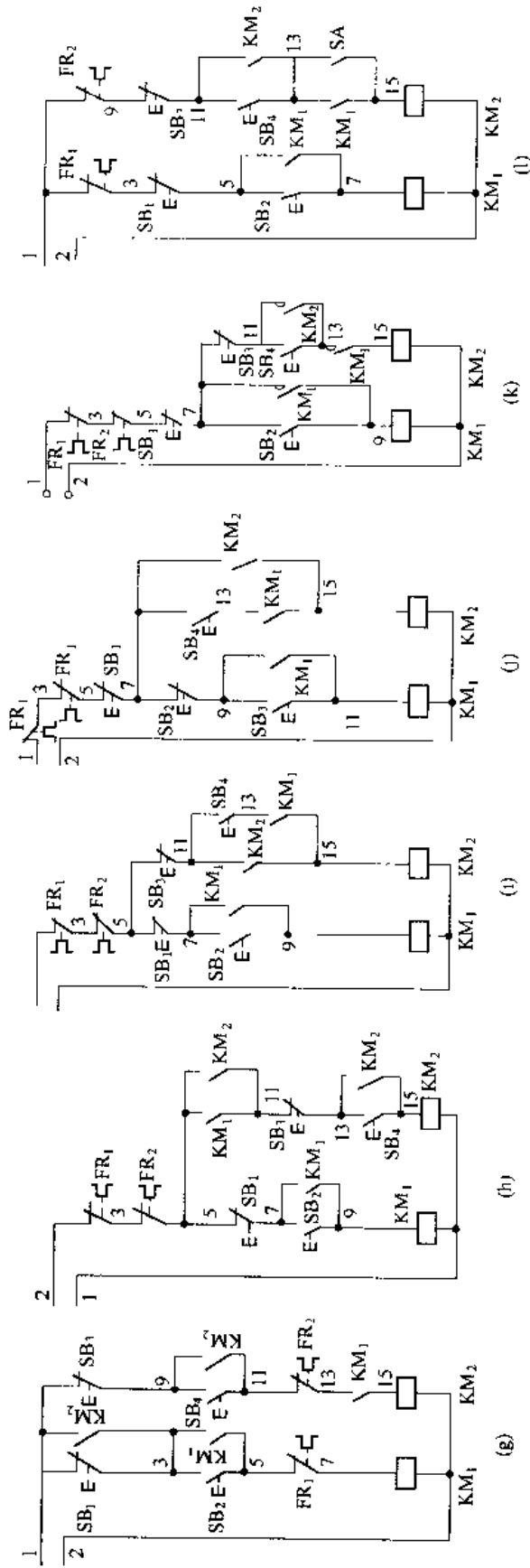


图 3.1.3 控制电路连锁的控制电路 (二)

(2) 对于图 3.1.3 (c) 所示的电路, 该电路为在图 3.1.3 (b) 电路基础上, 增加了复合开关 S_1 和 S_2 。开关 S_1 和 S_2 的触头在图示状态下, 图 (c) 电路与图 (b) 电路完全相同, 能实现电动机 M_1 和 M_2 的同时启动、同时停止。若将 S_2 的动断触头 S_2 (9-15) 断开而动合触头 S_2 (9-13) 闭合, 就构成了电动机 M_1 的单独控制电路, 若将 S_1 的动断触头 S_1 (9-11) 断开而动合触头 S_1 (7-13) 闭合, 就构成了电动机 M_2 的单独控制电路, 因此该电路还能实现单独控制。

(3) 对于图 3.1.3 (d) 所示的电路, KM_2 的线圈电路接在控制 M_1 的 KM_1 线圈电路的启、停控制环节之后。这样, 只有接触器 KM_1 得电吸合并自锁后, 满足 KM_2 得电条件, KM_2 才能得电吸合。按下 SB_1 后, KM_1 和 KM_2 同时失电释放, 因此该电路能实现顺序启动、同时停止的控制要求。

(4) 对于图 3.1.3 (e) 所示的电路, 与图 3.1.3 (d) 电路相比较, 在 KM_2 线圈电路串联有动断按钮 SB_3 (11-13), 因此该电路能实现顺序启动, M_2 先停止和 M_1 、 M_2 同时停止的控制要求, 也就是 M_2 工作, M_1 必须工作; M_1 停止, M_2 必须停止。

(5) 对于图 3.1.3 (f) 所示的电路, KM_1 的较助动合触头 KM_1 (13-15) 作为先决条件串联在 KM_2 线圈控制电路中, 保证 M_1 启动后 M_2 才能启动。 KM_2 的辅助动断触头 KM_2 (5-7) 并联在动断按钮 SB_1 两端, 作为 KM_1 失电的先决条件, 因此 M_2 停转后, M_1 才能停转。

(6) 对于图 3.1.3 (g) 所示的电路, 接触器 KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (13-15) 作为先决条件串联在 KM_2 线圈控制电路中, 保证 M_1 启动后 M_2 才能启动。同样, 将 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (1-3) 作为先决条件并联在 KM_1 的停止按钮 SB_1 两端, 两台电动机在停止时必须先停止 M_2 , 然后才能停止 M_1 , 因此该电路能实现顺序启动和 M_2 先停 M_1 后停的控制要求。

(7) 对图 3.1.3 (h) 所示的电路, KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (5-11) 作为先决条件串联在 KM_2 线圈电路中, 保证 M_1 启动后 M_2 才能启动。 KM_2 的较助动合触头 KM_2 (5-11) 并联在 KM_1 (5-11) 两端, 则两台电动机 M_1 、 M_2 可单独停止, 因此该电路能实现顺序启动、单独停止的控制要求。

(8) 对图 3.1.3 (i) 所示的电路, KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (13-15) 串联在 KM_2 线圈电路的启动按钮 SB_4 支路中, 保证 KM_1 启动后, KM_2 才能启动。 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (11-15) 并联在 SB_4 和 KM_1 (13-15) 串联电路两端, KM_2 得电吸合后, 就不再受 KM_1 制约, 因此该电路能实现顺序启动、单独停止的控制要求。

(9) 对图 3.1.3 (j) 所示的电路, KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (13-15) 串联在 KM_2 线圈电路的启动按钮 SB_4 支路中, 保证 M_1 启动后 M_2 才能启动。 KM_1 线圈电路中串联有动断按钮 SB_2 , 能实现 M_1 单独停止。而 KM_1 和 KM_2 线圈电路的公共电路串联有动断触头 SB_1 , 因此能实现 M_1 和 M_2 同时停止的控制要求。

(10) 对于图 3.1.3 (k) 所示的电路, KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (13-15) 作为先决条件串联在 KM_2 线圈电路中, 保证 M_1 启动后 M_2 才能启动。 KM_2 线圈电路中串联有动断按钮 SB_3 , 因此能实现 M_2 单独停止。而 KM_1 和 KM_2 线圈电路的公共电路中串联有动断按钮 SB_1 , 因此能实现 M_1 和 M_2 同时停止的控制要求。

(11) 对于图 3.1.3 (l) 所示的电路, KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (13-15) 作为 KM_2 得电的先决条件串联在 KM_2 线圈电路中, 这样 KM_1 得电后, KM_2 才能得电, 实现电动机按 $M_1 \rightarrow M_2$ 顺序启动的控制要求。在触头 KM_1 (13-15) 两端并较开关 SA , 该开关闭合, 则失去连锁作用, 两电动机可不受约束地任意启动和停止。

【看图实践】

(1) 对图 3.1.3 (b) 所示的电路, 按下启动按钮 SB_2 , KM_1 和 KM_2 同时得电吸合, 并通过辅助动合触头 KM_1 (7-9)、 KM_2 (9-11) 自锁, 电动机 M_1 和 M_2 同时启动运转。按下停止按钮 SB_1 , KM_1 和 KM_2 同时失电释放, 电动机 M_1 和 M_2 同时停转。

(2) 对图 3.1.3 (c) 所示的电路, 开关 S_1 、 S_2 在图示状态下, 按下启动按钮 SB_2 , 接触器 KM_1 和 KM_2 同时得电吸合, 电动机 M_1 和 M_2 同时启动运转, 按下 SB_1 , KM_1 和 KM_2 同时失电释放, M_1 和 M_2 同时停转。

若转动开关 S_2 , 使其动断触头 S_2 (9-15) 断开、动合触头 S_2 (13-9) 闭合, 并按下 SB_2 , 则 KM_1 得电吸合并自锁, 电动机 M_1 启动运转; 按下 SB_1 , 则 KM_1 失电释放, 电动机 M_1 停转。

若转动开关 S_1 , 使其动断触头 S_1 (9-11) 断开、动合触头 S_1 (7-13) 闭合, 再按下 SB_2 , 则 KM_2 得电吸合并自锁, 电动机 M_2 启动运转, 按下 SB_1 , 则 KM_2 失电释放, 电动机 M_2 停转。

(3) 对图 3.1.3 (d) 所示的电路, 按下 SB_2 , 则 KM_1 得电吸合并自锁, 其主触头闭合, 电动机 M_1 启动运转, 同时其辅助动合触头 KM_1 (7-9) 闭合, 为 KM_2 得电作准备。若接着按下 SB_3 , 则 KM_2 得电吸合并自锁, 电动机 M_2 启动运转。按下 SB_1 , 则 KM_1 和 KM_2 相继失电释放, 电动机 M_1 和 M_2 几乎同时停转。

(4) 对图 3.1.3 (e) 所示的电路, 按下启动按钮 SB_2 , KM_1 得电吸合, 其主触头闭合, 电动机 M_1 启动运转, KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (7-9) 闭合自锁, 为 KM_2 得电作准备。按下 SB_4 , KM_2 得电吸合并自锁, 电动机 M_2 启动运转。停车时, 若按下 SB_3 , 则 KM_2 失电释放, M_2 停转; 若按下 SB_1 , 则 KM_1 、 KM_2 均失电释放, M_1 和 M_2 同时停转。

(5) 对图 3.1.3 (f) 所示的电路, 电器元件动作顺序为:

启动 M_1 : 按下 $SB_2 \rightarrow KM_1$ 得电吸合并自锁 \rightarrow 其主触头闭合 \rightarrow 电动机 M_1 启动

\downarrow
 $\rightarrow KM_1(13-15)$ 闭合 \rightarrow 作为 KM_2 得电先决条件

启动 M_2 : 按下 $SB_4 \rightarrow KM_2$ 得电吸合并自锁 \rightarrow 其主触头闭合 \rightarrow 电动机 M_2 启动

\downarrow
 $\rightarrow KM_2(5-7)$ 闭合 \rightarrow 作为 KM_1 不能先失电释放的控制条件

停止: ① 若按下 SB_1 , KM_1 、 KM_2 均不能释放, 不能使 M_1 、 M_2 停转

② 若按下 $SB_3 \rightarrow KM_2$ 失电释放 $\rightarrow M_2$ 停转

\downarrow
 $\rightarrow KM_2(5-7)$ 复位断开, 为 KM_1 失电释放的条件

再按下 $SB_1 \rightarrow KM_1$ 失电释放 $\rightarrow M_1$ 停转

电器元件动作顺序用助记符表示为:

启动 M_1 : $SB_1^+ \rightarrow KM_1^+ \rightarrow M_1^+$

\downarrow
 $\rightarrow KM_1(13-15)^+$, 作为 KM_2 得电的先决条件

启动 M_2 : $SB_4^+ \rightarrow KM_2^+ \rightarrow M_2^+$

\downarrow
 $\rightarrow KM_2(5-7)^+$, 作为 KM_1 不能先失电的先决条件

停止: ①

$$SB_1^+ \rightarrow \begin{cases} KM_1^+ \rightarrow M_1^+ \\ KM_2^+ \rightarrow M_2^+ \end{cases}$$

如果启动时，要求在甲接触器得电以后，乙接触器才能得电；如果停止时，若甲接触器失电后，乙接触器才能失电，则应将甲接触器的辅助动合触头串接在乙接触器的线圈电路中，并且在两端并联乙接触器的辅助动合触头；而若乙接触器失电后，甲接触器才能失电，则应将乙接触器的辅助动合触头并联在甲接触器线圈控制电路的停止按钮两端。这就是先决启动和先决停止电路。

【电路点评】

图 3.1.3 (1) 所示的电路适用于由两台电动机拖动的运料皮带的启动和停车，如物料经过 2 号皮带送到 1 号皮带，再运送到终点。启动时输送线路后段的 1 号皮带，再启动输送线路前段的 2 号皮带，否则物料就会堆积堵塞在中途。停车时则相反，先停 2 号后停 1 号。电动机 M_1 、 M_2 分别带动 1 号、2 号皮带。每台电动机都有熔断器和热继电器保护元件。

该电路能使皮带运物机可靠地工作。如果启动时错误地按下了 SB_4 ，则由于 KM_1 未得电吸合， KM_1 (13-15) 未闭合，因此按 SB_4 无效。保证在误操作情况下也不会出事故。

在运行中如果按 SB_3 ，则 2 号皮带停车，1 号皮带仍在运转，等皮带上的物料全部送到终点，再按 SB_1 ，整个设备就完全停止工作。

若停止时先按下 SB_1 ，则 KM_1 失电释放后，其辅助动合触头 KM_1 (13-15) 立刻复位断开，使 KM_2 失电释放，因此两台电动机几乎同时停下来，皮带上物料也不会堆积，这就保证了停车也不会出错。

同理，电动机过载而使热继电器 FR_2 动作，只会使电动机 M_2 停车，而 FR_1 动作时，电动机 M_1 和 M_2 都停车。

2. 通过主电路连锁的两台电动机顺序控制

电路如图 3.1.4 所示，电动机 M_1 由接触器 KM 控制；电动机 M_2 由负荷开关 QS_2 控制。

【看图思路】

在主电路中，电动机 M_2 的主电路（包括 FR_2 和 QS_2 ）和电动机 M_1 的热继电器 FR_1 并联后，再与接触器 KM 的主触头串联。即将电动机 M_2 支路串在接触器 KM 主触头的下方。这样 KM_1 主触头闭合后，才能为电动机 M_2 提供电源。

【看图实践】

按下启动按钮 SB_2 ，接触器主触头闭合，电动机 M_1 先行启动，并为电动机 M_2 提供电源，此后再合上负荷开关 QS_2 ，才能启动冷却泵电动机 M_2 。如果主轴电动机 M_1 不动作，也即接触器 KM 主触头不闭合，那么无论怎样操作负荷开关 QS_2 ，都不能使电动机 M_2 先于主轴电动机 M_1 得电吸合。但必须注意，在两台电动机停车后，不要忘记断开负荷开关 QS_2 ，否则，在下次启动时会出现两台电动机 M_1 和 M_2 同时启动的情况。

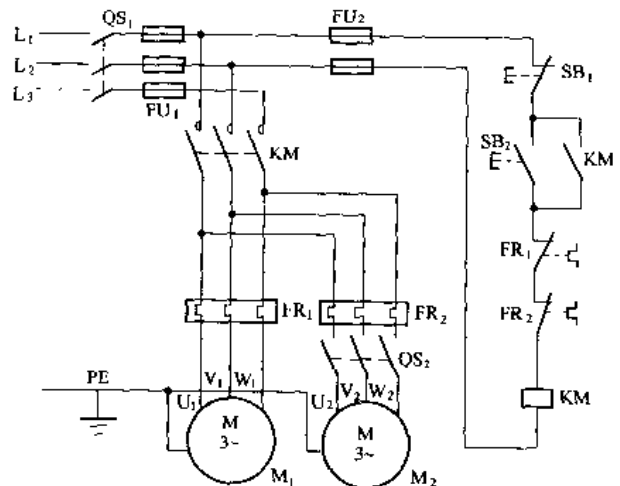


图 3.1.4 主电路连锁的顺序控制线路

3. 三台电动机顺序启动而先启动后停止的连锁控制电路

某设备有三台电动机 M_1 、 M_2 和 M_3 ，要求按 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3$ 的顺序启动，按 $M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 顺序停止，其控制电路如图 3.1.5 所示。图 3.1.5 (a) 为主电路，采用单线表示，图 3.1.5 (b) ~ (d) 为控制电路。

【看图思路】

(1) 对于图 3.1.5 (b) 所示的电路， KM_1 的辅助动合触头 $KM_1(1-7)$ 串联在 KM_2 线圈电路中，而 KM_1 、 KM_2 的辅助动合触头 $KM_1(1-13)$ 、 $KM_2(13-15)$ 又串联在 KM_3 线圈电路中，因此能保证电动机按 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3$ 的顺序启动。 KM_3 的辅助动合触头 $KM_3(9-11)$ 并联在动断按钮 SB_4 两端， KM_3 、 KM_2 的辅助动合触头 $KM_3(3-5)$ 、 $KM_2(3-5)$ 又并联在动断按钮 SB_2 两端，因此能保证电动机按 $M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 顺序停转。

(2) 对于图 3.1.5 (c) 所示的电路， KM_2 线圈供电线路串联在 KM_1 自锁触头 $KM_1(1-3)$ 之后， KM_3 线圈供电电路串联在 KM_2 自锁触头 $KM_2(3-7)$ 之后，因此能保证电动机按 $M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 的顺序启动。 KM_3 的动合触头 $KM_3(7-9)$ 并联在动断按钮 SB_4 两端， KM_3 、 KM_2 的辅助动合触头 $KM_3(3-5)$ 、 $KM_2(3-5)$ 又并联在动断按钮 SB_2 两端，因此能保证电动机按 $M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 的顺序停转。

(3) 对于图 3.1.5 (d) 所示的电路，接触器 KM_2 、 KM_3 的线圈电路接在 KM_1 的自锁触头 $KM_1(1-5)$ 之后，因此只有 KM_1 得电吸合后， KM_2 、 KM_3 才能得电吸合。 KM_3 线圈电路接在 KM_2 辅助动合触头 $KM_2(5-11)$ 之后，只有 KM_2 得电吸合， KM_3 才能得电吸合。这样实现 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3$ 顺序启动的控制要求。

KM_3 的辅助动合触头 $KM_3(7-9)$ 、 $KM_3(5-3)$ 分别与动断按钮 $SB_4(7-9)$ 、 $SB_2(5-3)$ 并联，因此只有 KM_3 失电释放， KM_2 、 KM_3 才能失电释放；又 KM_2 的辅助动合触头 $KM_2(5-3)$ 与动断按钮 SB_2 并联，因此只有 KM_2 失电释放， KM_1 才能失电释放，从而实现按 $M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 顺序停止的控制要求。

【看图实践】

(1) 对图 3.1.5 (b) 所示的电路

启动 M_1 : $SB_1^+ \rightarrow KM_1 \text{ 线圈} \rightarrow M_1^+$

└───→ $KM_1(1-7)^+$ ，作为 KM_2 得电的先决条件
└───→ $KM_1(1-13)^+$ ，作为 KM_3 得电的先决条件

启动 M_2 : $SB_3^+ \rightarrow KM_2 \text{ 线圈} \rightarrow M_2^+$

└───→ $KM_2(13-15)^+$ ，作为 KM_3 得电的先决条件
└───→ $KM_2(3-5)^+$ ，作为 KM_1 失电的先决条件

启动 M_3 : $SB_5^+ \rightarrow KM_3 \text{ 线圈} \rightarrow M_3^+$

└───→ $KM_3(9-11)^+$ ，作为 KM_2 失电的先决条件
└───→ $KM_3(3-5)^+$ ，作为 KM_1 失电的先决条件

停止：按下 SB_2 、 SB_4 不能使 M_1 、 M_2 停止。必须先按下 SB_6 ，使 M_3 先停止。

停止 M_3 : $SB_6^+ \rightarrow KM_3^- \rightarrow M_3^-$

└───→ $KM_3(9-11)^-$ ，为 KM_2 失电创造条件
└───→ $KM_2(3-5)^-$ ，为 KM_1 失电创造条件

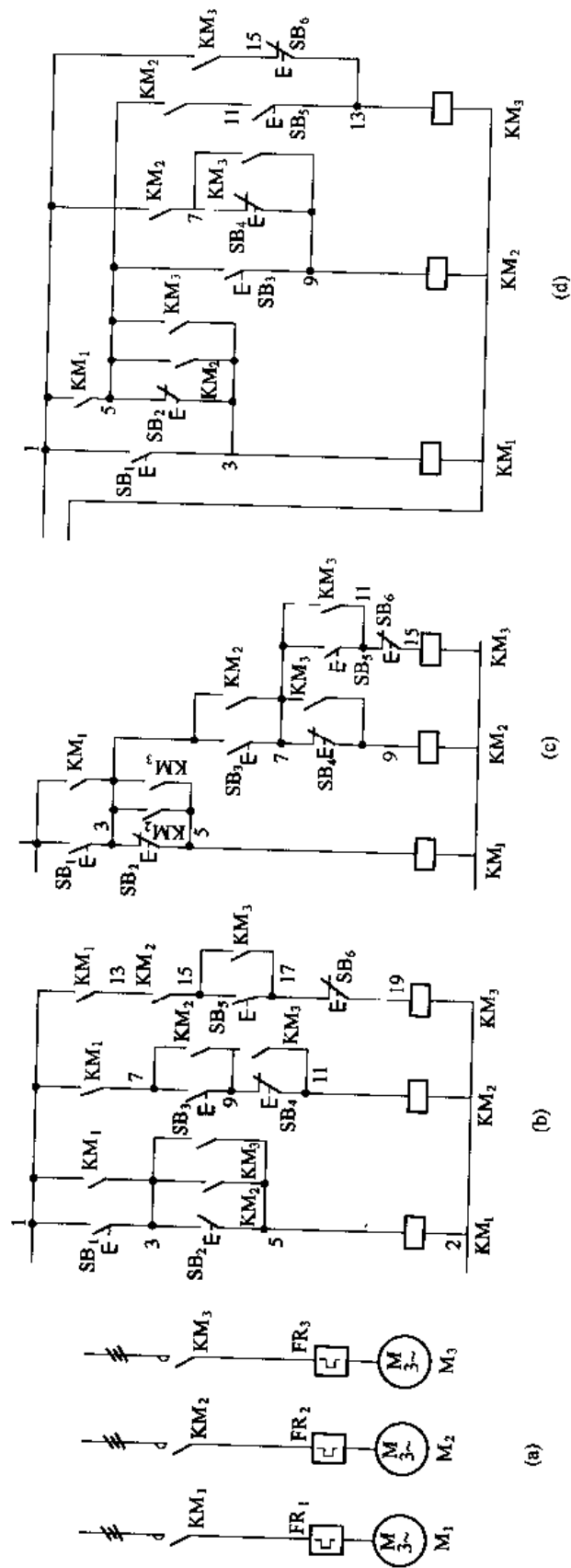


图 3.1.5 三台电动机的连锁控制电路

的关系。这些关系实际上是逻辑上的与、或、非的关系。例如在连锁电路中，当 KM_1 动作后才允许 KM_2 动作，即将 KM_1 的动合触头串联在 KM_2 线圈电路中，这就是“与”的关系。在互锁及连锁控制电路中，当 KM_1 动作后不允许 KM_2 动作，即将 KM_1 的动断触头串联在 KM_2 线圈电路中，这就是“非”的关系。自锁及两地控制电路中，就是将动合触头并联，只要其中一个动合触头闭合，线圈就得电，这就是“或”的关系。基本控制电路就是讨论电器之间如何实现互相联系、互相制约的各触头的组合规律，即逻辑关系，实现这种与、或、非关系的控制电路就是基本控制电路。

4. 多台设备中只允许一台设备工作的连锁电路

在多台设备中，只允许一台设备工作，若欲启动另一台设备，则应停止已工作的那台设备，其电路如图 3.1.6 所示。

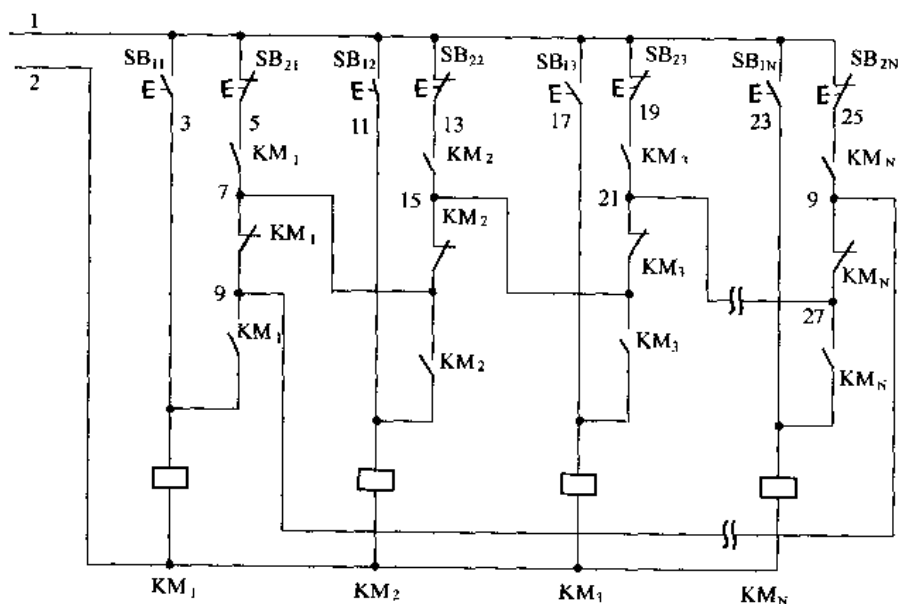


图 3.1.6 多台设备只允许一台设备工作的连锁电路

【看图思路】

由图可看出，多台电动机分别由接触器 KM_1 、 KM_2 、……、 KM_N 控制，并且各接触器线圈电路结构完全相同，其自锁电路都是由各自的停止按钮、辅助动合触头、辅助动断触头和另一辅助动合触头串联组成，而其中各接触器线圈电路中的辅助动断触头又都串联起来形成一个闭合电路。这样就形成该电路的一个特点，即各接触器线圈自锁电路中的辅助动断触头与其他各接触器线圈自锁电路的辅助动断触头的串联支路相并联。当某接触器得电吸合后，其自锁电路中的辅助动断触头断开，但能通过其他接触器线圈电路中的辅助动断触头自锁。

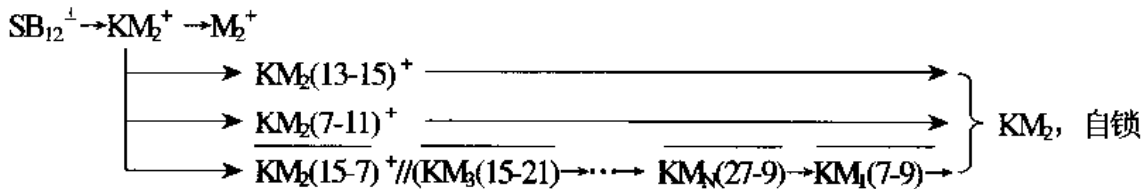
这样，当某接触器（例如 KM_2 ）得电吸合后，其自锁支路中的辅助动合触头 KM_2 （13-15）、 KM_2 （7-11）闭合，虽然其辅助动断触头 KM_2 （15-7）断开，但借助其他接触器自锁支路的辅助动断触头代替 KM_2 （5-17）而构成自锁支路，此时自锁支路为： SB_{22} （1-13）→ KM_2 （13-15）→ KM_3 （15-21）→……→ KM_N （27-9）→ KM_1 （9-7）→ KM_2 （7-11），使 KM_2 得电吸合并自锁。

KM_2 得电吸合，按其他接触器的启动按钮，则该接触器得电吸合，其自锁支路的辅助

动断触头断开，就切断了 KM_2 的自锁支路，使 KM_2 失电释放，而该接触器则得电吸合并自锁。

若使 M_2 启动，按下 SB_{12} ，接触器 KM_2 的辅助动合触头 $KM_2(13-15)$ 、 $KM_2(11-7)$ 闭合而动断触头 $KM_2(15-7)$ 断开，但借用其他接触器的辅助动断触头构成自锁，使接触器 KM_2 得电吸合并自锁。

【看图实践】



按下 SB_{22} ，接触器 KM_2 失电释放。

若按下 SB_{22} ，但需启动另一设备（如 M_1 ），则可按下 SB_{11} ，在 KM_1 得电吸合的同时，其辅助动断触头 $KM_1(7-9)$ 断开，切断了 KM_2 的自锁支路，使 KM_2 失电释放，而 KM_1 则得电吸合并自锁。

【看图点评】

在 KM_1 得电吸合后，若使 KM_2 得电吸合并自锁，首先使 KM_2 的辅助动断触头 $KM_2(7-15)$ 断开，切断 KM_1 自锁电路，使 KM_1 失电释放，其辅助动断触头 $KM_1(7-9)$ 复位闭合，接通 KM_2 自锁电路，因此按动 SB_{12} 的时间应超过 KM_2 与 KM_1 的动作时间之和，否则 KM_2 不能自锁。

5. 多台电动机连锁控制及事故报警电路

主电路如图 3.1.7 所示，控制电路如图 3.1.8 所示。当多台电动机连锁工作时，若某台电动机因故障堵塞或过载，控制电路将使工艺流程的前路设备停机，停止连续运行，并进行事故报警。

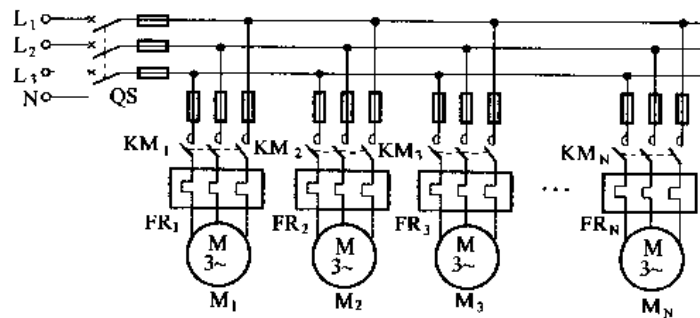


图 3.1.7 多台电动机连锁控制及事故报警电路主电路

【看图思路】

由图 3.1.8 可见， KM_1, KM_2, \dots, KM_n 组成 M_1, M_2, \dots, M_n 的控制电路（以下简称控制点）。各控制点的热继电器的动断触头依次串联后，接至 L_3 相电源，各电动机控制电路的一端接 L_1 相电源，另一端接至各控制点热继电器动断触头的串联连接点，这样，当前控制点（如第 2 点）热继电器的动断触头断开后， KM_2 失电释放，电动机 M_2 停转，随后 KM_4, KM_5, \dots, KM_n 依次失电释放，电动机 M_4, M_5, \dots, M_n 依次停转。

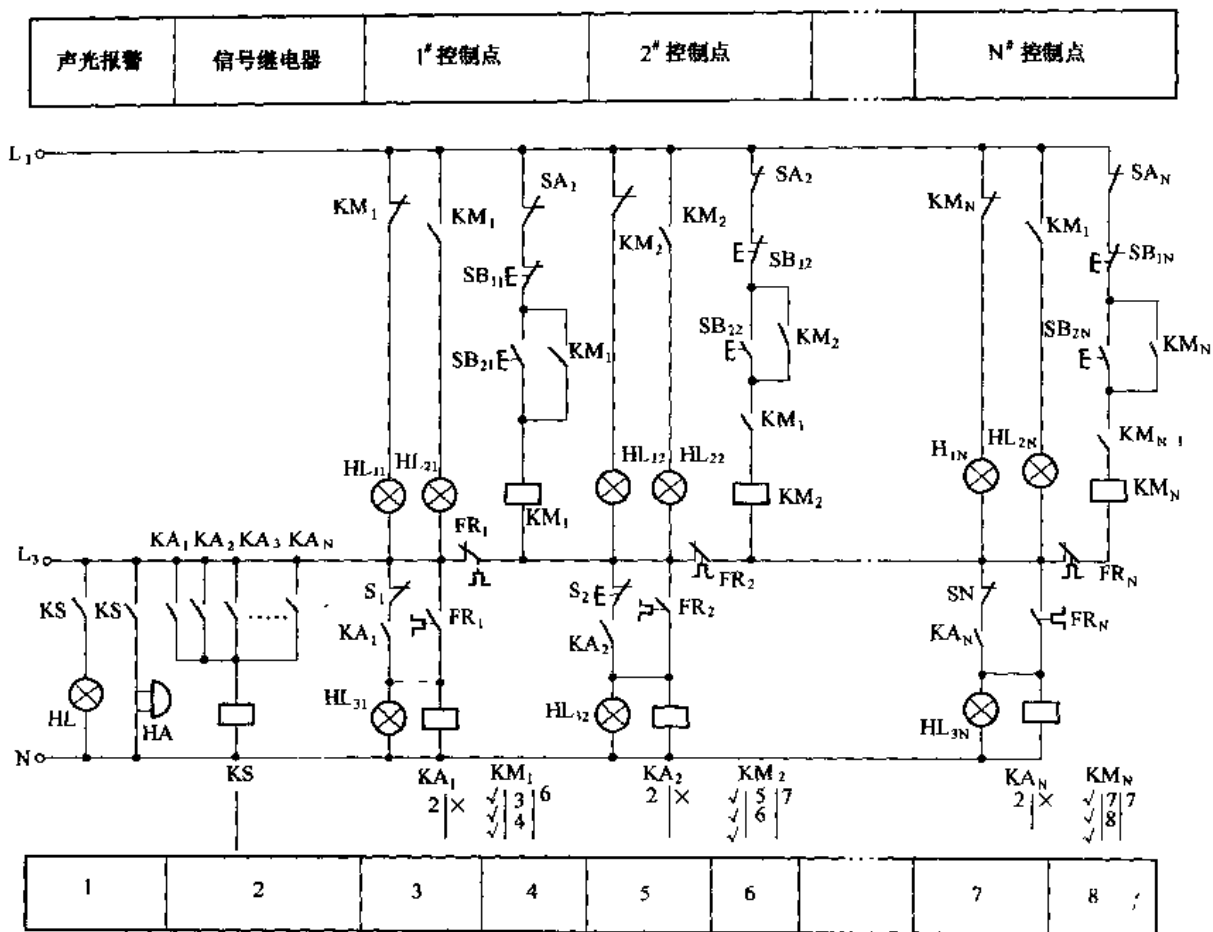


图 3.1.8 多台电动机连锁控制及事故报警电路的控制电路

另外，由于 KM_1 的辅助动合触头串联在 KM_2 线圈电路中， KM_2 的辅助动合触头串联在 KM_3 的线圈电路中，因此开机时必须按照 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots \rightarrow M_N$ 的顺序。停机时，按下 SB_{11} ，则 M_1, M_2, \dots, M_N 依次停机，否则，必须按 M_N, \dots, M_2, M_1 的顺序停机。

中间继电器 KA_1, KA_2, \dots, KA_N 组成各控制点的报警电路，它们分别由各控制热继电器的动合触头控制，它们的一端并联在一起接至 N，另一端接至各控制点热继电器的动断触头的连接点。

KS 为信号继电器，由各控制点的中间继电器控制，发出声光报警信号。

S_1, S_2, \dots, S_N 为解除声光报警信号的复位按钮。

【看图实践】

合上断路器 QS ，接示灯 $HL_{11}, HL_{12}, \dots, HL_{1N}$ 亮，表示控制电路完好。按下启动按钮 SB_{21} ，使接触器 KM_1 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M_1 启动运转；同时其辅助动断触头断开，使指示灯 HL_{11} 灭，而辅助动合触头闭合，使指示灯 HL_{21} 亮；其另一辅助动合触头闭合，作为 KM_2 得电的先决条件。这样，依次按启动按钮 $SB_{22}, SB_{23}, \dots, SB_{2N}$ ，则 KM_2, KM_3, \dots, KM_N 依次得电吸合自锁，使指示灯 $HL_{22}, HL_{23}, \dots, HL_{2N}$ 依次熄灭，同时辅助动合触头闭合，使指示灯 $HL_{22}, HL_{23}, \dots, HL_{2N}$ 依次点亮。

当电动机 M_2 因堵转而过载时，引起热继电器 FR_2 动作，其动断触头断开，使接触器 KM_2

失电释放，电动机 M_2 停转，接着接触器 $KM_3, KM_4 \dots, KM_N$ 相继失电释放，电动机 $M_3, M_4 \dots, M_N$ 先后失电停转。同时， FR_2 的动合触头闭合，使中间继电器 KA_2 得电吸合，其动合触头闭合，使信号继电器 KS 得电吸合。 KS 的动合触头闭合，使信号为 HL 、电笛 HA 接通电源，发出事故闪光并鸣笛报警。排除故障后，按下信号复位按钮 S_2 ，使 KA_2 失电释放，接着 KS 失电释放，解除事故声光报警信号。

【电路点评】

(1) 开机时必须按照 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_4 \rightarrow \dots \rightarrow M_N$ 的顺序，否则其前面的设备无法启动，这样可避免开机时堵料。停机时可保证前面的设备先停或同停，顺序为 $M_N \rightarrow \dots \rightarrow M_4 \rightarrow M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ ，同样可避免停机或突然停电时的堵料。

(2) 运行中任何一台电机因堵塞而过载时，控制电路可使其工艺流程的前路设备停机，停止继续进料，以确保事故不再扩大。

(3) 故障发生后，虽然热继电器经过几分钟后自动复位，但是由于 KA_2 自锁，因此该电路仍能发出事故闪光指示及事故报警信号，这样，值班维修人员在任何时候赶到现场都能直观、准确地找出故障点（排除故障后，按下信号复位按钮 S_2 ，即可解除事故声光报警信号），争得时间，及时恢复生产。

四、选择性连锁控制电路（连续工作与点动工作的连锁控制）

在机床加工过程中，大部分时间要连续运行，但有些特殊工艺或精细加工要求机床点动运行。点动与连续运行的主要区别在于是否接入自锁触头，点动控制加入自锁后就可以连续运行。如果需要在连续状态和点动状态两者间进行选择，则必须采用选择连锁电路。

1. 单向运转选择性连锁电路

【看图思路】

电路如图 3.1.9 所示。机械设备长时间运转，即电动机持续工作，称为长动；机械设备手动控制间断工作，即按下启动按钮，接触器得电吸合，其主触头闭合，电动机转动，松开按钮，接触器失电释放，主触头断开，电动机停转，这称的控制称为点动，如图 3.1.9 (b) 所示。在长动控制电路中，控制电器能得电后自锁，如图 2.3.9 (c) 所示。在点动控制电路中，控制电器不能自锁。当机械设备要求正常工作时，电器能够自锁长动；调整工作时，电器的自锁环节不起作用，从而实现点动控制。

由图 3.1.9 (d)、(e)、(f)、(g) 可以看出，若要求既能点动工作，又能连续运行，则在点动控制时必须切断保持连续运行的自锁支路，其实现方式有 3 种：

- (1) 用转换开关进行选择，如图 3.3.9 (d) 所示， SA 为转换开关。
- (2) 用复合按钮来实现选择连锁，如图 3.1.9 (e) 所示。
- (3) 用继电器来实现选择连锁，如图 3.1.9 (f)、(g) 所示。

【看图实践】

图 3.1.9 (d) 为带手动开关的点动与连续控制电路，用选择开关 SA 选择点动控制或者长动控制。当需要点动时，将开关 SA 打开，按下 SB_2 即可实现点动控制。当需要连续工作时，合上 SA ，将自锁触头接入，操作 SB_2 即可实现连续控制。停机时需按停止按钮 SB_1 。

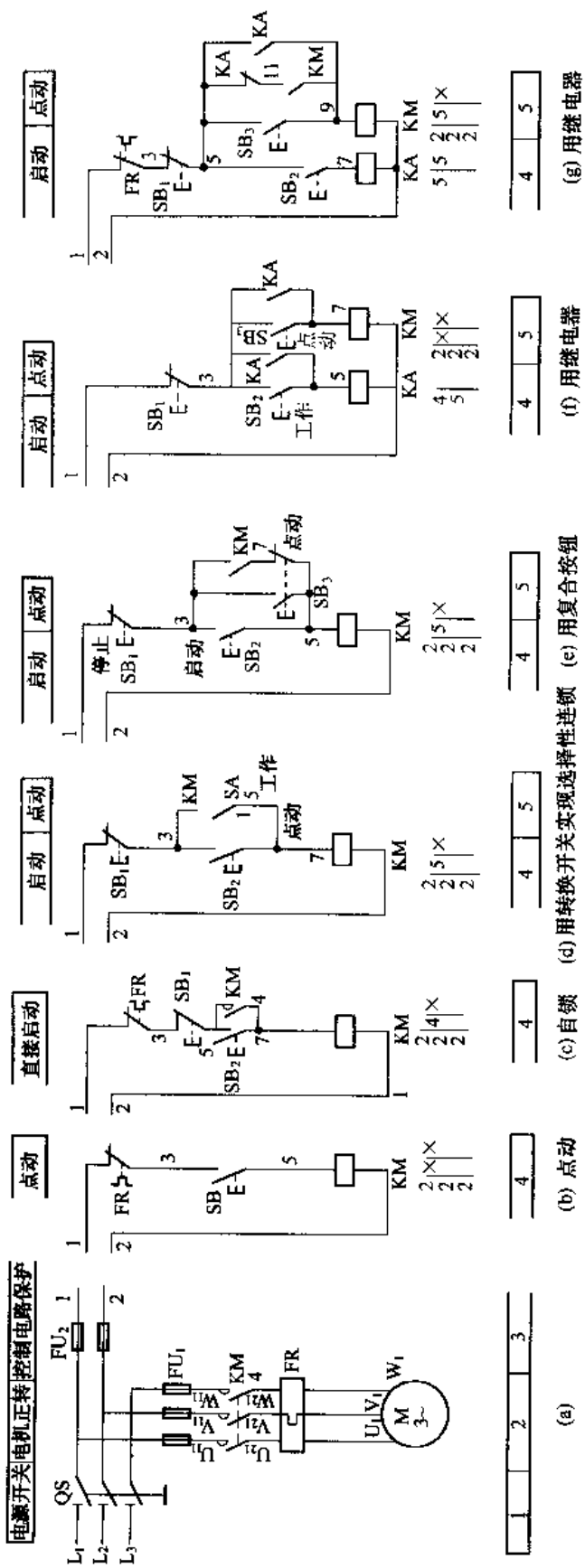


图 3.1.9 选择性连锁电路

图 3.1.9 (e) 所示的电路增加了一个复合按钮 SB_3 ，复合按钮 SB_3 实现点动控制， SB_2 实现连续控制。这样，点动控制时，控下点动按钮 SB_3 ，其动断触头 SB_3 (7-5) 先断开自锁电路，动合触头 SB_3 (3-5) 后闭合，控通启动控制电路， KM 得电吸合，主触头闭合，电动机启动运转。松开 SB_3 时， KM 失电释放，主触头断开，电动机停转。若需要电动机连续运转，复合点动按钮的动断触头闭合，将自锁触头接入，则按启动按钮 SB_2 ， KM 得电吸合，自锁触头 KM (3-7) 起作用，电动机连续运行，停机时需按停止按钮 SB_1 。

图 3.1.9 (f) 为采用中间继电器 KA 实现点动与连续运行的控制电路。点动时，按下启动按钮 SB_3 → KM 得电吸合→其主触头闭合→电动机 M 启动运转；松开按钮 SB_3 ，则 KM 失电释放，电动机 M 停转，实现电动机 M 的点动控制。连续运行时，按启动按钮 SB_2 →中间继电器 KA 得电吸合并自锁，其动合触头 KA (3-7) 闭合→ KM 得电吸合→电动机 M 连续运行；停车时，按下 SB_1 ， KA 、 KM 均失电释放，电动机 M 停转。

图 3.1.9 (g) 电路也采用中间继电器 KA 实现点动的控制电路。利用点动启动按钮 SB_2 控制 KA ， KA 的动合触头 KA (5-9) 并联在启动按钮 SB_3 的两端，控制接触器 KM ，再控制电动机 M 实现点动控制。点动时，按 SB_2 ， KA 得电吸合，其动断触头 KA (5-11) 断开，切断 KM 的自锁回路，其动合触头 KA (5-9) 闭合，使 KM 得电吸合但不能自锁，其主触头闭合，电动机启动运转，松开 SB_2 ， KM 失电释放，电动机停转，实现点动控制。需要连续控制时，按下 SB_3 即可，需停转时按下 SB_1 。

【看图小结】

连续运行与点动的主要区别是控制电器能否自锁。

【电路点评】

对于图 3.1.9 (e) 所示的电路，在点动时，若接触器 KM 释放时间大于复合按钮 SB_3 的复位时间，则点动结束，按钮 SB_3 松开。如果接触器 KM 动作快，在 SB_3 动断触头 SB_3 (7-5) 复位闭合前，其辅助动合触头 KM (3-7) 已复位断开，则电动机实现点动；如果 KM 的动作慢一点，则在松开 SB_3 后， SB_3 的动断触头 SB_3 (5-7) 复位闭合时， KM 的自锁触头 KM (3-7) 尚未完全断开，则 KM 自锁，电动机连续运行，不能实现正常点动控制。

图 3.1.9 (f) 所示的电路多用了一只中间继电器，但可靠性却提高了。对于图 3.1.9 (g) 所示的电路，当按下点动按钮 SB_2 后， KA 得电，其动合触头 KA (5-9) 闭合， KM 得电吸合，电动机 M 点动运行，此时 KM 的动合触头 KM (11-9) 是闭合的，而 KA 的动断触头 KA (5-11) 是断开的。当松开 SB_2 时， KA 失电，其动合触头 KA (5-9) 断开，使 KM 失电释放， KM 的动合触头 KM (11-9) 断开， KA 的动断触头 KA (5-11) 闭合。 KM 最终是得电还是失电由 KM 、 KA 触头的动作来决定。若 KM 的辅助动合触头 KM (11-9) 断开时间较 KA 的动断触头 KA (5-11) 复位闭合所需的时间长，则 KM 线圈在瞬时存在触头竞争。

2. 正、反向运行选择性连锁电路

电路如图 3.1.10 所示。

【看图思路】

图 3.1.10 所示的电路为图 3.1.2 (e) 所示的双重联正、反转控制电路和图 3.1.9 (e) 所示的用按钮实现选择性连锁电路的组合。也就是说，图 3.1.2 (e) 所示电路的接触器 KM_1 、 KM_2

的自锁电路 KM_1 (4-5)、 KM_2 (4-8) 用图 3.1.9 (e) 所示电路的点动电路部分来代替，就得到如图 3.1.10 所示的正、反向运转选择性连锁电路。

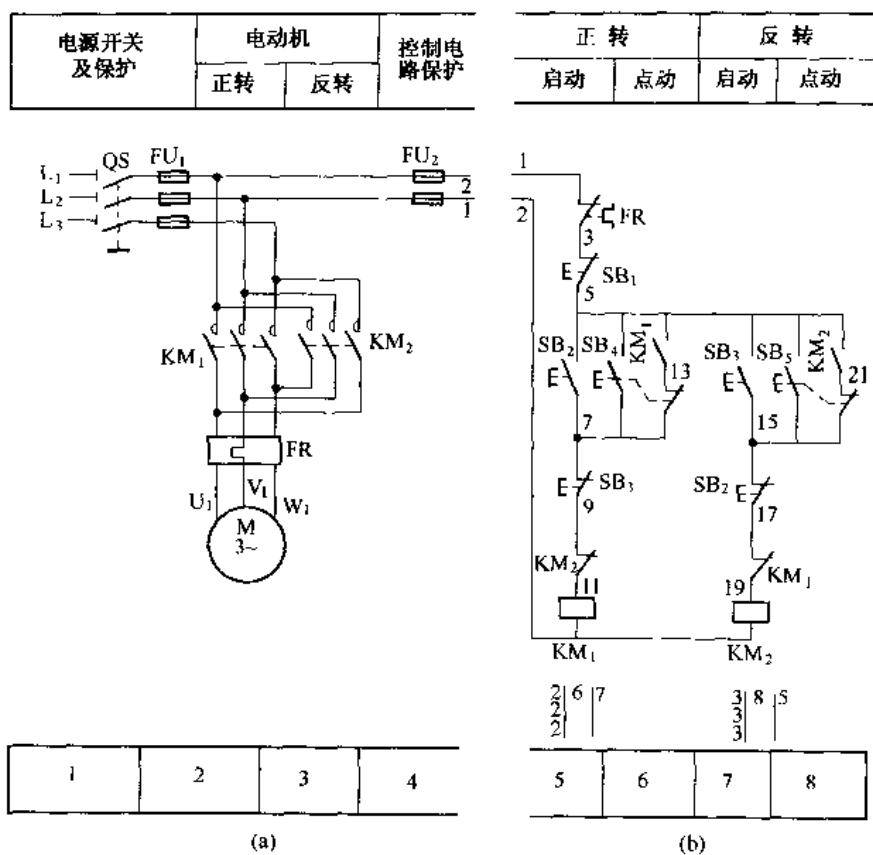


图 3.1.10 正、反向运行选择性连锁电路

【看图实践】

正转点动：按点动按钮 SB_4 ，其动合触头 SB_4 (5-7) 闭合，使 KM_1 得电吸合，其主触头闭合，电动机启动， KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (17-19) 断开，使 KM_2 不能得电， SB_4 动断触头 SB_4 (13-7) 断开，切断 KM_1 的自锁电路。松开按钮 SB_4 ，则 KM_1 失电释放，电动机停转。

正转启动：按下按钮 SB_2 ，使接触器 KM_1 得电吸合，其主触头闭合，电动机 M 启动，同时 KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (5-13) 闭合，通过 KM_1 (5-13)、 SB_4 (13-7)，使 KM_1 自锁。按下按钮 SB_1 ，使 KM_1 失电释放，电动机 M 停转。

反转点动和启动的控制过程与正转相同。

五、多地点与多条件连锁控制

所谓多地点控制，是指能够在不同的地方对电动机的动作进行控制。在一些大型机床设备中，为了操作方便，经常采用多地点控制方式。通常把动合启动按钮并联在一起，实现多地启动控制；而把动断停止按钮串联在一起，实现多地点停止控制，并将这些按钮分别安装在不同的地方即可达到目的。

在大型设备上，为了操作方便，需几个操作者都发出主令信号，即按压动合启动按钮，常要求能多个地点进行控制操作；在某些机械设备上，为保证安全，需要满足多个条件，设备才能开始工作。这样的控制要求可通过在电路中串联或并联电器的动断触头和动合触头来实现。

图 3.1.11 (a) 为多地点操作停止优先控制电路，接触器 KM 得电条件为按钮 SB₁、SB₂、SB₃ 的任一 动合触头闭合，KM 辅助动合触头构成自锁，这里的动合触头并联构成逻辑或的关系，任一条件满足，就能接通电路；KM 失电条件为按钮 SB₄、SB₅、SB₆ 的任一 动断触头打开，动断触头串联构成逻辑与的关系，其中任一条件满足，即可切断电路。

在图 3.1.11 (b) 所示的电路中，接触器 KM 得电条件为按钮 SB₁、SB₂、SB₃ 的任一 动合触头闭合，KM 辅助动合触头构成自锁，这里 SB₁、SB₂、SB₃ 的动合触头并联构成逻辑或的关系，任一条件满足，就能接通电路；KM 失电条件为按钮 SB₄、SB₅、SB₆ 的任一 动断触头打开，动断触头串联构成逻辑与的关系，其中任一条件满足，即可切断电路。

在图 3.1.11 (c) 所示的电路中，KM 得电条件为按钮 SB₄、SB₅、SB₆ 的动合触头全部闭合，KM 的辅助动合触头构成自锁，即 SB₄、SB₅、SB₆ 的动合触头串联成为逻辑与的关系，全部条件满足，接通电路；KM 失电条件为按钮 SB₁、SB₂、SB₃ 的动断触头全部打开，即动断触头并联构成逻辑或关系，全部条件满足，切断电路。

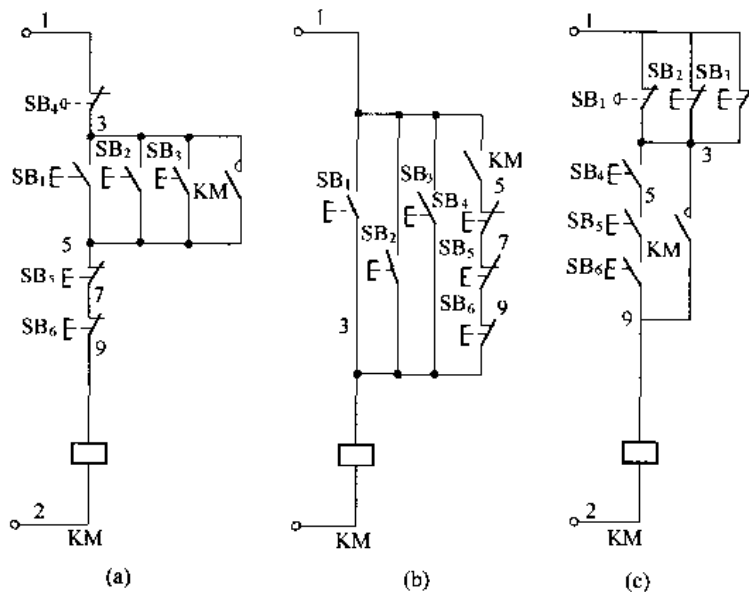


图 3.1.11 多地点与多条件连锁控制电路

1. X62W 型万能铣床主轴电动机多地点控制电路

电路如图 3.1.12 所示。

【看图思路】

按钮 SB₁ 和 SB₂ 的动合触头都并联在接点 (9-11) 两端，起到使接触器 KM₁ 得电吸合、启动主轴电动机 M 的作用。但它们的实际安装位置却是分开的，无论操作启动按钮 SB₁ 还是 SB₂，其结果都是一样的。同样，按钮 SB₃ 和 SB₄ 的动断触头串联在接点 (5-7-9) 之中，起

到使接触器 KM_1 失电释放、主轴电动机停车的作用。它们的实际安装位置也是分开的，并且两者操作的结果也是相同的。

动断停止按钮与动合启动按钮一般都是配对使用的。如果甲地装有启动按钮 SB_1 和停止按钮 SB_3 （或 SB_4 ），乙地装有启动按钮 SB_2 和停止按钮 SB_4 （或 SB_3 ），这样就可以在甲地或乙地对电动机进行两地控制操作了。

【看图实践】

按下启动按钮 SB_1 （或 SB_2 ），接触器 KM_1 得电吸合并自锁，按下停止按钮 SB_3 （或 SB_4 ），接触器 KM_1 失电释放。

2. 多地控制一台电动机的启动、点动、停止的控制电路

电路如图 3.1.13 所示。

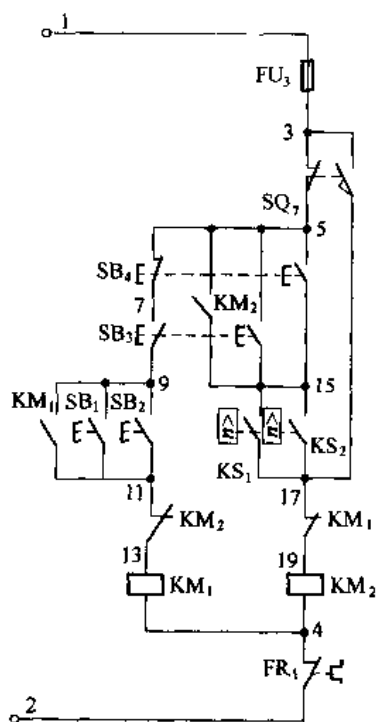


图 3.1.12 主轴电动机的多地控制电路

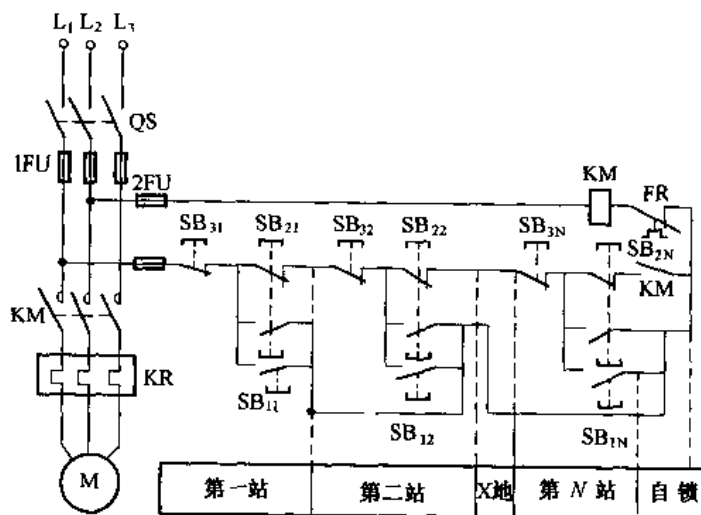


图 3.1.13 多地启动和点动控制电路

【看图思路】

如果需要超过两地以上的多地控制，则可在电气控制电路图上将增加的按钮的动合触头与原来的动合按钮并联在一起，将增加的按钮动断触头与原来的动断按钮串联在一起，然后再将动合、动断按钮配对，分别安装在机床的不同地方。从理论上来说，可以增加无数个控制点。

图 3.1.13 所示的电路画法不利于看图，为此将其改画成图 3.1.14。改画电路的方法在看电路图时经常采用。

图中 $SB_{11}, SB_{12}, \dots, SB_{1N}$ 为启动按钮， $SB_{21}, SB_{22}, \dots, SB_{2N}$ 为点动复合按钮， $SB_{31}, SB_{32}, \dots, SB_{3N}$ 为停止按钮（按钮下标的个位代表各控制点序号，十位代表各站不同功能按

钮的功能)。

停止按钮 $SB_{31}, SB_{32}, \dots, SB_{3N}$ 通过点动复合按钮 $SB_{21}, SB_{22}, \dots, SB_{2N}$ 的动断触头串联在一起, 然后在通过 KM 的辅助动合触头与接触器 KM 线圈串联, 构成自锁支路。

启动按钮 $SB_{11}, SB_{12}, \dots, SB_{1N}$ 分别与点动复合按钮 $SB_{21}, SB_{22}, \dots, SB_{2N}$ 的动合触头并联在一起, 该并联支路的一端与相对应的停止按钮的一端相连接, 另一端连接在一起与 KM 的线圈相连接。

由于点动复合按钮 $SB_{21}, SB_{22}, \dots, SB_{2N}$ 的动合触头与其对应的启动按钮 $SB_{11}, SB_{12}, \dots, SB_{1N}$ 相并联, 其动断触头与相应的停止按钮 $SB_{31}, SB_{32}, \dots, SB_{3N}$ 相串联, 因此可实现点动控制。

【看图实践】

启动: 按下 SB_{11} (或 SB_{12}, \dots, SB_{1N}), 则 KM 得电吸合自锁, KM 线圈通路为: $L_1 \rightarrow SB_{31} \rightarrow SB_{11}$ (或 $SB_{12}, \dots, SB_{1N}) \rightarrow FR \rightarrow KM$ 线圈 $\rightarrow L_2$; 自锁后 KM 线圈通路为: $L_1 \rightarrow SB_{31} \rightarrow SB_{21}$ 的动断触头 $\rightarrow \dots \rightarrow SB_{3N} \rightarrow SB_{2N}$ 的动断触头 \rightarrow 已闭合的 KM 辅助动合触头 $\rightarrow KM$ 线圈 $\rightarrow L_2$ 。

停止: 按下 SB_{31} (或 SB_{32}, \dots, SB_{3N}), KM 失电释放。

点动: 按下 SB_{21} (或 SB_{22}, \dots, SB_{2N}), SB_{21} 的动合触头闭合, 接通 KM 线圈电路, 使 KM 得电吸合; SB_{21} (或 SB_{22}, \dots, SB_{2N}) 动断触头断开, 切断 KM 的自锁电路。松开 SB_{21} (或 SB_{22}, \dots, SB_{2N}), 接触器 KM 失电释放, 点动结束。

【电路点评】

该电路特点是: 各控制点按钮组之间的连线较少, 安装连接线简单, 比一般类似的电路节料、省时、省力。尤其在控制地点较多时, 效果更明显。

按钮站与站间仅用 3 种颜色的导线即可。该控制电路简单、用线少, 因此运行可靠。另外, 只要引线连接牢靠, 接通电源, 逐个按启动、点动按钮, 哪个没有动作, 故障就在哪个按钮内部。如果按下某一启动按钮, 只有点动动作, 则说明这个按钮站至首按钮站间的蓝色线中有断路故障; 如果均无动作, 则说明故障在首、尾按钮站的蓝色线回路中。故障范围确定后, 关闭电源, 用万用表欧姆挡, 选按钮站总数 1/2 处确定一测试点 (即用二分法), 分别对首、尾按钮站中的蓝色线控制支路进行测试, 依此方法反复测试, 很快就可以将故障点查出来。

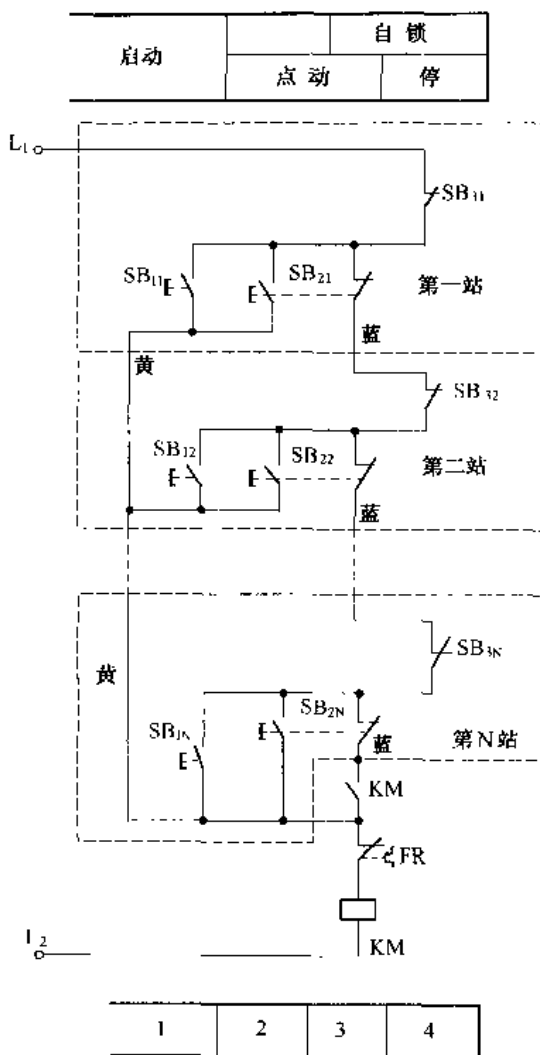


图 3.1.14 图 3.1.13 电路的改画电路

3. 多地正反转点动、启动、停止控制电路

电路如图 3.1.15 所示。

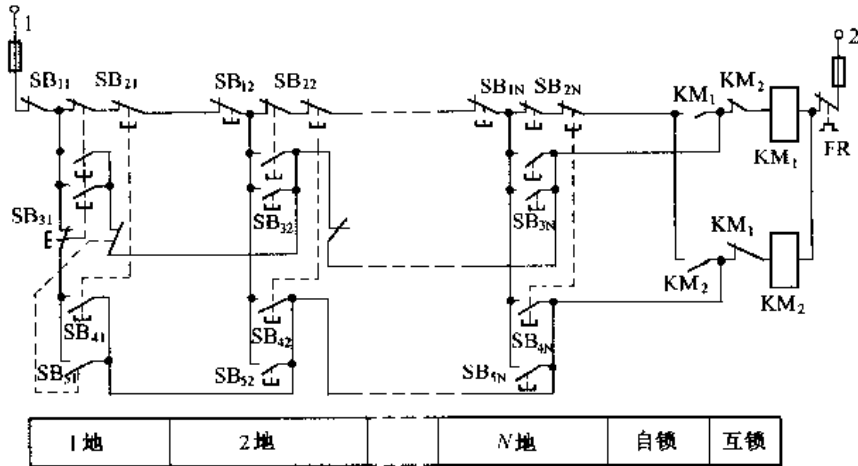


图 3.1.15 多地正反转点动、启动、停止控制电路

【看图思路】

为了便于看图，将图 3.1.15 改画成图 3.1.16，可见该电路为带点动功能的双重连锁正反转控制电路。

$SB_{11}, SB_{12}, \dots, SB_{1N}$ 为停止按钮， $SB_{21}, SB_{22}, \dots, SB_{2N}$ 为正向点动按钮， $SB_{31}, SB_{32}, \dots, SB_{3N}$ 为正向启动按钮， $SB_{41}, SB_{42}, \dots, SB_{4N}$ 为反向点动按钮， $SB_{51}, SB_{52}, \dots, SB_{5N}$ 为反向启动按钮。正反向启动按钮和正反向点按钮均为复合按钮。

各控制点的停止按钮与正反点动按钮的动断触头相串联，彼此再串联起来，再分别与 KM_1, KM_2 的自锁触头相串联，构成 KM_1, KM_2 的自锁回路，因此按下停止按钮和正反向点动按钮，均能切断 KM_1, KM_2 的自锁回路。

每个控制点的正（或反）向启动按钮的动合触头与其相对应的点动按钮的动合触头相并联，再与该控制点的反（或正）向启动按钮的动断触头相串联，组成每个控制点的正（或反）向启动电路，并且相互连锁。每个控制点的正（或反）向启动电路与接触器 KM_1 （或 KM_2 ）的自锁回路相并联。

【看图实践】

正向启动：按下正向启动按钮 SB_{31} ，其动断触头断开，切断反向启动支路，使 KM_2 不能得电，实现机械互锁；其动合触头闭合，接通如图中实线所示的正向启动支路，使接触器 KM_1 得电吸合，其辅助动合触头闭合，按图中虚线所示的正向启动自锁支路自锁， KM_1 的辅助动断触头断开，使 KM_2 不能得电，进行电气互锁。

停止：按下停止按钮 SB_{11} ，使如图中虚线所示的自锁支路断开， KM_1 便失电释放。

正向点动：按下正向点动按钮 SB_{21} ，其动断触头断开，如图中虚线所示的接触器的自锁支路断开；其动合触头闭合，接通如图 3.1.16 中实线所示的接触器 KM_1 支路，使 KM_1 得电吸合。松开正向点动按钮 SB_{21} ，接触器 KM_1 失电释放，点动结束。

反向启动、停止、点动启动与正向相同，不再赘述。

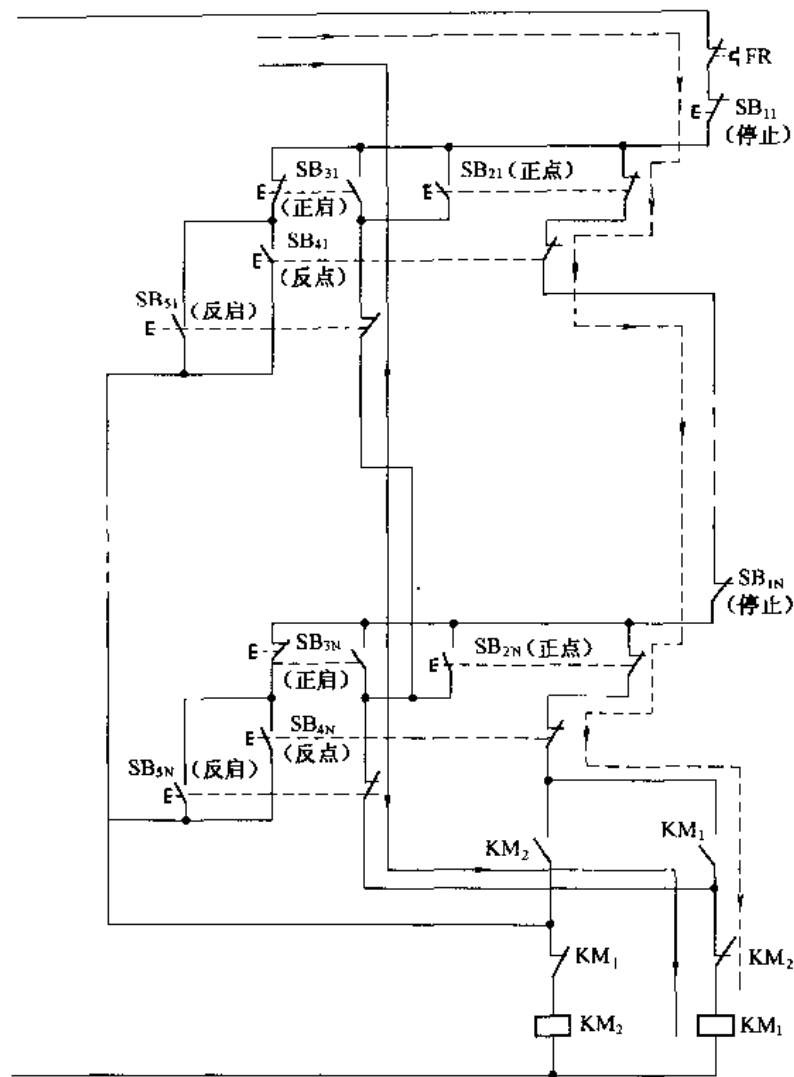


图 3.1.16 图 3.1.15 的改画电路

4. 带自锁功能的一机多地控制电路

大功率用电设备有很多是需要用冷却水降温的，冷却水回收后再循环使用。当需要降温的设备台数较多时，可以用一台共用泵为多台设备供水。如果将各设备操作点的启动按钮并联、停止按钮串联，则当操作任一点按“停止”按钮或有故障时，将导致全系统停泵，使其他设备的供水中断。采用“一机多地”控制方式，每个操作点既可以单独开泵、停泵，而当其中任何一点正在用水时，又能防止由于其他点关泵而断水。

【看图思路】

一机多地控制电路如图 3.1.17 所示。主回路总控制部分安装在泵房，其上设有检修试验用的启停按钮。1 号控制点、2 号控制点……是各使用点所装的结构相同的控制板。总开关 QF 平时在合闸位置。

为检修试验方便，泵房装有总控制部分。接触器 KM 线圈通过中间继电器 KA₀ 的动合触

头控制而不用 KM 的动合触头自锁，否则各控制点使 KM 得电吸合后无法关泵。各控制点通过其相应中间继电器的动合触头来控制接触器 KM。各控制点中间继电器动合触头与总控制中间继电器动合触头相并联。

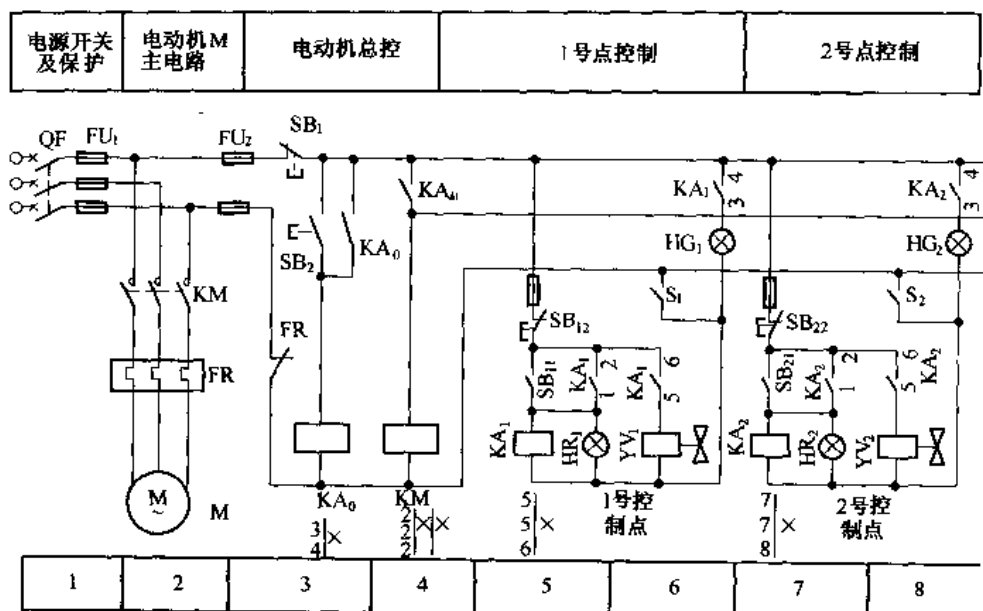


图 3.1.17 带自锁功能的一机多地控制电路

【看图实践】

当 1 号控制点需要开泵时，可先合上本控制点控制开关 S_1 [6]，然后按启动按钮 SB_{11} [5]，则中间继电器 KA_1 得电吸合并自锁，其触头 KA_1 (3-4) [6] 接通，使接触器 KM [4] 得电吸合，水泵电动机 M 启动； KA_1 (5-6) [6] 接通，使进水阀 YV_1 打开，为设备供水。红色信号灯 HR_1 亮，表示该点已投入，绿灯 HG_1 亮，表示水泵电源已接通。而 KA_1 的动合触头 KA_1 (3-4) 闭合，使 KM 锁住，以防止其他控制点关泵而使 KM 失电释放。

假如 2 号控制点也要用水，则合上开关 S_2 [8] 后，灯 HG_2 [8] 亮（通过已闭合的触头 KA_1 (3-4)），表示水泵已被别人启动。这时只要按 SB_{21} [7]，继电器 KA_2 得电吸合并自锁，其触头 KA_2 (5-6) [8] 闭合，使水阀 YV_2 开阀供水，同时 KA_2 的动合触头 KA_2 (3-4) [8] 闭合使 KM 锁住，以防别人关泵造成 KM 失电。假如 1 号控制点不用水，则只要按自己的停止按钮 SB_{12} [5] 或断开 S_1 则 KA_1 失电释放，1 号控制点的灯熄、阀关、水停。在断开 S_1 后，若 HG_1 未熄灭，则表示别处尚在用水。这时，由于 2 号点的 KA_2 (3-4) 仍处于接通状态，因此 1 号点关掉后并不切断 2 号点的供水。这就实现了每个点都可能单独开泵，而当多台设备都正在用水时，每个控制点都能防止别的控制点关泵而停泵，形成“自锁”，只有最后一个控制点关掉时，循环泵才会停止。

【电路点评】

总控制部分与各控制点之间仅用 3 根公用控制线连接，当需要增加冷却设备时，只需将公用线延伸至该点的控制板上，无需更改其他点的接线。

5. 继电器按钮多地控制的紧急断电电路

电路如图 3.1.18 所示。

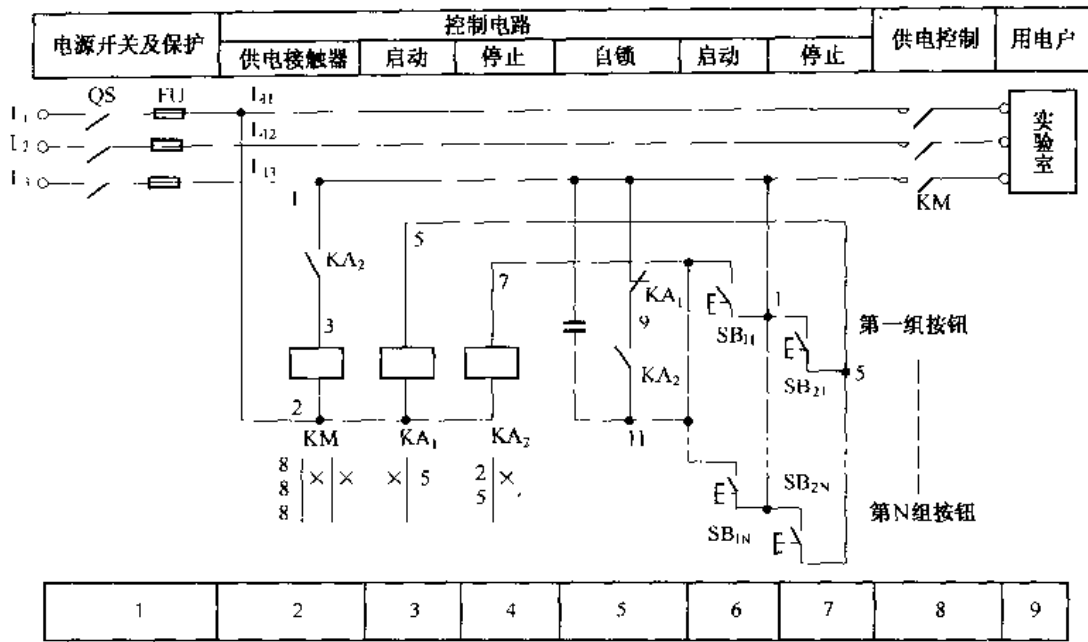


图 3.1.18 继电器按钮多地控制电路

【看图思路】

接触器 KM 由中间继电器 KA₂ 控制，而 KA₂ 由按钮 SB₁₁ 等启动，并通过 KA₁ (1-9)、KA₂ (9-11) 自锁。而 KA₁ 由按钮 SB₂₁ 等进行点动控制。由此可见，接触器 KM 由中间继电器 KA₂ 启动，由中间继电器 KA₁ 切断 KA₂ 的自锁电路，进而使 KM 失电释放。在需要控制的地点设置动合按钮 SB_{1N}、SB_{2N} (N=1, 2, …, n)。SB_{1N} 为启动按钮，SB_{2N} 为停止按钮。

【看图实践】

合上开关 QS，当需要用电时，按下 SB₁~SB_{1N} 中的任意启动按钮，例如按钮 SB₁₁，则中间继电器 KA₂ 得电吸合，其得电通路为 L₁₁→KA₂ 线圈→SB₁₁ (7-1)→L₁₃。KA₂ 的动合触头 KA₂ (9-11) 闭合，使 KA₂ 自锁，此时 KA₂ 的得电通路为 L₁₁→KA₂ 线圈→KA₂ (11-9)→KA₁ (9-1)→L₁₃，即 KA₂ 的自锁电路为 KA₁ (1-9)、KA₂ (9-11)。KA₂ 的另一动合触头 KA₂ (1-3) [2] 闭合，使接触器 KM 得电吸合，其主触头闭合，向用电控制点供给三相电。

当某处突然发生触电或其他电气事故需要紧急断电时，任何人都可就近按动红色断电按钮 SB₂₁、SB₂₂、…、SB_{2N}，使 KA₁ 得电吸合，KA₂ 失电释放，KM 失电释放，切断总电源。当事故得到妥善处理，再按任意绿色按钮 SB_{1N}，即可重新接通总电源。

该电路的优点是具有失压保护功能。如果以主电路为中心，各处开关只需引 3 根导线，并可向平面或空间的任意方向辐射；缺点是每处开关需引 3 根导线，导线显得略多一点。

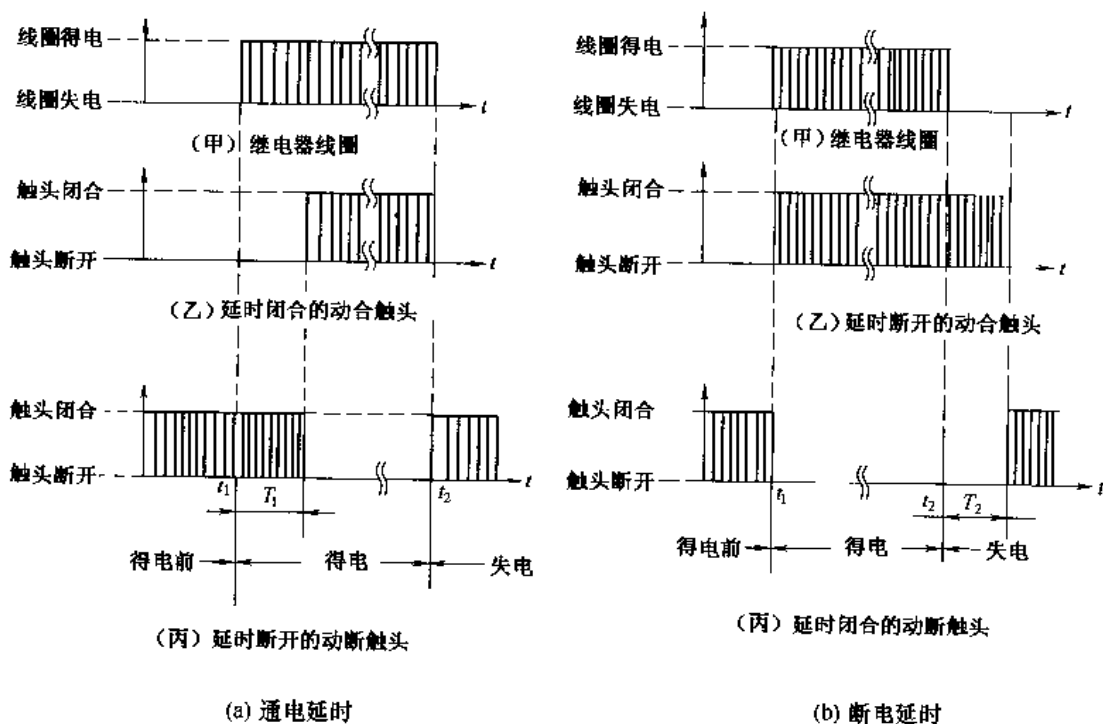
第二节 按时间控制原则组成的基本控制电路

在生产过程中，常常要求一个动作完成后，间隔一定时间再开始下一个动作，这就是按时间进行控制。在电气自动控制系统中，以时间原则控制的电气控制电路应用得最为普遍，在交、直流电动机的启动、能耗制动电路以及所有与“时间”这一参数有关的控制电路中，

都可以使用时间控制原则。所利用的电器元件为时间继电器。

从得到输入信号（线圈的得电或失电）开始，经过一定的延时后才输出信号（触头的闭合或断开）的继电器，称为时间继电器。

根据计时起点的不同，可将电气控制电路分为通电延时控制和断电延时控制两大类。通电延时（见图 3.2.1 (a)）是指时间继电器得电的瞬间开始计时，而此时的延时触头不动作并保持原状，等到计时过程一结束，其延时触头就立刻动作，即延时动断触头断开，延时动合触头闭合。此后，只要时间继电器的线圈保持得电，其延时触头也就一直保持动作后的状态。当时间继电器失电时，延时触头立刻恢复原来的状态，即延时动断触头闭合，延时动合触头断开。总之，通电延时是指接受输入信号后延迟一定的时间，输出信号才发生变化；当输入信号消失后，输出瞬时复原，即触头复位。



t_1 —继电器线圈开始得电时刻 t_2 —继电器线圈失电时刻
 T_1 —通电延迟时间 T_2 —断电延迟时间

图 3.2.1 时间继电器的工作方式

断电延时（见图 3.2.1 (b)）是指时间继电器一旦得电后，其延时触头就立刻动作，即断电延时断开的动合触头闭合、断电延时闭合的动断触头断开并保持。时间继电器在失电的一瞬间开始计时，此时延时触头仍保持动作后的状态，等到计时过程一结束，延时触头立刻恢复原来最初的状态，即动断触头闭合，动合触头断开。总之，断电延时是指接受输入信号时，瞬时产生相应的输出信号；当输入信号消失后，延迟一定时间，输出才复原，即触头复位。

准确掌握通电延时和断电延时的工作过程，对分析电气控制线路有很大的帮助。相对而言，通电延时控制在实际生产中应用得较多。在使用时，特别要注意时间继电器延时触头图形符号的画法，不能搞错。

另外，时间继电器还有瞬动的动合触头和动断触头，其触头闭合、断开情况与普通继电器相同。

时间继电器的种类很多，常用的有电磁式、空气阻尼式、半导体式等。

按时间原则组成的控制电路，就是根据电动机运行的时间，利用时间继电器来控制电动机的运行状态。

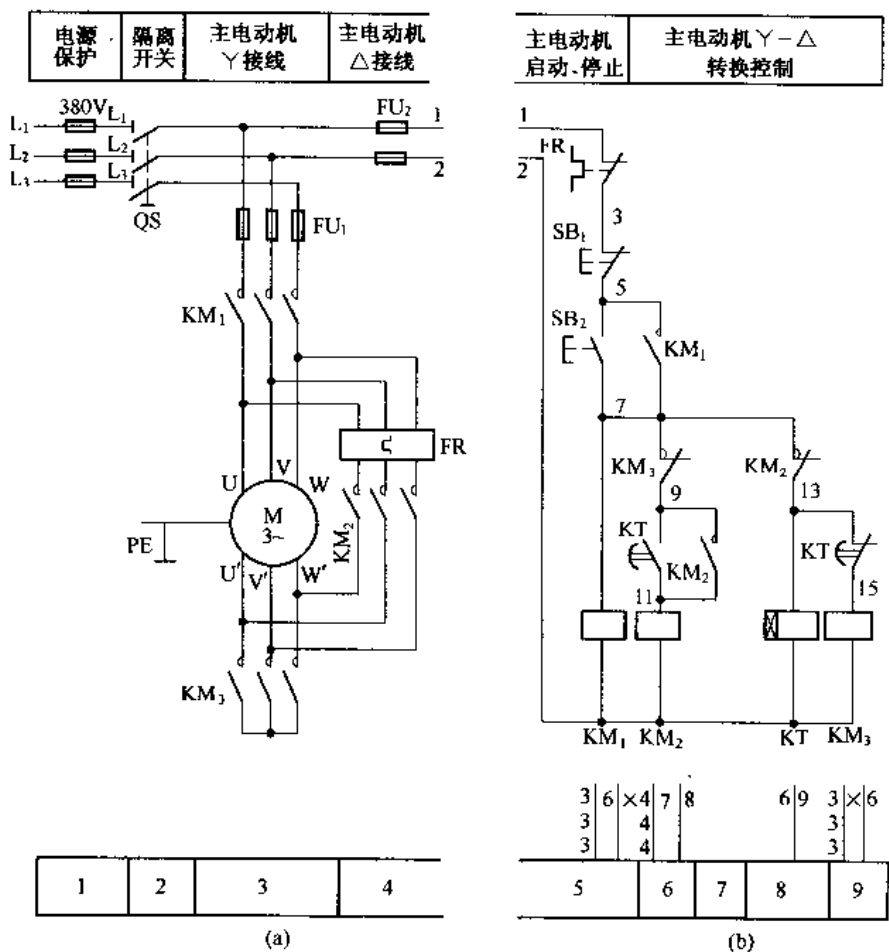
一、按时间原则组成的三相笼形感应电动机减压启动控制电路

减压启动是指在启动时，通过某种方法，降低加在电动机定子绕组上的电压，待电动机启动后，再将电压恢复到额定值。由于电动机的启动电流与电压成正比，因此降低启动电压可以减小启动电流。但电动机的转矩与电压的平方成正比，使启动转矩也大为降低，因此减压启动只适用于对启动转矩要求不高或空载、轻载下启动的设备。常用的减压启动方式有Y- Δ （星形-三角形）减压启动、串电阻减压启动和串自耦变压器减压启动。

对减压启动控制的要求是，不能出现长时间低压运行，不能出现全压启动；在正常运行时应尽量减少工作电器的数量。

1. 用3只接触器换接的Y- Δ 启动控制电路

电路如图 3.2.2 所示，其中图（a）为主电路，图（b）~（e）分别为控制电路。



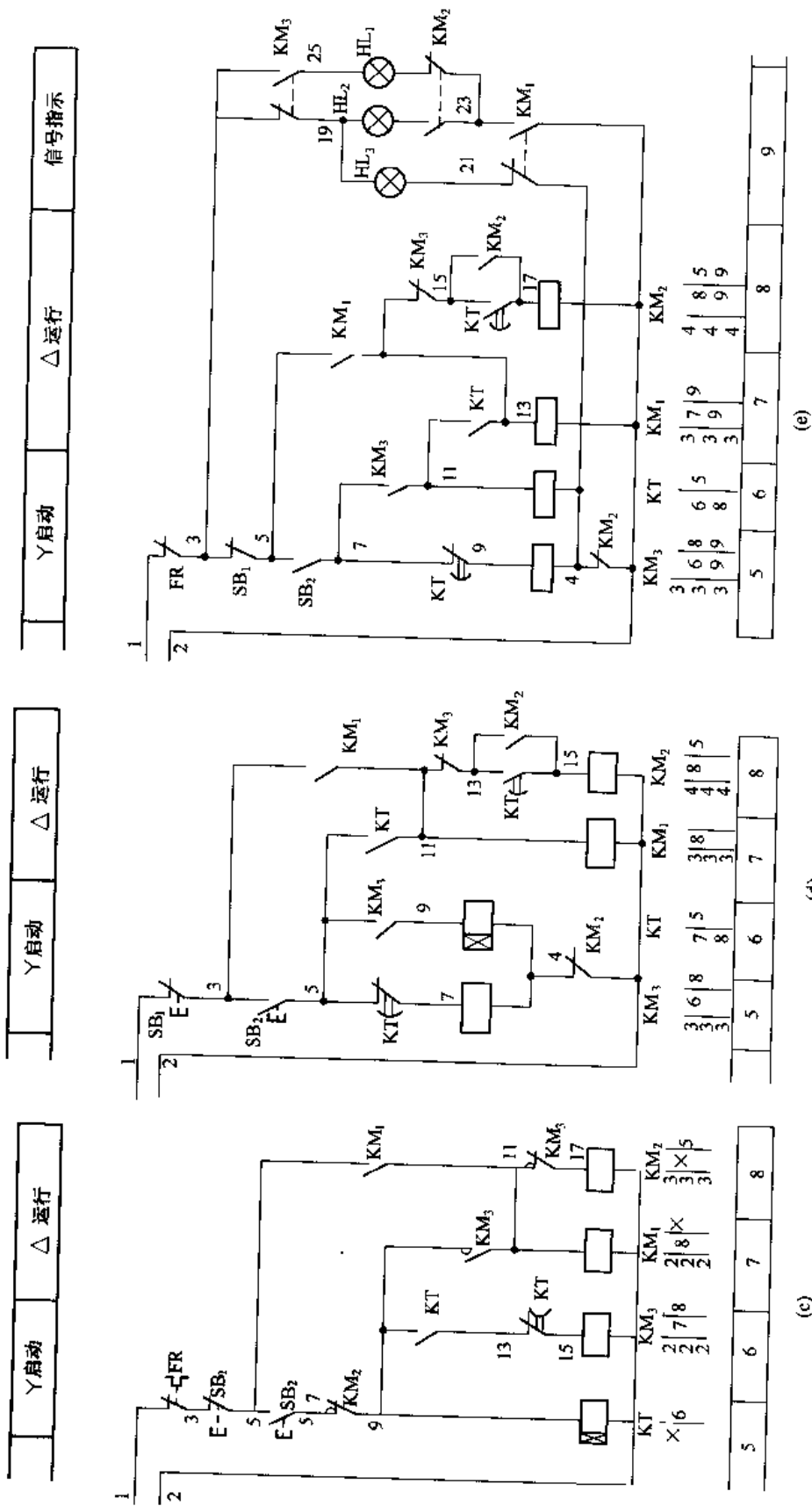


图 3.2.2 3 只接触器换接的Y-Δ启动控制电路

【看图思路】

(1) 由图 3.2.2 (a) 可以看出, 接触器 KM_3 得电吸合, 将电动机定子绕组的一端相连接 (见图 3.2.3), 电动机定子绕组连接成 Y 形; 接触器 KM_2 得电吸合, 将定子绕组的首末端彼此相连接 (见图 3.2.3), 电动机定子绕组连接成 Δ 形。由此可见, 该电路为 Y- Δ 减压启动控制电路。电动机在 Y 形连接下运行时, KM_1 、 KM_3 得电吸合; 在 Δ 形连接下运行时, KM_1 、 KM_2 得电吸合。

热继电器 FR 在启动时不通过电流, 从而避免了启动电流造成的误动作, 而且其电热元件串接于电动机的三相绕组回路中, 因而用普通三相热继电器也能有效地起到断相保护的作用。

(2) Y- Δ 转换。电动机进行 Y- Δ 转换, 实际上就是 KM_2 - KM_3 转换。电动机先接成 Y 形启动, 直到其转速接近额定转速时, 再换接成 Δ 形进入运转状态。两种接线方式的切换必须在极短时间内完成, 既可手动操作, 也可自动控制。一般采用自动控制, 在控制电路中采用通电延时时间继电器, 按时间原则, 组成控制电路, 定时自动切换。

在进行 Y- Δ 转换时有两个问题应注意:

① 转换时间的选定。手动时, 在电动机转速接近额定转速时, 由操作人员进行转换; 自动时, 由时间继电器对 Y 启动时间进行控制, Y 形启动时间就是时间继电器延时时间, 延时到时, 电路可以从 Y 连接启动, 自动转换成 Δ 形连接运行状态, 以防止操作人员忘记进行转换, 避免电动机长时间欠压运行造成过载。时间继电器延时时间应根据负载进行整定。

② 应注意在 Y- Δ 自动切换过程中, 可能会发生接触器触头间飞弧短路的情况。由于接触器 KM_3 辅助动断触头瞬间闭合, 接触器 KM_2 立即得电吸合, 若这时 KM_3 的动合主触头还没有完全断开, 就会在接触器 KM_3 上产生短路飞弧。

为此, 应注意各种电器元件的选择。还可采用下面将介绍的延长转换时间和失电转换方法来解决飞弧问题。

(3) 电路组成的基本原则。接触器 KM_1 始终得电。Y 形启动时, KM_1 、 KM_3 、KT 得电, 而 KM_2 不能得电; Δ 形运行时, 仅 KM_1 、 KM_2 得电而 KM_3 、KT 失电; Y- Δ 转换由 KT 控制。

① 基于上述原因, KM_3 和 KM_2 应互锁。

② KT 的延时断开的动断触头串联在 KM_3 线圈电路中, 而其延时闭合的动合触头串联在 KM_2 线圈电路中; KM_2 的一副辅助动断触头串联在 KM_3 和 KT 线圈并联的电路中。这样, 当 KT 延时时间到, 其延时断开的动断触头首先断开, 使 KM_3 失电释放, KM_3 主触头断开, 电动机解除 Y 形连接; 其延时闭合的动合触头闭合后, 使 KM_2 得电吸合, 其主触头闭合, 电动机切换为 Δ 形运行, 同时 KM_2 的一副辅助动断触头断开, 使 KT 失电释放, 并确保 KM_3 失电。Y- Δ 启动电器元件得电、失电情况见表 3.2.1。

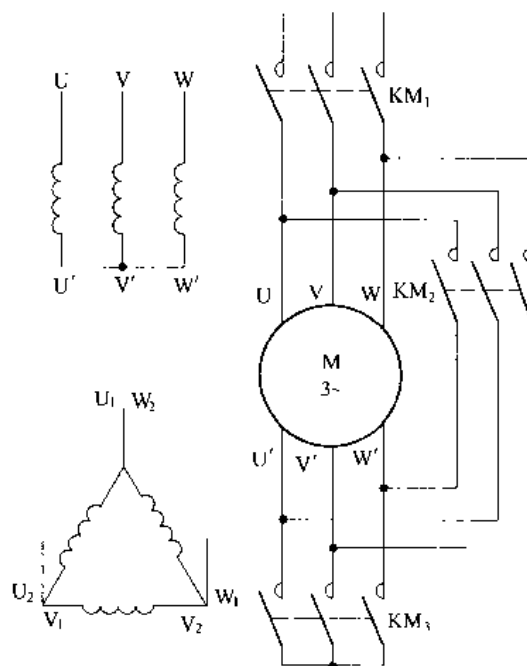


图 3.2.3 电动机定子绕组的 Y- Δ 连接

表 3.2.1 Y-Δ启动电器元件得电、失电情况

运行状态	得 电	失 电
Y	KM ₁ 、KM ₃ 、KT	KM ₂
Δ	KM ₁ 、KM ₂	KM ₃ 、KT

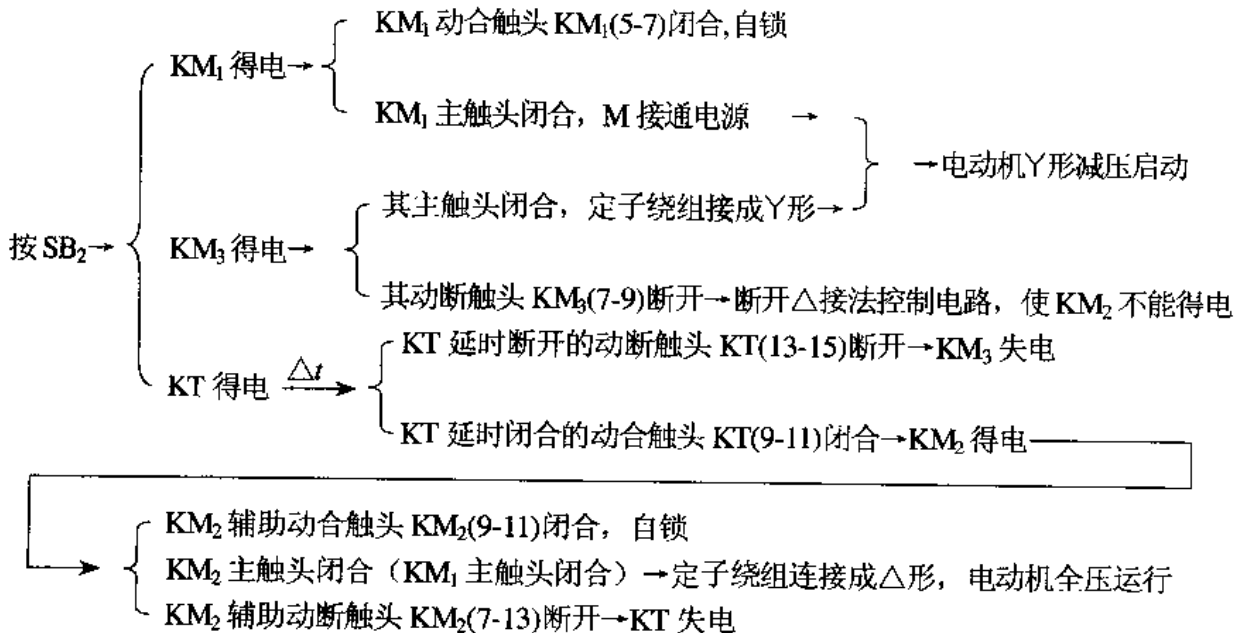
【看图实践】

(1) 对图 3.2.2 (b) 所示的电路, 按下启动按钮 SB₂, 接触器 KM₁ 得电吸合并自锁, 其主触头闭合, 将电动机的三相定子绕组首端 U、V、W 分别与三相电源相线的 L₁、L₂、L₃ 相接通。由于通电延时时间继电器 KT 的延时闭合的动合触头 KT (9-11) 是断开的, 因此 KM₂ 无电, 其主触头和辅助动合触头 KM₂ (9-11) 断开, 辅助动断触头 KM₂ (7-13) 闭合。因此, 在 KM₁ 得电的同时, KT 和 KM₃ 得电。KM₃ 的主触头闭合, 将电动机三相定子绕组的末端 U'、V'、W' 短接在一起, 电动机定子绕组在 Y 形连接下得电启动, KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (7-9) 断开, 确保 KM₂ 无电, 以避免 KM₂ 同时得电而造成电源短路, 即实现互锁。

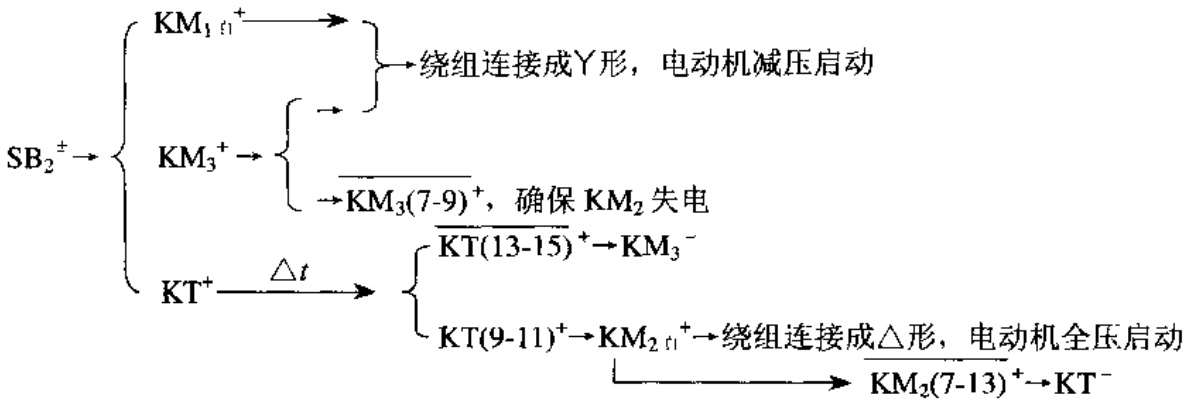
当电动机转速接近额定转速时, 即时间继电器 KT 延时时间到, 其延时断开的动断触头 KT (13-15) 断开, 使 KM₃ 失电释放, 其主触头断开, 电动机定子绕组末端脱离短接状态; 同时其辅助动断触头 KM₃ (7-9) 复位闭合。在 KT 的延时断开的动断触头 KT (13-15) 断开时, 其延时闭合的动合触头 KT (9-11) 闭合, 使 KM₂ 得电吸合并自锁, 其主触头闭合, 将电动机定子绕组接成 Δ 形 (U-W'、V-U'、W-V') 而得电旋转。在 KM₂ 主触头闭合的同时, 其辅助动断触头 KM₂ (7-13) 断开, 使 KT 失电释放, 并确保 KM₃ 无电。这样一方面使已完成 Y-Δ 启动任务的 KT 不再得电, 另一方面确保 KM₂ 得电时 KM₃ 无电, 从而避免 KM₂ 和 KM₃ 同时得电造成电源短路, 即实现互锁。

SB₁ 为停止按钮。KM₂ 和 KM₃ 的动断触头 KM₂ (7-9) 和 KM₃ (7-13) 构成互锁, 保证电动机绕组只能连接成一种形式, 即 Y 形或 Δ 形, 以防止同时连接成 Y 形和 Δ 形而造成电源短路, 使电路能可靠工作。

电路的工作过程可通过电器动作顺序来描述。图 3.2.2 (b) 所示电路的电器动作顺序为:



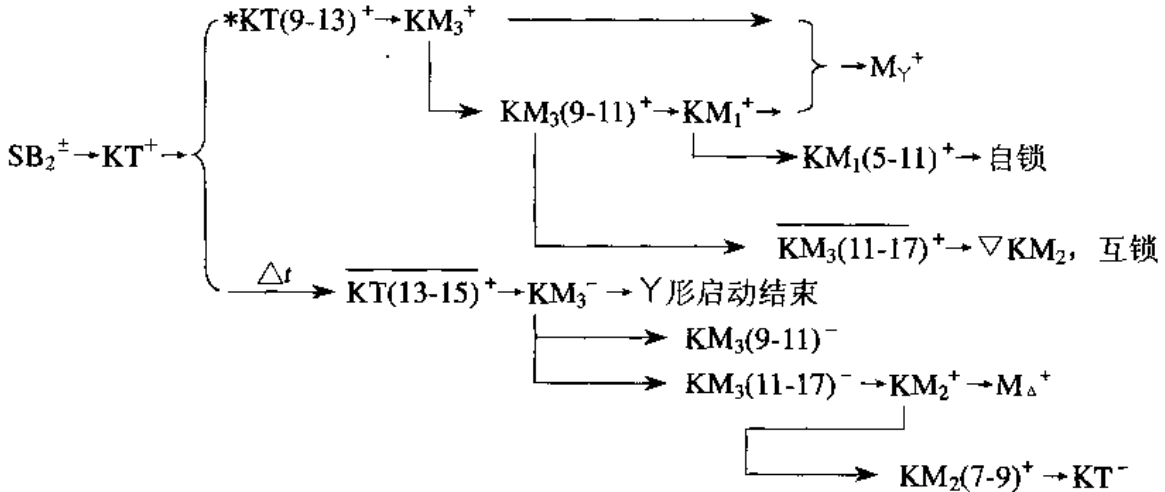
对于图 3.2.2 (b)，用助记符表示的电路电器动作顺序为：



(2) 对于图 3.2.2 (c) 所示的电路，按下启动按钮 SB_2 ，通电延时时间继电器 KT 得电吸合，其瞬动动合触头 $KT(9-13)$ 闭合，使接触器 KM_3 得电吸合。 KM_3 的主触头闭合，电动机定子绕组作 Y 形连接； KM_3 的辅助动合触头 $KM_3(9-11)$ 闭合，使接触器 KM_1 得电吸合并自锁，电动机即在 Y 形连接下启动。 KM_3 的动断辅助触头 $KM_3(11-17)$ 断开接触器 KM_2 的线圈电路，保证 KM_3 吸合时， KM_2 不会得电，当 KT 延时时间到（经过事先整定好的时限）， KT 延时断开的动断触头 $KT(13-15)$ [6] 断开，使 KM_3 失电释放， KM_3 的辅助动断触头 $KM_3(11-17)$ 复位闭合，使接触器 KM_2 得电吸合，其主触头闭合，电动机定子绕组作 Δ 形连接，进入正常运转状态。

KM_2 得电吸合后，其辅助动断触头 $KM_2(7-9)$ 断开；而接触器 KM_3 失电后，其辅助动合触头 $KM_3(9-11)$ 断开，使时间继电器 KT 失电，其延时断开的动断触头 $KT(13-15)$ 瞬时闭合，准备第二次启动控制。接触器 KM_2 有一辅助动断触头 $KM_2(7-9)$ 与启动按钮 SB_2 串联，使电路工作更为可靠。

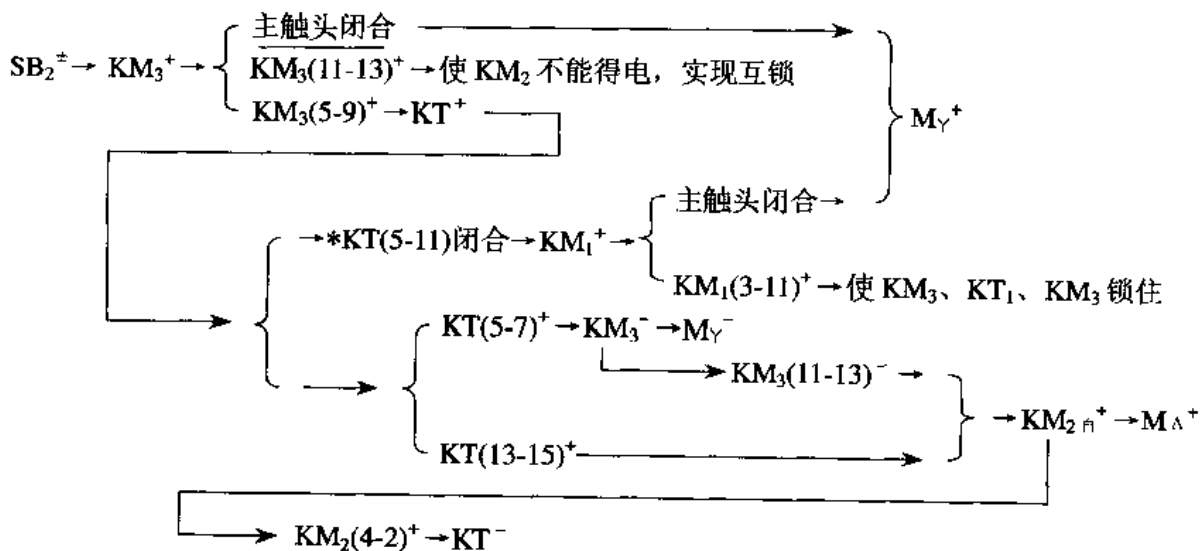
图 3.2.2 (c) 所示的电路的电器动作顺序为：



(3) 对图 3.2.2 (d) 所示的电路，按下按钮 SB_2 ，接触器 KM_3 得电吸合。 KM_3 的辅助动断触头 $KM_3(11-13)$ 断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁。 KM_3 的辅助动合触头 $KM_3(5-9)$ 闭合，使通电延时时间继电器 KT 得电吸合。 KT 的瞬动触头 $KT(5-11)$ 立

即闭合，使 KM_1 得电吸合， KM_1 的辅助动合触头 $KM_1(3-11)$ 闭合，将 KM_1 、 KT 、 KM_3 锁住。 KM_3 的主触头闭合，使电动机定子绕组接成 Y 形， KM_1 的主触头闭合，使电动机接入三相电源，进行减压启动。当 KT 延时时间到，其延时断开的动断触头 $KT(5-7)$ 断开，使 KM_3 失电释放，其主触头断开，电动机定子绕组解除 Y 形连接，其辅助动断触头 $KM_3(11-13)$ 复位闭合； KT 的延时闭合的动合触头 $KT(13-15)$ 闭合，使 KM_2 得电吸合，其主触头闭合，电动机定子绕组连接成 Δ 形，并接入三相电源进入全压运行， KM_2 的辅助动断触头 $KM_2(4-2)$ 断开，使 KT 失电释放，并确保 KM_3 不能得电，实现互锁。

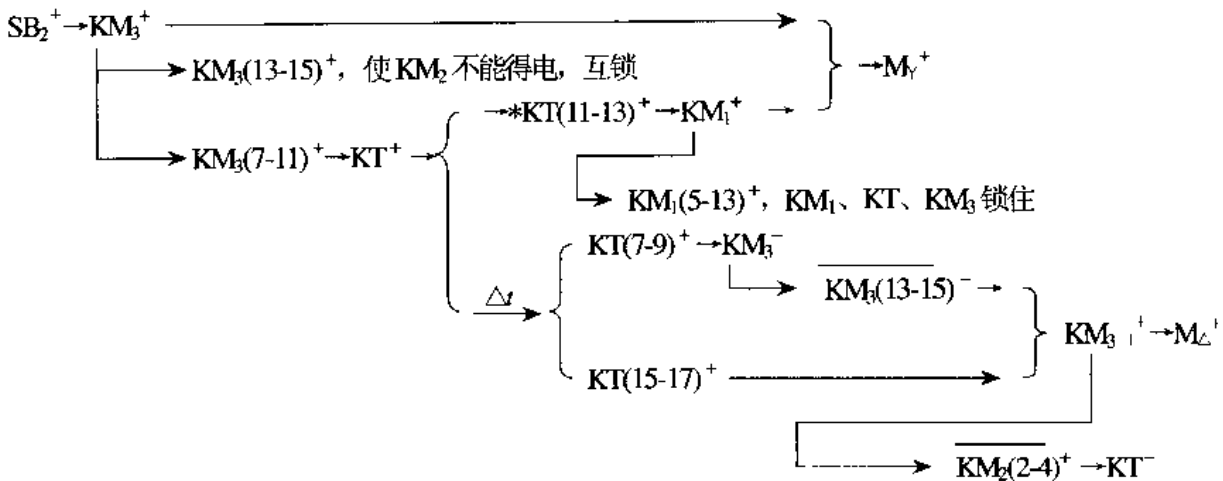
图 3.2.2 (d) 所示的电路的电器动作顺序为：



(4) 对图 3.2.2 (e) 所示电路，合上断路器 QS ，指示灯 HL_3 亮，表示接触器 KM_1 、 KM_2 、 KM_3 正常。按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_3 得电吸合，其主触头闭合，将电动机定子绕组连接成 Y 形；其辅助动断触头 $KM_3(13-15)$ 首先断开，确保 KM_2 不能得电，实现互锁； KM_3 的辅助动断触头 $KM_3(3-19)$ 断开，使 HL_3 熄灯；其辅助动合触头 $KM_3(7-11)$ 闭合，使通电延时时间继电器 KT 得电吸合，其瞬动触头 $KT(11-13)$ 立即闭合，使接触器 KM_1 得电吸合。 KM_1 的主触头闭合，电动机接通电源开始减压启动； KM_1 的辅助动合触头 $KM_1(5-13)$ 闭合，使 KM_1 、 KT 、 KM_3 锁住； KM_1 的另一辅助动合触头 $KM_1(23-2)$ 闭合，使指示灯 HL_1 亮、 HL_3 灭。

一旦 KT 延时时间到，其延时断开的动断触头 $KT(7-9)$ 首先断开，使 KM_3 失电释放，其辅助动断触头 $KM_3(13-15)$ 复位闭合； KT 延时闭合的动合触头 $KT(15-17)$ 闭合，使 KM_2 得电吸合并自锁，其主触头闭合，使定子绕组接成 Δ 形。指示灯 HL_2 亮、 HL_1 灭，表示电动机加额定电压运行。同时， KM_2 的辅助动断触头 $KM_2(2-4)$ 断开，使 KT 失电释放，并确保 KM_3 不能得电，实现互锁。

电器元件动作顺序为：



2. 延长转换时间的接触器Y-△启动控制电路

电路如图 3.2.4 所示。从Y形连接接触器 KM_3 失电释放到△形连接接触器 KM_2 得电吸合的时间称为Y-△转换时间。

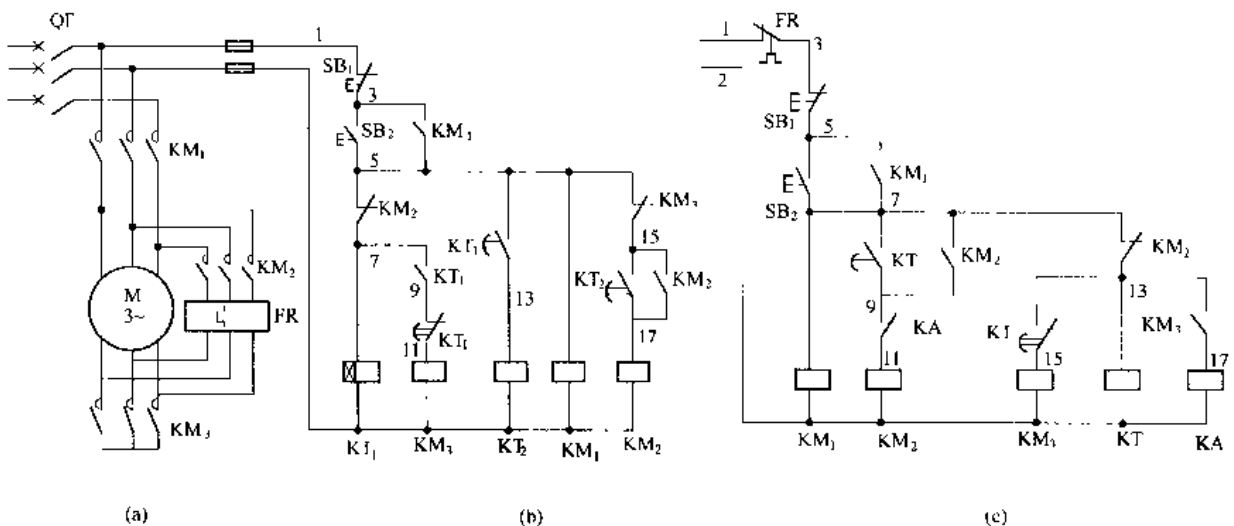


图 3.2.4 延长转换时间的接触器Y-△减压启动电路

【看图思路】

图 3.2.4 (a) 所示的主电路与图 3.2.2 (a) 所示的主电路相同。

对图 3.2.4 (b) 所示的控制电路， KM_3 失电释放后，不立即转换到使△形连接的 KM_2 得电吸合，而是通过通电延时时间继电器 KT_2 ，短暂延时 0.2~0.5s，使电弧迅速熄灭后，再使接触器 KM_2 得电吸合。

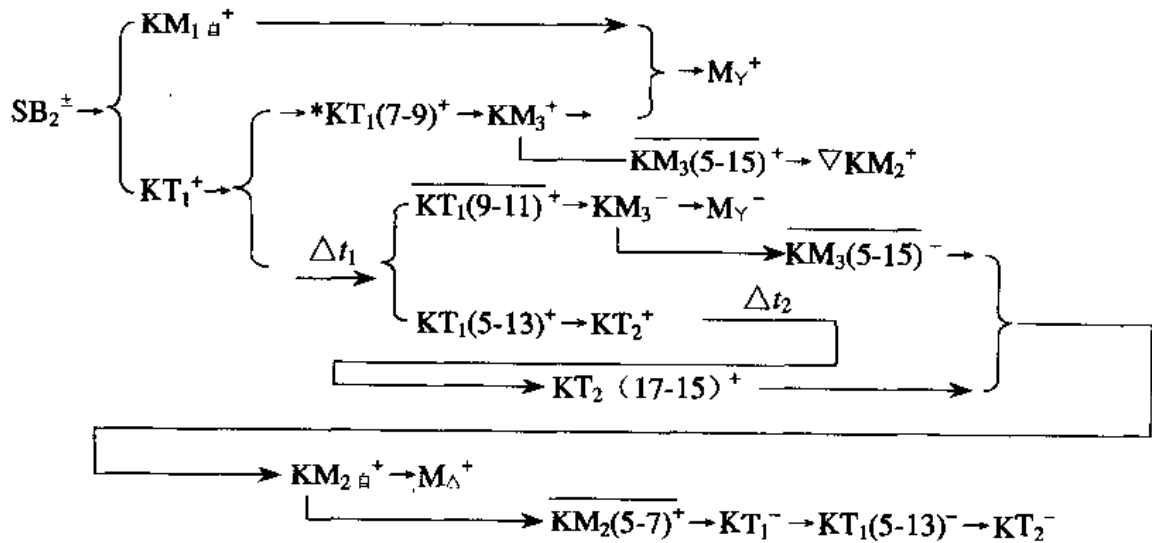
对图 3.2.4 (c) 所示的控制电路， KM_3 失电释放后，使中间继电器 KA 失电释放，其动断触头 KA (9-11) 复位闭合，使 KM_2 得电吸合，转换时间增加了 KA 的动作时间。

【看图实践】

(1) 对图 3.2.4 (b) 所示的电路，按下启动按钮 SB_2 ，通电延时时间继电器 KT_1 和接触器 KM_1 得电吸合， KT_1 的瞬动动合触头 KT_1 (7-9) 闭合，使接触器 KM_3 得电吸合。

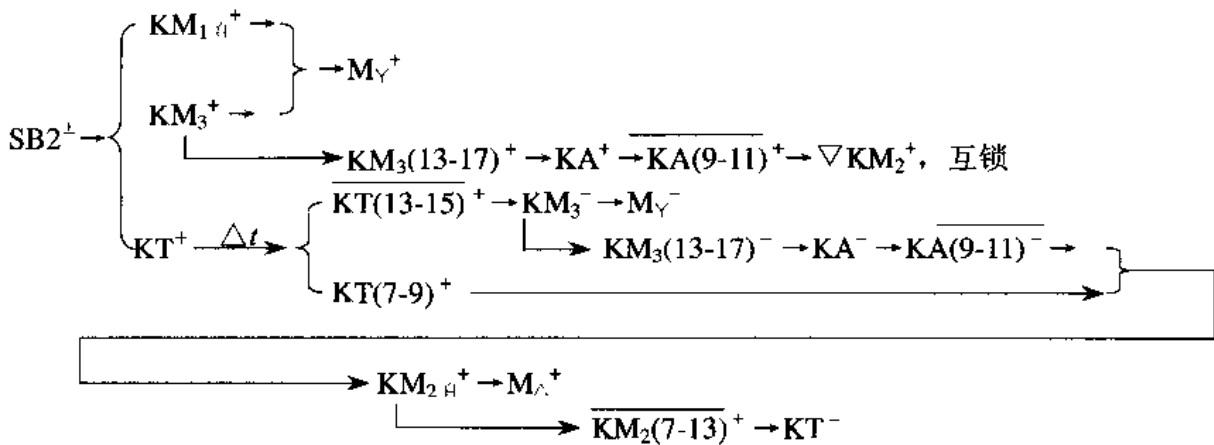
KM₁、KM₃ 的主触头闭合，电动机定子绕组接成Y形，并接入三相电源进行减压启动。同时 KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (5-15) 断开，确保 KM₂ 不能得电，实现互锁。一旦 KT₁ 延时时间到，其延时断开的动断触头 KT₁ (9-11) 断开，使 KM₃ 失电释放。KM₃ 的主触头断开，电动机定子绕组解除Y形连接，其辅助动断触头 KM₃ (5-15) 复位闭合。KT₁ 的延时闭合的动合触头 KT₁ (5-13) 闭合，使通电延时时间继电器 KT₂ 得电吸合。一旦 KT₂ 延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT₂ (15-17) 闭合，使 KM₂ 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机定子绕组连接成△形并接入三相电源进行全压运行。KM₂ 辅助动断触头 KM₂ (5-7) 断开，使 KT₁ 失电释放，进而使 KT₂ 失电释放，并确保 KM₃ 不能得电，实现互锁。

图 3.2.4 (b) 所示的电路的电器动作顺序为：



(2) 对图 3.2.4 (c) 所示的电路，按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₁、KM₃ 和通电延时时间继电器 KT 得电吸合并自锁，KM₁、KM₃ 主触头闭合，电动机定子绕组接成Y形，并接入三相电源进行减压启动，KM₃ 的辅助动合触头 KM₃ (13-17) 闭合，使中间继电器 KA 得电吸合，其动断触头 KA (9-11) 断开，确保 KM₂ 不能得电，实现互锁。KT 经过一段时间延时后，其延时断开的动断触头 KT(13-15) 断开、延时闭合的动合触头 KT(7-9) 闭合。触头 KT (13-15) 断开，使 KM₃ 失电释放，KM₃ 的主触头和辅助动合触头 KM₃ (13-17) 几乎同时复位断开，接着 KA 失电释放，其动断触头 KA (9-11) 复位闭合，而触头 KT (7-9) 已闭合，这样使 KM₂ 得电吸合并自接，电动机切换到△形连接下运行。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (7-13) 断开，使 KT 失电释放，并确保 KM₃、KA 不能得电，实现互锁。

图 3.2.4 (c) 所示的电路电器的动作顺序为：



【电路点评】

在Y-Δ自动切换过程中，可能会发生接触器触头间飞弧短路情况，因为 KM_3 失电释放后，其已断开的辅助动断触头瞬间闭合， KM_2 立即得电工作，如果这时 KM_3 已闭合的动合主触头还没有完全断开，就会在 KM_3 上产生飞弧短路。为避免飞弧短路，应延长Y-Δ转换时间。

对图 3.2.4 (b) 所示的电路，在 KM_3 失电后，不立即转到Δ形连接交流接触器 KM_2 上，而是通过时间继电器 KT_2 的 0.2~0.5s 延时后，再换接到 KM_2 上，这样可在电弧彻底熄灭后，再自动合上 KM_2 ，但时间间隔要调整适当，不宜过长，否则会形成二次启动电流。

对图 3.2.4 (c) 所示的电路，由于增加了中间继电器 KA 的动作时间，避免了 KM_2 、 KM_3 的主触头在同一时间合上的可能性。

3. 失电转换的接触器Y-Δ启动控制电路

电路如图 3.2.5 所示，电动机在失电情况下完成Y-Δ转换。

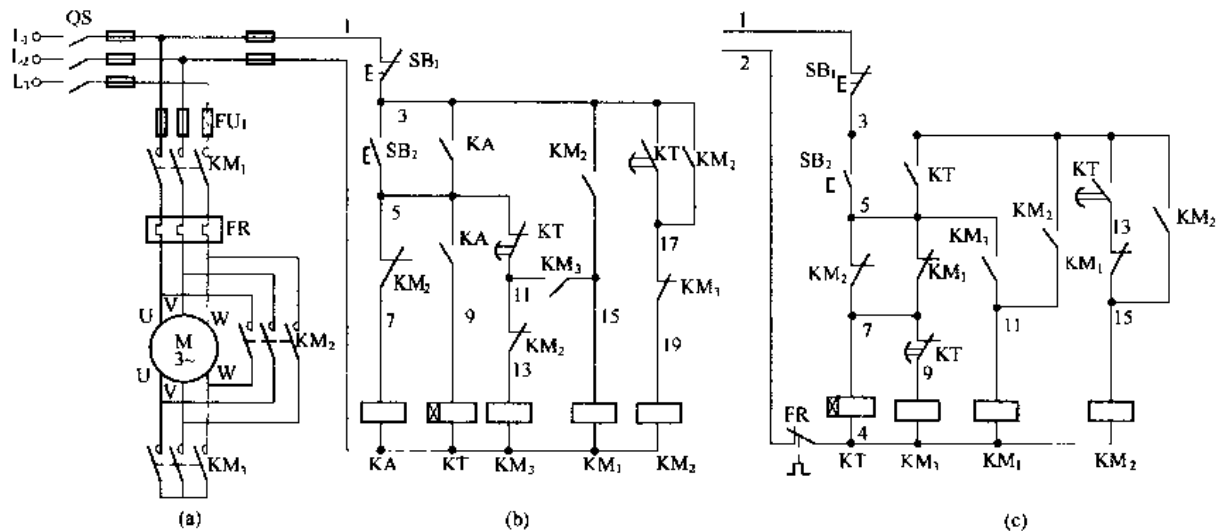


图 3.2.5 电动机在失电情况下完成Y-Δ转换

【看图思路】

在Y-Δ转换过程中， KM_3 失电释放， KM_1 也失电释放，然后使 KM_2 得电吸合，再次使 KM_1 得电吸合，从而实现在电动机失电情况下完成Y-Δ转换。

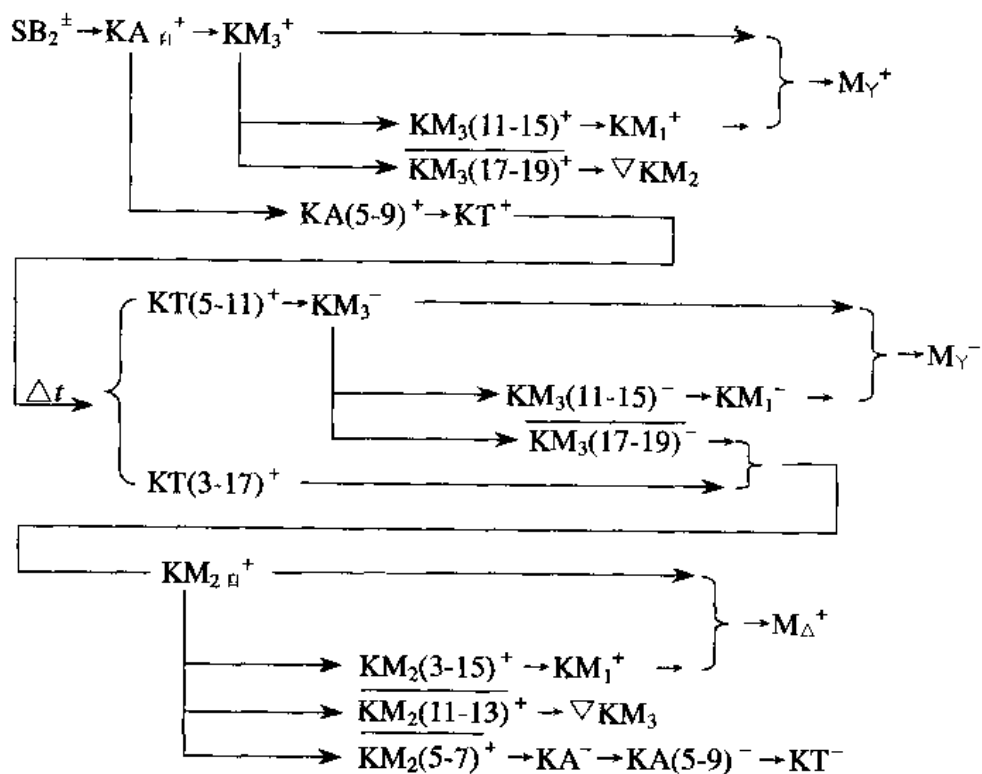
对于图 3.2.5 (b) 所示的电路，Y形减压启动，通过中间继电器 KA 的动合触头 KA (3-5) 实

现自锁；对于图 3.2.5 (c) 所示的电路，通过时间继电器 KT 的瞬动动合触头 KT (3-5) 实现自锁。

【看图实践】

(1) 先看图 3.2.5 (b) 所示的电路。按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₃、中间继电器 KA 得电吸合，并通过 KA 的动合触头 KA (3-5) 自锁。KA 的另一动合触头 KA (5-9) 闭合，使通电延时时间继电器 KT 得电吸合，KM₃ 的辅助动合触头 KM₃ (11-15) 闭合，使 KM₁ 得电吸合，KM₁、KM₃ 的主触头闭合，电动机在 Y 形连接下减压启动。KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (17-19) 断开，确保 KM₂ 不能得电，实现互锁。当 KT 延时时间到，其延时断开的动断触头 KT (5-11) 断开，使 KM₃、KM₁ 相继失电释放，KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (17-19) 复位闭合，而 KT 的延时闭合的动合触头 KT (3-17) 闭合，使 KM₂ 得电吸合，其辅助动合触头 KM₂ (3-15) 闭合，使 KM₁ 再次得电吸合，KM₁、KM₂ 主触头闭合，电动机在 Δ 形连接下全压运行。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (5-7) 断开，使 KA 失电释放，进而使 KT 失电释放。

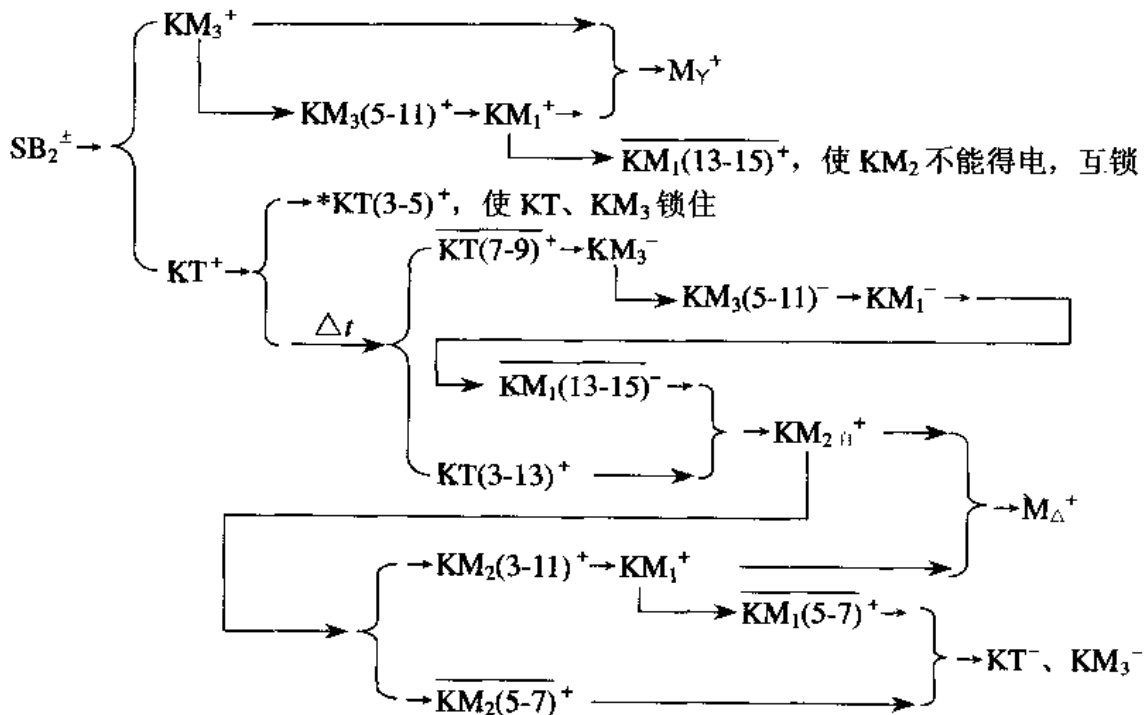
图 3.2.5 (b) 所示电路的电器动作顺序为：



(2) 再看图 3.2.5 (c) 所示的电路。按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₃ 和通电延时时间继电器 KT 得电吸合，KM₃ 的辅助动合触头 KM₃ (5-11) 闭合，使 KM₁ 得电吸合。KM₁、KM₃ 的主触头闭合，电动机在 Y 形连接下减压启动。KM₁ 的辅助动断触头 KM₁ (13-15) 断开，保证 KM₂ 在电动机启动过程中不能吸合；KT 的瞬动动合触头 KT (3-5) 闭合，起自锁作用，使 KT、KM₁、KM₃ 保持在吸合状态。此时虽然 KM₁ 的辅助动断触头 KM₁ (7-5) 断开，但由于其并联的 KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (5-7) 处于闭合状态，保证 KT、KM₃ 继续得电工作。一旦 KT 的延时时间到，其延时断开的动断触头 KT (7-9) 断开，使 KM₃ 失电释放，其辅助动合触头 KM₃ (5-11) 复位断开，使 KM₁ 失电释放，其辅助动断触头 KM₁ (5-7) 复位闭合；其另一辅助动断触头 KM₁ (13-15) 复位闭合，在此之前 KT 延时闭合的动合触头 KT (3-13) 已闭合，使 KM₂ 得电吸合并

自锁。 KM_2 的辅助动合触头 $KM_2(5-7)$ 断开，由于此时与 $KM_2(5-7)$ 并联的 KM_1 的辅助动断触头 $KM_1(5-7)$ 已重新闭合，因此 KT 还处于工作状态。 KM_2 的辅助动合触头 $KM_2(3-11)$ 闭合，使 KM_1 重新得电吸合。由于 KM_1 、 KM_2 得电吸合，其主触头闭合，电动机转入 Δ 形连接运行。 KM_1 的辅助动断触头 $KM_1(5-7)$ 再次断开，使 KT 失电释放，并确保 KM_3 不能得电。

图 3.2.5 (c) 所示的电路电器动作的顺序为：



4. 带低压断路器的用两只接触器换接的Y- Δ 启动控制电路

电路如图 3.2.6 所示，采用了带分励脱扣器的低压断路器。

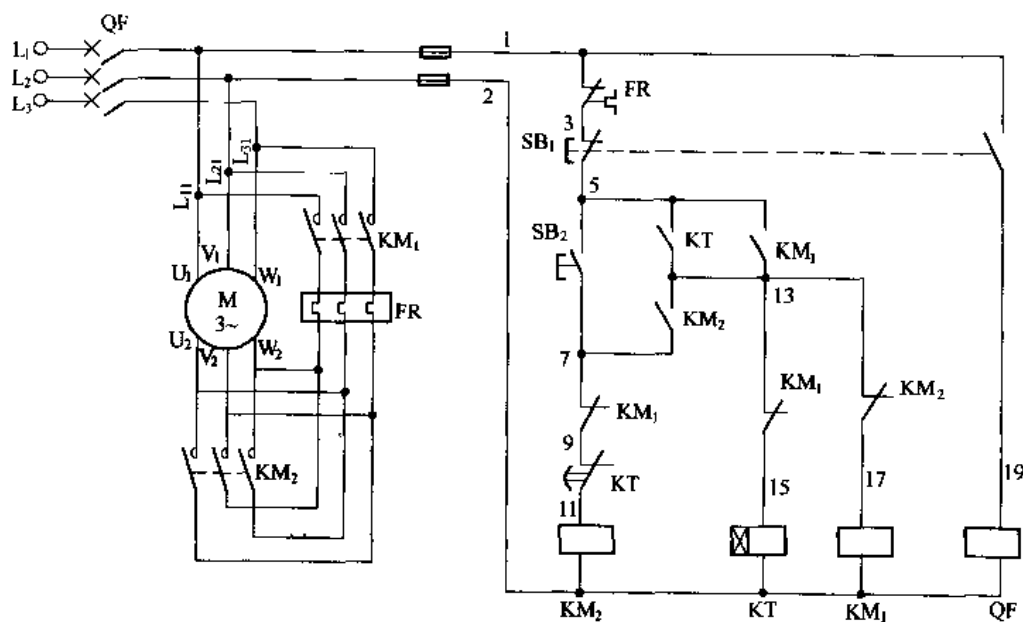
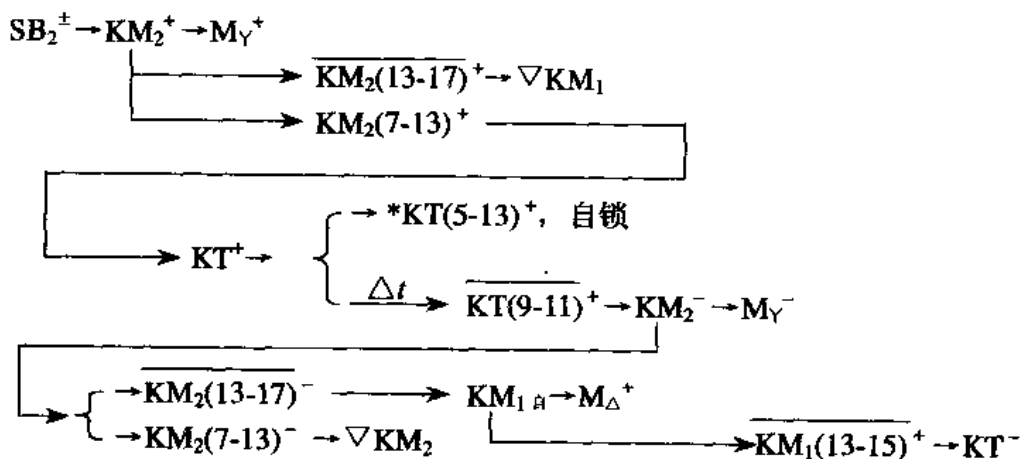


图 3.2.6 采用了带分励脱扣器的低压断路器的Y- Δ 启动控制电路

【看图思路】

合上低压断路器 QF，此时电动机虽已带电，但不会运转。按下启动按钮 SB₂，Y形连接接触器 KM₂ 得电吸合，其主触头闭合，电动机开始启动。KM₂ 的辅助动合触头 KM₂ (7-13) 闭合，使通电延时时间继电器 KT 得电吸合，其瞬动动合触头 KT (5-13) 闭合，使 KM₂、KT 保持在吸合状态。KM₂ 辅助动断触头 KM₂ (13-17) 断开，使△形连接接触器 KM₁ 在电动机启动阶段不能吸合。当 KT 的延时时间到，其延时断开的动断触头 KT (9-11) 断开，KM₂ 失电释放，其辅助动断触头 KM₂ (13-17) 复位闭合，使 KM₁ 得电吸合，电动机转入△形连接正常运行。KM₁ 的辅助动合触头 KM₁ (5-13) 闭合自锁，其辅助动断触头 KM₁ (7-9) 断开，确保 KM₂ 不接得电；辅助动断触头 KM₁ (13-15) 断开，使 KT 失电释放，此时即使误按启动按钮 SB₂，接触器 KM₂ 也不会吸合。停止时，放下停止按钮 SB₁，接触器 KM₁ 失电释放，断路器 QF 的分励线圈得电，使 QF 跳闸，电动机彻底脱离电源。

图 3.2.6 所示电路的电器动作顺序为：



停止：SB₁[±]→QF⁺，使断路器跳闸。

【电路点评】该控制电路受 QF 的接作次数限制，只适用于不频繁启动的场合。

5. 两接触器式 Y-△启动控制电路

电路如图 3.2.7 所示。

【看图思路】

图 3.2.7 为用两接触器和一个时间继电器实现 Y-△启动的控制电路。KM₁ 为电源接触器，KM₂ 为 Y-△转接接触器，KT 为减压启动时间继电器。利用接触器 KM₂ 的辅助动断触头连接电动机定子绕组的 Y 形中性点。

对图 3.2.7 (c) 所示的电路，将启动按钮 SB₂ 的动断触头 SB₂ (7-13) 串接在 KM₂ 线圈电路中，使电动机启动时不至于直接接成△连接并全压运行。

电动机在 Y-△转接过程中，虽有短暂停电，但由于惯性作用，在接接成△形连接时电动机电流并不大。

【看图实践】

合上电源开关 QS，为启动作准备。

(1) 对图 3.2.7 (b) 所示的电路，按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₁、通电延时时间继电器

器 KT 同时得电吸合并通过 KT 的瞬动动合触头 KT (5-7) 自锁, KM_1 主触头闭合接入三相交流电源, 由于 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 断开, 确保 KM_2 处于失电状态, 电动机接成 Y 形连接进行减压启动并升速。当电动机转速接近额定转速时, 即 KT 延时时间到, 其延时断开的动断触头 KT (7-11) 断开, 使 KM_1 失电释放, 其主触头断开, 切断电动机三相电源, 其延时闭合的动合触头 KT (7-13) 闭合, 而 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 复位闭合, 使接触器 KM_2 得电吸合并自锁, KM_2 的主触头闭合, 将电动机定子绕组接成 Δ 形连接, 而其辅助动断触头断开, 将电动机定子绕组末端脱离短接状态, 另一辅助动合触头 KM_2 (7-9) 断开, 使 KT 失电释放, KT 的瞬动的动合触头 KT (5-7) 复位断开, 其延时闭合的动断触头 KT (7-11) 复位闭合, 而 KM_2 的另一辅助动合触头 KM_2 (5-7) 闭合, 使 KM_1 重新得电吸合, 于是, 电动机在 Δ 形连接下正常运转。因此, KT 延时动作时间就是电动机连接成 Y 形进行减压启动的时间。

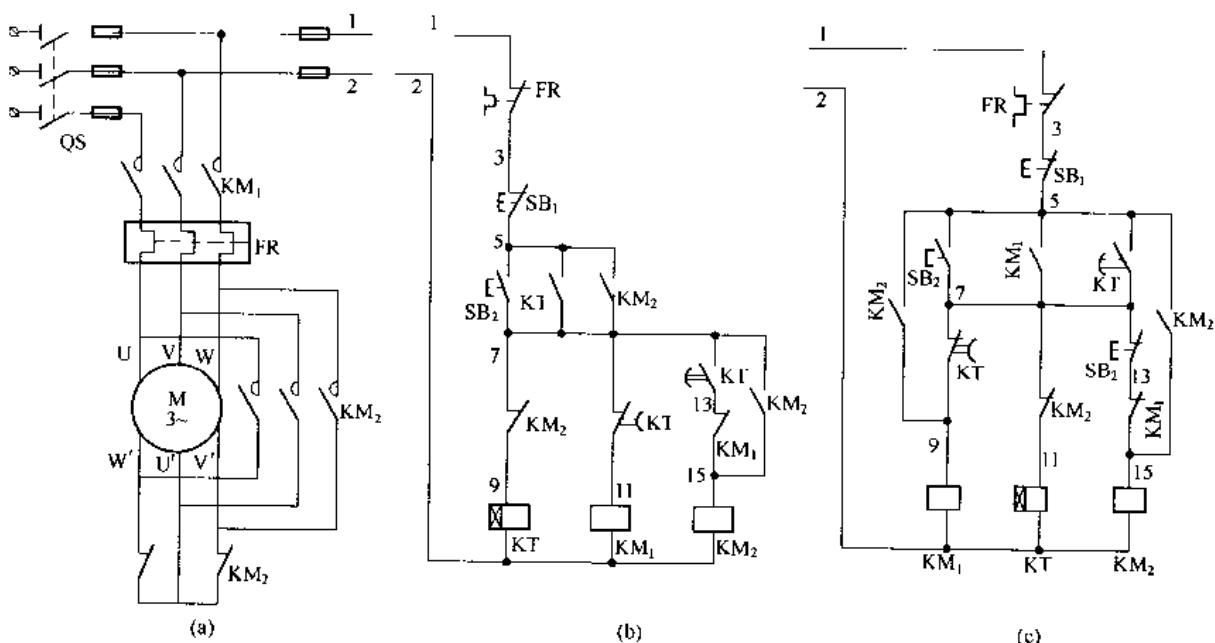


图 3.2.7 两接触器控制电动机 $Y-\Delta$ 减压启动电路

(2) 对图 3.2.7 (c) 所示的电路, 按下启动按钮 SB_2 , 其动断触头 SB_2 (7-13) 先断开, 使接触器 KM_2 不能得电, 实现互锁。利用 KM_2 的辅助动断触头将电动机定子绕组进行 Y 形连接, 而 SB_2 的动合触头 SB_2 (5-7) 后闭合, 使接触器 KM_1 得电吸合并自锁, KM_1 主触头闭合, 接通电动机的定子电路, 这时, 电动机进行 Y 形连接减压启动。 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 断开, 使 KM_2 不能得电, 实现互锁。在 KM_1 得电的同时, 时间继电器 KT 也得电工作, 一旦延时时间到, KT 延时断开的动断触头 KT (7-9) 先断开, 使 KM_1 瞬时失电, 而 KT 延时闭合的动合触头 KT (5-7) 后闭合, 待 KM_1 失电释放后, 其辅助动合触头 KM_1 (13-15) 复位闭合, KM_2 才能得电吸合并自锁。由于 KM_2 主触头动作, 电动机定子绕组由 Y 连接换成 Δ 形连接, 并 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (5-9) 闭合, 再次使 KM_1 得电吸合, KM_1 主触头闭合并接通定子电路, 此时, 电动机进入 Δ 形连接全压运行。至此, 电动机 $Y-\Delta$ 减压启动结束。停止时, 按下停止按钮 SB_1 即可。

【电路点评】

该电路在启动过程中，由于电动机Y- Δ 的换接过程中会出现 KM_1 、 KT 得电，经 KT 延时，由于 KT 延时断开的动断触头先断开，而延时闭合的动合触头后闭合，中间必有一瞬间 KM_1 失电，交流电源被切断，后由于 KM_2 得电自锁，才能使 KM_1 再次得电，这必然会引起第二次启动电流冲击，但这时电动机已具有一定的转速，因此该电流不会对电网造成多大影响。

同时，电路中还利用接触器 KM_2 的两副辅助动断触头来接电动机三相定子绕组的末端，参加Y- Δ 换接。由于电动机三相定子绕组对称，因而星点电流很小，不会超过该触头的容量。但由于容量有限，因此该电路适用于 13kW 以下电动机的启动控制。

对图 3.2.7 (c) 电路，按钮 SB_2 的动断触头 SB_2 (7-13) 串连在 KM_3 线圈电路中，使电动机刚启动时不致直接接成 Δ 形连接启动运行。

二、按时间原则控制的定子串电阻减压启动控制电路

电路如图 3.2.8 所示。

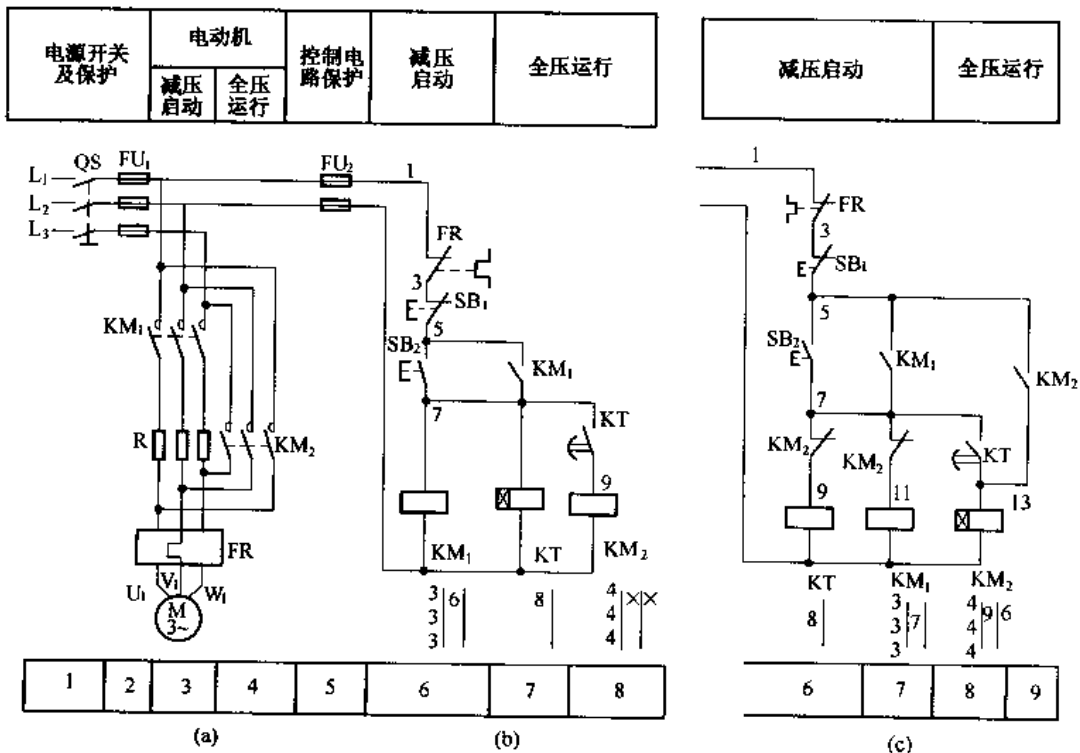


图 3.2.8 定子串电阻减压启动控制电路

【看图思路】

电动机启动时，在三相定子绕组中串接电阻分压，使定子绕组上的电压降低，启动后再将电阻短接，电动机即可在全压下运行。这种启动方式不受接线方式的限制，常用于中小型设备和限制机床点动调整时的启动电流。在图 3.2.8 中，主电路由 KM_1 、 KM_2 两组接触器主触头构成串电阻接线和短接电阻接线， KM_1 为串电阻 R 启动接触器、 KM_2 为短接电阻 R 启动运行接触器，并由控制电路通过延时时间继电器 KT ，按时间原则实现从启动状态到工作状态的自动切换。

降为直接启动时 $1/K^2$ 。待电动机转速接近其额定转速时，再将自耦变压器切除，将电动机定子绕组接在电网上进入正常运转。

由此可见，自耦变压器减压启动常用于电动机的空载或轻载启动。在自耦变压器的副边绕组上有多个抽头以获得不同电压比 K ，从而满足不同的启动场合。

在图 3.2.9 中， KM_1 为减压启动接触器， KM_2 为运行接触器， KA 为中间继电器， KT 为减压启动通电延时时间继电器，而转换由 KT 通过 KA 使 KM_2 失电、 KM_1 得电来实现。

自耦变压器减压启动适用于负载容量较大，正常运行时定子绕组连接成 Y 形而不能采用 Y- Δ 启动方式的笼形感应电动机。但这种启动方式设备费用大，通常用于启动大型的和特殊用途的电动机。

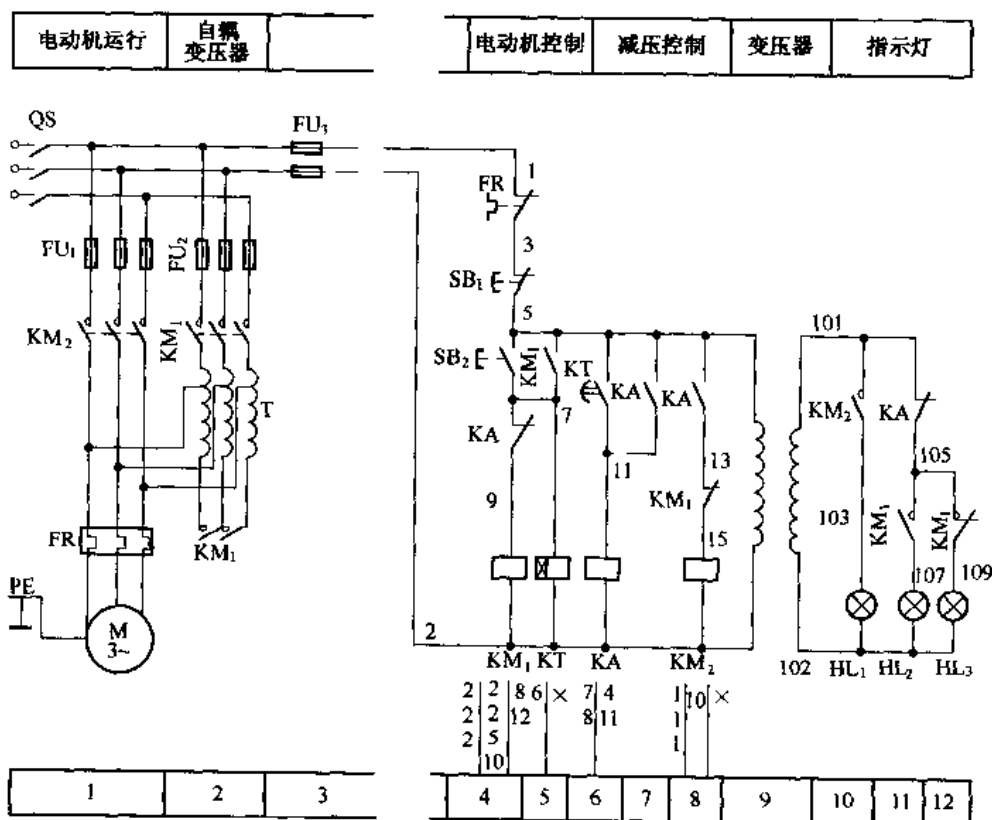
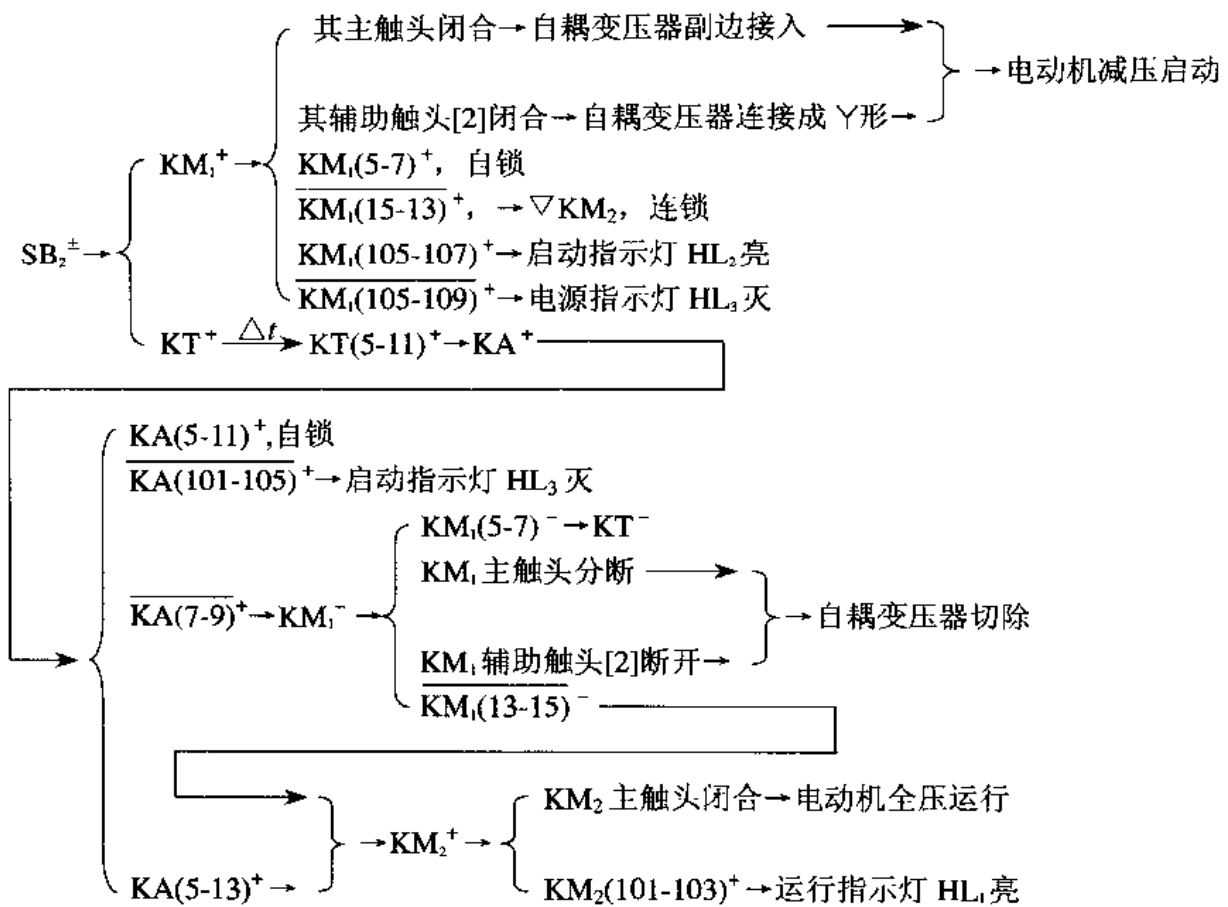


图 3.2.9 自动启动补偿器减压启动控制电路

【看图实践】

合上开关 QS ，指示灯 HL_3 亮，表明电源正常。按下启动按钮 SB_2 ， KM_1 、通电延时时间继电器 KT 同时得电吸合并自锁，将自耦变压器 T 接入，电动机定子绕组经自耦变压器 T 供电作减压启动，同时指示灯 HL_2 亮、 HL_3 灭，显示电动机正在进行减压启动。 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁。当电动机接近额定转速时， KT 的通电延时闭合的动合触头 KT (5-11) 闭合，使 KA 得电吸合并自锁。 KA 的动断触头 KA (7-9) 断开，使 KM_1 失电释放，将自耦变压器切除， KM_1 已断开的动断触头 KM_1 (13-15) 复位闭合，为 KM_2 得电创造条件；同时 KA 的动合触头 KA (5-13) 闭合，使 KM_2 得电吸合，电源电压全部加在电动机定子绕组上进入正常运转，同时指示灯 HL_2 灭、 HL_1 亮，表示电动机减压启动结束，进入正常运行。

电动机启动工作过程电器动作顺序为：



2. 两接触器自耦变压器减压启动控制电路

电路如图 3.2.10 所示。

【看图思路】

减压运行时， KM_1 得电吸合；全压运行时， KM_2 得电吸合。在减压运行时， KM_1 得电吸合，并使 KA_1 得电吸合，通过 KA_1 使通电延时时间继电器 KT 得电吸合。 KT 延时时间到，使 KA_2 得电吸合，通过 KA_2 使 KM_1 失电释放，并使 KM_2 得电吸合。 KM_2 得电吸合，使 KA_1 、 KT 、 KA_2 相继失电释放。

【看图实践】

合上电源开关 QS ，按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，其主触头闭合，将自耦变压器 T 接在电源与电动机之间，电动机减压启动。 KM_1 的辅助动断触头 $KM_1(17-19)$ 断开，保证 KM_2 不能得电； KM_1 的辅助动合触头 $KM_1(3-9)$ 闭合，使中间继电器 KA_1 得电吸合并自锁。 KA_1 的动合触头 $KA_1(3-13)$ 闭合，使通电延时时间继电器 KT 得电吸合。

当电动机转速接近其额定转速时， KT 的延时闭合的动合触头 $KT(13-15)$ 闭合，使中间继电器 KA_2 得电吸合并自锁。 KA_2 的动合触头 $KA_2(13-17)$ 闭合，为 KM_2 得电作准备； KA_2 的动断触头 $KA_2(5-7)$ 断开，使 KM_1 失电释放。 KM_1 的主触头断开，切断电动机的电源， KM_1 的辅助动断触头 $KM_1(17-19)$ 复位闭合，使 KM_2 得电吸合并自锁，电动机脱离自

耦变压器，经 KM_2 的主触头在全压下正常运转。

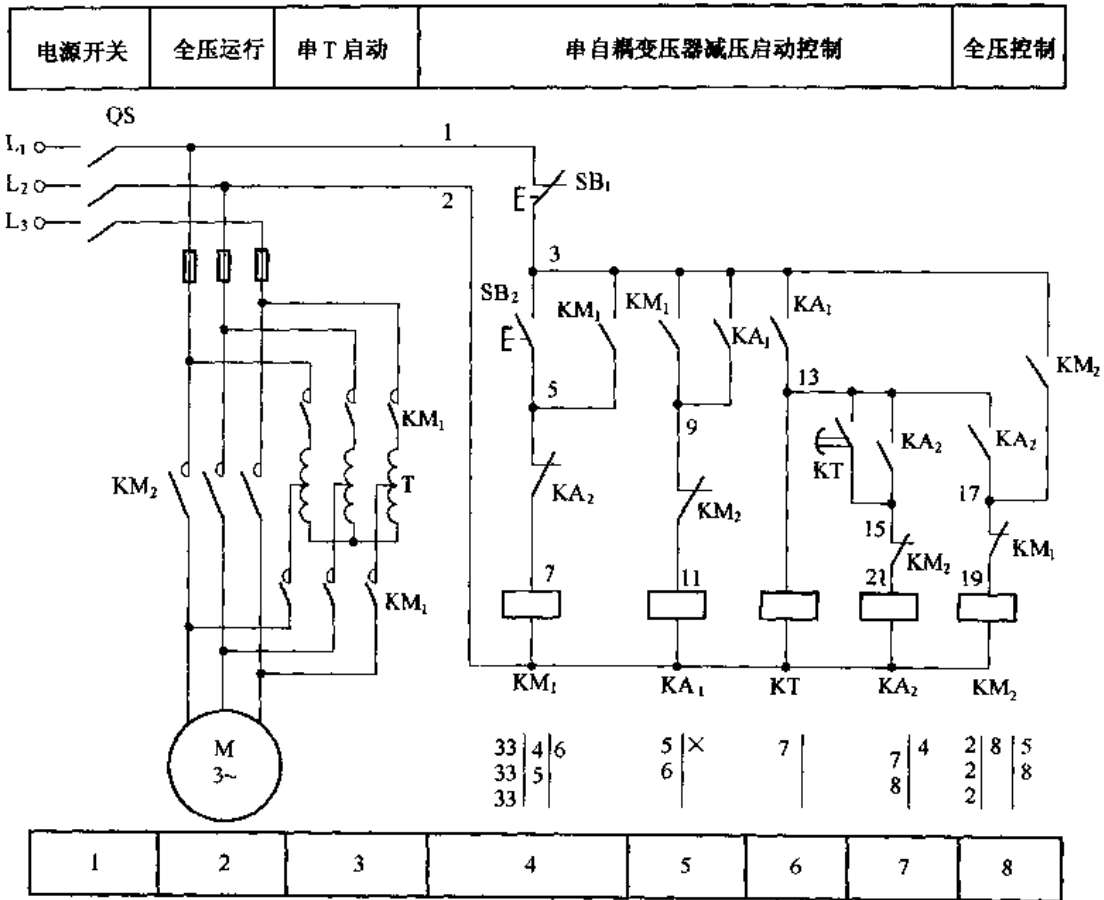
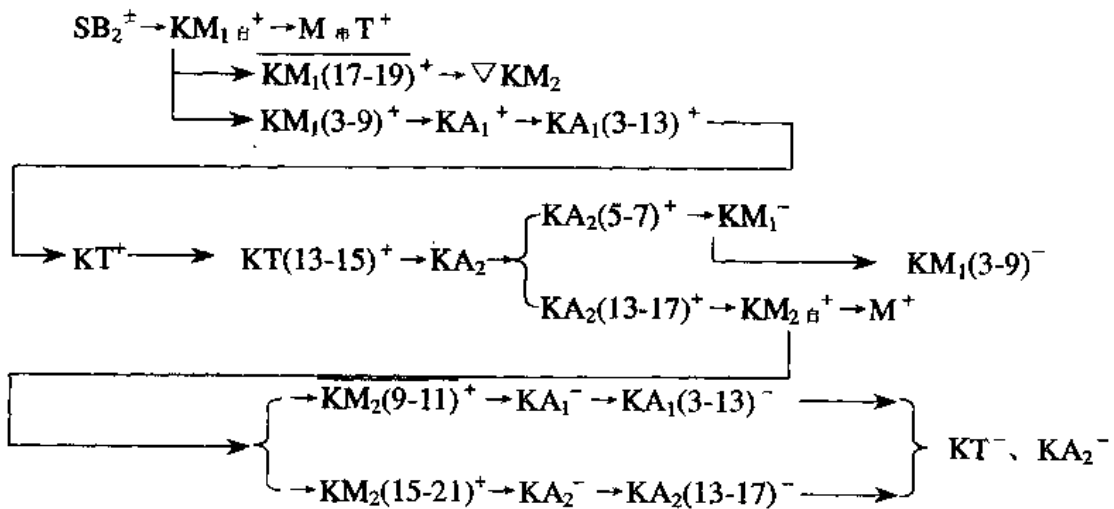


图 3.2.10 两接触器自耦变压器减压启动控制电路

由于 KM_1 失电， KM_2 得电， KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (3-9) 和 KM_2 的辅助动断触头 KM_2 (9-11)、 KM_2 (15-21) 都断开，使 KA_1 、 KA_2 及 KT 相继失电释放。

图 3.2.10 所示电路的电器动作顺序为：



3. JJ1B-11-75/380-1 (-2) 型自耦减压启动控制柜电路

电路如图 3.2.11 所示。

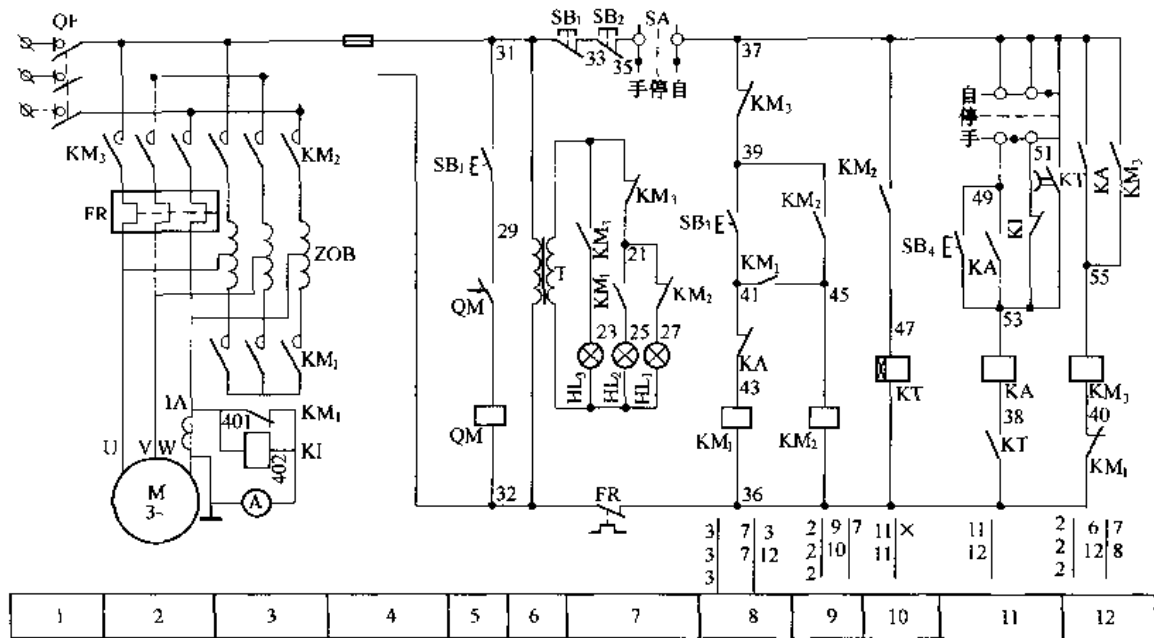


图 3.2.11 JJ1B-11-75/380-1 (-2) 型自耦减压启动控制柜电路

【看图思路】

图中 KM_1 、 KM_2 为自耦减压启动接触器， KM_3 为全压运行接触器， KA 为启动中间继电器， KI 为转换电流继电器。 KT 为自耦变压器保护时间继电器， QF 为断路器， SA 为工作方式选择开关， HL_1 为电源指示灯， HL_2 为减压启动指示灯， HL_3 为正常运行指示灯。由于自耦变压器一般是按短时工作制设计的，因此对启动持续时间有规定。

【看图实践】

(1) 手动操作 将 SA 置于手动工作位置，合上断路器 QF ，电路接通三相交流电源，指示灯 HL_1 亮，按下减压启动按钮 SB_3 ， KM_1 、 KM_2 相继得电吸合并自锁，电动机经自耦变压器减压启动，指示灯 HL_2 亮、 HL_1 灭。 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (37-47) [10] 闭合，使通电延时时间继电器 KT 得电吸合，其瞬动动合触头 KT (38-36) [11] 闭合，为 KA 得电作准备。待电动机转速接近额定转速时，按下正常运行按钮 SB_4 [11]，中间继电器 KA 得电并自锁，其动断触头 KA (41-43) [8] 断开， KM_1 失电释放，将自耦变压器 T 断开，同时 KA (37-55) [12] 闭合，使 KM_3 得电吸合并自锁， KM_3 主触头闭合，电动机在全电压下运行，其动断触头 KM_3 (37-39) [8] 断开， KM_1 、 KM_2 失电释放。因此，当 SA 处于手动位置时，按下 SB_3 为减压启动开始，当按下 SB_4 后减压启动结束，进入正常运行。而在 KM_2 得电吸合后，时间继电器 KT 得电吸合，当其通电延时闭合的动合触头 KT (37-53) [11] 闭合后，使 KA 得电吸合，进而使接触器 KM_3 得电吸合， KM_1 、 KM_2 失电释放，进行强迫转换。 KT 的瞬动动合触头 KT (38-36) 串联在 KA 的线圈回路中，保证启动时 KA 不动作。

(2) 自动操作 合上断路器 QF ，电路接通三相电源，指示灯 HL_1 亮，将转换开关 SA 切

换到自动位置。按下启动按钮 SB_3 ，接触器 KM_1 、 KM_3 相继得电吸合并自锁，电动机经自耦变压器减压启动，指示灯 HL_2 亮、 HL_1 灭。 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (37-47) [10] 闭合，使 KT 得电吸合，其瞬动动合触头 KT (38-36) [11] 闭合，为 KA 得电作准备。电动机启动后， KM_1 辅助动断触头 KM_1 (401-402) [3] 断开，电流继电器 KI 经电流互感器 TA 接入电动机定子电路中。启动时，启动电流较大，使 KI 动作，其动断触头 KI (51-53) [11] 断开，随着电动机转速升高，电动机定子电流减小，待电动机转速接近额定转速时，定子电流已降低到 KI 的释放值， KI 释放，其触头 KI (51-53) [11] 复位闭合，使 KA 得电吸合， KA 的动合触头 KA (37-55) [12] 闭合，使 KM_3 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机工作在全电压下运行。 KM_3 的辅助动断触头 KM_3 (37-39) 断开，使 KM_1 、 KM_2 失电释放，进而使 KT 失电释放，自动减压启动结束，电动机进入正常运行。因此，自动转换工作是由转换电流继电器 KI 自动控制的。

4. 一种较复杂、但可靠性较高的自耦减压启动控制电路

电路如图 3.2.12 所示。

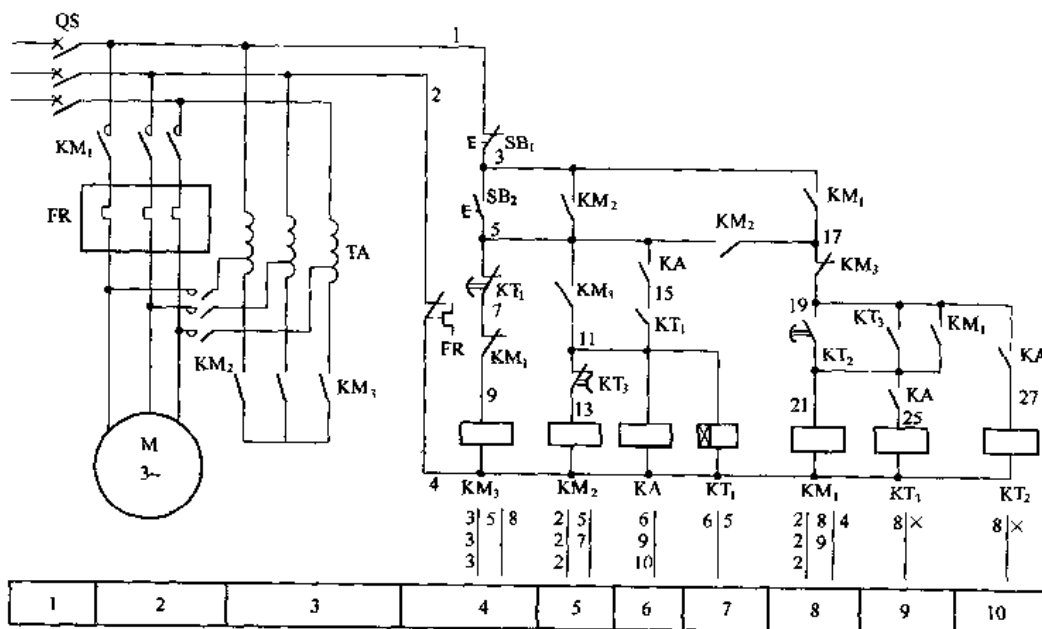


图 3.2.12 一种较复杂、但可靠性较高的自耦减压启动控制电路

【看图思路】

该控制电路能充分发挥自耦变压器减压启动的作用，即先在自耦变压器的副边电压下启动，然后转入经自耦变压器部分绕组减压启动，最后再进入全压运行。启动电压逐步升高，切换过程中电动机不脱离电源，启动平稳，能有效地防止交流接触器在切换过程中产生电弧，避免电动机受二次涌流的冲击。

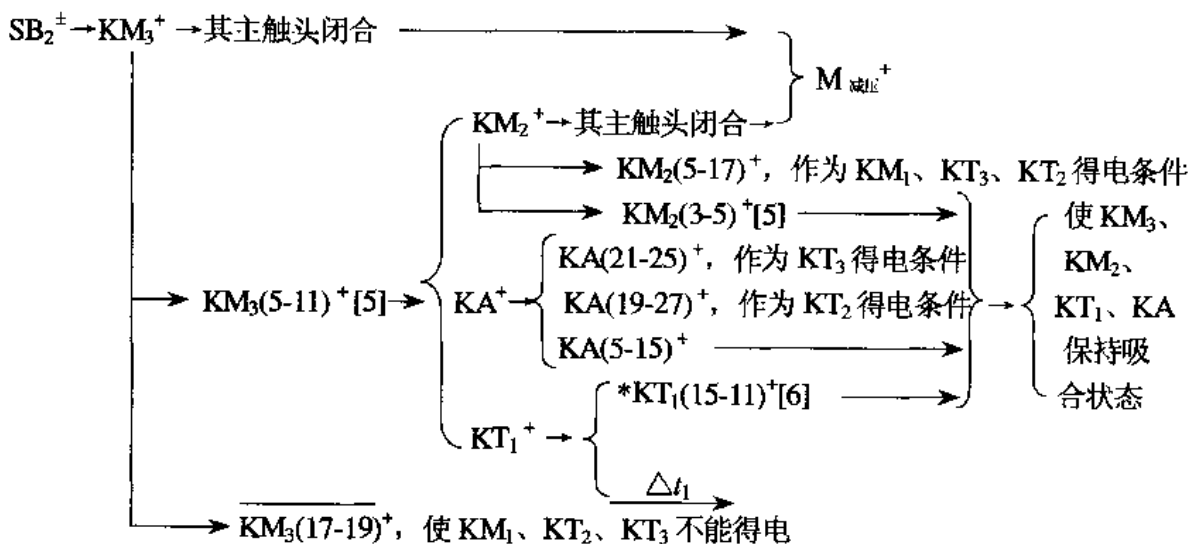
【看图实践】

按下启动按钮 SB_2 [4]，接触器 KM_3 得电吸合，其辅助动断触头 KM_3 (17-19) [8] 断开，使 KM_1 、 KT_2 、 KT_3 不能得电，实现互锁；其动合辅助触头 KM_3 (5-11) [5] 闭合，使 KM_2 、 KA 和通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合。 KA 的动合触头 KA (5-15) [6]、 KT_1 瞬动动合触头 KT_1 (15-11) [6] 闭合，并通过 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (3-5) [5] 使 KM_3 、 KA 、 KM_2 、 KT_1 保持

吸合状态。KA 的动合触头 KA (19-27) [10]、KA (21-25) [9] 闭合，为 KT₂、KT₃ 得电作准备。KM₂ 的辅助动合触头 KM₂ (5-17) [7] 闭合，为 KM₁、KT₃、KT₂ 得电作准备。KM₂、KM₃ 主触头闭合，使电动机经自耦变压器的副边电压减压启动。当 KT₁ 的整定时间到，其动断延时断开触头 KT₁ (5-7) [4] 断开，使 KM₃ 失电释放，主触头断开，电动机经自耦变压器部分绕组减压启动。自耦变压器作为电抗器接入电动机电路。KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (17-19) [8] 复位闭合，使时间继电器 KT₂ 得电吸合，一旦 KT₂ 的延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT₂ (19-21) [8] 闭合，使接触器 KM₁、时间继电器 KT₃ 同时得电吸合，KM₁ 主触头闭合，电动机在全电压下启动。当 KT₃ 的延时时间到，其延时断开的动断触头 KT₃ (11-13) [5] 断开，使 KM₂ 失电。KM₂ 的主触头断开，自耦变压器脱离电动机电路，电动机在全电压下正常运行。此时 KM₂、KM₃、KA、KT₁、KT₂、KT₃ 全部失电，只有 KM₁ 得电。按下停止按钮 SB₁，即可停止电动机。

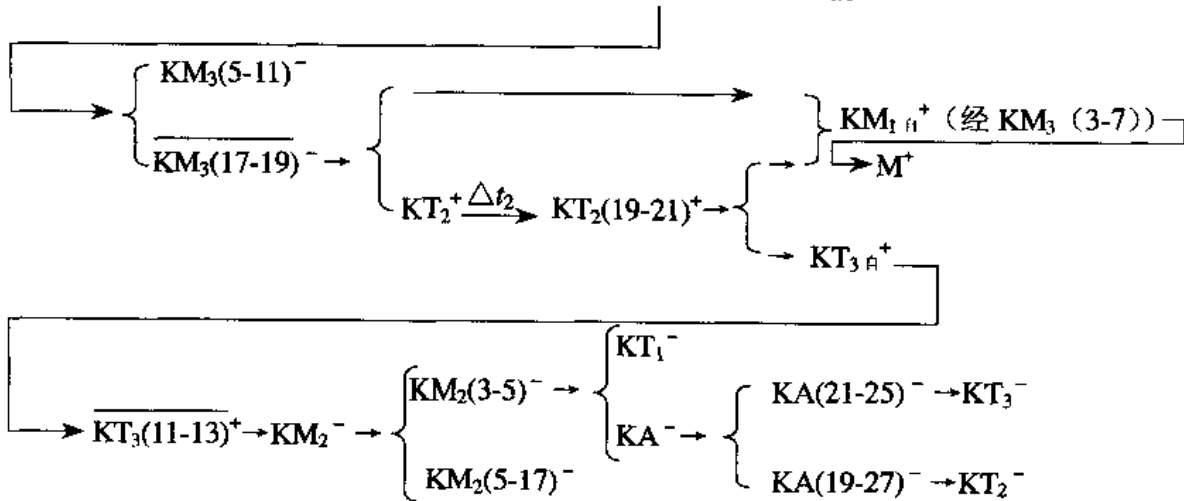
图 3.2.12 所示电路的电器动作顺序为：

(1) 减压启动



(2) 全压运行

一旦 KT₁ 延时时间到: KT₁⁺ $\xrightarrow{\Delta t_1}$ $\overline{KT_1(5-7)^+}$ [4] → KM₃⁻ → M_{全压}⁺



【电路点评】

该电路中的任何电器元件，在其完成使命后，就立刻断开了电路，避免其线圈长期得电。各电器元件要保证在上一级电路工作状态正常时才能投入工作，其中任意一个电器元件的故障，电路都有可靠的保护。即使 KM_2 、 KM_3 、 KA 、 KT_1 中任何一个元件发生故障不能吸合，只要一松开按钮 SB_2 ，也都能立即停止动作。

该电路不存在减压启动完毕后电动机在低电压下长期运转的可能。因为 KM_2 、 KM_3 、 KA 、 KT_1 必须全部完好，电路才能启动，因此即使接触器 KM_1 发生线圈断线或机械卡住而无法闭合等故障， KT_2 照旧吸合并延时 5s 断开 KM_3 ，从而使电动机得到可靠的保护。

KM_2 与 KM_1 之间的互锁，能确保电路不发生路患事故。一是无法全电压直接启动，如果没有 KM_2 的动断触头 KM_2 (5-17) 互锁，按下 SB_2 ， KM_1 就会吸合而使电动机全电压直接启动；二是避免自耦变压器在电动机全电压正常运转后接入主电路，如果电路中没有 KM_1 的动断触头互锁，电动机全电压正常运转后， KT_1 释放， KM_2 吸合，自耦变压器绕组上部分过压，会使自耦变压器烧毁。

四、绕线转子感应电动机按时间原则短接电阻启动电路（串电阻减压启动控制）

绕线转子感应电动机的转子线圈可连接成 Y 形或 Δ 形，转子上装有集电环，通过电刷将内部和外部联系起来，绕线转子的特点即是通过集电环和电刷，在转子电路中串接几级启动电阻，用于限制启动电减，提高启动转矩，电路如图 3.2.13 所示。

【看图思路】

转子回路串电阻启动控制是在三相转子绕组中分别串接几级电阻，并按 Y 形接线。启动前，启动电阻全部接入电路限流启动，启动过程中，随转速升高启动电流下降，逐级短接启动电阻，至启动完成时，短接全部电阻，电动机在全压下工作。

图 3.2.13 中转子回路三段启动电阻的短接是靠 3 只通电延时时间继电器 KT_1 、 KT_2 、 KT_3 与 3 只接触器的相互配合来完成的。线路中只有 KM_3 、 KM_4 长期得电，这样做可节省电能，延长设备的使用寿命。

转子绕组中的三组主触头 KM_2 、 KM_3 、 KM_4 的作用是，当 3 组主触头全部断开时，电动机转子绕组串接全部启动电阻 ($1R+2R+3R$) 启动；当 KM_2 一组主触头闭合时， $1R$ 电阻被短接，即此时串接在转子绕组中的电阻为 ($2R+3R$)，电动机加速；当 KM_3 一组触头闭合时，电阻 $2R$ 又被短接，此时串接在转子绕组的为 $3R$ ，电动机再加速；当 KM_4 一组触头闭合时，电阻 $3R$ 最后被切除，电动机启动完毕。

【看图实践】

(1) 图 3.2.13 (b) 电路 合上电源开关 QS ，按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，电动机定子绕组接通三相交流电源，转子串入全部电阻接成 Y 形启动，同时通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合。一旦 KT_1 延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT_1 (19-23) [5] 闭合，使接触器 KM_2 [5] 得电吸合并自锁，其主触头闭合，将转子回路的第一段电阻 $1R$ 短接；同时其转助动触头 KM_2 (19-25) [7] 闭合，使时间继电器 KT_2 [7] 得电吸合。一旦 KT_2 延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT_2 (17-27) [8] 闭合，使接触器 KM_3 得电吸合并自锁，其主触头闭合，将转子回路的第二段电阻 $2R$ 短接；其辅助动断触头 KM_3 (17-19) [4] 断开，使 KT_1 、 KM_2 、 KT_2 失电释放，从控制电路中将 KT_1 、 KM_2 、 KT_2 切除；其转助动合触头 KM_3

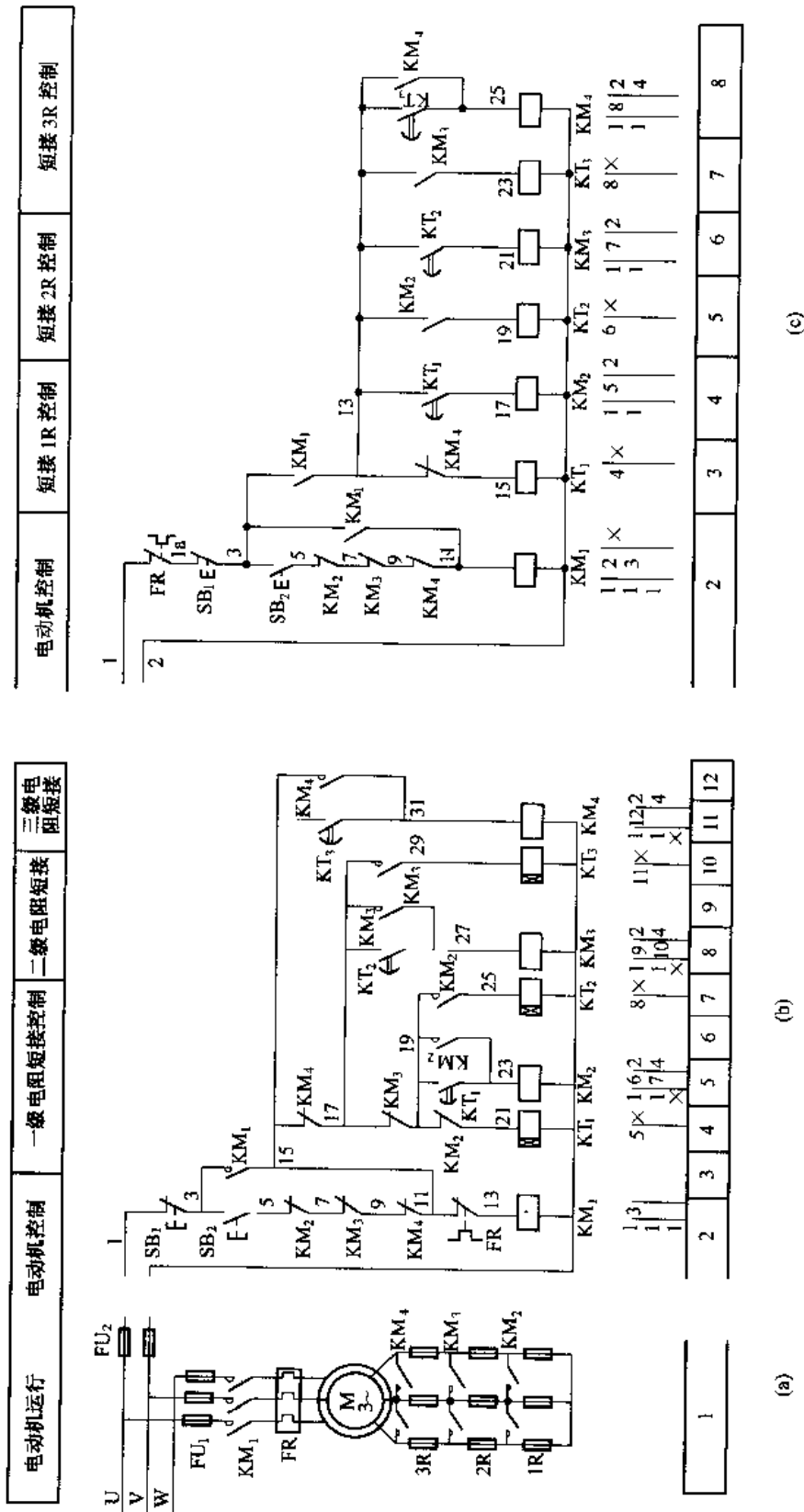
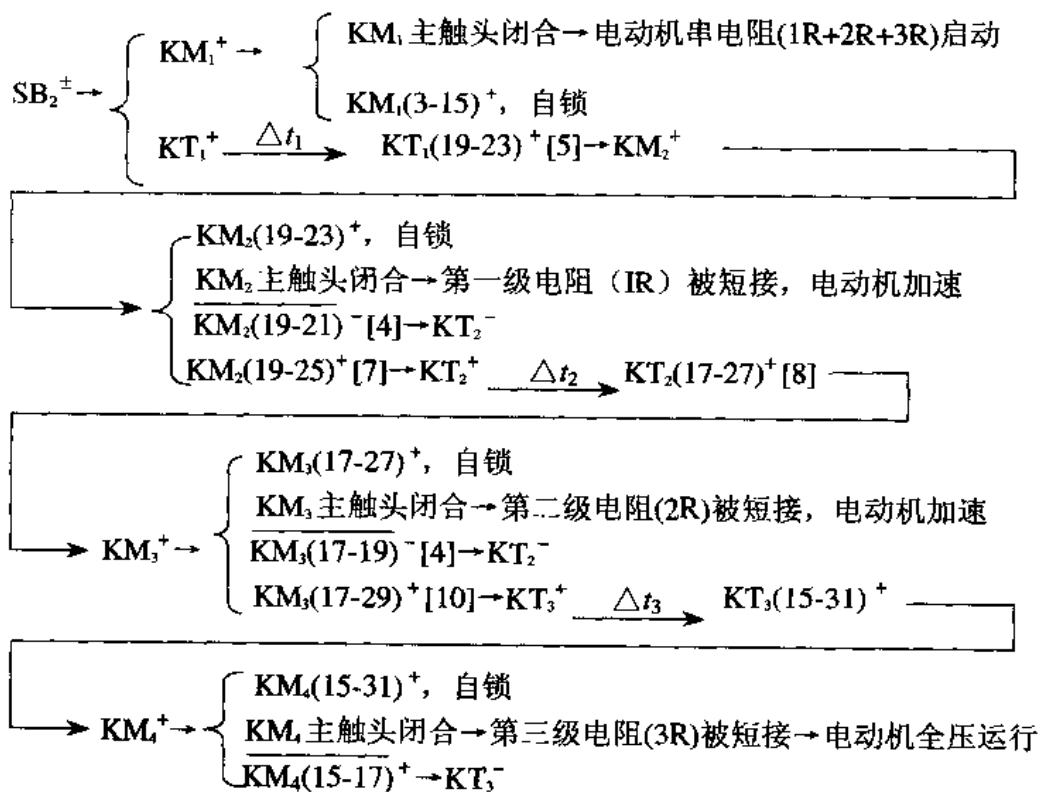


图 3.2.13 按时间原则控制的转子电路串电阻减压启动控制电路

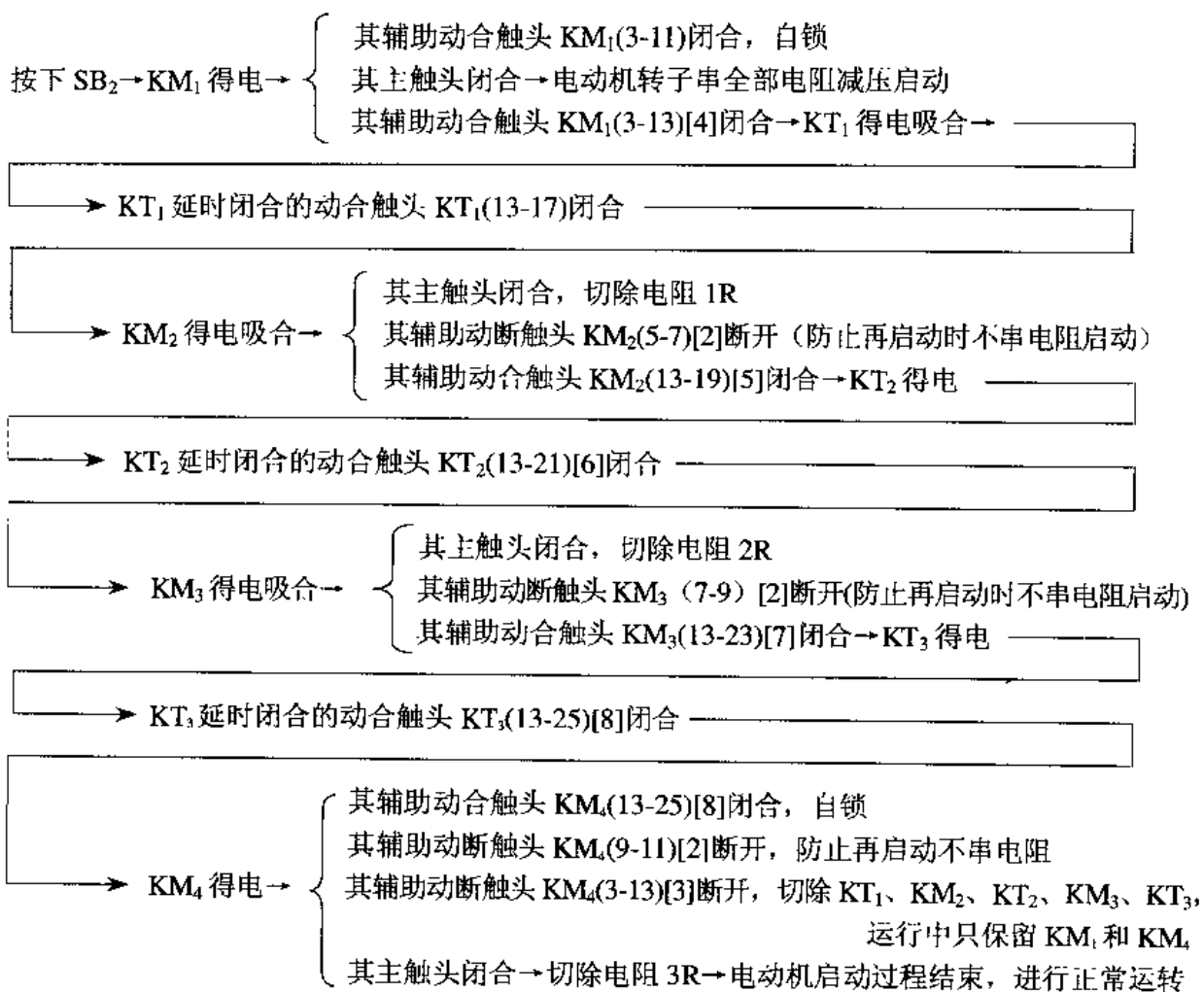
(17-29) [10]闭合,使时间继电器 KT_3 [10]得电吸合。一旦 KT_3 延时时间到,其延时闭合的动合触头 KT_3 (15-31) [11]闭合,使接触器 KM_4 得电吸合并自锁,其主触头闭合,将转子回路的第三段电阻 $3R$ 短接,电动机进入正常运转;同时, KM_4 的辅助动断触头 KM_4 (15-17) [4]断开,使 KM_3 、 KT_3 相继失电释放。

图 3.2.13 (b) 电路电器动作的顺序为:



(2) 图 3.2.13 (c) 电路 合上开关 QS , 按下启动按钮 SB_2 , 接触器 KM_1 得电吸合并自锁, 其主触头闭合, 电动机 M 在转子回路接入全部启动电阻情况下启动。 KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (3-13) [3]闭合, 使通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合, 经延时, 其延时闭合的动合触头 KT (13-17) [4]闭合, 使接触器 KM_2 得电吸合, 其转子回路的两个动合主触头闭合, 切除第 1 级启动电阻 $1R$, 电动机加速。 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (13-19) [5]闭合, 时间继电器 KT_2 得电吸合, 经延时, 其动合延时闭合触头 KT_2 (13-21) [6]闭合, 使接触器 KM_3 得电吸合, 其转子回路中的两个动合主触头闭合, 切除第 2 级启动电阻 $2R$, 电动机再加速。 KM_3 的辅助动合触头 KM_3 (13-23) [7]闭合, 时间继电器 KT_3 得电吸合, 经延时, 其延时闭合的动合触头 KT_3 (13-25) [8]闭合, 使接触器 KM_4 得电吸合并自锁, 其转子回路中的两个动合主触头闭合, 切除最后 1 级启动电阻 $3R$, 电动机启动完毕。 KM_4 的辅助动断触头 KM_4 (13-15) [3]断开, 使 KT_1 、 KM_2 、 KT_2 、 KM_3 、 KT_3 相继失电释放。

图 3.2.13 (c) 所示电路电器动作的顺序为:



在图 3.2.13 (b)、(c) 电路中接触器 KM_2 、 KM_3 、 KM_4 的动断触头串联在启动按钮回路中, 保证电动机在转子回路全部接入外加电阻的情况下启动。如果接触器 KM_2 、 KM_3 、 KM_4 中任何一个触头因机械故障或电弧而没有释放, 启动电阻就没有全部接入电路里, 启动电流就会超过规定值。因此, 接触器 KM_2 、 KM_3 、 KM_4 的辅助动断触头未恢复闭合状态时, 电动机不可能接通电源启动。

【电路点评】

对图 3.2.13 (a) 所示的电路, 电动机启动进入正常运行时, 只有 KM_1 、 KM_4 长期得电, 而 KT_1 、 KT_2 、 KT_3 与 KM_2 、 KM_3 的得电时间, 均压缩到最低限度。在电路正常运行时, 这些电器没有必要都处于得电状态, 这样可节省电能、延长电器寿命、减少电路故障, 保证电路安全可靠地工作。其缺陷是: ①一旦时间继电器损坏, 该电路将无法实现电动机的正常启动和运行; ②在电动机启动过程中, 由于逐级短接电阻, 将使电动机电流及转矩突然增大, 产生较大的机械冲击; ③控制电路较为复杂, 且启动电阻体积与能耗均较大。

五、转子绕组串频敏变阻器启动控制电路

电路如图 3.2.14 所示。频敏变阻器是一种由铸铁片或钢机叠成铁心, 外面再套上绕组的三相电抗器, 接在转子绕组的电路中, 其绕组电抗和铁心损耗决定的等效阻抗随着转子电流

的频率而变化。在电动机的启动过程中，当电动机转速增高时，阻抗值自动的平滑减小，这既限制了启动电流，又可得到大致恒定的启动转矩，因此它是一种较为理想的启动设备。频敏变阻器是静止元件，很少需要维修，因而常用于绕线式感应电动机启动控制，特别是大容量的绕线式感应电动机的启动控制。

1. 电动机单向运行转子串频敏变阻器启动控制电路

电路如图 3.2.14 所示。

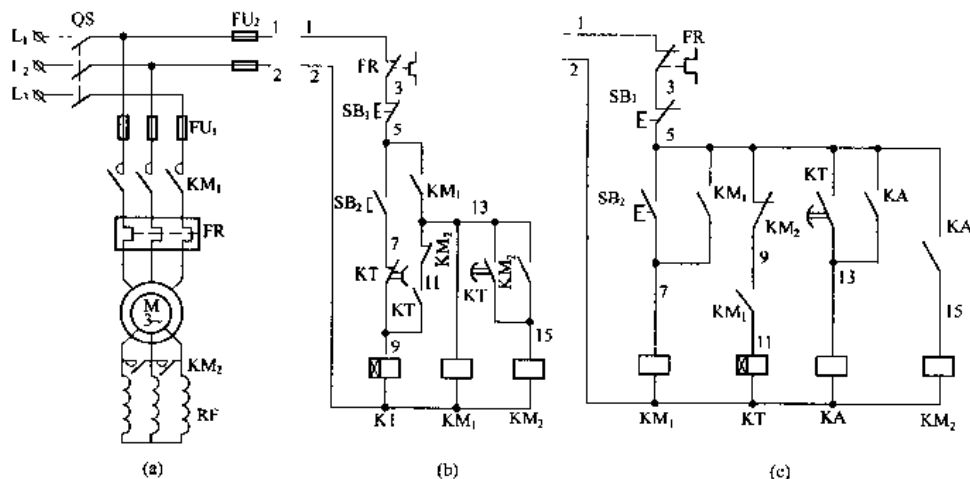


图 3.2.14 电动机单方向旋转转子串频敏变阻器启动控制电路

【看图思路】

频敏变阻器实质上是一个铁心损耗很大的三相电抗器，将其串联在转子回路中，其等效电路如图 3.2.15 所示。图中 R_d 为绕组直流电阻， R 为铁损等效电阻， L 为等效电感， R 、 L 与转子电流频率有关。

在启动过程中，电动机转子感应电流的频率是变化的，刚启动时，转子电流频率 f_2 最高， $f_2 = f_1$ 。此时，频敏变阻器的 R 、 L 为最大，即等效阻抗最大，转子电流受到抑制，定子电流不会很大；随着转速的上升，转子频率小；当电动机正常运行时， f_2 很小，所以阻抗也变得很小。因此，绕线式感应电动机串接频敏变阻器启动时，随着启动过程中转子电流频率的降低，其阻抗值自动减小，实现了平滑无级启动。

KM_1 为电源接触器， KM_2 为短接频敏变阻器 R_F 的接触器， KT 为启动时间继电器。通过 KT ，控制 KM_2 ，短接频敏变阻器 R_F 。

【看图实践】

(1) 图 3.2.14 (b) 电路 合上开关 QS ，按下启动按钮 SB_2 ，通电延时时间继电器 KT 得电闭合，其瞬动动合触头 KT (11-9) 闭合，使接触器 KM_1 得电吸合。 KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (5-13) 闭合，使 KT 、 KM_1 锁住。 KM_1 主触头闭合，电动机定子绕组接电源，转子串接频敏变阻器启动。随着电动机转速平稳上升，频敏变阻器阻抗逐渐自动下降。当转速上升到接近额定转速时，时间继电器延时时间到，其延时断开的动断触头 KT (7-9) 断开，其延时闭合的动合

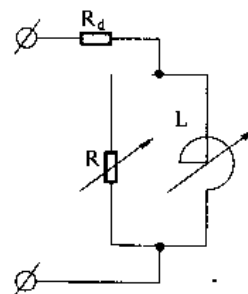
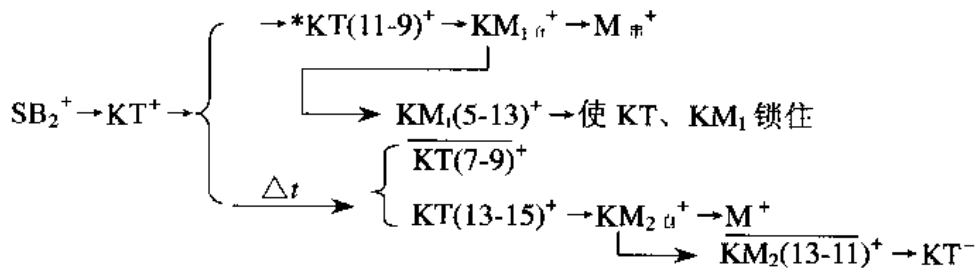


图 3.2.15 频敏变阻器等效电路

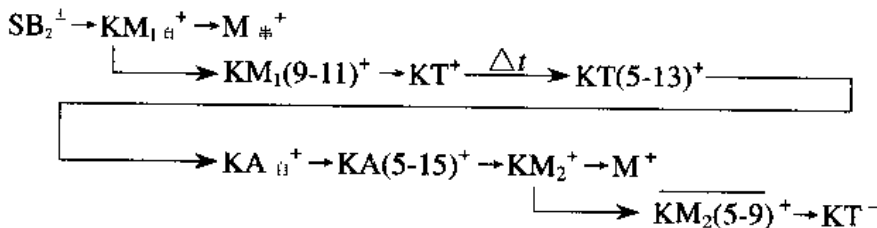
触头 KT (13-15) 闭合, 使 KM₂ 得电吸合并自锁, 将频敏变阻器短接, 电动机进入正常运行。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (13-11) 断开, 使 KT 失电释放。

图 3.2.14 (b) 电路电器动作顺序为:



(2) 图 2.4.14 (c) 电路 按下 SB₂, 接触器 KM₁ 得电吸合并自锁, 电动机定子绕组接通电源, 转子串频敏变阻器启动; KM₁ 的辅助动合触头 KM₁ (9-11) 闭合, 使通电延时时间继电器 KT 得电吸合, 当 KT 延时时间到, 其延时闭合的动合触头 KT (5-13) 闭合, 使 KA 得电吸合并自锁, KA (5-15) 闭合, 使 KM₂ 得电吸合, 其主触头闭合, 切除频敏变阻器, 启动过程完毕。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (5-9) 断开, 使 KT 失电释放。

图 3.2.14 (c) 电路电器动作顺序为:



【电路点评】

对图 3.2.14 (b) 所示的电路, 在操作时, 按下 SB₂ 时间稍长一些, 待 KM₁ 辅助动合触头 KM₁ (5-13) 闭合后再松开。

该电路 KM₁ 得电需在 KT、KM₂ 触头工作正常条件下进行, 若发生 KM₂ 触头粘连, KT 触头粘连, KT 线圈断线等故障, KM₁ 将无法得电, 从而避免了电动机直接启动和转子长期串接频敏变阻器的不正常现象发生。

2. TG1-K21 型频敏变阻器启动控制柜电路

将断路器、接触器、频敏变阻器、电流互感器、时间继电器、电流继电器与中间继电器等组合而成频敏启动控制箱(柜)。常用的有 XQP 系列频敏启动控制箱, CTT6121 系列频敏启动控制柜、TG1 系列控制柜等。

TG1-K21 型频敏变阻器启动控制柜电路如图 3.2.16 所示, TG1 系列控制柜广泛应用于冶金、矿山、轧钢、造纸、食品、纺织与发电等厂矿企业。

【看图思路】

图 3.2.16 所示为 TG1-K21 型频敏启动电路。可用来控制低压、45~280kW 绕线转子感应电动机的启动。图中 KM₁ 为工作接触器, KM₂ 为短接频敏变阻器接触器, KT₁ 为启动时间继电器, KIU 为过电流继电器, KT₂ 为防止 KIU 在启动时误动作的时间继电器, KA₁ 为启动中间继电器, KA₂ 为短接 KIU 的中间继电器, HR 红色信号灯为电源指示灯, HG 绿色信号灯为启动结束, 进入正常运行指示灯。QF 为断路器。

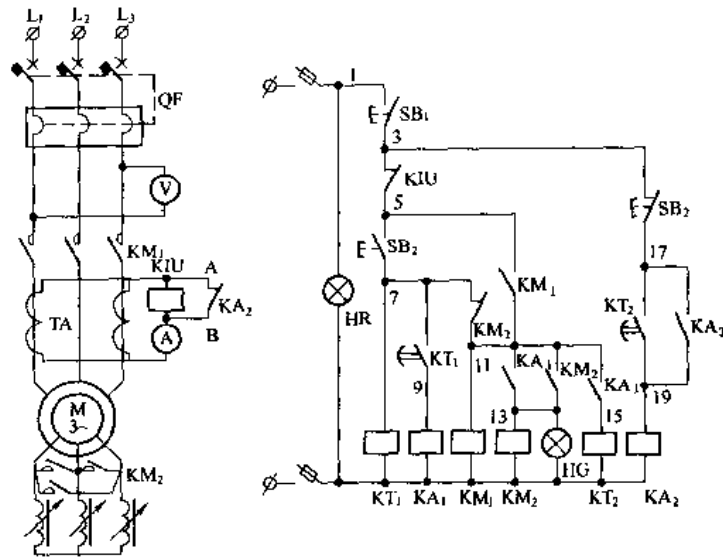


图 3.2.16 TG1-K21 型频敏变阻器启动控制箱电路

电器元件动作顺序为：

$SB_2^{\pm} \rightarrow KM_1^+ \rightarrow KT_1^+ \rightarrow \text{经延时, } KA_1^+ \rightarrow KM_2^+ \rightarrow \begin{cases} KA_1^- \\ KT_1^- \end{cases}$
 $\xrightarrow{\hspace{10em}} KT_2^+ \rightarrow \text{经延时, } KA_2^+ \rightarrow KA_2(A-B)^-, \text{ 将电流表接入}$

【看图实践】

合上断路器 QF，红灯 HR 亮，表明供电电路正常。按下启动按钮 SB₂，使通电延时时间继电器 KT₁、接触器 KM₁ 同时得电吸合并自锁，电动机定子接通三相电源，转子接入频敏变阻器启动。随着电动机转速上升，转子电流频率减小，频敏变阻器阻抗随之下降。当电动机转速接近额定转速时，时间继电器 KT₁ 动作，其延时闭合的动合触头 KT₁ (7-9) 闭合，使 KA₁ 得电吸合，KA₁ 的动合触头 KA₁ (11-13) 闭合，使 KM₂ 得电吸合并自锁，同时 HG 绿色指示灯亮，KM₂ 主触头将频敏变阻器短接，电动机启动过程结束。KA₁ 的另一动合触头 KA₁ (11-15) 闭合，使 KT₂ 得电吸合，经延时，KT₂ 的延时闭合的动合触头 KT₂ (17-19) 闭合，使 KA₂ 得电吸合并自锁，其动断触头 KA₂ (A-B) 断开，使过电流继电器 KIU 串入定子电路，对电动机进行过电流保护，因此在电动机启动过程中，KIU 是被 KM₂ 触头短接的，不会由于电动机启动电流过大而使 KIU 发生误动作。

图 3.2.16 所示电路电器动作顺序为：

正常启动：

$SB_2^{\pm} \rightarrow \begin{cases} KM_1 \text{ 自锁} \rightarrow M^+ \\ KT_1^+ \xrightarrow{\Delta t_1} KT_1(7-9)^+ \rightarrow KA_1^+ \rightarrow \begin{cases} KA_1(11-13)^+ \rightarrow KM_2 \text{ 自锁} \rightarrow M^+ \\ KA_1(11-15)^+ \rightarrow KT_2^+ \end{cases} \end{cases}$
 $\xrightarrow{\Delta t_2} KT_2(17-19)^+ \rightarrow KA_2 \text{ 自锁} \rightarrow KA_2(A-B)^+ \rightarrow \text{将 KIU 接入电路}$

过载： $KIU^+ \rightarrow KIU(3-5)^+ \rightarrow KM_1^- \rightarrow M^-$

3. 转子电路串频敏变阻器启动控制电路

电路如图 3.2.17 所示。

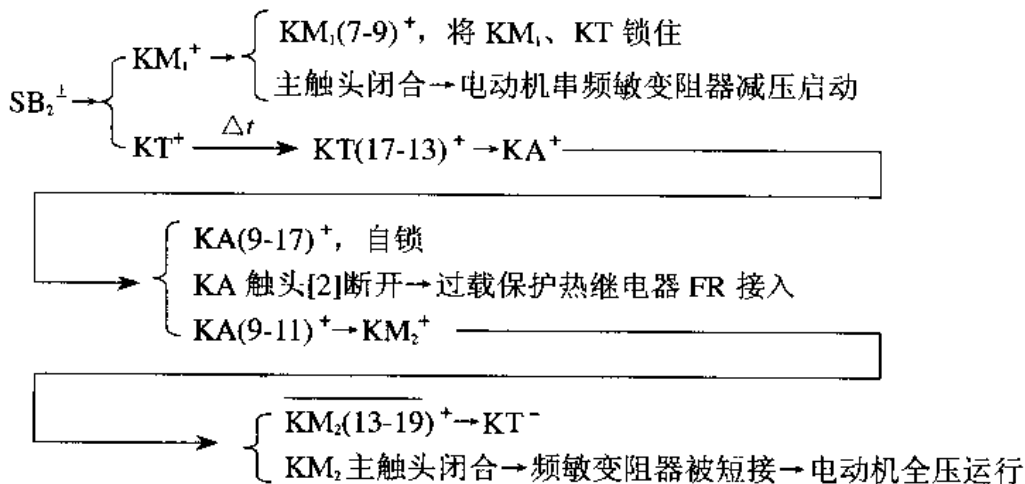
【看图思路】

该电路可用选择开关 SA 选择为手动控制或自动控制，其等效电路如图 3.2.17 (b)、(c) 所示。在选择自动控制时，通过通电延时时间继电器 KT 和中间继电器 KA，使 KM₂ 得电吸合，短接 RF，达到全压启动。在选择手动控制时，KT 不参加工作，由按钮 SB₃ 使 KA 得电吸合，进而使 KM₂ 得电吸合，短接 RF，实现全压启动。启动过程中，KA 的动断触头将热继电器发热元件短接，以免启动时间过长而使热继电器产生误动作。

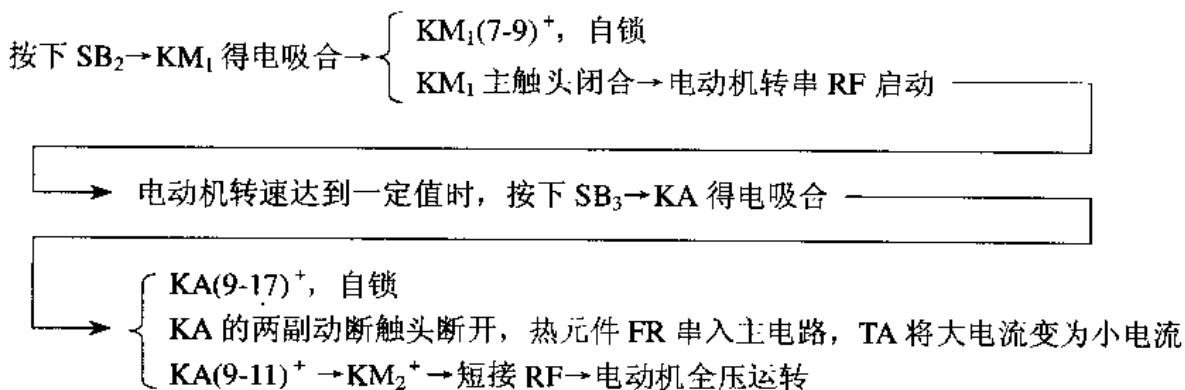
【看图实践】

图 3.2.17 电路工作过程中，电器动作的顺序为：

(1) 自动控制 选择开关 SA 扳在自动工作方式：



(2) 手动控制 将选择开关 SA 扳至手动工作方式：



(3) 停机 无论手动还是自动，按下 SB₁，KM₁、KM₂ 失电释放，电动机停转。

【看图小结】

在看手动、自动控制的电路时，应分别画出手动控制和自动控制的等效电路，并找出其异同点，这样有利于看图。

4. 电动机正反向运行转子串频敏变阻器启动控制电路

电路如图 3.2.18 所示。

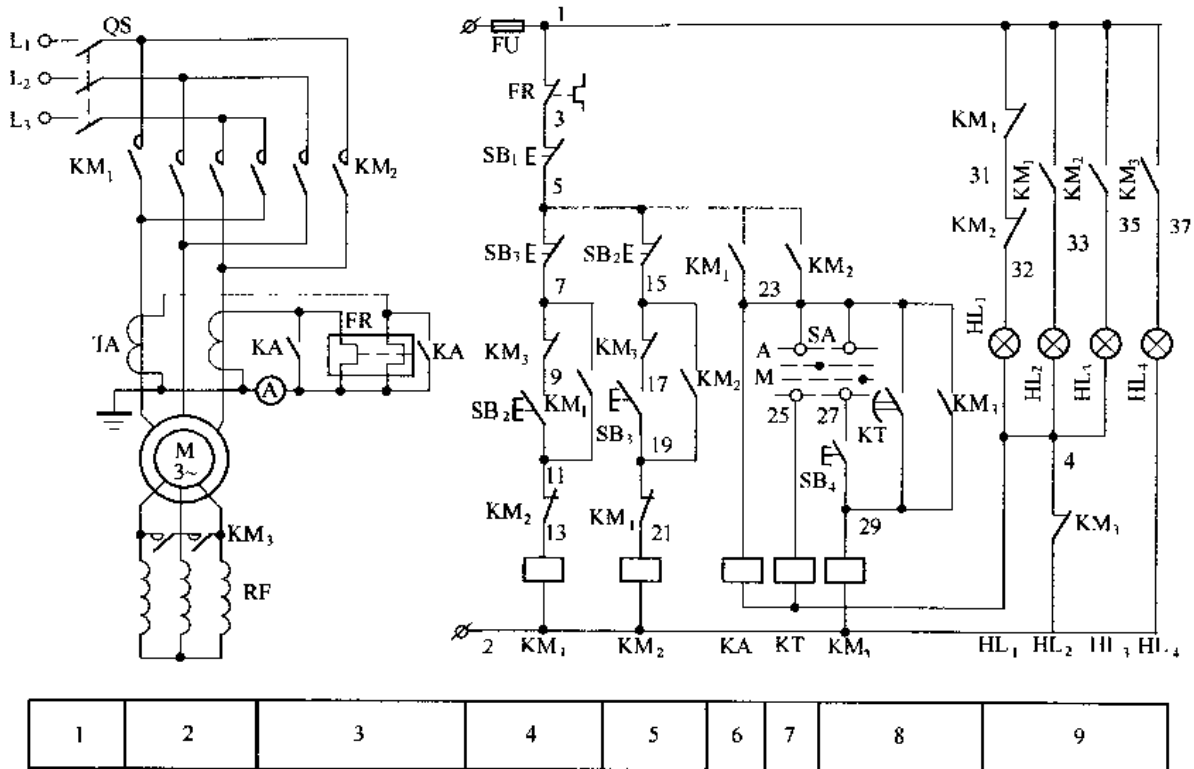


图 3.2.18 电动机正反向运行转子串频敏变阻器启动控制电路

【看图思路】

该电路的正反转控制为由 SB_1 、 SB_2 、 SB_3 与 KM_1 、 KM_2 组成的具有双重连锁的正反转电路。中间继电器 KA 的作用是，在启动过程中， KA 得电吸合，利用其动合触头将热继电器 FR 的热元件短接；而在正常运转时， KM_3 得电吸合，其辅助动断触头 KM_3 (2-4) 断开，使 KA 失电释放，其动合触头复位断开，使 FR 起过载保护作用。

转换开关 SA 、通电延时时间继电器 KT 和接触器 KM_3 用于实现手动或自动控制时短接频敏电阻 RF 。自动控制时，将 KT 、 KM_3 接入，短接 RF 由 KT 和 KM_3 实现；手动控制时，仅接入 KM_3 ，时间继电器 KT 不起作用，短接 RF 由按钮 SB_4 和 KM_3 实现。

【看图实践】

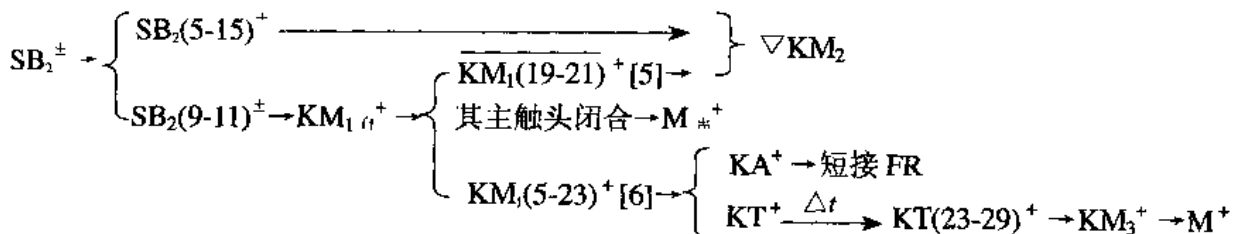
(1) 正转自动控制 合上开关 QS ，电源指示灯 HL_1 亮。按下 SB_2 [4]，其动合触头 SB_2 (9-11) [4] 闭合，使 KM_1 得电吸合并自锁， SB_2 的动断触头 SB_2 (5-15) [5] 和 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (19-21) [5] 断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁，电动机串接频敏变阻器减压启动。 KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (5-23) [6] 闭合，使 KA 和 KT 得电吸合， KA 在主电路中的动合触头 [3] 闭合，将主电路中热继电器 FR 短接。

KM_1 辅助动断触头 KM_1 (1-31) [19] 断开，使 HL_1 灭，其辅助动合触头 KM_1 (1-33) 闭合，使正转指示灯 HL_2 亮。当 KT 延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT (23-29) [8] 闭合，

使接触器 KM_3 得电吸合并自锁，将频敏变阻器短接，电动机进入全压正常运行。 KM_3 的辅助动断触头 $KM_3(4-2)$ [9] 断开，使 KA 、 KT 失电释放， HL_2 灭，其辅助动合触头 $KM_3(1-37)$ [9] 闭合，使正常运转指示灯 HL_4 亮。

按下 SB_1 ， KM_1 、 KM_3 失电释放，电动机停转。

电器元件动作顺序为：



(2) 正转手动控制 KT 不参与转换过程，由手动按钮 $SB_4(27-29)$ 代替时间继电器 KT 的延时闭合的动合触头 $KT(23-29)$ ，其他与正转启动完全相同。

5. 115kW 绕线转子电动机串频敏变阻器启动电路

电路如图 3.2.19 所示。

【看图思路】

(1) 由主电路[2、3]可知， KM_1 为运行接触器， KM_2 为短接频敏变阻器 RF 的接触器。在图区 5、8 可分别找到 KM_1 、 KM_2 的线圈电路及其相关电路。 KM_1 受中间继电器 KA_4 [10] 控制， KA_4 受通电延时时间继电器 KT_2 控制， KT_2 又受过电流继电器 $KI_1 \sim KI_3$ 、 KA_3 和 KM_2 控制， KA_3 又受 KM_1 控制。这样， $KM_1(KA_3)$ 、 KM_2 得电吸合，为 KT_2 得电提供先决条件，当电动机过流时， $KI_1 \sim KI_3$ 得电吸合，使 KT_2 得电吸合，经延时，使 KA_4 得电吸合， KM_1 失电释放，切断电动机电源。因此这部分电路为运行控制电路。

(2) KM_2 由断电延时时间继电器 KT_1 和 KA_3 控制。控制电路电源接通后， KT_1 就得电吸合，其断电延时闭合的动断触头 $KT_1(5-19)$ [8] 立即断开，使 KM_2 不能得电。当 KM_1 得电吸合时，其辅助动合触头 $KM_1(5-15)$ [6] 闭合，使 KA_3 得电吸合，因此电动机启动后，通过 KA_3 使 KT_1 失电释放，经延时， KT_1 断电延时闭合的动断触头 $KT_1(5-19)$ [8] 复位闭合，使 KM_2 得电吸合，将频敏变阻器 RF 短路，启动过程结束。

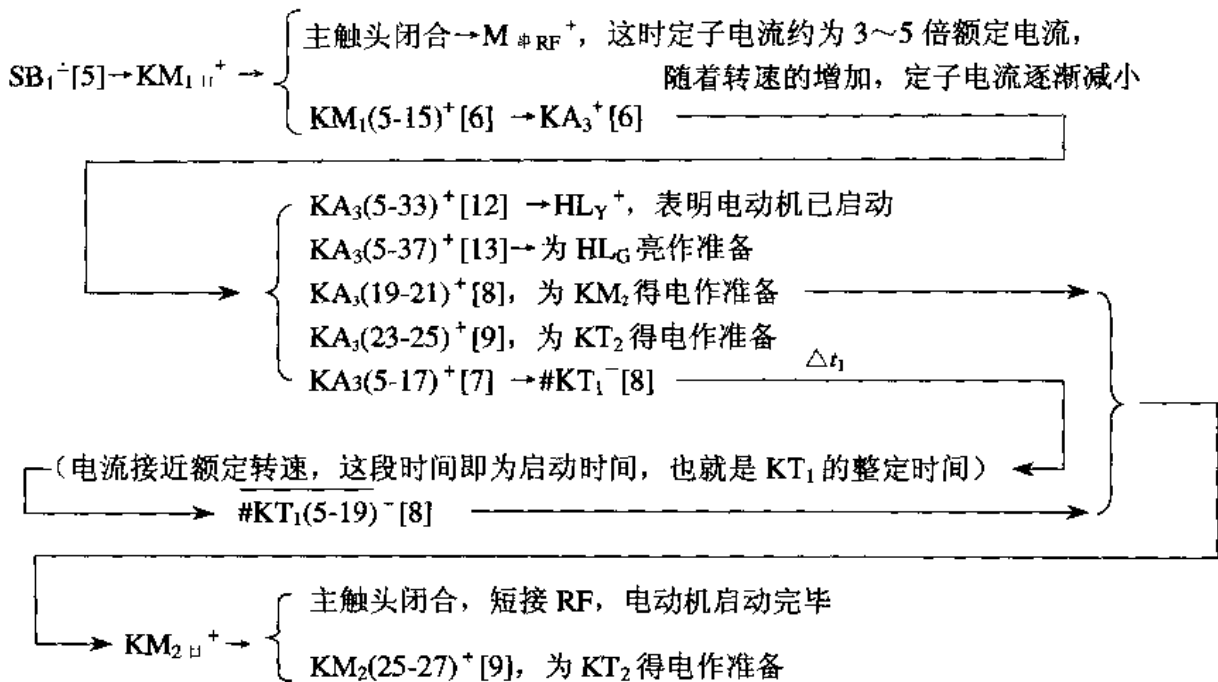
(3) 设置过电流继电器 $KI_1 \sim KI_3$ ，作过负荷保护。设置电流互感器 TA_1 、 TA_2 ，为电流表 PA 提供电流信号，同时串接热继电器 FR ，作为过负荷的后备保护和断相保护。

电流表 PA 指示中间相电流，也就是每相的电流，因为电动机为三相平衡负荷，因此正常时，三相的电流是相等的。

【看图实践】

(1) 启动时，先闭合闸刀开关 QS ，接通控制电路电源，这时断电延时时间继电器 KT_1 [7] 通过中间继电器 KA_3 的动断触头 $KA_3(5-17)$ [7] 得电吸合。 KT_1 串接在接触器 KM_2 支路中的 KT_1 的断电延时闭合的动断触头 $KT_1(5-19)$ [8] 打开，为短接 RF 作准备。信号灯 HL_R [11] 点亮，表示系统有电。将主回路的断路器 QF 闭合，主回路有电，电压表 PV 有指示。

(2) 按下启动按钮 $SB_1[5]$:



KM_2 的辅助动断触头 $KM_2(33-35)[12]$ 断开, HL_Y 灭, $KM_2(37-39)[13]$ 闭合, HL_G 亮。

(3) 启动过程中, 在 KM_2 未得电前, 其并接在热元件 FR 两端的动断触头 $KM_2(51-52)[3]$ 和 $KM_2(61-62)[3]$ 是闭合的, 因此 FR 不会动作。也就是说, 由于启动电流的过负荷, 热继电器不动作。启动后, $KM_2(51-52)$ 和 $KM_2(61-62)$ 打开, 这时运行电流如超过热元件的动作电流, 热继电器动作, 其串接在主接触器 KM_1 支路的动断触头 $FR(10-8)[5]$ 打开, 使 KM_1 失电释放, 切断定子电流, 电动机停止转动, 从而保护了电动机。

启动过程中, 过电流继电器 $KI_1 \sim KI_3$ 由于启动电流的冲击均动作, 其动合触头 $KI_1(5-23)[9]$ 、 $KI_2(5-23)$ 、 $KI_3(5-23)[9]$ 虽然闭合, 但这时 KT_2 不会动作, 因为 $KM_2(25-27)[9]$ 没有闭合。 KT_2 的整定时间即允许过载时间 T_2 应大于 T_1 且小于电动机最大允许过载时间。启动后, 若有一相过流, 则 KI_1 、 KI_2 或 KI_3 得电吸合, 其动合触头 $KI_1(5-23)$ 、 $KI_2(5-23)$ 或 $KI_3(5-23)$ 闭合, 使通电延时时间继电器 KT_2 得电吸合 (此时 KM_2 已得电吸合, 其辅助动合触头 $KM_2(25-27)$ 已闭合), 只要过流时间达到 T_2 , 则延时闭合的动合触头 $KT_2(5-29)[10]$ 闭合, 使中间继电器 KA_4 得电吸合, 其动合触头 $KA_4(8-6)[5]$ 打开, 切断 KM_1 回路, 电动机停转, 从而保护了电动机。

(4) 启动中, 由于某种原因, 电动机某相或电源某相断开, 则另两相电流增大, 只要有一个热元件动作, 电动机主回路便切断, 保护电动机。系统发生短路时, 切断电动机电源, 保护电动机。

六、按时间原则组成笼形感应电动机能耗制动电路

能耗制动是指在三相电动机停车切断三相电源的同时, 将一直流电源接入定子绕组, 产生一个静止磁场, 此时电动机的转子由于惯性继续沿原来的方向转动, 惯性转动的转子在静止磁场中切割磁力线, 产生一与惯性转动方向相反的电磁转矩, 对转子起制动作用, 制动结

束后切断直流电源。

1. 无变压器单向旋转能耗制动电路（见图 3.2.20）

【看图思路】

该电路采用无变压器的单管半波整流电路提供直流电源，采用时间继电器对制动时间进行控制。

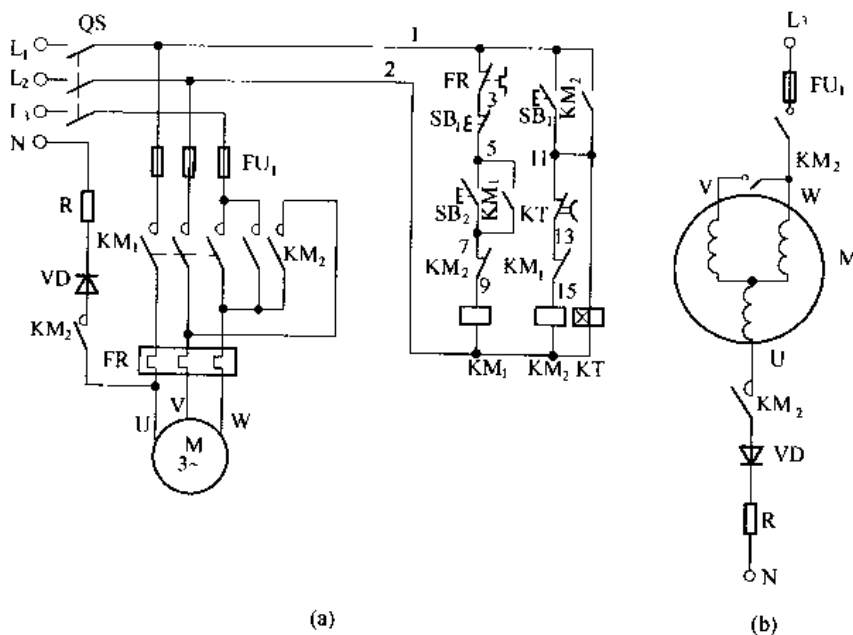


图 3.2.20 单管能耗制动控制电路

能耗制动的制动转矩大小与通入直流电流的大小及电动机的转速 n 有关。转速小，电流大，制动作用强。一般接入的直流为电动机空载电流的 3~5 倍，过大会烧坏电动机的定子绕组，电路采用在直流电源回路中串接可调电阻的方法，调节制动电流的大小。

能耗制动时制动转矩随电动机的惯性转速下降而减小，因而制动平稳。这种制动方法将转子惯性转动的机械能转换成电能，又消耗在转子的制动上，因此称为能耗制动。

KM_1 为运作接触器， KM_2 为制动接触器，采用通电延时继电器 KT 对制动时间进行自动控制。 KM_2 的两副主触头接至电动机定子绕组两相，并由另一相绕组、 KM_2 的另一副主触头、再经整流二极管 VD 和限流电阻 R 接至零线，构成工作回路，如图 3.2.20 (b) 所示。

【看图实践】

按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，电动机启动运转。停车时，按下复合停止按钮 SB_1 ，其动断触头 SB_1 (3-5) 断开，使 KM_1 失电释放，电动机脱离三相电源，同时，其动合触头 SB_1 (1-11) 闭合，使接触器 KM_2 和通电延时时间继电器 KT 得电吸合并自锁，电动机定子绕组经 KM_2 的主触头接入无变压器单管整流电路。整流电路电源为 220V，单相交流电源 L_3 经 KM_2 主触头接至电动机两相绕组 V 、 W ，并由另一相绕组 U 经 KM_2 的另一副主触头、整流二极管 VD 和限流电阻 R 接至零线，构成整流回路。由于定子绕组上有直流电流通过，因此，电动机进行能耗制动，当电动机转速接近零时， KT 整定时间到，其延时动断触头 KT (13-15) 断开，使 KT 、 KM_2 相继失电释放，制动过程结束。

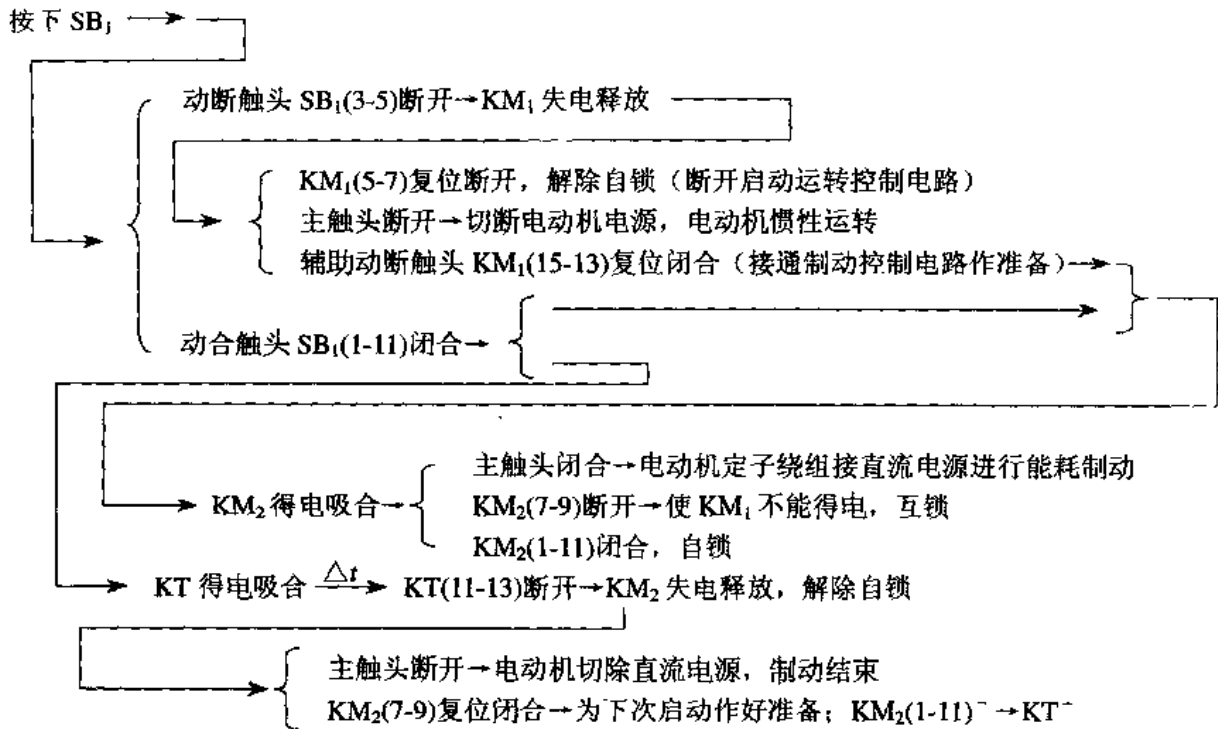
电路电器动作顺序为：

(1) 启动运行

按下 $SB_2 \rightarrow KM_1$ 得电吸合 \rightarrow 其主触头闭合 \rightarrow 电动机启动运行

- \rightarrow 其辅助动合触头 $KM_1(5-7)$ 闭合，自锁（接通启动运转控制电路）
- \rightarrow 其辅助动断触头 $KM_1(13-15)$ 断开 \rightarrow 断开制动控制电路，使 KM_2 不能得电，互锁

(2) 停车制动



【电路点评】

该电路适用于功率 10kW 以下，且对制动要求不高的场合。

2. 全波整流单向运行能耗制动电路（见图 3.2.21）

【看图思路】

图 3.2.21 所示按时间原则控制的单向能耗制动控制电路中， KM_1 为单向运行接触器， KM_2 为能耗制动接触器， KT 为控制能耗制动时间的通电延时时间继电器， UR 为桥式整流电路。正常运行时，接触器 KM_1 的主触头闭合接通三相电源，电动机启动运行， KM_2 、 KT 不工作。停车制动时， KM_1 不工作， KM_2 、 KT 工作，由变压器和整流元件构成的整流装置提供直流电源， KM_2 将直流电源经可变电阻 RP 接入电动机定子绕组的 U 、 W 相，如图 3.2.21 (b) 所示，由 KT 控制能耗制动时间。

【看图实践】

按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合，其主触头闭合，电动机 M 启动运转；同时其辅助动断触头 $KM_1(15-17)$ 断开，确保 KM_2 不能得电。当停车制动时，按下复合停止按钮 SB_1 ，其动断触头 $SB_1(3-5)$ 首先断开，使 KM_1 失电释放，电动机定子绕组脱离

三相电源，失电惯性运转； KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (15-17) 复位闭合， SB_1 的动合触头 SB_1 (3-13) 闭合，使 KM_2 、 KT 得电吸合并通过 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (3-13) 及 KT 的瞬动动合触头 KT (11-13) 自锁， KM_2 的主触头将直流电源接入两相定子绕组进行能耗制动， SB_1 松开复位，电动机在能耗制动作用下转速迅速下降，当接近零时， KT 延时时间到，其延时断开的动断触头 KT (13-15) 断开，使 KM_2 、 KT 相继失电，制动过程结束。

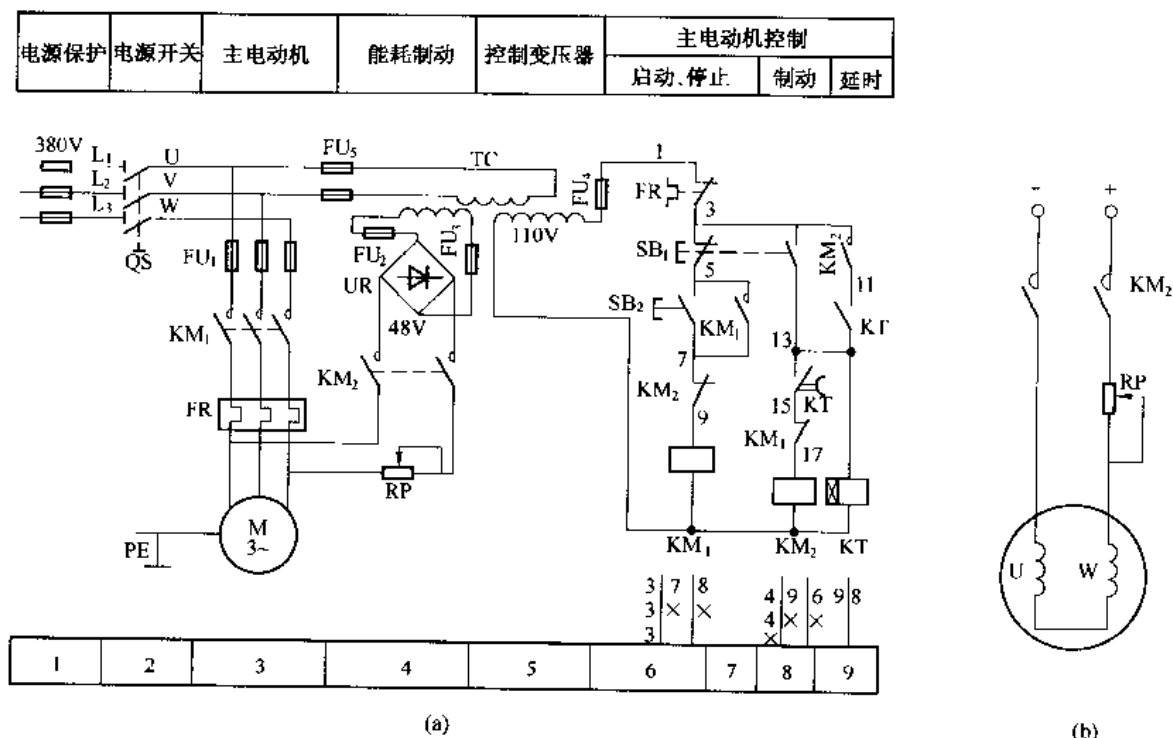


图 3.2.21 时间原则控制的单向运行能耗制动控制电路

图 3.2.21 所示电路电器元件动作顺序为：

(1) 启动运行

合上开关 QS。

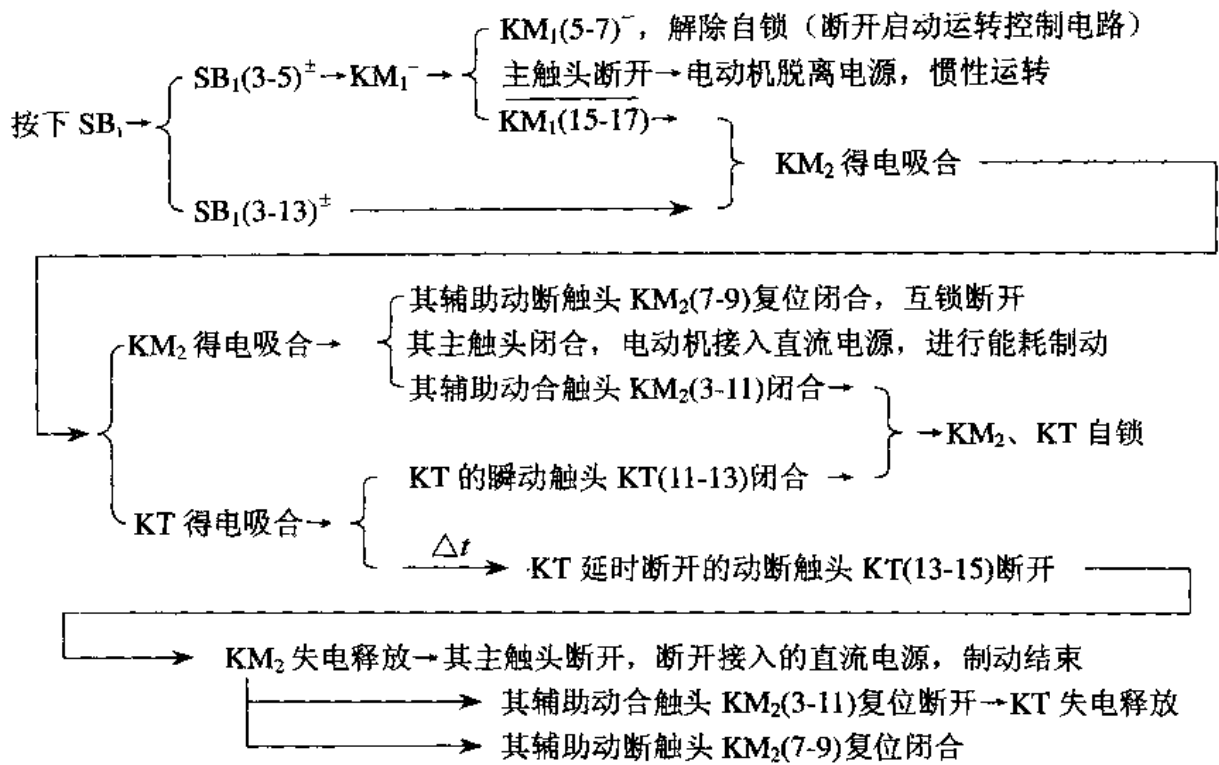
按下 $SB_2 \rightarrow KM_1$ 得电吸合 → $\left\{ \begin{array}{l} \text{其辅助动合触头 } KM_1(5-7) \text{ 闭合自锁，接通启动运行控制电路} \\ \text{其辅助动断触头 } KM_1(15-17) \text{ 断开，互锁（断开制动控制电路）} \\ \text{其主触头闭合} \rightarrow \text{电动机启动运行} \end{array} \right.$

(2) 停车制动

【电路点评】

该电路中，将 KT 动合触头与 KM_2 自锁触头串联，可避免时间继电器发生故障时触头不能动作，而使 KM_2 长期得电，造成电动机定子绕组长期通入直流电源。引入 KT 的瞬动动合触头 KT (11-13) 后，则避免了上述故障的发生。

带变压器的单相桥式整流电路，其制动效果较好，但所需设备多，成本高。当电动机功率在 10kW 以下、且制动要求不高时，可采用无变压器单管能耗制动控制电路。



3. 正反向运行半波整流能耗制动电路

电路如图 3.2.22 所示。

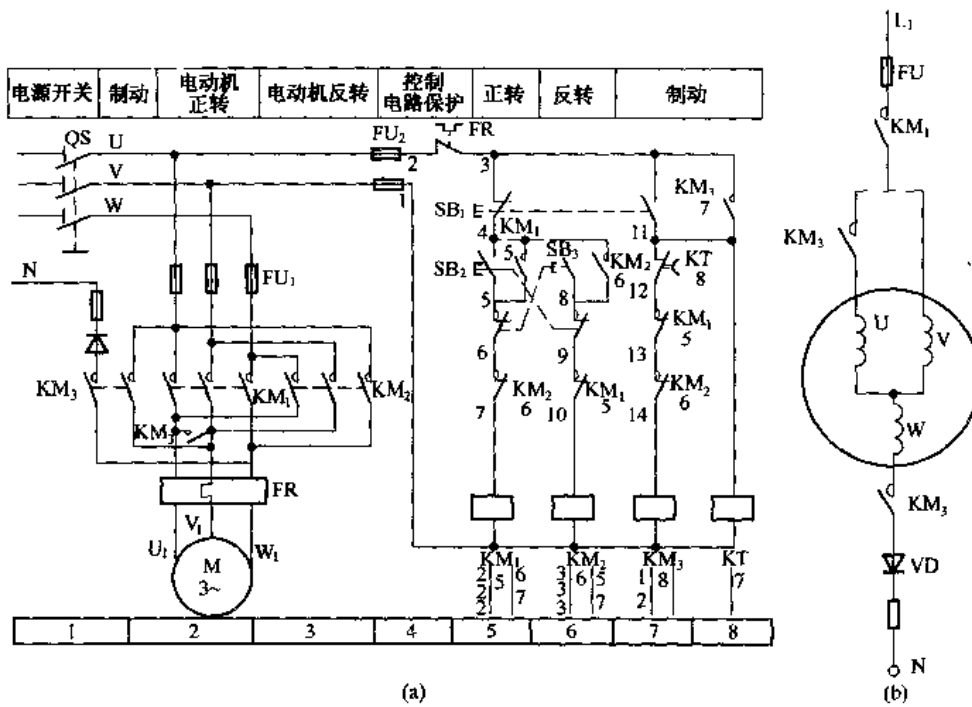


图 3.2.22 正反向运行半波整流能耗制动控制电路

该正反向运行控制电路为由按钮 SB_2 、 SB_3 和接触器 KM_1 、 KM_2 组成的具有双重连锁功能的正反转控制电路。与图 3.1.2 (e) 所示电路相同，其能耗制动电路由通电延时时间继电器 KT 和接触器 KM_3 组成，与图 3.2.21 所示单向运行半波整流能耗制动电路相同。只是能耗制动时上电路（如图 3.2.21 (b) 所示）不同，因此不再赘述。

七、按时间原则组成的停电后来电的电动机自启动电路

对工矿企业而言，许多情况下要求当电动机停电后再来电时能自启动，并且在电动机台数较多与容量较大时还要求电动机能分批自启动，以满足生产的需要与减少电动机启动时电压降过大而造成对电网的影响。

1. 短时间停电后来电的电动机自启动电路

电路如图 3.2.23 所示，采用断电延时时间继电器来实现短时间停电后再来电的自动启动。所谓短时间停电是指断电时间在断电延时继电器的延时整定范围内。

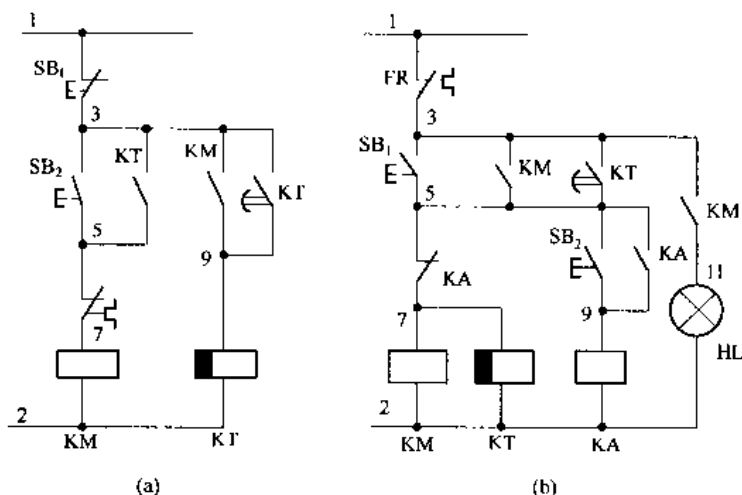


图 3.2.23 短时间停电后来电自启动电路

【看图思路】

此处利用了断电延时时间继电器 KT 的断电延时特性，并假定供电电源停电的时间处在 KT 的整定时间范围内，即断电延时断开的动合触头尚未断开。

对图 2.4.23 (a) 所示的电路， KT 的瞬动动合触头 KT (3-5) 与启动按钮 SB_2 并联，因此停电再来电后，由于 KT 的延时断开的动合触头 KT (3-9) 尚未断开，来电后 KT 得电吸合，其瞬动触头 KT (3-5) 立即闭合，使 KM 得电吸合，电动机自行启动。

对 3.2.23 (b) 所示的电路，断电延时时间继电器 KT 的延时断开的动合触头 KT (3-5) 与启动按钮并联，由于停电来电后， KT 延时断开的动合触头 KT (3-5) 尚未断开，使 KM 得电吸合，电动机自行启动。

【看图实践】

对图 3.2.23 (a) 所示的电路，按下按钮 SB_2 ，接触器 KM 得电吸合，其主触头闭合，电动机启动运转；其辅助动合触头 KM (3-9) 闭合，使断电延时时间继电器 KT 得电吸合，其瞬动动合触头 KT (3-5) 闭合，延时断开的动合触头 KT (3-9) 立即闭合，为停电后来电自

动启动做准备。KT (3-5) 闭合，使 KM 和 KT 保持吸合状态。

停电后，KM 和 KT 失电释放，电动机停转。若停电时间在 KT 的延时时间范围内，则在停电来电后，KT (3-9) 尚未断开，使 KT 得电吸合，其瞬动动合触头 KT (3-5) 立即闭合，KM 得电吸合，电动机自行启动。

对图 3.2.23 (b) 所示的电路，是采用中间继电器 KA 和断电延时时间继电器 KT 实现的一次自启动。正常启动时，按下 SB₁，接触器 KM 得电吸合并自锁，同时其辅助动合触头 KM (3-11) 闭合，点亮指示灯 HL，KM 主触头闭合启动电动机；同时，断电延时时间继电器 KT 得电吸合，其延时断开的动合触头 KT (3-5) 闭合，为停电后再来电时自启动作准备。

若电动机运转时出现瞬间停电，则 KM 失电释放，其主触头断开，电动机停转，指示灯熄灭；同时 KT 失电释放，其延时断开触头 KT (3-5) 开始延时准备断开，若在 KT 整定延时时间内电源恢复正常，则 KT 延时时间未到，因此触头 KT (3-5) 还未断开，使 KM 得电吸合，电动机又重新自启动。

需要停机时，按下 SB₂，中间继电器 KA 得电吸合，其动合触头 KA (5-9) 闭合自锁，动断触头 KA (5-7) 断开，使 KM 与 KT 失电释放，KM 的主触头断开，电动机停转，待 KT 触头延时断开后，KA 才失电释放，其触头复位，整个电路恢复为静止状态。

2. 短时间停电后来电多台电动机分批自启动电路

图 3.2.24 所示为电动机 M₁ 的停电后来电自启动电路。多台电动机分批自启动电路为多个单台电动机自启动电路的组合。

【看图思路】

该电路设有断电延时时间继电器 KT₁ 和通电延时时间继电器 KT₂，由 KT₁ 的延时断开的动合触头 KT₁ (9-11) 控制 KT₂。若停电时间小于 KT₁ 的延时整定时间，则停电再来电后，通过 KT₁ 尚未断开的触头 KT₁ (9-11)，使 KT₂ 立即得电吸合；KT₂ 的延时闭合的动合触头 KT₂ (5-7) 控制接触器 KM，使电动机 M 在停电再来电后自行启动。对各电动机控制电路，将其 KT₂ 调整为几组不同的延时时间，就能实现分批自启动。

【看图实践】

正常启动时，按下启动按钮 SB₂，接触器 KM 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M₁ 启动运转，其辅助动合触头 KM (5-13) 闭合，使指示灯 HL 亮，其辅助动断触头 KM (5-9) 断开，确保通电延时时间继电器 KT₂ 不能得电。在 KM 得电的同时，断电延时时间继电器 KT₁ 也得电吸合，其延时断开的动合触头 KT₁ (9-11) 闭合，为停电后再来电自启动作准备。

当电动机运转过程中出现停电时，KM 失电释放，其主触头断开，电动机 M₁ 停转，同时其辅助动断触头 KM (5-9) 复位闭合。当电源恢复时，若停电时间小于 KT₁ 的延时整定时间，即

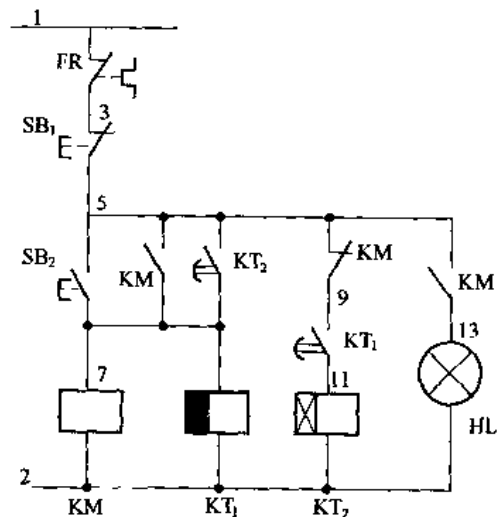


图 3.2.24 短时间停电后来电电动机自启动电路

后自启动结束), 第 3 批电动机的 KT 触头整定为 20s 后闭合进行自启动 (设第 2 批电动机经 7s 后自启动结束), 如此等等。

【电路点评】

- (1) 电动机运转中, 无论停电时间长短, 来电后电动机均能自启动。
- (2) 该电路既可用于一次自启动, 也可用于分批自启动。
- (3) 电动机正常运转时, 时间继电器 KT 不得电, 这样有利于节约用电与延长时间继电器的使用寿命。

八、按时间原则组成的电动机自动循环控制电路

电动机工作的自动循环控制, 实质上是通过控制电路按照工作循环图确定的工作顺序要求, 对电动机进行启动和停止的控制。

设备的工作循环图标明的顺序和每个工步的内容, 确定各工步应接通的电器, 同时还注明控制工步转换的转换主令。自动循环工作中的转换主令, 除启动循环的主令由操作者给出外, 其他各步转换的主令均来自设备工作过程中出现的信号, 如行程开关信号、压力继电器信号、时间继电器信号等, 控制电路在转换主令的控制下, 自动切换工步, 切换工作电器, 实现工作的自动循环。

常见的单机自动循环控制是在转换主令的作用下, 按要求自动切换电动机的转向, 如由行程开关操作的电动机正反转控制, 或是电动机按要求自动反复启停的控制。

1. 单向运行电动机自动循环控制电路

电路如图 3.2.26 所示。

【看图思路】

由图可见, KM 线圈电路中串接有 KA 的动断触头 KA (3-5), 因此 KA 的失电 (KA (3-5) 闭合, KM 得电吸合, 电动机工作)、得电 (KA (3-5) 断开, KM 失电释放, 电动机停止工作), 就成为分析该电路的关键。而 KA 由通电延时时间继电器 KT_1 和 KT_2 控制, KT_1 延时闭合的动合触头 KT_1 (1-7) 控制 KA 得电, KT_2 的延时断开的动断触头 KT_2 (7-9) 控制 KA 失电, 因此 KT_1 控制 KM 得电时间, KT_2 控制 KM 失电时间, 从而使电动机间歇工作。

【看图实践】

图 3.2.26 所示的自动间歇供油的润滑系统控制电路中, KM 为控制液压泵电动机启停的接触器, KT_1 控制油泵电动机供油工作的时间, KT_2 控制停机供油间断的时间。合上开关 SA 后, 液压泵电动机 M 启动, 间歇供液循环开始, 控制电路工作过程中电器动作顺序为:

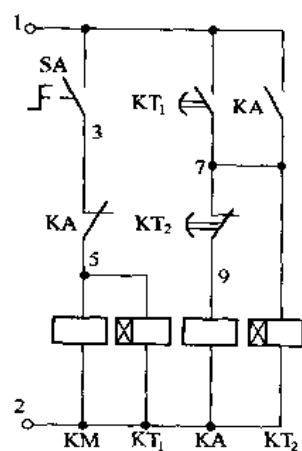
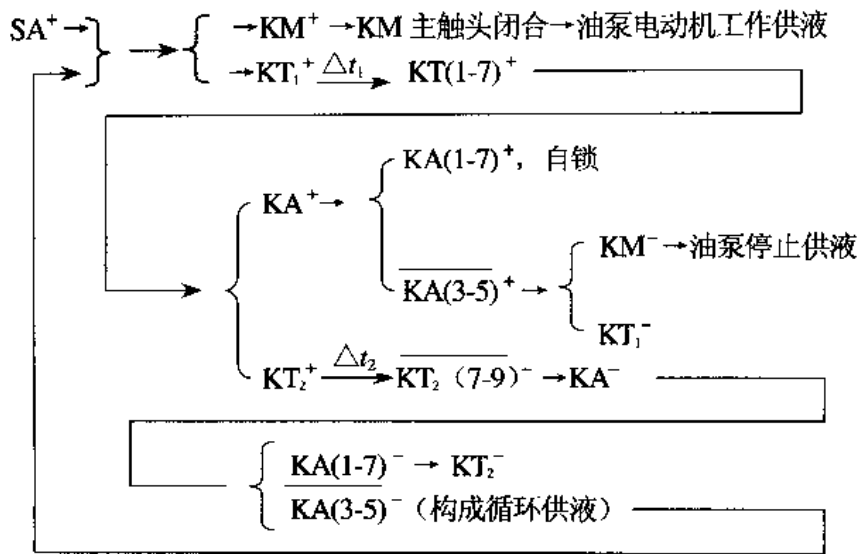


图 3.2.26 自动间歇供油润滑控制电路



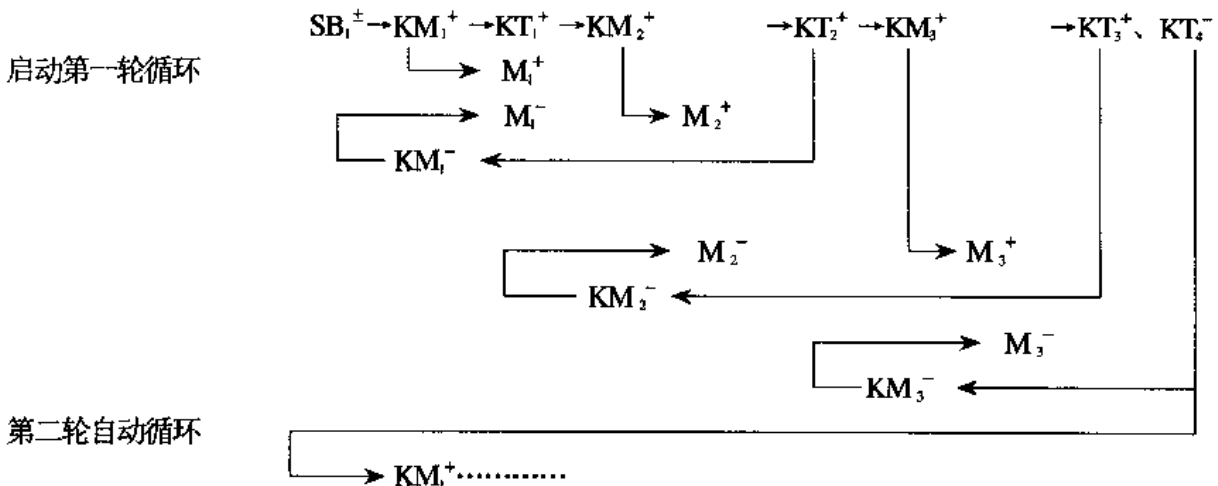
2. 按时间原则组成的电动机正反向运行自动循环控制电路

电路如图 3.2.27 所示。

【看图思路】

根据电动机 $M_1 \sim M_3$ 主电路控制电器主触头文字符号 $KM_1 \sim KM_3$ ，在图区 8-9、10-11、12-13 找到 $KM_1 \sim KM_3$ 的线圈电路及其关电路。

当控制电路开关 SA 闭合后，中间继电器 KA[6]得电吸合，其动合触头 KA(2-4)[7]闭合，接通控制电路电源，断电延时时间继电器 KT_4 得电吸合，其延时断开的动合触头 $KT_4(27-31)$ [12]立即闭合，而延时闭合的动断触头 $KT_4(3-11)$ [8]立即断开。此时控制电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 的电路结构 KM_1 与 KT_1 、 KM_2 与 KT_2 、 KM_3 与 KT_3 就完全相同。若先启动 M_1 ，则循环控制过程为：



由此可见，时间继电器 KT_4 的作用是：为启动自动循环作准备；实现上一轮循环到下一轮循环的自动切换，这就是看该电路的关键和切入点。

KT_1 、 KT_2 、 KT_3 为通电延时时间继电器， KT_4 为断电延时时间继电器。

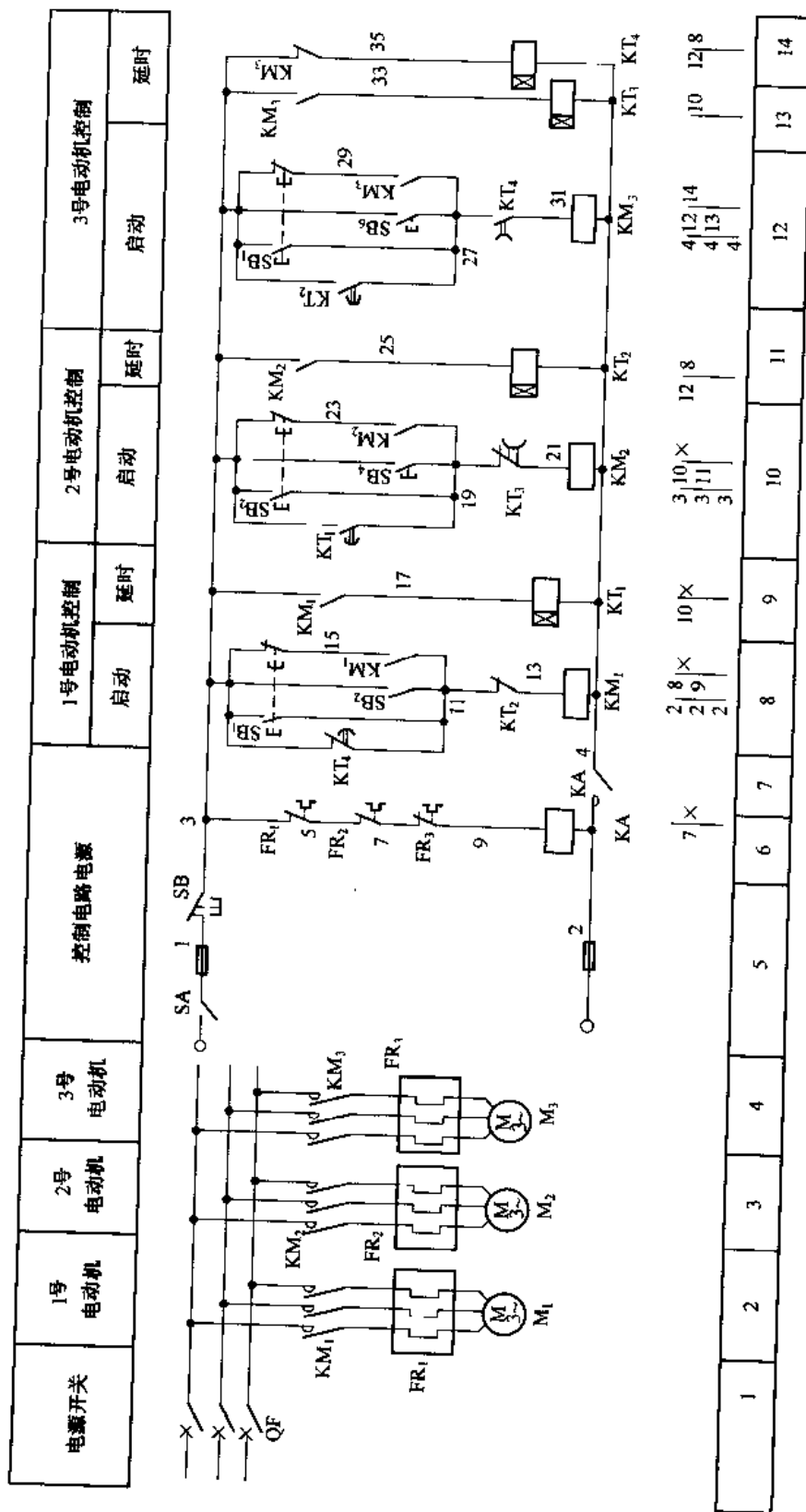


图 3.2.27 单机双向运转自动循环控制电路

【看图实践】

(1) 启动前,先合上转换开关 SA,中间继电器 KA 得电吸合,其动合触头 KA (2-4) [7] 闭合,使控制电路有电;断电延时时间继电器 KT₄ 得电吸合,其延时闭合的动断触头 KT₄ (3-11) [8] 断开,延时断开的动合触头 KT₄ (27-31) [12] 闭合,为 KM₁ 自动得电、KM₃ 自动失电作准备。

启动时将断路器 QF 闭合,接触器 KM₄~KM₃ 上闸口有电,为启动作准备。

(2) 按下启动按钮 SB₁[8], KM₁ 得电吸合,电动机 M₁ 启动,其动合触头 KM₁ (15-11) [8] 闭合,自锁;动合触头 KM₁ (3-17) [9] 闭合,使通电延时时间继电器 KT₁[9] 得电吸合并开始延时。

当 KT₁ 整定时间到,其动合触头 KT₁ (3-19) [10] 闭合, KM₂ 得电吸合,电动机 M₂ 启动。KM₂ 动合触头 KM₂ (23-19) [10] 闭合,自锁;其动合触头 KM₂ (3-25) [11] 闭合,使通电延时时间继电器 KT₂[11] 得电吸合并开始延时。

当 KT₂ 整定时间到,其动合触头 KT₂ (3-27) [12] 闭合, KM₃ 得电吸合,电动机 M₃ 启动,同时 KT₂ 的延时断开的动断触头 KT₂ (11-13) [8] 打开, KM₁ 失电释放, M₁ 停转,并使 KT₁[9] 失电释放,其触头复位,为下次动作作准备。KM₃ 的动合触头 KM₃ (29-27) [12] 闭合,自锁;而动合触头 KM₃ (3-33) [13] 闭合,使时间继电器 KT₃[13] 得电吸合并开始延时;动断触头 KM₃ (3-35) [14] 打开,使时间继电器 KT₄[14] 失电释放并开始延时。

(3) 一旦 KT₃ 整定时间到,其动断触头 KT₃ (19-21) [10] 便断开, KM₂ 失电释放, M₂ 停转。同时 KM₂ 的辅助动合触头 KM₂ (3-25) [11] 复位断开,使 KT₂[11] 失电释放,其触头复位,为下次动作作准备。

(4) 到达 KT₄ 整定时间后,其动合触头 KT (27-31) 复位断开,使 KM₃ 失电释放,同时 KT₄ 动断触头 KT₄ (3-11) [8] 复位闭合,接通了 KM₁ 的回路, KM₁ 重新自动得电,开始第二个循环工作。KM₃ 失电释放后,其触头 KM₃ (3-33)、KM₃ (3-35) 复位,使 KT₃[13] 失电释放, KT₄[14] 得电吸合,为下次循环作准备。

在运行中,任一电动机过负荷,其 FR 动作,使中间继电器 KA 失电,其动合触头 KA (2-4) [7] 断开,将控制电路的电源断开,接触器失电释放,电动机全部停止运转。运行中需要停车时,按动停止按钮 SB,断开控制回路电源,接触器失电释放,电动机停止运转。

设置按钮 SB₄ 和 SB₆ 可使系统从任一电动机开始循环工作,再者是当时间继电器有失灵者,可将时间继电器接点短接后手动循环工作,不影响工艺流程。

设置点动按钮 SB₁、SB₃、SB₅ 是为了调整试车,按动该按钮时只能点动而不能进入循环工作。

时间继电器均为长延时元件(延时时间为 0~360s)。每只时间继电器的整定均按工艺要求进行。值得注意的是,KT₄ 的延时时间应为电动机 M₃ 的工作时间与 M₃ 停转到 M₁ 启动间隔时间之和。

3. 单机双向运行程间歇循环控制电路

电路如图 3.2.28 所示。

【看图思路】

由图可见, KM₁ 和 KM₂ 组成接触器连锁的正、反转控制电路。KM₁、KM₂ 线圈电路中分别串有通电延时时间继电器 KT₁、KT₃ 的延时断开的动断触头 KT₁ (9-11)、KT₃ (13-19),因此 KT₁、KT₃ 分别决定 KM₁、KM₂ 得电吸合时间,也就是电动机正、反转工作时间。

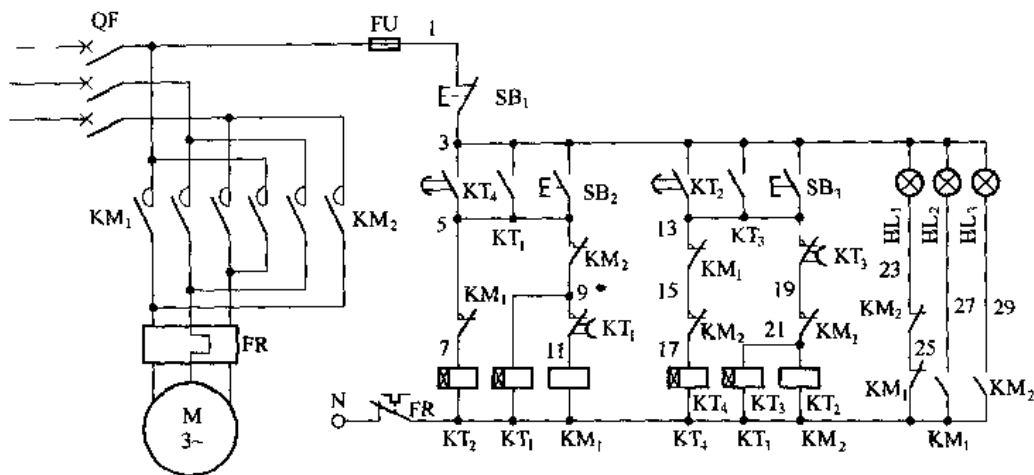


图 3.2.28 设备间歇正反转控制线路

通电延时时间继电器 KT_2 、 KT_4 线圈电路中分别串接有 KM_1 、 KM_2 的辅助动断触头 KM_1 (5-7)、 KM_2 (15-17)，因此只有 KM_1 、 KM_2 失电释放，即电动机正反转均停止时， KT_2 、 KT_4 才能得电吸合，也就是说， KT_2 、 KT_4 分别决定电动机正、反转停歇时间。

KM_1 失电释放停歇后， KM_2 得电吸合，即电动机正转停歇后，反转启动，通过 KT_2 的通电延时闭合的动合触头 KT_2 (3-13) 来实现； KM_2 失电释放停歇， KM_1 得电吸合，即电动机反转停歇后正转启动，通过 KT_4 的通电延时闭合的动合触头 KT_4 (3-5) 来实现。

【看图实践】

欲启动电动机，首先按 SB_2 ，接触器 KM_1 和时间继电器 KT_1 得电吸合， KM_1 的动断触头 KM_1 (5-7) 断开，使 KT_2 不能得电，同时，时间继电器 KT_1 的瞬动动合触头 KT_1 (3-5) 闭合，使接触器 KM_1 和时间继电器 KT_1 保持吸合状态，经过一定延时后，时间继电器 KT_1 的延时断开的动断触头 KT_1 (9-11) 断开，使 KM_1 失电释放，电动机停止运转。

接触器 KM_1 失电后，其辅助动合触头 KM_1 (5-7) 复位闭合，接时间继电器 KT_2 得电吸合，经过一定延时时间， KT_2 延时闭合的动合触头 KT_2 (3-13) 闭合，接接触器 KM_2 和时间继电器 KT_3 得电吸合， KT_3 的瞬动动合触头 KT_3 (3-13) 闭合，使 KM_2 、 KT_3 接持吸合状态。 KM_2 的辅助动断触头 KM_2 (5-9)、 KM_2 (15-17) 断开，使 KT_1 、 KT_4 失电释放。电动机开始反转，又经过一定时间，时间继电器 KT_3 的延时断开的动断触头 KT_3 (13-19) 断开，使接触器 KM_2 失电释放，电动机反方向运转停止。

接触器 KM_2 失电后，其辅助动断触头 KM_2 (15-17) 复位闭合，使时间继电器 KT_4 得电吸合，经过一定时间延时， KT_4 延时闭合的动合触头 KT_4 (3-5) 闭合，使接触器 KM_1 再次得电吸合，电动机又开始正转，同时 KM_1 的动合触头 KM_1 (13-15) 断开，使时间继电器 KT_4 失电释放，以后将按整定时间循环往复地动作，电动机也将按整定时间间歇运转。

按钮 SB_3 的设置与按钮 SB_2 相同，只不过是反转启动按钮。只要接停止按钮 SB_1 ，即可接电动机停转。

HL_1 是电源指示灯， HL_2 、 HL_3 为正转反转指示灯。接触器 KM_1 得电吸合， HL_2 亮、 HL_1 与 HL_3 处于熄灭状态。接触器 KM_2 得电吸合， HL_3 亮、 HL_1 与 HL_2 处于熄灭状态。当热继电器 FR 动作，同时切断接触器 KM_1 和接触器 KM_2 电源，从而接电动机停转。

该电路的电动机的正反转及停顿时间由选用的时间继电器的定时范围决定。

九、按时间原则组成的顺序控制电路

1. 两台电动机顺序启动和同时停止的控制电路

电路如图 3.2.29 所示。

【看图思路】

由图可见，接触器 KM_2 线圈电路中串接有通电延时时间继电器的延时闭合的动合触头 KT (3-11)， KT 得电吸合并经延时后， KT (3-11) 闭合，才能使 KM_2 得电吸合，而 KT 和 KM_1 同时得电吸合，这样就实现了 KM_1 得电吸合后 KM_2 才能得电吸合的控制要求。

【看图实践】

按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M_1 启动，同时通电延时时间继电器 KT 得电吸合， KT 延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT (3-11) 闭合，使接触器 KM_2 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M_2 启动，同时 KM_2 的辅助动断触头 KM_2 (5-9) 断开，使 KT 失电释放。

按下停止按钮 SB_1 ， KM_1 、 KM_2 同时失电释放， M_1 、 M_2 同时停转。

2. 按时间原则组成的两台电动机传送带的控制电路

电路如图 3.2.30 所示。

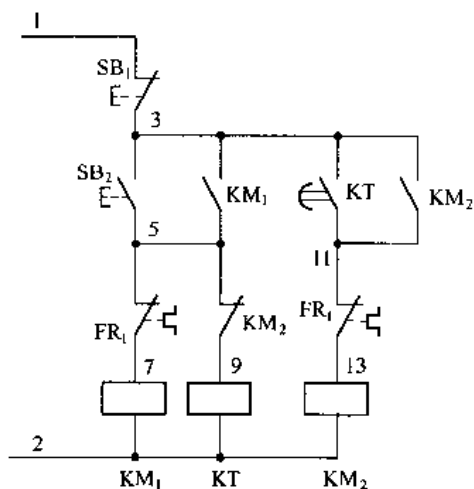


图 3.2.29 按时间原则组成的顺序控制电路

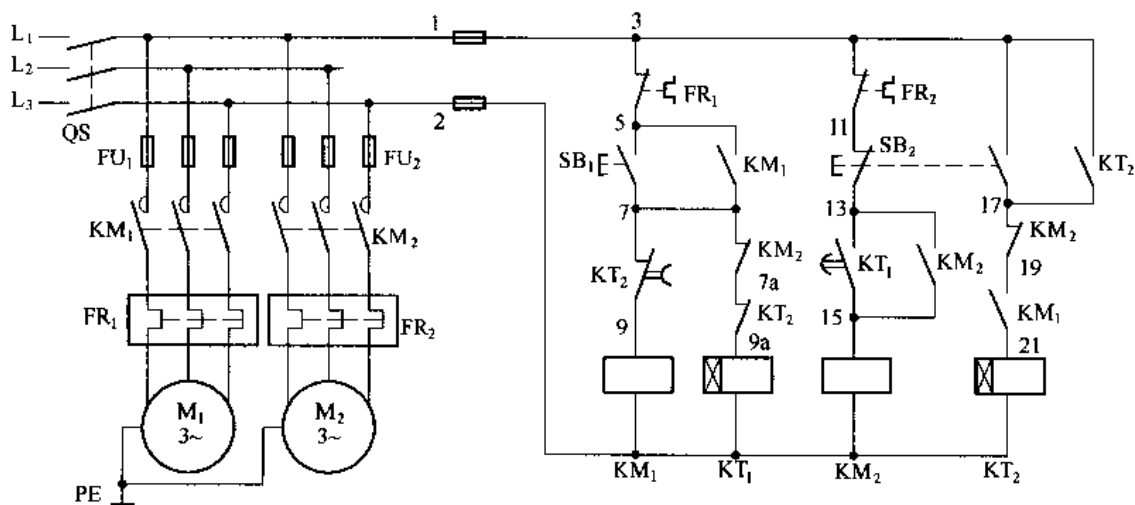


图 3.2.30 按时间原则组成的两台电动机传送带的控制电路

【控制要求】

在拖动第一条传送带的电动机 M_1 先行启动后，经过一段时间 t_1 后，拖动第二条传送带的电动机 M_2 自动启动。

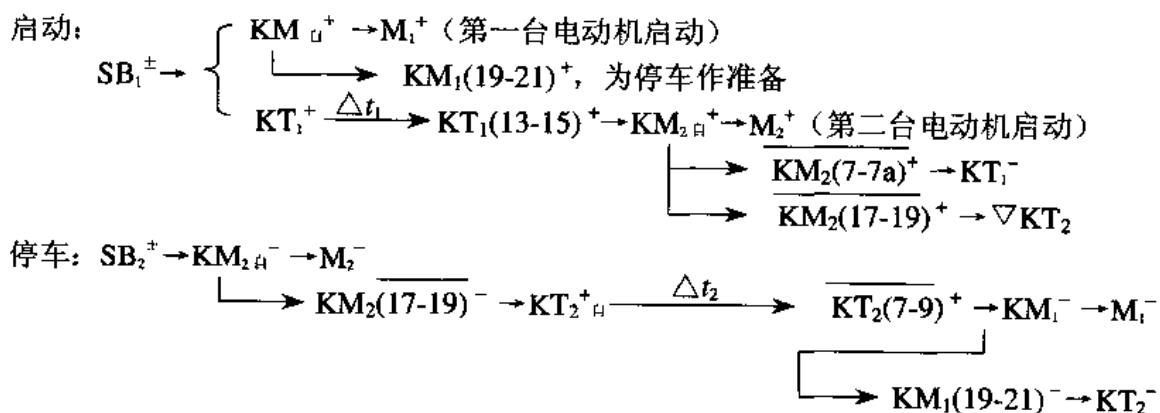
在电动机 M_2 停车后，再经过一段时间 t_2 ，电动机 M_1 自动停车。

【看图思路】

控触器 KM_1 、 KM_2 分别控制电动机 M_1 和电动机 M_2 的启动与停车，时间继电器 KT_1 和 KT_2 分别控制两段延时时间。该电路可分为 KM_1 - KT_1 与 KM_2 - KT_2 两部分， KM_1 - KT_1 与 KM_2 - KT_2 的关联通过 KT_1 ，而 KM_2 - KT_2 与 KM_1 - KT_1 的关联通过 KT_2 ，而 KM_2 与 KT_2 的关联通过 SB_2 。

【看图实践】

合上开关 QS 。电路的工作过程为：



3. 按时间原则组成的多台电动机顺序控制电路

电路如图 3.2.31 所示。

【看图思路】

(1) 该电路程序启动的要点是， KM_1 的辅助动合触头 $KM_1(21-23)$ [7] 串联在 KM_2 线圈电路里，与 KM_2 同步动作的中间继电器 KA_2 [13] 的动合触头 $KA_2(29-31)$ [9] 串联在 KM_3 线圈电路里。因此，若 KM_3 得电吸合，则必须先使 KA_2 得电吸合（通过 KM_2 ），而 KM_2 得电吸合则必须先使 KM_1 得电吸合，因此 M_3 、 M_2 不能先启动，只能先启动 M_1 ，再启动 M_2 ，最后启动 M_3 。

程序停车的基本要点是， KM_3 的辅助动合触头 $KM_3(1-19)$ [8] 并联在 KM_2 线圈失电支路上，而 KA_2 的动合触头 $KA_2(1-11)$ [6] 并联在 KM_1 线圈失电支路上。因此，若使 KM_1 失电，必须先使 KM_2 失电；若使 KM_2 失电，必须先使 KM_3 失电，这样就要实现按 $M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 顺序停车的控制要求。

(2) 如何实现按 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3$ 顺序启动。 KM_2 [7] 线圈电路中串有 KM_1 线圈电路的控制元件的 KT_1 的动合触头 $KT_1(19-21)$ [7]， KM_3 线圈电路中串有 KM_2 线圈电路的控制元件 KT_2 的动合触头 $KT_2(27-29)$ [9]。因此 KT_1 控制 $KM_1 \rightarrow KM_2$ ，即 $M_1 \rightarrow M_2$ 的启动顺序， KT_2 控制 $KM_2 \rightarrow KM_3$ ，即 $M_2 \rightarrow M_3$ 的启动顺序。

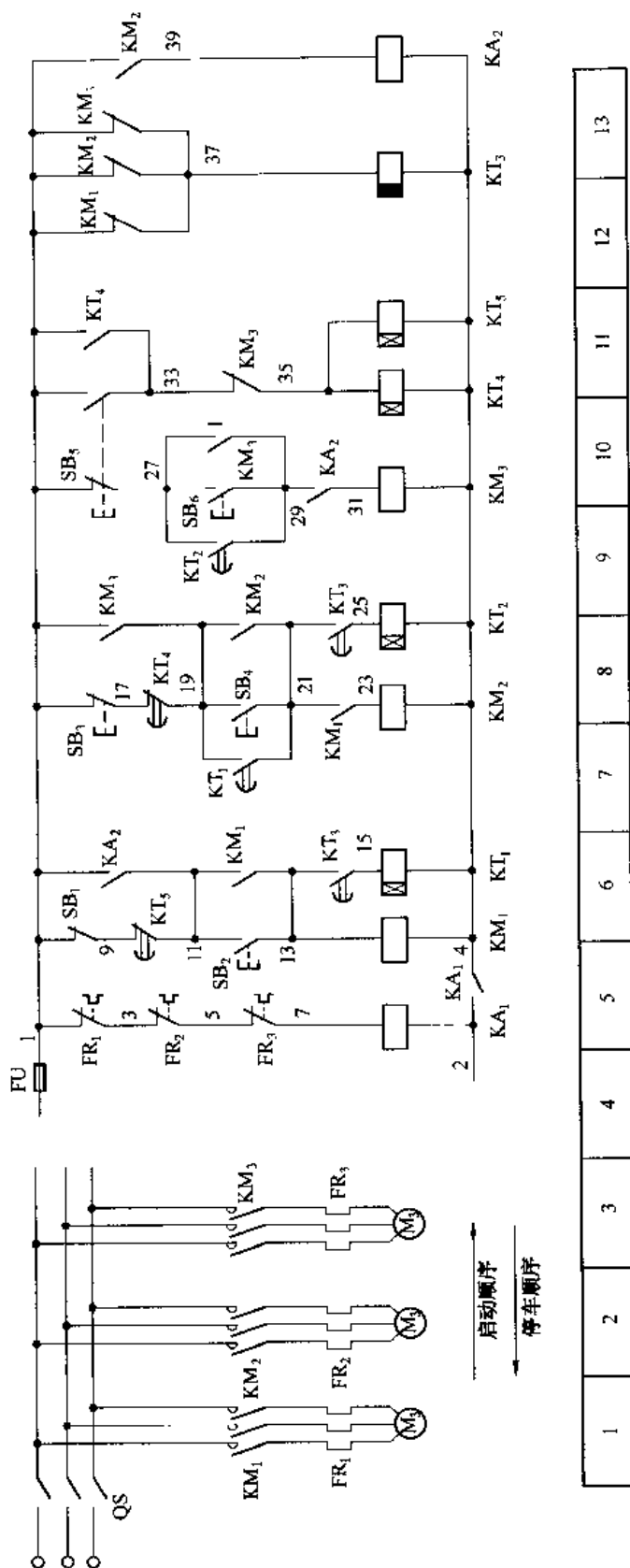


图 3.2.31 按时间原则组成的多电动机顺序控制电路

(3) 如何实现按 $M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 的顺序停车。 KM_2 线圈电路中控制失电的支路中串有 KM_3 线圈电路的控制元件 KT_4 的动断触头 KT_4 (17-19) [7], KM_1 线圈电路的失电支路中串有 KM_2 线圈电路的控制元件 KT_5 的动断触头 KT_5 (9-11) [5], 因此 KT_4 控制 $KM_3 \rightarrow KM_2$, 即 $M_3 \rightarrow M_2$ 的停车顺序, KT_5 控制 $KM_2 \rightarrow KM_1$, 即 $M_2 \rightarrow M_1$ 的停车顺序。为此, KT_5 的延时时间应大于 KT_4 延时时间。

(4) 断电延时时间继电器 KT_3 的作用。当 KA_1 [4] 得电吸合后, 控制电路接通电源, KT_3 [12] 立即得电吸合, 其延时断开的动合触头 KT_3 (13-15) [6]、 KT_3 (21-25) [8] 立即闭合, 为 KT_1 、 KT_2 得电作准备, 即为顺序启动作准备。一旦启动完毕, $KM_1 \sim KM_3$ 均得电吸合, KT_3 失电释放, KT_3 (13-15)、 KT_3 (21-25) 复位断开, 使 KT_1 和 KT_2 失电释放。

(5) 时间继电器的延时时间是按工艺要求决定的, 一般情况下, KT_1 、 KT_2 、 KT_3 的延时时间基本相等, KT_5 的延时时间大于 KT_4 的延时时间。同时, KT_4 和 KT_5 的延时时间应小于 KT_1 、 KT_2 的延时时间。由于 KM_3 失电释放, KT_4 、 KT_5 、 KT_3 得电吸合, KT_3 得电吸合, 延时断开的动合触头 KT_3 (21-25)、 KT_3 (13-15) 立即闭合, 而此时 KM_2 、 KM_1 仍保持在吸合状态, 致使 KT_2 、 KT_1 得电吸合, 因此 KT_4 、 KT_5 的延时时间必须小于 KT_2 、 KT_1 的延时时间, 即 KT_2 、 KT_1 延时时间未到, KT_4 (17-19)、 KT_5 (9-11) 先断开, 使 KM_2 、 KM_1 失电释放, 使 KT_2 、 KT_1 失电释放, 否则, KT_2 (27-29)、 KT_1 (19-21) 先闭合, 则 KM_3 、 KM_2 再次被启动。

(6) 设置按钮 SB_2 、 SB_4 、 SB_6 是为了时间继电器故障时, 可将延时触头暂时短接, 便可用按钮进行手动操作, 保证工艺流程的进行。

【看图实践】

(1) 启动。启动前先将熔断器 FU 装好, 使控制回路有电。这时中间继电器 KA_1 得电吸合, 其动合触头 KA_1 (2-4) [4] 闭合, 将控制电路电源接通。

断电延时时间继电器 KT_3 得电吸合, 其动合触头 KT_3 (13-15) [6]、 KT_3 (21-25) [8] 闭合, 为时间继电器 KT_1 、 KT_2 得电作准备。由于 KM_1 、 KA_2 的触头 KM_1 (21-23) [7]、 KA_2 (29-31) [9] 分别串接在 KM_2 和 KM_3 的线圈电路里, 因此 M_2 和 M_3 不能先行启动, 只能先启动 M_1 。启动时先闭合 QS , 接触器上闸口有电。

① 按动按钮 SB_2 , 使 KM_1 得电吸合并自锁, 其主触头闭合, M_1 直接启动; 其辅助动合触头 KM_1 (21-23) [7] 闭合, 为 KM_2 得电作准备; 其辅助动断触头 KM_1 (1-37) [12] 打开。同时时间继电器 KT_1 得电吸合并开始延时, 为 M_2 自动启动作准备。

② KT_1 的延时时间到后, 其延时闭合的动合触头 KT_1 (19-21) [7] 闭合, 使 KM_2 得电吸合并自锁, M_2 直接启动。 KM_2 的辅助动合触头 KM_2 (1-39) [13] 闭合, 使中间继电器 KA_2 得电吸合 (补充 KM_2 辅助触头的不足), 其动合触头 KA_2 (29-31) [9] 闭合, 为 KM_3 得电作准备, 动合触头 KA_2 (1-11) [6] 闭合, 将 KM_1 失电回路封死, 使 M_1 不能停车。 KM_2 辅助动断触头 KM_2 (1-37) [12] 断开, 为 KT_3 失电作准备。同时, 时间继电器 KT_2 [8] 得电吸合并开始延时, 为 M_3 自启动作准备。

③ KT_2 的延时时间到后, 其延时闭合的动合触头 KT_2 (27-29) [9] 闭合, 使 KM_3 得电吸合并自锁, M_3 直接启动。 KM_3 辅助动断触头 KM_3 (33-35) [10] 断开, 使停车时间继电器 KT_4 、 KT_5 不能得电; 其另一辅助动断触头 KM_3 (1-37) [12] 断开, 使断电延时时间继电器 KT_3 失电释放, 并开始延时, 当延时时间到, 其延时断开的动合触头 KT_3 (13-15) [6]、 KT_3 (21-25) [8] 复位断开, 使 KT_1 和 KT_2 失电释放。 KT_1 和 KT_2 延时闭合的动合触头 KT_1 (19-21) [7]、

KT₂ (27-29) [9]复位断开, 准备下次工作。

这样, M₁、M₂ 和 M₃ 按控制程序逐一启动。运行过程中, 有一电动机过载, FR 动作, 使 KA₁ 失电释放, 其动合点 KA₁ (2-4) [4]打开, 断开控制回路电源, 过载电动机停止运转, 所有继电器复位, 准备重新启动。

(2) 停车。运行中, 如果需要停车, 则可按动停车按钮 SB₅[9、10], 使 KM₃ 失电释放, 电动机 M₃ 停止运转, 由于 SB₅ 为复合按钮 (一动断, 一动合), 其动断触头打开后动合触头闭合。这时应注意到, 由于 KM₃ 失电释放, 其触头 KM₃ (33-35) [10]复位闭合而触头 KM₃ (1-19) [8]则复位断开。KM₃ (33-35) 复位闭合, 使 KT₄ 和 KT₅ 同时得电吸合并开始延时。由于 KT₅ 的延时时间大于 KT₄ 的延时时间, 因此 KT₄ 到达延时时间后, 触头 KT₄ (17-19) 先打开, 切断 KM₂ 的电源, M₂ 停转。KM₂ 的辅助动合触头 KM₂ (1-39) 复位闭合, 使 KA₂ 失电释放。KA₂ 的动合触头 KA₂ (1-11) [6]复位断开, 为 KM₁ 失电作准备。到达 KT₅ 延时时间后, 触头 KT₅ (9-11) [5]打开, 切断 KM₁ 的电源, M₁ 停转, 这样 M₃、M₂、M₁ 按顺序逐一停车。停车后继电器复位, 准备下次启动, 且重复以上的动作。

十、按时间原则组成的双速感应电动机控制电路

双速感应电动机是变极调速中最常见的一种形式, 它是通过改变电动机定子绕组接线来改变极对数, 从而改变电动机运行速度, 其中定子绕组△形接线对应低速, 而YY形接线对应高速。电路如图 3.2.32 所示。

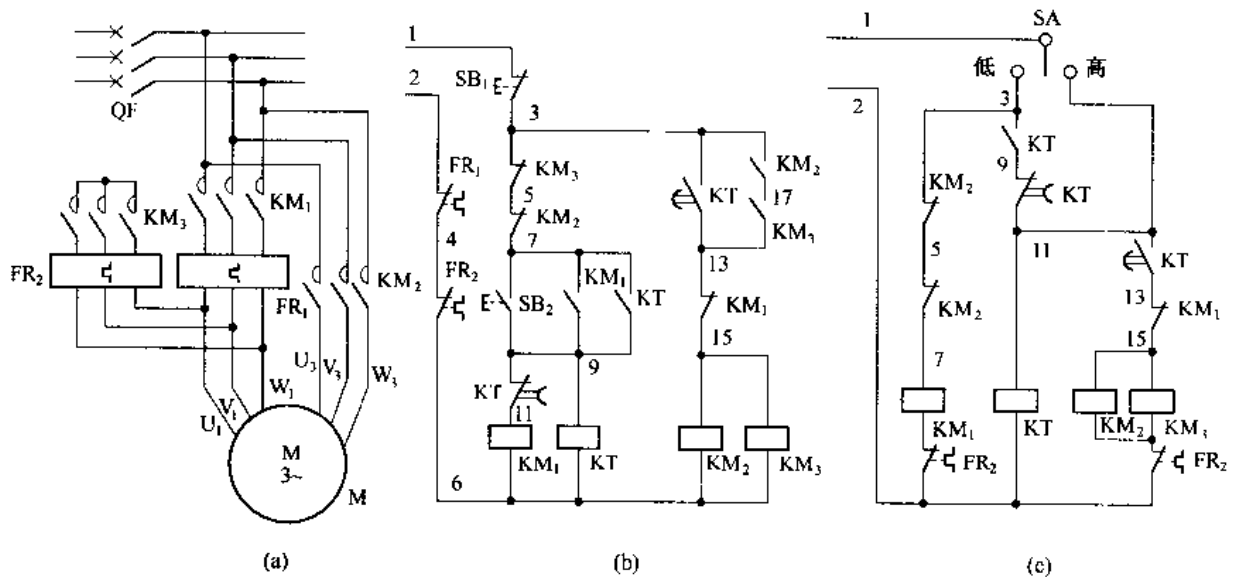


图 3.2.32 按时间原则组成的双速感应电动机控制电路

【看图思路】

由电工学原理可知, 电动机的转速与电动机的磁极对数有关, 改变电动机的磁极对数即可改变其转速。对于笼形感应电动机来讲, 可通过改变定子绕组的连接, 即改变定子绕组中电流流动的方向, 形成不同的磁极对数, 来改变电动机的转速。

双速电动机的定子绕组的每相由两个线圈连接而成, 线圈之间有导线引出, 如图 3.2.33 (a) 所示, 也就是说, 定子绕组有 6 个引出端, 即 U₁ (W₂)、V₁ (U₂)、W₁ (V₂)、U₃、V₃、

W_3 。图 3.2.33 (b)、(c) 为 Δ/Y (4 极/2 极) 定子绕组接线示意图。其中 (b) 表示了三相定子绕组接 Δ 形 (U_1 、 V_1 、 W_1 接电源 L_1 、 L_2 、 L_3 ，而接线端 U_3 、 V_3 、 W_3 悬空)，此时每相绕组中的线圈①、②串联，电流方向如图 3.2.33 (b) 中虚线箭头所示，此时电动机以 4 极运行，为低速。若将电动机定子绕组的 3 个接线端子 U_3 、 V_3 、 W_3 接三相交流电源，而将另外 3 个引线 U_1 、 V_1 、 W_1 连接在一起，则原来三相定子绕组的 Δ 形接线变为 Y 形接线，如图 3.2.33 (c) 所示，此时每相绕组中的线圈 ①、② 相并联，电流方向如图 3.2.33 (c) 中的实线箭头所示，于是电动机以 2 极高速运行。两种接线方式交换使磁极对数减少一半，其转速增加一倍。必须注意，从一种接法改为另一种接法时，为了保证旋转方向不变，应把电源相序反过来，如图 3.2.33 (c) 所示。

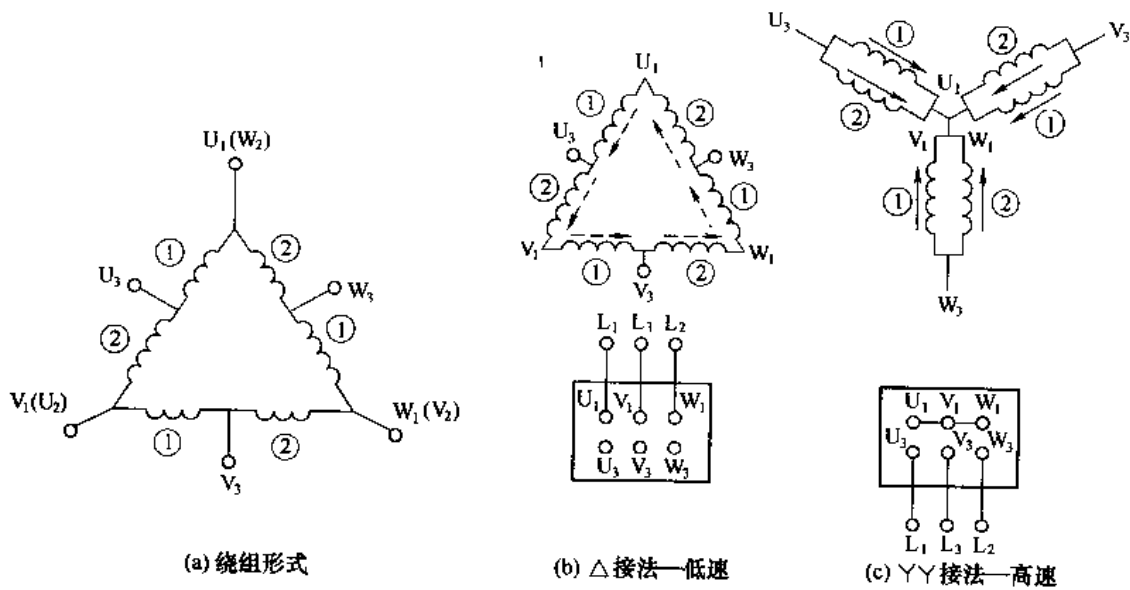


图 3.2.33 双速电动机定子绕组接线图

在图 3.2.32 中， KM_1 为电动机定子绕组 Δ 形接法连接接触器， KM_2 、 KM_3 为定子绕组 Y 形接法连接接触器。

在某些场合，有时需要电动机先以低速启动，然后再自动切换到高速运转，这个过程可以用时间继电器控制。如图 3.2.32 (b) 为 Δ 形启动，然后，自动地将速度加快，利用时间继电器投入 Y 形运转的控制电路。图 3.2.32 (c) 利用转换开关，置于“低速”位置时，电动机定子绕组联接成 Δ 形，低速运行；置于“高速”位置时，电动机在 Δ 形联接下低速启动，然后自动加快投入 Y 形成高速运转。

【看图实践】

(1) 图 3.2.32 (b) 电路 按下启动按钮 SB_2 ，使接触器 KM_1 得电吸合并自锁，电动机定子绕组按 Δ 形联接低速启动运行， KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 断开，确保 KM_2 、 KM_3 不能得电，实现互锁；同时通电延时间继电器 KT 也得电并自锁，一旦 KT 延时时间到，其延时断开的动断触头 KT (9-11) 断开，使 KM_1 失电释放。低速启动运行停止，同时 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 复位闭合，而 KT 的延时闭合的动合触头 KT (3-13) 也闭合，使接触器 KM_2 、 KM_3 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机便由低速自动转换为高速运行，

实现了自动加速控制，其辅助动断触头 KM_3 (3-5)、 KM_2 (5-7) 断开，使 KT 失电释放，并确保 KM_1 不能得电，实现互锁。

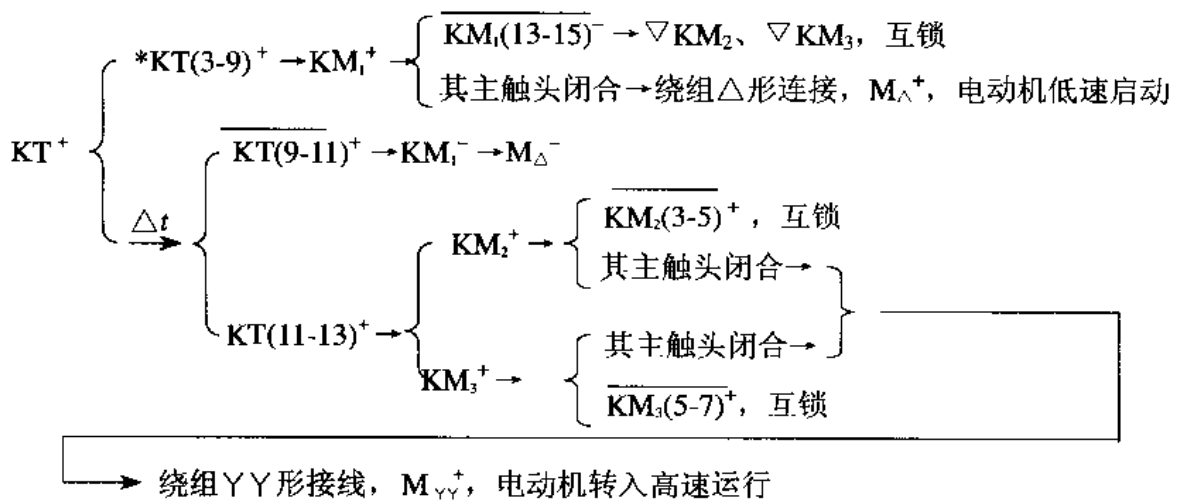
时间继电器 KT 自锁触头 KT (7-9) 的作用是，在 KM_1 失电释放后， KT 仍然保持有电，直至进入高速运行，即 KM_2 、 KM_3 得电后， KT 才被失电，这样一方面使控制电路工作可靠，另一方面使 KT 只在换接过程中短时得电，减少 KT 线圈的能耗。

(2) 图 3.2.32 (c) 电路 将转换开关 SA 置于“低速”位置，接触器 KM_1 得电吸合，其主触头闭合，电动机在 Δ 形连接下低速运行；将 SA 置于“高速”位置，通电延时继电器 KT 得电，其瞬动动合触头 KT (3-9) 闭合，使接触器 KM_1 得电吸合，电动机先连接成 Δ 形以低速启动， KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 断开，使 KM_2 、 KM_3 不能得电，实现互锁。当 KT 延时时间到，其延时断开的动断触头 KT (9-11) 断开，使 KM_1 失电释放。 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (13-15) 复位闭合； KT 的延时闭合的动合触头 KT (11-13) 闭合，使 KM_2 、 KM_3 得电吸合，电动机连接成 YY 形自动由低速投入高速运行。 KM_2 、 KM_3 的辅助动断触头 KM_2 (3-5)、 KM_3 (5-7) 断开，使 KM_1 不能得电吸合，实现互锁。

电动机实现先低速后高速的控制，其目的是限制启动电流。

电器元件动作顺序为：

预置条件（选择开关 SA 选高速运行）



十一、按时间控制原则的三相异步电动机电容和电容电磁制动控制电路

1. 三相笼形感应电动机电容制动控制电路

电路如图 3.2.34 所示。

【看图思路】

电容制动是在切断三相感应电动机的交流电流后，在定子绕组上接入电容器，转子内剩磁切割定子绕组产生感应电流，向电容器充电，充电电流在定子绕组中形成磁场，该磁场与转子感应电流相互作用，产生与转子转向相反的制动力矩，使电动机迅速停止运转。该电路采用由接触器 KM_1 接通启动运行电路，由接触器 KM_2 接通电容制动电路，并由断电延时时间继电器 KT 控制停车电容制动时间，以切断电容制动电路。

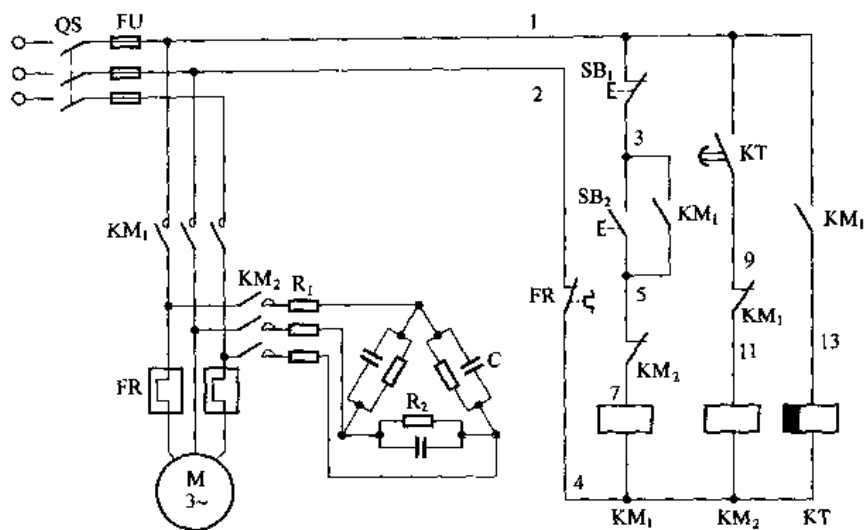
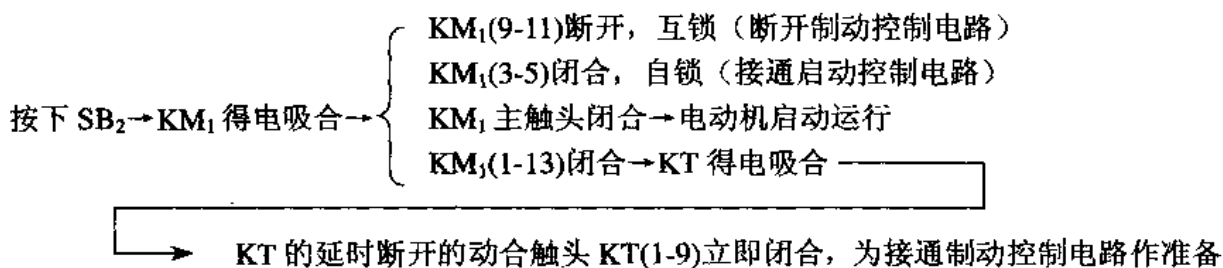


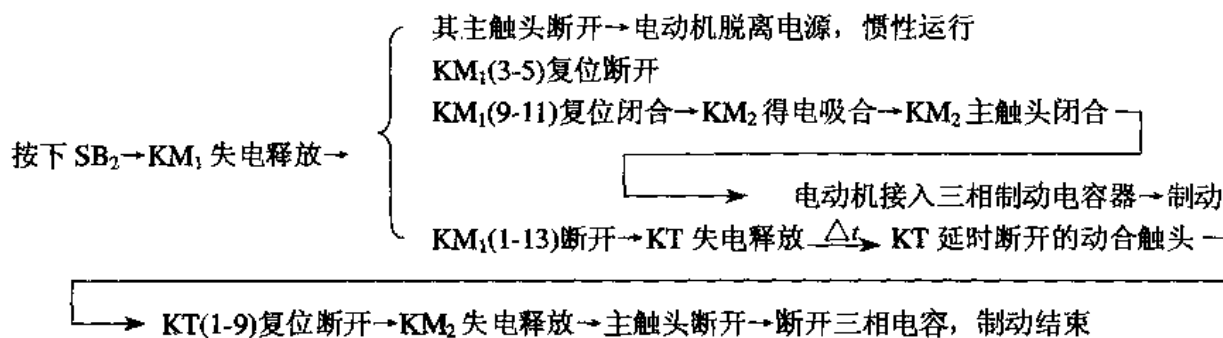
图 3.2.34 电容制动控制电路

【看图实践】

(1) 启动过程 先合电源开关 QS。电路的工作过程为：



(2) 电容制动



2. 三相笼形感应电动机电容—电磁制动电路

电路如图 3.2.35 所示。

【看图思路】

电容—电磁制动是指先进行电容制动，然后将定子绕组短接进行电磁制动。合上总电源开关 QS 后，按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₁ 吸合并自锁，电动机 M 启动并运转。当按下停止按钮 SB₁ 后，KM₁ 释放，其辅助动断触头恢复闭合，电容器接入电动机 M 的定子绕组进行电容制动。同时 SB₁ 的动合触头闭合，使断电延时时间继电器 KT 得电吸合，KT 的延时断开

的动合触头 KT (3-15) 立即闭合, 使接触器 KM_2 得电吸合, 其主触头闭合, 将三相绕组短接进行电磁制动, 使电动机 M 迅速停止转动。制动完毕, 时间继电器断开。

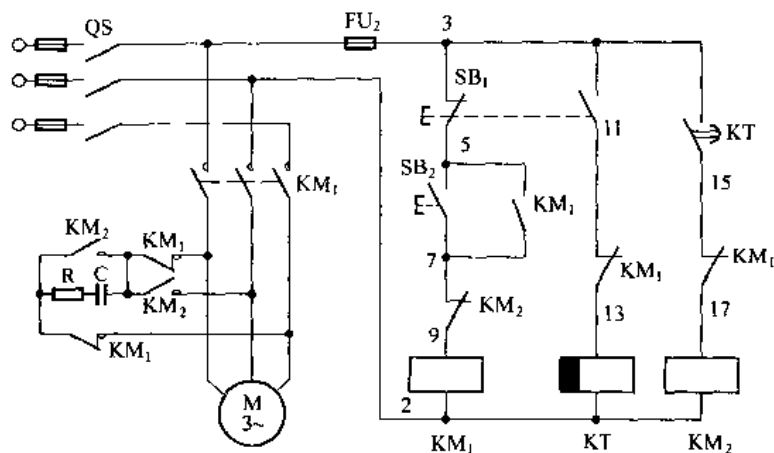
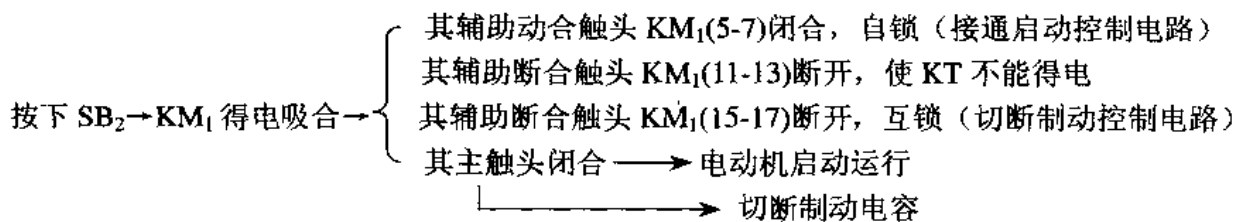


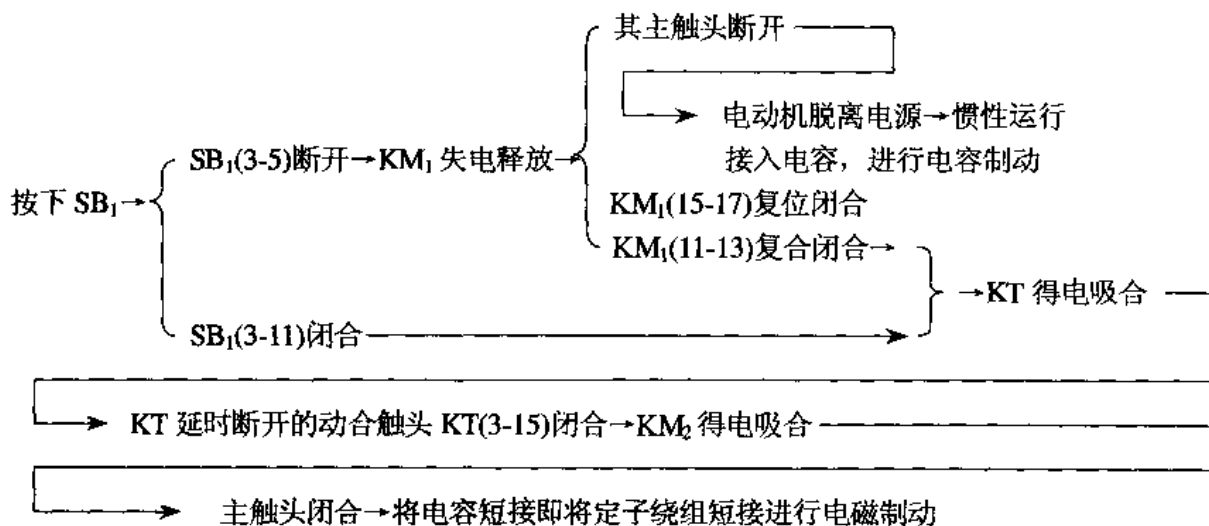
图 3.2.35 电容—电磁制动控制线路

【看图实践】

(1) 启动过程: 先合上电源开关 QS。



(2) 电容—电磁制动:



松开按钮 $SB_1 \rightarrow SB_1(3-11)$ 断开 $\rightarrow KT$ 失电释放 \rightarrow 经延时 $\rightarrow KT$ 延时断开的动合触头 $KT(3-15)$ 复位断开 $\rightarrow KM_2$ 失电释放, 制动结束。

第三节 按电流控制原则组成的电动机基本控制电路

按电流原则组成的电动机控制电路，就是当电动机的电流发生变化时，利用电流继电器来控制电动机的运行状态。

在生产自动控制过程中，根据生产需要，常常要参照负载或机械力的大小来进行控制。机械负载或机械力在感应电动机中或直流他激电动机中往往与电流成正比，因此测量电流值，就能反映负载或机械力的大小。

电流控制原则主要用于串励电动机与绕线转子异步电动机的分级启动、制动，并作为电路的过电流或欠电流保护。所利用的参数是“电流”，所应用的电器元件主要是电流继电器，由它所构成的电路连锁较复杂，受各种参数的影响较大，可靠性也较差。

一、按电流原则控制的绕线式感应电动机转子串电阻减压启动控制电路

三相绕线转子感应电动机的优点之一是，转子回路可以通过滑环外串电阻来达到减小启动电流、提高转子电路功率因数和启动转矩的目的。在一般要求启动转矩较高的场合，如起重机的卷扬机等，应用较为广泛。图 3.3.1 为电流原则控制的绕线转子感应电动机转子串电阻减压启动控制电路。

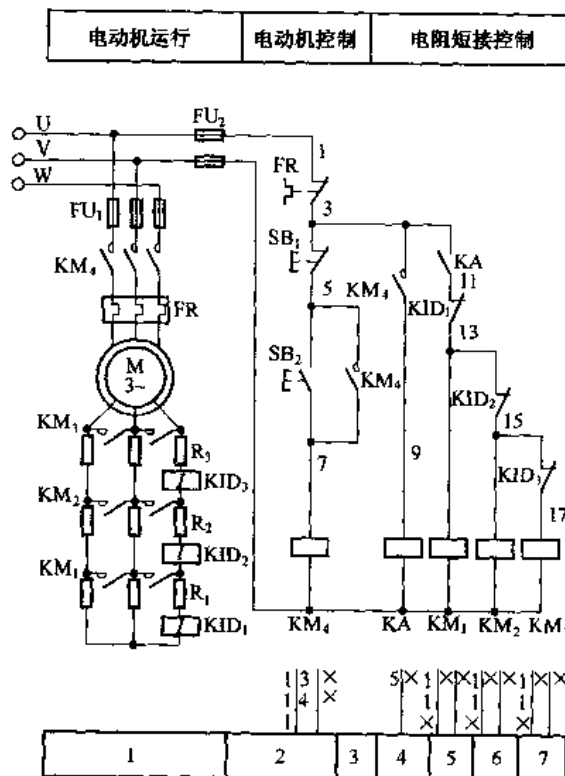


图 3.3.1 电流原则控制的绕线转子感应电动机转子串电阻减压启动电路

【看图思路】

串接在三相绕组中的启动电阻，一般都接成Y形。启动时，启动电阻全部接入电路。在启动过程中，根据转子电流的变化，启动电阻逐渐被短接。电阻的短接是采用3只欠电流继电器 $KID_1 \sim KID_3$ 和3只接触器 $KM_1 \sim KM_3$ 的相互配合来完成的，在启动结束时，全部启动电阻被短接。

图中 $KM_1 \sim KM_3$ 为短接启动电阻接触器， $R_1 \sim R_3$ 为转子外接电阻， $KID_1 \sim KID_3$ 为欠电流继电器，其线圈串联在电动机转子回路中，3个电流继电器的吸合电流值一样，但释放电流值不同， KID_1 释放电流最大，首先释放， KID_2 次之， KID_3 最小，最后释放。刚启动时，启动电流较大， $KID_1 \sim KID_3$ 同时吸合动作， $KM_1 \sim KM_3$ 均失电释放，使全部电阻接入。随着电动机转速升高启动电流减小， $KID_1 \sim KID_3$ 依次释放， $KM_1 \sim KM_3$ 依次得电吸合，分别短接电阻，直到将转子回路串接的电阻全部短接。 KA 为中间继电器，其作用为保证绕线式转子感应电动机启动时串入全部启动电阻。

【看图实践】

合上断路器 QF ，按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_4 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M 开始启动。刚启动时，转子电流很大，电流继电器 $KID_1 \sim KID_3$ 都吸合，它们接在控制电路中的动断触头 KID_1 (11-13)、 KID_2 (13-15)、 KID_3 (15-17) 都断开，接触器 $KM_1 \sim KM_3$ 均不得电，它们的动合主触头都断开，使全部电阻都接入转子电路。接触器 KM_4 的辅助动合触头 KM_4 (3-9) 闭合，使中间继电器 KA 得电吸合，其动合触头 KA (3-11) 闭合，为接触器 KM_1 、 KM_2 、 KM_3 得电吸合作好准备。随着电动机转速的升高，转子电流减小，电流继电器 KID_1 首先释放，其动合触头 KID_1 (11-13) 复位闭合，使接触器 KM_1 得电吸合，其转子电路中的动合主触头闭合，切除第1级启动电阻 R_1 。当 R_1 被切除后，转子电流重新增大，但随着转速的继续上升，转子电流又逐渐减小，当减小到电流继电器 KID_2 的释放电流值时， KID_2 释放，其动断触头 KID_2 (13-15) 复位闭合，使接触器 KM_2 得电吸合，其转子电路中的动合主触头闭合，切除第2级启动电阻 R_2 。如此下去，直到把全部电阻都切除，电动机启动完毕，进入正常运行状态。

控制电路中设置中间继电器 KA ，是为了保证转子串入全部电路后，电动机才启动。若没有 KA ，当启动电流由零上升在未到达电流继电器的吸合电流值时， $KID_1 \sim KID_3$ 不能吸合，则 $KM_1 \sim KM_3$ 都得电吸合，其在转子电路中的动合触头都闭合，转子电阻 ($R_1 + R_2 + R_3$) 全部被短接，则电动机直接启动。设置了 KA 后，在 KM_4 得电吸合后，才能使 KA 得电吸合， KA 的动合触头 KA (3-11) 闭合，此时启动电流已达到欠电流继电器的吸合值，其动断触头全部断开，使 $KM_1 \sim KM_3$ 均失电，确保转子串入全部电阻，防止电动机直接启动。换句话说，在接触器 KM_4 得电后，电动机开始启动时，利用 KM_4 (3-9) 使中间继电器 KA 得电吸合的动作时间，来保证电流继电器 KID_1 的动断触头 KID_1 (11-13) 先断开， KA 动合触头 KA (3-11) 后闭合，保证电动机在转子电路串入全部电阻情况下启动。

二、按电流原则组成的三相笼形感应电动机Y- Δ -Y转换节能控制电路

电动机Y- Δ -Y接法转换，就是根据电动机负载变化的情况，用改变电动机定子绕组接线的方式调整绕组电压，当电动机重负载（负载率大于40%）时采用 Δ 形接法，使电动机作全压运行；轻负载（负载率小于40%）时改为Y形接法，采用Y型接法使电动机作减压节电运

行。这种方法适用于长期轻载运行或轻载、重载交替运行的电动机。在电动机电源电路中接有电流互感器 TA 和电流继电器 KI，根据电动机电流的变化进行转换。

1. 三接触器Y-Δ-Y转换节能控制电路

电路如图 3.3.2 所示。

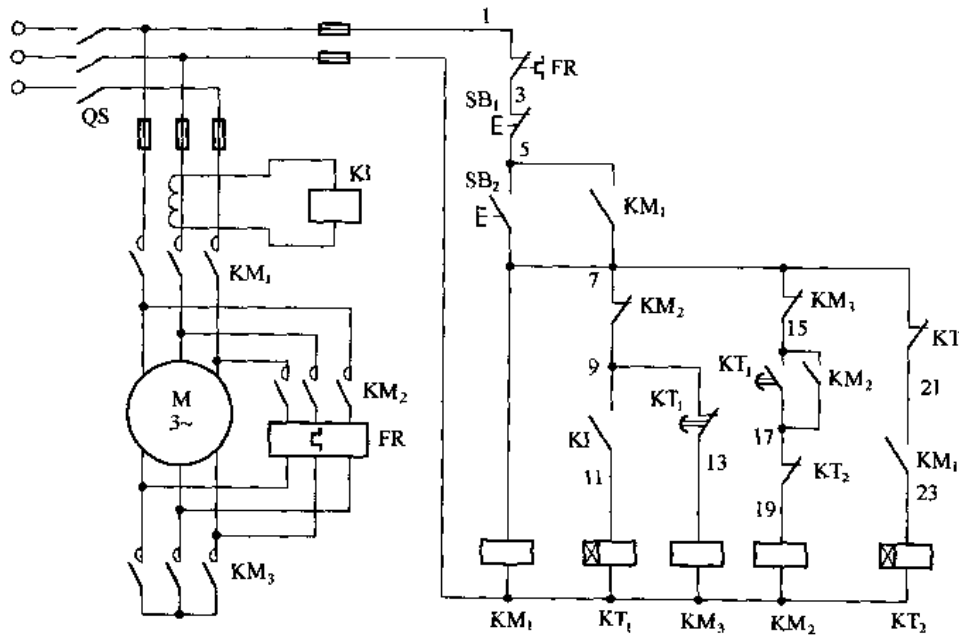


图 3.3.2 三接触器Y-Δ-Y节能转换控制电路

【看图思路】

(1) 由主电路可知，该电路为Y-Δ转换电路。在Y形连接下，KM₁和KM₃工作，在Δ形的连接下KM₁和KM₂工作，并且KM₁始终工作，只有KM₂和KM₃进行转换。

(2) 在KM₃线圈电路串接通电延时时间继电器KT₁的延时断开的动断触头KT₁(9-13)，若KT₁(9-13)断开，则KM₃失电释放，使电动机电路解除Y连接，应切换到Δ形联接，也就是说由KT₁控制电动机主电路由Y向Δ形连接的切换。同样，KM₂线圈电路串接通电延时时间继电器KT₂的延时断开的动断触头KT₂(17-19)，若KT₂(17-19)断开，则KM₂失电释放，使电动机电路解除Δ形连接，应切换到Y形连接，也就是说KT₂控制电动机主电路由Δ向Y形连接的切换。

(3) Y-Δ转换的实现 由于KM₂线圈电路中串接有KM₃线圈电路控制元件KT₁的延时闭合的动合触头KT₁(15-17)，这样使KM₁和KM₂相互联系起来。当负载加重后，电动机电流增大，使电流继电器KI得电吸合，其动合触头KI(9-11)闭合，使KT₁得电吸合，经延时，KT₁(9-13)断开，KM₃失电释放，KT₁(15-7)闭合，KM₂得电吸合，实现Y-Δ的转换。

(4) Δ-Y转换的实现 由于KM₃线圈电路中串接有KM₂的辅助动断触头KM₂(7-9)，因此KM₂失电，KM₃就能得电吸合，而KM₂由KT₂控制，KT₂又由KI控制，这样，当负载减轻后，KI不吸合，其动合触头KI(7-21)复位闭合，使KT₂得电吸合，经延时，KT₂(17-19)断开，KM₂失电释放，KM₃得电吸合，实现Y-Δ的转换。

(5) KT_1 和 KT_2 延时的作用 为了避免负载瞬时波动时不必要的切换, 延长设备使用寿命, 用通电延时时间继电器 KT_1 作电动机由Y到 Δ 切换延时的过渡, 其动作时间, 应比电动机启动时间长 5~10s; 用通电延时时间继电器 KT_2 作电动机由 Δ 到Y切换延时的过渡, 其动作时间可整定在 50s 左右。

【看图实践】

合上开关 QS, 按下启动按钮 SB₂, 接触器 KM₁、KM₃ 得电吸合, 并通过 KM₁ 的辅助动合触头 KM₁ (5-7) 保持吸合状态, 电动机以Y形连接减压启动运转。KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (7-15) 断开, 使 KM₂ 不能得电, 实现互锁, KM₁ 的辅助动合触头 KM₁ (21-23) 闭合, 使通电延时时间继电器 KT_2 得电吸合, 经延时, KT_2 的延时断开的动断触头 KT_2 (17-19) 断开, 确保 KM₂ 不能得电。

如重载工作时, KI 吸合, 其动合触头 KI (9-11) 闭合, 使时间继电器 KT_1 得电吸合, 其动断触头 KI (7-21) 断开, 使时间继电器 KT_2 失电释放, KT_2 延时断开的动断触头 KT_2 (17-19) 复位闭合, 为 KM₂ 得电作准备。一旦 KT_1 延时时间到, 其延时断开的动断触头 KT_1 (9-13) 断开, 使 KM₃ 失电释放; 其延时闭合的动合触头 KT_1 (15-17) 闭合, 也为 KM₂ 得电作准备。由于 KM₃ 失电释放, 其主触头断开, 电动机解除Y形连接, 其动断触头 KM₃ (7-15) 复位闭合, 使 KM₂ 得电吸合并自锁, 其主触头闭合, 使电动机在 Δ 形连接下运行, 同时其动断辅助触头 KM₂ (7-9) 断开, 使 KT_1 失电释放, 也进一步保证 KM₃ 失电, 起到互锁作用。

当又在空载或轻载工作时, KI 失电释放, 其动合触头 KI (9-11) 复位断开, 使 KT_1 失电释放, 其延时断开的动断触头 KT_1 (9-13) 复位闭合, 为 KM₃ 得电作准备。KI 的动断触头 KI (7-21) 复位闭合, 使 KT_2 得电。一旦 KT_2 的延时时间到, 其延时断开的动断触头 KT_2 (17-19) 断开, 使 KM₂ 失电释放, 其主触头断开, 使电动机失电, 依靠惯性运行。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (7-9) 复位闭合, 使接触器 KM₃ 得电吸合, 使电动机又在Y形连接下运行, KM₃ 的辅助动断触头 KM₁ (7-15) 断开, 确保 KM₂ 不能得电, 实现互锁。

2. 双接触器Y- Δ -Y切换节能控制电路

电路如图 3.3.3 所示。

【看图思路】

该电路与图 3.3.2 基本相同, 不再赘述。

【看图实践】

合上断路器 QF, 按下启动按钮 SB₂, 中间继电器 KA 得电吸合并自锁, 接触器 KM₃ 得电吸合, 电动机Y形连接减压启动。KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (7-9) [5] 断开, 使 KM₂ 不能得电, 实现互锁。

当负载较重时, 电流继电器 KI 得电吸合, 其动断触头 KI (5-19) [8] 断开, 使通电延时时间继电器 KT_2 不能得电, KI 的动合触头 KI (13-17) [7] 闭合, 使通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合。当 KT_1 延时时间到, 其延时断开的动断触头 KT_1 (13-15) [6] 断开, 使 KM₃ 失电释放, 解除Y形连接, KM₃ 的辅助动断触头 KM₃ (7-9) 复位闭合, KT_1 延时闭合的动合触头 KT_1 (5-7) [5] 闭合, 使 KM₂ 得电吸合并自锁, 其主触头闭合, 电动机 M 在 Δ 形连接下运行。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (5-13) 断开, 使 KT_1 失电释放, 并确保 KM₃ 不能得电。

当电动机轻载运行时, 流经 KI 的电流减小, KI 释放, 其动断触头 KI (5-19) 复位闭合,

使通电延时时间继电器 KT_2 得电吸合。当 KT_2 延时时间到，其延时断开的动断触头 $KT_2(9-11)$ [5] 断开，使 KM_2 失电释放，其主触头断开，解除 Δ 形连接， KM_2 的辅助动断触头 $KM_2(5-13)$ 复位闭合，使 KM_3 得电吸合，电动机又在 Y 形连接下减压运行。

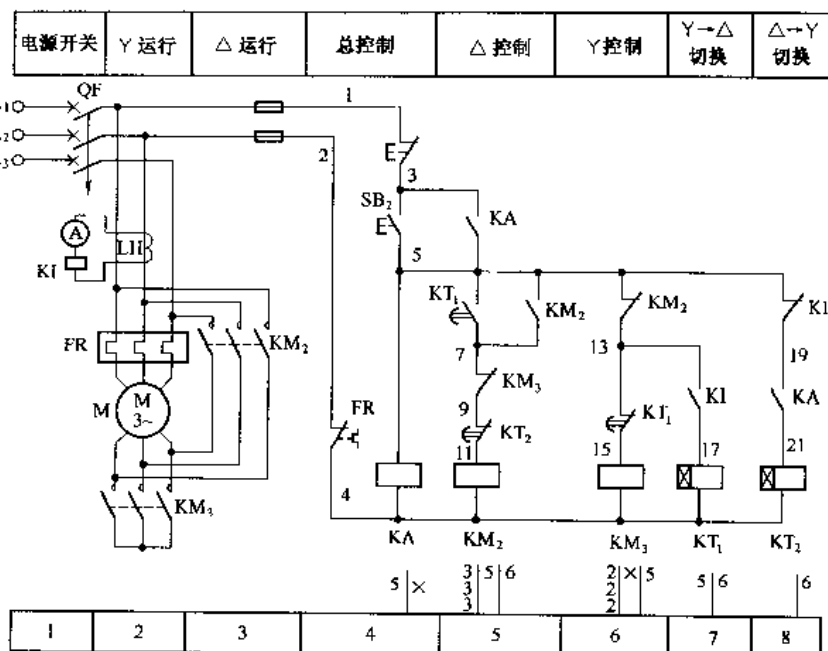


图 3.3.3 双接触器 Y- Δ -Y 转换节能控制电路

3. 大电流 Y- Δ -Y 转换节能控制电路

电路如图 3.3.4 所示。

【看图思路】

该电路与图 3.3.2 所示的电路基本相同，其不同之处有二。一是在 KT_1 线圈电路中串接有 KT_2 的延时断开动断触头 $KT_2(7-11)$ ，与图 3.3.2 中在 KT_2 线圈电路中串有电流继电器 KI 的动合触头 $KI(9-11)$ 的作用相同；二是增加了接触器 KM_4 用于短接电流继电器。

【看图实践】

合上电源开关 QS ，按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，同时接触器 KM_2 得电吸合， KM_1 、 KM_2 的主触头闭合，使电动机 M 的定子绕组接成 Y 形而进行减压启动；同时 KM_2 的辅助动断触头 $KM_2(5-13)$ [10] 断开，使接触器 KM_3 不能得电，实现互锁；此时由于时间继电器 KT_1 也得电吸合，待电动机启动一段时间（即时间继电器 KT_1 的延时时间到）后， KT_1 的延时断开动断触头 $KT_1(7-9)$ [8] 断开，使 KM_2 失电释放，而延时闭合的动合触头 $KT_1(15-17)$ [10] 闭合，使 KM_3 得电吸合并自锁，于是电动机定子绕组改为 Δ 形连接并正常运行。由于 KM_3 得电吸合，其辅助动断触头 $KM_3(5-7)$ [8] 断开，使 KT_1 [9] 失电释放， Y - Δ 启动即告结束。在 Y - Δ 启动的自动控制电路基础上，将电路加以改进，以达到节能的目的。这就是在原主电路的两相电路上各串一个电流继电器 KI 。该电流继电器不是过流保护装置（短路过流保护靠熔断器 FU ），而是按负载大小将 Δ 形连接改为 Y 形连接的切换反映元件。因为当电网电压一定（为额定电压）时，电动机的负载电流可以反映电动机的功率。

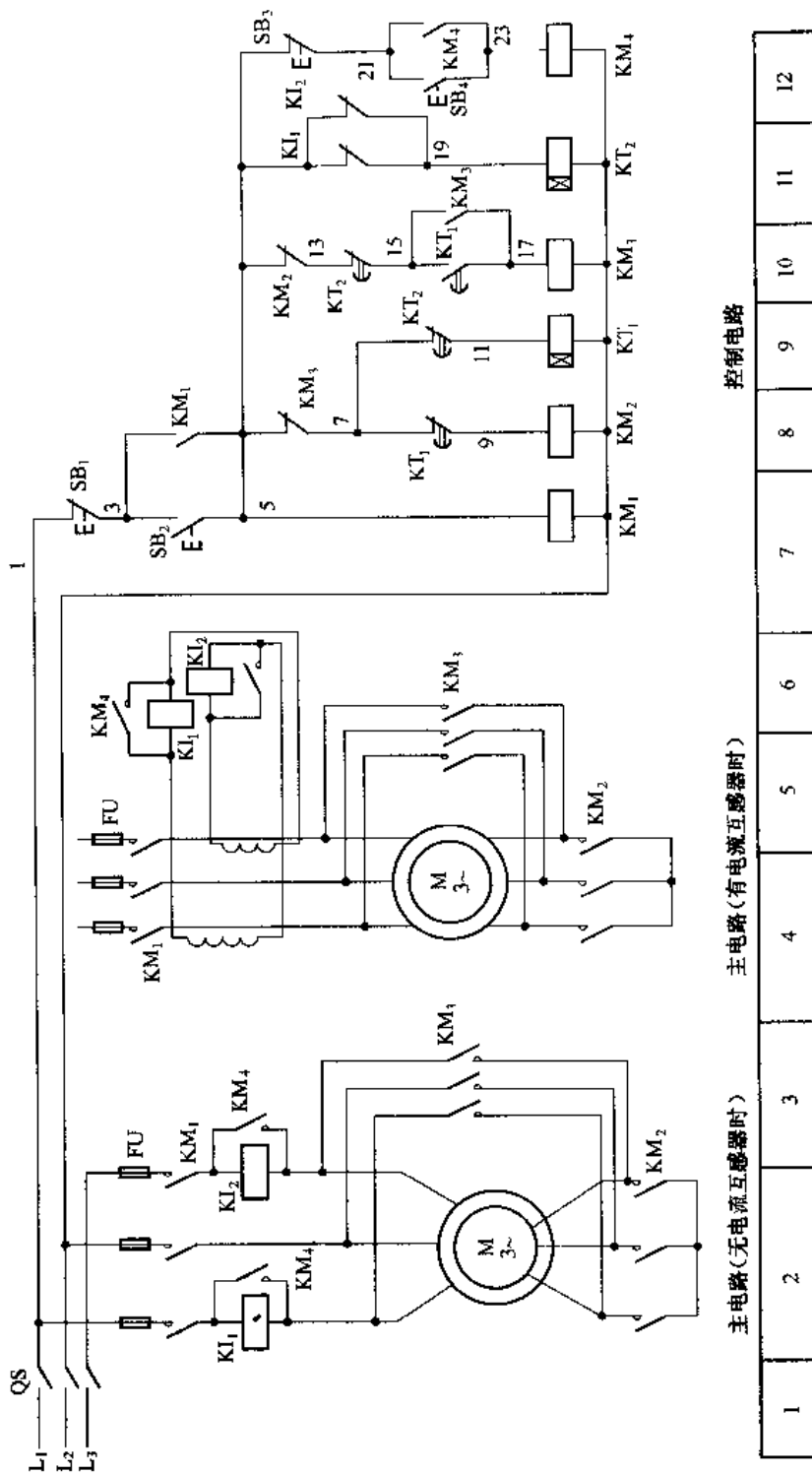


图 3.3.4 大电流Y-Δ-Y转换节能控制电路

由于一般电流继电器线圈的电流容量较小，因此当电动机容量较大导致线圈电流较大时，将电路改进为有电流互感器的结构[4~6]。当电流小于预定值时，电流继电器 KI 释放，其动断触头 KI₁ (5-19)、KI₂ (5-19) [11]闭合，使通电延时时间继电器 KT₂[11]得电吸合，待延时时间到，KT₂ 延时断开的动断触头 KT₂ (13-15) [10]断开，使 KM₃ 失电释放，其辅助动断触头 KM₃ (5-7) [8]复位闭合，KM₂ 自动接通 (KT₂ 的整定时间应较 KT₁ 短)，电动机的定子绕组由△形连接改为Y形连接，达到节能运行的目的。加上时间继电器 KT₂ 目的在于避免负载电流短时间减小到临界切换电流以下而又很快回升上去时出现的相关继电器与接触器的乱抖动现象。当作为△形连接的电动机的负载流大于临界切换电流时，电流继电器 KI₁、KI₂ 得电吸合，其动断触头断开，KT₂ 失电，电动机仍维持在△形连接下运行。如果电动机带动的工作机械需要在较硬的机械特性下运行，于是电动机不管其负载电流多大，均应维持在△形连接下运行，此时可按一下按钮 SB₄，使短路接触器 KM₄ 得电吸合并自锁，通过短路接触器 KM₄ 将电流继电器 KI₁、KI₂ 短路，便可使电动机一直维持在△形连接下运行。如果再需作△-Y节电运行，则只需按一下按钮 SB₃，使 KM₄ 失电释放，将电流继电器 KI₁、KI₂ 解除短路即可。

第四节 按行程控制原则组成的电动机基本控制电路

生产机械的某些部件运行时，其几何位置是变化的。根据几何位置变化来进行控制称为行程控制原则。行程控制原则是借助于行程开关来实现的，将行程开关安装在事先安排好的地点，当生产机械运动部件上的撞块压合行程开关时，行程开关的触头动作，以达到控制行程的目的。行程开关也可以是非接触式的。行程控制是机械设备应用较广泛的控制方式之一。

行程控制可分为限位控制和自动往返运动控制。它利用的参数是“行程”，所应用的电器元件是行程开关。由它构成的控制电路比较简单，不受其他参数的影响，只与运动部件的位置有关。

一、单机自动循环控制电路

机床工作台往复运动的示意图如图 3.4.1 (a) 所示。由行程开关控制的工作台自动往复控制线路如图 3.4.1 (b) 所示。

【看图思路】

按钮控制电动机正反转是手动控制，行程开关控制正反转则是机动控制，是由机床运动部件在工作过程中压动行程开关，实现电动机正反转的自动切换。机床工作台往返循环工作的自动控制即用这样的电路实现。

图 3.4.1 所示机床工作台往返循环的控制电路，电动机的正反转可通过 SB₁、SB₂、SB₃ 手动控制；也可用行程开关 SQ₁~SQ₄ 实现自动控制。SB₁ 为停止按钮，SB₂、SB₃ 为不同方向的复合启动按钮，之所以用复合按钮，是为了在改变电动机工作方向时，不按停止按钮而直接操作。

行程开关 SQ₁~SQ₄ 安装在机床床身上，其中 SQ₁ 和 SQ₂ 安装在工作台运动的限定位置，用来实现工作台的自动往返；SQ₃ 和 SQ₄ 安装在工作台的机械限位位置，起终端保护作用。在工作台边上装有挡铁，且挡铁 A 与行程开关 SQ₁ 和 SQ₃ 处于同一平面，而挡铁 B 与行程开关 SQ₂ 和 SQ₄ 处于同一平面。因此，挡铁 A 只能和行程开关 SQ₁、SQ₃ 碰触，挡铁 B 只能和行程开关 SQ₂、SQ₄ 碰撞。挡铁每次碰上行程开关后，工作台都停止前进并反向运行，这样就使得工作

台作自动往复运动。 SQ_1 的动断触头 $SQ_1(19-21)$ 与反转接触器 KM_2 线圈电路串联， SQ_1 的动合触头 $SQ_1(5-7)$ 与正转启动按钮的动合触头 $SB_2(5-7)$ 并联。因此当挡块压下行程开关 SQ_1 时， $SQ_1(19-21)$ 断开，断开电动机反转控制电路，使 KM_2 失电释放，电动机停止反向转动，同时 $SQ_1(5-7)$ 闭合，使 KM_1 得电吸合，电动机正转。当挡块压下行程开关时，其动断触头断开，动合触头闭合，其实这是按一定行程用挡块压下行程开关，代替人工操作按钮。

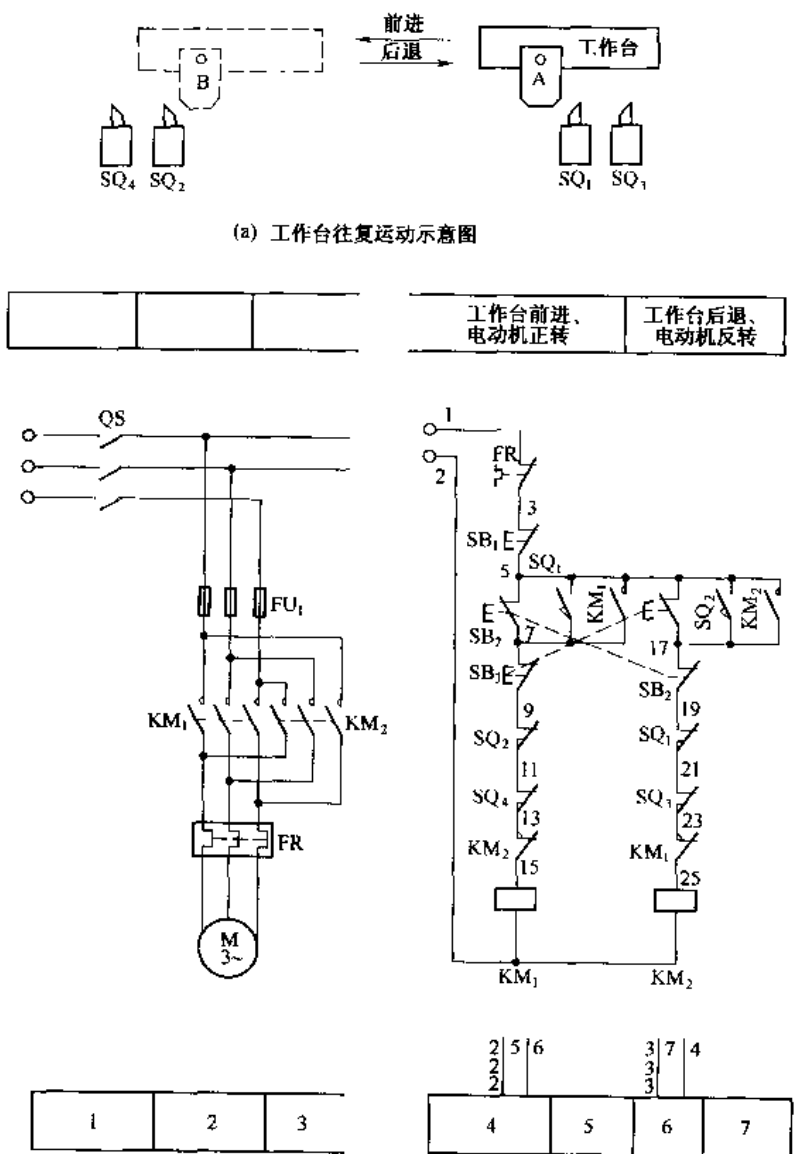


图 3.4.1 单机自动循环控制电路

当由于某种故障， SQ_1 （或 SQ_2 ）失灵，工作台到达 SQ_1 （或 SQ_2 ）给定位置时，未能切断 KM_1 （或 KM_2 ）线圈电路，继续运行达到 SQ_3 （或 SQ_4 ）所处的极限位置时，将会压下限位保护开关，切断接触器线圈电路，使电动机停止转动，使工作台停留在极限位置内，避免工作台发生超越允许位置的事故。工作台的往返行程可通过移动挡铁在工作台上的位置来调节，挡铁间的距离增大，行程就缩短，反之，行程就变长。

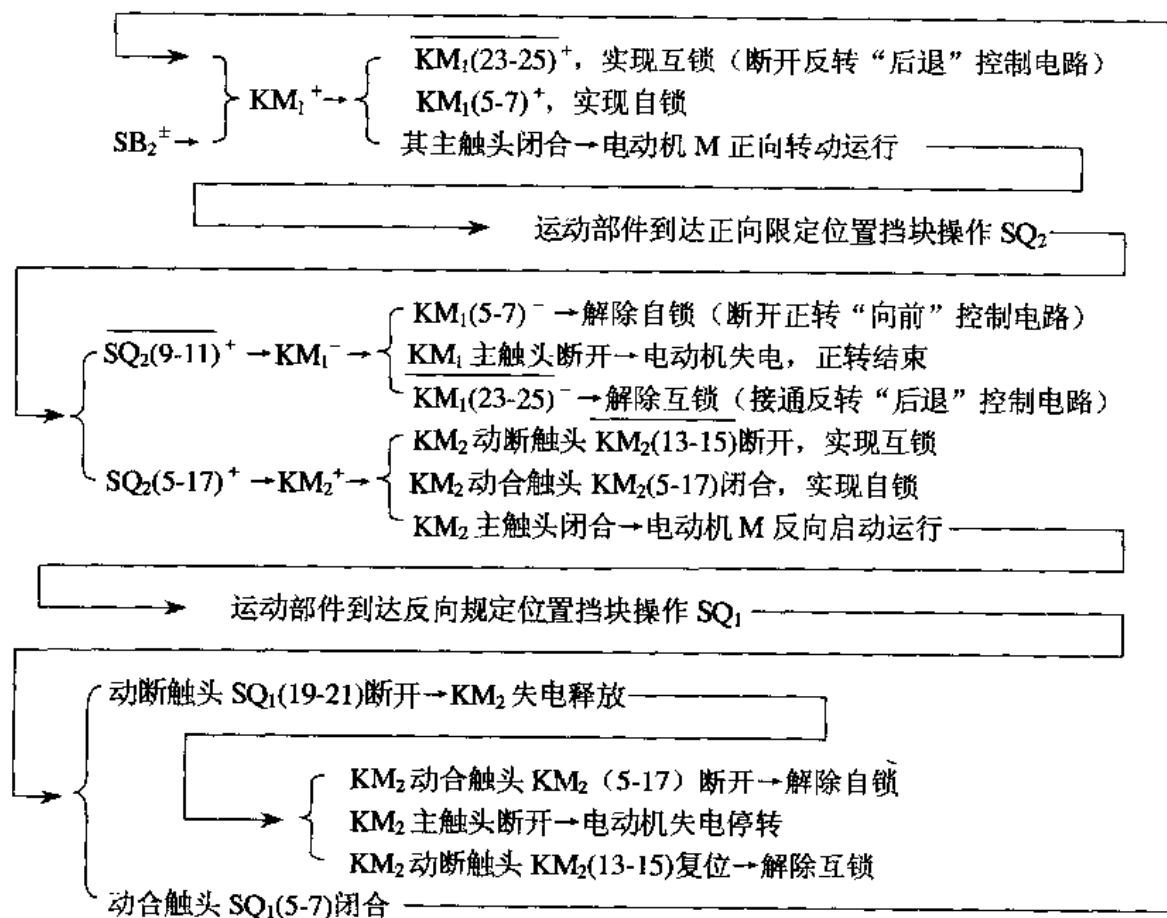
工作台自动往复控制线路和图 3.1.2 (e) 的复合连锁正反转控制电路相似，它们的主电路相同。实质上，在图 3.1.2 (e) 中正反转接触器的自锁电路与互锁电路上，增加由行程开关的动合触头并联在启动按钮的动合触头两端构成另一条自锁电路，由行程开关的动断触头串接在接触器线圈电路中构成互锁电路，再考虑运动部件的运动限位位置，即构成图 3.4.1 所示的行程开关控制实现自动往返运动的电动机正反向运转电路。图中 SB₁ 为停止按钮，SB₂、SB₃ 为电动机正反向启动按钮，SQ₁ 为电动机由反转转正转的行程开关，SQ₂ 为电动机由正转反转的行程开关，SQ₃、SQ₄ 分别为电动机正、反向运动限位保护行程开关。

【看图实践】

合上电源开关 QS，按下正向启动按钮 SB₂，接触器 KM₁ 得电吸合并自锁，电动机正向启动运行，工作台前进到一定位置，撞块压动限位开关 SQ₂。SQ₂ 的动断触头 SQ₂ (9-11) 断开，使 KM₁ 失电释放，电动机停止向前；SQ₂ 的动合触头 SQ₂ (5-17) 闭合，使接触器 KM₂ 得电吸合，使电动机改变电源相序而反转使工作台后退。当工作台后退到一定位置时，撞块压动行程开关 SQ₁。SQ₁ 的动断触头 SQ₁ (19-21) 断开，使 KM₂ 失电释放，工作台停止后退，SQ₁ 的动合触头 SQ₁ (5-7) 闭合，使 KM₁ 得电吸合，电动机又正转，工作台又前进，如此往复循环工作。直至按下停止按钮 SB₁，使接触器 KM₁ (或 KM₂) 失电释放，电动机才停止转动。

另外，若 SQ₁、SQ₂ 失灵，工作台前进（或后退）到极限位置，撞块压下行程开关 SQ₃ (或 SQ₄)，使接触器 KM₁ (或 KM₂) 失电释放，电动机停转，防止事故发生。

电器元件动作顺序为：合上开关 QS，接通电源：



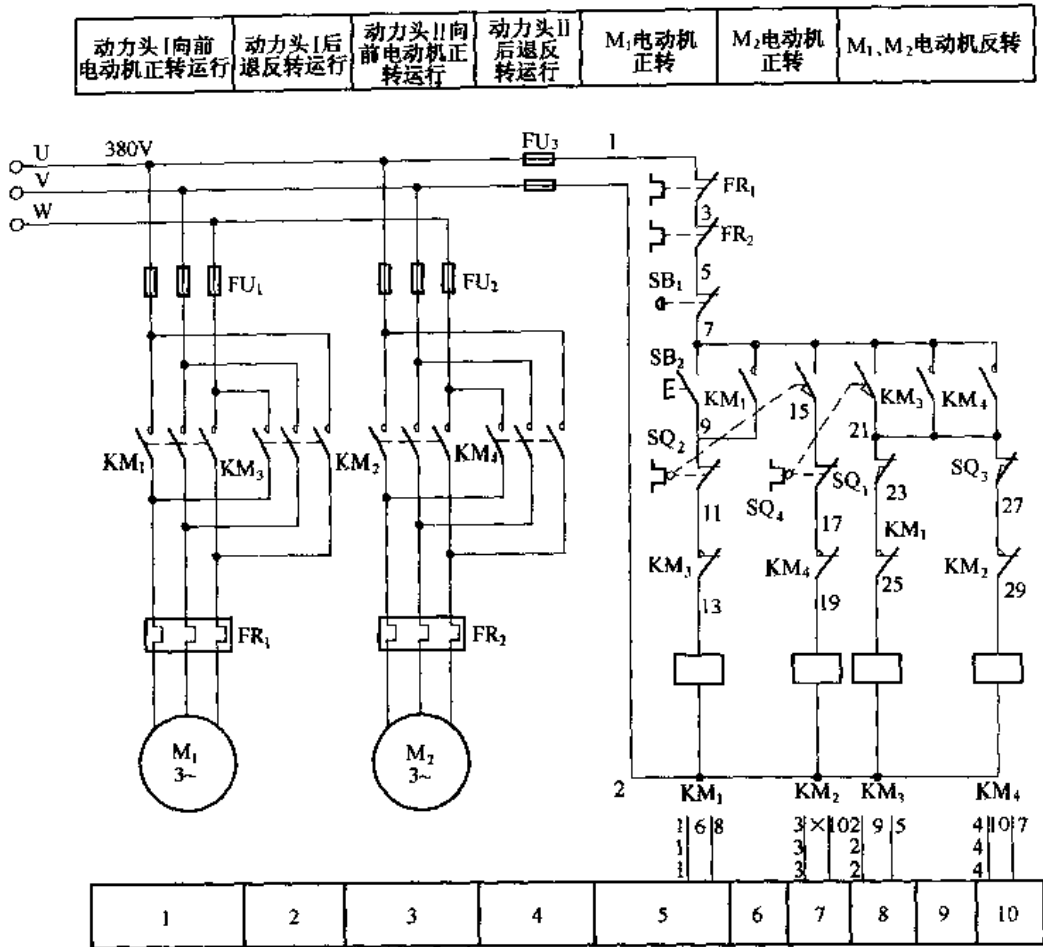


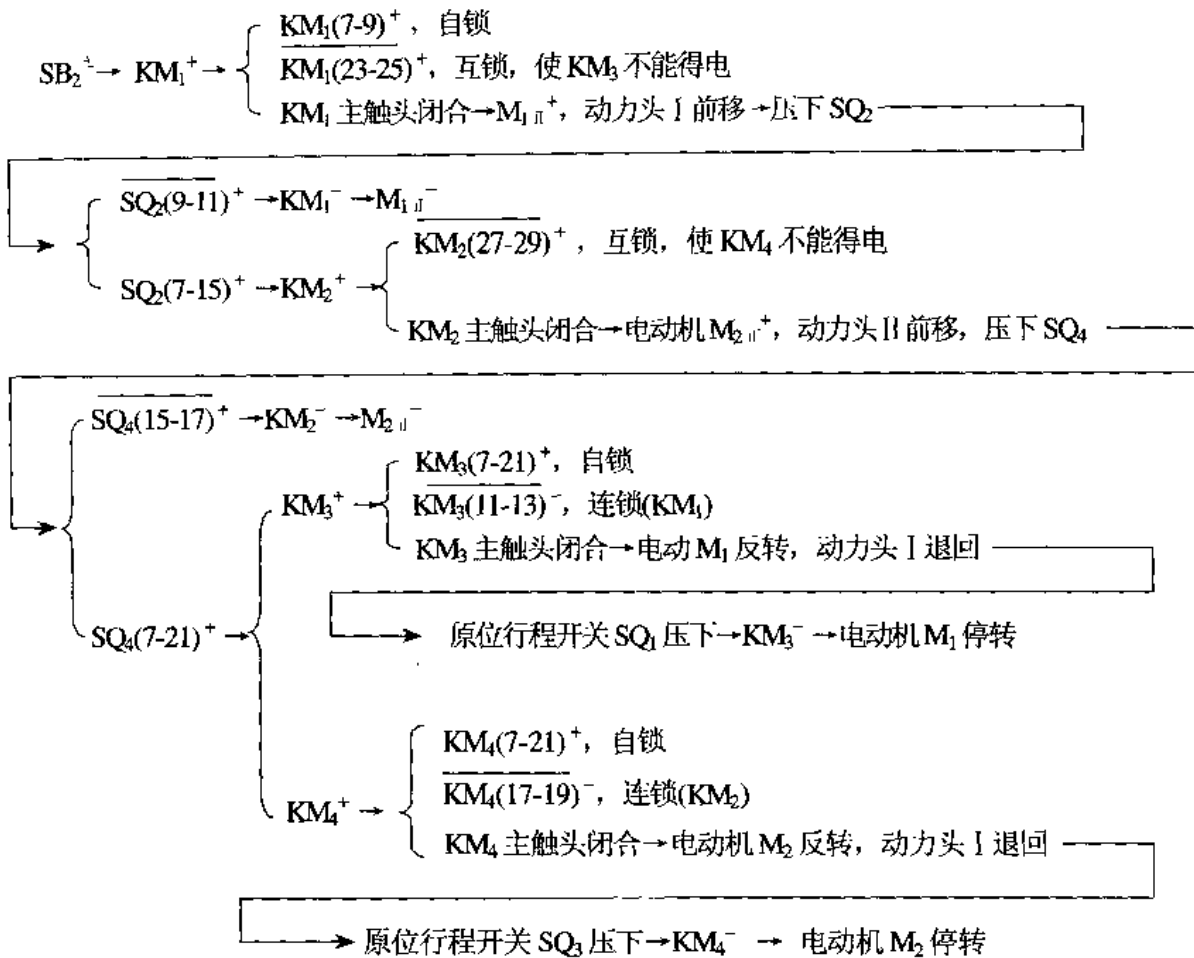
图 3.4.3 两个动力部件构成的工作自动循环运动电气控制电路

机床工作自动循环过程分为 3 个工步，按下启动按钮 SB_2 ，使 KM_1 得电吸合，电动机 M_1 得电启动运行，开始第一个工步；动力头 I 向前移动，到达终点位置后，压下终点限位开关 SQ_2 ， SQ_2 信号作为转换主令，控制工作循环由第一工步切换到第二工步； SQ_2 的动断触点断开，使 KM_1 失电释放，电动机 M_1 停转，动力头 I 停在终点位，同时 SQ_2 的动合触点闭合，使 KM_2 得电吸合，电动机 M_2 正转，动力头 II 开始向前移动，至终点位置时，压动终点限位开关 SQ_4 ， SQ_4 信号同样作为转换主令控制工作循环由第二工步切换到第三工步。此时 SQ_4 的动断触点断开，使 KM_2 失电释放，同时其动合触点闭合，使电动机 M_1 与 M_2 的反转控制接触器 KM_3 与 KM_4 同时得电吸合，电动机 M_1 与 M_2 反转，动力头 I 和 II 由各自的终点位向原位返回，并在到达原使后分别压下各自的原位行程开关 SQ_1 和 SQ_3 ，使 KM_3 、 KM_4 失电释放，电动机停转，两动力头停在原位，完成一次工作循环。

【看图实践】

电路的工作过程为：

电路中反转接触器 KM_3 与 KM_4 的自锁触头并联，分别为各自的线圈提供自锁作用。当动力头 I 与 II 不能同时到达原位时，先到达原位的动力头压下原位开关，切断该动力头控制接触器的线圈电路，相应的接触器自锁触头也复位断开，但另一自锁触头仍然闭合，保证接触器不会失电，直到另一动力头也返回到达原位，并压下原位行程开关，切断接触器线圈电路，结束循环。



三、三相笼形感应电动机自动延时往复运动控制电路

图 3.4.4 所示运货车，甲地装物乙地卸物。运行到甲地装物时间 20s，乙地卸物时间 15s。运货车可在甲、乙两地之间任意启动或停车，并可向任一方向运行。运货车一经启动，应按上述要求自动地在甲、乙两地之间往返运动。其控制电路如图 3.4.5 所示。

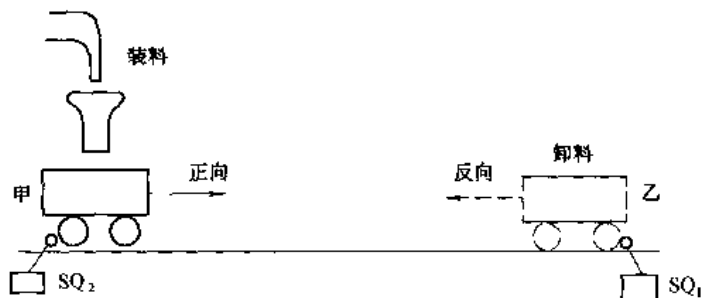


图 3.4.4 运货车甲地装物乙地卸物示意图

【看图思路】

该电路是在图 3.4.1 所示自动往返运动控制电路的基础上，加入时间控制环节构成的。 KM_1 、 KM_2 为接触器连锁的电动机正、反转控制电路，以控制电动机的正、反向运行。 KM_1 由行程开关 SQ_1 的动断触头 $SQ_1(7-9)$ 、启动按钮 SB_2 和通电延时时间继电器 KT_2 控制， SB_2

和 KT_2 控制电动机正向启动运行， SQ_1 (7-9) 控制电动机正向停止运行；而 KT_2 由行程开关 SQ_2 的动合触头 SQ_2 (3-19) 控制。 KM_2 由行程开关 SQ_2 的动断触头 SQ_2 (15-17)、启动按钮 SB_3 和通电延时时间继电器 KT_1 控制， SB_3 和 KT_1 控制电动机 M 反向启动运行， SQ_2 (15-17) 控制电动机反向停止运行；而 KT_1 由行程开关 SQ_1 的动合触头 SQ_1 (3-11) 控制。

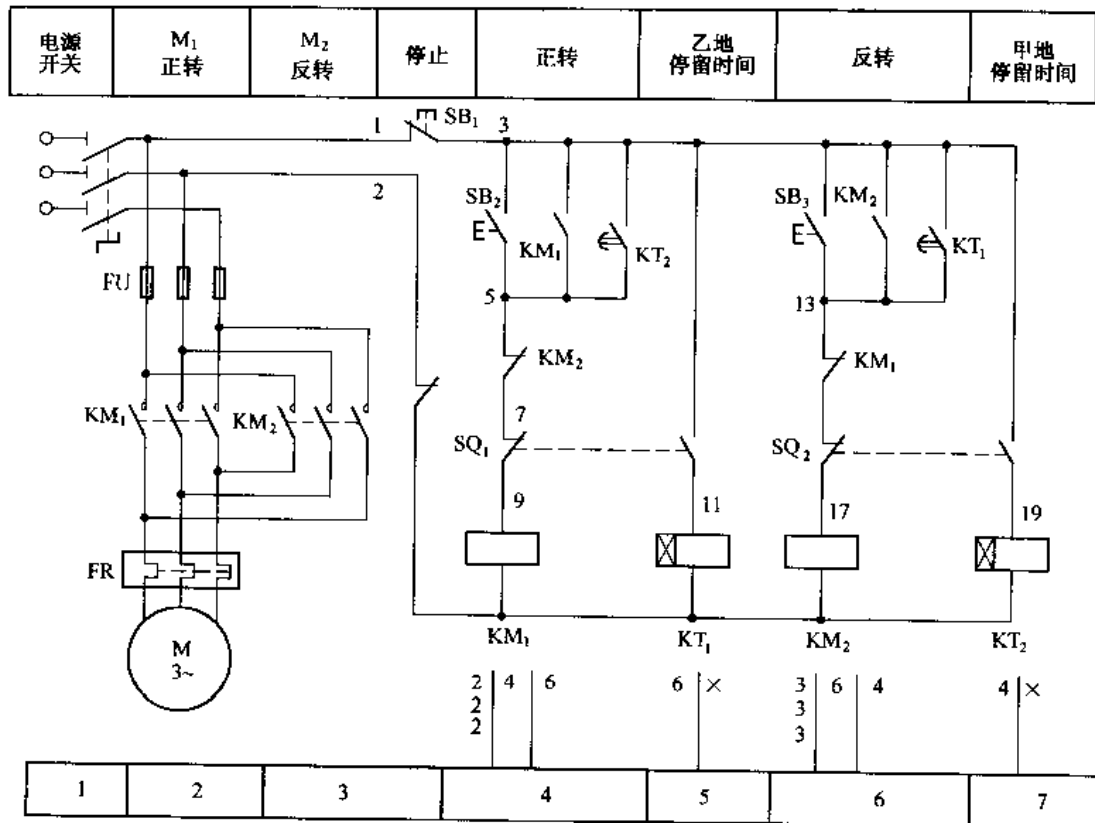


图 3.4.5 三相笼形感应电动机自动延时往复运动控制电路

由此可见， SQ_1 被撞压， KM_1 失电释放，电动机正向运行停止，同时使 KT_1 得电吸合，经过延时，通过 KT_1 使 KM_2 得电吸合，电动机反向运行，同时使 KT_2 得电吸合，经过延时，通过 KT_2 ，使 KM_1 得电吸合，电动机又正向运行。因此 SQ_1 和 SQ_2 的动作，就成为分析该电路的关键点。

【看图实践】

(1) 正向启动运行控制 按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，电动机 M 正向启动运转，运物车由甲地向乙地运行，到达乙地后，行程开关 SQ_1 被撞压，其动断触头 SQ_1 (7-9) 断开，使 KM_1 失电释放，电动机失电停转。

(2) 乙地停留时间的控制 运物车到达乙地后，行程开关 SQ_1 的动合触头 SQ_1 (3-11) 闭合，使通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合。 KT_1 经 15s 延时（即运货车在乙地停留时间），其延时闭合的动合触头 KT_1 (3-13) 闭合，使接触器 KM_2 得电吸合并自锁，电动机 M 反向启动运转，运物车从乙地向甲地运行。

(3) 反向运行和甲地停留时间控制 运物车到达甲地后，行程开关 SQ_2 被撞压，其动断触头 SQ_2 (15-17) 断开，使 KM_2 失电释放，电动机失电停转； SQ_2 的动合触头 SQ_2 (3-19) 闭合，使 KT_2 得电吸合，延时 20s， KT_2 延时闭合的动合触头 KT_2 (3-5) 闭合，使 KM_1 得电

吸合，电动机 M 启动，运物车再次向乙地运行。

若反向启动运行，则应按下启动按钮 SB₃，使 KM₂ 得电吸合，其控制过程与正向启动运行过程相同。

第五节 速度控制原则组成的电动机基本控制电路

在生产工艺中，为了提高劳动生产率，缩短辅助工时，于是对控制系统提出了快速停车的要求。感应电动机采用反接制动方法最简单。制动时，使电源反相序，制动到接近零速度时，自动切除电动机电源。检测接近零速度的信号，以直接反映控制过程的转速信号最为理想，一般利用速度继电器来实现。

速度控制原则就是根据电动机转速，利用速度继电器来控制电动机的运行状态。速度继电器与被控电动机转轴同轴相连，并随电动机的旋转而一起旋转。当电动机转速超过速度继电器的动作转速（120r/min）时，速度继电器的动断触头断开而动合触头闭合，当电动机速度下降到速度继电器的复位转速（100r/min）时，速度继电器的触头复位，即动断触头闭合、动合触头断开。

速度控制原则主要用于直流电动机和三相笼形异步电动机的反接制动，以及同步电动机的给励磁和加速控制，它利用的参数是“速度”，所应用的电器元件主要是速度继电器，由它构成的控制电路也比较简单。

一、单相运转反接制动控制电路

电路如图 3.5.1 所示。

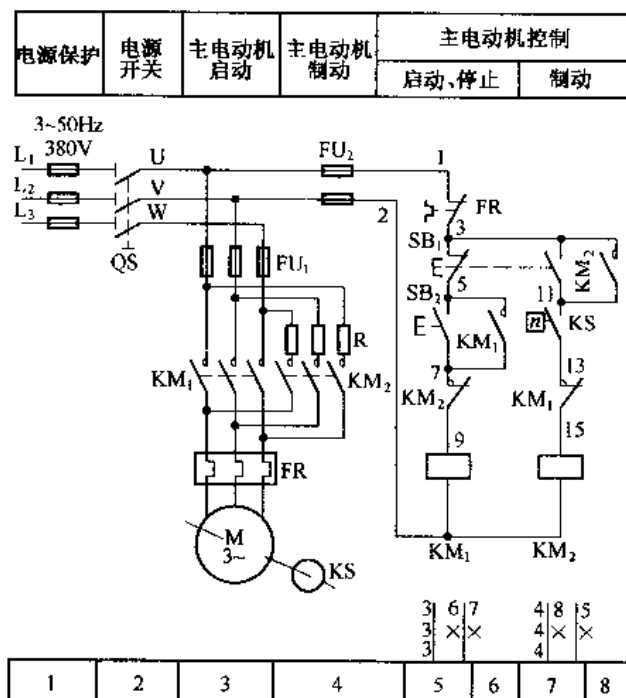


图 3.5.1 单向运转反接制动控制电路

【看图思路】

反接制动的实质就是改变电动机三相电源的相序，产生与转子惯性旋转方向相反的电磁

转矩。在电动机转速接近零时，将电源切除，以免引起电动机反转。控制电路中常采用速度继电器 KS 来检测电动机的零速点并切除三相电源。当三相电源不能及时切除时，电动机会反向升速，将发生事故。速度继电器 KS 的转子与电动机的轴相联，当电动机正常转动时，速度继电器的动合触头 $KS(11-13)$ 闭合，电动机停车转速接近零时，动合触头 $KS(11-13)$ 打开，切断接触器线圈电路。

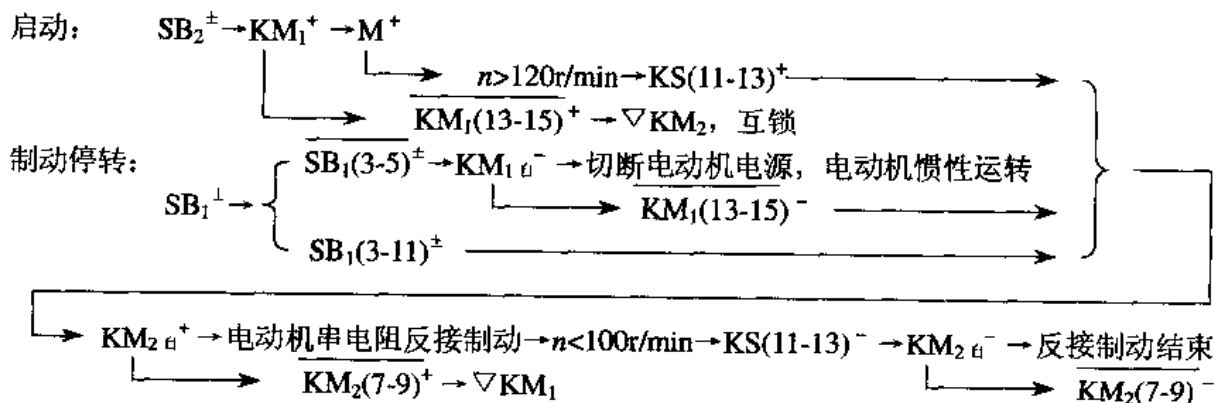
反接制动时，转子与旋转磁场的相对速度接近于两倍的同步转速，定子绕组电流很大，为了防止绕组过热和减小制动冲击，一般功率在 $10kW$ 以上的电动机的定子回路中串入反接制动电阻以减小反接制动电流。制动电阻有对称和不对称两种接线方式。采用对称接法既可限制制动转矩，又可限制制动电流；采用不对称接法只是限制了制动转矩，未加制动电阻的那一相仍有较大的电流。

在图 3.5.1 中， KS 为速度继电器，用于检测电动机速度变化。 KM_1 为正常运行控制接触器， KM_2 为反接制动控制接触器。从图中可以看出， KM_1 和 KM_2 主触头之间连接线与正反向启动电路的接法相同，其目的是为了改变电动机三相电源的相序。 KM_2 各极主触头上串联的电阻 R 用来限制反接制动时电动机绕组的电流，防止因制动电流太大造成电动机过载。制动时当电动机转速下降到 $100r/min$ 左右时，切断 KM_2 线圈通路，使电动机失电。 KM_1 和 KM_2 之间设有辅助触头连锁防止电源短路。辅助电路中， KM_1 的控制电路与单向启动控制电路完全相同。 KM_2 能否得电有两个条件：一是当电动机轴的转速超过 $100r/min$ 时，速度继电器 KS 的动合触头 $KS(11-13)$ 闭合；二是 SB_1 的动合触头闭合。如在电动机正常运行时（ KS 动合触头已闭合），将 SB_1 按到底， KM_2 即可得电吸合并自锁，串电阻 R 进行反接制动，电动机转速不断降低，当电动机制动后转速降到 $100r/min$ 时， KS 的动合触头复位，使 KM_2 失电释放，制动阶段结束。

【看图实践】

按下启动按钮 SB_2 ，正向运行接触器 KM_1 得电吸合并自锁，电动机 M 直接启动运转，电动机转速升高以后，速度继电器 KS 的动合触头 $KS(11-13)$ 闭合，为反接制动接触器 KM_2 得电作准备； KM_1 的辅助动断触头 $KM_1(13-15)$ 断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁。停车时，按下复合停止按钮 SB_1 ，其动断触头 $SB_1(3-5)$ 首先断开，使 KM_1 失电释放，其主触头断开，电动机 M 失电，电动机定子绕组脱离三相电源， KM_1 的辅助动断触头 $KM_1(13-15)$ 复位闭合，而 KS 的动合触头 $KS(11-13)$ 由于电动机在惯性作用下仍以很高的速度旋转，仍保持闭合，使 KM_2 得电吸合并自锁，电动机定子绕组串电阻 R 接上反相序电源，电动机进入反接制动状态，电动机转速迅速下降。当电动机转速接近零时， KS 的动合触头 $KS(11-13)$ 复位断开，使 KM_2 失电释放，制动结束停机。

图 3.5.1 电路电器的动作顺序为：



二、按速度原则控制的单向旋转能耗制动控制电路

电路如图 3.5.2 所示。

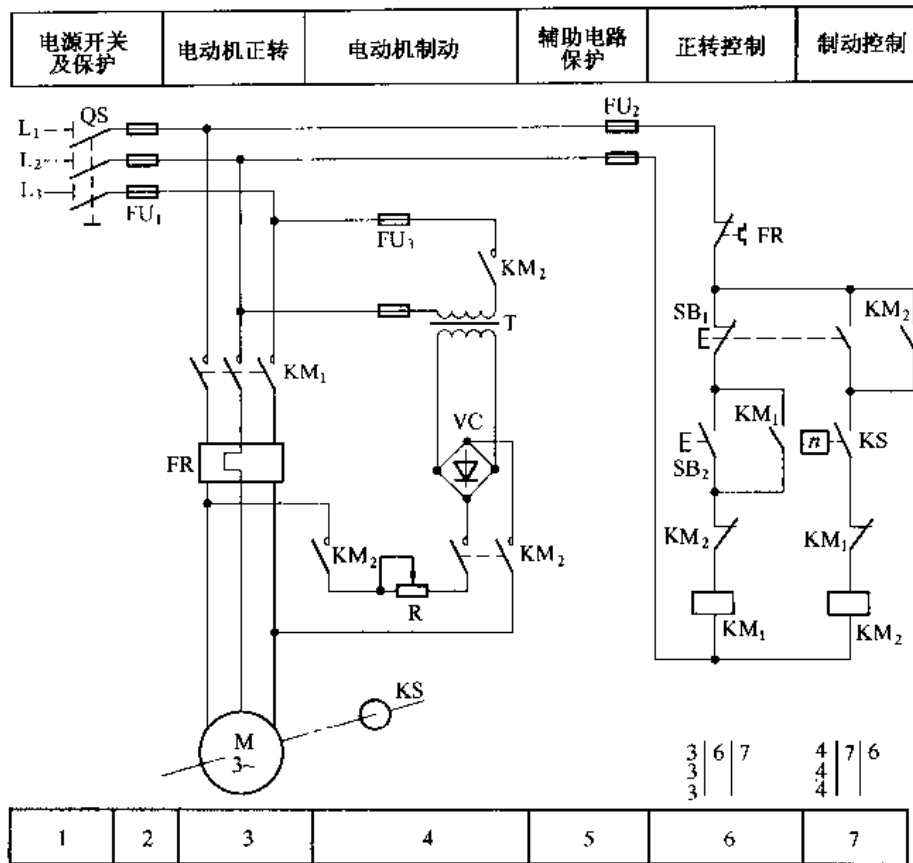


图 3.5.2 按速度原则控制的单向旋转能耗制动控制电路

【看图思路和实践】

由图 3.5.2 可知，该电路的主电路与图 3.2.21 所示的按时间原则的能耗制动电路相同，而该电路的控制电路与图 3.5.1 所示的能耗制动电路相同，把两者结合起来，就能看懂该电路，因此不再赘述。

【看路小结】

这种看图方法是经常采用且行之有效的方法，是综合运用已掌握电路知识去探求未掌握的电路。

【电路点评】

反接制动的制动转矩是反向启动转矩，因此制动力矩大，制动效果显著，但在制动时有冲击，制动不平稳，且能量消耗大。

能耗制动与反接制动相比，制动平稳，准确，能量消耗少，但制动力矩较弱，特别是在低速时制动效果差，并且还需提供直流电源。实际使用中，应根据设备的工作要求选用合适的制动方法。

三、正反向运行的能耗制动控制线路

电路如图 3.5.3 所示。

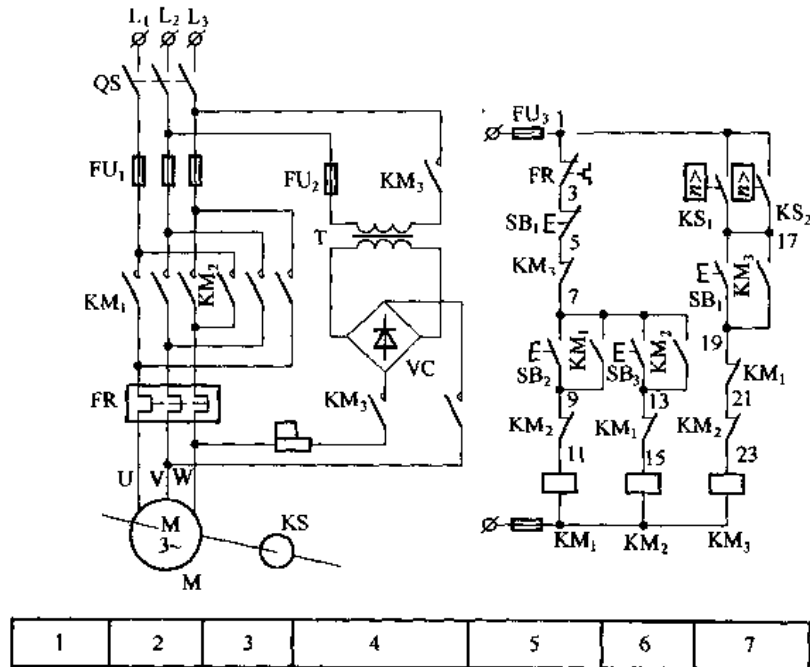


图 3.5.3 速度原则控制的正反向运行能耗制动控制电路

【看图思路】

由主电路[2~4]可以看出，电动机主轴上连接有速度继电器 KS，并经接触器 KM₃ 将直流电源加至电动机的 V、W 绕组，因此 KS 和 KM₃ 组成能耗制动电路，KM₃ 为制动接触器。

还可以看出，接触器 KM₁、KM₂ 的主触头分别将正反相序接至电动机，因此接触器 KM₁、KM₂ 组成电动机的正反向运行控制电路。

【看图实践】

合上电源开关 QS，根据需要，按下正转或反转启动按钮 SB₂ 或 SB₃，相应的 KM₁ 或 KM₂ 得电吸合并自锁，电动机正常运行。此时，速度继电器 KS 相应触头 KS₁ 或 KS₂ 闭合，为停机时接通 KM₃ 实现能耗制动作准备。

停车制动时，按下复合停止按钮 SB₁，其动断触头 SB₁ (3-5) 断开，使 KM₁ 或 KM₂ 失电释放，电动机定子绕组脱离三相交流电源，同时其动合触头 SB₁ (17-19) 闭合，使 KM₃ 得电吸合并自锁，电动机定子绕组接入直流电源进行能耗制动。电动机转速迅速下降，当转速小于 100r/min 时，速度继电器的触头 KS₁ 或 KS₂ 断开，此时 KM₃ 失电释放，能耗制动结束。

四、正反向运行的反接制动控制电路

电路如图 3.5.4 所示。

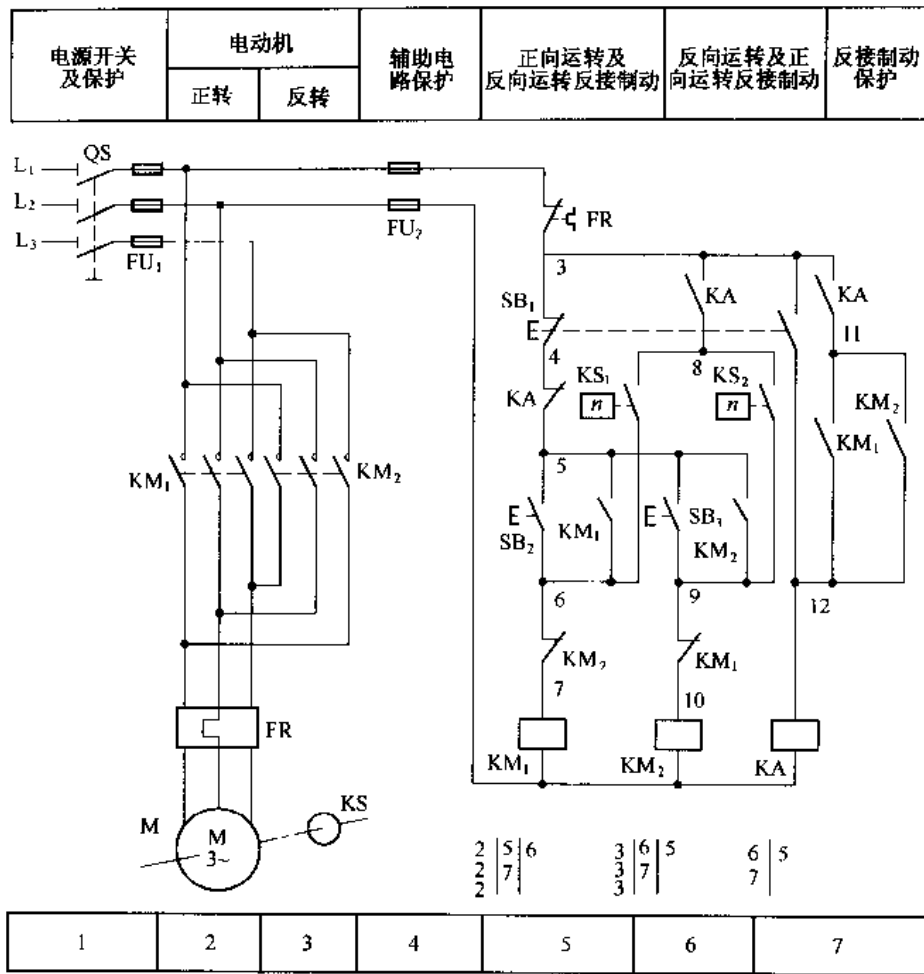


图 3.5.4 可逆运转反接制动控制电路

【看图思路】

由主电路[2、3]可看出，接触器 KM_1 、 KM_2 分别将正、反相序电源接至电动机 M ，构成电动机正、反向运转控制电路；在主轴上连接有速度继电器 KS ，因此由速度继电器 KS 和正、反向运转接触器 KM_1 、 KM_2 又构成反接制动控制电路。

根据对主电路分析，将辅助电路[5~7]分解为正、反向运行控制电路，正向运行反接制动控制电路，反向运行反接制动控制电路，如图 3.5.5 所示。

由图 3.5.5 可以看出，电动机正、反向运行时，中间继电器 KA 的动断触头 $KA(4-5)$ [5] 应闭合，动合触头 $KA(3-8)$ [6]、 $KA(3-11)$ [7] 应断开，即 KA 应失电；在进行反接制动时，恰好相反，动断触头 $KA(4-5)$ 应断开，动合触头 $KA(3-8)$ 、 $KA(3-11)$ 应闭合，即 KA 应得电。因此 KA 的失电、得电就成为分析该电路的关接点。

KS_1 和 KS_2 分别为速度继电器正反两个方向的两副动合触头，当按下 SB_2 时，电动机正转，速度继电器的动合触头 KS_2 闭合，为正转反接制动作准备；同样，当按下 SB_3 时，电动机反转，速度继电器的另一副动合触头 KS_1 闭合，为反转反接制动作准备。应该注意的是，两副动合触头 KS_1 和 KS_2 的接线不能接错，否则就达不到反接制动的目的。

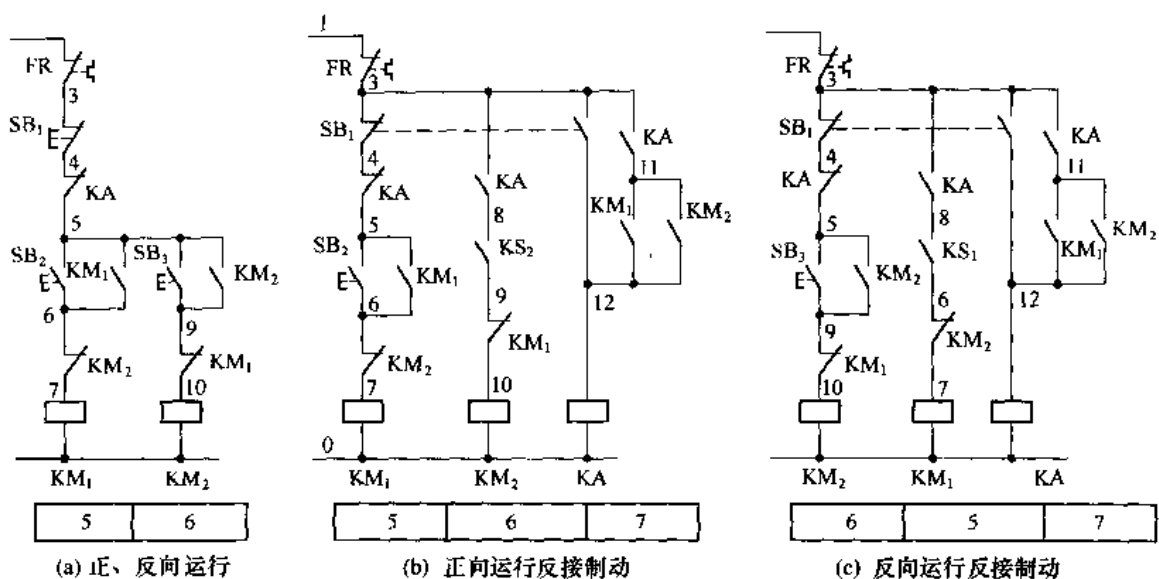


图 3.5.5 图 3.5.4 所示电路的分解电路

【看图实践】

(1) 正向运行及反接制动控制（见图 3.5.5 (b)）

合上电源开关 QS。正转启动时，按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₁ 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M 正转启动。当电动机转速高于 120r/min 时，速度继电器的动合触头 KS₂ 闭合，为反接制动作准备。同时 KM₁ 的动合辅助触头 KM₁ (11-12) 闭合，为中间继电器 KA 得电作准备。

要正向运行停止并进行反接制动时，可按下复合按钮 SB₁，其动断触头 SB₁ (3-4) [5] 首先断开，使接触器 KM₁ 失电释放，电动机 M 失电惯性运转；同时其动合触头 SB₁ (3-12) [7] 闭合，使中间继电器 KA 得电吸合并自锁，KA 的动合触头 KA (3-8) 闭合，使接触器 KM₂ 通过触头 KS₂ 得电吸合，KM₂ 主触头闭合，电动机 M 反接制动，当电动机 M 转速低于 100r/min 时，速度继电器的动合触头 KS₂ 断开，接触器 KM₂ 失电释放，其主触头断开，正向运行停车制动结束。KM₂ 的接助动合触头 KM₂ (11-12) 复位断开，使 KA 失电释放。与 SB₁ 串接的 KA 的动断触头 KA (4-5) 的作用是反接制动时，断开反向启动的自锁回路，防止反接制动后电动机反向启动。

(2) 反向运行及反接制动控制（见图 3.5.5 (c)）

反向运行的启动、反接制动工作原理与正向运行的启动、反接制动工作原理相同。

反接制动的优点是设备简单，调整方便，制动迅速，价格低。缺点是制动冲击大，制动能量损耗大，不宜频繁制动，且制动准确度不高，因此仅适用于制动要求迅速、系统惯性较大、制动不频繁的场所。

五、可逆运行反接制动控制电路

电路如图 3.5.6 所示。

【看图思路】

由图 3.5.6 (a) 所示主电路[2、3]可以看出，电动机主轴上联接有速度继电器 KS，并经

接触器 KM_1 、 KM_2 将正、反相序电源分别接至电动机，因此可判定该电路为按速度原则组成的正反向运行反接制动控制电路。

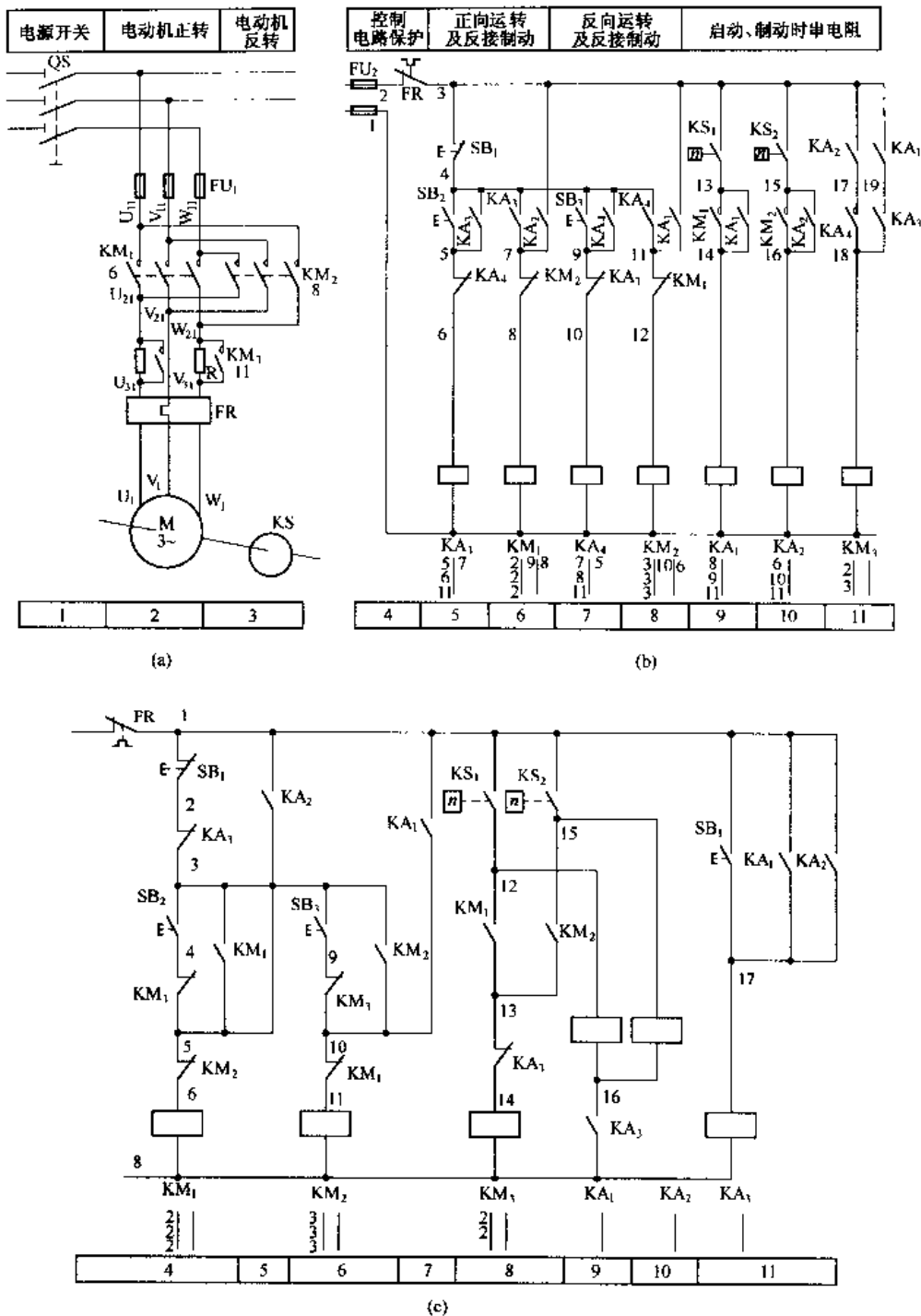


图 3.5.6 可逆运行反接制动控制电路

KM_1 、 KM_2 分别为正、反转接触器， KM_3 为正常运转时短接串联电阻 R 的接触器，电阻 R 为启动、制动时定子绕组串接电阻， KS 为速度继电器。

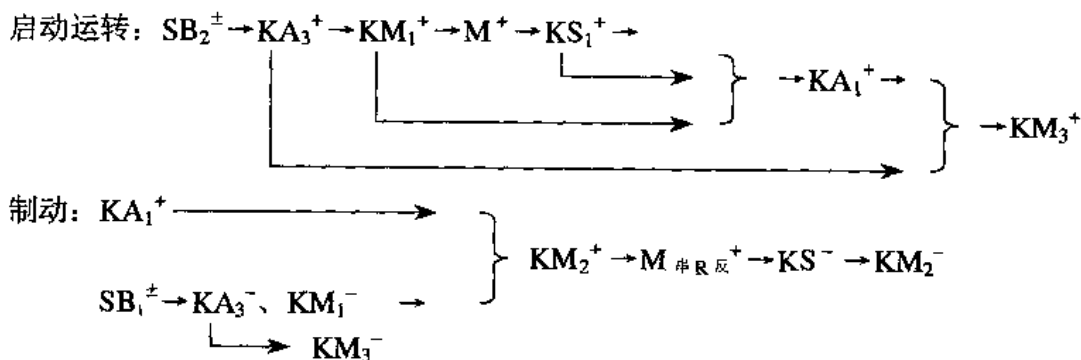
在图 3.5.6 (b) 所示辅助电路的图区[6, 8]，找出 KM_1 、 KM_2 的线圈电路。由图可以看出，

KM_1 由 KA_3 和 KA_2 控制, KM_2 由 KA_4 和 KA_1 控制。 KA_3 、 KA_4 分别由正、反转启动按钮 SB_2 、 SB_3 控制; 而 KA_1 、 KA_2 分别由 KM_1 、 KM_2 的辅助动合触头和速度继电器的正、反转触头控制。 因此 KA_3 、 KA_4 分别为正、反转接触器 KM_1 、 KM_2 的启动控制中间继电器; KA_1 、 KA_2 分别为正、反转 (KM_1 、 KM_2 得电吸合) 停车制动时, 控制反接制动接触器 (KM_2 、 KM_1) 的中间继电器。 接触器 KM_3 受 KA_1 - KA_3 或 KA_2 - KA_4 控制, 为启动和制动时短接电阻 R 的接触器。

各电器元件的工作状态如表 3.5.1 所示。

电动机工作状态		工作的接触器、继电器和速度继电器
正转	启动	KM_1 、 KA_3 、 KA_1
	运转	KM_1 、 KM_3 、 KA_3 、 KA_1 、 $KS(KS_1)$
	制动	KM_2 、 KA_1 、 $KS(KS_1)$, 最后都断开
反转	启动	KM_2 、 KA_4 、 KA_2
	运转	KM_1 、 KM_3 、 KA_4 、 KA_3 、 $KS(KS_2)$
	制动	KM_2 、 KA_2 、 $KS(KS_1)$, 最后都断开

各电器元件的动作顺序为:



分析该电路的关键是: ① 正转时, KM_1 失电后如何使 KM_2 得电吸合, 反转时 KM_2 失电后如何使 KM_1 得电吸合, 这就是 KA_1 和 KA_2 的作用。 例如正转时, KM_1 得电吸合, 其辅助动断触头 KM_1 (11-12) [8] 断开, 而 KA_1 已得电吸合, 其动合触头 KA_1 (4-11) [8] 已闭合, 为 KM_2 得电作准备, 这样, 当 KM_1 失电释放, KM_1 (11-12) 复位闭合, KM_2 立即得电吸合。 ② 启动结束, 如何使 KM_3 得电吸合, 短接电阻 R , 这就是 KA_2 - KA_4 、 KA_1 - KA_3 的作用。 例如, 正转启动运转后, KM_1 、 KA_3 、 KA_1 得电吸合, 使 KM_3 得电吸合。 ③ 制动开始, 如何使 KM_3 失电, 这就是 KA_1 、 KA_2 的作用。 例如, 正转停车制动, KA_3 、 KM_1 失电释放, 使 KM_3 失电释放。

【看图实践】

(1) 对图 3.5.5 (b) 所示的电路, 合上电源开关 QS , 按下正转启动按钮 SB_2 [5], 中间继电器 KA_3 [5] 得电吸合并自锁, 其动断触头 KA_3 (9-10) [7] 断开, 使 KA_4 [6] 不能得电, 起互锁作用; 其辅助动合触头 KA_3 (18-19) [11] 闭合, 为 KM_3 得电作准备; 其动合触头 KA_3 (4-7) [6] 闭合, 使接触器 KM_1 得电吸合。 KM_1 主触头闭合, 使电动机定子绕组经电阻 R 接通正相序三相电源, 电动机开始减压启动; KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (11-12) [8] 断开, 确保 KM_2

不能得电，实现互锁； KM_1 的辅助动合触头 $KM_1(13-14)[9]$ 闭合，但 KA_1 仍无法得电，因为速度继电器 KS 的正转触头 $KS_1(3-13)[9]$ 尚未闭合。当电动机转速上升到一定值时，速度继电器 KS 的正转动合触头 KS_1 闭合，使中间继电器 $KA_1[9]$ 得电吸合并自锁，其动合触头 $KA_1(3-11)[8]$ 闭合，为 KM_2 得电作准备；其另一动合触头 $KA_1(3-19)[11]$ 闭合，这时由于 $KA_3(19-18)$ 、 $KA_1(3-19)$ 都处于闭合状态，使接触器 $KM_3[11]$ 得电吸合，其主触头闭合，电阻 R 被短接，电动机全压运行，电动机转速上升到稳定的工作转速。

电动机停车制动时，按下停止按钮 SB_1 ，则 KA_3 、 KM_1 、 KM_3 相继失电释放，电动机失电停转。由于此时转子的惯性转速仍然很高，速度继电器 KS 的正转动合触头 KS_1 尚未复位断开， KA_1 仍处于吸合状态，其动合触头 $KA_1(3-11)$ 仍处于闭合状态，因此， KM_1 失电释放后其辅助动断触头 $KM_1(11-12)[8]$ 复位闭合，使接触器 KM_2 得电吸合，其主触头闭合，使电动机定子绕组经电阻 R 接反相序三相电源，对电动机进行反接制动。电动机转速迅速下降，当其转速降至小于 $100r/min$ 时， KS 的正转动合触头 KS_1 复位断开，使 KA_1 、 KM_2 相继失电释放，反接制动过程结束。

电动机反向启动和制动停车过程与正转相同，因此不再赘述。

(2) 对于图 3.5.5 (c) 所示的电路， KM_1 、 KM_2 为正、反转接触器， KM_3 为短接电阻 R 的接触器， KA_1 、 KA_2 、 KA_3 为中间继电器， KS 为速度继电器， KS_1 为正转触头、 KS_2 为反转触头。

若需电动机正向运行，则合上电源开关 QS ，按下正向启动按钮 SB_2 ， KM_1 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机定子绕组串入电阻，接入正相序三相交流电源进行减压启动；其辅助动断触头 $KM_1(10-11)[6]$ 断开，确保 KM_2 不能得电，实现互锁；其辅助动合触头 $KM_1(12-13)[8]$ 闭合，为 KM_3 得电作准备。当电动机转速 $n > 130r/min$ 时，速度继电器 KS 动作，其正向触头 $KS_1[8]$ 闭合，使 KM_3 得电吸合，其主触头闭合，短接定子电阻，电动机在全压下启动并进入正常运行。因此，电动机转速在 $0 \sim 130r/min$ 范围内是进行减压启动，而 $n > 130r/min$ 以后为额定电压下启动。

当需要停车时，按下停止按钮 SB_1 ，其动断触头 $SB_1(1-2)[4]$ 首先断开， KM_1 、 KM_3 相继失电释放，使电动机脱离正相序三相电源并串入电阻 R 。当将 SB_1 按到底时，其动合触头 $SB_1(1-17)[11]$ 闭合，使 KA_3 得电吸合，其动断触头 $KA_3(13-14)[8]$ 断开，确保 KM_3 处于失电状态，保证反接制动电阻的接入；而动合触头 $KA_3(16-18)[9]$ 闭合，由于此时电动机因惯性转速仍大于速度继电器释放值，使正转触头 KS_1 仍处于闭合状态，从而使 KA_1 经触头 $KS_1(1-12)$ 得电吸合。 KA_1 的动合触头 $KA_1(1-17)[11]$ 闭合，确保按钮 SB_1 松开后，使 KA_3 仍处于得电吸合状态； KA_1 的动合触头 $KA_1(1-10)$ 闭合，使 KM_2 得电吸合。于是电动机定子绕组串入反接制动电阻，接入反相序电源进行反接制动，使电动机转速迅速下降。当电动机转速低于 $100r/min$ 时，速度继电器释放，其动合触头 $KS_1(1-12)$ 复位断开，使 KA_1 、 KA_3 、 KM_3 相继失电释放，反接制动结束，电动机自然停车。

电动机反向运转、停车时的反接制动电路工作情况与上述情况相反，但此时速度继电器 KS 起作用的触头为 $KS_2(1-15)$ ，中间继电器 KA_2 代替 KA_1 。

由上述分析可知，启动时，电动机转速由零到 $130r/min$ 为串入电阻 R 减压启动，因此 R 具有限制启动电流和反接制动的双重作用。停车时，应将 SB_1 按到底，否则，将因 $SB_1(1-17)$ 不闭合而无法反接制动。

第六节 按温度、压力、流量、转速等物理量变化规则组成的基本控制电路

在电气控制电路中，常要对生产过程中的温度、压力（液体压力或气体压力）、流量、运动速度等物理量设置进行必要的控制与保护，将以上各物理量限制在一定范围以内，保证整个系统的安全运行。例如，对于冷冻机、空调压缩机，由于其电动机的散热条件较差，因此，为保证电动机绕组温升不超过允许值，而直接将热敏元件预埋在电动机绕组中来控制其运行状态，以保护电动机不至因过热而烧毁；大功率中频逆变电源、各类自动电焊机电源的晶闸管、变压器等的水冷循环系统，当水压、流量不足时将损坏器件，为此可以采用压力开关和流量继电器进行保护。另外，对于风机、水泵等流量机械往往需要对管网压力进行控制。

工厂电气控制系统中，根据生产过程要求，常对温度、压力、液位、重量等非电量进行控制。在非电量控制中，首先要将非电量通过各种专用的温度、压力、流量、速度传感器转换成电量，再将极小的电量进行放大，推动执行机构。将执行机构的动合触头或动断触头串联在控制电路中，通过逻辑组合、连锁控制等来实现对电路的控制。有些推电器的动作值能在一定范围内调节，以满足不同场合的保护需要。

一、按压力推制原则组成的电动机基本控制电路

以压力控制原则组成的电路是指电路中用电器的工作状态由工作系统的压力来控制的电路，如空气压缩机控制电路。

1. 空气压缩机电气控制电路

电路如图 3.6.1 所示。

【看图思路】

由图可见，空气压缩机的压力继电器 KP（俗称压力开关）安装在储汽缸上，压力开关的动触头由汽缸内的气体驱动。

当储汽缸内气压达到设定的高压值时，压力开关的动触头会立即动作，使动断触头断开、动合触头闭合。若储汽缸停止进气后不向外供气，汽缸内的压力不变化，压力开关则不能返回到初始状态。若储汽缸停止进气后向外供气，汽缸内的压力会逐渐降低；当汽缸内压力降到预定低值时，压力开关会立即返回到初始状态。

在图 3.6.1 所示的电路中，总电源开关 QS 是带熔断器的刀开关。压力开关的动断触头 KP 串接在 KM 线圈电路中，以实现压力控制作用。

【看图实践】

合上 QS \rightarrow SB₂⁺ \rightarrow KA⁺（若压力开关动合触头闭合） \rightarrow KM⁺ \rightarrow M⁺（压缩机储汽） \rightarrow 储汽缸压力升高到压力开关设定的高压值时，KP 触头断开 \rightarrow KM⁻ \rightarrow M⁻ \rightarrow 停止压缩过程 \rightarrow 储汽缸向外供气，当储汽缸压力低于压力开关设定的最低值时，KP 触头闭合 \rightarrow KM⁺ \rightarrow M⁺，空气压

压缩机进入下一个循环。

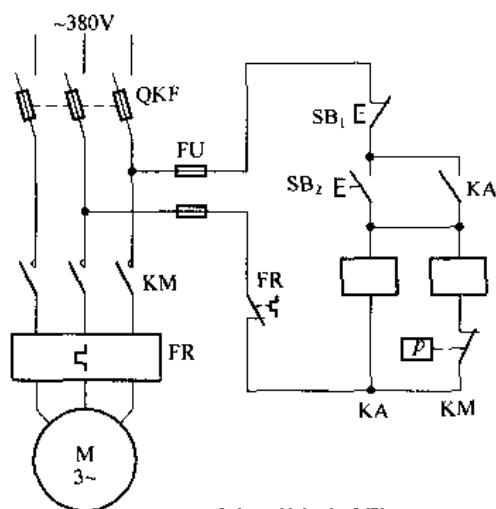
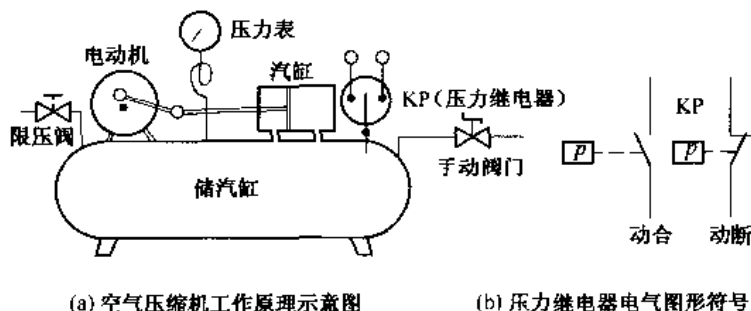


图 3.6.1 空气压缩机电路图（小型空气压缩机电气控制电路）

若要使空气压缩机停止工作，则应使 $SB_1 \rightarrow KA^-、KM^-$ ，电路回到初始状态。

2. 压气机顺序启动和连锁保护电路

很多设备的运转有先后顺序的规定，如压气机启动，必须先启动润滑油泵，等油压达到 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 时，轴承和汽缸有了可靠的润滑，才能启动压气机。另外，必须先开冷水阀门，并且水压达到 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上，汽缸的冷却有了保证，才允许开压缩机，为此可采用图 3.6.2 所示的电路。

【看图思路】

图中 X_1 为油压表电接点， X_2 为压力继电器接点； KM_1 为控制油泵电动机的接触器， KM_2 为控制压气机的接触器。

由图可看出，油压泵电动机 M_1 启动后，等油压达到规定值，油压表电接点 X_1 闭合，中间继电器 KA_1 得电吸合，其动合触头 KA_1 （17-19）闭合，作为压气机启动的第一个先决条件。在 KA_1 得电的同时，电磁阀 YB 得电，使冷却水流通，当水压足够时，压力继电器的接点 X_2 闭合，使中间继电器 KA_2 得电吸合，其动合触头 KA_2 （19-21）闭合，作为压气机启动的第二个先决条件，于是， KM_2 得电吸合，油压机启动。

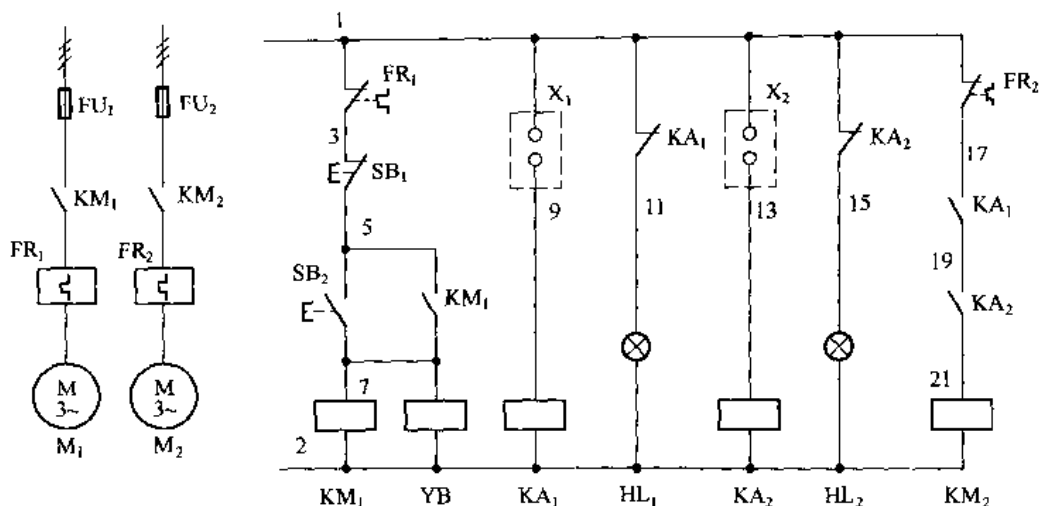
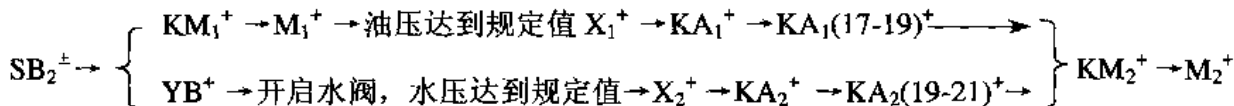


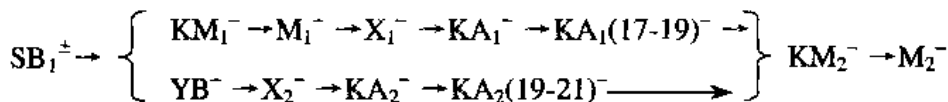
图 3.6.2 压气机顺序启动和连锁保护电路

【看图实践】

(1) 启动:



(2) 停止:



在运行中，无论是油压或水压过低，都会使压气机停车，并且相应指示灯发出信号。若 HL₁、HL₂ 都没有亮而压气机停车，则是热继电器 FR₂ 动作。

3. 自动增加给水设备电气控制电路

电路如图 3.6.3 所示，由蓄水箱、增压气压罐和水泵机组组成。增压气压罐的作用是增加水的压力，以满足给水水压的要求。

【系统的运行要求】

(1) 保证水泵机组只有在蓄水箱中有充足水的状态下工作，防止水泵电动机空转，造成机械损坏。因此，应设置蓄水箱水位控制，在水位上限位置时，水位控制器应自动控制停止水泵电动机工作；在水位下限位置时，启动水泵电动机工作。

(2) 自动增压（气压）给水设备是补偿补气式，在运行过程中需要及时补气，因此，增压气压罐体的压力也需要自动控制，其压力不能超过上、下限值，为此应设置压力控制。

(3) 水泵机组在一定的限定压力值范围内不断地自动循环运行，向用户供水。

【看图思路】

补水电动机 M₂ 由接触器 KM₂ 控制，KM₂ 由中间继电器 KA₃ 控制，而 KA₃ 又由中间继电器 KA 控制。增压电动机由接触器 KM₁ 控制，接触器 KM₁ 由中间继电器 KA₁、KA₂ 和电

增压气压罐压力下降，当压力下降到电接点压力表 KP 的上限值以下时，上限触头 KP (3-25) 断开，KA₂ 失电释放，其动断触头 KA₂ (3-15) 复位闭合，为 KM₁、KA₁ 重新得电作准备。当压力下降到电接点压力表 KP 的下限 (H) 值以下时，其下限触头 KP (3-21) 闭合。

中间继电器 KA 失电释放后，其动断触头 KA (3-5) 复位闭合，使 KA₃、KM₂ 相继得电吸合，水泵电动机 M₂ 启动，给水箱补水，直至水箱水满，SR₂ (H) 断开，使 KA 得电吸合，其动合触头 KA (3-5) 断开，使 KA₃、KM₂ 相继失电释放，水泵电动机停转，自动进入下一个循环。

【电路点评】

由以上分析可见，系统中采用了位置控制及压力控制。其目的是保证给水的连续性并保持一定的给水压力。此外，还有保护作用，水位（置）控制除了控制蓄水箱的进水量以保证有足够的水量外，还起到避免水泵机组在无水状态下空转而损坏的可能性。压力控制除了控制水压能满足用水的要求外，还起到避免压力过高而引起增压气压罐损坏等事故。

二、位置控制（两种液体混合搅拌装置控制电路）

图 3.6.4 所示为两种液体的混合搅拌装置的示意图。该装置上装有三个电磁阀门，阀门 A 输入甲种液体，阀门 B 输入乙种液体，阀门 C 打开时，将甲乙混合液放出。

混合液体容器上装有三个位置传感器，用来反映液面的高度。当液面达到传感器位置时，相应传感器的动合触头闭合，液面低于传感器所在的位置时，传感器的触头打开。

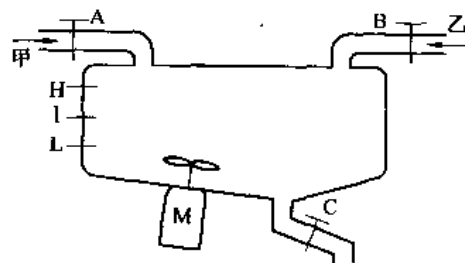


图 3.6.4 两种液体的混合搅拌装置的示意图

【甲、乙两种液体混合的工艺流程】

- (1) 起始时，容器内液体排空，阀门均关闭。
- (2) 按下启动按钮 SB 后，阀门 A 被打开，甲液体流入容器。待甲液体的液面达到 I 传感器的位置时，发出关闭 A 阀门、打开 B 阀门的命令。
- (3) B 阀门打开后，乙液体流入容器，待液面达到 H 传感器位置时，发出关闭 B 阀门和开始搅拌的命令。
- (4) 搅拌装置由电动机拖动，搅拌时间为 30s。30s 过后发出停搅拌机和开阀门 C 的命令。
- (5) 待液体从阀门 C 排出，液面下降到 L 传感器位置时，延时 10s 发出关闭阀门 C 的命令，这时容器内的液体已排空。

两种液体混合搅拌装置的电气控制电路如图 3.6.5 所示。

【看图思路】

由图可见；电动机 M 由接触器 KM 控制，电磁阀 YV_A、YV_B、YV_C 分别由中间继电器 KA₁、KA₂、KA₄ 控制。根据控制要求，我们从阀门 A 开启开始分析。阀门 A 由电磁阀 YV_A 控制，YV_A 由中间继电器 KA₁ 控制，而 KA₁ 又由启动按钮 SB 和中间继电器 KA₂ 控制，因此 SB 控制阀门 A 开启，KA₂ 控制阀门 A 关闭。阀门 B 由电磁阀 YV_B 控制，YV_B 由中间继电器 KA₂ 控制，而 KA₂ 又由位置开关 SQ₁、中间继电器 KA₁、KA₃ 控制，因此，SQ₁ 和 KA₁ 控制阀门 B 开启，KA₃ 控制阀门 B 关闭。也就是说，阀门 A 开启（KA₁ 得电吸合）后，水位上升到 I 位置，行程开关 SQ₁ 闭合，使阀门 A 关闭，同时开启阀门 B。

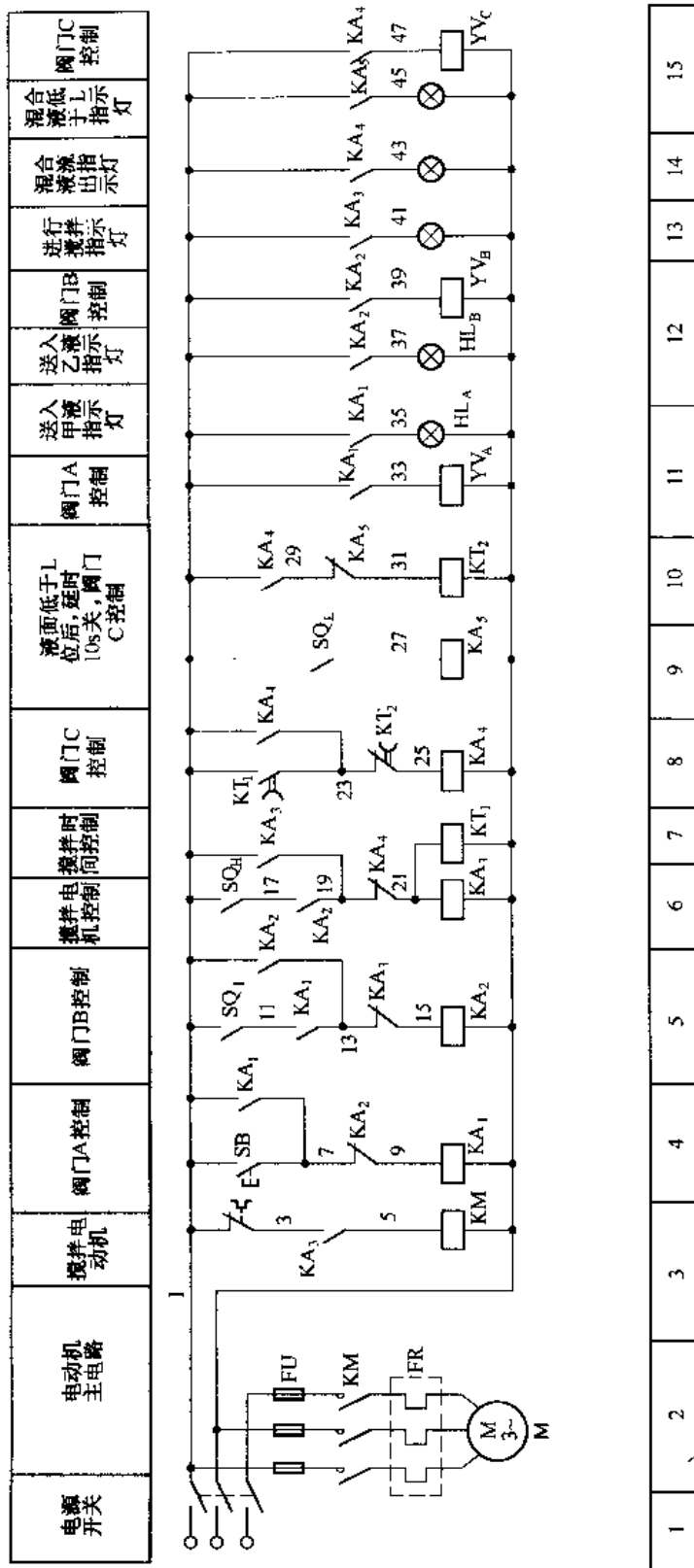


图 3.6.5 两种液体混合搅拌装置的电气控制电路

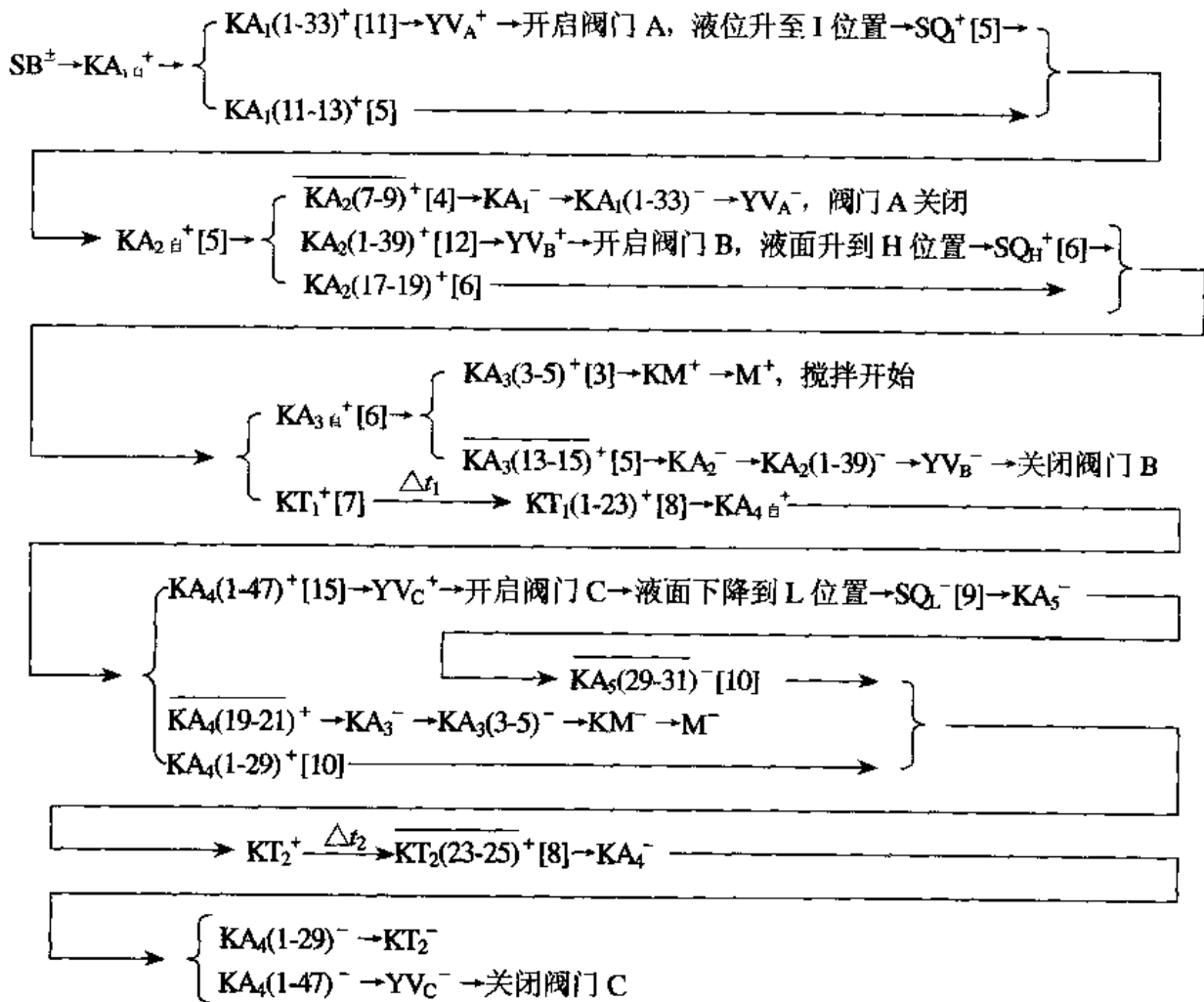
搅拌电动机由接触器 KM 控制，KM 由中间继电器 KA₃ 控制，而 KA₃ 由行程开关 SQ_H、中间继电器 KA₂ 和 KA₄ 控制，因此，SQ_H 和 KA₂ 控制电动机开始搅拌，KA₄ 控制电动机停止搅拌。因此，弄清 KA₃ 的得电与失电就成为分析该电路的第一个关键点。

阀门 C 由电磁阀 YV_C 控制，YV_C 由中间继电器 KA₄ 控制，而 KA₄ 又由通电延时时间继电器 KT₁、KT₂ 控制，KT₂ 又由 KA₅ 控制，KA₅ 又由 SQ_L 控制。KT₁ 控制阀门 C 开启，KT₂ 控制阀门 C 关闭。因此，弄清 KT₁、KT₂ 的得电、失电就成为分析该电路的第二个关键点。

当阀门 A 打开 (KA₁ 得电吸合)，液面升高至 I 位置时，KA₃ 得电吸合，电动机开始搅拌，同时使通电延时时间继电器 KT₁ 得电吸合，当 KT₁ 延时时间到时，打开阀门 C，电动机停止搅拌 (KA₄ 得电吸合)，同时使通电延时时间继电器 KT₂ 得电吸合；当 KT₂ 延时时间到时，关闭阀门 C (KA₄ 失电释放)，完成一个工艺过程。

【看图实践】

电路的工作过程：



三、以温度为原则的控制电路

以温度为原则的控制电路主电路中的用电器的的工作状态由温度来决定。其电路如图 3.6.6 所示。

【看图思路】

主电路中的用电器是电阻加热器（R），它通过变压器 T 和整流器 U 供给直流电，而 T 的电源电压为 220V，交流电主电路中还有刀开关 QS 和短路保护元件（熔断器 FU₁）。

辅助电路由短路保护元件熔断器 FU₂、转换开关 SA、接触器 KM 和温度继电器 KT 组成。辅助电路中的接触器 KM 控制电阻加热器的得电、失电。

【看图实践】

合上 QS，电路接通电源，接着使 SA 闭合，KM 得电吸合，KM 主触头闭合，电阻加热器通以直流电流开始加热。当被加热的空间或物料温度达到预定温度时，感温元件 KT 会将温度传递给温度控制元件（温度继电器），导致温度控制元件动作，使其动断触头断开，KM 失电释放，KM 主触头断开，电阻加热器失电，停止加热。当被加热的空间或物料温度低于某值时（温控元件设定的低温温度），温控元件动断触头自动闭合，KM 得电吸合，电阻加热器重新得电加热。若要想使电阻加热器停止加热，将转换开关 SA 打开即可。

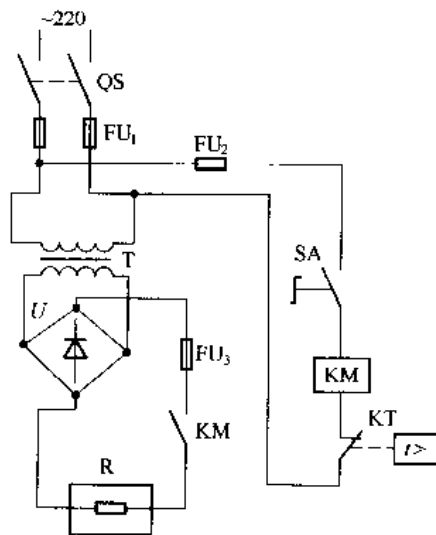


图 3.6.6 有温度控制的电阻加热器电路

第七节 电气控制系统的保护环节

电气控制系统除了能满足生产机械加工工艺要求外，还要保证设备长期、安全、可靠和无故障地运行。但生产机械设备在工作时，很难避免有时过载或电气短路事故发生；当生产机械设备由外电网供电时，也不可避免地会出现停电或电压过低等现象。

电气系统各设备之间是电和磁的关系，当某一设备发生故障时，在极短的时间内就会影响到同一电气系统的非故障设备。为了防止电气系统事故的扩大，保证非故障部分仍然能可靠运行，必须借助于安装在每一电气设备上的自动保护装置。

有的控制电器，在电路中只起保护作用，如热继电器、熔断器等；有的控制电器虽然担负着电气控制任务，但也起保护作用，如中间继电器和接触器等。

一、电流型保护

在正常工作中，电气设备通过的电流一般不超过额定电流。若在短时间内少量超过额定电流，只要温升不超过允许值也是允许的，这也是各种电器设备或电器元件应具有过载能力。但当通过电器设备或电器元件的电流过大，因发热而使温升超过绝缘材料的承受能力时，就会造成事故，甚至烧毁电器设备。在散热条件一定的情况下，温升决定于发热量，而发热量不仅决定于电流大小，而且还与通电时间密切相关。电流型保护就是基于这一原理构成的，它通过传感元件检测过电流信号，经过信号变换、放大后控制执行机构及被保护对象动作，切断故障电路。属于电流型保护的主要有短路、过电流、过载和断相保护等。

1. 短路保护

由于短路电流会引起电器或电路绝缘损坏和产生强大的电动应力，造成电动机绕组和电路中的各种电器的机械性损坏，因此，当电路出现短路电流或数值接近短路电流时，必须迅速、可靠地断开电源。但这种短路保护不应受启动电流的影响而动作。常用的短路保护电器元件是熔断器和断路器。

(1) 熔断器保护 熔断器的熔体串联在被保护的电路中，当电路发生短路或严重过载时自动熔断，从而切断电路，起到保护作用。由于熔断器熔体受很多因素影响，其动作值不太稳定，因此比较适合用于对动作准确度和自动化程度较差的系统中，如小容量的笼形电动机、一般的普通交流电源等。

(2) 过电流继电器保护或断路器保护 过电流继电器是测量元件，过电流保护要通过执行元件接触器来完成，因此为了切断短路电流，接触器触头的容量不得不加大。断路器把测量元件和执行元件装在一起，有短路、过载和欠压保护功能，这种开关能在电路发生上述故障时快速地自动切断电源，排除故障后只要重新合上断路器即能重新工作。

在对主电路采用三相四线制或对变压器采用中性点接地的三相三线制的供电电路中，必须采用三相短路保护。若主电路容量较小，其电路中的熔断器可同时作为控制电路的短路保护；若主电路容量较大，则控制电路一定要单独设置短路保护熔断器。

2. 过电流保护

过电流是指电动机或电器元件超过其额定电流的运行状态。不正确的启动和负载转矩过大，常常引起电动机出现很大的过电流。过电流一般比短路电流小。在电路出现过电流情况下，电器元件并不会马上损坏，只要在达到最大允许温升之前，电流值能恢复正常，就不会出现大问题。在电动机运行中产生过电流，比发生短路的可能性要大，特别是在频繁启动和正反向运行、重复短时工作的电动机更是如此。通常，过电流保护可以采用低压断路器、热继电器、电动机保护器、过电流继电器等。过电流继电器与接触器配合使用，过电流继电器线圈串联在被保护电路中，电路电流达到其整定值时，过电流继电器动作，其动断触头串联在接触器控制回路中，由接触器去切断电源。这种保护主要应用于绕线转子异步电动机控制电路中。

3. 过载保护

过载保护是过电流保护中的一种，也属于电流型保护。过载也是指电动机的运行电流大于其额定电流，通常在额定电流的 1.5 倍以内。引起电动机过载的原因很多，如负载的突然增加、缺相运行以及电网电压降低等。若电动机长期过载运行，其绕组的温升将超过允许值而使绝缘老化甚至损坏。感应电动机过载保护应采用热继电器或电动机保护器作为保护元件。热继电器具有与电动机相似的反时限特性，但由于热惯性的关系，热继电器不会受短路电流的冲击而瞬时动作。当有 6 倍以上的额定电流通过热继电器时，需经 5s 后才动作，这样，在热继电器动作前，就可能使热继电器的发热元件先烧坏，因此，在使用热继电器作过载保护时，还必须装有熔断器或低压断路器配合使用。由于过载保护特性与过电流保护不同，因此不能采用过电流保护方法来进行过载保护，因为引起过载保护的原因往往是一种暂时因素。例如，负载的临时增加而引起过载，过一段时间又转入正常工作，对电动机来说，只要过载

时间内绕组不超过允许温升就是允许的。如果采用过电流保护，势必要影响生产机械的正常工作。过载保护要求保护电器具有与电动机反时限特性相吻合的特性，即根据电流过载倍数的不同，其动作时间是不同的，它随着电流的增加而减小。

应当指出，过电流继电器不同于熔断器和低压断路器，它是一个测量元件；低压断路器是把测量元件和执行元件装在一起，熔断器熔体本身就是测量和执行元件。过电流保护要通过执行元件接触器来完成，因此为了能切断过电流，接触器触头容量应加大，但不能可靠地切断短路电流。为避免启动电流的影响，常将时间继电器与过电流继电器配合，启动时，时间继电器的动断触头闭合，动合触头尚未闭合，过流继电器的线圈不接入电路，尽管电动机的启动电流很大，而过流继电器不起作用。启动结束后，时间继电器延时结束，动断触头断开，动合触头闭合，过流继电器得电吸合，开始起保护作用。工作过程中，由某原因而引起过电流时，过电流继电器动作，其动断触头断开，电动机便停止工作，起到保护作用。

4. 断相保护

三相感应电动机在正常运行中，由于电网故障或一相熔断器熔断引起对称三相电源缺少一相，电动机将在缺相电源中低速运转或堵转，定子电流很大，这是造成电动机绝缘及绕组烧损的常见故障之一。断相时，由于负载的大小，绕组的接法等因素，引起相电流与线电流的变化差异较大。对于正常运行采用 Δ 形连接的电动机（我国生产的三相笼形感应电动机在4.5kW以上均采用 Δ 形连接），如果负载在53%~67%之间时发生断相故障，则会出现故障相的线电流小于对称性负载保护电流动作值，但相电流最大一相的电流却已超过额定值。热继电器热元件串接在三相电流进线中，其断相保护功能是通过专门为断相运行而设计的断相保护机构实现的。

二、电压型保护

电动机或电器元件只能在一定的额定电压下正常工作，电压过高、过低或者工作过程中非人为因素的突然失电，都可能造成生产机械的损坏等事故，因此在电气控制电路设计中，应根据要求设置失压保护、过电压保护及欠电压保护。

1. 失压保护

如果电动机在正常工作时突然掉电，那么在电源电压恢复时，就可能自行启动，造成人身事故或机械设备损坏。对电网来说，许多电动机同时启动，也会引起不允许的过电流和过大的电压降，而电热类电器则可能引起火灾。为防止电压恢复时电动机的自行启动或电器元件自行投入工作而设置的保护，称为失压保护。采用接触器和按钮控制电动机的启、停电路，就具有失压保护功能。如果正常工作中电网电压消失，接触器就会自动释放而切断电动机电源。当电网恢复正常时，由于接触器自锁电路已断开，因而不会自行启动。只有操作人员重新按下启动按钮，电动机才能启动。该控制电路具有失压、欠压保护功能，其优点是：

- （1）防止电源电压严重下降时电动机欠电压运行。
- （2）防止电源电压恢复时，电动机自行启动而造成设备和人身事故。
- （3）避免多台电动机同时启动造成电网电压的严重下降。

但如果不采用按钮，而用不能自动复位的手动开关、行程开关等控制接触器，则必须采用专门的零压继电器。对于多位开关，要采用零位保护来实现失压保护，即电路控制必须先接通零压继电器；在工作过程中，一旦失电，零压继电器释放，其自锁也释放，当电网恢复正常时，就不会自行投入工作。图 3.7.1 所示的零电压保护电路，主令开关 SA 置于“0”位时，零压继电器 KV 得电吸合并自锁；然后将 SA 置于“1”位时，就保证了接触器 KM 得电吸合。当失电时，KA 释放，当电网再得电时，必须先将 SA 置于“0”位，使 KV 得电吸合，才能使 KM 重新得电吸合，也就是电动机才能重新启动，从而起到零电压保护作用。

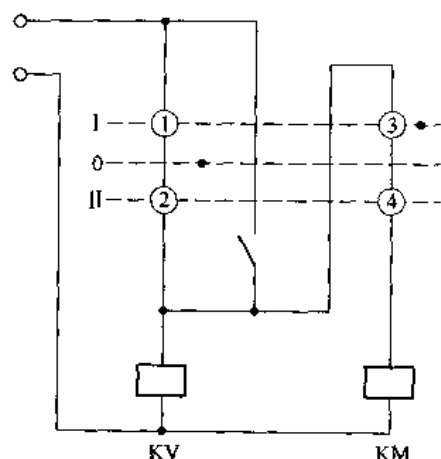


图 3.7.1 零压保护电路

2. 欠压保护

电动机或电器元件在有些应用场合下，当电网电压降到额定电压的 60%~80% 时，就要求能自动切除电源而停止工作，这种保护称为欠电压保护。因为电动机在电网电压降低时，其转速、电磁转矩都将降低甚至堵转。在负载一定的情况下，电动机电流将增加，不仅影响产品加工质量，还会影响设备正常工作，使机械设备损坏或造成人身事故。另一方面，由于电网电压的降低，如降到额定电压的 60%，控制电路中的各类交流接触器、继电器既不能释放又不能可靠吸合，处于抖动状态并产生很大噪声，致使线圈电流增大甚至过热，造成电器元件和电动机的烧毁。

除上述采用接触器及按钮控制方式，利用接触器本身的欠电压保护作用外，还可以采用低压断路器或专门的电磁式电压继电器来进行欠电压保护，其方法是将电压继电器线圈跨接在电源上，其动合触头串接在接触器控制回路中。当电网电压低于整定值时，电压继电器动作使接触器释放。由于电流增加的幅度尚不足以使熔断器和热继电器动作，因此两者不起保护作用，如果不采取措施，时间一长将损坏电动机。

3. 过电压保护

电磁铁、电磁吸盘等一类电感量较大的负载，在切断电源时将产生高压，使线圈绝缘击穿而损坏，必须采用适当的保护措施，这种保护称为过电压保护。通常过电压保护的方法是在线圈两端并联一个电阻、电阻串电容或二极管串电阻等形式，以形成一个放电回路。图 3.7.2 是磨床电磁吸盘线圈常见的过电压保护方法。

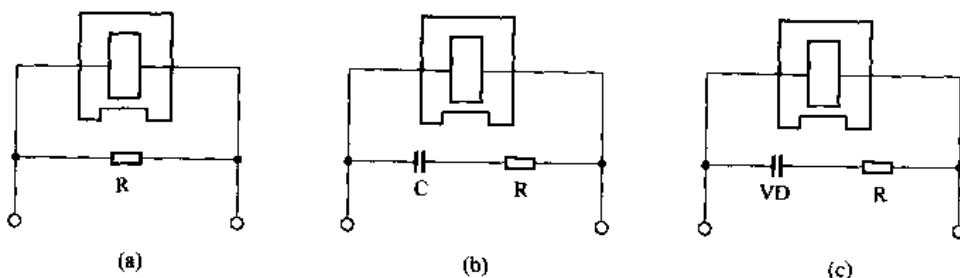


图 3.7.2 磨床电磁吸盘线圈常见的放电装置

三、位置保护

生产机械运动部件的行程，越位大小及运动部件的相对位置都要限制在一定范围内，如龙门刨床横梁上升与下降不能超过极限位置，横梁下降与侧刀架上升不能相撞，工作台面由前进换后退或由后退换前进过程中的越位要控制在一定范围内。又如起重设备的左右、上下、前后运行行程都必须有适当的保护，否则就可能损坏生产机械并造成人身事故。这类保护称为位置保护。

位置保护可以采用限位开关、干簧继电器、接近开关等类电器，当运动部件到达限定位置时，使限位开关或继电器动作，其动断触头串联在接触器控制电路中，因动断触头打开而使接触器释放，于是运动部件停止运行。

四、温度、压力、流量、转速等保护

在电气控制电路设计中，常提出对生产机械某一部分的温度、液压或气压系统的压力和流量等的保护要求，即要求以上各物理量限制在一定范围以内。例如，对于冰箱、空调压缩机拖动电动机，因散热条件差，为保证绕组温升不超过允许温升，而直接将测温装置预埋在绕组中来控制其运行状态，以保护电动机不致因过热而烧毁。

大功率中频逆变电源，各类自动电焊机电源的晶闸管、变压器采用水冷，当水压流量不足时将损坏电器元件，因此需要采用水压开关或流量继电器进行保护，各种专用的温度、压力、流量、速度继电器等应运而生。它们的基本原理都是在控制回路中串联一个受这些参数控制的动合触头或动断触头。各种继电器的动作都可以在一定范围内调节，以满足不同场合的保护需要。

五、弱励磁保护

直流电动机只能在一定强度的磁场下才能启动。如果磁场太弱，电动机的启动电流就会很大；如果直流电动机正在运行时磁场突然减弱或消失，电动机转速就会升高甚至发生飞车，因此需要采取弱励磁保护。弱励磁保护是通过电动机励磁回路串入弱磁继电器（电流继电器）来实现的。在电动机运行中，如果励磁电流消失或降低很多，弱磁继电器便释放，其触头切断主回路接触线圈的电源，使电动机失电停车。

六、电动机保护电路示例

1. 用时间继电器防止电压波动造成电动机停止电路

电路如图 3.7.3 所示。

【看图思路】

由图可见，KM 得电吸合后，其线圈电路为 FR (1-3) → KT₁ (3-9) → (KT₂ (5-9) // KM (5-9)) → SB₂ (5-7) → KM 线圈。当电动机工作时，接触器 KM、断电延时时间继电器 KT₁ 和通电延时时间继电器 KT₂ 同时得电吸合，触头 KT₁ (3-9) 闭合、触头 KT₂ (5-9) 断开。当电压波动而使 KM、KT₁、KT₂ 失电释放时，触头 KT₂ (5-9) 立即闭合，而触头

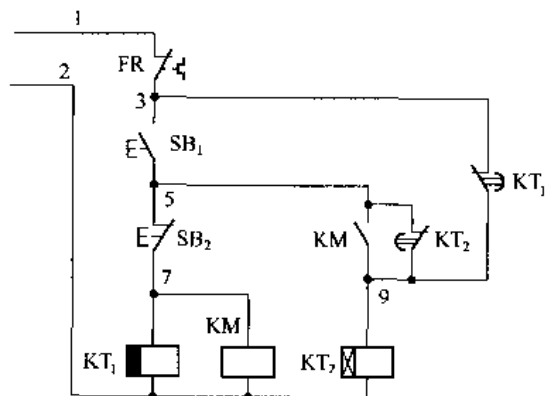


图 3.7.3 用时间继电器防止电压波动造成电动机停止电路

KT₁ (3-9) 却要延时断开, 在 KT₁ 延时时间范围内, 电源恢复正常时, 可使 KM 重新得电吸合, 电动机继续工作。

【看图实践】

启动时, 按下启动按钮 SB₁, 接触器 KM 和时间继电器 KT₁、KT₂ 相继得电吸合, KM 的动合触头 KM (5-9) 闭合, KT₁ 的断电延时断开的动合触头 KT₁ (3-9) 闭合。这样经 KM 的已闭合的动合辅助触头 KM (5-9) 和 KT₁ 的已闭合的动合触头 KT₁ (3-9) 使 KM、KT₁、KT₂ 保持吸合状态。另外, 经延时, KT₂ 延时断开的动断触头 KT₂ (5-9) 断开, 为电压波动造成电动机失电释放重新启动作准备。KM 的主触头闭合, 电动机转动。

停止时, 按下 SB₂, 则 KM、KT₁ 失电释放, 电动机停转, KT₁ 已闭合的动合触头 KT₁ (3-9) 延时断开, KT₂ 失电释放, 其延时断开的动断触头 KT₂ (5-9) 瞬时闭合。

当电路电压波动或短时停电时, KM、KT₁、KT₂ 均失电释放, 电动机停转。但在 KT₁ 的延时断开的动合触头 KT₁ (3-9) 尚未断开前恢复供电, 则 KM 和 KT₁ 仍可经过 KT₁ 和 KT₂ 触头得电吸合、自锁, 电动机自动启动。如果电压在 KT₁ 延时触头断开之后恢复正常, 则控制电路不通, 电动机将不能自行启动。

由上述可知, 电路的延时时间只与 KT₁ 延时时间有关; KT₂ 触头的延时断开时间只要保证大于 KM 触头的固有闭合时间就可以。

2. 相序自动调节和断相保护电路

电路如图 3.7.4 所示。不论三相电源是正相序还是反相序, 都能保证三相电源以正相序的固定模式向电动机供电, 既保护电动机不出现反相序运转, 又能避免花费时间去改换相序接线, 保证电动机供电后一次性投入正常运行。此外, 该电路还具有断相保护功能。

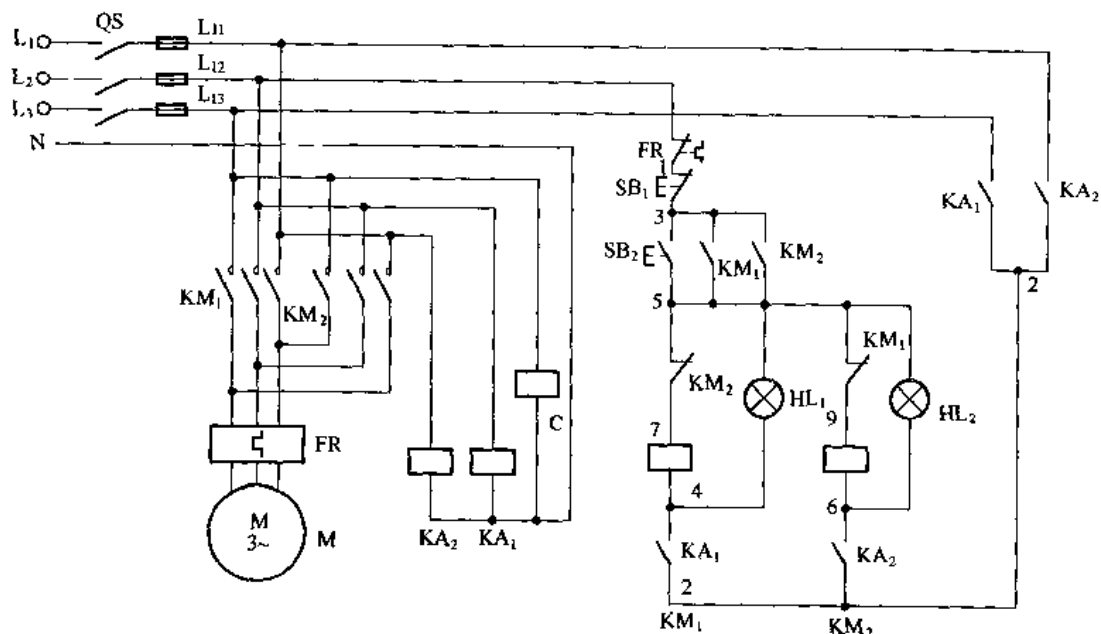


图 3.7.4 相序自动调节和断相保护

【看图思路】

电容 C 和中间继电器 KA₁、KA₂ 接入通常的三相电动机控制电路, 即组成相序调节器。

电容 C 与继电器 KA₁、KA₂ 线圈连接成 Y 形（中点 N'），接在三相电源上。

当三相电源为正相序时，通过分析可知，KA₁ 线圈得电瞬间电压大于 KA₂ 线圈上的电压，因此 KA₁ 得电吸合，而 KA₂ 不动作。继电器 KA₁ 得电吸合后，电容 C 和两个继电器线圈上的电压将重新分配，使原来电压高的一个更高了，电压低的一个更低了。这就决定了已得电吸合的 KA₁ 吸合更牢固，未动作的 KA₂ 更无力动作。因此这种工作状态是稳定的。当三相电源反相序时，KA₁ 不动作，通过改变两个继电器触头的接线，即可实现相序的自动调节（变换）。

【看图实践】

合上开关 QS，在正相序时，中间继电器 KA₁ 动作，其动合触头 KA₁ (L₁₃-2)、KA₁ (4-2) 闭合，此时若按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₁ 得电吸合，使电动机 M 接通正相序的三相电源投入运行。在反相序时，控制继电器 KA₂ 得电吸合，其动合触头 KA₂ (L₁₁-2)、KA₂ (6-2) 闭合。此时若按下启动按钮 SB₂，接触器 KM₂ 得电吸合，将 L₁ 和 L₂ 两相换位后给电动机 M 供电，供给 M 的仍是正相序的三相电源，因此称为相序自动调节器。指示灯 HL₁ 亮，表示电源为正相序；指示灯 HL₂ 亮，则表示电源（KM₁ 之前）为反相序。

接通断路器 QS，继电器 KA₁ 和 KA₂ 仅有一个能动作，另一个不会动作。因此按下启动按钮 SB₂，仅有一个接触器动作，不会出现两个接触器同时动作的可能性。另外，为确保安全，调整相序的两个接触器 KM₁、KM₂ 间互锁，接触器 KM₁ 和 KM₂ 的动断触头串接于对方的线圈回路中。这样，接触器 KM₁ 得电吸合后，其动断触头断开，接触器 KM₂ 只能处于不动作状态；接触器 KM₂ 得电吸合后，其动断触头断开，接触器 KM₁ 就只能处于不动作状态。

不难看出，该相序自动调节器还有断相保护功能。正相序时，KA₁ 得电吸合，其动合触头闭合，启动控制电路由 L₁ 和 L₃ 相供电，因此 L₁ 和 L₃ 中任缺一相，都不能启动电动机。当缺 L₂ 相时，控制继电器 KA₁ 失电，其触头断开，接触器 KM₁ 失电释放，电动机失电，保护了电动机。此时即使 KA₂ 的触头接通也无用，因为 L₂ 相缺相。反相序时，KA₂ 得电吸合，启动控制电路由 KA₂ 的触头接通 L₂ 相，即改由 L₁ 和 L₂ 供电，L₁ 和 L₂ 任缺一相，都不能启动电动机。当缺 L₃ 相时，KA₁ 的触头即使闭合，也无用，而控制继电器 KA₂ 又失电，其触头断开，因此启动控制电路不能接通电源。电机 M 同样无法启动运行。

3. 电动机常用保护电路

电路如图 3.7.5 所示。

【看图思路】

熔断器 FU₁、FU₂ 作为短路保护；热继电器 FR 作过载保护（热保护）；过流继电器 KI₁、KI₂ 作为过流保护；转换开关 SA（图（b））、中间继电器 KA（图（c））作为零压保护；欠电压继电器 KV 作为欠压保护；连锁保护通过正向接触器 KM₁ 与反向接触器 KM₂ 的动断触头来实现。

【看图实践】

(1) 见图 3.7.5 (b) 电路。合上电源开关 QS，当电源电压正常，欠电压继电器 KV 得电吸合，其动合触头 KV (9-11) 闭合，作为中间继电器 KA 得电的条件。电压继电器 KA 起零压保护作用，在该电路中，当电源电压过低或消失时，电压继电器 KA 就要释放，接触器 KM₁ 或 KM₂ 也立即失电释放，由于此时控制器 SA 不在零位（即 SA (①-②) 未闭合），因此在电压恢复时，KA 不会得电吸合，接触器 KM₁ 或 KM₂ 就不能得电吸合。若使电动机重新启动，

则必须先将 SA 打回零位，使触头 SA (①-②) 闭合，使 KA 得电吸合并自锁，然后再将 SA 打向正向或反向位置，使 SA (③-④) 或 (⑤-⑥) 闭合，接触器 KM₁ 或 KM₂ 才能得电吸合，电动机才能启动。这样就通过 KA 继电器实现了零压保护。

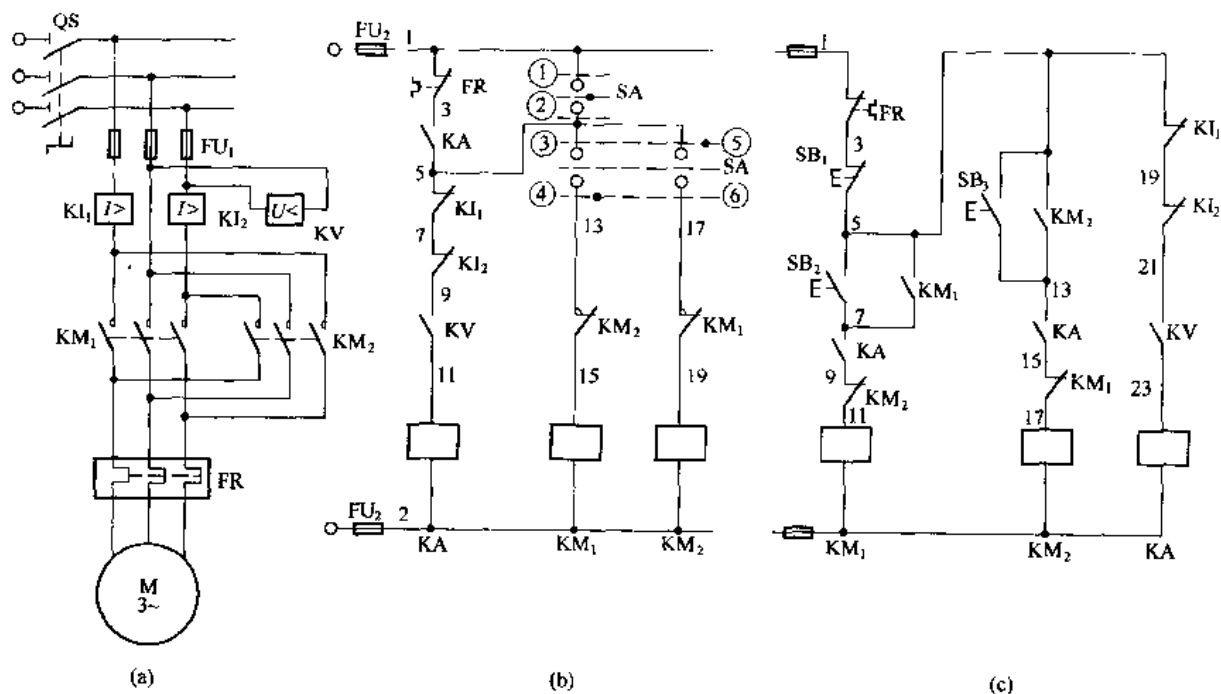


图 3.7.5 电动机常用保护电路

在许多机床中，不是用控制开关操作而是用按钮操作。利用按钮的自动复位作用和接触器的自锁作用，可不必要另加设零压保护继电器。在图 3.1.1 中，当电源电压过低或失电时，接触器 KM 释放，此时接触器 KM 的主触头和辅助触头同时打开，使电动机电源切断并失去自锁。当电源恢复正常时，必须由操作人员重新按下启动按钮 SB₂ 才能使电动机启动。因此，像这样带有自锁环节的电路本身已兼备了零压保护功能。

当电动机过载时，KI₁ 和 KI₂ 动作，其动断触头 KI₁ (5-7) 和 KI₂ (7-9) 断开，使 KA 失电释放，其动合触头 KA (3-5) 断开，进而使 KM₁ 或 KM₂ 失电释放，电动机停转，实现过流保护。

(2) 见图 3.7.5 (c) 电路。合上电源开关 QS，当电源电压正常时，欠电压继电器 KV 得电吸合，其动合触头 KV (21-23) 闭合，使中间继电器 KA 得电吸合。KA 的动合触头 KA (7-9)、KA (13-15) 闭合，作为 KM₁、KM₂ 得电的条件。从而使 KM₁ 或 KM₂ 可以得电吸合，电动机 M 可以正转、反转启动运转。

当欠电压时，KV 失电释放，其动合触头 KV (21-23) 复位断开；当电动机过流时，过流继电器 KI₁ 或 KI₂ 吸合，其动合触头 KI₁ (5-19)、KI₂ (19-21) 断开，使 KA、KM₁、KM₂ 失电释放，电动机停转，从而达到保护电动机的目的。

4. 电动机综合保护电路

对电动机的基本保护，例如过载保护、断相保护、短路保护等，最好能在一个保护装置内同时实现，多功能保护器就是这种装置。图 3.7.6 所示电路就是一种电动机多功能保护电路。

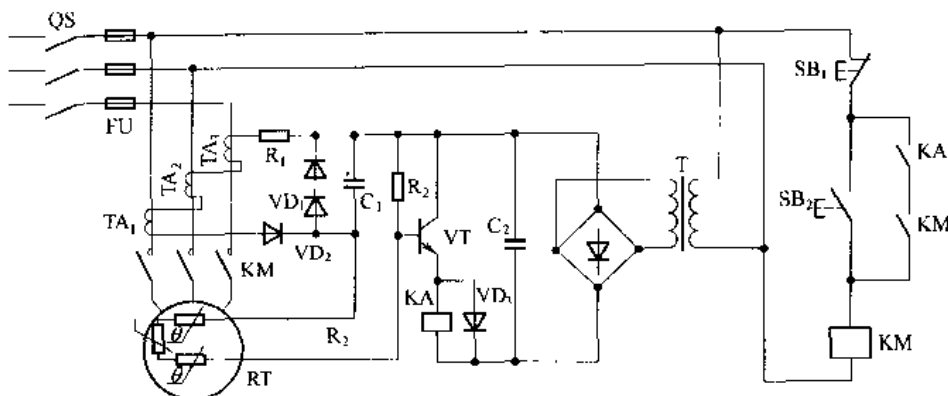


图 3.7.6 电动机多功能保护电路

【看图思路】

由图 3.7.6 可见，接触器 KM 的自锁电路中串接有中间继电器 KA 的动合触头，而 KA 由晶体管 VT 控制，控制 VT 的保护信号由电流互感器 TA₁~TA₃ 和热敏电阻 RT 提供。当电动机正常工作时，VT 导通，KA 得电吸合，其动合触头闭合；当电动机出现故障时，VT 截止，KA 失电释放，其动合触头断开，使 KM 失电释放，进而使电动机 M 失电停转。

【看图实践】

保护信号由电流互感器 TA₁、TA₂、TA₃ 串联后取得。这种互感器选用具有较低磁饱和密度的磁环（例如用软磁铁氧体 MX0-2000 型锰锌磁环）制成。电动机运行时磁环处于饱和状态，因此互感器副边绕组中的感应电动势，除基波外还有三次谐波成分。

当电动机正常运行时，三相的线电流基本平衡（大小相等，相位互差 120°），因此在互感器副边绕组中的基波电动势合成为零，但三次谐波电动势合成后是每相电动势的三倍。取得的三次谐波电动势经过二极管 VD₂ 整流、VD₁ 稳压、电容器 C₁ 滤波，再经过 R₁ 与 R₂ 分压后，供给晶体管 VT 的基极，使 VT 饱和导通。于是继电器 KA 吸合，KA 动合触头闭合。按下启动按钮 SB₂ 时，接触器 KM 得电吸合。

当电动机电源断开一相时，其余两相线电流大小相等、方向相反，互感器三个串联的副边绕组中只有两个绕组感应电动势，且大小相等，方向相反，结果互感器副边绕组总电动势为零，既不存在基波电动势，也不存在三次谐波电动势，于是 VT 的基极电源为零，VT 截止，接在 VT 集电极的继电器 KA 释放，接触器 KM 失电释放，KM 主触头断开，切断电动机电源。

当电动机由于过载或其截故障使其绕组温度过高时，热敏电阻 RT 的阻值急剧上升，改变了 R₁ 和 R₂ 的分压比，使晶体管 VT 的基极电流下降到很低的截值，从而使 VT 截止，继电器 KA 释放，同样能切断电动机电源。

第四章 机床电气控制电路

第一节 看复杂电气控制电路图的方法和步骤

第二章第二节所介绍的查线跟踪看图法，是最基本的看图方法，同样适合于看以下章节所介绍的复杂的电气控制电路图。

查线跟踪看图法的要点是，在控制电路中，根据主电路的控制电器主触头文字符号，找到有关的控制电路以及电路间的相互联系。控制电路的看图方法通常是由上往下或由左往右阅读，然后再设想按动了某操作按钮（应记住各信号元件、控制元件或执行元件的原始状态），查对电路（跟踪追击），观察有哪些电器元件受控动作。逐一查看这些动作电器元件的触头又是如何控制其他元件动作的，进而判断驱动机械或被控对象有何动作。还要继续追查执行元件带动机械运动时，会使哪些信号元件状态发生变化，再查对电路，看执行元件如何动作。在看图过程中，特别要注意相互间的联系和制约关系，直至将电路全部看懂为止。

但是，由操作主令电路（如按钮）开始，查线追踪到主电路控制电路（如接触器）动作，中间要经过许多其他电器元件及其电路，查找起来比较困难。不过，如果与本节介绍的逆读溯源法结合起来，就能较容易地找出通过主令电路控制的主电路的控制电器（如接触器）。

另外，无论多么复杂的电路，都是由一些基本控制电路组成的。如何将复杂的电路分解为简单的基本控制电路，就是本节所要介绍的内容。

一、了解生产工艺与执行电器的关系

电气控制电路是为生产机械和生产过程服务的，不熟悉被控对象及其动作情况，就很难正确地分析电气控制电路。因此，在分析电气控制电路前，应该充分了解生产机械要完成哪些动作，这些动作之间又有什么联系，即熟悉生产机械的工艺情况，必要时可以画出简单的工艺流程图。此外，还应进一步明确生产机械的动作与执行电器的关系，为看懂电气控制电路提供线索。

例如，车床主轴转动时，要求油泵先给齿轮箱供润滑油，即应保证在润滑电动机启动后才允许主拖动电动机启动，也就是控制对象对控制电路提出了顺序控制的要求。

二、通过主电路了解电动机（或其他用电器）的配置情况及其控制

首先，分清主电路和辅助电路；然后，从主电路的电动机（或其他用电器）着手，看上

电路有哪些控制电器元件的主触头、电阻等，根据它们的组合规律就可以大致判断电动机是否有正、反转控制，是否有减压启动控制，是否有制动控制，是否要求调速等。这样在看辅助电路时，就能做到心中有数，有的放矢。

三、化整为零，采用逆读溯源法将电路进行分解

无论多么复杂的电气电路，都是由一些基本的电气控制电路构成的。在分析电路时，要善于化整为零。为此，可以按主电路的构成情况，再利用逆读溯源法，把控制电路分解成与主电路的用电器（如电动机）相对应的几个基本电路，然后利用顺读跟踪法，一个环节一个环节地分析。还应注意那些满足特殊要求的特殊部分，再利用顺读跟踪法把各环节串起来。这样，就不难看懂图了。

1. 行程开关、转换开关的配置情况及其作用

在电气控制电路图的辅助电路中，有许多行程开关、转换开关以及压力继电器、温度继电器等。在控制电路中，这些电器元件没有吸引线圈，其触头的动作是依靠外力或其他因素实现的，因此必须先把引起这些触头动作的外力或因素找到。行程开关由机械联动机构来触压或松开，而转换开关一般由手工操作。这样，它们的触头在设备运行过程中便处于不同的工作状态，触头的闭合或断开分别满足不同的控制要求。

行程开关、转换开关的触头的不同工作状态，单凭看电路图难于搞清楚，必须结合设备说明书、电器元件明细表来明确其用途、操纵行程开关的机械联动机构、触头闭合或断开的不同作用、触头在闭合或断开状态下电路的工作状态等。

一般可将行程开关列成如表 4.1.1 所示的表格，将转换开关列成如表 4.1.2 所示的表格。

表 4.1.1 行程开关工作表

符号	名称	所在图区	用途	触头工作状态		
				操纵联动机构	触头闭合条件及电路工作状态	触头断开条件及电路工作状态

表 4.1.2 转换开关工作表

符号	名称	所在图区	用途	触头闭合时设备工作状态	触头断开时电路工作状态

上述表格中的内容，刚开始可能罗列不全或不确切，在看图过程中可不断补充、修改、完善。

此外，还要注意，有的电路采用行程开关组合或行程开关与转换开关组合方式来控制电路的工作状态，这时就应用行程开关、转换开关的触头进行组合，来分析电路的工作状态。

2. 化整为零

根据电动机主电路控制电器主触头文字符号，在辅助电路中找出控制该电动机接触器线圈及其相关电路，这就是控制该电动机的局部电路。

(1) 根据主电路中主触头的文字符号，在辅助电路中很容易找到该接触器的线圈电路，但该接触器的相关电路就不容易找到，可采用逆读溯源法和顺读跟踪法去寻找。

【逆读溯源法】

① 在接触器线圈电路中串、并联的其他接触器、继电器、行程开关、转换开关的触头，这些触头的闭合、断开就是该接触器得电、失电的条件。

② 由这些触头再找出它们的线圈电路及其相关电路，在这些线圈电路还会有其他接触器、继电器的触头等。

③ 如此找下去，直到找到主令电器为止。

值得注意的是，行程开关、转换开关、按钮、压力继电器、温度继电器等没有吸引线圈，只有触头，这些触头的动作是依靠外力或其他因素实现的，就需要找到其所依靠的外力。另外，当某一个继电器或接触器得电吸合后，应该把它的所有触头所带动的前后级电器元件的作用状态全部找出并列在其电气文字符号的下方。还要注意有多少副触头就有多少条支路，不得遗漏。

【顺读跟踪法】

找出该接触器在其他电路中的辅助动合触头、动断触头，这些触头为其他接触器、继电器得电、失电提供条件或者为互锁、连锁提供条件，引起其他电器元件动作，驱动执行电器。

(2) 控制该电动机的局部电路可能仍然很复杂，还需要进一步分解，直到分解为基本控制电路。

① 根据接触器的启动按钮两端是否直接并联该接触器的辅助动合触头，分解为点动电路和连续控制电路。

② 根据转换开关，可将电路分解为手动、自动控制电路，正向、反向控制电路，并找出其共同的电路部分。

③ 根据通电延时继电器、断电延时继电器的得电、失电，可将电路分解为两种不同的电路工作状态。

④ 根据行程开关组合或者行程开关、转换开关组合，将电路进行分解。

这样就可以将辅助电路一步一步地分解成基本控制电路，然后再综合起来进行总体分析。

(3) 分解辅助电路的注意事项如下：

① 若电动机主轴连接有速度继电器，则表明该电动机采用按速度控制原则组成的停车制动电路。

② 若电动机主电路中接有整流器，则表明该电动机采用能耗制动停车电路。

③ 接触器、继电器得电、失电后，其所有触头都要动作，但其中有的触头动作后，立刻使其所在电路的接触器、继电器、电磁铁等得电或失电，而其中有些触头动作后，并不立使其所在电路的接触器、继电器、电磁铁动作，而是为它们得电、失电提供条件。因此在分析接触器、继电器电路时，必须找出它们的所有触头。在本书中，在每个接触器、继电器的电气文字符号下面标出了触头所在的图区。

④ 机据各种电器元件（如速度继电器、时间继电器、电流继电器、压力继电器、温度

继电器等)在电路中的作用进行分析。应与第三章所介绍的基本控制电路进行比较,对号入座进行分析。

四、集零为整,综合分析

把基本控制电路串起来,采用顺读跟踪法分析整个电路。

第二节 普通车床电气控制电路

车床是一种应用极为广泛的金属切削设备,用于对各种具有旋转表面的工件进行加工,如车削外圆、内圆、端面和螺纹等。除车刀之外,还可用钻头、铰刀和镗刀等刀具进行加工。

一、卧式车床的主要结构、运动形式及控制要求

1. 卧式车床的主要结构

卧式车床的外形结构如图 4.2.1 所示,主要由床身、主轴变速箱、挂轮箱、进给箱、溜板箱、溜板与刀架、尾座、光杠和丝杠等部分组成。

2. 卧式车床的运动形式

为了加工各种旋转表面,车床必须进行切削运动和辅助运动。切削运动包括主运动和进给运动,而除此之外的其他运动皆为辅助运动。

(1) 主运动 指工件的旋转运动,是由主轴通过卡盘或顶尖带着工件旋转,主轴的旋转是由主轴电动机经传动机构拖动的。车削加工时,根据被加工工件的材料性质、加工方式等条件,要求主轴能在一定的范围内变速。另外,为了加工螺纹等工件,还要求主轴能够正、反转。

(2) 进给运动 指刀架的纵向或横向直线运动。刀架的进给运动也是由主轴电动机拖动的,其运动方式有手动和自动两种。在进行螺纹加工时,工件的旋转速度与刀架的进给速度之间应有严格的比例关系,因此,车床刀架的纵向或横向两个方向进给运动是由主轴箱输出轴依次经挂轮箱、进给箱、光杠传入溜板箱而获得的。

(3) 辅助运动 指刀架的快速移动、尾座的移动以及工件的夹紧与放松等。

3. 车床的控制要求

从车床加工工艺特点出发,对中、小型卧式车床的电气控制要求为:

(1) 主轴电动机一般选用三相笼形感应电动机。为了保证主运动与进给运动之间的严格

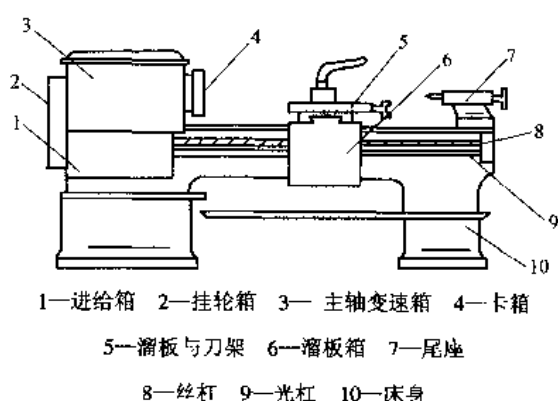


图 4.2.1 卧式车床的外形结构示意图

比例关系，只采用一台电动机来驱动。为了满足调速要求，通常采用机械变速，由车床主轴箱通过齿轮变速箱与主轴电动机的连接来完成。

(2) 为车削螺纹，要求主轴能够正、反向运行。对于小型车床，主轴正反向运行由主轴电动机正反转来实现；当主轴电动机容量较大时，主轴的正反向运行则靠摩擦离合器来实现，电动机只作单向旋转。

(3) 主轴电动机的启动、停止能实现自动控制。一般中小型车床的主轴电动机均采用直接启动；当电动机容量较大时，通采用Y- Δ 减压启动。为实现快速停车，一般采用机械或电气制动。

(4) 车削加工时，为防止刀具与工件温度过高，需用切削液对其进行冷却，为此设置有一台冷却泵电动机，驱动冷却泵输出冷却液，而带动冷却泵的电动机只需单向旋转，且与主轴电动机有连锁关系，即冷却泵电动机动作与否应在主轴电动机之后。当主轴电动机停车时，冷却泵电动机应立即停车。

(5) 为实现溜板箱的快速移动，应由单独的快速移动电动机来拖动，即采用点动控制。

(6) 电路应具有必要的短路、过载、欠压和零压等保护环节，并有安全可靠的局部照明和信号指示。

二、CA6140 型普通车床电气控制电路

CA6140 型普通车床电气控制电路如图 4.2.2 所示。

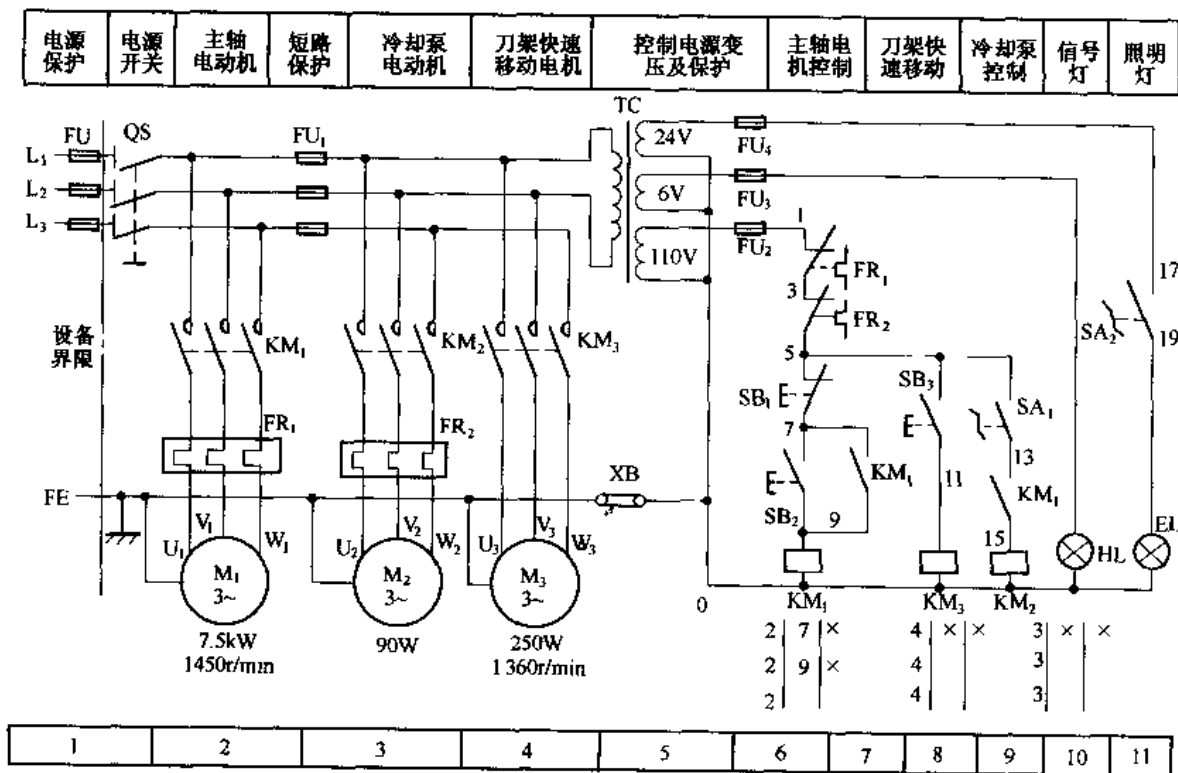


图 4.2.2 CA6140 型普通车床电气控制电路

【看图思路】

由图 4.2.2 可见，主电路中有 3 台控制电动机。

一是主电动机 M_1 ，完成主轴主运动和刀具的纵横向进给运动的驱动。该电动机为不调速的笼形感应电动机，主轴采用机械变速，正反向运行采用机械换向机构。

二是冷却泵电动机 M_2 ，加工时提供冷却液，以防止刀具和工件的温升过高。

三是电动机 M_3 ，为刀架快速移动电动机，可根据需要使用，随时手动控制启动或停止。

电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 容量都小于 10kW，均采用全压直接启动，皆为接触器控制的单向运行控制电路。三相交流电源通过转换开关 QS 引入，接触器 KM_1 的主触头控制 M_1 的启动和停止。接触器 KM_2 的主触头控制 M_2 的启动和停止。接触器 KM_3 的主触头控制 M_3 的启动和停止。 KM_1 由按钮 SB_1 、 SB_2 控制， KM_3 由 SB_3 进行点动控制， KM_2 由开关 SA_1 控制。主轴正反向运行由摩擦离合器实现。

M_1 、 M_2 为连续运动的电动机，分别利用热继电器 FR_1 、 FR_2 作过载保护； M_3 为短期工作电动机，因此未设过载保护。熔断器 $FU_1 \sim FU_4$ 分别对主电路、控制电路和辅助电路实行短路保护。

【看图实践】

关于主电路，已在前面的【看图思路】中作过介绍，现仅介绍控制电路如何对主电路进行控制。

控制电路的电源为由控制变压器 TC 次级输出的 110V 电压。

(1) 主轴电动机 M_1 的控制 采用了具有过载保护全压启动控制的典型环节。按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电吸合，其动辅助动断触头 KM_1 (7-9) 闭合自锁， KM_1 的主触点闭合，主轴电动机 M_1 启动；同时其辅助动合触头 KM_1 (13-15) 闭合，作为 KM_2 得电的先决条件。按下停止按钮 SB_1 ，接触器 KM_1 失电释放，电动机 M_1 停转。

(2) 冷却泵电动机 M_2 的控制 采用两台电动机 M_1 、 M_2 顺序连锁控制的典型环节，以满足生产要求，使主轴电动机启动后，冷却泵电动机才能启动；当主轴电动机停止运行时，冷却泵电动机也自动停止运行。主轴电动机 M_1 启动后，即在接触器 KM_1 得电吸合的情况下，其辅助动合触头 KM_1 (13-15) 闭合，因此合上开关 SA_1 ，使接触器 KM_2 线圈得电吸合，冷却泵电动机 M_2 才能启动。

(3) 刀架快速移动电动机 M_3 的控制 采用点动控制。按下按钮 SB_3 ， KM_3 得电吸合，其主触头闭合，对 M_3 电动机实施点动控制。电动机 M_3 经传动系统，驱动溜板带动刀架快速移动。松开 SB_3 ， KM_3 失电释放，电动机 M_3 停转。

(4) 照明和信号电路 控制变压器 TC 的副边分别输出 24V 和 6V 电压，作为机床照明灯和信号灯的电源。EL 为机床的低压照明灯，由开关 SA_2 控制；HL 为电源的信号灯。

三、CM6132 型车床电气控制电路

CM6132 型车床电气控制电路如图 4.2.3 所示。

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制

M_1 为主轴电动机，由接触器 KM_1 、 KM_2 进行正、反向运行控制。 M_2 为冷却泵电动机，由转换开关 SA_2 进行控制，其电源接在 KM_1 、 KM_2 的出口端，因此只有电动机 M_1 启动后，冷却泵电动机 M_2 才能启动。 M_3 为液压启动电动机，由中间继电器 KA 进行控制。

$M_1 \sim M_3$ 均采用直接启动。

(2) 转换开关 SA₁ 的作用

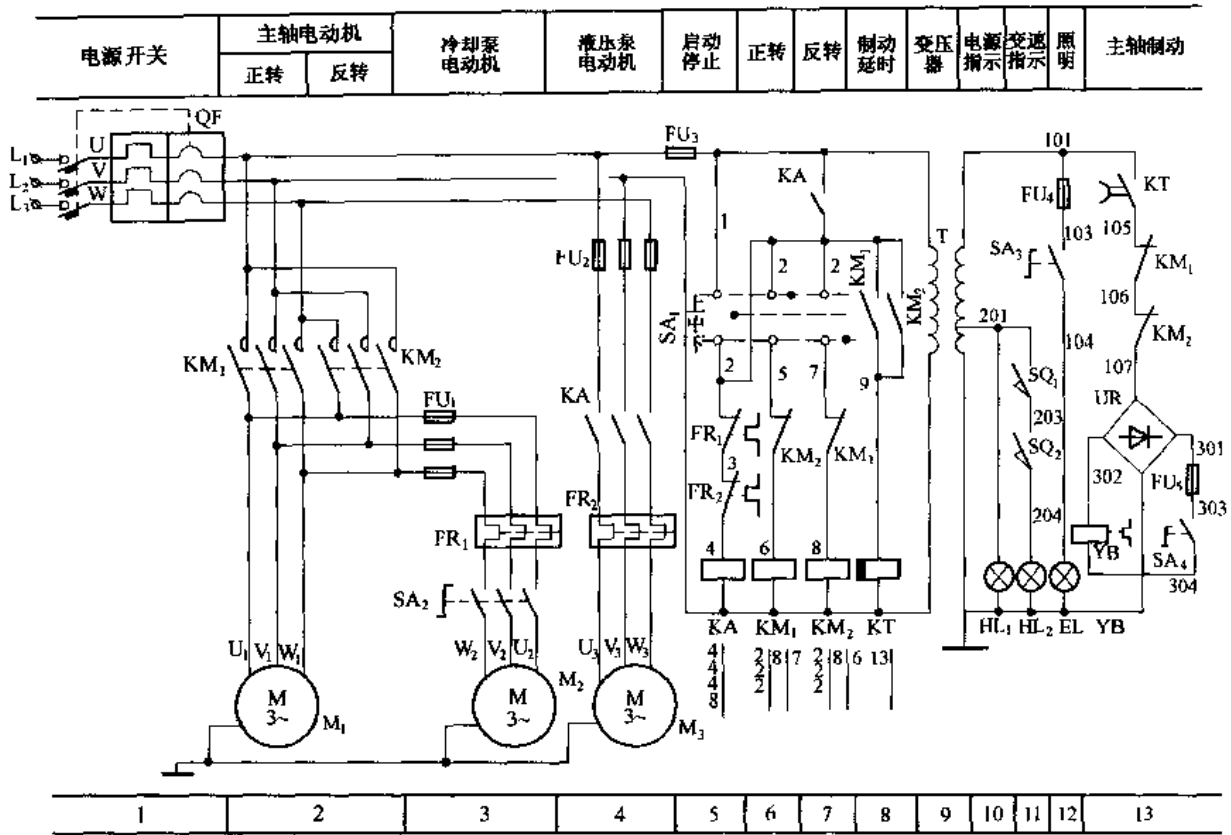


图 4.2.3 CM6132 型车床电气控制电路

转换开关 SA₁ 的触头通、断情况及其作用如表 4.2.1 所示。

表 4.2.1 转换开关 SA₁ 动作表

触 点	操作手柄位置		
	向上	中间	向下
SA ₁ (1-2)	-	+	-
SA ₁ (2-5)	+	-	-
SA ₁ (2-7)	-	-	+
作用	正转	启动、停止	反转

(3) 根据各电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路进行分解

① 根据液压泵电动机 M₃ 主电路控制电器主触头文字符号 KA，在图区 5 找到 KA 的线圈电路，如图 4.2.4 所示，当转换开关 SA₁ 置于中间位置时，可使 KA 得电吸合并自锁。

② 根据主电动机 M₁ 主电路控制电器主触头文字符号 KM₁、KM₂，在图区 6~8 和 13，找到 KM₁、KM₂ 线圈电路及其相关电路，如图 4.2.5 所示。转换开关 SA₁ 为 M₁ 启动、停止控制和正、反转控制的开关，其触头动作情况见表 4.2.1。当 SA₁ 置于中间位置时，其触头 SA₁ (1-2) 闭合，使 KA 得电吸合并自锁，除使 M₃ 得电运转外，还为 KM₁、KM₂ 得电作准备。当转换开关 SA₁ 置于向上或向下位置时，其触头 SA₁ (2-5) 或 SA₁ (2-7) 闭合，使接触器

KM_1 或 KM_2 得电吸合，其主触头分别接通电动机 M_1 定子绕组的正反向运行电源相序而实现正反向运行控制。

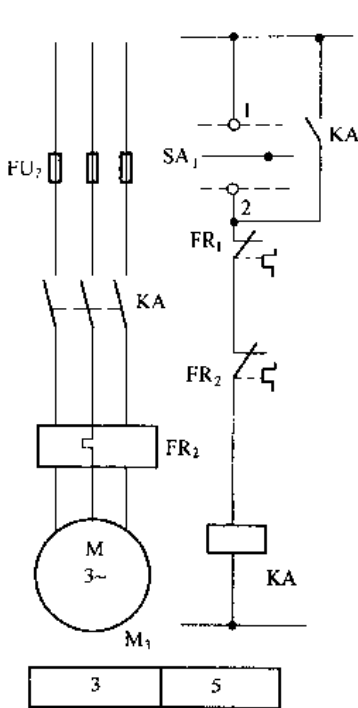


图 4.2.4 液压泵电动机 M_3 的控制电路

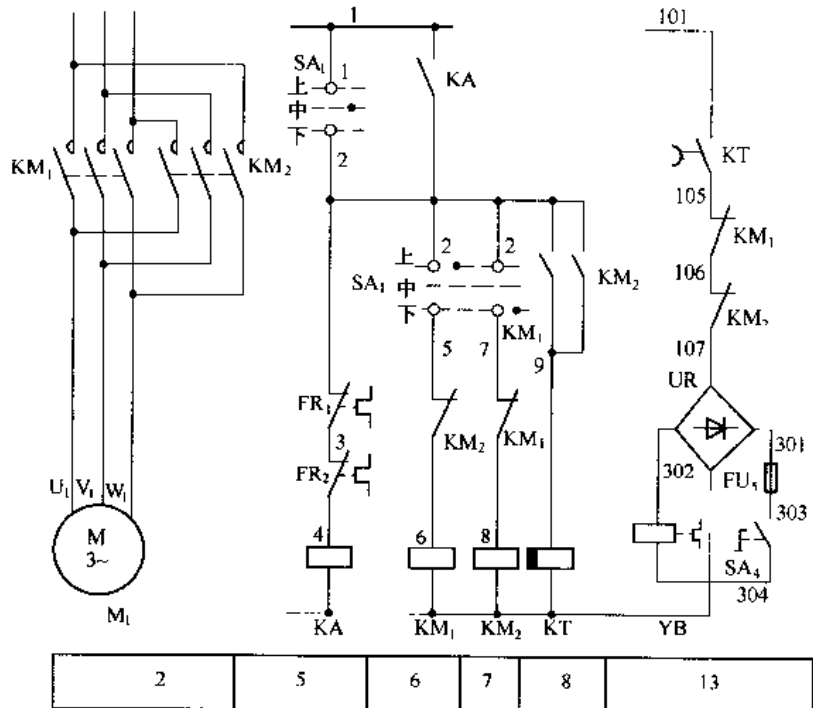


图 4.2.5 主电动机 M_1 的控制电路

由上述分析可知，只有当液压泵电动机 M_3 启动后，才能启动主电动机 M_1 ，对图区 13 所示的电路，电磁制动器 YB 由 KM_1 、 KM_2 、 KT 控制。当 KM_1 或 KM_2 得电吸合时，断电延时继电器 KT 同时得电吸合，因此 KM_1 、 KM_2 的辅助动断触头 KM_1 (105-106) 或 KM_2 (106-107) 断开而 KT 延时断开的动合触头 KT (101-105) 闭合；当 KM_1 或 KM_2 失电释放时， KT 同时失电释放，触头 KM_1 (105-106) 和 KM_2 (106-107) 复位闭合，但触头 KT (101-105) 并不立即断开，而是使 YB 继续得电，对电动机 M_1 进行制动。一旦断电延迟时间到，延时断开的动合触头 KT (101-105) 便复位断开，使 YB 失电，制动结束。

为了看懂该机床电气控制电路，应该搞清楚转换开关 SA_1 和时间继电器 KT 在控制过程中所起的作用。这就是看懂该图的关键。

③ 冷却泵电动机 M_2 由转换开关 SA_2 控制，并且只有 M_1 启动后， M_2 才能启动。

【看图实践】

合上断路器 QS ，机床引入电源。

(1) 液压泵电动机的控制

M_3 是拖动液压泵的电动机，功率为 0.125kW，单向旋转，提供主轴变速装置和润滑的用油。因为电动机容量小，采用转换开关 SA_1 的触头 SA_1 (1-2) 控制中间继电器 KA 来实现对电动机 M_3 的控制。

(2) 电动机 M_1 的控制

① 主电动机 M_1 的正反转控制 当转换开关 SA_1 操作手柄置于中间位置时，其触头 SA_1

(1-2) 接通, 使中间继电器 KA 得电吸合并自锁, 为启动电动机 M_1 作准备。这时, 将 SA_1 操作手柄置于向上位置 (SA_1 (2-5) 闭合) 或向下位置 (SA_1 (2-7) 闭合) 时, 使 KM_1 或 KM_2 得电吸合, 其主触头分别接通电动机 M_1 定子绕组的正转或反转电源相序而实现正反向旋转控制。同时, KM_1 或 KM_2 的动断触头 KM_1 (105-106) 或 KM_2 (106-107) 断开, 为对电磁制动器 YB 提供直流电源作准备。动合触头 KM_1 (2-9) 或 KM_2 (2-9) 闭合, 使断电延时时间继电器 KT 得电吸合, 其延时断开的动合触头 KT (101-105) 闭合, 为对电磁制动器 YC 提供直流电源作准备。

② 主轴电机停机制动控制 主轴制动控制采用电磁制动器制动方法。主轴停机时, 将 SA_1 开关扳到中间位置, SA_1 (1-2) 接通, SA_1 (2-5)、 SA_1 (2-7) 断开, 使接触器 KM_1 或 KM_2 失电释放, 其动断触头 KM_1 (105-106) 或 KM_2 (106~107) 复位闭合, 此时断电延时时间继电器 KT 虽已失电释放, 但其延时断开的动合触头 KT (101-105) 尚未打开, 从而使整流桥 UR 电路接通, 再闭合开关 SA_4 , 对电磁制动器 YB 提供直流电源而实现制动。一旦 KT 延迟时间到, KT 延时断开的动合触点便断开, 切断整流桥电路, 则 YB 失电, 制动结束。

③ 主轴的变速控制 主轴的变速是利用液压机构操纵两组拨叉进行的。变速时只需转动变速手柄, 液压变速阀即转到相应的位置, 使得两组拨叉都移到相应的位置进行位置定位, 并压动微动开关 SQ_1 和 SQ_2 , 灯 HL₂ 亮, 表示变速完成。若滑移齿尚未啮合好, 则灯 HL₂ 不亮, 此时应操作 SA_1 于向上或向下位置, 接通 KM_1 或 KM_2 , 使主轴稍微转动一点, 让齿轮正常啮合, 灯 HL₂ 亮, 说明变速结束, 可进行正常工作启动。

(3) 冷却泵电动机控制

M_2 是冷却泵电动机, 功率为 0.125kW, 单向旋转, 由转换开关 SA_2 手控操作控制。 M_2 电动机的电源接在 KM_1 、 KM_2 主触头之后, 实现了冷却泵电动机应在主轴电动机启动之后再启动的连锁要求。

(4) 锁环节和保护环节

接触器 KM_1 、 KM_2 的辅助动断触头实现正反向电气互锁, 同时实现启动工作与停机制动互锁。利用转换开关 SA_1 机械定位, 实现正反转及工作与停机的连锁。

通过断路器 QF, 实现主轴电动机的短路、过载保护。熔断器 FU_1 、 FU_2 分别实现对电动机 M_2 、 M_3 的短路保护, 熔断器 FU_3 实现对控制电路及控制变压器的短路保护, 熔断器 FU_4 实现对照明电路的短路保护, 熔断器 FU_5 实现直流电路的短路保护。热继电器 FR_1 、 FR_2 分别实现对电动机 M_2 、 M_3 的过载保护。转换开关 SA_1 与继电器 KA 实现零位、零压保护。

(5) 信号显示和照明电路

信号灯 HL₁ 为电源显示。HL₂ 为主轴变速显示, 变速完成 SQ_1 、 SQ_2 压合, 灯 HL₂ 亮。通过转换开关 SA_3 控制照明灯 EL。

四、C650 型卧式车床电气控制电路

C650 型卧式车床属于中型车床, 可加工的最大工件回转直径为 1020mm, 最大工件长度为 3000mm。

C650 型普通车床的电气控制电路如图 4.2.6 所示, 其电器元件明细如表 4.2.2 所示。

表 4.2.2 电器元件明细表

符 号	名称及用途
M ₁	主电动机
M ₂	冷却泵电动机
M ₃	快速移动电动机
KM ₁	主电动机正转接触器
KM ₂	主电动机反转接触器
KM ₃	短接限流电阻接触器
KM ₄	冷却泵电动机启动接触器
KM ₅	快移电动机启动接触器
KA	中间继电器
KT	通电延时时间继电器
SQ	快移电动机点动行程开关
SA	开关
KS	速度继电器
PA	电流表
SB ₁	总停按钮
SB ₂	主电动机正向点动控制
SB ₃	主电动机正转按钮
SB ₄	主电动机反转按钮
SB ₅	冷却泵电动机停止按钮
SB ₆	冷却泵电动机启动按钮
TC	控制变压器
FU ₁ ~FU ₆	熔断器
FR ₁	主电动机过载保护热继电器
FR ₂	冷却泵电动机过载保护热继电器
R	限流电阻
EL	照明灯
TA	电流互感器
QS	隔离开关

【看图思路】

(1) 电动机的配置及其控制

该机床共配置 3 台电动机 M₁、M₂ 和 M₃。

主电动机 M₁（功率为 30kW）完成主轴主运动和刀具进给运动的驱动，采用直接启动方式，可正反两个方向旋转，并可进行正反两个旋转方向的电气制动停车。为加工调整方便，还具有点动功能。电动机 M₁ 控制电路分为 4 个部分：① 由正转控制接触器 KM₁ 和反转控制接触器 KM₂ 的两组主触头构成电动机的正反转电路。② 电流表 PA 经电流互感器 TA 接在主电动机 M₁ 的主路上，以监视电动机绕组工作时的电流变化。为防止电流表被启动电流冲击损坏，利用时间继电器的动断触头，在启动的短时间内将电流表暂时短接。③ 串联电阻限流控制部分，接触器 KM₃ 的主触头控制限流电阻 R 的接入和切除，在进行点动调整时，为防止连续的启动电流造成电动机过载而串入了限流电阻 R，以保证电路设备正常工作。④ 速度

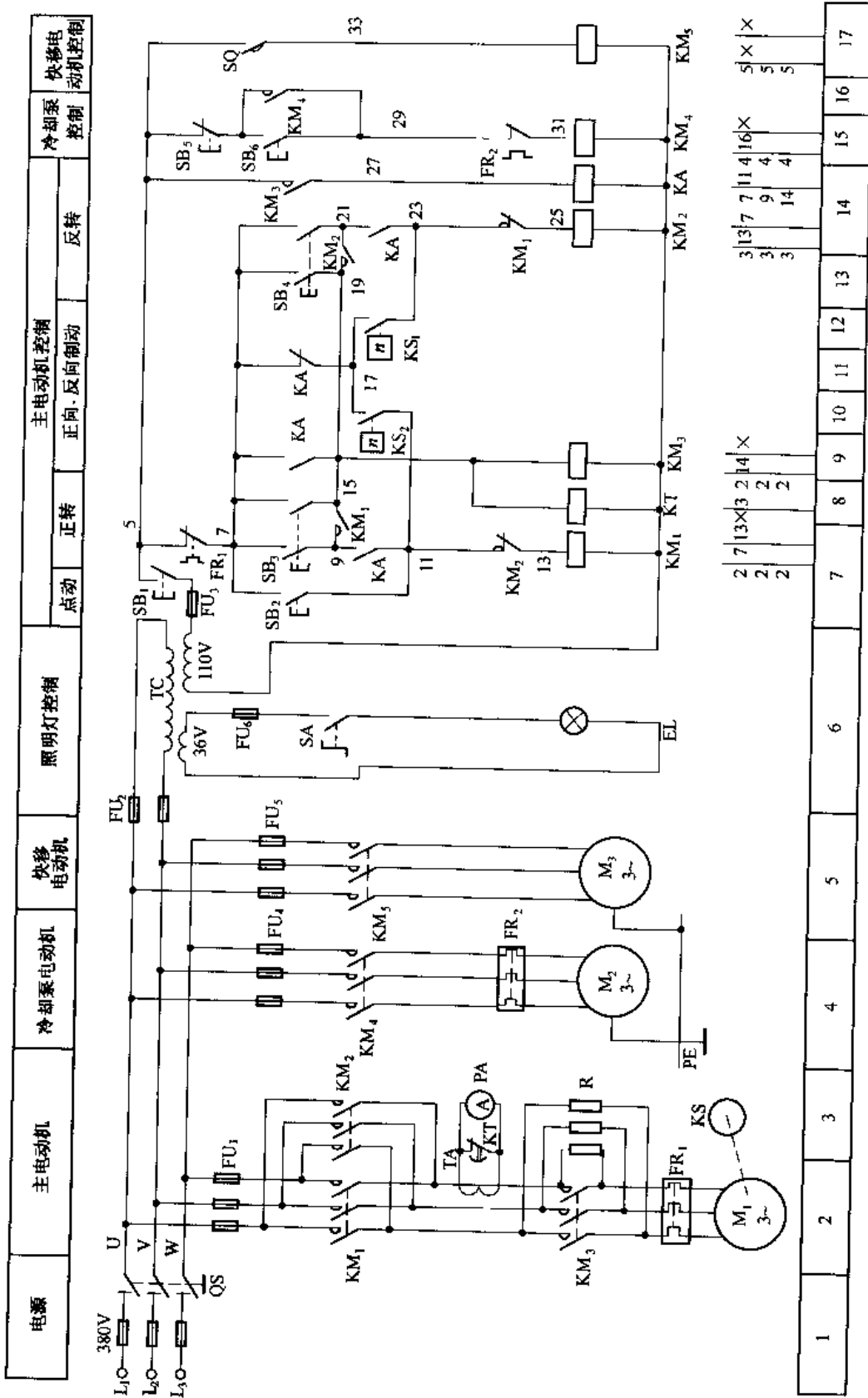


图 4.2.6 C650 型卧式车床控制电路图

继电器 KS 的速度检测部分与电动机的主轴同轴相连，在停车制动过程中，当主电动机转速为零时，其动合触头可将控制电路中反接制动的相应电路切断，完成停车制动。

电动机 M_2 提供切削液，采用直接启动停止方式，为连接工作状态，由接触器 KM_4 的主触点控制其上电路的接通与断开。

快速移动电动机 M_3 由交流接触器 KM_5 控制，根据需要使用，可随时手动控制启停。

为保证主电路的正常运行，主电路中还设置了采用熔断器的短路保护环节和采用热继电器的电动机过载保护环节。

(2) 根据电动机主电路控制电器主触头文字符号将电路进行分解

① 主电动机 M_1 的控制 根据主轴电动机 M_1 主电路（图区 2、3）控制电器主触头文字符号 $KM_1 \sim KM_3$ ，在图区 7~14 可找到 M_1 的控制电路，如图 4.2.7 所示。由于 M_1 主轴上连接有速度继电器 KS ，因此可认定 M_1 采用速度继电器进行反接制动停车。接触器 KM_1 、 KM_2 为控制电动机 M_1 的正、反转接触器，彼此应该互锁，并且作为 M_1 的反、正转停车的反接制动接触器。

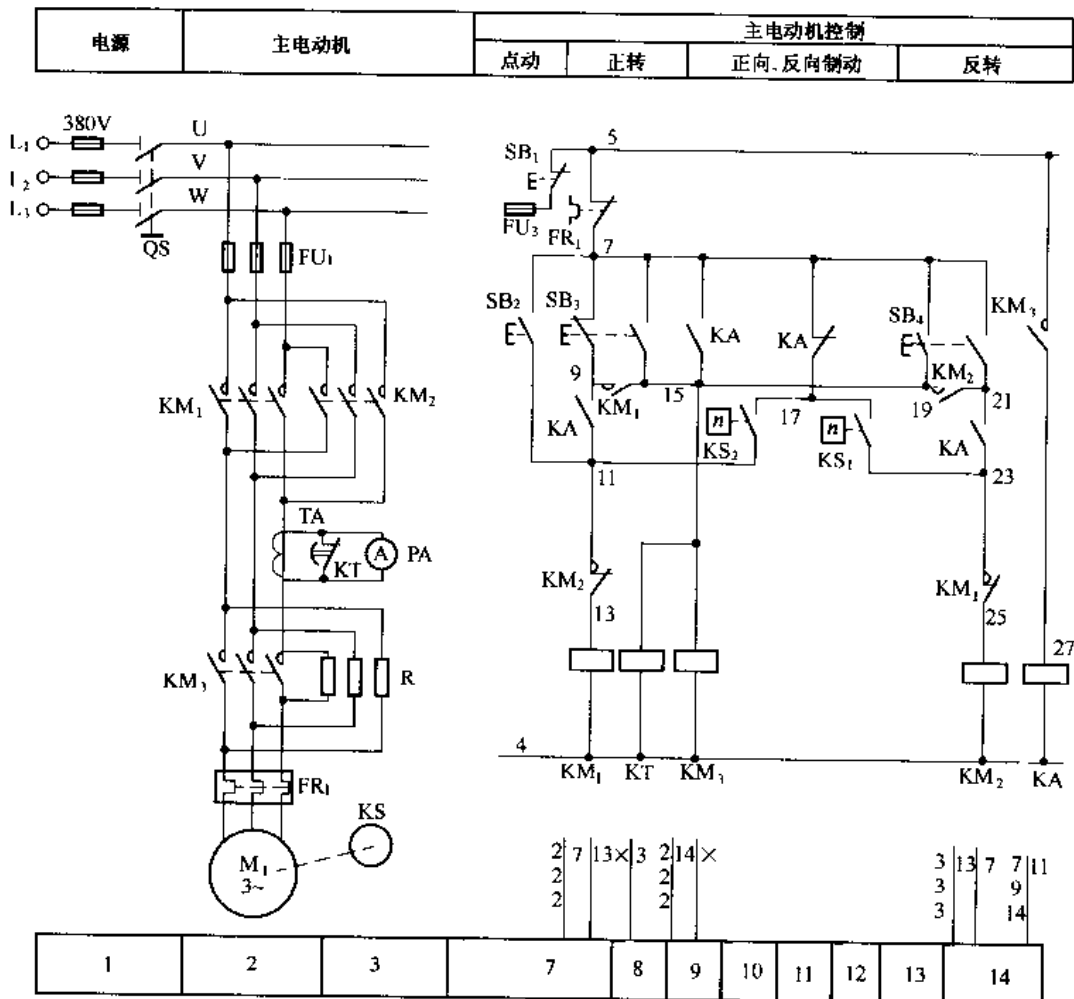


图 4.2.7 主电动机 M_1 的控制电路

下面从操作主令电器（ SB_2 、 SB_3 、 SB_4 ）开始，分析各电器元件间的动作关系。

首先按动 SB_2 ，使接触器 KM_1 得电吸合，电动机 M_1 串接限流电阻 R 并启动运转，但由

于按钮 SB_2 两端并未直接并联 KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (9-15), 因此 SB_2 为 M_1 的点动控制按钮。 M_1 的点动控制电路如图 4.2.8 所示。

若使 M_1 连续运行, 则必须使 KM_1 或 KM_2 得电吸合并自锁, 为此应使中间继电器 KA 得电吸合。若使 KA 得电吸合, 则应使 KM_3 得电吸合。因此, KM_3 得电吸合就是分析该电路的第一个切入点。 KM_3 的作用是利用其主触头控制限流电阻 R 的接入或切断。按下 SB_3 , KM_3 得电吸合, R 被切除; 在反接制动时, KM_3 失电释放, R 被接入。中间继电器 KA 的动合触头 KA (9-11)、 KA (21-23) 闭合, 作为 KM_1 、 KM_2 得电吸合条件; 动合触头 KA (7-15) 闭合, 作为 KM_1 、 KM_2 自锁条件; 而动断触头 KA (7-17) 断开, 为反接制动作准备。 M_1 的正反向运行控制电路如图 4.2.9、图 4.2.10 所示。

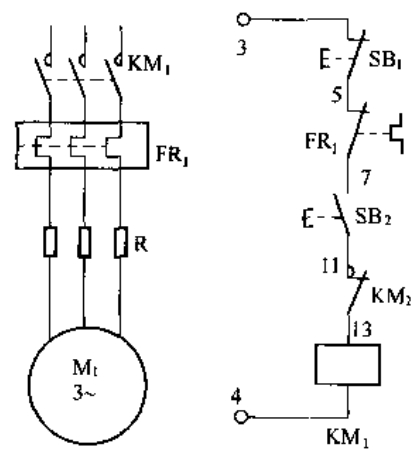


图 4.2.8 M_1 的点动控制电路

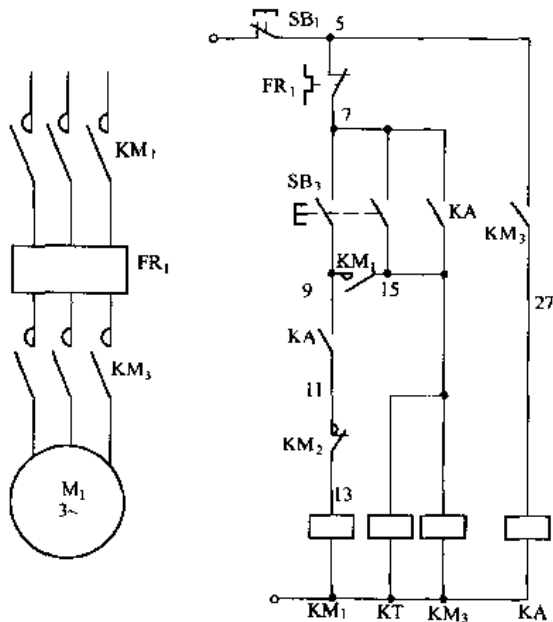


图 4.2.9 主电动机 M_1 的正向运行控制电路

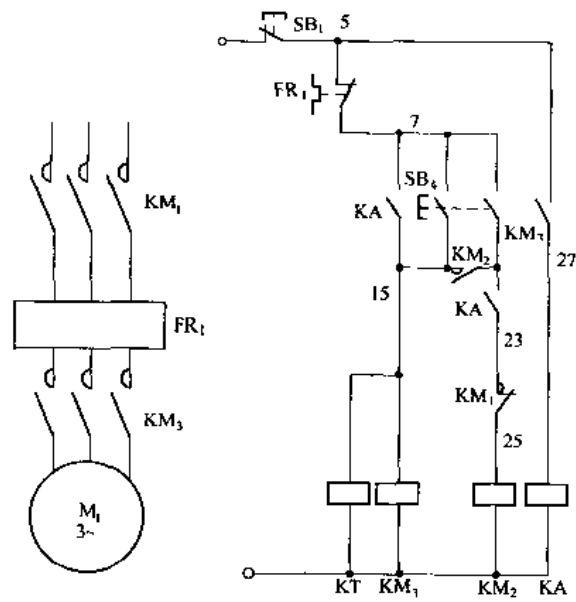


图 4.2.10 主电动机 M_1 的反向运行控制电路

当 M_2 正转或反转正常运行后, 速度继电器 KS 的正向动合触头 KS_1 (17-23) 或反向动合触头 KS_2 (17-11) 闭合, 为反接制动作准备。

由图 4.2.7 可见, 若使 M_1 正转(或反转)进行反接制动停车, 则应使 KA 的动断触头 KA (7-17) 复位闭合, 由此可得正转或反转的反接制动电路, 如图 4.2.11、图 4.2.12 所示。正转(或反转)时, 按下停止按钮 SB_1 , 则 KM_1 (或 KM_2)、 KM_3 、 KA 相继失电释放, 电动机 M_1 串入电阻 R , 依惯性运转, 速度继电器 KS 的正转触头 KS_1 (17-23) (或反转触头 KS_2 (11-17)) 仍保护闭合。按下 SB_1 后, 很快松开, SB_1 复位闭合, 通过 $SB_1 \rightarrow FR_1 \rightarrow KA$ (7-17) $\rightarrow KS_1$ (17-23) $\rightarrow KM_1$ (23-25) (或 $SB_1 \rightarrow FR_1 \rightarrow KA$ (7-17) $\rightarrow KS_2$ (17-11) $\rightarrow KM_2$ (11-13)), 使 KM_2 (或 KM_1) 得电吸合, 电动机 M_1 接入反相序电源, 实现反接制动。由此可见, KM_3 通过控制 KA , 实现由正常运行到反接制动的切换, 因此 KA 得电吸合与失电释放就成为分析该电路的切入点。

KM_3 得电吸合 $\rightarrow KA$ 得电吸合 $\rightarrow KM_1$ 或 KM_2 得电吸合并切断反接制动电路。

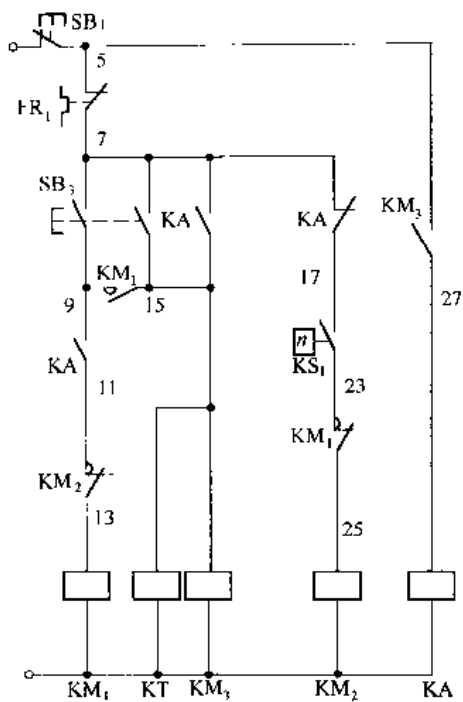


图 4.2.11 主电动机 M_1 的正转反接制动电路

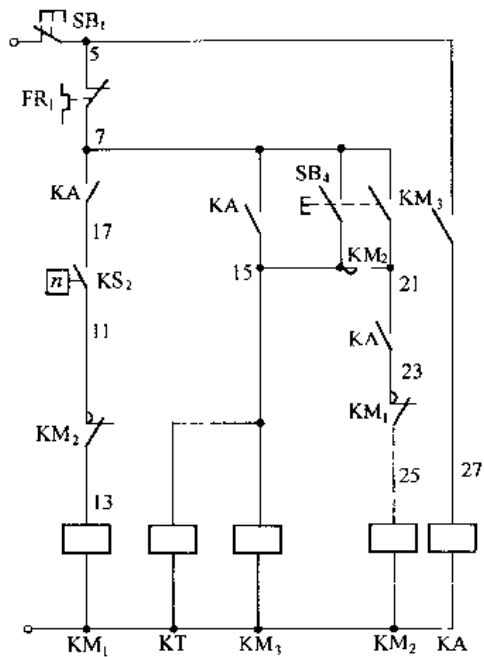


图 4.2.12 主电动机 M_1 的反转反接制动电路

KM_3 失电释放 \rightarrow KA 失电释放 \rightarrow KM_2 或 KM_1 得电吸合并接入反接制动电路。

② 刀架快速移动电动机 M_3 和冷却泵电动机 M_2 的控制 根据 M_2 、 M_3 主电动控制电器主触头文字符号 KM_2 、 KM_3 ，在图区 15~17 找到 M_2 、 M_3 的控制电路，如图 4.2.13 所示。

M_2 由接触器 KM_1 控制， M_3 由转换开关控制。

【看图实践】

关于主电路，在前面的【看图思路】中已作过介绍，现仅介绍控制电路如何对主电路进行控制。

(1) 主电动机 M_1 的控制

由于主电动机控制电路部分复杂，因而还可以进一步将主电动机控制电路划分为正向点动、正反向启动与停车制动等局部控制电路，如图 4.2.8~4.2.13 所示。

① 主轴电动机 M_1 的点动控制（见图 4.2.7、图 4.2.8）按下点动控制按钮 SB_2 ，直接接通 KM_1 线圈电路，电动机 M_1 正向直接启动，这时 KM_3 线圈电路并未接通，因此其主触头不闭合，限流电阻 R 接入主电路限流， KM_3 辅助动合触头不闭合， KA 线圈不能得电工作，从而使 KM_1 不能持续得电。松开按钮 SB_2 ， KM_1 失电释放， M_1 停转，实现了主电动机串联电阻限流的点

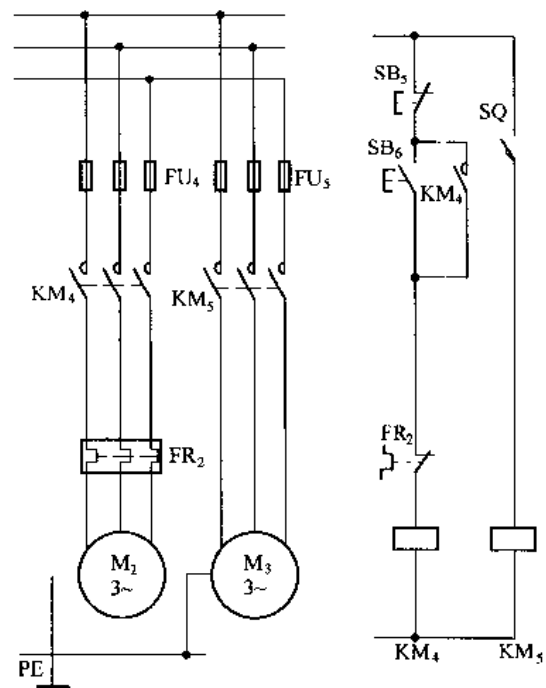
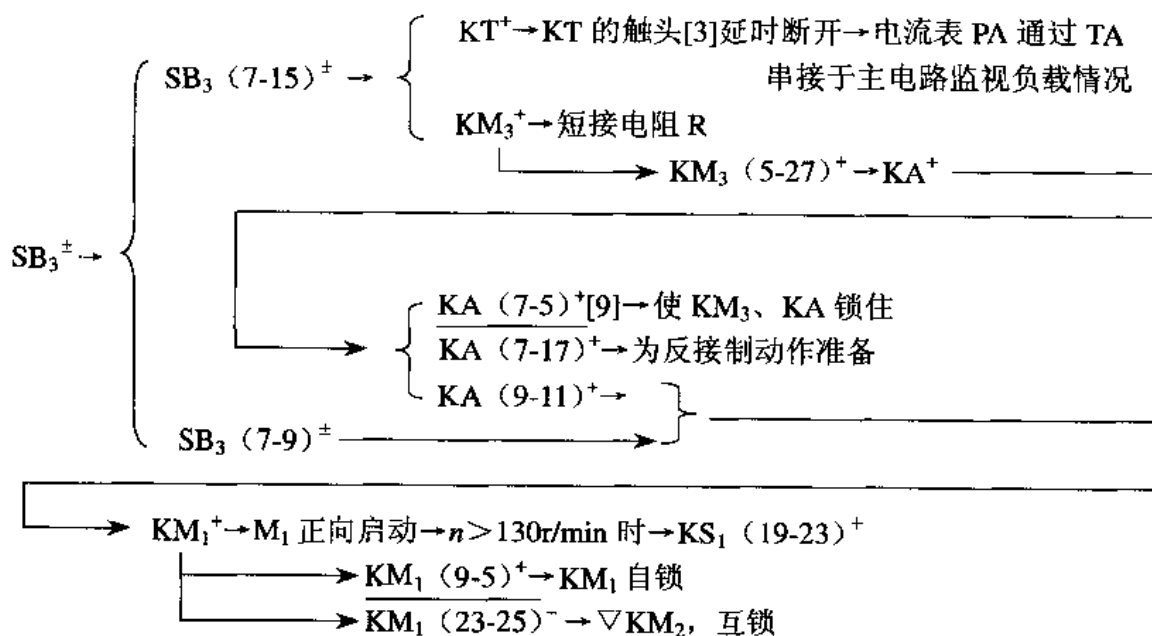


图 4.2.13 M_2 、 M_3 的控制电路

动控制。

② 主电动机正反转启动（见图 4.2.9、图 4.2.10）由图 4.2.9 可知，当按下正转启动按钮 SB_3 时，其两副动合触头 SB_3 （7-9）、 SB_3 （7-15）同时闭合。动合触头 SB_3 （7-15）闭合，使接触器 KM_3 和通电延时继电器 KT 同时得电吸合， KT 延时断开的动断触头在主电路中短接电流表 PA ，经延时断开后，电流表接入电路正常工作。 KM_3 的主触头将主电路中限流电阻短接，其辅助动合触点 KM_3 （5-27）闭合，使中间继电器 KA 得电吸合， KA 的动断触头 KA （7-17）断开，将停车制动的电路切除，其动合触头 KA （9-11）与 SB_3 的另一动合触点 SB_3 （7-9）均在闭合状态，控制主电动机的接触器 KM_1 得电工作，其主触点闭合，电动机正向直接启动， KM_1 的动断辅助触头 KM_1 （23-25）断开，使 KM_2 不能得电吸合，实现互锁。同时， KM_1 的动断辅助触头 KM_1 （9-15）闭合，它与已闭合的动合触头 KA （7-15）将 KM_1 锁住， KA （7-15）闭合将 KM_3 锁住，启动结束。松开 SB_3 ， KM_1 、 KM_2 、 KA 仍得电吸合，电动机 M_1 正向转动。上述控制过程用助记符表示则为：



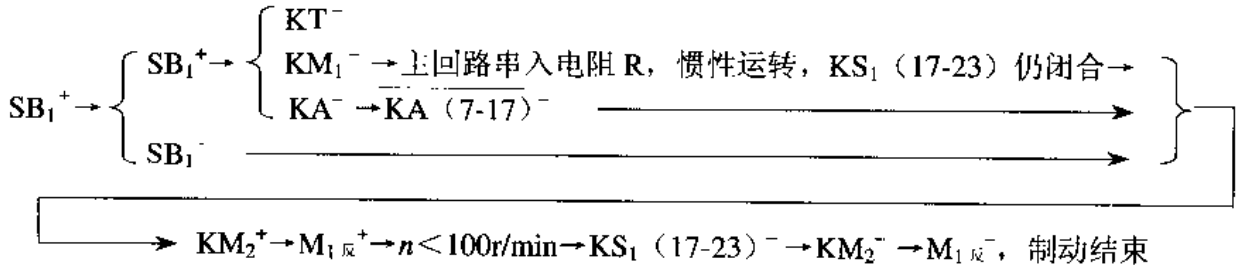
反向直接启动控制过程与其相同，只是启动按钮为 SB_4 。

③ 主轴电动机 M_1 的正、反向运行的反接制动停车控制（见图 4.2.11、图 4.2.12）采用反接制动方式进行停车制动，按下停止按钮后开始制动过程。当电动机转速接近零时，速度继电器的触头打开，结束制动。

由图 4.2.11 可知，当电动机正向转动时，速度继电器 KS 的动合触头 KS_1 （17-23）闭合，制动电路处于准备状态，按下停止按钮 SB_1 ，使 KM_1 、 KM_3 、 KA 相继失电释放， M_1 主电路串入电阻 R （限制反接制动电流），此时控制反接制动电路工作与不工作的 KA 的动断触头 KA （7-17）复位闭合。松开 SB_1 （复位闭合），它与 KS 的动合触头 KS_1 （17-23）（由于惯性， KS 的正向动合触头 KS_1 （17-23）仍闭合）一起将反向启动接触器 KM_2 的线圈电路接通，其主触头将电源相序反接，电动机 M_1 反向启动，反向启动转矩平衡正向惯性转动转矩，强迫电动机迅速停车。当电动机速度趋于零时，速度继电器触头 KS_1 （17-23）复位断开，切断

KM_2 的线圈电路，完成正转的反接制动。

电动机正转时，速度继电器 KS 的正向动合触头 KS_1 (17-23) 仍闭合。 M_1 正向运转反接制动电器动作顺序用助记符表示则为：



反转时的反接制动工作过程相似，在反转状态下， KS 的触头 KS_2 (17-11) 闭合，制动时，接通接触器 KM_1 的线圈电路，进行反接制动。

停车时，按下停止按钮 SB_1 (按下后应很快松开，使 SB_1 复位闭合，否则控制电路无电，不能进行反接制动)。

(2) 刀架的快速移动和冷却泵电动机的控制 (见图 4.2.13)

刀架的快速移动由刀架快速移动电动机 M_3 拖动。当刀架快速移动操作手柄压动位置开关 SQ ，使接触器 KM_5 得电吸合，其主触头闭合，使电动机 M_3 启动，经传动系统驱动溜板箱带动刀架快速移动。当刀架快速手柄移开时，便不再压合 SQ ， KM_5 失电释放， M_3 停止转动，刀架快速移动结束。

冷却泵电动机 M_2 由启动按钮 SB_6 、停止按钮 SB_5 控制接触器 KM_4 的得电、失电，以实现电动机 M_3 的控制。

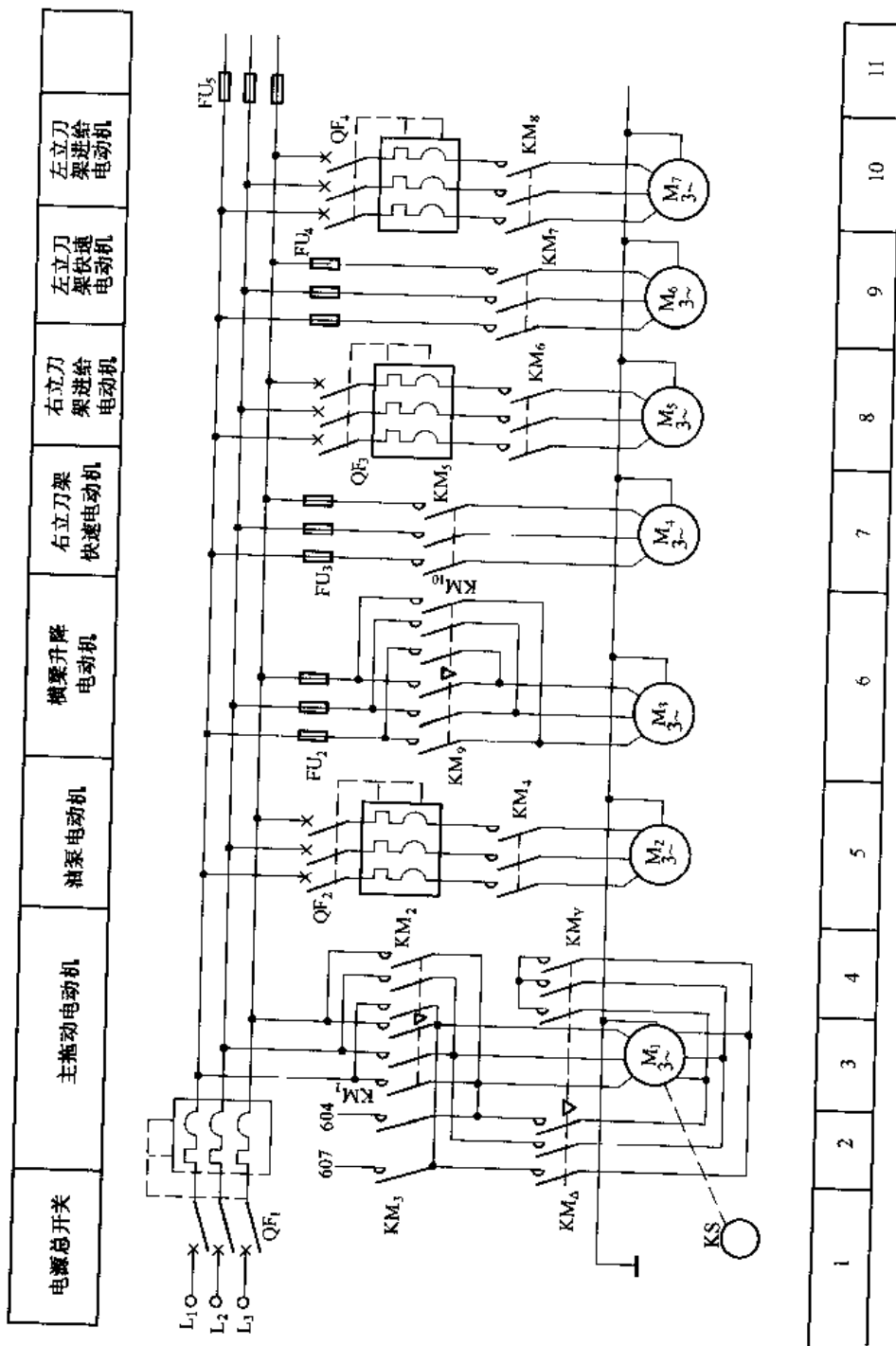
(3) 主轴电动机负载检测及保护环节

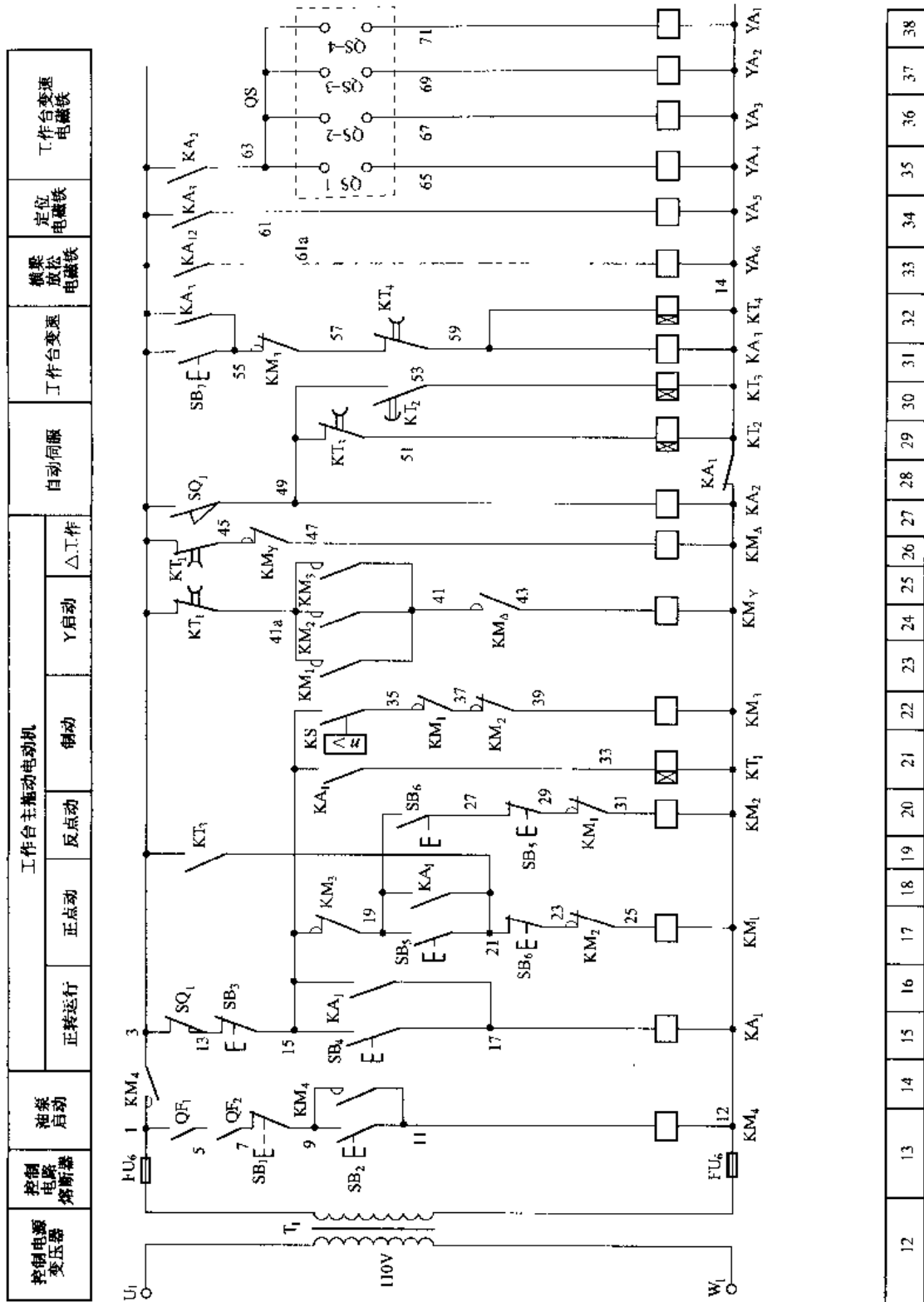
C650 型车床采用电流表 PA 监测 M_1 定子电流，监视主轴电动机 M_1 负载情况。电流表 PA 是通过电流互感器 TA 接入的，为防止电动机启动电流的冲击，采用通电延时时间继电器的延时闭合的动断触头并联在电流表两端。启动时， KT 线圈得电吸合，其延时断开的动合触头尚未断开，电流互感器二次侧电流通过该触头构成闭合回路，电流表没有电流流过。启动完成后， KT 延时断开的动断触头断开，将电流表接入，监视负载电流的大小，因此 KT 的延时时间就是 M_1 的启动时间。而当 M_1 停车反接制动时，按下 SB_1 ，此时 KM_1 (或 KM_2)、 KA 、 KT 相继失电释放， KT 触头瞬时闭合，将电流表 PA 短接，使 PA 不会受到反接制动电流的冲击。

五、C5225 型双柱立式车床电气控制电路

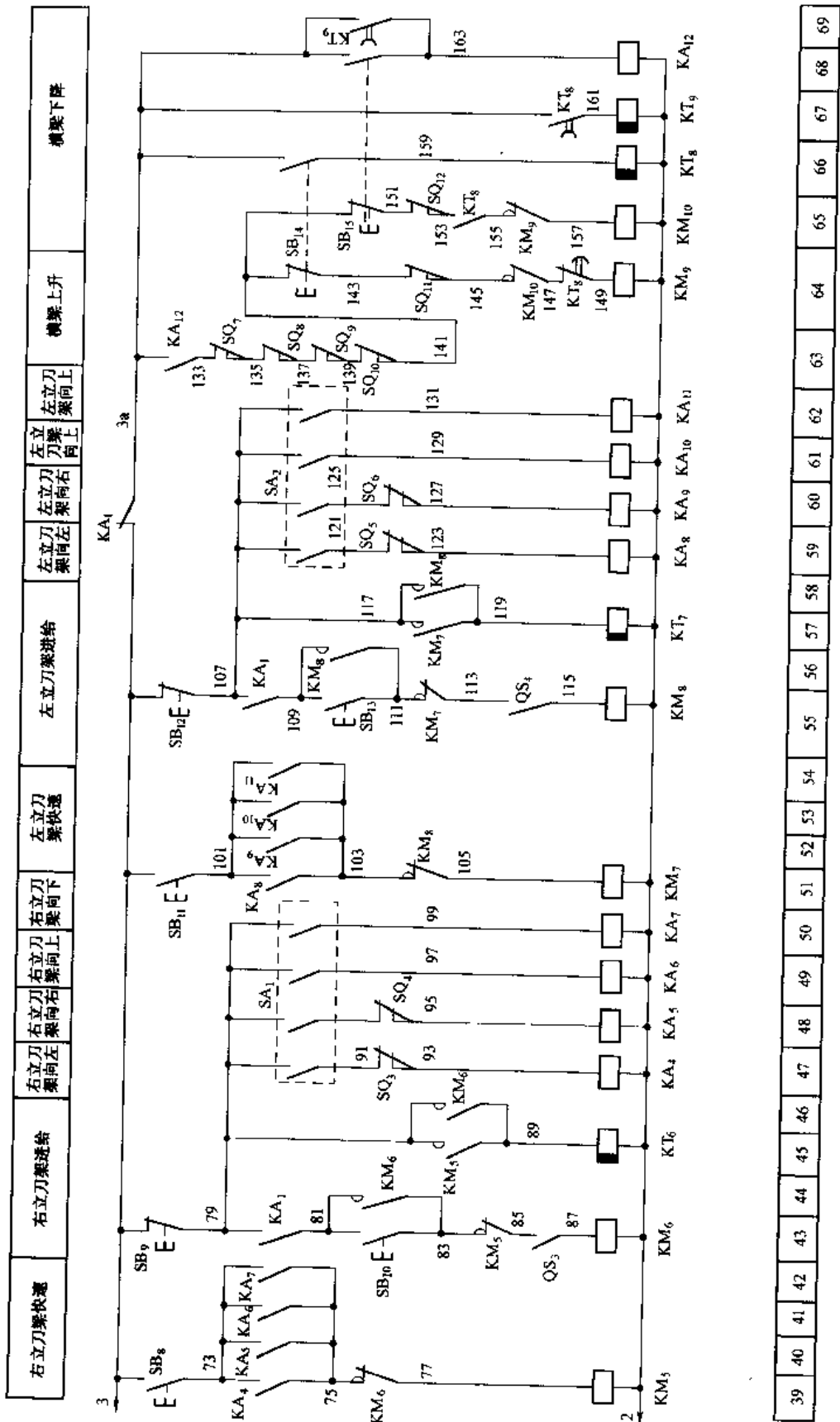
立式车床用于加工径向尺寸大而轴向尺寸相对较小且形状比较复杂的大型和重型零件，如各种机架、体壳类零件。

图 4.2.14 为 C5225 型双柱立式车床电气控制电路。



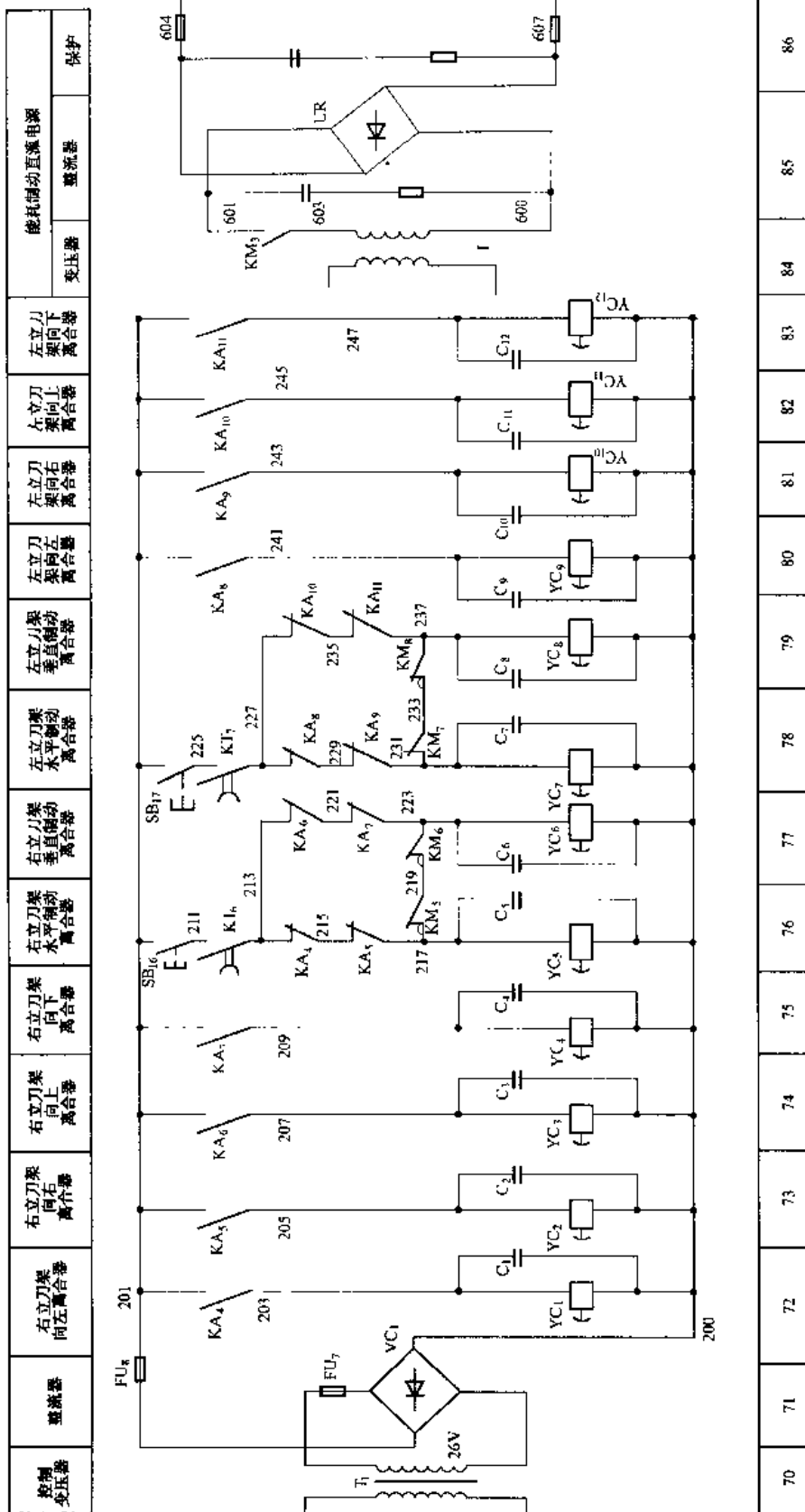


(b)



39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(c)



(d)

图 4.2.14 C5225 型双柱立式车床电气控制电路图

【看图思路】

(1) 电动机的配置情况及其控制

该机床共配置 7 台电动机。

① M_1 为工作台主拖动电动机。主拖动电动机通过变速箱实现 16 种转速的变换，工作台由主拖动电动机经变速箱直接启动和制动，工作台仅有正向工作转动，但可作正反向点动，以便于调整刀具，工作台采用能耗制动。

为减小主拖动电动机 M_1 的启动电流对电网的冲击，在工作台启动时，由接触器 KM_Y 将绕组接成 Y 形启动，在启动完成后，使接触器 KM_Y 失电， KM_Δ 得电， M_1 接成 Δ 形运行；在工作台点动控制时，电路只能接通 KM_Y ，不能接通 KM_Δ ，使工作台在 Y 形接法下正向点动或反向点动，从而有效地减小了 M_1 的启动电流。

为使工作台停车准确、平稳，保证加工精度，停车时将主拖动电动机 M_1 的三相交流电源断开，由接触器 KM_3 接通桥式整流能耗制动电路，对 M_1 进行能耗制动。与 M_1 同轴旋转的速度继电器 KS 用于检测电动机是否停转。当 M_1 的转速下降到 $120r/min$ 以下时， KS 的动合触头 $KS(15-35)$ 断开， KM_3 失电，制动结束。

② M_2 为油泵电动机，供给机床工作台润滑和液压装置的压力油。为保证机床在润滑良好的情况下工作，将 KM_4 的辅助动合触头 $KM_4(1-3)$ 串在控制电路的供电电路中。因此，必须先启动油泵电动机 M_2 ，机床才能工作。

③ M_3 为横梁升降电动机，由接触器 KM_9 、 KM_{10} 控制其正、反转，通过机械传动使横梁沿立柱导轨上下移动。

④ M_4 为右立刀架快速电动机， M_5 为右立刀架进给电动机， M_6 为左立刀架快速电动机， M_7 为左立刀架进给电动机，分别由接触器 KM_5 、 KM_6 、 KM_7 、 KM_8 控制，单向旋转。左、右立刀架各个方向的运动分别由各自的电磁离合器进行控制。

(2) 行程开关的作用

QS 为工作台 16 级变速开关。 SQ_1 为机械连锁杠杆触动的变速行程开关，其触头工作状态如表 4.2.3 所示。 SQ_3 、 SQ_4 为右刀架右运动的极限保护、右刀架右运动的极限保护行程开关。 SQ_5 、 SQ_6 为左刀架左运动的极限保护、左刀架右运动的极限保护行程开关。 SQ_{11} 、 SQ_{12} 为横梁上、下运动的极限保护行程开关。

表 4.2.3 SQ_1 触头工作状态

触 头	图 区	主电动机正常工作	主电动机 M_1 变速
$SQ_1(3-13)$	15	闭合	断开
$SQ_1(3-49)$	27	断开	闭合

(3) 根据电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路进行分解

① 液压泵电动机 M_2 的控制电路 根据电动机 M_2 主电路控制电器主触头文字符号 KM_4 ，在图区 13、14 中找到 M_2 的控制电路。可以看出，只有 KM_4 得电吸合并自锁，液压泵电动机 M_2 启动后，其辅助动合触头 $KM_4(1-3)$ [14] 闭合，控制电路才有电。

② 主电动机 M_1 的控制电路 根据主拖动电动机 M_1 主电路控制电器主触头的文字符号 $KM_1 \sim KM_3$ 、 KM_Y 、 KM_Δ ，在图区 15~26 和图区 84~86 中找到 $KM_1 \sim KM_3$ 、 KM_Y 、 KM_Δ 的线圈电路及相关电路。再根据主令电器 SB_5 [17]、 SB_6 [20] 和 SB_4 [15] 将电路进行分解。

在图区 17 的 KM_1 线圈电路中，按下 SB_5 ，使 KM_1 得电吸合，其动合触头 $KM_1(41a-41)[24]$ 闭合，随之使 $KM_Y[24]$ 得电吸合，主电动机 M_1 在 Y 连接下正转减压启动。同样，在图区 [20] 的 KM_2 线圈电路中，按下 SB_6 ，使 KM_2 得电吸合，其动合触头 $KM_2(41a-41)$ 闭合，随之使 $KM_Y[24]$ 得电吸合，主电动机 M_1 在 Y 连接下反转减压启动。但松开 SB_5 （或 SB_6 ），则 KM_1 或 KM_2 立即失电释放， KM_Y 随之也失电释放， M_1 停转，因此 SB_5 、 SB_6 为点动启动按钮。 M_1 的正、反转点动控制电路如图 4.2.15 所示。

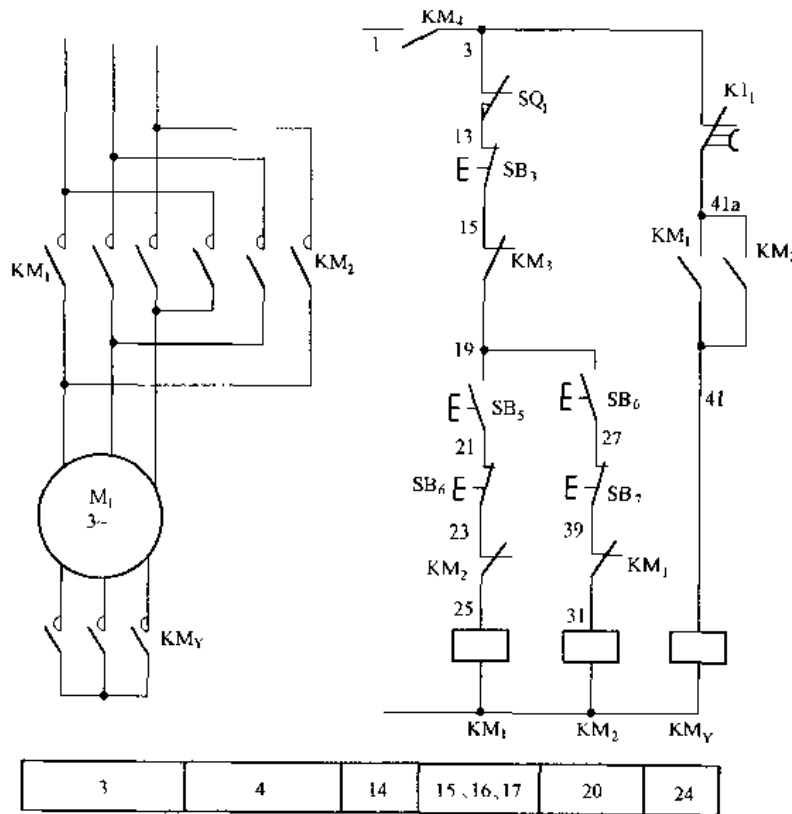
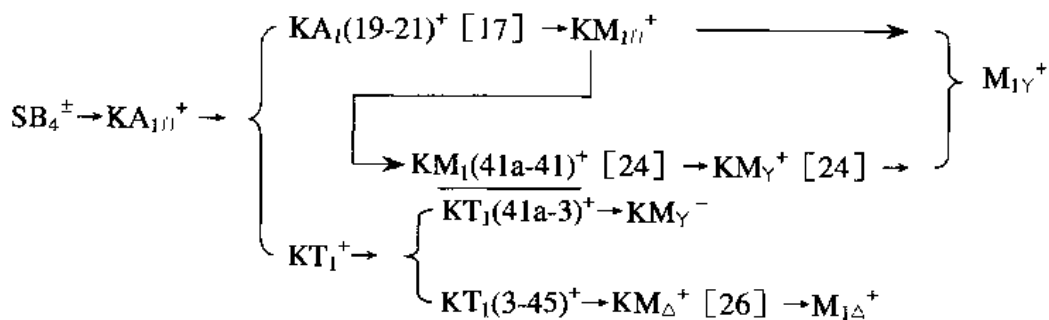


图 4.2.15 主电动机 M_1 的正、反转点动控制电路

在 $KA_1[15]$ 的线圈电路中，按下 SB_4 ， KA_1 得电吸合，只可使 KM_1 得电吸合并自锁，因此电动机 M_1 只有正向运行电路。按下 SB_4 则：



由此可得出 M_1 的正转启动电路，如图 4.2.16 所示。

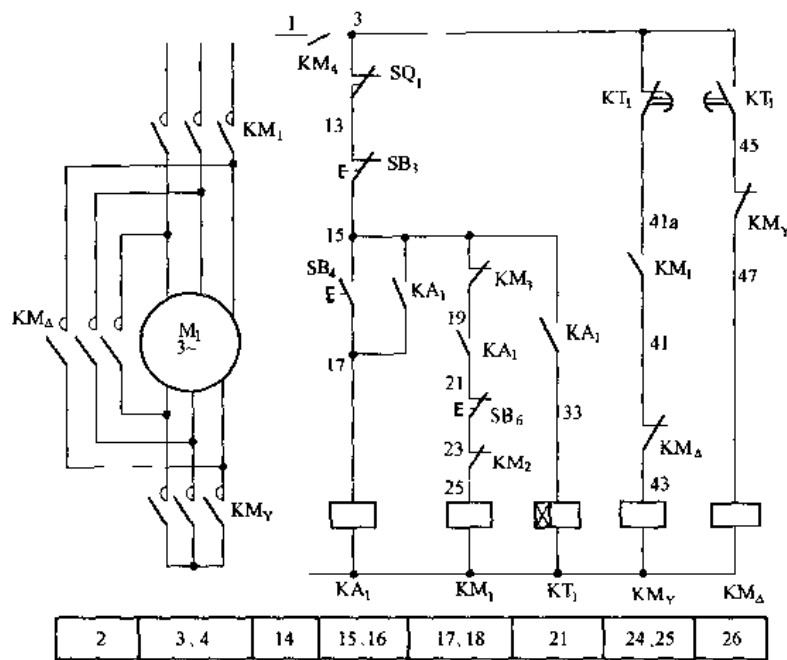


图 4.2.16 M₁ 正转启动的控制电路

由图区 2~4 和图区 84~86 可以看出, 在 KM₁ (或 KM₂)、KM_Δ 失电释放而 KM₃ 和 KM_γ 得电吸合时, 对电动机 M₁ 进行能耗制动, 其电路如图 4.2.17 所示。

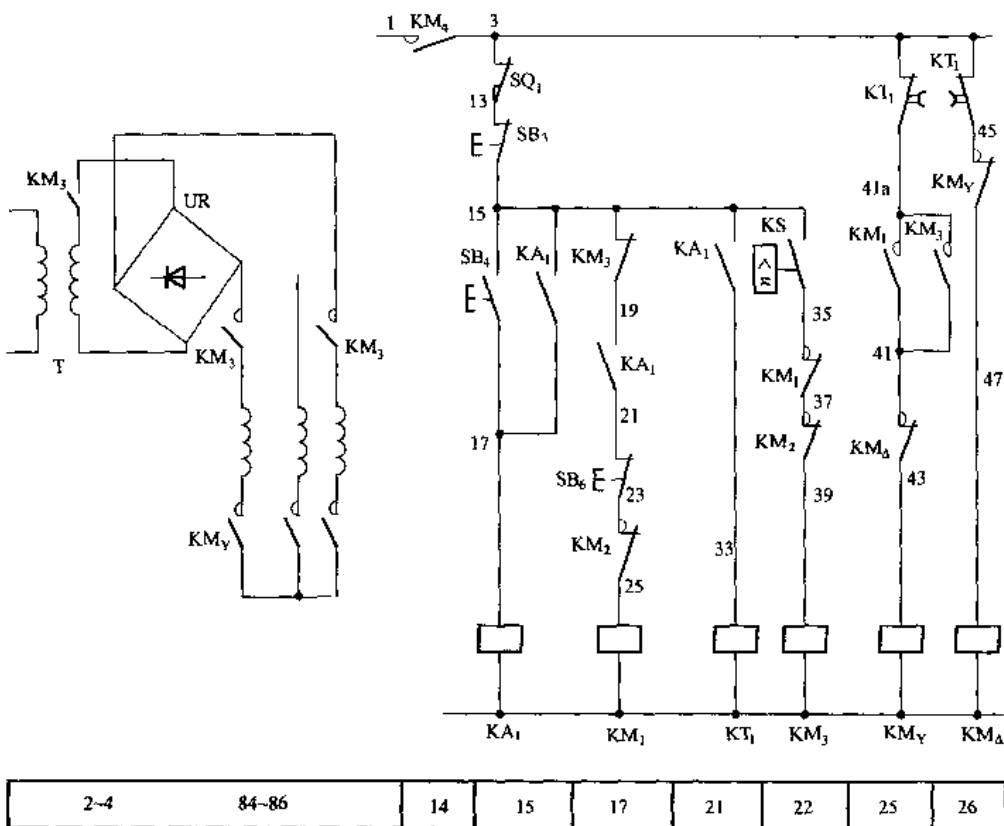


图 4.2.17 电动机 M₁ 全波整流能耗制动电路

由图区 15 可看出，机械连锁杠杆使 SQ_1 受压，其动断触头 SQ_1 (3-13) 断开，使 KA_1 、 KM_1 、 KM_2 、 KT_1 和 KM_3 均失电释放，只有通过 KT_3 的瞬动动合触头 KT_3 (3-21) [18] 才能使 KM_1 得电吸合，而 KM_1 得电吸合，又能使 KM_7 得电吸合，电动机 M_1 在 Y 连接下启动运转；由图区 30 可以看出， KT_3 受 KT_2 控制。 SQ_1 的动合触头 SQ_1 (3-49) [27] 闭合，使 KA_2 、 KT_2 得电吸合。 KT_2 得电吸合，可使 KT_3 得电吸合； KA_2 得电吸合，通过工作台 16 级变速开关 QS 可使相应电磁阀 $YA_1 \sim YA_4$ 得电吸合。

位置开关 SQ_1 受电磁阀 YA_5 [34] 控制，而 YA_5 又由 KA_3 [31] 控制。这样，可得出 M_1 的变速控制电路，如图 4.2.18 所示。

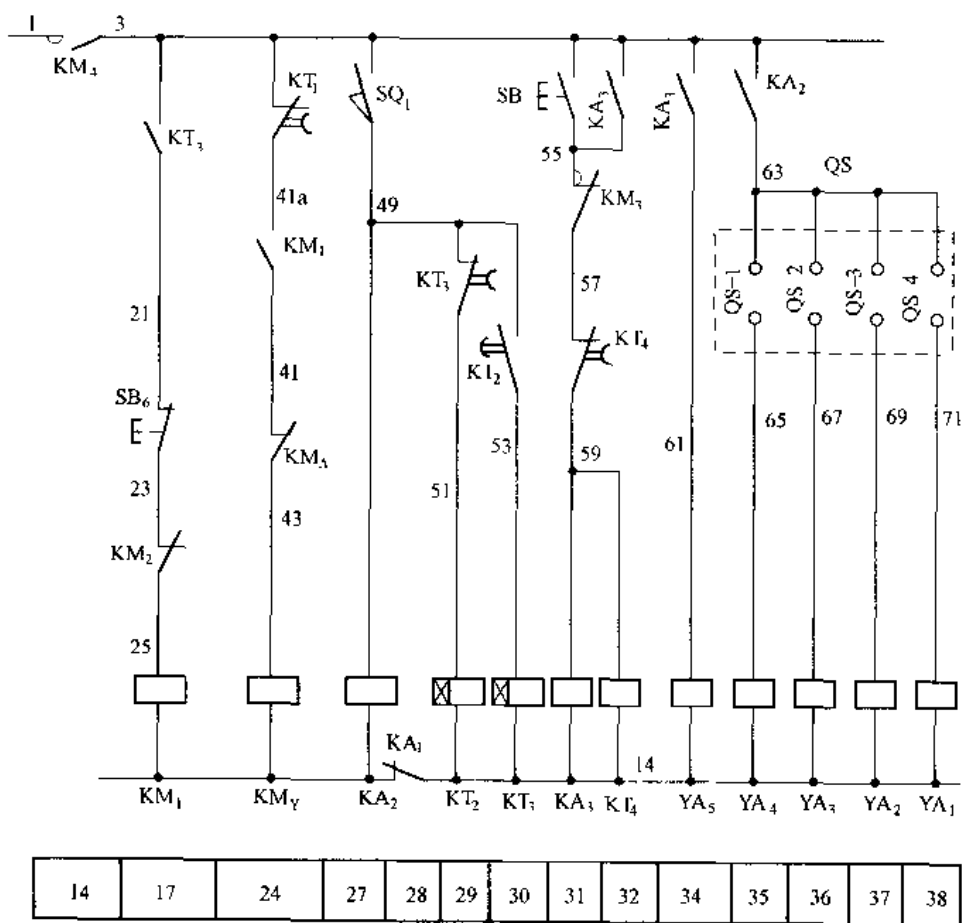


图 4.2.18 工作台变速控制电路

③ 电动机 M_3 的控制电路 根据 M_3 主电路控制电器主触头文字符号 KM_9 、 KM_{10} ，在图区 63~69 和图区 33 中找到 KM_9 、 KM_{10} 线圈电路及其相关电路，如图 4.2.19 所示。

④ 根据右立刀架快速电动机 M_4 和右立刀架进给电动机 M_5 主电路控制电器主触头文字符号 KM_5 、 KM_6 ，在图区 39~50 和图区 72~75 中找到 KM_5 、 KM_6 的线圈电路及相关电路，如图 4.2.20 所示。

⑤ 根据左立刀架快速电动机 M_6 和左立刀架进给电动机 M_7 主电路控制电器主触头的文字符号 KM_7 、 KM_8 ，在图区 51~62 和图区 80~83 中找到 KM_7 、 KM_8 的线圈电路及相关电路，如图 4.2.21 所示。

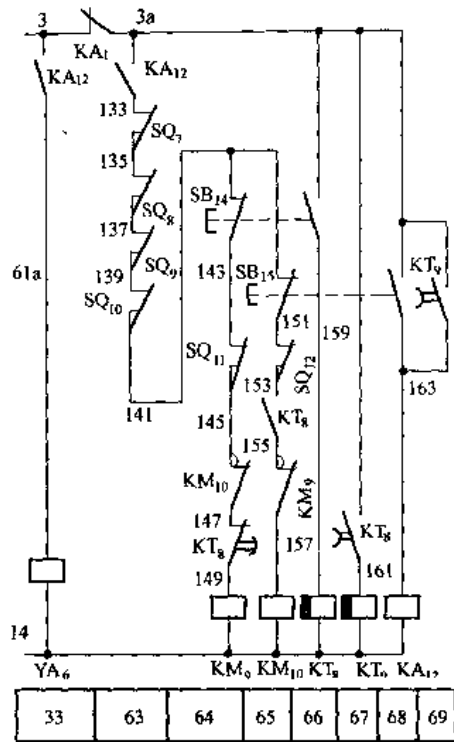


图 4.2.19 电动机 M₃ 控制电路

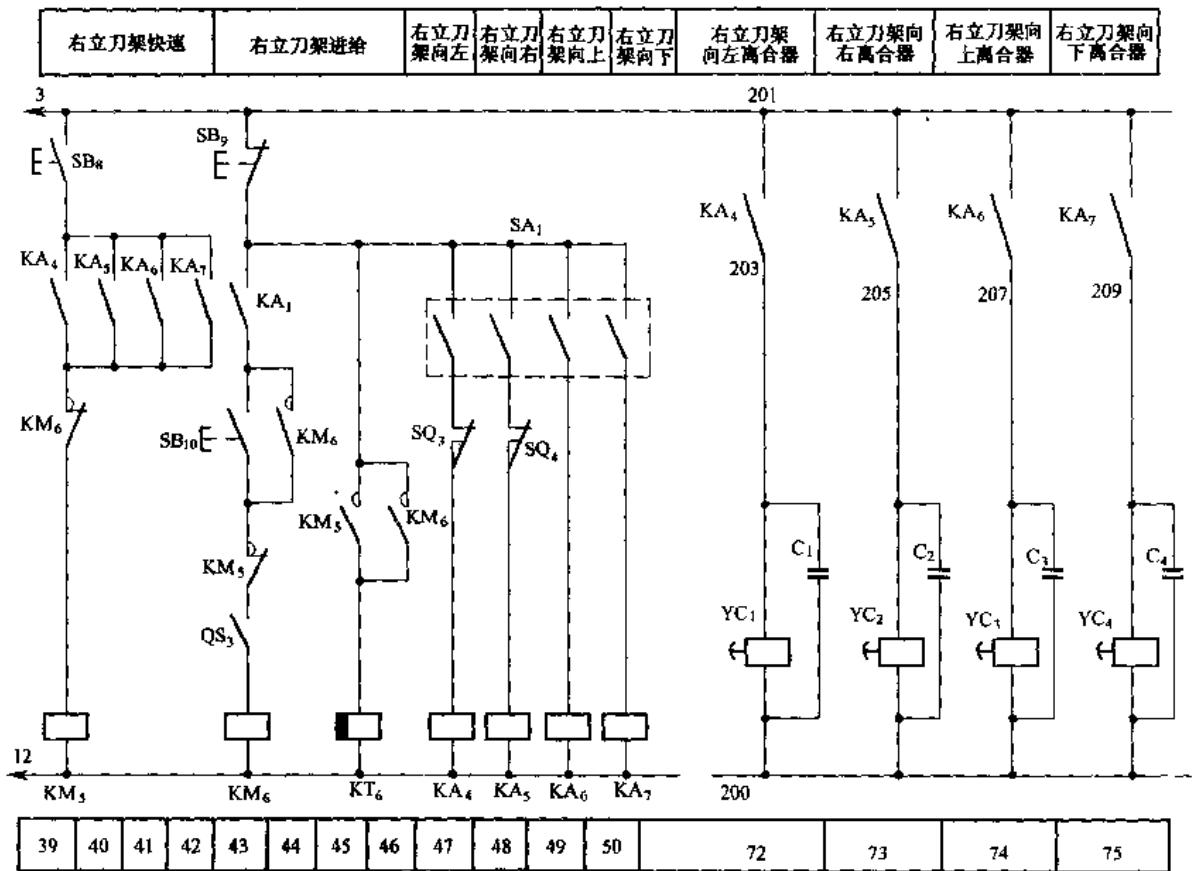


图 4.2.20 M₄、M₅ 的控制电路

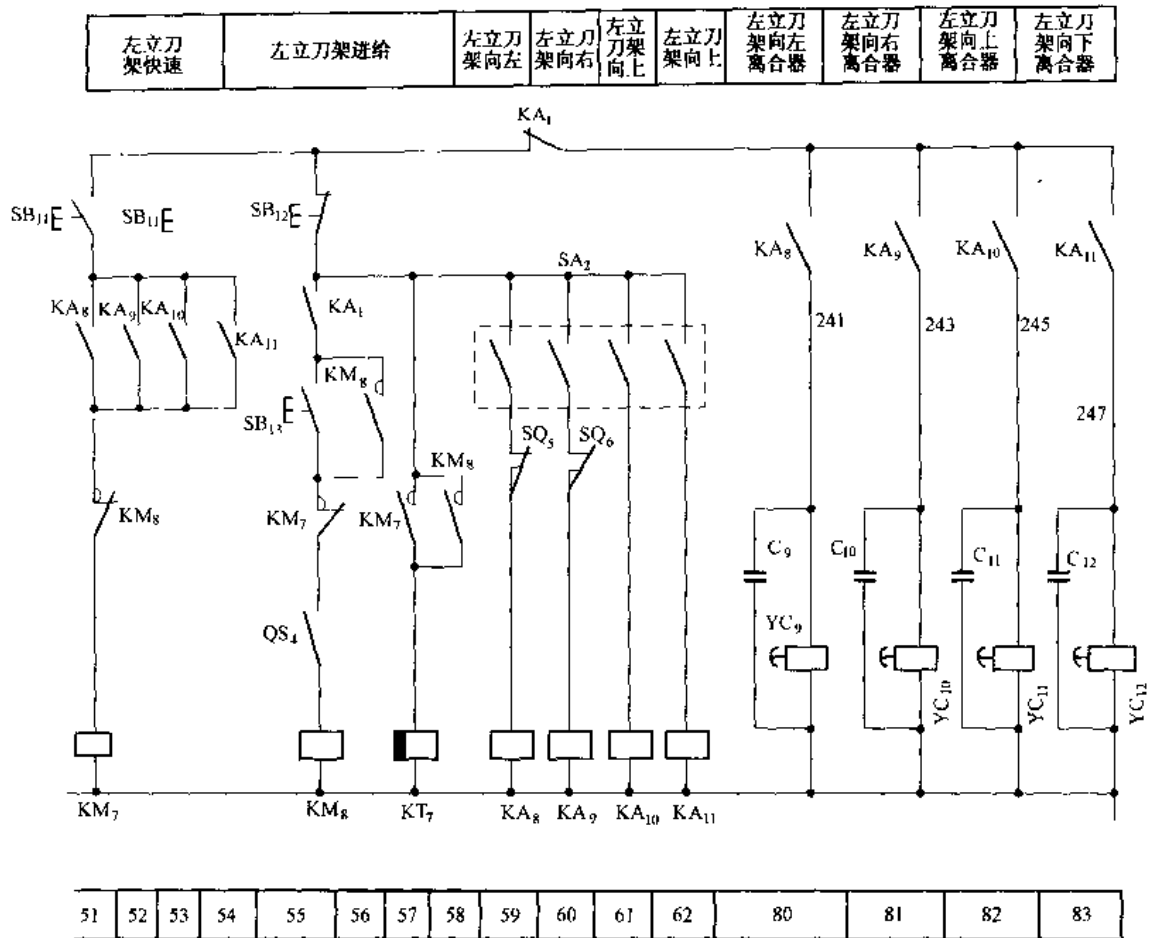


图 4.2.21 M₆、M₇的控制电路

【看图实践】

合上电源开关 QF₁[1], 使机床处于准备工作状态。

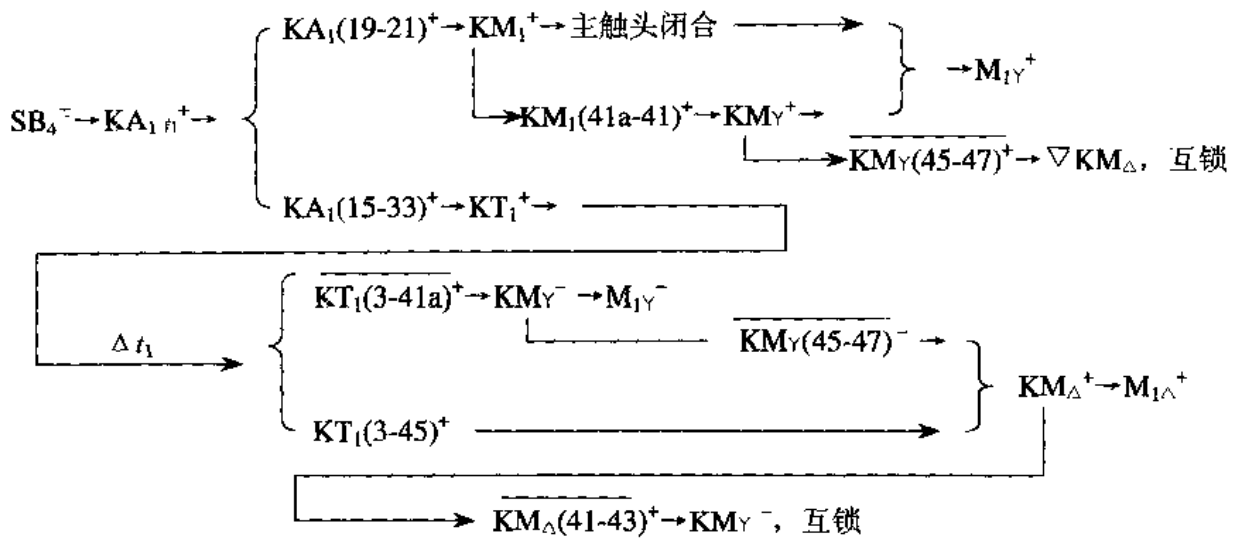
(1) 主拖动电动机 M₁ 的控制

要点动或启动工作台主拖动电动机 M₁, 必须先启动油泵电动机 M₂, 这样才能接通控制电路电源。因此, 要将断路器 QF₂[5]合上, QF₁ 和 QF₂ 的辅助动合触头 QF₁ (1-5)、QF₂ (5-7) [13]闭合, 然后按下启动按钮 SB₂[13], 接触器 KM₄得电吸合并自锁。KM₄的主触头[5]闭合, 油泵电动机 M₂ 启动运转, 供给机床工作台润滑与液压装置所需要的压力油; 这时压力继电器 KP 压合, 指示灯亮 (图中未画出), KM₄的辅助动合触头 KM₄ (1-3) [14]闭合, 接通控制电路电源。

① M₁ 的正、反转点动控制 (见图 4.2.15) 按下正向点动按钮 SB₅[17]或反向点动按钮 SB₆[20], 使 KM₁ 或 KM₂得电吸合, 其主触头[3 或 4]闭合, 使 M₁ 接通正向运转或反向运转电源, 同时 KM₁ 或 KM₂ 的动合辅助触头 KM₁ (41a-41) 或 KM₂ (41a-41) [24]闭合, 使接触器 KM_γ得电吸合, 工作台电动机在Y接法下正向点动控制或反向点动控制。

松开 SB₅ 或 SB₆, 接触器 KM₁ 或 KM₂ 与 KM_γ失电释放, 电动机 M₁ 失电停转。

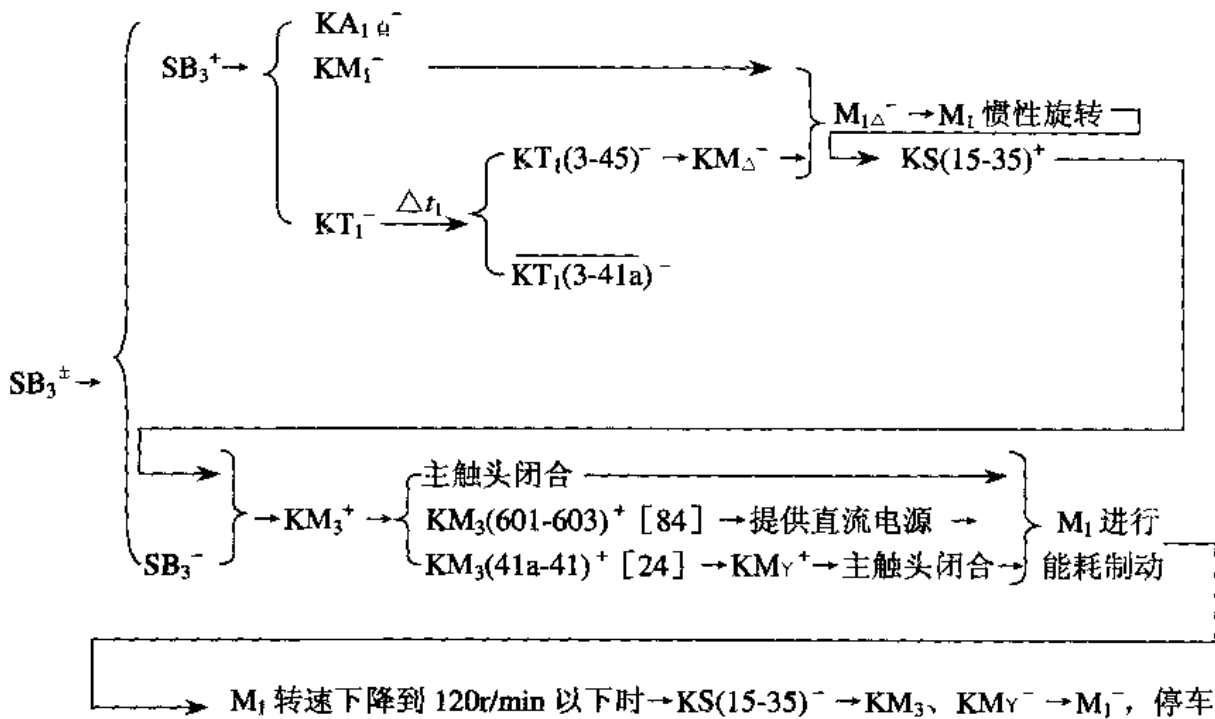
② M₁ 的正向启动控制 (见图 4.2.16) 按下正向运行控制按钮 SB₄[15]:



由于 KA₁ 只控制 KM₁, 不能控制 KM₂, 因此 M₁ 的启动控制只有正转而没有反转。

当电动机 M₁ 的转速大于 100r/min 时, 速度继电器 KS 的动合触头 KS (15-35) [22] 闭合, 为停车制动作准备。

(2) M₁ 的停车制动控制 (见图 4.2.17) 当工作台处于正向转动状态时, 要工作台停止, 按下停止按钮 SB₃[15], 则:



(3) 工作台的变速 (见图 4.2.18)

工作台的变速是通过变速开关 QS[35-38], 电磁铁 YA₁、YA₂[38、37]和液压传送机构推动齿轮来完成的, 变速时, 工作台主拖动电动机 M₁ 必须在停车状态。

依据转速牌, 将装于悬挂按钮站上的 16 级变速开关 QS 转到所需转速的位置, 然后按下 SB₇[31], 使 KA₃ 得电吸合并自锁, 其动合触头 KA₃ (3-61) [34] 闭合, 接通电磁阀 YA₅, 借液压抬起定位锁杆并接通变速的油路, 各齿轮拨叉开始作相应将动。与此同时, 装于定位锁

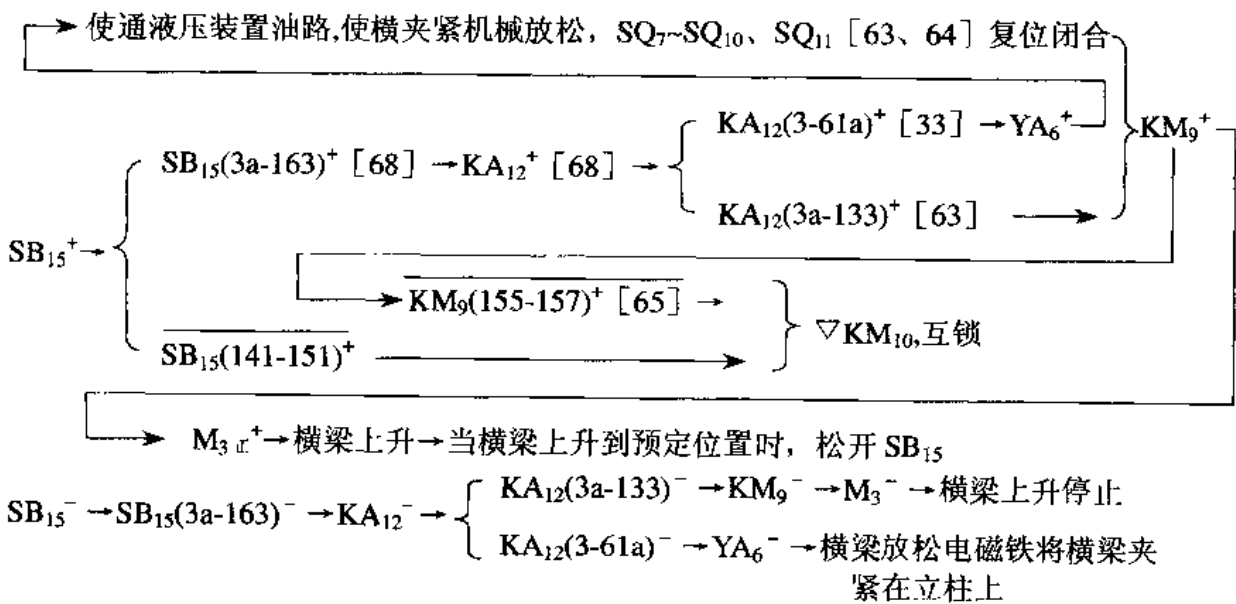
杆一端的位置开关 SQ_1 受压，其动合触头 SQ_1 (3-49) [27] 闭合，使 KA_2 和通电延时时间继电器 KT_2 得电吸合。 KA_2 的动合触头 KA_2 (3-63) [35] 闭合，通过变速开关 QS 接通相应的电磁铁 ($YA_4 \sim YA_1$)，压力油进入相应的油缸，使拉杆的拨叉推动变速齿轮进行变速。一旦 KT_2 延迟时间到，其延时闭合的动合触头 KT_2 (49-53) [30] 闭合，使通电延时继电器 KT_3 [30] 得电吸合， KT_3 的瞬动的动合触头 KT_3 (3-21) [17] 立即闭合，使 KM_1 得电吸合， KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (41a-41) [24] 闭合，使 KM_Y [24] 得电吸合。由于 KM_1 和 KM_Y 先后得电吸合，因而使 M_1 瞬时正向启动。一旦 KT_3 的延迟时间到，其延时断开的动断触头 KT_3 (49-51) [29] 断开，使 KT_2 失电释放。 KT_2 延时闭合的动合触头 KT_2 (49-53) 复位断开，使 KT_3 失电释放。 KT_3 的瞬动动合触头 KT_3 (3-21) 复位断开，使 KM_1 和 KM_Y 先后失电释放，电动机 M_1 失电停转。

当 KT_3 失电后，其延时断开的动断触头 KT_3 (49-51) 又复位闭合，再次使 KT_2 得电吸合。这样周而复始，主拖动电动机 M_1 的反复运转、停止，瞬时冲动，直到变速齿轮啮合好为止。

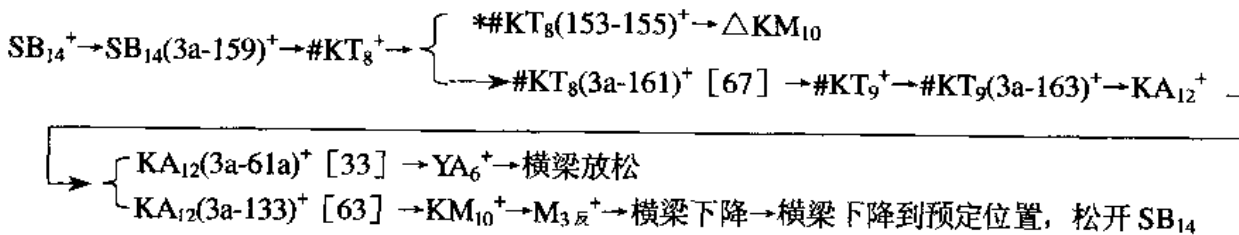
当齿轮啮合好后，机械锁杆复位，位置开关 SQ_1 复位，其动合触头 SQ_1 (3-49) 复位断开，使 KA_2 、 KT_2 和 KT_3 失电释放，变速完成。

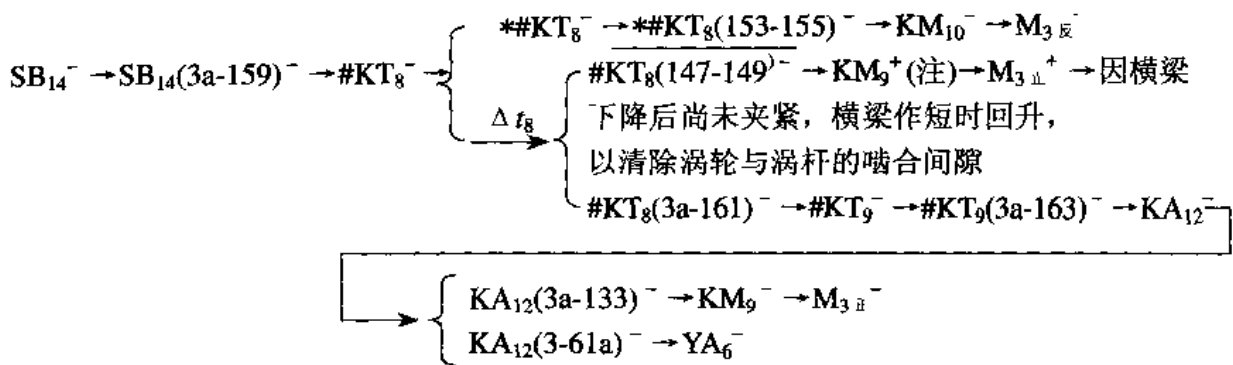
(4) 横梁升降控制 (见图 4.2.19)

① 横梁上升控制 按下横梁上升按钮 SB_{15} [65、68]，则：



② 横梁下降控制 按下横梁下降启动按钮 SB_{14} [64、66]，则：





注：由于 KT_9 断电延时作用，其延时断开的动合触头 KT_9 (3a-163) [69]尚未复位断开，使 KA_{12} 仍得电吸合，使 KM_9 经 KA_{12} (3a-133) \rightarrow SQ_7 、 SQ_8 、 SQ_9 、 SQ_{10} \rightarrow SB_{14} (141-143) \rightarrow SQ_{11} \rightarrow KM_{10} (145-147) \rightarrow KT_8 (147-149) \rightarrow KM_9 线圈得电。

(5) 刀架的控制

刀架控制包括左立刀架控制和右立刀架控制，二者控制方法基本相同。左立刀架的快移、进给运动方向均由十字开关 SA_2 确定。 SA_2 有 4 个挡位，与左立刀架向左、向右、向上、向下 4 个运行方向相对应，分别通过 4 个中间继电器 KA_8 、 KA_9 、 KA_{10} 、 KA_{11} 控制左立刀架向左、向右、向上、向下运动的 4 个离合器 $YC_9 \sim YC_{12}$ ，控制左立刀架的快移和进给。

右立刀架的快移、进给运动方向均由十字开关 SA_1 确定， SA_1 也有 4 个挡，与右立刀架向左、向右、向上、向下 4 个运动方向相对应，分别通过 4 个中间继电器 $KA_4 \sim KA_7$ 控制右立刀架向左、向右、向上、向下运动的 4 个离合器 $YC_1 \sim YC_4$ ，控制右立刀架的快移和进给。

不论是左立刀架还是右立刀架的进给运动，都必须在工作台启动运转，即 KA_{11} [15] 得电的情况下才能进行。

下面以左立刀架（见图 5.2.21）为例分析刀架控制过程。

① 左立刀架的快速移动 设左立刀架向左移动，将十字开关 SA_2 扳到向左方向，触头 SA_2 (107-121) [59] 闭合，使 KA_8 [59] 得电吸合，其动合触头 KA_8 (201-241) [80] 闭合，使左立刀架向左离合器 YC_9 [80] 得电，为电动机 M_6 工作作好准备。 KA_8 的另一动合触头 KA_8 (101-103) [51] 闭合，按下左立刀架快速移动按钮 SB_{11} [51]，使 KM_7 [51] 得电吸合，其主触头 [9] 闭合，左立刀架的快速移动电动机 M_6 启动，左立刀架快速向左移动。松开 SB_{11} ， KM_7 失电释放，左立刀架停止移动。因此，左立刀架快速移动属于点动控制。

② 左立刀架进给控制 设左立刀架向左进给，将 SA_2 扳到向左位置，其动合触头 SA_2 (107-121) 闭合，使 KA_8 [59] 得电吸合，其动合触头 KA_8 (201-241) [80] 闭合，使左立刀架离合器 YC_9 [80] 得电，然后，合上 SQ_4 ，其动合触头 SQ_4 (113-115) [55] 闭合，此时 KA_1 的动合触头 KA_1 (107-109) 已闭合，按下左立刀架进给按钮 SB_{13} [55]，使 KM_8 得电吸合并自锁，其主触头 [10] 闭合，左立刀架进给电动机 M_7 [10] 启动运转，左立刀架向左作进给运动。按下左立刀架停止按钮 SB_{12} ，使 KM_8 失电释放，电动机 M_7 失电停转，进给运动停止。

其余 3 个方向的快移、进给工作过程基本相同，所不同的是由于十字开关 SA_2 的位置不同，按通中间继电器分别为 KA_9 、 KA_{10} 、 KA_{11} ，电磁离合器分别为 YC_{10} 、 YC_{11} 、 YC_{12} 。

左立刀架的快移运动与进给运动均不允许同时发生，因此左立刀架快速接触器 KM_7 与左立刀架进给接触器 KM_8 设置了互锁。右立刀架控制也如此，因此 KM_5 与 KM_6 也设置了互锁。

第三节 磨床电气控制电路

磨床是利用砂轮的周边或端面对工件的外圆、内孔、端面、平面、螺纹及球面等进行磨削加工的一种精密加工设备。

一、平面磨床的主要结构、运动形式和控制要求

1. 平面磨床的结构

平面磨床的结构如图 4.3.1 所示，由床身、工作台、电磁吸盘、砂轮箱、滑座、立柱等部分组成。

在箱形床身 1 中装有液压传动装置，以使矩形工作台 2 在床身导轨上通过压力油推动活塞杆 10 作往复运动（纵向）。而工作台往复运动的换向是通过换向撞块 8 碰撞床身上的液压手柄 9 来改变油路实现的。工作台往返运动的行程长度可通过调节装在工作台正面槽中的撞块 8 的位置来改变。工作台的表面是 T 形槽，用来安装电磁吸盘以吸持工件或直接安装大型工件。

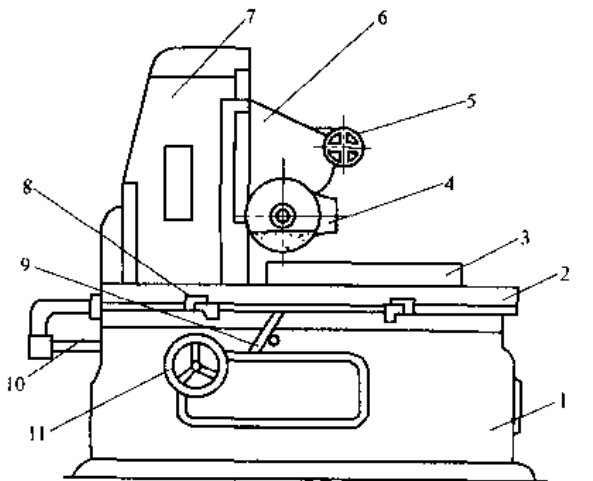
在床身上固定有立柱 7，沿立柱 7 的导轨上装有滑座 6，滑座可在立柱导轨上作上下移动，并可由垂直进刀手轮 11 操纵，砂轮箱 4 能沿滑座水平导轨作槽向移动。它可由槽向移动手轮 5 操纵，也可由液压传动作连续或间断移动，连续移动用于调节砂轮位置或整修砂轮，间断移动用于进给。

2. 平面磨床的运动形式

矩形工作台平面磨床的工作示意图如图 4.3.2 所示，主运动是砂轮的旋转运动。

进给运动有垂直进给，即滑座在立柱上的上下运动；槽向进给，即砂轮箱在槽座上的水平运动；纵向进给，即工作台沿床身的往复运动。工作台每完成一次往复运动时，砂轮箱便作一次间断性的横向进给，当加工完整个平面后，砂轮槽作一次间断性的垂直进给。

槽助运动是指砂轮箱在滑座水平导轨上作快速横向移动；滑座沿立柱上的垂直导轨作快速垂直移动，以及工作台往复运动速度的调整等。



1—床身 2—工作台 3—电磁吸盘 4—砂轮箱 5—砂轮箱横向移动手轮 6—滑座 7—立柱 8—工作台换向撞块 9—工作台往复运动换向手柄 10—活塞杆 11—砂轮箱垂直进刀手轮

图 4.3.1 平面磨床外形图

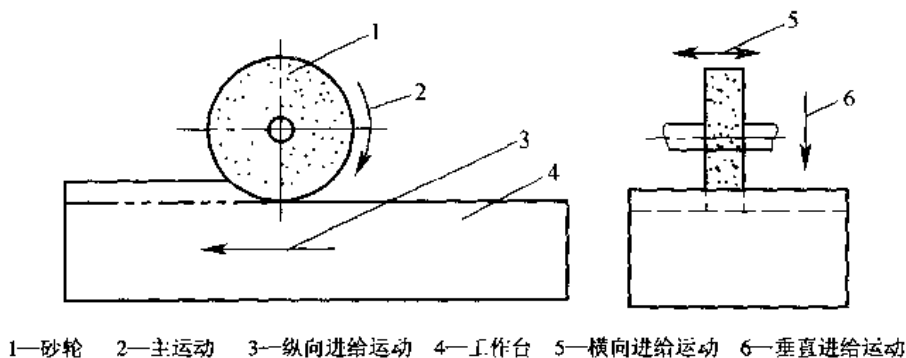


图 4.3.2 矩形工作台平面磨床工作图

3. 控制要求

平面磨床采用多电动机拖动，其中砂轮电动机拖动砂轮旋转；液压电动机驱动油泵，供出压力油，经液压传动机械来完成工作台往复运动并实现砂轮的横向自动进给，还承担工作台导轨的润滑；冷却泵电动机拖动冷却泵，供给磨削加工时需要的冷却液。

平面磨床的电力拖动控制要求：

- (1) 砂轮、液压泵、冷却泵 3 台电动机都只要求单方向旋转。砂轮升降电动机需双向旋转。
- (2) 冷却泵电动机应随砂轮电动机的开动而开动，若加工中不需要冷却液，则可单独关断冷却泵电动机。
- (3) 在正常加工中，若电磁吸盘吸力不足或消失时，砂轮电动机与液压泵电动机应立即停止工作，以防止工件被砂轮切向力打飞而发生人身和设备事故。不加工时，即电磁吸盘不工作的情况下，允许砂轮电动机与液压泵电动机开动，机床作调整运动。
- (4) 电磁吸盘励磁线圈具有吸牢工作的正向励磁、松开工件的断开励磁以及抵消剩磁便于取下工件的反向励磁控制环节。
- (5) 具有完善的保护环节。各电路的短路保护，各电动机的长期过载保护，零压、欠压保护，电磁吸盘吸力不足的欠电流保护，以及线圈断开时产生高电压而危及电路中其他电器设备的过压保护等。
- (6) 机床安全照明电路与工件去磁的控制环节。

二、M7120 型平面磨床电气控制电路

M7120 型平面磨床电气控制电路如图 4.3.3 所示，其电器元件明细如表 4.3.1 所示。

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制

主电路共有 4 台电动机。其中 M_1 为液压泵电动机，实现工作台的往复运动，由接触器 KM_1 的主触头控制，单向旋转； M_2 为砂轮电动机，带动砂轮转动来完成磨削加工工作； M_3 是冷却泵电动机， M_2 和 M_3 同由接触器 KM_2 的主触头控制，单向旋转，冷却泵电动机 M_3 只有在砂轮电动机 M_2 启动后才能运转。由于冷却泵电动机和机床床身是分开的，因此通过插头插座 XS_2 和电源接通； M_4 是砂轮升降电动机，用于在磨削过程中调整砂轮与工件之间的位置，由接触器 KM_3 、 KM_4 的主触头控制双向旋转。

总开关及保护	液压泵电机	砂轮电机	冷却泵电机	砂轮上升下降	液压泵控制	砂轮控制	砂轮上升下降	电磁吸盘充磁去磁	电磁吸盘充磁去磁	变压器	通电	液压泵	砂轮升降	电磁吸盘工作	照明
--------	-------	------	-------	--------	-------	------	--------	----------	----------	-----	----	-----	------	--------	----

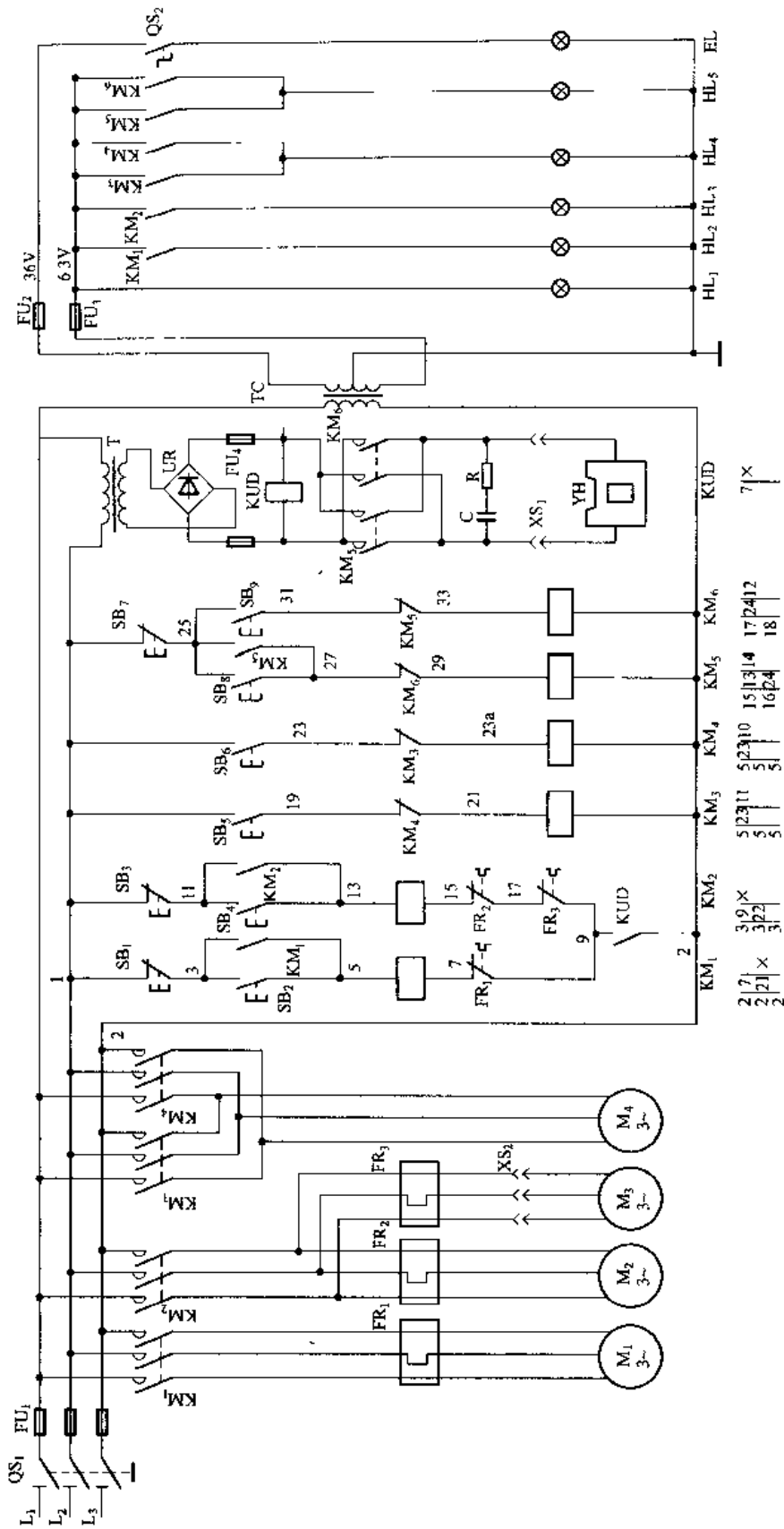


图 4.3.3 M7120 型平面磨床电气控制电路

M_1 、 M_2 、 M_3 是长期工作，因此装有 FR_1 、 FR_2 、 FR_3 分别对其进行过载保护； M_4 是短期工作的，不设过载保护。4台电动机共用一组熔断器 FU_1 作短路保护。

(2) 电动机 $M_1\sim M_4$ 控制电路和电磁吸盘电路

根据电动机 $M_1\sim M_3$ 主电路控制电器主触头的文字符号 KM_1 、 KM_2 ，在图区6~9中可找到接触器 KM_1 、 KM_2 线圈电路，由此可得到 $M_1\sim M_2$ 的控制电路，如图4.3.4所示。图中有动合触头 KUD (9-2)，由图区17可知，该触头为欠电压继电器 KUD 的动合触头。

根据电动机 M_4 主电路控制元件主触头的文字符号 KM_3 、 KM_4 ，在图区10、11中可找到接触器 KM_3 、 KM_4 线圈电路，由此可得 M_4 的控制电路如图4.3.5所示。

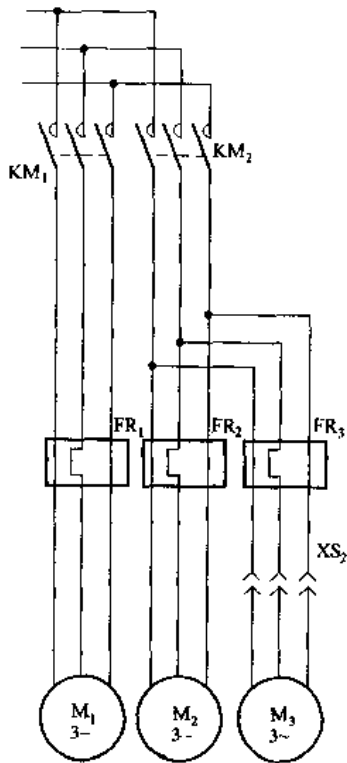


图 4.3.4 电动机 $M_1\sim M_3$ 的控制电路

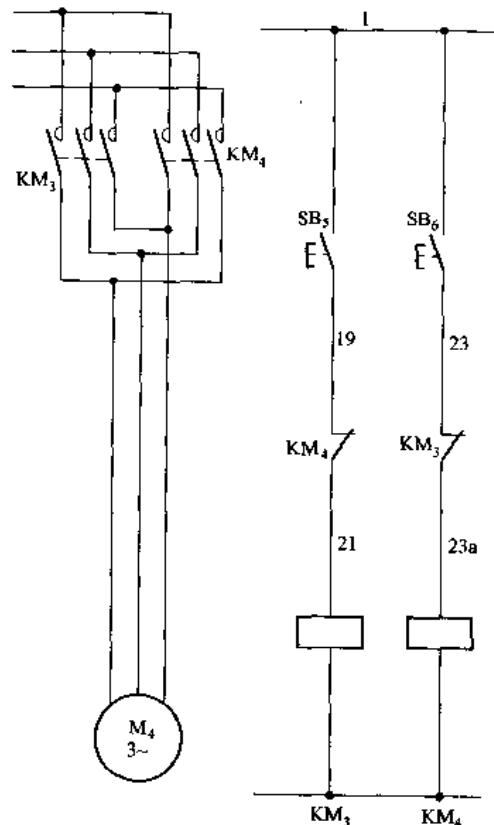
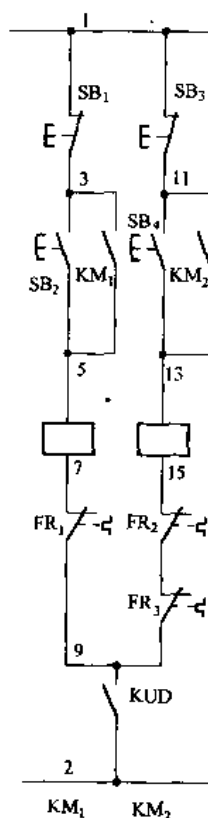


图 4.3.5 电动机 M_4 的控制电路

表 4.3.1 M7120 平面磨床电气元件表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
M_1	液压泵电动机 1.1kW 1410r/min	KM_5 、 KM_6	接触器,电磁吸盘用
M_2	砂轮电动机 3kW 2860r/min	$FR_1\sim FR_3$	热继电器
M_3	冷却泵电动机 0.12kW	$FU_1\sim FU_4$	熔断器
M_4	砂轮升降电动机 0.75kW	VC	硅整流器
QS_1	电源开关	YH	电磁吸盘
QS_2	照明灯开关	KUD	欠压继电器
KM_1	接触器,液压泵电动机用	T	整流变压器
KM_2	接触器,砂轮电动机用	TC	照明变压器
KM_3 、 KM_4	接触器,砂轮升降电动机用	SB_1	液压泵停止按钮

续表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
SB ₂	液压泵启动按钮	XS ₂	冷却泵电动机插头插座
SB ₃	砂轮停止按钮	R、C	保护用电阻、电容
SB ₄	砂轮启动按钮	HL	电源指示灯
SB ₅ ~SB ₆	砂轮升降按钮	HL ₁ ~HL ₄	电动机工作指示灯
SB ₇ ~SB ₉	电磁吸盘控制按钮	EL	照明灯
XS ₁	电磁吸盘插头插座		

根据电磁吸盘文字符号 YH, 在图区 15~18 中找到电磁吸盘电路, 可以看出它由接触器 KM₅、KM₆ 控制, 在图区 12、13 中可找到 KM₅、KM₆ 线圈电路, 由此可得电磁吸盘控制电路, 如图 4.3.6 所示。

由图 4.3.4 和图 4.3.6 可以看出, M₁~M₃ 控制电路和电磁吸盘控制电路通过欠电压继电器 KUD 进行联系。当电源电压过低时, 电磁吸盘吸力不足, 会导致加工过程中工件飞离吸盘的事故, 因此吸盘线圈并接有欠电压继电器 KUD。当电源电压过低时, KUD 不吸合, 串接在 KM₁、KM₂ 线圈控制电路中的动合触头 KUD (9-2) 断开, 切断 KM₁、KM₂ 线圈电路, 使砂轮电动机 M₂ 和液压泵电动机 M₁ 停止工作, 确保安全生产。

【看图实践】

主电路分析见【看图思路】, 下面介绍控制电路如何对主电路进行控制。

(1) 液压泵电动机 M₁ 的控制(见图 4.3.3 及图 4.3.4)

合上总开关 QS₁, 整流变压器 T[16、17]的副边绕组输出 135V 交流电压, 经桥式整流器 UR[16、17]整流得到直流电压, 使电压继电器 KUD[16、17]得电吸合, 其动合触头 KUD (9-2) [7]闭合, 使液压泵电动机 M₁ 和砂轮电动机 M₂ 的控制电路具有得电的前提条件, 为启动电动机做好准备。如果 KUD 不能可靠地动作, 则各电动机均无法运行。由于平面磨床的工件靠直流电磁吸盘的吸力将工件吸牢在工作台上, 因此只有具备可靠的直流电压后, 才允许启动砂轮和液压系统, 以保证安全。

当欠电压继电器 KUD 吸合后, 其动合触头 KUD (9-2) [7]闭合, 按下启动按钮 SB₂[6], 接触器 KM₁ 得电吸合并自锁, 液压泵电动机 M₁ 启动运转, 指示灯 HL₂ 亮。若按下停止按钮 SB₁[6], 则 KM₁ 失电释放, 电动机 M₁ 失电停转。在运转过程中, 若 M₁ 过载, 则热继电器 FR₁ 的动断触头 FR₁ (7-9) 断开, M₁ 停转, 起到过载保护作用。

(2) 砂轮电动机 M₂ 和冷却泵电动机 M₃ 的控制 (见图 4.3.4)

按下启动按钮 SB₄, 接触器 KM₂ 得电吸合并自锁, M₂ 启动运转。由于冷却泵电动机 M₃ 通过连接器 XS₁ 与 M₂ 联动控制, 因此 M₃ 与 M₂ 同时启动运转。若不需要冷却, 则可将插头

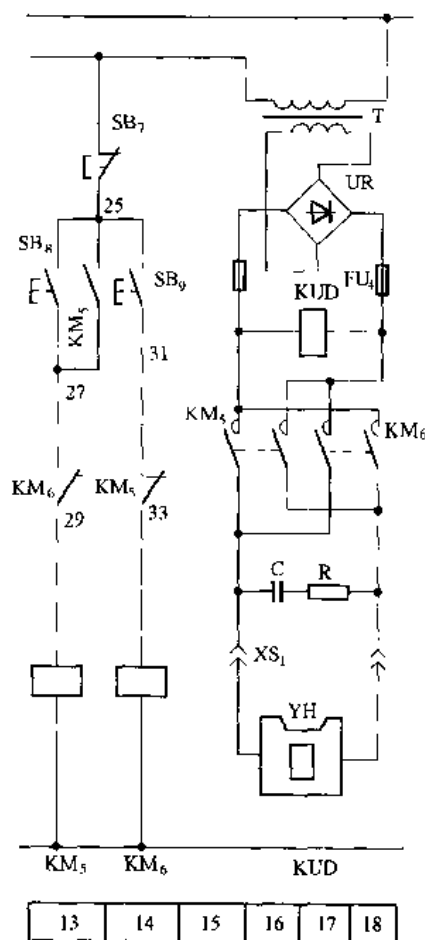


图 4.3.6 电磁吸盘控制电路

拔出。按下停止按钮 SB₃，KM₂失电释放，M₂与 M₃同时失电停转。

(3) 砂轮升降电动机 M₄ 的控制 (见图 4.3.5)

砂轮升降电动机只有在调整工件和砂轮之间位置时才使用，因此用点动控制。

当按下点动按钮 SB₅ (或 SB₆) 时，接触器 KM₃ (或 KM₄) 得电吸合，电动机 M₄ 启动正转 (或反转)，砂轮上升 (或下降)。砂轮达到所需位置时，松开 SB₅ (或 SB₆)，KM₃ (或 KM₄) 失电释放，M₄ 停转，砂轮停止上升 (或下降)。

为了防止电动机 M₄ 的正、反转电路同时被接通，在 KM₃、KM₄ 的对方电路中串 KM₄、KM₃ 的动断触头进行连锁控制。

(4) 电磁吸盘控制电路 (见图 4.3.6)

电磁吸盘控制电路由整流电路、控制电路和保护电路等组成。整流电路由整流变压器 T、单相桥式整流器 UR 组成，供给 110V 直流电源，控制电路由按钮 SB₇、SB₈、SB₉ 和接触器 KM₅、KM₆ 组成。

① 充磁过程 按下充磁按钮 SB₈，接触器 KM₅ 得电吸合并自锁，其主触头 [15、16] 闭合，电磁吸盘 YH 线圈得电，工作台充磁吸住工件，同时 KM₅ 辅助动断触头 KM₅ (31-33) 断开，使 KM₆ 不能得电，实现互锁。磨削加工完毕，在取下加工好的工件时，先按下 SB₇，切断电磁吸盘 YH 上的直流电源。由于吸盘和工件都有剩磁，因此需对吸盘和工件进行去磁。

② 去磁过程 按下点动按钮 SB₉，接触器 KM₆ 线圈得电吸合，其两副主触头 [17、18] 闭合，电磁吸盘通入反向直流电，使工作台和工件去磁。去磁时，为防止因时间过长而使工作台反向磁化，再次吸住工件，因而接触器 KM₆ 采用点动控制。

保护装置由放电电阻 R 和电容 C 以及欠压继电器 KUD 组成。电阻 R 和电容 C 的作用是，电磁吸盘是一个大电感，在充磁吸工件时，存储了大量磁场能量。在脱离电源的一瞬间，吸盘 YH 的两端产生较大的自感电动势，使线圈和其他电器元件损坏，因此用电阻和电容组成放电回路。利用电容 C 两端的电压不能突变的特点，使电磁吸盘线圈两端电压变化趋于缓慢，利用电阻消耗电磁能量。如果参数选配得当，R-L-C 电路便可以组成一个衰减振荡电路，对去磁将是十分有利的。欠压继电器 KUD 的作用是，在加工过程中，若电源电压不足，则电磁吸盘将不能吸牢工件，导致工件被砂轮打出，造成严重事故。因此，在电路中设置了欠压继电器 KUD，将其线圈并联在直流电源上，其动合触头 [7] 串联在液压泵电动机和砂轮电动机的控制电路中，若电磁吸盘不能吸牢工件，KUD 就会释放，使液压泵电动机和砂轮电动机停转，保证了安全。

(5) 照明和指示灯电路 (见图 4.3.3 的图区 19~25)

EL 为照明灯，其工作电压为 24V，由变压器 TC 供电。QS₂ 为照明负荷隔离开关。

HL₁~HL₅ 为指示灯，工作电压均为 6V，也由变压器 TC 供给。其中，HL₁ 为控制电路指示灯，HL₂ 为 M₁ 运转指示灯，HL₃ 为 M₃ 及 M₂ 运转指示灯，HL₄ 为 M₄ 工作指示灯，HL₅ 为电磁吸盘工作 (充磁或去磁) 指示灯。

三、M7130 型平面磨床电气控制电路

电路如图 4.3.7 所示。

【看图思路】

(1) 电动机的配置情况及其控制

主电路共有 3 台电动机，其中 M₁ 为砂轮电动机，M₂ 为冷却泵电动机，M₃ 为液压电动机

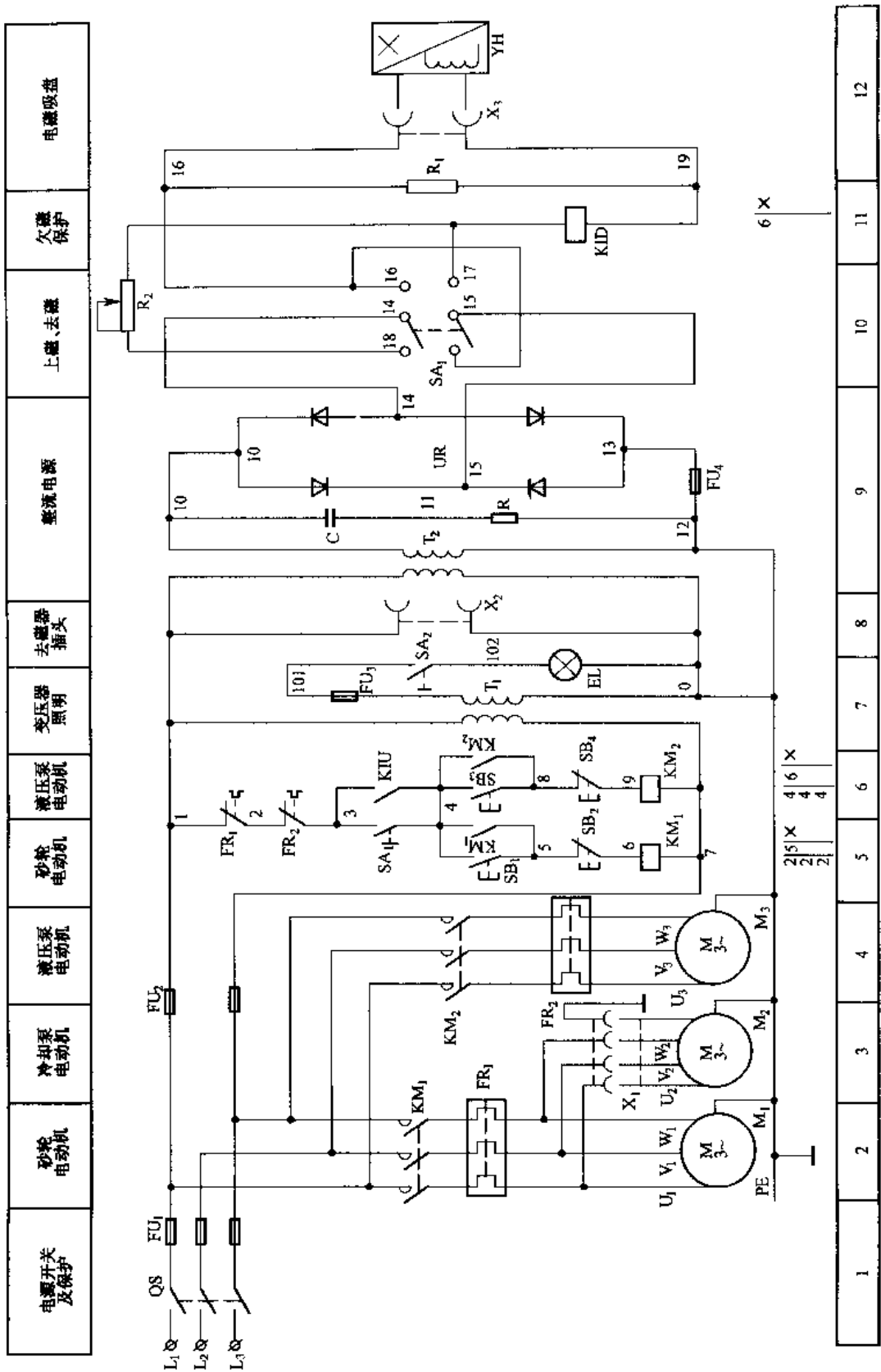


图 4.3.7 M7130 型平面磨床电气控制电路

电动机，均要求单向旋转。电动机 M_1 和 M_2 同时由接触器 KM_1 的主触头控制，而冷却泵电动机 M_2 的控制电路接在接触器 KM_1 主触头下方，经插座 X_1 实现单独关断控制。液压泵电动机由接触器 KM_3 的主触头控制。

3 台电动机共用熔断器 FU_1 作短路保护， M_1 和 M_2 由热继电器 FR_1 作长期过载保护， M_3 由热继电器 FR_2 作长期过载保护。为了保护砂轮与工件的安全，当有一台电动机过载停机时，另一台电动机也应停止，因此将 FR_1 、 FR_2 的动断触头[5]串联接在总控制电路中。

(2) 根据电动机主电路控制电器主触头文字符号和电磁吸盘文字符号将电路液行分解

① 根据电动机 $M_1 \sim M_3$ 主电路控制元件的文字符号 KM_1 、 KM_2 ，在图区 5、6 中可找到 KM_1 、 KM_2 的线圈电路，由此可得电动机 $M_1 \sim M_3$ 的控制电路，如图 4.3.8 所示。在 KM_1 、 KM_2 线圈电路串联有动合触头 SA_1 (3-4) 和动合触头 KID (3-4) 的并联电路。在图 4.3.7 中，由图区 10 可以看出， SA_1 (3-4) 为转换开关 SA_1 的一个动合触头；由图区 11 可以看出， KID (3-4) 为欠电流继电器 KID 的一个动合触头。

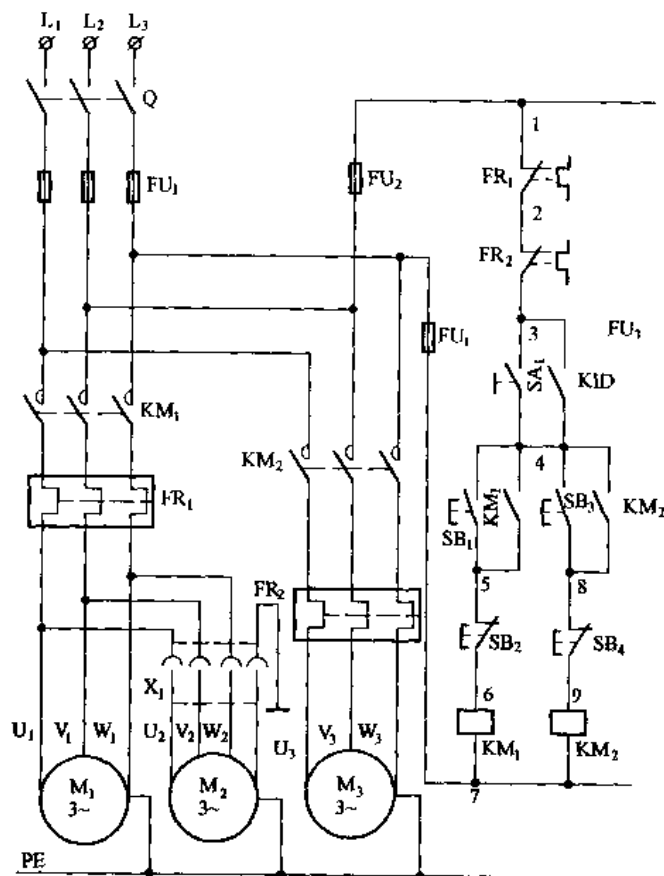


图 4.3.8 电动机 $M_1 \sim M_3$ 的控制电路

② 根据电磁吸盘的文字符号 YH ，在图 4.3.7 的图区 9~12 中可以找到电磁盘控制电路，通过转换开关 SA_1 进行充磁、去磁控制，可得到如图 4.3.9 所示的充磁、去磁电路。

由图 4.3.8 和图 4.3.9 可以看出， $M_1 \sim M_3$ 控制电路和电磁吸盘控制电路液过转换开关 SA_1 和欠电座继电器 KIU 进行联系。当 SA_1 扳到“充磁”、“去磁”位置时，可使吸盘工作，触头 SA_1 (3-4) 断开，欠电座继电器 KIU 得电吸合，其动合触头 KIU (3-4) 闭合，方可液过 KM_1 、 KM_2 启动电动机 $M_1 \sim M_3$ 。若将开关 SA_1 扳至“失电”位置，则电磁吸盘不工作， KIU 线圈

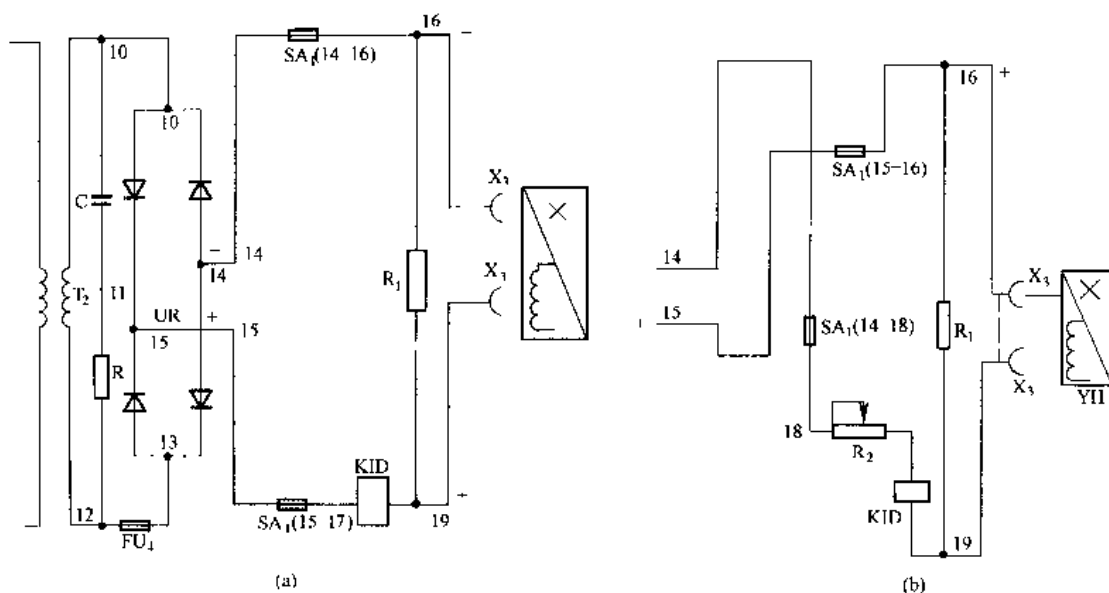


图 4.3.9 电磁吸盘的充磁 (a) 和去磁 (b) 电路

不吸合，其动合开关 KIU (3-4) 不闭合，但 SA₁ (3-4) 闭合，此时也可以通过 KM₁、KM₂ 启动电动机 M₁~M₃，以进行机床的调整试车。

【看图实践】

下面介绍控制电路对主电路的控制。

(1) 砂轮电动机 M₁ 和冷却泵电动机 M₂ 的控制 (见图 4.3.8)

由按钮 SB₁、SB₂ 和接触器 KM₁ 线圈组成砂轮电动机 M₁ 和冷却泵电动机 M₂ 的单向运行的启动停止控制电路。

(2) 液压泵电动机 M₃ 的控制 (见图 4.3.8)

由按钮 SB₃、SB₄ 和接触器 KM₂ 线圈组成 M₃ 单向运行的启动、停止控制电路。

要注意的是，电动机 M₁~M₃ 的启动必须在电磁吸盘 YH 工作，触头 SA₁ (3-4) 断开，且欠电流继电器 KID 得电吸合，其动合触头 KID (3-4) 闭合；或者电磁吸盘 YH 不工作，但转换开关 SA₁ 置于“失电”位置，其触头 SA₁ (3-4) 闭合的情况下方可启动 M₃。

(3) 电磁吸盘控制电路 (见图 4.3.9)

电磁吸盘又称为电磁工作台，它也是安装工件的一种夹具，与机械夹具相比，具有夹紧迅速，不损伤工件，一次能吸牢若干个工件，工作效率高，加工精度高等优点。但它的夹紧程度不可调整，电磁吸盘要用直流电源，且不能用于加工非磁性材料的工件。

① 电磁吸盘控制电路。

电磁吸盘控制电路由整流装置、控制装置和保护装置等组成。电磁吸盘整流装置由整流变压器 T₂ 与桥式全波整流桥 UR 组成。整流变压器桥交流 220V 电压降为 127V 交流电压，再经全波整流后为电磁吸盘线圈提供 110V 直流电压。

电磁吸盘由主令开关 SA₁ 来控制。SA₁ 有 3 个位置：充磁、失电和去磁。当主令开关 SA₁ 置于“充磁”位置 (SA₁ 开关向右) 时，SA₁ 的触头 SA₁ (14-16)、SA₁ (15-17) 接通；当 SA₁ 置于“去磁”位置 (SA₁ 开关向左) 时，SA₁ 的触头 SA₁ (14-18)、SA₁ (15-16) 以及 SA₁ (3-4) 接通；当 SA₁ 置于“失电”位置 (SA₁ 开关置中)，SA₁ 所有触头都断开。

电源总开关 QS 闭合，电磁吸盘整流电源就输出 110V 直流电压，接点 15 为电源正极，接点 14 为电源负极。

当 SA₁ 扳到充磁位置时，电磁吸盘获得 110V 直流电压，其电流通路为：电源正极接点 15→已闭合的 SA₁ 开关触头 SA₁ (17-15)→欠流继电器 KID 线圈→接点 19→经插座 X₃→YH 线圈→插座 X₃→接点 16→已闭合的 SA₁ 开关触头 SA₁ (16-14)→电源负极 14。欠电流继电器 KID 线圈通过插座 X₃ 与电磁吸盘 YH 线圈串联。若电磁吸盘电流足够大，则欠电流继电器 KID 动作，其动合触头 KID (3-4) [6] 闭合，表示电磁吸盘吸力足以将工件吸牢，这时才可以分别操作控制按钮 SB₁ 和 SB₃，从而启动砂轮电动机 M₁ 和液压泵电动机 M₃ 进行磨削加工。当加工结束后，分别按下停止按钮 SB₂、SB₄，M₁ 和 M₃ 停止旋转。

为了便于取下工件，需将 SA₁ 开关从“充磁”位置迅速扳向“去磁”位置，再迅速扳向断开状态，这样就使电磁吸盘正向磁化到反向励磁，瞬间打乱了磁分子的排列，使剩磁减少到最低限度，以便轻松地卸下工件。

当 SA₁ 扳至“去磁”位置时，电磁吸盘线圈通入反向电流，即接点 16 为正，接点 19 为负，并串入可变电阻 R₂，用以调节反向去磁电流的大小，既达到去磁又不被反向磁化的目的。去磁结束后，将 SA₁ 扳到“失电”位置，便可取下工件。若工件对去磁要求严格，则在取下工件后，还要用交流去磁器进行处理。交流去磁器是平面磨床的一个附件，在使用时，将交流去磁器插座床身备用插座 X₂ 上，再将工件放在交流去磁器上来回移动若干次，即可完成去磁任务。

② 电磁吸盘保护环节。

电磁吸盘的欠电流保护。为了防止在磨削过程中，电磁吸盘回路出现失电或线圈电流减小，引起电磁吸力消失或吸力不足，造成工件飞出，引起人身与设备事故，在电磁吸盘线圈电路中串入欠电流继电器 KID 作欠电流保护。若励磁电流正常，则只有当直流电压符合设计要求，电磁吸盘具有足够的电磁吸力，KID 动合触头 KID (3-4) [6] 才能闭合，为启动 M₁、M₃ 电动机进行磨削加工工作准备，否则不能开动磨床进行加工。若在磨削过程中出现线圈电流减小或消失，则欠电流继电器 KID 将因此而释放，其动合触头 KID (3-4) 断开，KM₁、KM₂ 失电，M₁、M₂、M₃ 电动机立即停转，避免事故发生。

电磁吸盘线圈的过电压保护。由于电磁吸盘线圈匝数多，电感大，在得电工作时，线圈中储存着大量磁场能量。因此，当线圈脱离电源时，线圈两端将会产生很大的自感电动势，出现高电压，使线圈的绝缘及其他电器设备损坏。为此，在线圈两端并联了电阻 R₁ 作为放电电阻，以吸收线圈储存的能量。

电磁吸盘的短路保护。短路保护由熔断器 FU₄ 来实现。

整流装置的过电压保护。交流电路产生过电压和直流侧电路通断时，都会在整流变压器 T₂ 的二次侧产生浪涌电压，该浪涌电压对整流装置 UR 有害。为此，应在 T₂ 的二次侧接上 RC 阻容吸收装置，以吸收尖峰电压，同时通过电阻 R 来防止产生振荡。

(4) 照明电路

照明电路由照明变压器 T₁ 将 380V 电压降为 24V，并由开关 SA₂ 控制照明灯 EL，照明变压器副边装有熔断器 FU₃ 作为短路保护。其原边短路可由熔断器 FU₂ 实现保护。

四、M1432A 型万能外圆磨床电气控制电路

电路如图 4.3.10 所示。

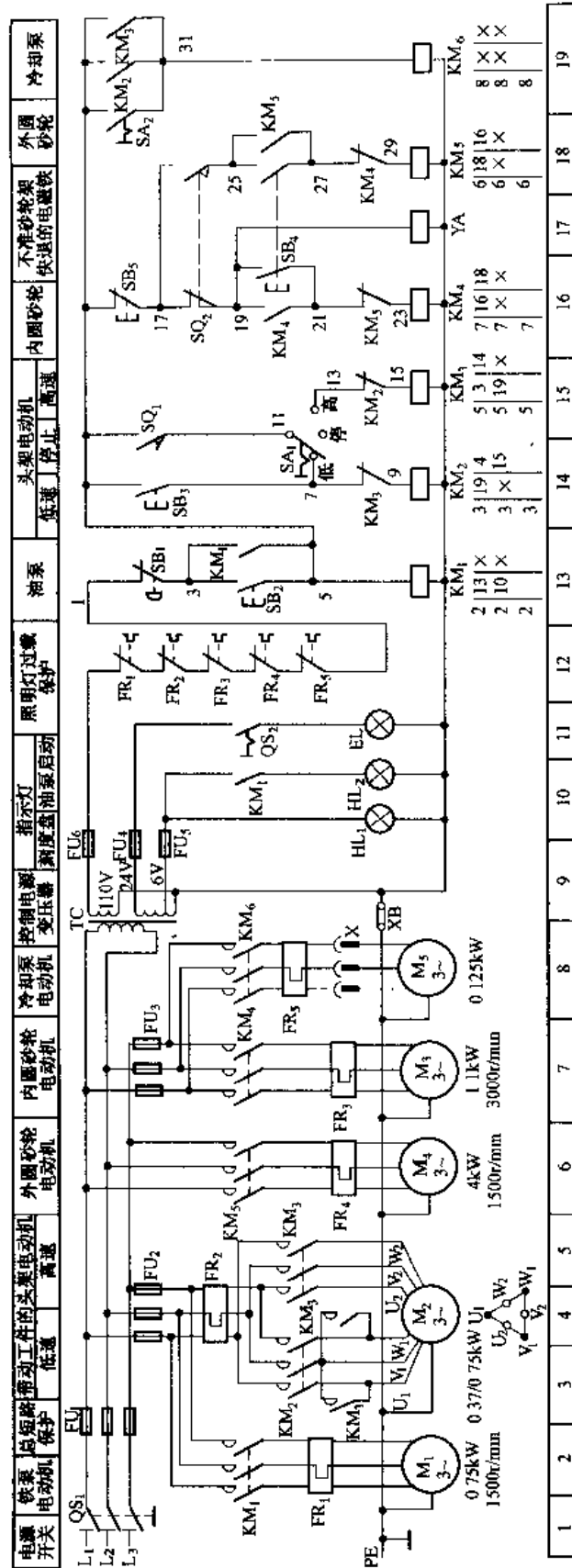


图 4.3.10 M1432A 型万能外圆磨床电气控制电路

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制

该机床共配置 5 台电动机。 M_1 为油泵电动机，由接触器 KM_1 控制，给液压传动系统提供压力油。万能外圆磨床砂轮架的横向进给、工作台纵向往复进给及砂轮架快速进退等运动，都采用液压传动，液压传动时需要的压力油由电动机 M_1 带动液压油泵供给。

M_2 为头架电动机，且为双液电动机，由接触器 KM_2 、 KM_3 控制，带动工件旋转。

M_3 、 M_4 为内、外圆砂轮电动机，分别由接触器 KM_4 、 KM_5 控制。

M_5 为给砂轮和工件提供冷却液的冷却泵电动机，由接触器 KM_6 控制。

$M_1 \sim M_5$ 均采用直架启动控制方式，热继电器 $FR_1 \sim FR_5$ 分别作 $M_1 \sim M_5$ 的长架过载保护，熔断器 $FU_1 \sim FU_3$ 作短路保护。

(2) 根据各电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路分解

① 图区 12、13 为油泵电动机 M_1 的控制电路。

② 图区 14、15 为头架电动机 M_2 的控制电路，如图 4.3.11 所示， SA_1 为速度选择开关， SQ_1 为砂轮架“高、低”速与停止的连锁行程开关，由液压传动装置拖动砂轮架碰压。

③ 图区 16~18 为内、外圆砂轮电动机的控制电路。 SQ_2 为内、外砂轮电动机 M_3 、 M_4 的互锁行程开关，使内外砂轮电动机 M_3 、 M_4 不能同时启动， SQ_2 由内圆磨具翻上碰压。 YA 为电磁铁，通过砂轮架快进快退手柄锁住液压回路，使砂轮架不能快速退回。

④ 图区 19 为冷却泵电动机控制电路。

【看图实践】

(1) 液泵电动机 M_1 的控制

架下启动架钮 SB_2 [13]，架触器 KM_1 [13] 得电吸合并自锁，其主触头闭合，油泵电动机 M_1 启动运转。

除接触器 KM_1 外，其余架触器所需电源都是从 KM_1 的自锁触头 KM_1 (3-5) [13] 后面引入的，因此只有当油泵电动机 M_1 启动后，其余电动机才能启动。

KM_1 线圆电路中串接有热液电器 $FR_1 \sim FR_5$ 的动断触头，因此任一台电动机过载，其热继电器的动断触头都会断开，使 KM_1 失电释放，使整个控制电路失电，从而起到保护作用。

(2) 头架电动机 M_2 的控制 (见图 4.3.10、图 4.3.11)

① 将 SA_1 架至“低”挡位置，启动油泵电动机 M_1 ： $SB_2^+ \rightarrow KM_1^+ \rightarrow M_1^+ \rightarrow$ 油泵电动机 M_1 启动运转 \rightarrow 通过液压传动使砂轮架快液前液。当接近工件时，压合行程开关 SQ_1 ：

$SQ_1^+ \rightarrow KM_2^+ \rightarrow M_2^+$ (低液) $\rightarrow M_{2\Delta}^+$ (电动机 M_2 低液运转)

② 将 SA_1 扳到“高”挡位置，启动电动机 M_1 ，砂轮架快速前进，压合行程开关 SQ_1 ：

$SQ_1^+ \rightarrow KM_3^+ \rightarrow M_2^+$ (高速) $\rightarrow M_{2Y}^+$ (电动机 M_2 高速运转)。



图 4.3.11 电动机 M_2 的控制电路

③ 磨削完毕，砂轮架退回原处，行程开关 SQ_1 复位断开， KM_2 或 KM_3 失电释放，电动机 M_2 停转。

④ SB_3 为点动按钮，便于对工件进行校正和调整。

(3) 内外圆砂轮电动机 M_3 和 M_4 的控制（图区 16~18）

① 当进行外圆磨削时，把砂轮架上的内圆磨具往上翻，其后侧压住行程开关 SQ_2 ，其动合触头 SQ_2 (17-25) [18] 闭合、动断触头 SQ_2 (17-19) [16] 断开，按下启动按钮 SB_4 [16、18]：

$SB_4^+ \rightarrow KM_5^+ \rightarrow M_4^+$ (外砂轮电动机 M_4 启动运转)
 $\xrightarrow{\quad\quad\quad} \overline{KM_5} (21-23)^+ \rightarrow \nabla KM_4$, 互锁

② 当进行内圆磨削时，将内圆磨具翻下，行程开关 SQ_2 复位，其动断触头 SQ_2 (17-19) 复位闭合、动合触头 SQ_2 (17-25) 复位断开，按下启动按钮 SB_4 ：

$SB_4^+ \rightarrow KM_4^+ \rightarrow M_3^+$ (内砂轮电动机 M_3 启动)
 $\xrightarrow{\quad\quad\quad} \overline{KM_4} (27-29)^+ \rightarrow \nabla KM_5$, 互锁

③ 内砂轮磨削时，不允许砂轮架快速退回，为此内圆磨削与砂轮架快速退回进行连锁。当内圆磨具翻下时，由于 SQ_2 复位，使电磁铁 YA [17] 得电吸合，砂轮架快速进退操纵手柄锁住液压回路，使砂轮架不能快速退回。

(4) 冷却泵电动机 M_5 的控制（图区 19）

当接触器 KM_2 或 KM_3 得电吸合后，头架电动机 M_2 启动运转，同时由于 KM_2 或 KM_3 的辅助动合触头 KM_2 (5-31) [19] 或 KM_3 (5-31) [19] 闭合，使 KM_6 得电吸合，其主触头 [8] 闭合，冷却泵电动机 M_5 启动运转。

在修整砂轮时，不需要启动 M_2 ，但需启动 M_5 ，为此备有转换开关 SA_2 ，在修整砂轮时，用来启动 M_5 。

第四节 摇臂钻床电气控制电路

钻床是一种孔加工设备，可用来钻孔、扩孔、铰孔、攻丝及修刮端面等多种形式的加工。按用途和结构分类，钻床可分为立式钻床、台式钻床、多轴钻床、摇臂钻床及其他专用钻床等。在各类钻床中，摇臂钻床操作方便、灵活，适用范围广，具有典型性，特别适用于单件或批量生产带有多孔大型零件的孔加工，是一般机械加工车间常见的机床。

一、摇臂钻床的主要结构、运行形式及控制要求

1. 摇臂钻床的主要结构

摇臂钻床主要由底座、内立柱、外立柱、摇臂、主轴箱及工作台等部分组成，如图 4.4.1 所示。

内立柱固定在底座的一端，在他的外面套有外立柱，外立柱可绕内立柱回转 360° 。摇臂的一端为套筒，它套装在外立柱上，并借助丝杆的正反转，可沿着外立柱作上下移动。由于丝杆与外立柱连成一体，而升降螺母固定的摇臂上，因此摇臂不能绕外立柱转动，只能与外立柱一起绕内立柱回转。主轴箱是一个复合部件，由主传动电动机、主轴和主轴传动机构、进给和变速机构、机床的操作机构等部分组成。主轴箱安装在摇臂的水平导轨上，可以通过手轮操作，使其在水平导轨上沿摇臂移动。

2. 摇臂钻床的运动形式

当进行加工时，由特殊的夹紧装置将主轴箱紧固在摇臂导轨上，而外立柱紧固在内立柱上，摇臂紧固在外立柱上，然后进行钻削加工。钻削加工时，钻头一边进行旋转切削，一边进行纵向进给，其运动形式为：

(1) 摇臂钻床的主运动为主轴的旋转运动。

(2) 进给运动为主轴的纵向进给。

(3) 辅助运动有：摇臂沿外立柱垂直移动，主轴箱沿摇臂长度方向的移动，摇臂与外立柱一起绕内立柱的回转运动。

3. 电气拖动特点及控制要求

(1) 摇臂钻床运动部件较多，为了简化传动装置，采用多台电动机拖动。例如 Z3040 型摇臂钻床采用 4 台电动机拖动，他们分别是主轴电动机、摇臂升降电动机、液压泵电动机和冷却泵电动机，这些电动机都采用直接启动方式。

(2) 为了适应多种形式的加工要求，摇臂钻床主轴的旋转及进给运动有较大的调速范围，一般情况下多由机械变速机构实现。主轴变速机构与进给变速机构均装在主轴箱内。

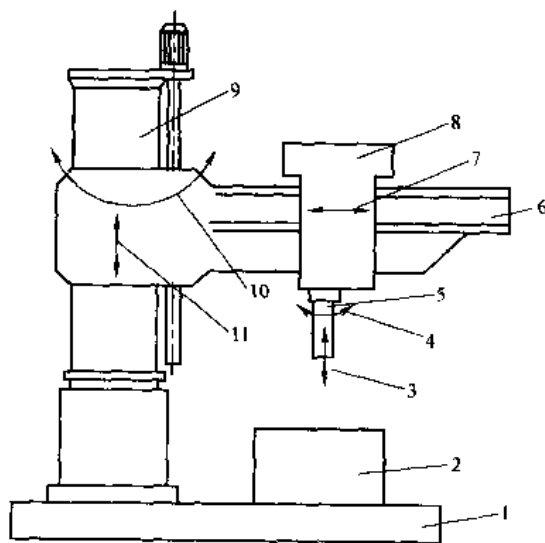
(3) 摇臂钻床的主运动和进给运动均为主轴的运动，为此这两项运动由一台主轴电动机拖动，分别经主轴传动机构、进给传动机构实现主轴的旋转和进给。

(4) 在加工螺纹时，要求主轴能正、反转。摇臂钻床主轴正、反转旋转一般采用机械方法实现。因此主轴电动机仅需要单向旋转。

(5) 摇臂升降电动机要求能正、反向旋转。

(6) 内外主轴的夹紧与放松、主轴与摇臂的夹紧与放松可采用机械操作、电气—机械装置，电气—液压或电气—液压—机械等控制方法实现。若采用机械压装置，则备有液压泵电动机，拖动液压泵提供压力油来实现。液压泵电动机要求能正、反向旋转，并机据要求采用点动控制。

(7) 摇臂的移动严格按照摇臂松开→移动→摇臂夹紧的程序进行。因此摇臂的夹紧与摇



1—底座 2—工作台 3—主轴纵向进给 4—主轴旋转主运动
5—主轴 6—摇臂 7—主轴箱沿摇臂径向运动 8—主轴箱
9—内外立柱 10—摇臂回转运动 11—摇臂垂直移动

图 4.4.1 摇臂钻床结构及运动情况示意图

臂升降按自动控制进行。

- (8) 冷却泵电动机带动冷却泵提供冷却液，只要求单向旋转。
- (9) 具有连锁与保护环节以及安全照明、信号指示电路。

二、Z3040 型摇臂钻床电气控制电路

电路如图 4.4.2 所示。 M_1 为主轴电动机， M_2 为摇臂升降电动机， M_3 为液压泵电动机， M_4 为冷却泵电动机，QS 为总电源控制开关。

该机床采用先进的液压技术，具有两套液压控制系统，一套是操纵机构液压系统，由主轴电动机拖动齿轮输送压力油，通过操纵机构实现主轴正/反转、停车制动、空挡、预选与变速；另一套由液压泵电动机拖动液压泵输送压力油，实现摇臂的夹紧与松开，主轴箱和立柱的夹紧与松开。

【看图思路】

(1) 电气—机械—液压装置在控制中的相互配合

① 操纵机构液压系统 该系统压力油由主轴电动机拖动齿轮泵送出，由主轴操作手柄来改变两个操纵阀的相互位置，使压力油作不同的分配，获得不同动作。操作手柄有上、下、里、外和中间 5 个空间位置。其中上为“空挡”，下为“变速”，外为“正转”，里为“反转”，中间位置为“停车”。而主轴转速及主轴进给量各由一个旋钮预选，然后再操作主轴手柄。

主轴旋转时，首先按下主轴电动机启动按钮，主轴电动机启动旋转，拖动齿轮泵，送出压力油。然后操纵主轴手柄，扳至所需转向位置（里或外），于是两个操纵阀相互改变位置，使一股压力油将制动摩擦离合器松开，为主轴旋转创造条件；另一股压力油压紧正转（反转）摩擦离合器，接通主轴电动机到主轴的传动链，驱动主轴正转或反转。

在主轴正转或反转的过程中，可转动变速旋钮，改变主轴转速或主轴进给量。

主轴停车时，将操作手柄扳回中间位置，这时主轴电动机仍拖动齿轮泵旋转，但此时整个液压系统为低压油，无法松开制动摩擦离合器，而在制动弹簧作用下将制动摩擦离合器压紧，使制动轴上的齿轮不能转动，实现主轴停车。因此主轴停车时主轴电动机仍在旋转，只是不能将动力传到主轴。

主轴变速与进给变速：将主轴操作手柄扳至“变速”位置，于是改变两个操纵阀的相互位置，使齿轮泵送出的压力油进入主轴转速预选阀和主轴进给量预选阀，然后进入各变速油缸。变速液压缸为差动液压缸，具体哪个液压缸上腔进压力油或回油，视所选择主轴转速和进给量大小而定。与此同时，另一油路系统推动拨叉缓慢移动，逐渐压紧主轴转速摩擦离合器，接通主轴电动机到主轴的传动链，带动主轴缓慢旋转（称为缓速），以利于齿轮的顺利啮合。当变速完成后，松开操作手柄，此时手柄在弹簧作用下由“变速”位置自动复位到主轴“停车”位置，然后再操纵主轴正转或反转，主轴将在新的转速或进给量下工作。

主轴空挡：当操作手柄扳向“空挡”位置时，压力油使主轴传动中的滑移齿轮处于中间脱开位置。这时，可用手轻便地转动主轴。

② 夹紧机构液压系统 主轴箱、内外立柱和摇臂的夹紧与松开，是由液压泵电动机拖动液压泵送出压力油，推动活塞、菱形块来实现的。其中主轴箱和立柱的夹紧或放松由一个油路控制，而摇臂的夹紧或放松因要与摇臂的升降运动构成自动循环，因此由另一油路来控制。这两个油路均由电磁阀操纵。

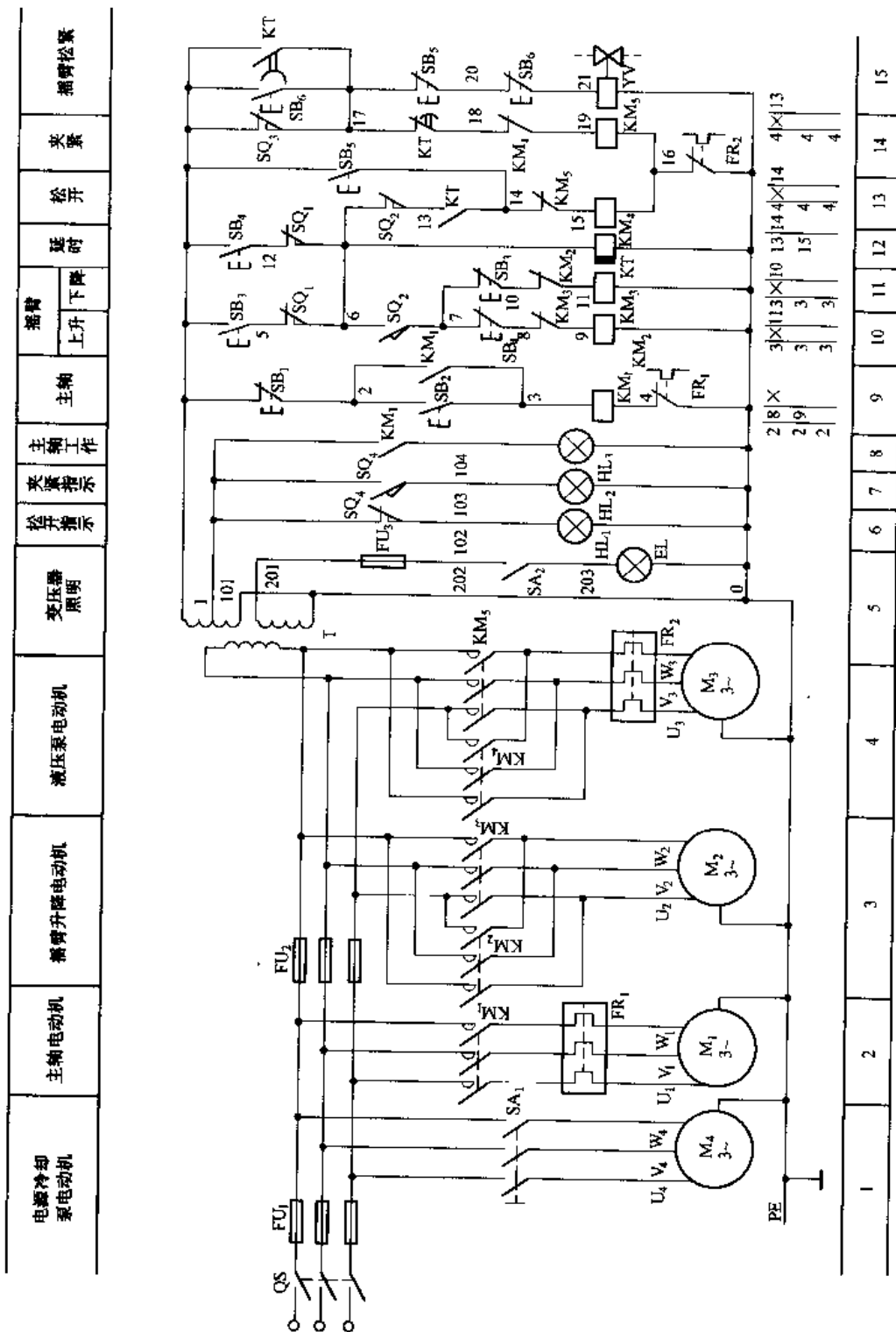


图 4.4.2 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路

(2) 电动机的配置情况及其控制

该钻床共配置 4 台电动机。M₁ 为主轴电动机，由接触器 KM₁ 控制，带动主轴的旋转和使主轴作轴向进给运动，为单向旋转。主轴正、反转则由电动机拖动齿轮泵松出压力油，通过液压系统操纵机构配合正、反转摩擦离合器驱动主轴正转或反转来实现，并由热继电器 FR₁ 作为长期过载保护。

M₂ 为摇臂上升下降电动机，可作正、反向运行，由接触器 KM₂、KM₃ 控制。M₃ 为液压泵电动机，作正反向运行，由接触器 KM₄、KM₅ 控制。控制电路保证在操纵摇臂升降时，首先使液压泵电动机启动运转，供出压力油，经液压系统使摇臂松开，然后才使电动机 M₂ 启动，拖动摇臂上升或下降。当摇臂移动到位后，控制电路又保证 M₂ 先停下，再自动通过液压系统，将摇臂夹紧，最后液压泵电动机 M₃ 才停下。

M₄ 为冷却泵电动机，由转换开关 SA₁ 控制。

① 短路保护：在主电路中，利用熔断器 FU₁ 作总电路和电动机 M₁、M₄ 的短路保护；利用熔断器 FU₂ 作电动机 M₂、M₃ 和控制变压器 T 原边的短路保护；在控制电路中，利用熔断器 FU₃ 作照明回路的短路保护。

② 过载保护：在主电路中，利用热继电器 FR₁、FR₂ 分别作主轴电动机 M₁、液压泵电动机 M₃ 的过载保护。如果由于液压系统的夹紧机构出现故障不能夹紧，那么行程开关 SQ₃ 的触头 SQ₃ (1-17) 将断不开，或者由于行程开关 SQ₃ 安装调整不当，摇臂夹紧后仍不能压下行程开关 SQ₃，这时会使液压泵电动机 M₃ 处于长期过载状态，易将 M₃ 烧毁。M₂ 为短时工作，不用设长期过载保护。

③ 失压（欠压）保护：主轴电动机 M₁ 采用按钮与自锁控制方式，具有失压保护功能，各接触器线圈自身也具有欠电压保护功能。

(3) 根据电动机主电路控制电器主触头的文字符号将控制电路进行分解

① 根据主轴电动机 M₁ 主电路控制元件主触头文字符号 KM₁，在图区 9、8 中找到电动机 M₁ 的控制电路，这是由按钮 SB₁、SB₂ 和接触器 KM₁ 组成的启动、停止控制电路。

② 根据摇臂升降电动机 M₂ 主电路控制元件主触头文字符号 KM₂、KM₃，在图区 10、11 中可找到电动机 M₂ 的控制电路，如图 4.4.3 (a) 所示，图中有行程开关 SQ₁、SQ₂。

摇臂升降电动机 M₂ 由摇臂升降按钮 SB₃、SB₄ 及正反转接触器 KM₂、KM₃ 组成的控制电路实现正反转，这是具有复合连锁（按钮 SB₃、SB₄ 连锁和接触器 KM₂、KM₃ 连锁）的电动机正反转点动控制电路，用来控制摇臂上升或下降。

③ 根据液压泵电动机 M₃ 主电路控制元件主触头文字符号 KM₄、KM₅，在图区 13、14 中可找到电动机 M₃ 的控制电路，如图 4.4.3 (c) 所示。这是由按钮 SB₅、SB₆ 和接触器 KM₄、KM₅ 组成的具有接触器连锁的正反转点动控制电路。

④ 根据电磁阀文字符号 YV，在图区 15 中可找到电磁阀控制电路，如图 4.4.3 (d) 所示。

由图 4.4.3 (a)、(c)、(d) 可见，这 3 部分通过图 4.4.3 (b) 所示的断电延时继电器 KT 和行程开关 SQ₂、SQ₃ 进行联系，因此 KT、SQ₂、SQ₃ 在摇臂升降过程中的状态变化，就是分析该电路的关键。

(4) 行程开关 SQ₁~SQ₃ 及时间继电器 KT 的作用

① 行程开关 SQ₁ 是摇臂上升或下降至极限位置的保护开关，有两副动断触头 SQ₁ (5-6) [10]、SQ₁ (12-6) [11]，分别串联在摇臂上升或下降控制电路中。SQ₁ 与一般限位开关不同，

其两副动断触头不同时动作。当摇臂升至上极限位置时， SQ_1 的动断触头 SQ_1 (5-6) [10] 断开，使接触器 KM_2 失电，升降电动机 M_2 停转，上升运动停止。但 SQ_1 另一副动断触头 SQ_1 (12-6) [12] 仍保持闭合，因此可按下按钮 SB_4 ，使接触器 KM_3 得电吸合，控制摇臂升降电动机 M_2 反向旋转，摇臂下降。当摇臂在下极限位置时，控制过程与此类似。

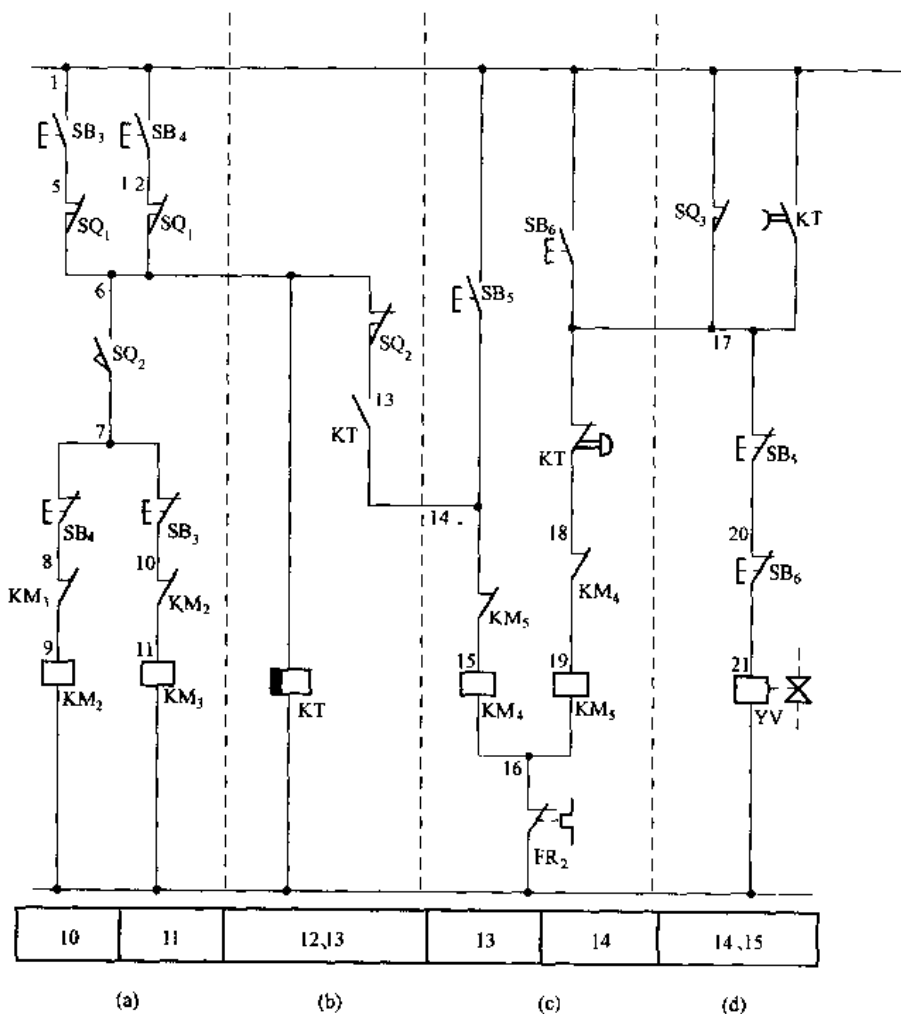


图 4.4.3 电动机 M_2 、 M_3 和电磁阀 YV 控制电路

② 在摇臂升降电路中，行程开关 SQ_2 为摇臂放松到位的信号开关，行程开关 SQ_3 为摇臂夹紧到位的信号开关。因此行程开关 SQ_2 及 SQ_3 用来检查摇臂是否松开或夹紧，以实现限位连锁。

SQ_2 的动合触头 SQ_2 (6-7) [10] 串联在 KM_2 、 KM_3 线圈电路中，它在摇臂完全放松到位后才动作闭合，以确保摇臂的升降在其放松后进行。如果摇臂没有放开， SQ_2 (6-7) 就不能闭合，因而控制摇臂升降的 KM_2 或 KM_3 就不能闭合，摇臂就不会上升或下降。

行程开关 SQ_3 的动断触头 SQ_3 (1-17) [14] 串联在接触器 KM_5 线圈、电磁阀 YV 线圈电路中，在摇臂完全夹紧时动作。如果摇臂未夹紧，则行程开关 SQ_3 的动断触头闭合保持原状，使接触器 KM_5 、电磁阀 YV 得电吸合，对摇臂进行夹紧，直到完全夹紧为止，行程开关 SQ_3 的动断触头才断开，使接触器 KM_5 、电磁阀 YV 失电释放，确保钻削加工精度。 SQ_3 应

调整到保证夹紧后能够动作，否则会使液压泵电动机 M_3 处于长时间过载运行状态。断电延时时间继电器 KT 的作用是，保证升降电动机断开并完全停止旋转后（摇臂完全停止升降）才能夹紧摇臂。

③ KT 断电延时断开的动合触头 KT (1-17) [15] 是为保证当瞬间操作 SB_3 或 SB_4 时，使 KM_4 得电吸合。摇臂开始松开后马上放开 SB_3 或 SB_4 时， KM_4 马上失电，可能造成摇臂处于半松开状态。有了 KT 延时断开触头的动合触头 KT (1-17) 后，则能在 KT 失电 $1\sim 3s$ 内使触头 KT (1-17) 仍处于闭合状态，使 KM_5 得电，液压泵电动机 M_3 反向旋转，使摇臂重新夹紧，直到延时时间到， KT 的触头 KT (1-17) 才复位断开， SQ_3 动作， KM_5 失电释放，这样就保证了摇臂在加工工件前总是处于夹紧状态。

通过 KT 延时断开的动合触头 KT (1-17) 和延时闭合的动断触头 KT (17-18) [14]， KT 能保证在摇臂升降电动机 M_2 完全停止运行后，才能进行摇臂的夹紧动作。 KT 的延时长短由摇臂升降电动机 M_2 从切断电源到停止运动的惯性大小来决定，一般为 $1\sim 3s$ ，这就是时间连锁。

【看图实践】

主电路分析如上所述，下面介绍控制电路如何实现对主电路的控制。

(1) 主轴电动机 M_1 的控制

按启动按钮 SB_2 [9] → 接触器 KM_1 得电吸合并自锁 → KM_1 主触头 [2] 闭合 → M_1 转动，同时 KM_1 辅助动合触头 KM_1 (101-104) [8] 闭合，指示灯 HL_3 点亮，表明主轴电动机在旋转。按停止按钮 SB_1 [9] → KM_1 失电释放 → M_1 停转，同时 KM_1 辅助动合触头 KM_1 (101-104) 复位断开，表明电动机 M_1 停转。

主轴的正、反转则由液压系统的操纵机构配合正、反转摩擦离合器实现。

(2) 摇臂升降的控制

当由摇臂上升或下降点动按钮 SB_3 、 SB_4 发出摇臂升降指令时，先使摇臂松开，尔后摇臂上升或下降，待摇臂上升或下降到位时，又重新自行夹紧。由于摇臂的松开与夹紧是由夹紧机构液压系统实现的，因此摇臂升降必须与夹紧机构液压系统紧密配合。

摇臂升降电动机 M_2 由按钮 SB_3 、 SB_4 点动控制正、反转接触器 KM_2 、 KM_3 ，以实现电动机 M_2 的正反转，进而拖动摇臂上升或下降。

液压泵电动机 M_3 由正反转接触器 KM_4 、 KM_5 控制，实现电动机正反转，拖动双向液压泵，送出压力油，经二位六通阀送至摇臂夹紧机构，实现摇臂的夹紧与放松。

下而以摇臂上升为例，分析摇臂升降的控制过程。

摇臂升降启动的初始条件是，摇臂钻床在平常或加工工件时，其摇臂始终处于夹紧状态，摇臂夹紧信号开关 SQ_3 被压合，其动断触头 SQ_3 (1-17) [14] 处于断开状态；摇臂放松信号开关 SQ_2 未受压，其动合触头 SQ_2 (6-7) [10] 处于断开状态，而动断触头 SQ_2 (6-13) [13] 处于闭合状态。

① 摇臂升降启动过程 按住上升点动启动按钮 SB_3 ，其动断触头 SB_3 (7-10) [11] 断开，使 KM_3 不能得电，其动合触头 SB_3 (1-5) [10] 闭合，使断电延时时间继电器 KT 得电吸合，其瞬动动合触头 KT (13-14) 闭合，使接触器 KM_4 得电吸合，其通路为 SB_3 (1-5) → SQ_1 (5-6) → SQ_2 (6-13) → KT (13-14) → KM_4 线圈 → FR_2 (16-0)，液压泵电动机启动旋转，拖动液压泵送出正向压力油。与此同时， KT 断电延时闭合的动断触头 KT (17-18) [14] 立即断开，使接触器 KM_5

不能得电，实现互锁；KT 的断电延时断开的动合触头 KT (1-17) [14] 闭合，使电磁阀 YV 得电，其通路为 KT (1-17) → SB₅ (17-20) → SB₆ (20-21) → YV 线圈。于是压力泵送出的压力油经二位六通阀进入液压系统的摇臂夹紧机构的松开油腔，推动活塞和菱形块，将摇臂松开，并使摇臂夹紧信号开关 SQ₃ 复位，其动断触头 SQ₃ (1-17) [14] 复位闭合。当摇臂完全松开时，活塞杆通过弹簧片压下行程开关 SQ₂，发出摇臂已放松信号，即 SQ₂ 的动断触头 SQ₂ (6-13) 断开、动合触头 SQ₂ (6-7) 闭合，使接触器 KM₂ 得电吸合，其通路为 SB₃ (1-5) → SQ₁ (5-6) → SQ₂ (6-7) → SB₄ (7-8) → KM₃ (8-9) → KM₂ 线圈，摇臂升降电动机 M₂ 启动旋转，拖动摇臂上升；同时 KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (10-11) [11] 断开，确保 KM₃ 不能得电，实现互锁。因此，行程开关 SQ₂ 是用来反映摇臂是否松开且发出松开信号的元件。

② 摇臂升降停止过程 当摇臂上升到所需位置时，松开摇臂上升点动按钮 SB₃，KM₂ 和 KT 同时失电释放。KM₂ 失电释放，使摇臂上升电动机 M₃ 停止转动，摇臂停止上升；KT 失电释放，瞬动的动合触头 KT (3-14) 立刻复位断开，确保 KM₄ 不能得电。在 KT 断电延时的 1~3s 时间内，KM₅ 线圈仍处于失电状态，电磁阀 YV 仍处于得电状态。确保摇臂升降电动机 M₂ 在断开电源后到完全停止运转才开始摇臂的夹紧动作，因此 KT 延时长短依 M₃ 电动机切断电源至完全停止旋转的惯性大小来调整。

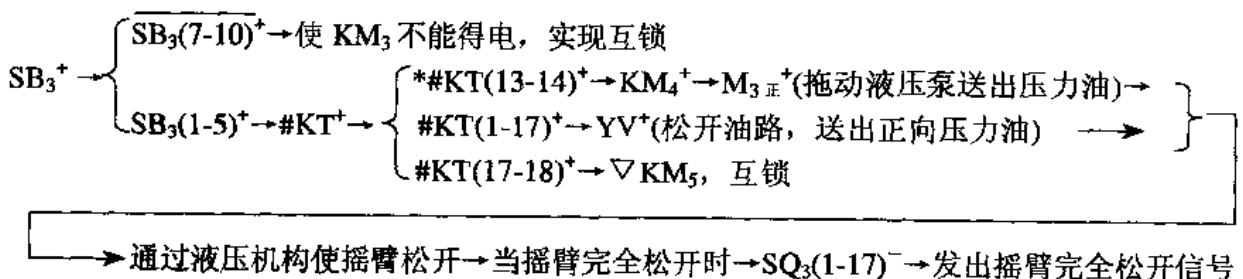
一旦 KT 断电延迟时间到，延时闭合的动断触头 KT (17-18) 便闭合，使 KM₅ 得电吸合，其通路为 SQ₃ (1-17) → KT (17-18) → KM₄ (18-19) → KM₅ 线圈 → FR₂ (16-0)，液压泵电动机 M₃ 反向启动，拖动液压泵，供出反向压力油。同时，触头 KT (1-17) 断开，电磁阀 YV 失电，这时压力油经二位六通阀进入摇臂夹紧油腔，反方向推动活塞和菱形块，将摇臂夹紧。同时，活塞杆通过弹簧片压下行程开关 SQ₃，使触头 SQ₃ (1-17) 断开，电磁阀 YV、KM₅ 失电，液压泵电动机 M₃ 停止旋转，摇臂夹紧完成。因此 SQ₃ 为摇臂夹紧信号开关。

在摇臂升降电路中，除了采用按钮 SB₃ 和 SB₄ 的机械连锁外，还采用了接触器 KM₂ 和 KM₃ 的电气连锁，即对摇臂升降电动机 M₂ 实现了正反转复合连锁。在液压泵电动机 M₃ 的正反转控制电路中，接触器 KM₄ 和 KM₅ 采用了电气连锁，在主轴箱和立柱的夹紧、放松电路中，为保证压力油不供给摇臂夹紧油路，将按钮 SB₅ 和 SB₆ 的动断触头串联在电磁阀 YV 线圈的电路中，以达到连锁目的。

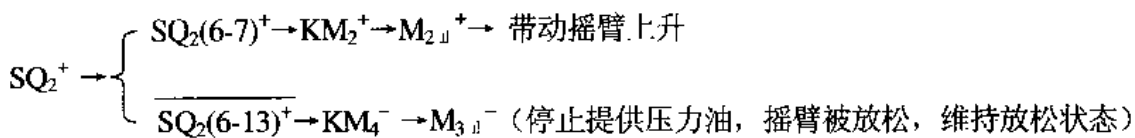
在摇臂上升过程中，电器动作顺序用助记符表示则为：

预备状态（摇臂钻床平常或加工件时）：SQ₃ 被压、SQ₂ 未受压。

摇臂放松：当摇臂松开后，SQ₃ 不再受压。

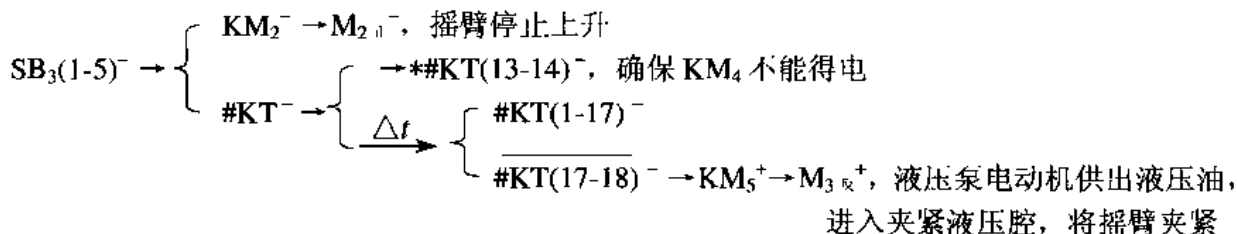


摇臂上升：通过液压油将摇臂松开，当摇臂完全松开时，压下位置行程开关 SQ₂，发出摇臂上升信号。

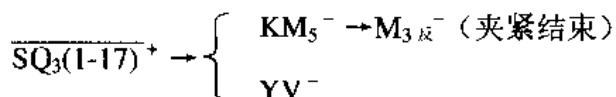


因此, SQ_2 是用来反映摇臂是否完全放松并发出摇臂松开信号的电器元件。

摇臂夹紧: 当摇臂上升到所需位置时, 松开上升点动按钮 SB_3 , 即 SB_3 复位:



当摇臂空气夹紧时:



因此 SQ_3 是用来反映摇臂是否夹紧并发出摇臂夹紧信号的电器元件。

如果点动按钮 SB_3 或 SB_4 时间过短, 则可能会造成摇臂处于半放松状态, 使行程开关 SQ_3 动断触头 $SQ_3(1-17)$ [14] 复位。这时, 电磁阀 YV 得电, 时间继电器 KT 的延时闭合的动断触头 $KT(17-18)$ 会在 1~3s 后保证接触器 KM_5 得电, 液压泵电动机 M_3 反转, 使摇臂夹紧。在此之后, 行程开关 SQ_3 动断触头 $SQ_3(1-17)$ 断开, 切断接触器 KM_5 和电磁阀 YV 电路, 这样就保证了摇臂在加工工件前总是处于夹紧状态。

(3) 立柱和主轴箱夹紧与放松的控制

立柱与主轴箱均采用液压夹紧与松开, 且从液压系统看, 两者同时动作。当进行夹紧或松开时, 要求电磁铁 YV 处于释放状态。

当按下点动放松按钮 SB_5 (或夹紧按钮 SB_6) 时, 接触器 KM_4 (或 KM_5) 得电吸合, 并驱动液压泵 M_3 正转 (或反转), 输送出正向 (或反向) 压力油。压力油经二位六通阀进入立柱夹紧液压缸的松开 (或夹紧) 油腔和主轴箱夹紧液压缸的松开 (或夹紧) 油腔, 推动活塞和菱形块, 使立柱和主轴箱分别松开 (或夹紧)。由于此时 YV 线圈处于失电状态, 压力油不会打入摇臂松开油腔, 摇臂仍处于夹紧状态。当主轴箱和立柱完全放松时, 行程开关 SQ_4 恢复原状, 其动断触头 $SQ_4(101-102)$ 保持闭合, 指示灯 HL_1 点亮, 表示主轴箱与立柱处于松开状态, 可以手动操作主轴箱在摇臂的水平导轨上移动至适当位置。推动摇臂 (套在内立柱上) 使外立柱绕内立柱旋转至适当的位置。当主轴箱和立柱完全夹紧时, 这时行程开关 SQ_4 动作, 动断触头 $SQ_4(101-102)$ 断开, 指示灯 HL_1 熄灭, 同时, 动合触头 $SQ_4(101-103)$ 闭合, 指示灯 HL_2 点亮, 表示它们确已夹紧, 可以进行钻削加工。

利用主轴箱和立柱的夹紧或放松, 还可以检查电源相序正确与否, 以确保摇臂升降电动机 M_2 的正反转接线正确。

主轴箱和立柱夹紧下松开过程中的电器动作顺序为:

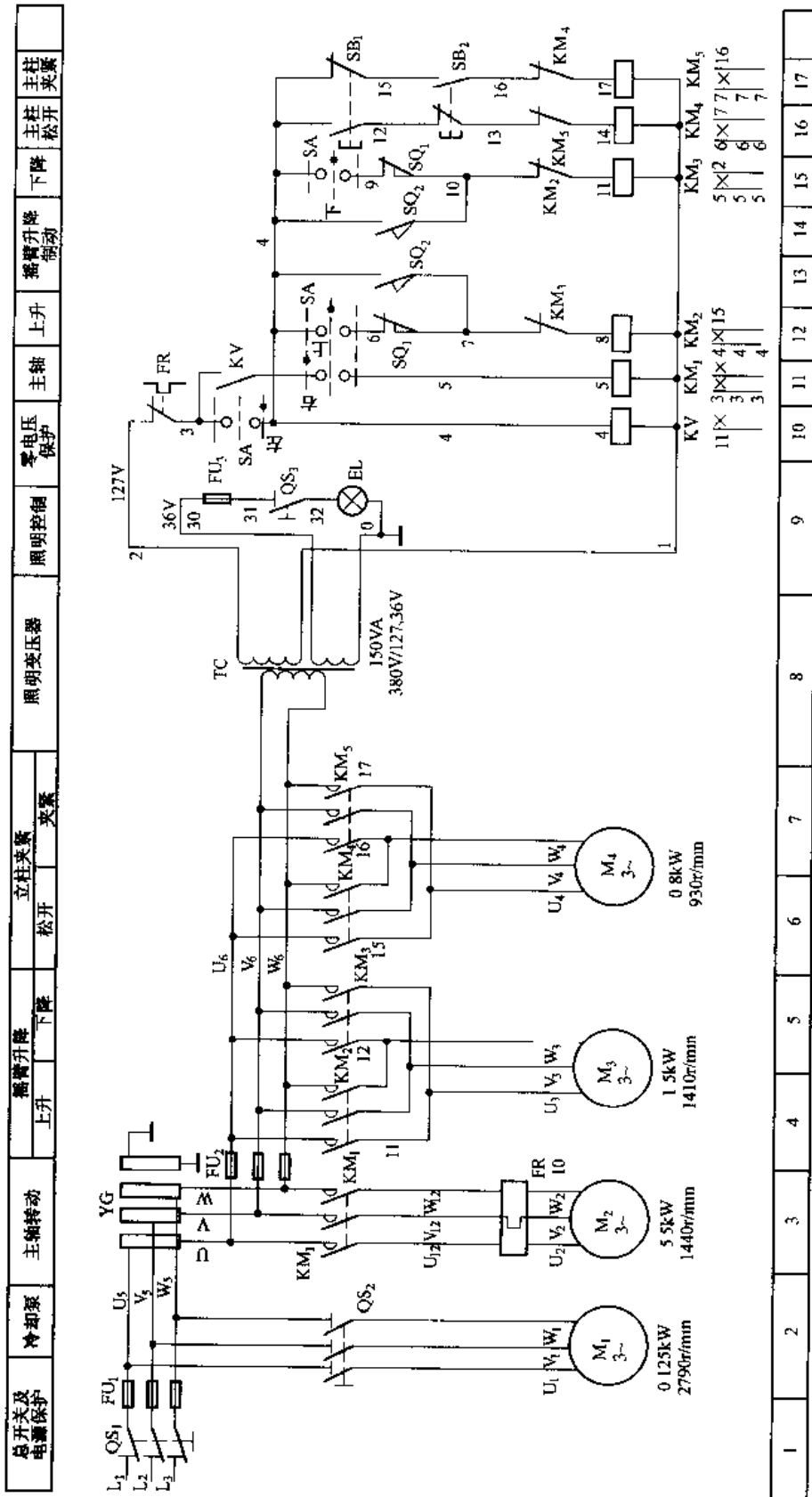


图 4.4.4 Z35 型摇臂钻床电气控制电路

的夹紧与放松是通过立柱夹紧或放松电动机 M_4 的正反转并通过液压装置进行的， M_4 由接触器 KM_4 和 KM_5 控制其正反转。

M_1 为冷却泵电动机，由转换开关 QS_2 控制。

(2) 根据电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路进行分解

① 根据主轴电动机 M_2 主电路控制电器主触头文字符号 KM_1 ，在图区 11 找到 KM_1 线圈电路，如图 4.4.5 (b) 所示，图中有零压继电器 KV 的动合触头 KV (3-4) 和十字开关 SA 的触头 SA (4-5)。

② 根据摇臂升降电动机 M_3 主电路控制电器主触头文字符号 KM_2 、 KM_3 ，在图区 12~15 中找到 KM_2 、 KM_3 线圈电路，如图 4.4.5 (c) 所示，图中有十字开关 SA 的触头 SA (4-6) 和 SA (4-9)，还有复合行程开关 SQ_1 和 SQ_2 。

③ 由图 4.4.5 (b)、(c) 可以看出，主轴电动机 M_2 和摇臂升降电动机 M_3 采用十字开关 SA 进行控制，十字开关触头工作状态见表 4.4.1。十字开关的塑料盖板上有一个十字形的孔槽，共有 5 个位置，左、右、上、下和中间位置，在盖板槽孔的左、右、上和下 4 个位置的后面分别装有 1 个微动开关。当操作手柄分别扳到这 4 个位置时，便相应压下后面的微动开关，其动合触头闭合而接通所需的电路。当手离开手柄时，微动开关自动复位，当手柄处于中间位置时，4 个微动开关都不受压，全部处于断开状态。十字开关的 4 副触头分别控制零压保护、主轴旋转和摇臂的上升或下降。

SQ_1 是能够自动复位的鼓形转换开关，其两副触头都调整在动断状态， SQ_1 为使摇臂上升或下降时不超过极限位置的保护开关。 SQ_2 是不能自动复位的鼓形转换开关，其两副触头都调整在动合状态，由机槽超置来代替其通断。 SQ_2 是控制摇臂夹紧的位置开关，其两副触头分别在槽臂上升、下降时起作用。

零压继电器 KV 的作用是当供电电路失电时， KV 失电释放，其动合触头 KV (3-4) 复位断开，使整个控制电路失电；当恢复供电时，控制电路依然断开，必须再次将十字开关 SA 扳到“左”位置，使 KV 重新得电吸合，其动合触头 KV (3-4) 闭合，使整个控制电路有电，从而避免了机床失电后电压恢复时的自行启动。也就是说， KV 的动合触头 KV (3-4) 起到类似槽触器自锁触头的作用。

④ 根据立柱夹紧电动机 M_4 主电路控制电器文字符号 KM_4 、 KM_5 ，在图区 16、17 中找到 KM_4 、 KM_5 线圈电路，这是按钮、槽触器复合连锁的正反转点动控制电路。

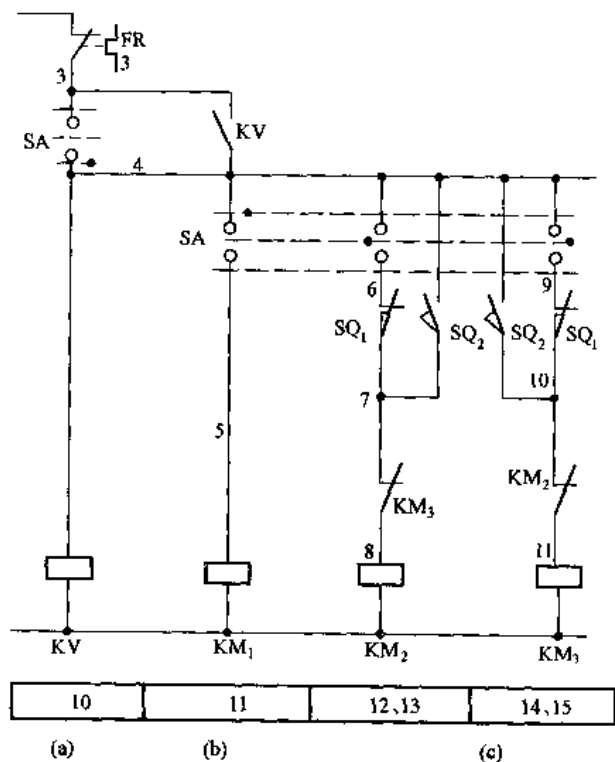


图 4.4.5 电动机 M_1 、 M_3 的控制电路

表 4.4.1 十字开关 SA 触头工作状态

十字开关置	触头文字号	所在图区	控制电路工作情况
左	SA (3-4)	10	KV 得电并自锁
右	SA (4-5)	11	KM ₁ 得电, M ₁ 启动运转
上	SA (4-6)	12	KM ₂ 得电, M ₂ 正转运行摇臂上升
下	SA (4-9)	15	KM ₃ 得电, M ₂ 反转运行摇臂下降
中			触头均断开, 控制电路失电

【看图实践】

合上开关 QS₁, 经汇流环 YG 给电动机 M₂~M₄ 上电路供电, 并通过控制变压器 TC 给控制电路供电, 控制电路电压为 127V。

(1) 主电动机 M₂ 的控制

将十字开关扳至左边的位置, 触头 SA (3-4) 闭合, 使电压继电器 KV 得电吸合并自锁, 为其他控制电路得电作准备。主轴和摇臂升降控制是在电压继电器 KV 得电并自锁的前提下进行的。再将十字开关柄扳到右边位置, 触头 SA (4-5) 闭合, 使 KM₁ 得电吸合, 其主触头 [3] 闭合, 使电动机 M₂ 得电启动运转, 经主轴传动链带动主轴旋转。主轴的旋转方向由主轴箱上的摩擦离合器手柄所扳的位置来决定。

将十字开关手柄扳至中间位置, SA 的触头全部断开, KM₁ 失电释放, 电动机 M₁ 失电停转, 主轴也停止转动。

(2) 摇臂升降的控制

摇臂升降前必须将摇臂松开, 升降完毕后又必须将摇臂夹紧。摇臂升降是由电气和机械传动联合控制的, 能自动完成摇臂松开→摇臂上升或下降→摇臂夹紧的过程。

要使摇臂上升, 将十字开关手柄扳到向“上”位置, SA 的触头 SA (4-6) 闭合, 使 KM₂ 得电吸合, 其主触头 [4] 闭合, 电动机 M₃ 正转启动运转; KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (10-11) 断开, 使 KM₃ 不能得电, 实现互锁。由于摇臂上升前还被夹紧在外立柱上, 因此 M₃ 刚启动时, 摇臂不会立即上升, 而是通过机械传动装置使摇臂夹紧机构松开, 同时机械装置使位置开关 SQ₂ 的动合触头 SQ₂ (4-10) [14] 闭合, 为摇臂上升后的夹紧作好准备。当夹紧机构放松后, 电动机 M₃ 通过升降丝杆, 带动摇臂上升。当摇臂上升到所需位置时, 将十字开关扳到“中”位置, 触头 SA (4-6) 复位断开, KM₂ 失电释放, M₃ 失电停转, 摇臂也停止上升。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (10-11) 复位闭合, 由于 SQ₂ 的动合触头 SQ₂ (4-10) 已闭合, 因此使 KM₃ 得电吸合, 其主触头 [5] 闭合, 电动机 M₃ 反转启动运转; KM₃ 的辅助动合触头 KM₃ (7-8) 断开, 使 KM₂ 不能得电, 实现互锁。M₃ 反转运行后, 通过传动装置, 摇臂自动夹紧。夹紧后, 位置开关 SQ₂ 的动合触头 SQ₂ (4-10) 断开, 使 KM₃ 失电释放, 电动机 M₃ 失电停转, 上升过程结束。

要使摇臂下降, 可将十字开关 SA 扳到“下”位置, 使触头 SA (4-9) 闭合, KM₃ 得电吸合, 其主触头 [5] 闭合, 电动机 M₃ 反转启动运转, 通过传动装置使摇臂夹紧机构松开, 并使位置开关 SQ₂ 的动合触头 SQ₂ (4-7) 闭合, 为摇臂下降后的夹紧作准备。当摇臂下降到所需位置时, 将十字开关 SA 扳到“中”位置, 其他动作与上升的动作相似。

为使摇臂上升时不致超过允许的极限位置，在摇臂上升、下降控制电路中分别串入位置开关 SQ_1 的动断触头 SQ_1 (6-7) [12]、 SQ_1 (9-10) [15]。当摇臂上升到极限位置时，挡块将相应的位置开关压下，使电动机停转。

(3) 立柱的夹紧与松开控制

立柱夹紧与松开是通过 KM_4 、 KM_5 控制电动机 M_4 的正、反转实现的。当需要摇臂和外立柱绕内立柱转动时，应先按下按钮 SB_1 ，使 KM_4 得电吸合，其主触头 [6] 闭合，电动机 M_4 正转启动运转，通过齿式离合器带动齿轮油泵，送出高压油，经油路系统和传动机构使外立柱松开；然后松开 SB_1 ， KM_4 失电释放，电动机 M_4 失电停转。此时可用人力推动摇臂和外立柱绕内立柱作旋转。当转到所需位置时，再按下按钮 SB_2 ，使 KM_5 得电吸合，其主触头 [7] 闭合，电动机 M_4 反向启动运转，在液压系统推动下，将外立柱夹紧；然后松开 SB_2 ， KM_5 失电释放， M_4 失电停转。

(4) 冷却泵电动机 M_1 的控制

M_1 由转换开关 QS_2 直接控制。

第五节 铣床的电气控制电路

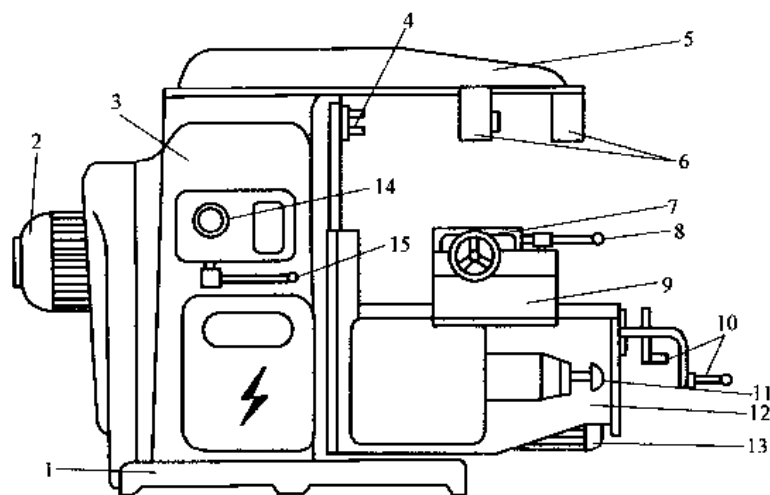
铣床可用来加工平面、斜面、沟槽，装上分度盘可以铣切齿轮和螺旋面，装上圆工作台还可以铣切凸转和弧形槽，因此铣床在机械行业的机床设备中占有相当大的比重，是一种常用的通用机床。

一般中小型铣床都采用三相笼形感应电动机拖动，并且主轴旋转主运动与工作台进给运动分别由单独的电动机拖动。铣床主轴的主运动为刀具的切削运动，有顺铣和逆铣两种加工方式；工作台的进给运动有水平工作台左右（纵向）、前后（横向）以及上下（垂直）方向运动，此外还有圆工作台的回转运动。

一、铣床的主要结构、运动形式和控制要求

1. 铣床的主要结构

铣床主要由底座、床身、悬梁、刀杆支架、升降工作台、溜机及工作台等组成，如图 4.5.1 所示。在刀杆支架上安装有与主轴相连的刀杆和铣刀，以进行切削加工，顺铣时为一转动方向，逆铣时为另一转动方向，床身前面有垂直导轨，升降工作台 12 带动工作台 7 沿垂直导轨上下移动，完成垂直方向的进给，升降工作台 12 上的水平工作台，还可在左右（纵向）方向以及横向上移动进给。回转工作台可单向转动。进给电动机经机械传动链传动，通过机械离合器在选定的进给方向驱动工作台移动进给，进给运动的传递示意图如图 4.5.2 所示。



1—底座 2—主轴电动机 3—床身 4—主轴 5—悬梁 6—刀杆支架 7—工作台 8—工作台左右进给操作手柄
9—溜板 10—工作台前后、上下操作手柄 11—进给变速手柄及变速盘 12—升降工作台
13—进给电动机 14—主轴变速盘 15—主轴变速手柄

图 4.5.1 卧式万能铣床外形结构示意图

此外,溜板可绕垂直轴线方向左右旋转 45° , 使得工作台还能在倾斜方向进行进给, 便于加工螺旋槽。该机床还可安装圆形工作台, 以扩展铣削功能。

2. 铣床的运动形式

卧式万能铣床有 3 种运动形式:

(1) 主运动 铣床的主运动是指主轴带动铣刀的旋转运动。

(2) 进给运动 铣床的进给运动是指工作台带动工件在上、下、左、右、前和后 6 个方向上的直线运动或圆形工作台的旋转运动。

(3) 辅助运动 铣床的辅助运动是指工作台带动工件在上、下、左、右、前和后 6 个方向上的快速移动。

3. 铣床的电力拖动特点及控制要求

(1) 由于铣床的主运动和进给运动之间没有严格的速度比例关系, 因此铣床采用单独拖动的方式, 即主轴的旋转和工作台的进给, 分别由两台笼形感应电动机拖动。其中进给电动机与进给箱均安装在升降台上。

(2) 为了满足铣削过程中顺铣和逆铣的加工方式, 要求主轴电动机能实现正、反旋转, 但这可以根据铣刀的种类, 在加工前预先设置主轴电动机的旋转方向, 而在加工过程中则不需改变其旋转方向。

(3) 由于铣刀是一种多刃刀具, 其铣削过程是断续的, 因此为了减小负载波动对加工质量造成的影响, 主轴上装有飞轮。由于其转动惯性较大, 因而要求主轴电动机能实现制动停

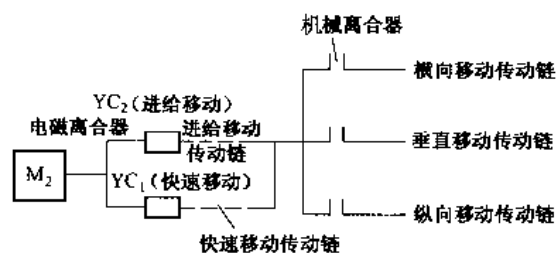


图 4.5.2 铣床运动传递示意图

车，以提高工作效率。

(4) 工作台在 6 个方向上的进给运动，是由进给电动机分别拖动三根进给丝杆来实现的，每根丝杆都应该有正反向旋转，因此要求进给电动机能正反转。为了保证机床、刀具的安全，在铣削加工时，只允许工件同一时刻作某一个方向的进给运动。另外，在用圆工作台进行加工时，要求工作台不能移动。因此，各方向的进给运动之间应有进锁保护。

(5) 为了缩短调整运动的时间，提高生产效率，工作台应有快速移动控制，这里通过快速电磁铁的吸合而改变传动链的传动比来实现。

(6) 为了适应加工的需要，主轴转速和进给转速应有较宽的调节范围，X62W 型卧式万能铣床采用机械变速的方法即改变变速箱的传动比来实现，简化了电气调速控制电路。为了保证在变速时齿轮易于啮合，减小齿轮端面的冲击，要求主轴和进给电动机变速时都应具有变速冲动控制。

(7) 拖据工艺要求，主轴旋转与工作台进给应有先后顺序控制的进锁关系，即进给运动要在铣刀旋转之后才能进行。铣刀停止旋转，进给运动就该同时停止或提前停止，否则易造成工件与铣刀相碰事故。

(8) 为了使操作者能在铣床的正面、侧面方便地进行操作，对主轴电动机的启动、停止以及工作台进给运动的选向和快速移动，设置了多地点控制（两地控制）方案。

(9) 冷却泵电动机用来拖动冷却泵，有时需要对工件、刀具进行冷却润滑，采用主令开关控制其单方向旋转。

二、X62W 拖万能升降台铣床电气控制电路

电路如图 4.5.3 所示，使用的电器元件明细如表 4.5.1 所示。

表 4.5.1 X62W 型万能铣床电器元件明细表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
M ₁	主轴电动机	SA ₄	照明灯开关
M ₂	进给电动机	SA ₅	主轴换向开关
M ₃	冷却泵电动机	QS	电源隔离开关
KM ₁	主电动机启动接触器	SB ₁ SB ₂	主轴停止按钮
KM ₂	进给电动机正转接触器	SB ₃ SB ₄	主轴启动按钮
KM ₃	进给电动机反转接触器	SB ₅ SB ₆	工作台快速移动按钮
KM ₄	快速接触器	FR ₁	主轴电动机热继电器
SQ ₁	工作台向右进给行程开关	FR ₂	进给电动机热继电器
SQ ₂	工作台向左进给行程开关	FR ₃	冷却泵热继电器
SQ ₃	工作台向前、向下进给行程开关	FU ₁₋₃	熔断器
SQ ₄	工作台向后、向上进给行程开关	TC	变压器
SQ ₆	进给变速瞬时点动开关	UR	整流器
SQ ₇	主轴变速瞬时点动开关	YB	主轴制动电磁制动器
SA ₁	工作台转换开关	YC ₁	电磁离合器（快速传动链）
SA ₂	主轴上刀制动开关	YC ₂	电磁离合器（工作传动链）
SA ₃	冷却泵开关		

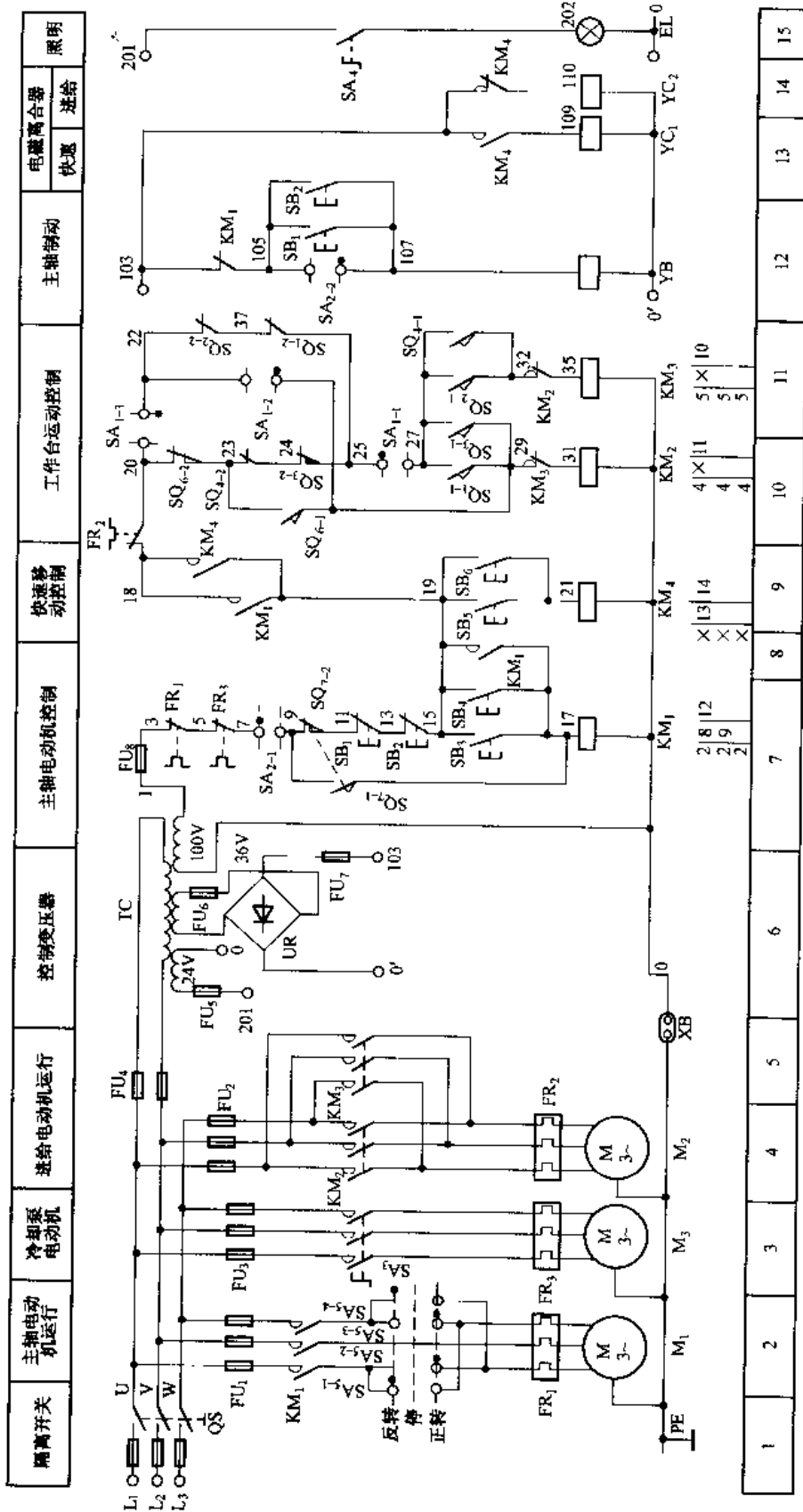


图 4.5.3 X62W 型万能升降台铣床电气控制电路

万能铣床的电气控制与机械操纵配合得十分紧密，是典型的机械—电气联合动作的控制。

【看图思路】

(1) 电动机的配置情况及其控制

主电路共有 3 台电动机， M_1 为主轴电动机， M_2 为工作台进给电动机， M_3 为冷却泵电动机。

主轴电动机 M_1 由接触器 KM_1 控制其启动和停止。铣床的加工方式（逆铣或顺铣），在开始工作前即已选定，在加工过程中是不改变的，因此 M_1 的正反转的转向由转换开关 SA_5 预先确定。转换开关 SA_5 有“正转”、“停止”、“反转”3 个位置，各触头的通断情况如表 4.5.2 所示。

表 4.5.2 转换开关 SA_5 触头通断情况

触 头	所在图区	操作手柄位置		
		正转	停止	反转
$SA_{5.1}$	2	-	-	+
$SA_{5.2}$	2	+	-	-
$SA_{5.3}$	2	+	-	-
$SA_{5.4}$	2	-	-	+

进给电动机 M_2 在工作过程中频繁变换转动方向，因此采用接触器 KM_2 、 KM_3 组成正反转控制电路。

冷却泵电动机 M_3 根据加工需要提供切削液，采用转换开关 SA_3 直接接通或断开电动机电源。

热继电器 FR_1 、 FR_2 、 FR_3 分别作 M_1 、 M_2 、 M_3 的长期过载保护。熔断器 FU_1 、 FU_2 、 FU_3 分别作 M_1 、 M_2 、 M_3 的短路保护。

(2) 主轴电动机 M_1 的控制

根据主轴电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 KM_1 ，在图区 7、8、12 中找到 M_1 的控制电路，如图 4.5.4 所示，图中有转换开关 SA_2 和行程开关 SQ_7 。

转换开关 SA_2 为主轴上刀制动开关，其触头工作状态如表 4.5.3 所示；行程开关 SQ_7 为主轴变速瞬时点动开关，其触头工作状态如表 4.5.4 所示。

表 4.5.3 主轴上刀制动开关 SA_2 触头工作状态

触 头	接线端标号	所在图区	操作手柄位置	
			主轴正常工作	主轴上刀制动
$SA_{2.1}$	7-9	7	+	-
$SA_{2.2}$	105-107	12	-	+

表 4.5.4 主轴变速瞬时点动行程开关 SQ_7 触头工作状态

触 头	接线端标号	所在图区	操作手柄位置	
			正常工作	瞬时点动
$SQ_{7.1}$	9-17	7	-	+
$SQ_{7.2}$	9-11	7	+	-

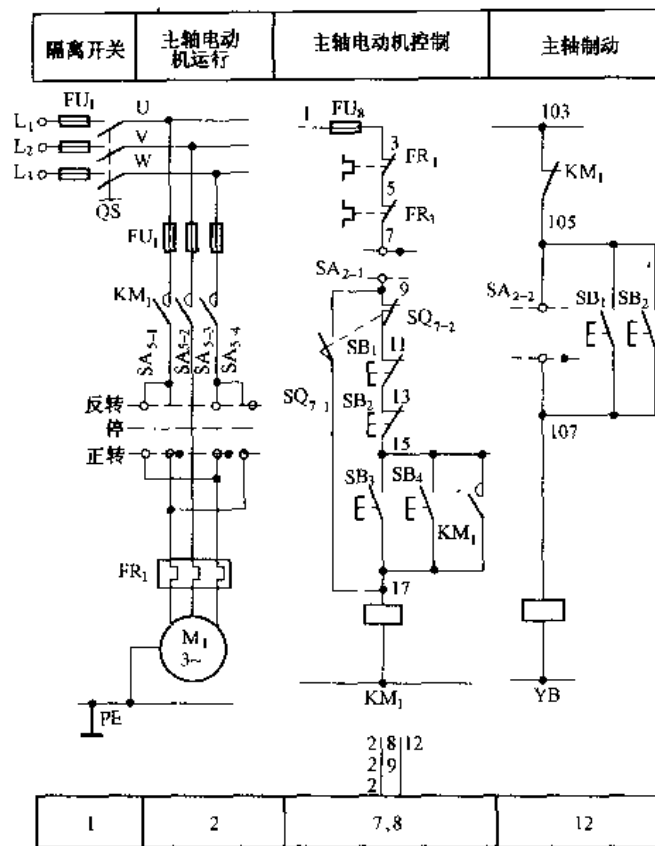


图 4.5.4 主轴电动机 M₁ 的控制电路

① 主轴电动机 M₁ 的启动与停车制动 由表 4.5.2、表 4.5.3 可知，主轴电动机 M₁ 正常运转时，主轴上刀制动开关 SA₂ 的触头 SA₂₋₁ 闭合而 SA₂₋₂ 断开，主轴变速瞬动点动行程开关 SQ₇ 的动断触头 SQ₇₋₂ 闭合而 SQ₇₋₁ 断开，因此可得 M₁ 的启动电路如图 4.5.5 (a) 所示，停车制动电路如图 4.5.5 (b) 所示。

② 主轴电动机 M₁ 换刀制动 由表 4.5.3 可知，主轴上刀制动时，SA₂ 的 SA₂₋₂ 闭合而 SA₂₋₁ 断开。触头 SA₂₋₁ 断开，使 KM₁ 不能启动；触头 SA₂₋₂ 闭合，接通 YB 线圈电路，使主轴处于制动状态。M₁ 换刀制动电路如图 4.5.5 (c) 所示。

③ 主轴变速时的瞬时点动时，主轴变速瞬时点动行程开关 SQ₇ 的触头 SQ₇₋₁ 闭合而触头 SQ₇₋₂ 断开。由于 SQ₇₋₂ 断开，切断接触器 KM₁ 线圈自锁电路，因此 SQ₇₋₁ 闭合时，接触器 KM₁ 得电吸合，M₁ 启动运转，SQ₇₋₁ 复位后，KM₁ 失电，M₁ 停转，完成一次瞬时点动，其电路如图 4.5.5 (d) 所示。

(3) 工作台进给电动机 M₃ 的控制

根据连锁要求，工作台的进给运动需在主轴电动机 M₁ 启动之后才能进行。当接触器 KM₁ 得电吸合，其辅助动合触头 KM₁ (18-19) [9] 闭合时，工作台进给控制电源接通。

根据进给电动机 M₂ 主电路控制电器主触头文字符号 KM₂、KM₃，在图区 10、11 中可找到 KM₂、KM₃ 的线圈电路，在图区 13、14 中可找到与 KM₂、KM₃ 相关的电路，这样可得到工作台进给电动机 M₂ 的控制电路，如图 4.5.6 所示，图中有转换开关 SA₁ 以及行程开关 SQ₁~SQ₄ 和 SQ₆。

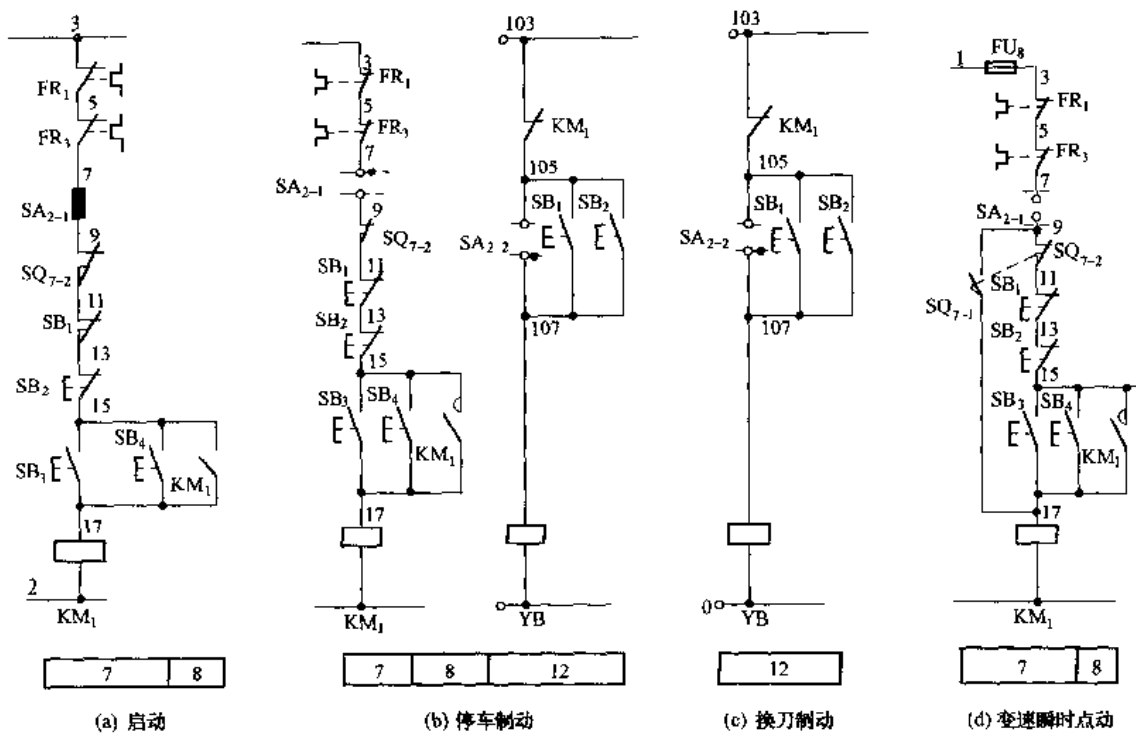


图 4.5.5 主轴电动机 M_1 控制电路的分解

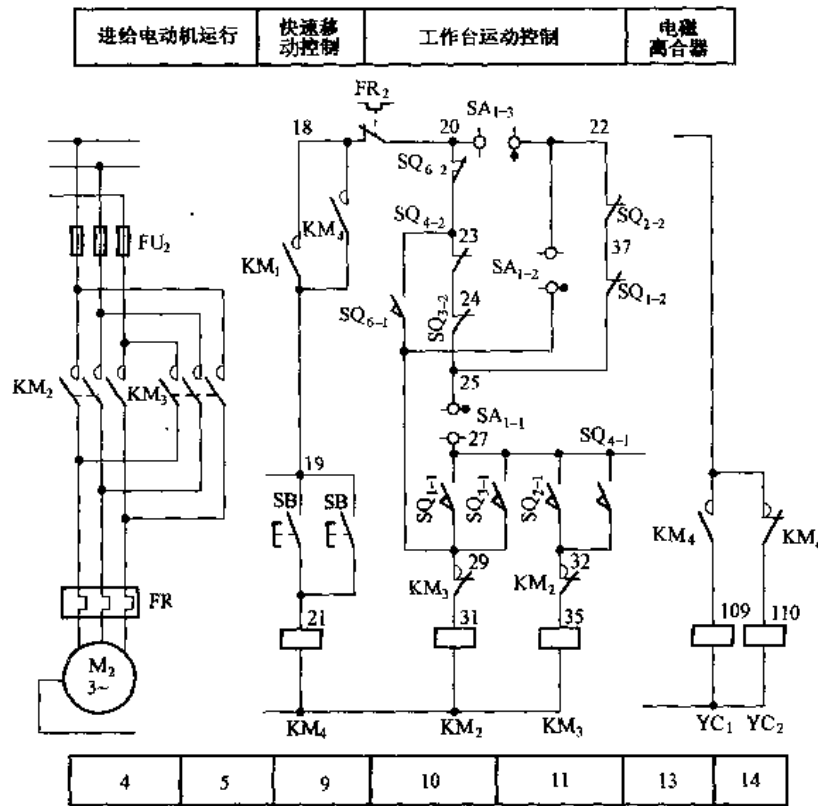


图 4.5.6 工作台进给电动机 M_2 控制电路

① 转换开关 SA_1 为工作台选择开关, 其触头工作状态如表 4.5.5 所示。根据表 4.5.5 可得水平工作台控制电路和圆工作台控制电路, 如图 4.5.7 所示。

表 4.5.5 工作台状态选择开关 SA_1 触头工作状态

触 头	接线端标号	所在图区	操作手柄位置	
			接通圆工作台工作	断开圆工作台
SA_{1-1}	25-27	10	-	+
SA_{1-2}	22-29	11	+	-
SA_{1-3}	20-22	11	-	+

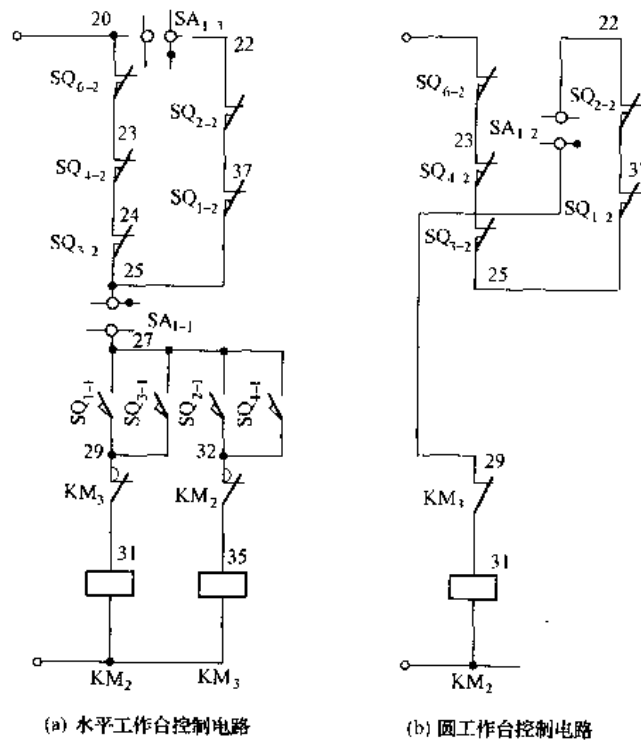


图 4.5.7 工作台控制电路

② SQ_1 为工作台向右进给行程开关, SQ_2 为工作台向左进给行程开关。水平工作台纵向进给运动由操作手柄与行程开关 SQ_1 、 SQ_2 组合控制。纵向操作手柄有左右两个工作位和一个中间不工作位。手柄扳到工作位时(左或右), 带动机械离合器, 接通纵向进给运动的机械传动链, 同时压动行程开关 SQ_1 或 SQ_2 , 其动合触头 SQ_{1-1} (27-29) 或 SQ_{2-1} (27-32) 闭合, 使接触器 KM_2 或 KM_3 得电吸合, 其主触点闭合, 进给电动机正转或反转, 驱动工作台向左或向右移动进给, 行程开关的动断触头 SQ_{1-2} (37-25)、 SQ_{2-2} (22-37) 在运动连锁控制电路部分具有连锁控制功能。纵向操作手柄各位置对应的行程开关 SQ_1 、 SQ_2 的工作状态如表 4.5.6 所示。

表 4.5.6 工作台纵向操作手柄与离合器、纵向进给行程开关 SQ₁、SQ₂ 工作状态表

触 头	左右（纵向）手柄操作位		
	右	中（停）	左
纵向离合器 YC ₁	挂上	脱开	挂上
SQ ₁₋₁	+	-	-
SQ ₁₋₂	-	+	+
SQ ₂₋₁	-	-	+
SQ ₂₋₂	+	+	-

SQ₂ 为工作台向前、向下进给行程开关，SQ₄ 为工作台向后、向上进给行程开关。工作台的横向和垂直进给运动由一个十字形操作手柄控制。该手柄共有 5 个位置，即上、下、前、后和中间零位，在扳动十字形开关操纵手柄时，其联动机构通过机械离合器，可使横向或垂直传动丝杆接通，同时压下行程开关 SQ₃ 或 SQ₄。当操作手柄置于中间零位时，进给离合器处于脱开状态，SQ₃ 和 SQ₄ 都为原始状态，工作台不动作。各工作位置对应的行程开关 SQ₃、SQ₄ 的工作状态如表 4.5.7 所示。

表 4.5.7 工作台横向和垂直操纵手柄与离合器、进给行程开关 SQ₃、SQ₄ 的工作状态表

离合器和限位开关	垂直和横向操纵手柄				
	向上	向下	中间（停止）	向后	向前
垂直离合器	脱开	挂上	脱开	脱开	挂上
横向离合器	挂上	脱开	脱开	挂上	脱开
SQ ₃₋₁	+	+	-	-	-
SQ ₃₋₂	-	-	+	+	+
SQ ₄₋₁	-	-	-	+	+
SQ ₄₋₂	+	+	+	-	-

根据表 4.5.6 和表 4.5.7 可得水平工作台的纵向进给控制电路，如图 4.5.8 所示，工作台的垂直横向进给控制电路如图 4.5.9 所示。

工作台左、右、上、下、前、后 6 个运动方向采用机械和电气双重连锁。工作台的左、右用一个手柄控制，手柄本身就能起到左、右运动的连锁。工作台的横向和垂直运动间的连锁，由十字形手柄实现。工作台的纵向与横向垂直运动间的连锁，则利用电气方法实现。行程开关 SQ₁、SQ₂ 和 SQ₃、SQ₄ 的动断触头分别串联后再并联，形成两条通路给 KM₃ 和 KM₄ 线圈供电。若一个手柄扳动后再去扳动另一个手柄，将使两条电路断开，接触器线圈就会失电，工作台停止运动，从而实现运动间的连锁。

③ SQ₆ 为进给变速瞬时点动开关，利用蘑菇形操纵手柄，通过机械上的联动压动 SQ₆，实现进给变速瞬时点动控制。在进给变速时，不允许工作台作任何方向的运动，保证此时 4 个行程开关不动作。SQ₆ 的触头工作如表 4.5.8 所示。这样，根据表 4.5.6~表 4.5.8 可得进给变速瞬时点动控制电路，如图 4.5.10 所示。

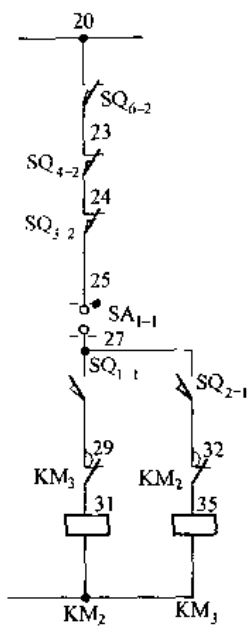


图 4.5.8 水平工作台纵向进给控制电路

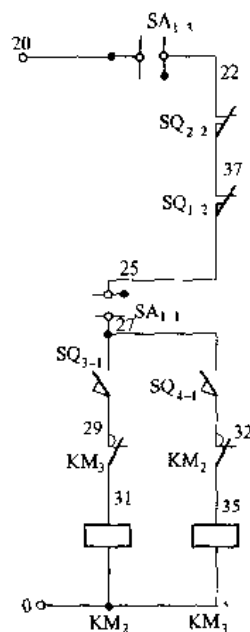


图 4.5.9 水平工作台垂直和横向进给控制电路

表 4.5.8

SQ₆ 的触头工作表

触 头	开 关 位 置	
	正常工作	瞬时点动
SQ ₆₋₁	-	+
SQ ₆₋₂	+	-

④ 工作台快速移动的控制。水平工作台选定进给方向后，可通过电磁离合器接通快速机械传动链，实现工作台空行程的快速移动。快速移动为手动控制，按下启动按钮 SB₅ 或 SB₆ [9]，接触器 KM₄ 得电吸合并自锁，其动断触头 KM₄ (103-110) [14] 断开，使正常进给电磁离合器 YC₂ 线圈失电，断开工作进给传动链；其动合触头 KM₄ (103-109) 闭合，使快速移动电磁离合器 YC₁ 线圈得电，接通快速移动传动链，水平工作台沿给定方向快速移动。松开按钮 SB₅ 或 SB₆，KM₄ 失电释放，恢复水平工作台的工作进给。工作台快速移动电路如图 4.5.11 所示。

【看图实践】

(1) 主轴电动机 M₁ 的控制

① 主轴电动机启动控制和停车制动（见图 4.5.4 及图 4.5.5 (a)、(b)） 主轴电动机空载直接启动，启动前，由组合开关 SA₅ [2] 选定电动机的转向；控制电路中选择开关 SA₂ 选定主轴电动机为正常工作方式，即触头 SA₂₋₁ 闭合 [7] 而 SA₂₋₂ [12] 断开，在非变速状态下，SQ₇ 不受压，即 SQ₇₋₁ 断开而 SQ₇₋₂ [7] 闭合。然后通过压动启动按钮 SB₃ [7] 或 SB₄，使接触器 KM₁ 得电吸合并自锁，其主触点闭合，主轴电动机按给定方向启动旋转，KM₁ 的辅助动断触头 KM₁ (103-105) [12] 断开，确保 YB 不能得电，其动合触头 KM₁ (18-19) [9] 闭合，接通控制电路电源。压动停止按钮 SB₁ 或 SB₂，主轴电动机停转。SB₃ 与 SB₄、SB₁ 与 SB₂ 分别位于两个操作板上（一个在工作台上，一个在床身），从而实现主轴电动机的两地操作控制。

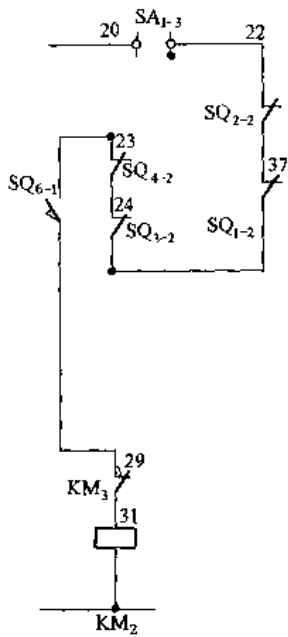


图 4.5.10 进给变速瞬时点动控制电路

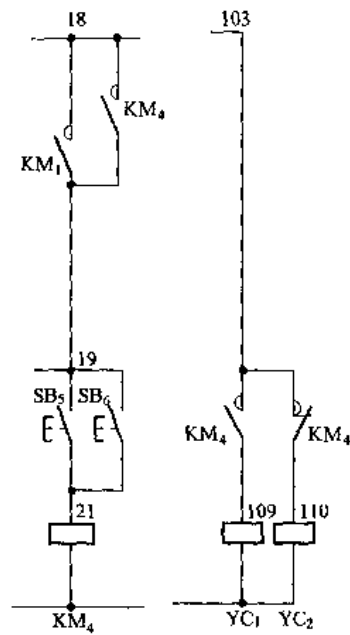


图 4.5.11 工作台快速移动电路

为使主轴能迅速停车，控制电路采用电磁制动器 YB 进行主轴的停车制动。按下停车按钮 SB_1 或 SB_2 ，其动断触点 SB_1 (11-13) [7] 或 SB_2 (13-15) 断开，使接触器 KM_1 失电释放，电动机 M_1 定子绕组脱离电源，同时其动合触点 SB_1 (105-107) [12] 或 SB_2 (105-107) 闭合，接通电磁制动器 YB 的线圈电路，对主轴实施停车制动。

这里需要指出的是，停止按钮 SB_1 或 SB_2 要按到底，否则电磁制动器 YB 不能得电，主轴电动机 M_1 只能实现自然停车。

② 主轴电动机 M_1 的换刀制动（见图 4.5.4 及图 4.5.5 (c)） 当进行换刀和上刀操作时，为了上刀方便并防止主轴意外转动造成事故，主轴也需处在失电停车和制动的状态下。此时工作状态选择开关 SA_2 由正常工作状态位置扳到上刀制动状态位置，即触点 SA_{2-1} 断开，切断接触器 KM_1 线圈电路，使主轴电动机不能启动，触点 SA_{2-2} 闭合，接通电磁制动器 YB 的线圈电路，使主轴处于制动状态不能转动，保证上刀换刀工作的顺利进行。

当换刀结束后，将工作状态选择开关 SA_2 由上刀制动状态扳回到正常工作位置，这时触头 SA_{2-1} 闭合，触头 SA_{2-2} 断开，为启动主轴电动机 M_1 作准备。

③ 主轴变速冲动的控制（见图 4.5.4、图 4.5.5 (d)） 所谓主轴变速冲动是指为了便于齿轮间的啮合，在主轴变速时主轴电动机的轻微转动。

变速时，变速手柄被拉出，然后转动变速手轮选择转速，转速选定后将变速手柄复位。由于变速是通过机械变速机构实现的，变速手轮选定应进入啮合的齿轮后，齿轮啮合到位即可输出选定转速。但是当齿轮没有进入正常啮合状态时，则需要主轴有瞬时点动的功能，以调整齿轮位置，使齿轮进入正常啮合。主轴变速冲动是利用变速操纵手柄与冲动开关 SQ_7 ，通过机械上的联动机构进行点动控制的。主轴变速冲动既可以在停车时变速，也可以在主轴电动机 M_1 运行时进行变速，只不过在变速完成后，需要重新启动电动机。

具体操作过程为，首先将主轴变速手柄向下压并向外拉出，通过机械联动机构，压动冲

动开关 SQ_7 ，其动合触头 $SQ_{7.1}$ 闭合，使接触器 KM_1 得电吸合，主轴电动机 M_1 转动； SQ_7 的动断触头 $SQ_{7.2}$ 断开，切断 KM_1 的自锁，使电路随时可被切断。变速手柄复位后，松开冲动开关 SQ_7 ，其动合触头 $SQ_{7.1}$ 断开，使 KM_1 失电，电动机停转，完成一次瞬时点动。

当主轴电动机 M_1 转动时，可以不按停止按钮 SB_1 或 SB_2 直接进行变速操作。由于变速手柄向前拉时，压合行程开关 SQ_7 ， $SQ_{7.2}$ 首先断开，使接触器 KM_1 失电释放，并切除 KM_1 的自锁，然后 $SQ_{7.1}$ 闭合，接触器 KM_1 得电吸合，主轴电动机 M_1 瞬时点动。当变速手柄拉到前面后，行程开关 SQ_7 复位， M_1 失电释放，主轴变速冲动结束。然后应重新按启动按钮 SB_3 或 SB_4 ，使 KM_1 得电吸合并自锁，电动机 M_1 继续转动。

主轴在变速操作时，手柄复位要求迅速、连续，以较快速度将手柄推入啮合位置。由于 SQ_7 的瞬动是靠手柄上凸轮的一次接触达到的，如果推入动作缓慢，凸轮与 SQ_7 接触时间延长，便会使主轴电动机转速过高，从而使齿轮啮合不上，甚至损坏齿轮。一次瞬时点动不能实现齿轮良好的啮合时，应立即拉出复位手柄，重新进行复位瞬时点动的操作，直至完全复位，齿轮啮合工作正常。

(2) 进给电动机 M_2 的控制（见图 4.5.6）

根据连锁要求，工作台的进给运动需在主轴电动机 M_1 启动之后才可进行。当接触器 KM_1 得电吸合后，其辅助动合触头 KM_1 （18-19）[9] 闭合，工作台进给控制电路接通。工作台的上、下、左、右、前和后 6 个方向的进给运动均由进给电动机 M_2 的正反转拖动实现， M_2 的正反转由正、反转接触器 KM_2 和 KM_3 控制，而正、反转接触器则是由两个操纵机构控制，其中一个为纵向机构操纵手柄，另一个为十字形（垂直与横向）机械操纵手柄。在操纵机械手柄的同时，完成机械挂挡（分别接通三根丝杆）和压下相应的行程开关 $SQ_1 \sim SQ_4$ ，从而接通正、反转接触器 KM_2 或 KM_3 ，启动进给电动机 M_2 拖动工作台按预定方向运动。这两个机械操纵手柄各有两套，分别安装在工作台的前面和侧面，实现两地控制。

工作台分水平工作台和圆工作台，由转换开关 SA_1 控制，见图 4.5.7 和表 4.5.5。

① 水平工作台左右（纵向）进给运动的控制（见图 4.5.6、图 4.5.8 和表 4.5.5），由水平工作台纵向操作手柄和行程开关组合控制。

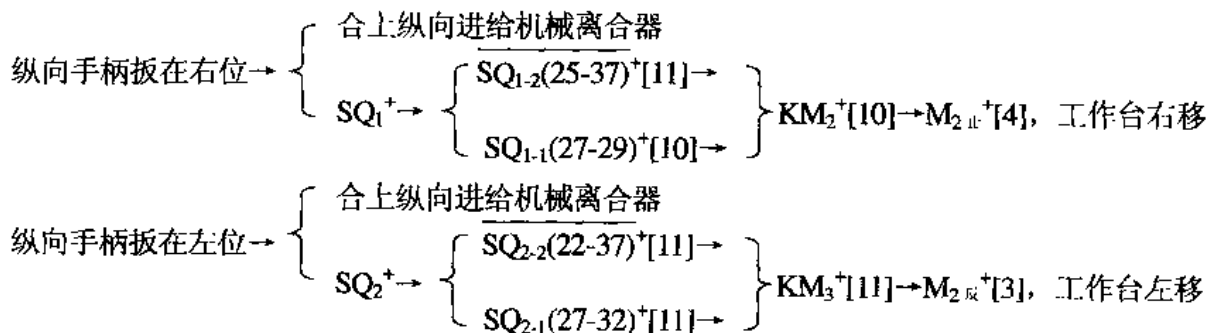
启动条件：十字（横向、垂直）操作手柄居中（行程开关 SQ_3 、 SQ_4 不受压）；控制圆工作台的选择开关 SA_2 置于“断开”圆工作台位置； SQ_6 置于正常工作位置（不受压）；主轴电动机 M_1 已启动，即接触器 KM_1 得电吸合并自锁，其辅助动合触头 KM_1 （18-19）闭合，接通控制电路电源。

当纵向操纵手柄扳向“右”位置时，其联动机械通过机械离合器，使纵向传动丝杆接通，同时压下行程开关 SQ_1 ，其动合触头 $SQ_{1.1}$ 闭合，使接触器 KM_2 得电吸合，其通路为 $SQ_{6.2} \rightarrow SQ_{4.2} \rightarrow SQ_{3.2} \rightarrow SA_{1.1} \rightarrow SQ_{1.1} \rightarrow KM_3$ （29-31） $\rightarrow KM_2$ 线圈，进给电动机 M_2 正向启动旋转，拖动工作台向右移动， KM_2 的辅助动断触头 KM_2 （32-35）断开，确保 KM_3 不能得电。 $SQ_{1.2}$ [11] 断开，切开横向和垂直进给运动连锁电路。

同理，当操纵手柄扳向“左”位置时，其联动机构仍然通过机械离合器接通纵向传动丝杆，并压下行程开关 SQ_2 ，其动合触头 $SQ_{2.1}$ 闭合，使接触器 KM_3 得电吸合，其通路为 $SQ_{6.2} \rightarrow SQ_{4.2} \rightarrow SQ_{3.2} \rightarrow SA_{1.1} \rightarrow SQ_{2.1} \rightarrow KM_2$ （32-35） $\rightarrow KM_3$ 线圈，进给电动机反向启动旋转，拖动工作台向左进给， KM_3 的辅助动断触头 KM_3 （29-31）断开，确保 KM_2 不能得电， SQ_2 的动断触头 $SQ_{2.2}$ 断开，切开横向和垂直进给运动的联动电路。

手柄扳到中间位时，纵向机械离合器脱开，行程开关 SQ_1 与 SQ_2 不受压复位，接触器 KM_2 、 KM_3 均处于失电状态，因此进给电动机不转动，工作台停止移动。工作台的两端安装有限位撞块，当工作台运行到达终点位置时，撞块撞击手柄，使其回到中间位置，实现工作台的终点停车。

工作台纵向进给过程的电器动作顺序用助记符表示则为：



② 水平工作台横向和升降进给运动控制（见图 4.5.6、图 4.5.9 和表 4.5.6） 水平工作台横向和升降进给运动的选择和连锁通过十字复式手柄和行程开关 SQ_3 、 SQ_4 组合控制，操作手柄有上、下、前、后 4 个工作位置和 1 个中间不工作位置。扳动手柄到选定运动方向的工作位，即可接通该运动方向的机械传动链，同时压动行程开关 SQ_3 或 SQ_4 ，行程开关的动合触头闭合使控制进给电动机转动的接触器 KM_2 或 KM_3 得电吸合，电动机 M_2 转动，工作台在相应的方向上移动；行程开关的动断触头如纵向行程开关一样，在连锁电路中，构成运动的连锁控制。

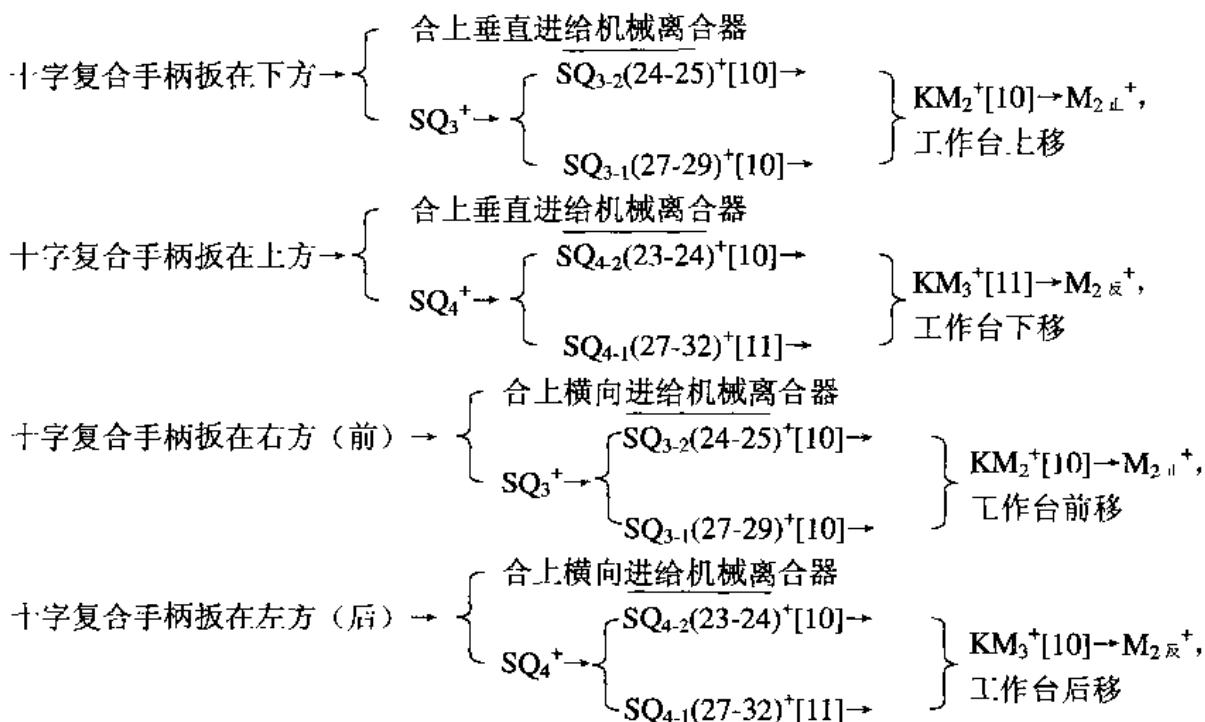
启动条件：左、右（纵向）操作手柄居中（ SQ_1 、 SQ_2 不受压），控制圆工作台选择开关 SA_2 置于“断开”圆工作台位置； SQ_6 置于正常工作位置（不受压），主电动机 M_1 已启动（接触器 KM_1 得电吸合）。

工作台向上和向后的进给运动控制。工作台向上和向后运动的电气控制电路相同，仅是机械离合器接通的传动丝杆不同。将十字形手柄扳置“向上”（或“向后”）位置时，联动机构通过机械离合器，使垂直（或横向）传动丝杆接通，同时压下行程开关 SQ_4 ，其动合触头 SQ_{4-1} 闭合，使 KM_3 得电吸合，其通路为 $SA_{1-3} \rightarrow SQ_{2-2} \rightarrow SQ_{1-2} \rightarrow SA_{1-1} \rightarrow SQ_{4-1} \rightarrow KM_2$ (32-35) $\rightarrow KM_3$ 线圈，进给电动机 M_2 反向启动旋转，工作台在向上（或向后）的方向上作进给运动， KM_3 的辅助动断触头 KM_3 (29-31) 断开，确保 KM_2 不能得电。 SQ_4 的动断触头 SQ_{4-2} [10] 断开，切断机向进给连锁电路。

工作台向下和向前的进给运动控制。工作台向下和向前进给运动与工作台向上和向后进给运行的电气控制电路相同，仅是机械离合器接通的传动丝杆不同。将十字形手柄扳向“下”（或“前”）位置时，联动机构通过机械离合器，使垂直（或横向）传动丝杆接通，同时压下行程开关 SQ_3 ，其动断触头 SQ_{3-2} 断开，动合触头 SQ_{3-1} 闭合，使接触器 KM_2 得电吸合，进给电动机 M_2 正向启动旋转，工作台在向下（或向前）的方向上作进给运动。

十字复式操作手柄扳在中间位置时，横向与垂直方向的机械离合器脱开，行程开关 SQ_3 与 SQ_4 均不受压，因此进给电动机停转，工作台停止移动。工作台的上、下、前、后 4 个方向的进给运动都有终端限位保护，当工作台运动到极限位置时，通过固定在床身上的挡铁撞击十字形手柄，使其回到中间位置，切断电路，使工作台在进给终点停车，工作台停止原来的进给运动。

工作台横向与垂直方向进给过程的电器动作顺序用助记符表示则为：



现将上述工作台在 6 个方向上的进给动作归纳成表，见表 4.5.9。

表 4.5.9 工作台运动及操纵手柄位置表

手柄位置		工作台运动方向	离合器接通的丝杠	行程开关	动作的接触器	运转的电动机	工作台运行方向
纵向手柄	左	向左进给	纵向	SQ ₂	KM ₃	反	左
	右	向右进给	纵向	SQ ₁	KM ₂	正	右
	中	停止	—	—	—	—	—
十字形手柄	向上	向上进给（或快速向上）	垂直丝杠	SQ ₄	KM ₃	反	上
	向下	向下进给（或快速向下）	垂直丝杠	SQ ₃	KM ₂	正	下
	向前	向前进给（或快速向前）	横向丝杠	SQ ₃	KM ₂	正	前
	向后	向后进给（或快速向后）	横向丝杠	SQ ₄	KM ₃	反	后
	中间	升降（或横向进给停止）	—	—	—	—	—

③ 水平工作台进给运动的连锁控制 由于操作手柄在工作时只存在一种运动选择，因此，只要铣床直线进给运动之间的连锁满足两操作手柄之间的连锁即可实现。连锁控制电路由两条电路并联组成，纵向操作手柄控制的行程开关 SQ₁、SQ₂ 的动断触头 SQ₁₋₂ 或 SQ₂₋₂ 串联在一条支路上，十字复合手柄控制的行程开关 SQ₃、SQ₄ 动断触头 SQ₃₋₂、SQ₄₋₂ 串联在另一条支路上。扳动任一操作手柄，只能切断其中一条支路，另一条支路仍能正常得电，使接触器 KM₂ 或 KM₃ 不失电；若同时扳动两个操作手柄，则两条支路均被切断，接触器 KM₂ 或 KM₃ 都失电，工作台立即停止移动，从而防止机床设备事故。

④ 水平工作台快速移动的控制（图 4.5.6、图 4.5.11） 铣床工作台除能实现进给运动外，还可进行纵向、横向和垂直方向的快速移动。在慢速移动过程中，按下快速移动点

动按钮 SB_5 或 SB_6 (两地控制), 使接触器 KM_4 得电吸合, 其动断触头 KM_4 (103-110) 断开, 使正常进给电磁离合器 YC_2 线圈失电, 其动合触头 KM_4 (103-109) 闭合, 使快速进给电磁离合器 YC_1 得电, 接通快速传动链, 水平工作台便在原来的移动方向上作快速移动。当松开快速移动点动按钮 SB_5 或 SB_6 时, 接触器 KM_4 失电释放, 恢复水平工作台的工作进给。

工作台快速进给也可以在主轴电动机 M_1 停转的情况下进行, 这时需要先将主轴转换开关 SA_5 扳在“停止”位置上, 然后按下主轴电动机 M_1 启动按钮 SB_3 或 SB_4 , 使接触器 KM_1 得电吸合并自锁 (主轴电动机不转), 然后再扳动相应进给方向上的操纵手柄, 进给电动机 M_2 启动旋转, 最后按下快速移动点动按钮 SB_5 或 SB_6 , 工作台便可在主轴电动机不转的情况下进行快速移动。

⑤ 水平工作台变速时的瞬时点动 (图 4.5.6 及图 4.5.10) 进给变速冲动与主轴变速冲动一样, 是为了便于变速时齿轮的啮合, 电气控制上设有进给变速冲动电路。进给变速冲动由进给变速手柄配合行程开关 SQ_6 来实现。但进给变速时不允许工作台作任何方向的运动。

变速时, 先将变速手柄拉出, 使齿轮脱离啮合, 转动变速盘至所选择的进给速度挡, 然后用力将变速手柄向外拉到极限位置, 再将变速手柄复位。变速手柄在复位过程中压动瞬时点动行程开关 SQ_6 , 使其动合触头 SQ_{6-1} 闭合, 致使接触器 KM_2 短时得电吸合, 进给电动机 M_2 短时转动; SQ_6 的动断触头 SQ_{6-2} 断开, 切断 KM_2 的自锁。由于冲动开关 SQ_6 短时受压, 因此进给电动机 M_2 只是瞬时转动一下, 从而带动进给变速机构瞬动, 变速冲动过程到此结束。上述操作过程可写作: $SQ_6^+ \rightarrow KM_2^+ \rightarrow M_2 \text{正}^+$ 。

⑥ 圆工作台进给运动的控制 (图 4.5.4、图 4.5.7 (b) 及表 4.5.1) 为了扩大机床加工能力, 可在水平工作台上安装圆工作台。

启动条件: 圆工作台选择开关置于“接通”位置、左右 (纵向) 和十字形 (横向、垂直) 操纵手柄置于中间零位 (行程开关 $SQ_1 \sim SQ_4$ 均未受压, 处于原始状态); SQ_6 置于正常工作位置。

圆工作台只作单方向运转。按下启动按钮 SB_3 或 SB_4 , 接触器 KM_1 得电吸合并自锁, 主轴电动机 M_1 启动旋转, KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (18-19) 闭合, 接通控制电路电源, 并使 KM_2 得电吸合, 其通路为 $SQ_{6-2} \rightarrow SQ_{4-2} \rightarrow SQ_{3-2} \rightarrow SQ_{1-2} \rightarrow SQ_{2-2} \rightarrow SA_{1-2} \rightarrow KM_3$ (29-31) $\rightarrow KM_2$ 线圈, KM_2 主触头闭合, 使进给电动机 M_2 正转, 并经传动机构带动圆工作台作单向回转运动。由于接触器 KM_3 无法得电, 因此圆工作台不能实现正反向回转。

若要圆工作台停止工作, 则只需按下主轴停止按钮 SB_1 或 SB_2 , 此时接触器 KM_1 、 KM_2 相继失电释放, 电动机 M_2 停转, 圆工作台停止回转。

⑦ 圆工作台和水平工作台 6 个进给运动间的连锁 圆工作台工作时, 不允许机床工作台在纵、横、垂直方向上有任何移动。工作台转换开关 SA_1 扳到接通“圆工作台”位置时, SA_{1-1} 、 SA_{1-3} 切断了机床工作台进给控制回路, 使机床工作台不能在纵、横、垂直方向上做进给运动。圆工作台的控制电路中还串联了 SQ_{1-2} 、 SQ_{2-2} 、 SQ_{3-2} 、 SQ_{4-2} 动断触头, 因此扳动工作台任一方向进给手柄, 都将使圆工作台停止转动, 实现了圆工作台和机床工作台纵向、横向及垂直方向运动的连锁控制。

(3) 冷却泵电动机的控制和照明电路

由转换开关 SA_3 控制冷却泵电动机 M_3 的启动和停止。

机床的局部照明由变压器 T_2 输出 36V 安全电压，照明灯 EL 由开关 SA_4 控制。

三、XA613 型立式升降台铣床电气控制电路

电路如图 4.5.12 所示。

【看图思路】

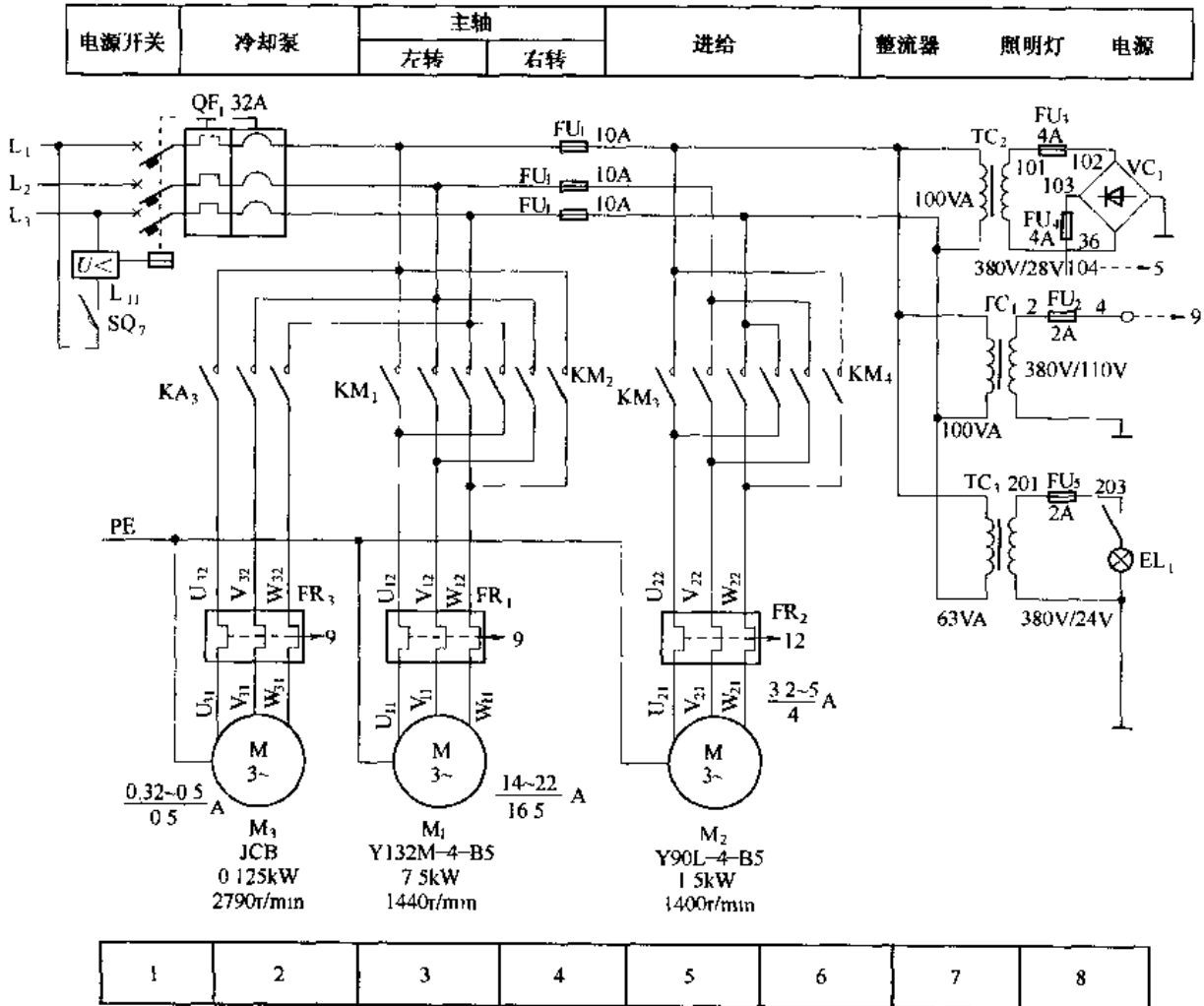
(1) 电动机配置情况及其控制

主轴电动机 M_1 由正、反转接触器 KM_1 、 KM_2 来实现正反向运行直接启动，由热继电器 FR_1 实现长期过载保护。

冷却泵电动机 M_3 由继电器 KA_3 实现单向运行直接启动，由热继电器 FR_3 作长期过载保护。

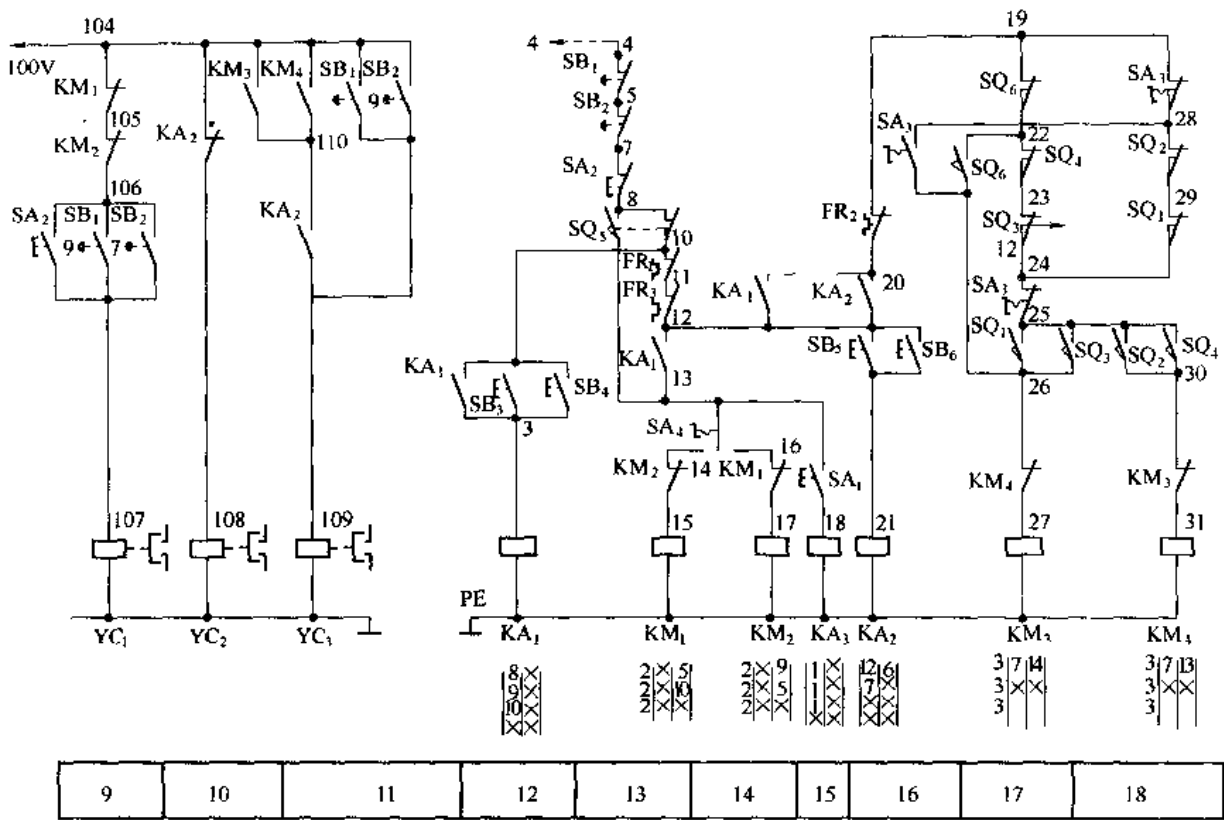
进给电动机 M_2 由接触器 KM_3 、 KM_4 实现正反向运行直接启动，由热继电器 FR_2 作长期过载保护。

(2) 根据电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路进行分解



(a)

主制动	进给制动	快速制动	调试	主轴		冷却泵	工作台快速	正向进给	反向进给
				△转	右转				



(b)

图 4.5.12 XA613 型立式升降台铣床电气控制电路

① 根据电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 KM_1 、 KM_2 ，在图区 13、14 中找到 KM_1 、 KM_2 的线圈电路，图中包括中间继电器 KA_1 的动合触头 KA_1 (12-13) [13] 和转换开关 SA_2 的动断触头 SA_2 (7-8) [13]。在图区 12 中找到 KA_1 线圈电路，在图区 9 中找到 SA_2 的动合触头 SA_2 (106-107)。

根据冷却泵电动机 M_3 主电路控制电器的动断触头的文字符号 KA_3 ，在图区 15 中找到 KA_3 线圈电路。

这样便分解出主电动机 M_1 和冷却泵电动机 M_3 的控制电路，如图 4.5.13 所示。

② 根据进给电动机 M_2 主电路控制电器主触头文字符号 KM_3 、 KM_4 ，在图区 17、18 中找到 KM_3 、 KM_4 的线圈电路，在图区 16、10、11 中找到相关电路，这样便得到工作台进给电动机 M_2 的控制电路，如图 4.5.14 所示，图中有转换开关 SA_3 以及行程开关 $SQ_1 \sim SQ_4$ 和 SQ_6 。

转换开关 SA_3 为工作台选择开关，由表 4.5.10 所列出的其触头工作状态可得水平工作台和圆工作台控制电路，如图 4.5.15 所示。

表 4.5.10 工作台选择开关 SA₃ 触头工作状态表

触 头	选择水平工作台	选择圆工作台
SA ₃ (28-26)	-	+
SA ₃ (19-28)	+	-
SA ₃ (24-25)	+	-

SQ₁、SQ₂ 为与纵向机械操作手柄有机械联系的行程开关；SQ₃~SQ₄ 为与垂直、横向操作手柄有机械联系的行程开关。纵向机械操作手柄有左、中、右 3 个位置；垂直与横向机械操作手柄有上、下、前、后、中 5 个位置。当这两个机械操作手柄处于中间位置时，SQ₁~SQ₄ 都处于未被压的原始状态，当扳动机械操作手柄，在完成相应机械挂挡的同时，将压下相应的行程开关，从而接通正、反转接触器 KM₃、KM₄，启动进给电动机 M₂，拖动工作台按预定方向运动。

SQ₆ 为主轴进给变速瞬动开关。SQ₆ 受压时，其动断触头 SQ₆ (19-22) 断开，动合触头 SQ₆ (22-26) 闭合，KM₃ 瞬时得电，M₂ 瞬时动作，其电路如图 4.5.16 所示。

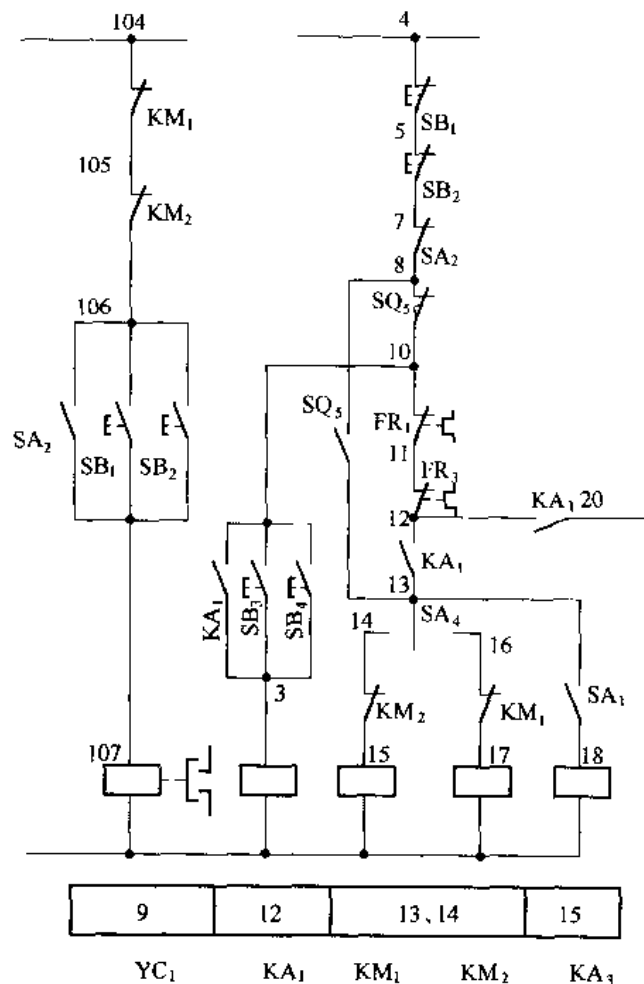


图 4.5.13 主电动机 M₁ 和冷却泵电动机 M₃ 的控制电路

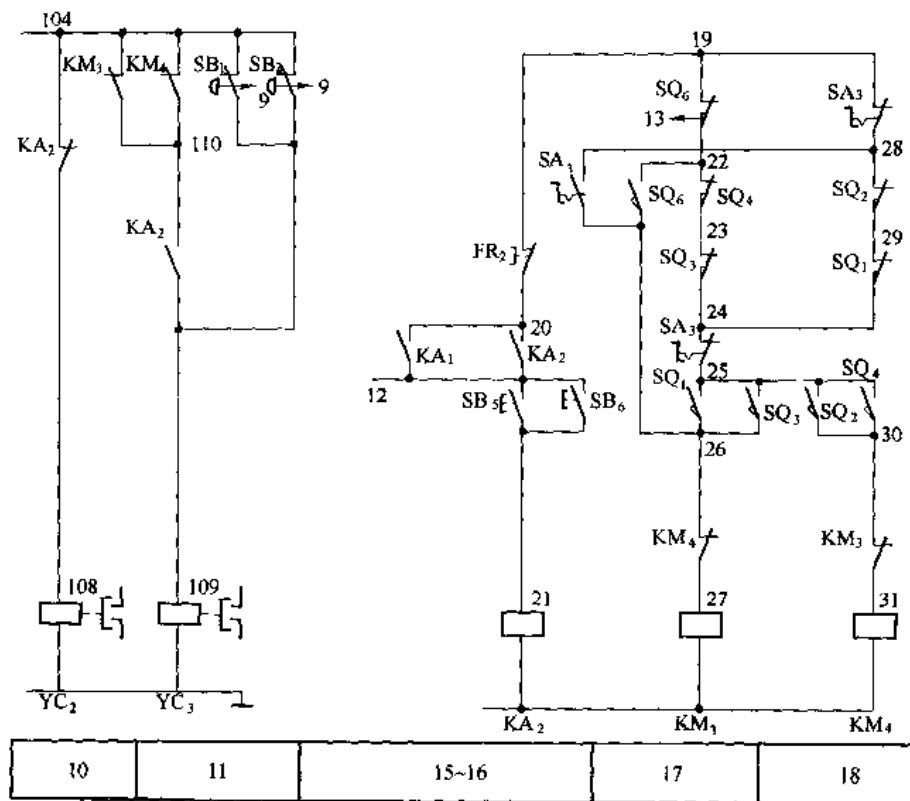


图 4.5.14 工作台进给电动机 M₂ 的控制电路

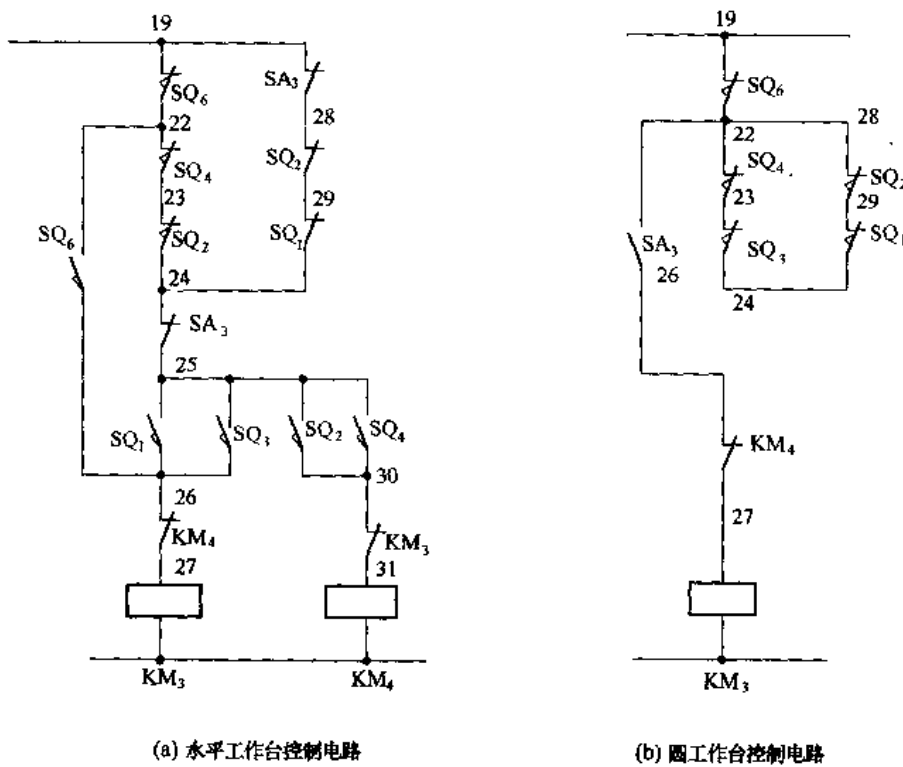


图 4.5.15 工作台控制电路

【看图实践】

(1) 主轴电动机 M_1 的控制 (见图 4.5.12、图 4.5.13)

① 主轴电动机 M_1 的启动控制 启动主轴电动机 M_1 前, 先将电源开关 QF_1 闭合, 再把换向开关 SA_4 扳到主轴所需的旋转方向, 然后按下启动按钮 SB_3 或 SB_4 [12], 使调试继电器 KA_1 [12] 得电吸合并自锁, KA_1 的动合触头 KA_1 (12-13) [13] 闭合, 使接触器 KM_1 或 KM_2 得电吸合 (4→ SB_1 (4-5)→ SB_2 (5-7)→ SA_2 (7-8)→ SQ_5 (8-10)→ FR_1 → FR_3 → KA_1 (12-13)→ SA_4 (13-14) 或 SA_4 (13-16)→ KM_2 (14-15) 或 KM_1 (16-17)→ KM_1 或 KM_2 线圈)。 KM_1 或 KM_2 的主触头闭合, 使电动机 M_1 正转或反转直接启动, 并且 KM_1 或 KM_2 间实现互锁。同时 KM_1 或 KM_2 的一副辅助动断触头 KM_1 (104-105) 或 KM_2 (105-106) [9] 断开, 电动机 M_1 制动电磁摩擦离合器 YC_1 线圈电路被切断。 KA_1 的另一副动合触头 KA_1 (20-12) [14] 闭合, 为工作台进给和快速移动电路工作作准备。

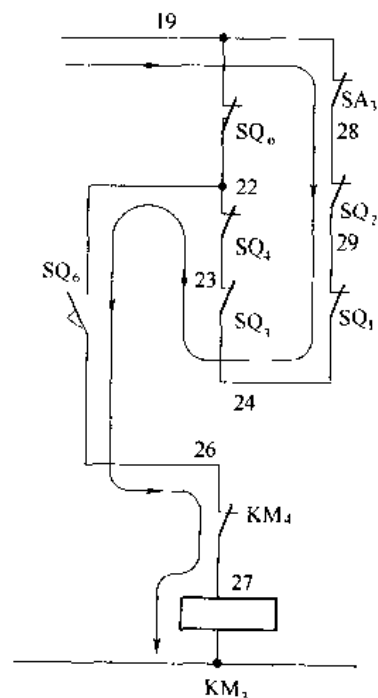


图 4.5.16 主轴进给变速瞬时点动控制电路

② 主轴电动机 M_1 的停止和制动 (见图 4.5.13) 按下停止按钮 SB_1 或 SB_2 , 其动合触头断开, 使 KM_1 或 KM_2 失电释放, 电动机 M_1 断开三相电源; KM_1 或 KM_2 的动断触头 KM_1 (104-105) 或 KM_2 (105-106) 复位闭合, SB_1 或 SB_2 的动合触头 SB_1 (106-107) 或 SB_2 (106-107) 闭合, 使 YC_1 得电, 产生磁场, 在电磁吸力作用下将摩擦片压紧产生制动, 使主轴迅速制动而停转。当松开 SB_1 或 SB_2 时, YC_1 线圈失电, 摩擦片松开, 制动结束。

③ 主轴换刀时的制动控制 (见图 4.5.13) 在主轴上刀换刀前, 将主轴换刀开关 SA_2 扳到接通位置, 其动断触头 SA_2 (7-8) [13] 断开, 使主轴控制电路失电, 主轴电动机不能得电旋转; 而其动合触头 SA_2 (106-107) [9] 闭合, 接通主轴电磁离合器 YC_1 线圈电路, 使主轴处于制动状态。上刀换刀结束后, 再将 SA_2 扳到“断开”位置, 其动合触头 SA_2 (106-107) 断开, 解除主轴制动状态, 同时动断触头 SA_2 (7-8) 闭合, 为主电动机 M_1 启动作好准备。

④ 主轴变速冲动控制 (见图 4.5.13) 主轴变速可以在主轴运转和停止两种状态下进行。在主轴变速时, 为便于齿轮啮合, 在电路中采用了瞬动 (冲动) 控制。变速冲动过程由机械变速手柄与冲动行程开关 SQ_5 通过机械上的联动机构进行控制。当扳动变速手柄再将变速手柄推回原来位置时, 由于凸轮的作用, 使 SQ_5 瞬间受压, 其动合触头 SQ_5 (8-13) [13] 瞬间接通一下再断开。在 SQ_5 (8-13) 接通瞬间, 使 KM_1 得电吸合 (4→ SB_1 (4-5)→ SB_2 (5-7)→ SA_2 (7-8)→ SQ_5 (8-13)→ SA_4 (13-14)→ KM_2 (14-15)→ KM_1 线圈), KM_1 的主触头闭合, 主轴电动机 M_1 作瞬时点动。当 SQ_5 不再受压时, 其动断触头 SQ_5 (8-13) 复位断开, KM_1 失电释放, 切断主轴电动机瞬时点动电路。

主轴变速冲动时间的长短与主轴变速手柄运动速度有关, 为避免齿轮的撞击, 当手轮推回原位时, 要求推动速度快一些, 但当接近最终位置时, 必须将推动速度减慢, 以便使齿轮

啮合。当瞬时点动一次未能实现齿轮啮合时，可以重复进行变速手柄的操作，直到齿轮实现良好的啮合。

主轴变速行程开关的动断触头 SQ_5 (8-10) 是为了在主轴旋转时进行主轴变速而设置的，此时不需按下主轴停止按钮 SB_1 (4-5) 或 SB_2 (5-7)，只需将主轴变速手柄拉出，压下 SQ_5 ，使其动断触头 SQ_5 (8-10) 断开，于是切断主轴电动机 M_1 原来运行的正、反转接触器，使 M_1 自然停止转动，然后再进行变速操作，电动机 M_1 进行变速冲动，实现变速。变速完成后，若需再次启动电动机，主轴将在新的转速下旋转。

(2) 进给电动机 M_2 控制

工作台有垂直的上一下、纵向的左一右、横向的前一后 6 个方向的运动，只可进行一个方向运动，因此具有 6 个方向运动的连锁。这 6 个方向的运动是由行程开关 $SQ_1 \sim SQ_4$ ，通过正、反转接触器 KM_1 、 KM_3 ，控制电动机 M_2 的正反转来实现的。

在启动进给运动之前，首先应启动主轴电动机 M_1 ，合上电源开关 QF_1 ，按下主轴启动按钮 SB_3 或 SB_4 [12]，中间继电器 KA_1 得电吸合并自锁，其动合触头 KA_1 (20-12) [14] 闭合，为启动工作台进给电动机作准备。

工作台纵向（左、右）进给运动的控制（见图 4.5.14、图 4.5.15(a)）。若需工作台向右进给，将纵向右进给操作手柄扳向右侧面，在机械上通过联动机构接通纵向进给离合器，同时压下行程开关 SQ_1 ，其动断触头 SQ_1 (29-24) [18] 断开，切断通往 KM_3 、 KM_4 的一条通路， SQ_1 (25-26) 闭合，使 KM_3 得电吸合 (19→ SQ_6 (19-22)→ SQ_4 (22-23)→ SQ_3 (23-24)→ SA_3 (24-25)→ SQ_1 (25-26)→ KM_4 (26-27)→ KM_3 线圈)，其主触头 [5] 闭合，电动机 M_2 正向启动运转，拖动工作台向右工作进给。

向右进给工作结束后，将纵向进给操作手柄由右扳到中间位置，行程开关 SQ_1 不再受压，其动合触头 SQ_1 (25-26) 复位断开， KM_3 失电释放， M_2 停转，工作台向右进给停止。

工作台向左进给与向右进给时相仿，此时将纵向进给手柄向左侧面，在机械挂挡的同时，压下行程开关 SQ_2 ，其动断触头 SQ_2 (28-29) [18] 断开，动合触头 SQ_2 (25-30) 闭合，使 KM_4 得电吸合，其主触头 [6] 闭合， M_2 反向启动运转，拖动工作台向左进给。当将纵向操作手柄由左侧扳回中间位置时，向左进给结束。工作台纵向操作手柄与纵向离合器、纵向进给行程开关 SQ_1 、 SQ_2 ，如表 4.5.11 所示。

表 4.5.11 工作台纵向操作手柄与纵向离合器、纵向进给行程开关 SQ_1 、 SQ_2

离合器和限位开关	纵向（左、右）操作手柄位置		
	右	中（停）	左
纵向离合器	挂上	脱开	挂上
SQ_1 (25-26)	+	-	-
SQ_2 (29-24)	-	+	+
SQ_2 (28-29)	+	+	-
SQ_2 (25-30)	-	-	+

工作台向前与向下进给运动的控制（见图 4.5.14、图 4.5.15(a)）。将垂直与横向进给操作手柄扳到“向前”位置，在机械上通过联动机构接通横向进给离合器的同时，压下行程开关

SQ₃，其动断触头 SQ₃ (23-24) [17] 断开，切断通往 KM₃、KM₄ 的一条支路；其动合触头 SQ₃ (25-26) [17] 闭合，使 KM₃ 得电吸合，其主触头 [5] 闭合，电动机 M₂ 正向启动运转，拖动工作台向前进给。

向前进给结束，将垂直与横向进给操作手柄扳回中间位置，SQ₃ 不再受压，SQ₃ (25-26) 复位断开，KM₃ 失电释放，M₂ 停转，工作台向前进给停止。

工作台“向下”进给时与“向前”进给时完全相同。只是将垂直与横向操作手柄扳至“向下”位置，在机械上通过联动机构接通垂直进给离合器的同时仍压下行程开关 SQ₃，M₂ 正转，拖动工作台向下进给。

工作台向后和向上进给运动的控制（见图 4.5.14、图 4.5.15(a)）。工作台向后和向下进给运动的控制与工作台向前和向下进给运动的控制相仿，只是将垂直与横向进给操作手柄扳到“向后”和“向上”位置，在机械上通过联动机构接通垂直或横向给离合器的同时，压下行程开关 SQ₄，其动断触头 SQ₄ (22-23) [17] 断开，动合触头 SQ₄ (25-30) [18] 闭合，反向接触器 KM₄ 得电吸合，其主触头 [6] 闭合，电动机 M₂ 反向启动运转，拖动工作台向后或向上进给。

工作台 6 个进给方向的连锁（见图 4.5.14、图 4.5.15(a)）。铣床工作时，只允许工作台一个方向运动。工作台纵向操作手柄实现工作台左、右运动方向的连锁；垂直与横向操作手柄实现上、下、前、后 4 个方向的连锁。而两个操作手柄之间的连锁是通过行程开关 SQ₁~SQ₄ 实现的。SQ₁、SQ₂ 动断触头 SQ₂ (28-29)、SQ₁ (29-24) 相串联，SQ₃、SQ₄ 的动断触头 SQ₄ (22-23)、SQ₃ (23-24) 相串联，两串联支路并联后再与 KM₃、KM₄ 线圈电路相串联，以控制电动机 M₂ 的正反转。这样，当扳动操作手柄，压下 SQ₁ 或 SQ₂ 时，其动断触头 SQ₁ (29-24) 或 SQ₂ (28-29) 断开，即断开 19→28→29→24 支路，但 19→22→23→24 支路仍闭合，通过该支路仍可使 KM₃ 或 KM₄ 得电吸合。若此时再扳动垂直与横向操作手柄，又将 SQ₃、SQ₄ 压下，其动断触头 SQ₃ (23-24)、SQ₄ (22-23) 断开，又将 19→22→23→24 支路断开，使 KM₃、KM₄ 不能得电吸合，电动机 M₂ 无法启动，从而使两个操纵手柄也不能同时操纵，实现工作台 6 个方向之间的连锁。

进给变速时的瞬时点动控制（见图 4.5.16）。在进给变速时，为使齿轮易于啮合，设有进给变速瞬动点动环节。进给变速冲动，只有在主轴启动后，将纵向进给操作手柄、垂直与横向进给操作手柄置于中间零位才可进行。

变换进给速度的顺序是，将变换进给速度的蘑菇形手柄拉出；转动手柄，把主刻度盘上所需的进给速度对准指针，把蘑菇形手柄向前拉到极限位置，而在反向推回之前，借变速孔盘推动行程开关 SQ₆，其动断触头 SQ₆ (19-22) [17] 断开，动合触头 SQ₆ (22-26) [17] 闭合，使电动机 M₂ 的正向接触器 KM₃ 瞬时得电吸合，M₂ 瞬时正向运转，以利于变速齿轮的啮合。当蘑菇形手柄推回原位时，SQ₆ 不再受压，KM₃ 失电释放，M₂ 停转。即冲动开 SQ₆ 瞬时通断一次。若一次瞬时点动齿轮仍未进入啮合状态，则可再次拉出手柄并推回，直至齿轮进入啮合状态为止。

进给方向快速移动的控制（见图 4.5.12 及图 4.5.14）。主轴开动后，将进给操作手柄扳到所需的位置，则工作台开始按手柄所选方向以选定的进给速度运动。此时若按下工作台快速移动按钮 SB₅ 或 SB₆ [16]，使快速移动继电器 KA₂ 得电吸合，其动断触头 KA₂ (104-108) [10] 断开，切断工作进给电磁离合器 YC₂ 线圈电路；动合触头 KA₂ (110-109) [11] 闭合，

接通快速移动电磁铁 YC_3 线圈电路，工作台按原运动方向快速移动。松开 SB_5 或 SB_6 ，快速运动立即停止，工作台仍以原进给速度继续运动。

工作台进给与快速移动分别由电磁离合器 YC_2 与 YC_3 传动，而 YC_2 与 YC_3 由 KA_2 控制，实现工作台进给运动与快速移动的互锁。

圆工作台的控制（见图 4.5.14 及图 4.5.15(b)）。圆工作台的回转运动也由进给电动机 M_2 经传动机构拖动。使用圆工作台时，首先使工作台选择开关 SA_3 置于“接通”位置（见表 4.5.10），此时行程开关 $SQ_1 \sim SQ_4$ 都处于原始位置。然后按下主轴启动按钮 SB_3 或 SB_4 ，使 KA_1 得电吸合，进而使 KM_1 或 KM_2 以及 KM_3 得电吸合。 KM_1 或 KM_2 得电吸合，则主轴电动机 M_1 启动运转。 KM_3 得电吸合（ $19 \rightarrow SQ_6$ （19-22） $\rightarrow SQ_4$ （22-23） $\rightarrow SQ_3$ （23-24） $\rightarrow SQ_1$ （24-29） $\rightarrow SQ_2$ （29-28） $\rightarrow SA_3$ （28-26） $\rightarrow KM_4$ （26-27） $\rightarrow KM_3$ 线圈），其主触头闭合，进给电动机 M_2 启动运转，拖动圆工作台单方向旋转。

水平工作台与圆工作台的连锁。圆形工作台的运动必须与水平工作台 6 个方向的运动有可靠的连锁。由图 4.5.15 (b) 可以看出，圆工作台工作时，进给电动机 M_2 的启动接触器 KM_3 是经由 $SQ_1 \sim SQ_4$ 的动断触头串联电路接通的，若此时又操纵纵向、垂直或横向操作手柄，将压下 $SQ_1 \sim SQ_4$ 中的某一个，其动断触头断开，于是切断 KM_3 线圈电路，使 KM_3 失电释放，进给电动机 M_2 也立即停转。

（3）冷却泵电动机 M_1 控制

由转换开关 SA_1 通过 KA_3 来控制。

第六节 镗床电气控制电路

镗床是一种精密加工设备，主要用于加工精度要求高的孔或者孔与孔间距要求精确的工件，即主要用来进行钻孔、扩孔、铰孔和镗孔，并能进行铣削端平面和车削螺纹等加工，因此，镗床的加工范围非常广泛。

一、镗床的主要结构、运动形式和控制要求

1. 卧式镗床的主要结构

图 4.6.1 为卧式镗床外形图，主要由床身、前立柱、镗头架、后立柱、尾座、下溜板、上溜板和工作台等部分组成。

镗床的床身是一个整体的铸件，在它的一端固定有前立柱，在前立柱的垂直导轨上装有镗头架，镗头架可沿垂直导轨上下移动。镗头架里集中装有主轴、变速器、进给箱和操纵机构等部件。切削工具一般安装在镗轴前端的锥形孔里，或装在花盘的刀具溜板上。在切削过程中，镗轴一面旋转，一面沿轴向作进给运动，而花盘只能旋转，锥在它上面的刀具溜板可作垂直于主轴轴线方向的径向进给运动，镗轴和花盘轴分别通过各自的传动链传动，因此可以独立运动。

在床身的另一端装有后立柱，后立柱可沿床身导轨在镗轴轴线方向调整位置。在后立柱导轨装有尾座，用来支撑镗杆的末端，尾座与镗头架同时升降，保证两者的轴心在同一水平线上。

安装工件的工作台安置在床身中部的导轨上，可以借助上、下溜板作横向和纵向水平移动，工作台相对于上溜板可作回转运动。

2. 主要运动形式

(1) 主运动 镗轴和花盘的旋转运动。

(2) 进给运动 镗轴的轴向进给、花盘上刀具的径向进给、镗头架的垂直进给，工作台的横向和纵向进给。

(3) 辅助运动 工作台的回转、后立柱的轴向水平移动、尾座的垂直移动及各部分的快速移动。

3. 控制要求

(1) 卧式镗床的主运动与进给运动由一台电动机拖动。主轴拖动要求恒功率调速，且要求正反转，一般采用单速或多速三相笼形感应电动机拖动。

(2) 为了满足加工过程调整工作的需要，主轴电动机应能实现正反转点动的控制。

(3) 主轴及进给变速可在开车前进行预选，也可在工作进程进行变速。为了便于齿轮之间的啮合，应有变速冲动。

(4) 为缩短辅助时间，机床各运动部件应能实现快速移动，并由单独的快速移动电动机拖动。

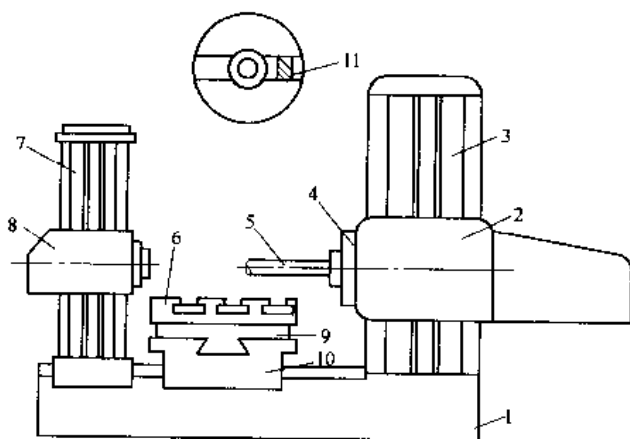
(5) 为了迅速、准确地停车，要求主轴电动机具有制动过程。

(6) 镗床运动部件较多，应设置必要的连锁及保护环节。

二、T68 型卧式镗床电气控制电路

T68 型卧式镗床电气控制电路如图 4.6.2 所示，其电气元件明细如表 4.6.1 所示。

T68 型卧式镗床由两台电动机拖动，分别是主轴电动机 M_1 和快速移动电动机 M_2 。主轴电动机用来驱动镗轴和花盘的旋转，并通过变速箱的传动，产生镗轴、花盘、工作台及镗头架的进给运动。为了迅速调整尾座或工作台的相对位置，各个方向的快速移动采用快速移动电动机 M_2 来拖动。



1—床身 2—镗头架 3—前立柱 4—平旋盘 5—镗轴 6—工作台
7—后立柱 8—尾座 9—上溜板 10—下溜板 11—刀具溜板

图 4.6.1 卧式镗床外形图

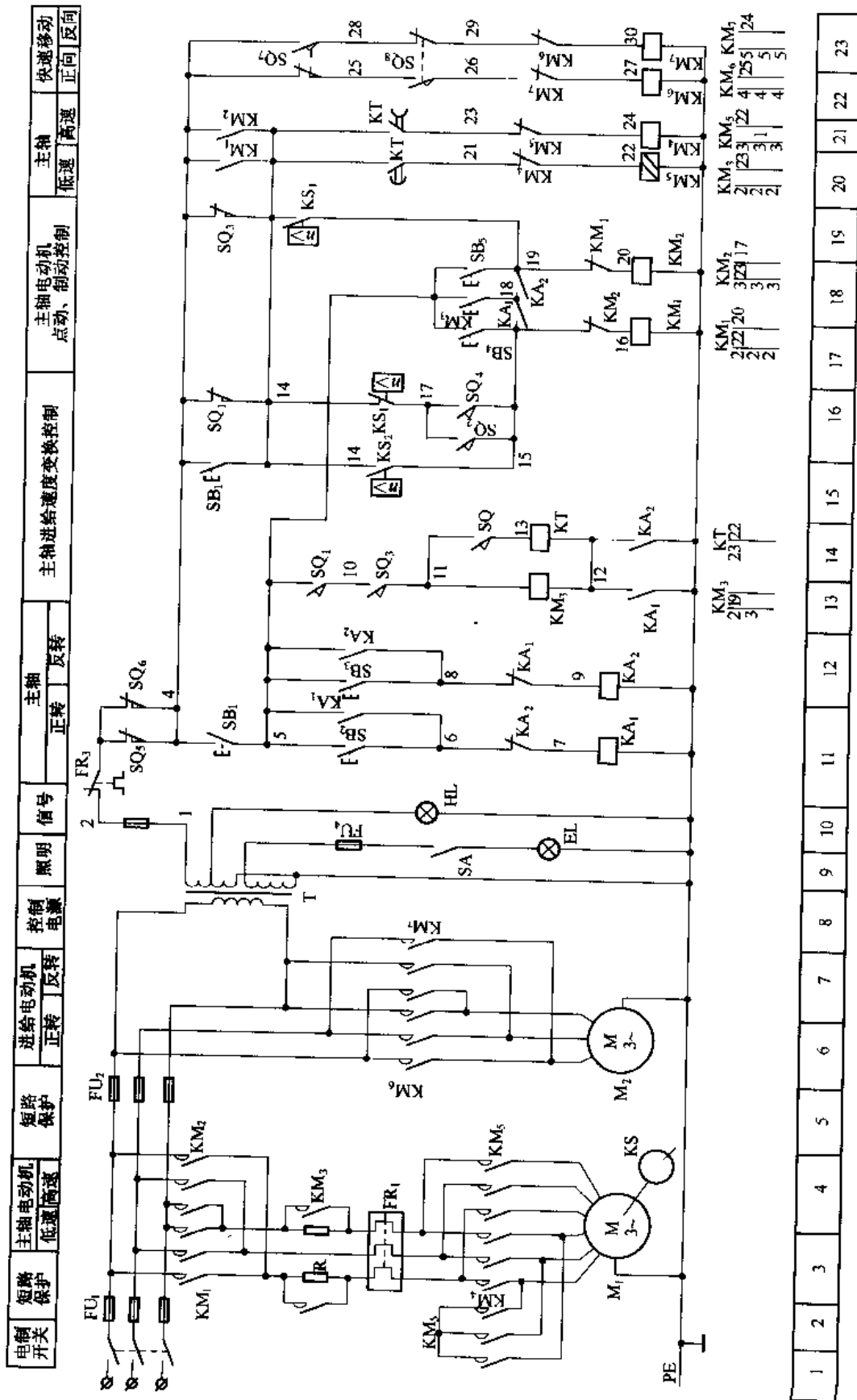


图 4.6.2 T68 型卧式镗床电气控制电路

表 4.6.1 T68 型卧式镗床电器元件明细表

符 号	名 称	作 用
M ₁ M ₂	双速异步电动机 异步电动机	主轴旋转及进给 进给快速移动
FU ₁ FU ₂ FU ₃ FU ₄	熔断器	总电源短路保护 M ₂ 短路保护 控制电路短路保护 照明电路短路保护
KM ₁ KM ₂ KM ₃ KM ₄ KM ₅ KM ₆ KM ₇	接触器	主轴正转 主轴反转 主轴制动 主轴低速 主轴高速 M ₂ 正转快速 M ₂ 反转快速
FR KA ₁ KA ₂ KT KS ₁ KS ₂	热继电器 中间继电器 中间继电器 时间继电器 速度继电器 速度继电器	M ₁ 过载保护 接通主轴正转 接通主轴反转 主轴高速延时 主轴反向速度启动控制 主轴正向速度启动控制
TC QS ₂ EL HL	变压器 开关 照明灯 信号指示灯	控制和照明用低压照明 电源接通指示
SB ₂ SB ₃ SB ₄ SB ₅ SB ₁	按钮	
SQ ₁ SQ ₂ SQ ₃ SQ ₄ SQ ₅ SQ ₆ SQ SQ ₇ SQ ₈	限位开关	主轴进刀与工作台移动连锁 主轴进刀与工作台移动连锁 进给速度变换 进给速度变换 主轴自动进刀与工作台自动进给间的互锁 主轴自动进刀与工作台自动进给间的互锁 主轴高、低速切换开关 快速移动正转 快速移动反转
XS QS ₁	插座 转换开关	工作照明 总电源开关

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制

T68 型卧式镗床由两台三相笼形感应电动机驱动，主轴电动机 M_1 拖动机床的主运动和进给运动，快速移动电动机 M_2 实现主轴箱与工作台的快速移动。主轴电动机 M_1 为双速电动机，由 5 只接触器控制，其中 KM_1 和 KM_2 控制 M_1 的正反转； KM_3 在主轴电动机 M_1 正常运行时短接电阻 R ； KM_4 、 KM_5 （双线圈接触器）控制 M_1 的高、低速运行。 R 为反接制动电阻，熔断器 FU_1 和热继电器 FR_1 分别作 M_1 的短路和长期过载保护。与主轴电动机 M_1 主轴相连接的速度继电器 KS 用于 M_1 的反接制动控制。

快速移动电动机 M_2 由 KM_6 、 KM_7 控制其正反转，用熔断器 FU_2 作其短路保护。由于 M_2 是短时工作，因此未设过载保护。

(2) 根据电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路进行分解

① 根据主电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 $KM_1 \sim KM_5$ ，在图区 15~21 及 13 中找到 $KM_1 \sim KM_5$ 的线圈电路，其中有 KA_1 和 KA_2 的动合触头，在图区 11、12 中找到 KA_1 和 KA_2 的线圈电路，这样可分解出主电动机 M_1 的控制电路，如图 4.6.3 所示。图中有行程开关 SQ 、 $SQ_1 \sim SQ_6$ 和速度继电器 KS 的触头 KS_1 (14-17) [16]、 KS_2 (14-15) [15]。 SQ 为主轴电动机 M_1 的高速、低速选择开关， SQ_1 为主轴变速时自动停车与启动开关， SQ_4 为进给变速齿轮啮合冲动开关， SQ_5 、 SQ_6 为主轴自动进刀与工作台自动进给间的互锁开关。这些行程开关由各相应操纵手柄联动压合与松开。因此，行程开关 SQ 、 $SQ_1 \sim SQ_6$ 在控制过程中触头工作状态的变化，就成为分析该电路的第一个关键点，而各相操纵手柄如何通过联系机构压合与松开相应行程开关，就成为分析该电路的第二个关键点。

主轴速度选择开关 SQ 由主轴速度选择手柄联动压合与松开。当将速度选择手柄置于“低速”挡时，与速度选择手柄有关联的行程开关 SQ 不受压，其触头 SQ (11-13) [14] 断开，当将主轴速度选择置于“高速”挡时，经联动机构将行程开关 SQ 压下，使触头 SQ (11-13) 闭合。

当主运动和进给运动都处于非变速状态时，各自的变速手柄通过联动机构使 SQ_1 、 SQ_3 受压，而行程开关 SQ_2 、 SQ_4 不受压。

T68 型卧式镗床主运动与进给运动的速度变换，是通过“变速操纵盘”改变传动比来实现的。它可在电动机 M_1 启动运行前进行变速，也可在运行过程中进行变速。

其变速操作过程是，主轴变速时，首先将变速操作盘上的主轴变速操纵手柄向外拉出，然后转动主轴变速盘，选择所需的速度，最后将变速操作手柄推回原位。在拉出与推回变速操纵手柄的同时，与其联动的行程开关 SQ_1 、 SQ_2 相应动作，即手柄向外拉出时， SQ_1 不受压而 SQ_2 受压；推回时， SQ_2 不受压而 SQ_1 受压。

进给变速操纵过程与主轴变速操纵过程相似。进给变速时，首先将进给变速手柄向外拉出，然后转动进给变速盘，选择所需要的进给速度，最后将变速操作手柄推回原位。在拉出或推回变速手柄的同时，与其联动的行程开关 SQ_3 、 SQ_4 相应动作，即手柄向外拉出时， SQ_3 不受压而 SQ_4 受压，推回手柄时， SQ_4 受压而 SQ_3 不受压。行程开关 $SQ_1 \sim SQ_4$ 的触头工作状态如表 4.6.2 所示。

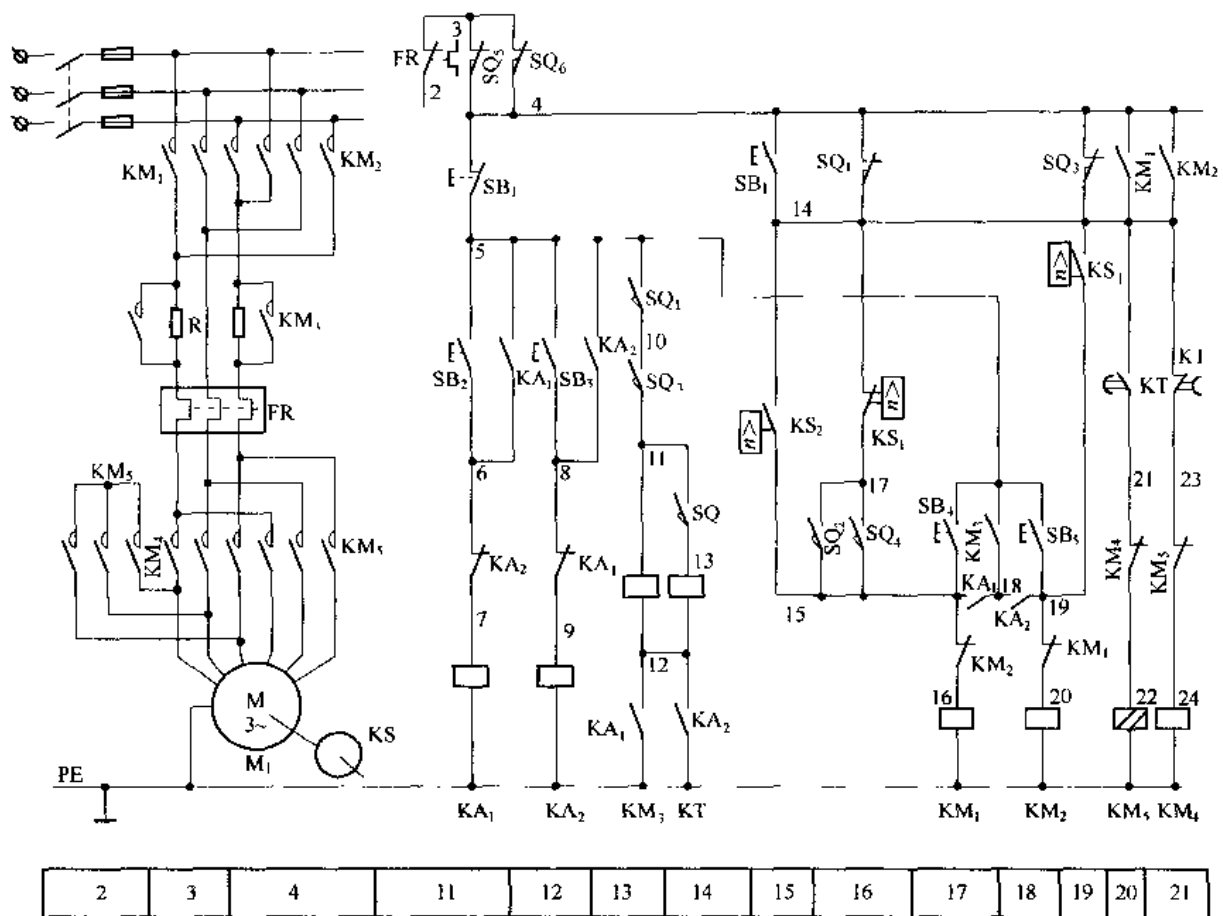


图 4.6.3 主电动机 M₁ 的控制电器

表 4.6.2 行程开关 SQ₁~SQ₄ 的触头工作状态表

操纵手柄	行程开关及其触头		非变速状态		主轴变速 (压动 SQ ₁ 、SQ ₂)				进给变速 (压动 SQ ₃ 、SQ ₄)			
					手柄拉出		手柄推回		手柄拉出		手柄推回	
主轴变速操纵手柄	SQ ₁	SQ ₁ (5-10)	受压	+	不受压	-	受压	+	受压	+	受压	+
		SQ ₂ (4-14)		-		+		-		-		-
	SQ ₂	SQ ₂ (15-17)	不受压	-	受压	+	不受压	-	不受压	-	不受压	-
进给变速操纵手柄	SQ ₃	SQ ₃ (1-11)	受压	+	受压	+	受压	+	不受压	-	受压	+
		SQ ₂ (4-14)		-		-		-		+		-
	SQ ₄	SQ ₄ (15-17)	不受压	-	不受压	-	不受压	-	受压	+	不受压	-

与主轴电动机 M₁ 主轴相连的速度继电器 KS, 用于实现 M₁ 的反接制动控制。KS₁ (14-19) [19]、KS₂ (14-15) [15] 分别为正、反转的动合触头, KS₁ (14-17) [16] 为动断触头。当电动机 M₁ 的正反转速度达到一定值时, KS₁ (14-19) 或 KS₂ (14-15) 闭合, 而 KS₁ (14-17) 断开。

② 根据进给电动机 M_2 主电路控制电器主触头文字符号 KM_6 、 KM_7 ，在图区 22、23 中找到 KM_6 、 KM_7 的线圈电路，图中有行程开关 SQ_7 和 SQ_8 。 SQ_7 为快速移动正转行程开关， SQ_8 为快速移动反转行程开关，它们均由快速移动操作手柄通过相应的传动机构控制。

(3) 将电动机 M_1 的控制电路（见图 4.6.3）进行分解

① 主轴电动机 M_1 的正、反转控制（见图 4.6.3 和表 4.6.2） 当主运动和进给运动处于非变速状态时，各自的变速手柄使行程开关 SQ_1 、 SQ_3 受压，而行程开关 SQ_2 、 SQ_4 不受压。

主轴电动机 M_1 由接触器 KM_1 、 KM_2 进行正、反转控制。在图区 17、18 中可找到 KM_1 、 KM_2 的线圈电路，与 KM_1 、 KM_2 线圈串联的动合按钮 SB_4 、 SB_5 两端分别串联有 KM_3 、 KA_1 、 KA_2 的动合触头 KM_3 (5-18) - KA_1 (15-18)、 KM_3 (5-18) - KA_2 (18-19)，也就是说串联动合触头切断了 KM_1 、 KM_2 自锁电路，因此判定 SB_4 、 SB_5 为电动机 M_1 的正反转点动按钮。

在主电路中，电阻 R 两端并联有 KM_3 的主触头，在图区 13 中可找到 KM_3 线圈电路，可见， KM_1 、 KM_2 得电吸合，对 KM_3 线圈电路无影响，因此点动时串接电阻 R 。在主电路中，还有接触器 KM_4 、 KM_5 ，在图区 20、21 中可找到 KM_4 、 KM_5 的线圈电路，由于 KM_1 、 KM_2 得电吸合，其动合触头 KM_1 (4-14) 或 KM_2 (4-14) 闭合（注意，此时 SQ_3 (4-14) 已断开），使 KM_4 得电吸合，其主触头闭合。

由上述分析可得，主电动机 M_1 正反转点动控制电路如图 4.6.4 所示，电动机串入减压电阻 R 、三相定子绕组接成 Δ 形，进行低速点动。

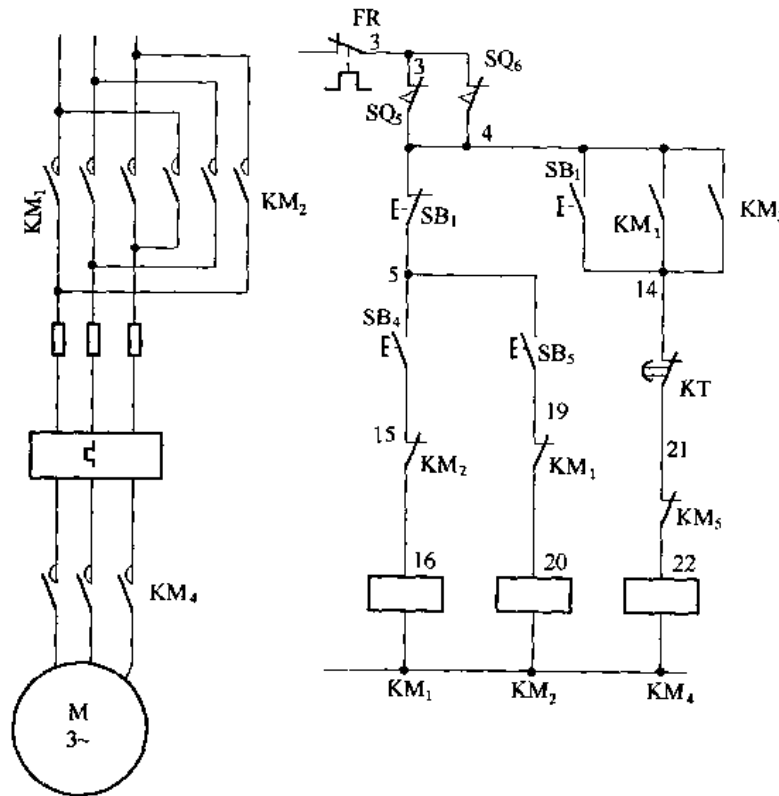


图 4.6.4 主轴电动机 M_1 的点动控制电路

由上述分析可知，若使 KM_1 、 KM_2 得电吸合并自锁，应使 KM_3 (5-18) - KA_1 (15-18) 或 KM_3 (5-18) - KA_2 (18-19) 闭合，也就是使 KA_1 、 KM_3 或 KA_2 、 KM_3 得电吸合。在图区

11、12、13 中找到 KA_1 、 KA_2 和 KM_3 线圈电路。当 KA_1 或 KA_2 得电吸合时，触头 KA_1 (12-0) 或 KA_2 (12-0) 闭合，此时变速手柄置于原位，主轴变速行程开关 SQ_1 和变速行程开关 SQ_3 均被压下，即 SQ_1 (5-10) 和 SQ_3 (10-11) 闭合，使 KM_3 得电吸合。由此可得如图 4.6.5 所示电动机 M_1 的低速控制电路， SB_1 、 SB_2 为正反转启动按钮， KA_1 、 KA_2 为正反转启动中间继电器，主轴电动机 M_1 在 Δ 形接法下全压启动并以低速运行。

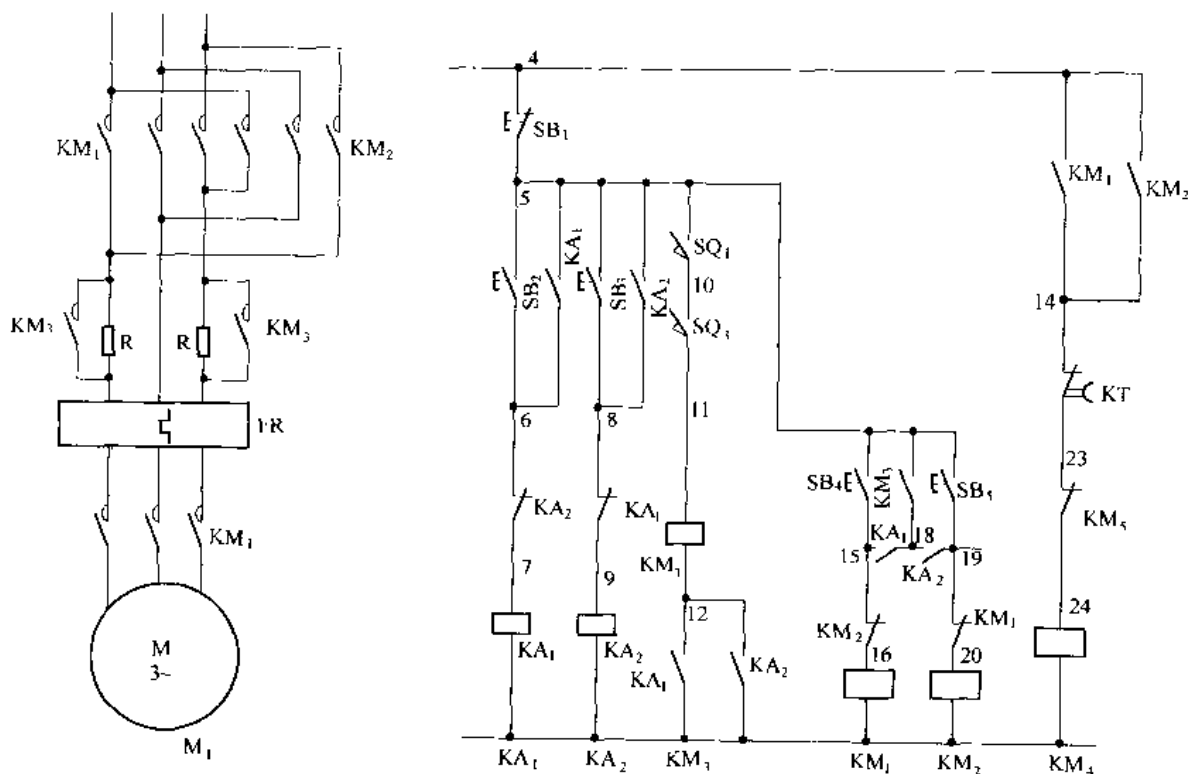


图 4.6.5 主轴电动机 M_1 正反转低速运转控制电路

在主轴电动机 M_1 正反转低速控制电路的基础上，将主轴速度选择开关 SQ 置于高速挡，此时主轴速度选择手柄经联动机构将行程开关 SQ 压合，即 SQ (11-13) 接通，将通电延时时间继电器 KT 接入，可得如图 4.6.6 所示的主轴电动机 M_1 正反转高速控制电路。利用 KT ，按时间原则进行高、低速切换，低速时 KM_4 得电吸合， KM_5 失电释放；高速时， KM_5 得电吸合， KM_4 失电释放。

在图 4.6.3 所示的电路中，电动机 M_1 启动运行后，按下停止按钮 SB_1 ，其动断触头 SB_1 (4-5) 断开，使 KA_1 、 KA_2 、 KM_3 、 KM_1 (或 KM_2)、 KM_4 (低速) 或 KM_5 (高速) 失电释放，切断了电动机 M_1 的正相序 (反相序) 电源，限流电阻 R 串入 M_1 的定子绕组。此时 M_1 虽与电源断开，但由于惯性作用， M_1 仍以较高速度正向或反向旋转，速度继电器 KS 的正转动合触头 KS_1 (14-19) 或反转动合触头 KS_2 (14-15) 仍闭合。 SB_1 的动合触头 SB_1 (4-14) [15] 闭合，经触头 KS_1 (14-19) 或 KS_2 (14-15)，使 KM_2 或 KM_1 得电吸合，并使 KM_4 得电吸合，主电动机 M_1 经限流电阻 R 在 Δ 形连接下进行反接制动。由此可得图 4.6.7 所示的电动机 M_1 停车及反接制动电路。

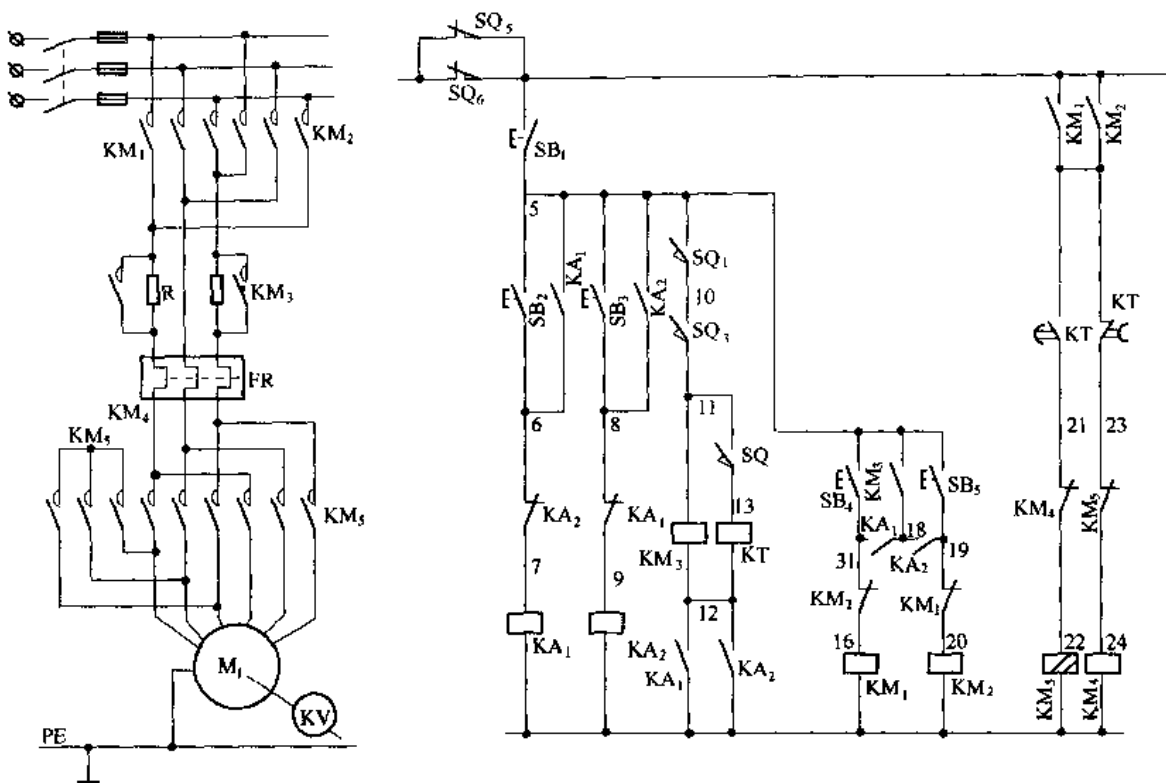


图 4.6.6 主轴电动机 M_1 正反转高速控制电路

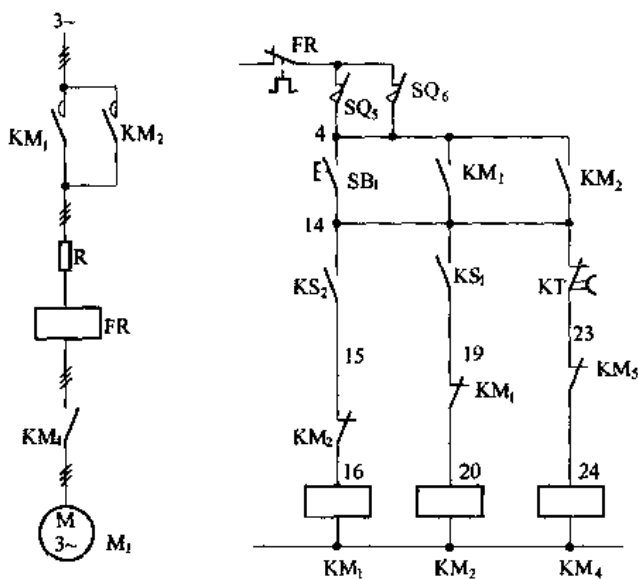


图 4.6.7 主轴电动机 M_1 停车及反接制动电路

② 主轴电动机 M_1 主运动和进给运动的变速控制。

主轴运行中的变速控制。主轴变速时，进给运动仍保持变速工作状态，即 SQ_3 受压、 SQ_4 不受压。主轴变速手柄拉出， SQ_1 不受压， SQ_2 受压；主轴变速手柄推回，则 SQ_1 受压， SQ_2 不受压。这样，根据图 4.6.3 和表 4.6.2 可得主轴变速时，变速手柄拉出和推回时的控制电路，如图 4.6.8 所示。

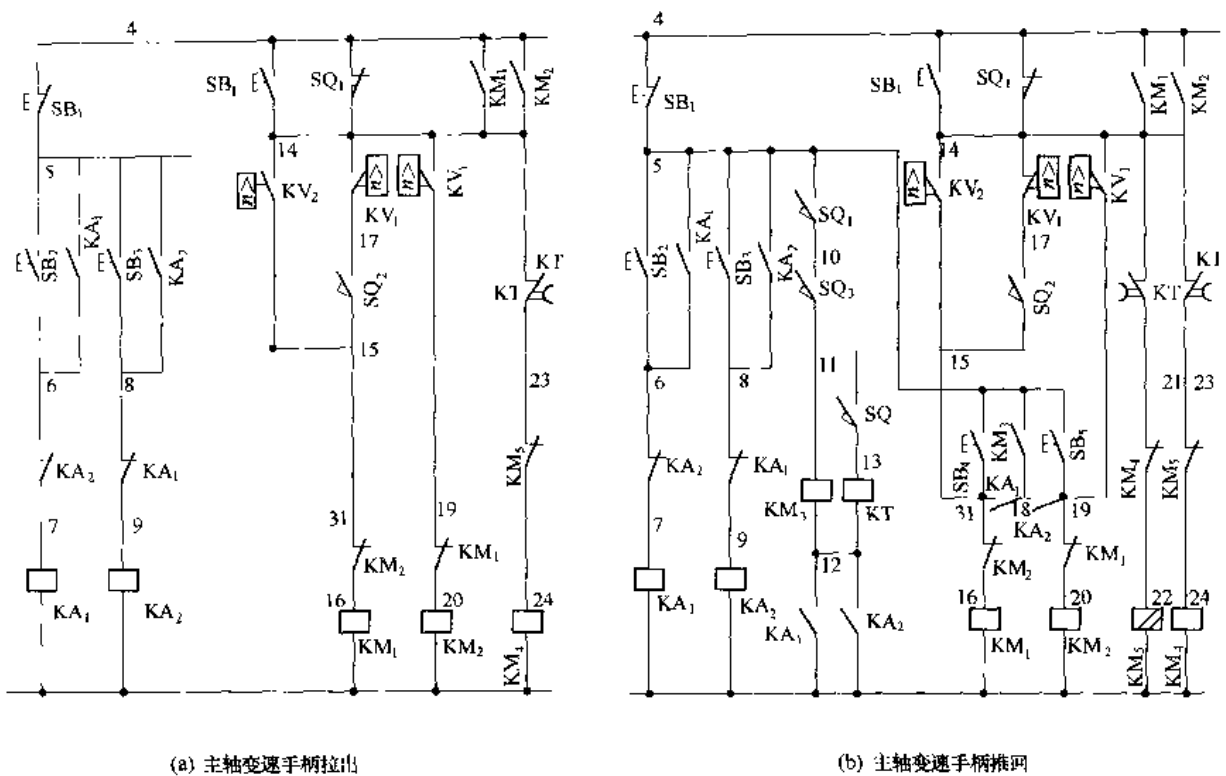


图 4.6.8 主轴运行中的变速控制电路

进给变速时，主轴变速保持非变速状态，即 SQ_1 受压、 SQ_2 不受压；进给变速手柄拉出，则 SQ_3 不受压， SQ_4 受压，而进给变速手柄推回，则 SQ_3 受压、 SQ_4 不受压。因此，进给变速控制电路与主轴变速控制电路相似，将图 4.6.8 中的 SQ_1 (4-14) 换成 SQ_3 (4-14)， SQ_2 (15-17) 换成 SQ_4 (15-17)，即可得进给变速控制电路。

上轴停止时的变速控制电路，如图 4.6.9 所示。

【看图实践】

由于控制电路使用的电器较多，因此采用变压器 T 供电。控制电路电压为 127V，并有 36V 安全电压给局部照明灯供电。SA 为照明灯控制开关，HL 为电源供电指示灯。

(1) 主电动机 M_1 的正反转控制 (见图 4.6.3)

启动条件： SQ_1 、 SQ_3 受压、 SQ_2 、 SQ_4 不受压。

① 主电动机 M_1 的正反转点动控制 (见图 4.6.4) 主电动机正反转点动控制电路，由正反转接触器 KM_1 、 KM_2 与正反转点动按钮 SB_4 、 SB_5 组成，此时电动机定子串减压电阻 R，三相定子绕组接成 Δ 形进行低速点动。

按下正向点动按钮 SB_4 (或反向点动按钮 SB_5)，使接触器 KM_1 (或 KM_2) 得电吸合，

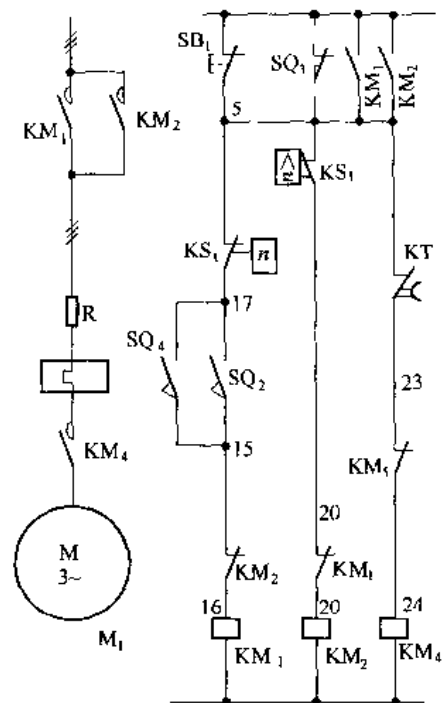


图 4.6.9 主轴停止时的变速控制电路

其辅助动合触头 KM_1 (4-14) (或 KM_2 (4-14)) 闭合, 使接触器 KM_4 得电吸合。这样, KM_1 (或 KM_2) 和 KM_4 的主触头闭合, 使电动机 M_1 接成 Δ 形并串接电阻 R , M_1 在低速下正 (或反) 向运行。松开按钮 SB_4 (或 SB_5), 接触器 KM_1 (或 KM_2) 和 KM_4 失电释放, 电动机 M_1 失电停转。

② 主电动机 M_1 正反转低速旋转控制 (见图 4.6.5) 由正反转启动按钮 SB_2 、 SB_3 与正反转中间继电器 KA_1 、 KA_2 及正反转接触器 KM_1 、 KM_2 构成电动机正反转启动电路。当选择主电动机低速运转时, 应将主轴速度选择手柄置于低速挡位, 此时经速度选择手柄联动机构使高低速行程开关 SQ 处于释放状态, 其动合触头 SQ (11-13) 处于断开状态。当主轴变速手柄与进给变速手柄置于原位时, 主轴变速行程开关 SQ_1 、进给变速行程开关 SQ_3 均被压下, 使触头 SQ_1 (5-10)、 SQ_3 (10-11) 闭合。此时若按下 SB_2 (或 SB_3), 将使 KA_1 (或 KA_2) 得电吸合并自锁, 其辅助动断触头 KA_1 (8-9) (或 KA_2 (6-7)) 断开, 使 KA_2 (或 KA_1) 不能得电, 实现互锁; 其辅助动合触头 KA_1 (12-0) (或 KA_2 (12-0)) 闭合, 使 KM_3 得电吸合。 KM_3 的主触头闭合, 将制动电阻 R 短接, 而 KM_3 的辅助动合触头 KM_3 (5-18) 闭合, 又 KA_1 的动合触头 KA_1 (15-18) (或 KA_2 的动合触头 KA_2 (18-19)) 闭合, 使 KM_1 (或 KM_2) 得电吸合, 而 KM_1 (或 KM_2) 的辅助动合触头 KM_1 (4-14) (或 KM_2 (4-14)) 闭合, 使 KM_4 得电吸合, 其主触头闭合, 接通主电动机 M_1 的正相序电源, 其辅助动断触头 KM_4 (21-22) 断开, 确保高速转动交流接触器 KM_5 不能得电, 实现互锁。这样, 主电动机定子绕组连接成 Δ 形, 在全压下直接启动获得低速旋转。

③ 电动机 M_1 高速正、反转的控制 (见图 4.6.6) 若需主电动机高速启动旋转时, 将主轴速度选择手柄置于高速挡位, 此时速度选择手柄经联动机构将行程开关 SQ 压下, 触头 SQ (11-13) 闭合。这样, 按下正转启动按钮 SB_2 (或反转启动按钮 SB_3), KA_1 (或 KA_2) 得电吸合并自锁, 其辅助动合触头 KA_1 (12-0) (或 KA_2 (12-0)) 闭合, 使接触器 KM_3 和通电延时时间继电器 KT 同时得电吸合。 KA_1 (或 KA_2) 与 KM_3 得电吸合, 又使 KM_1 (或 KM_2) 得电吸合。由于 KT 的两副触头 KT (14-21)、 KT (14-23) 延时动作, 因此低速转动接触器 KM_4 先得电吸合, 电动机 M_1 接成 Δ 形低速启动。 KT 经过 3s 延时, 延时断开的动断触头 KT (14-23) 断开, 使 KM_4 失电释放, 延时闭合的动合触头 KT (14-21) 闭合, 使高速转动接触器 KM_5 通电吸合, KM_5 主触头闭合, 将主电动机 M_1 定子绕组接成 YY 形并重新接通三相电源, 从而使主电动机由低速旋转转为高速旋转, 实现电动机按低速挡启动再自动换接成高速挡运行的自动控制。

(2) 主电动机 M_1 停车与制动的控制 (见图 4.6.3、图 4.6.7)

主电动机 M_1 运行中可按下停止按钮 SB_1 实现主电动机的停车与制动。由 SB_1 、速度继电器 KS 、接触器 KM_1 、 KM_2 和 KM_3 构成主电动机正反转反接制动控制电路。

以主电动机正向运行时的停车制动为例, 此时速度继电器 KS 的正向动合触头 KS_1 (14-19) 闭合。停车时, 按下复合停止按钮 SB_1 , 其动断触头 SB_1 (4-5) 断开。若原来处于低速正转状态, 这时 KA_1 、 KM_3 、 KM_1 、 KM_4 相继失电释放; 若原来为高速正转, 则 KA_1 、 KM_3 、 KT 、 KM_1 、 KM_5 相继失电释放, 限流电阻 R 串入主电动机定子电路。虽然此时电动机已与电源断开, 但由于惯性作用, M_1 仍以较高速度正向旋转。而停止按钮的动合触头 SB_1 (4-14) 闭合, 接通以下电路: SB_1 (4-14) \rightarrow KS_1 (14-19) \rightarrow KM_1 (19-20) \rightarrow KM_2 线圈和 SB_1 (4-14) \rightarrow KT (14-23) \rightarrow KM_5 (23-24) \rightarrow KM_4 线圈, 使 KM_2 、 KM_4 得电吸合, KM_2 的辅助

动合触头 KM_2 (4-14) 闭合, 对停止按钮起自锁作用。 KM_2 、 KM_4 的主触头闭合, 经限流电阻 R 接通主电动机三相电源, 主电动机进行反接制动, 电动机转速迅速下降。当主电动机转速下降到速度继电器 KS 复位转速 $120r/min$ 以下时, 触头 KS_1 (14-19) 断开, KM_2 、 KM_4 先后失电释放, 其主触头断开, 切断主电动机三相电源, 反接制动结束, 电动机自由停车。

由上述分析可知, 在进行停车操作时, 将停止按钮 SB_1 按到底, 使 SB_1 (4-14) 触头闭合, 否则无反接制动, 电动机只是自由停车。

若电动机 M_1 反转, 当速度达 $120r/min$ 以上时, 速度继电器 KS 的动合触头 KS_2 (14-15) 闭合, 为反转停车制动作准备。以后动作过程与正转制动相似, 但参与控制的接触器为 KM_1 、 KM_4 。

(3) 主电动机在主轴变速与进给变速时的连续低速冲动控制

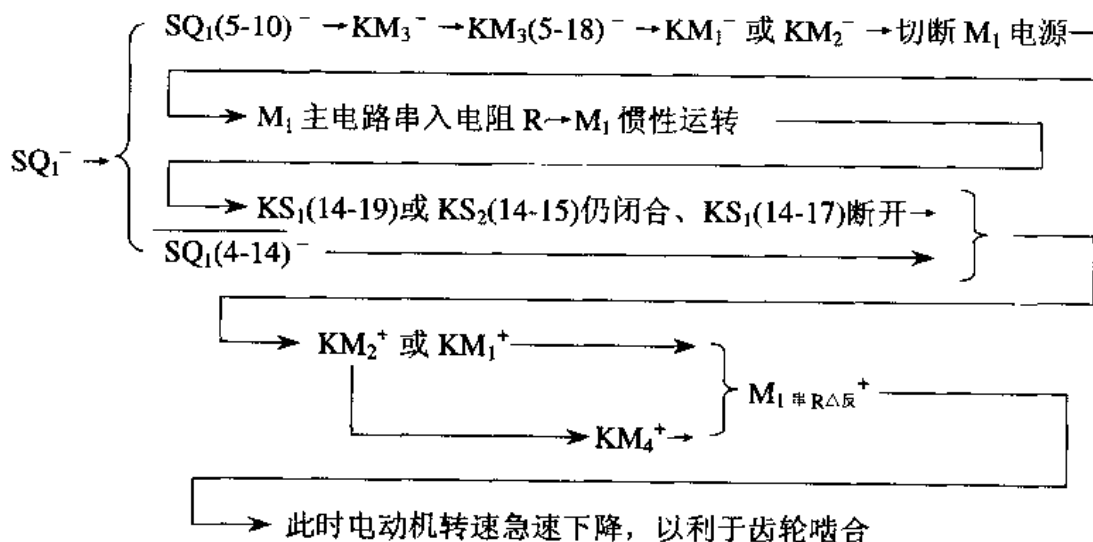
T68 型卧式镗床的主轴变速与进给变速既可在主轴电动机停车时进行, 也可在电动机运行中进行。变速时为便于齿轮的啮合, 主电动机在连续低速状态下运行。

① 主轴电动机在主轴变速时的连续低速冲动控制 (见图 4.6.3 和表 4.6.2)。

启动条件: 主轴变速时, SQ_1 不受压, 即 SQ_1 (5-10) 断开, SQ_1 (4-14) 闭合; SQ_2 受压, 即 SQ_2 (15-17) 闭合。而进给运动处于非变速状态, SQ_3 受压, 即 SQ_3 (10-11) 闭合, SQ_3 (4-14) 断开, SQ_4 不受压, 即 SQ_4 (15-17) 断开。

变速操作过程。主轴变速时, 首先将变速操纵盘上的操纵手柄拉出, 然后转动主轴变速盘, 选好速度后, 再将变速手柄推回。在拉出或推回变速手柄的同时, 与其联动的行程开关 SQ_1 、 SQ_2 相应动作。在手柄拉出时 SQ_1 不受压, SQ_2 压下, 当手柄推回时, SQ_1 压下, SQ_2 不受压。

主轴运行中的变速控制过程。主轴在运行中变速, 拉出变速操作手柄, 则 SQ_1 不受压, 即 SQ_1 (5-10) 断开、 SQ_1 (4-14) 闭合; SQ_2 受压, 即 SQ_2 (15-17) 闭合。于是:



若主轴电动机 M_1 原来运行在低速挡, 则此时 KM_4 仍保持得电, 主轴电动机接成 Δ 形, 串入电阻 R 进行反接制动; 若主轴电动机原来运行在高速挡, 则此刻由时间继电器 KT 的断电延时触头使 KM_5 失电而 KM_4 得电, 将 M_1 定子绕组由 YY 自动切成 Δ 连接低速串入电阻 R 进行反接制动。

随后转动变速盘，选择所需要的速度，最后将操纵手柄推回原位，则 SQ₁ 受压，即 SQ₁ (5-10) 闭合，SQ₁ (4-14) 断开，SQ₂ 不受压，即 SQ₂ (15-17) 断开。由于 KA₁ 或 KA₂ 仍保持吸合，因此时 SQ₃ (10-11) 的闭合，使 KM₃ 得电吸合，相继使 KM₁ 或 KM₂ 得电吸合，电动机 M₁ 自行启动，拖动主轴在新的转速下运转。

如果变速齿轮不能啮合而造成变速手柄推不回去，则此行程开关 SQ₁ 仍不受压，SQ₂ 仍受压，即 SQ₂ (15-17) 仍闭合。以 M₁ 正转为例，当 M₁ 的转速降低到速度继电器的释放值时，则 KS₁ (14-19) 断开，使 KM₂ 失电释放，切除 M₁ 制动电源，而 KS₁ (14-17) 闭合，使 KM₁ 得电吸合，其通路为 SQ₁ (4-14) → KS₁ (14-17) → SQ₂ (17-15) → KM₂ (15-16) → KM₁ 线圈，而此时 KM₄ 仍保持吸合，电动机 M₁ 在△联接下串入电阻 R 正向启动，当 M₁ 的转速升高到速度继电器 KS 的动作值时，KS₁ (14-17) 断开，使 KM₁ 失电释放，KS₁ (14-19) 闭合，使接触器 KM₂ 得电吸合，接通主电动机反相序电源，于是 M₁ 又处于反接制动状态。如果变速手柄还没有推回去，则重复上述过程，M₁ 处于反复启动、制动的循环中，使主电动机处于连续低速运转状态，有利于变速齿轮的啮合。一旦齿轮啮合后，便可将变速手柄推回原位，使 SQ₁ 受压，SQ₂ 不受压，变速过程结束。此时 SQ₂ (17-15) 断开，切断了变速冲动电路，而 SQ₁ (5-10) 闭合，由于 KA₁ 的动合触头 KA₁ (12-0) 仍闭合，SQ₃ (10-11) 也闭合，因此 KM₃、KM₁ 相继得电重新吸合，主轴电动机 M₁ 自动启动，拖动主轴在新转速下运转。

停车状态的变速，见图 4.6.9。操作方法及控制过程与运行状态变速完全一样，但变速结束后主轴恢复停止状态。

由上分析可知，如果变速前主电动机处于停转状态，那么变速后主电动机也处于停转状态。若变速前主电动机处于正向低速（△形连接）状态运转，由于中间继电器 KA₁ 仍保持得电状态，变速后主电动机仍处于△形连接下运转。同样，如果变速前电动机处于高速（YY 连接）正转状态，那么变速后，主电动机仍先接成△形连接，再经过 3s 左右的延时，才进入 YY 接线的高速正转状态。

② 主轴电动机 M₁ 在进给变速时的连续低速冲动控制。

启动条件：SQ₁、SQ₄ 受压，SQ₂、SQ₃ 不受压。

进给变速控制与主轴变速控制相同，其变速过程相似，即首先将进给变速手柄向外拉出，然后转动进给变速盘，选择所需要的进给速度，最后将进给变速手柄推回原位。在拉出或推回进给变速操纵手柄的同时，与其联动的行程开关 SQ₃、SQ₄ 相应动作，即在手柄向外拉出时，SQ₃ 不受压而 SQ₄ 受压；手柄推回时，SQ₃ 受压而 SQ₄ 不受压。如果变速齿轮不能啮合而造成变速手柄推不动，则主轴电动机 M₁ 处于间歇启动和制动状态，获得变速时的低速控制，有利于齿轮的啮合，直到变速手柄推回原位为止。

当手柄推回原位后，压下 SQ₃，而 SQ₄ 不再受压，上述变速冲动结束，整个进给变速控制过程完成。

③ 镗头架和工作台快速移动的控制（见图 4.6.2 的图区 6、7 和图区 22、23）。

机床各部件的快速移动，由快速移动操作手柄控制，快速移动电动机 M₂ 拖动。运动部件及其运动方向的选择由装设在工作台前方的手柄操纵。快速操作手柄有“正向”、“反向”、“停止”3 个位置。在“正向”与“反向”位置时，将压下行程开关 SQ₇ 或 SQ₈，使接触器 KM₆ 或 KM₇ 得电吸合，实现 M₂ 电动机的正反转，并通过相应的传动机构使预选的运动部件按选定方向作快速移动。当快速移动控制手柄置于“停止”位置时，行程开关 SQ₇、SQ₈ 均

不受压，接触器 KM_6 或 KM_7 处于失电状态， M_2 快速移动电动机失电，快速移动结束。

(4) 连锁保护环节

① 镗头架和工作台与主轴（或花盘）自动进给的连锁。

由于 T68 型卧式镗床部件较多，为防止机床或刀具损坏，保证主轴进给和工作台进给不能同时进行，为此设置了两个连锁保护开关 SQ_5 与 SQ_6 。其中 SQ_5 是与工作台和镗头架自动进给手柄联动的行程开关， SQ_6 是与主轴和平旋盘刀架自动进给手柄联动的行程开关。将这两个行程开关的动断触头并联后串接在控制电路中。当以上两个操作手柄中的任何一个动作时，行程开关 SQ_5 和 SQ_6 中只有一个动断触头断开，主轴电动机 M_1 和快速移动电动机 M_2 仍可以启动。同时扳动这两个自动进给手柄，使 SQ_5 、 SQ_6 都被压下，其动断触头断开，将控制电路切断，于是两种进给都不能进行，从而实现了连锁保护。

② 其他连锁控制。

主电动机 M_1 的正反转控制电路，高、低速控制电路以及快速移动电动机 M_2 的正反转控制电路都设有连锁环节，以防止误操作而造成事故。

三、T6113 型卧式镗床电气控制电路

该机床能加工数个孔径大，精度高，且孔的轴心线之间有严格要求的同轴度、垂直度、平行度和孔距精确性高的大型工件。

T6113 型卧式镗床电气控制电路如图 4.6.10 所示，其主要电器元件的符号、名称和用途如表 4.6.3 所示。

【电气控制电路特点】

主轴电动机可以正向转动和反向转动，可以进行正反向点动控制；为了减小启动电流，主电动机采用 Y- Δ 启动方式；为了减小制动时对传动机构的冲击和降低制动噪声，主电动机采用能耗制动；为了使变速后齿轮顺利地进入良好的啮合状态，在变速时主轴电动机断续接通电源，使主轴瞬时转动。

断路器 QF_1 为电气控制电路的总电源开关，其电磁机构装置起短路保护和零压保护作用。

卧式镗床的电气控制与机械结构配合得十分密切，了解它们的互锁和连锁关系，对分析电路有很大益处。

【看图思路】

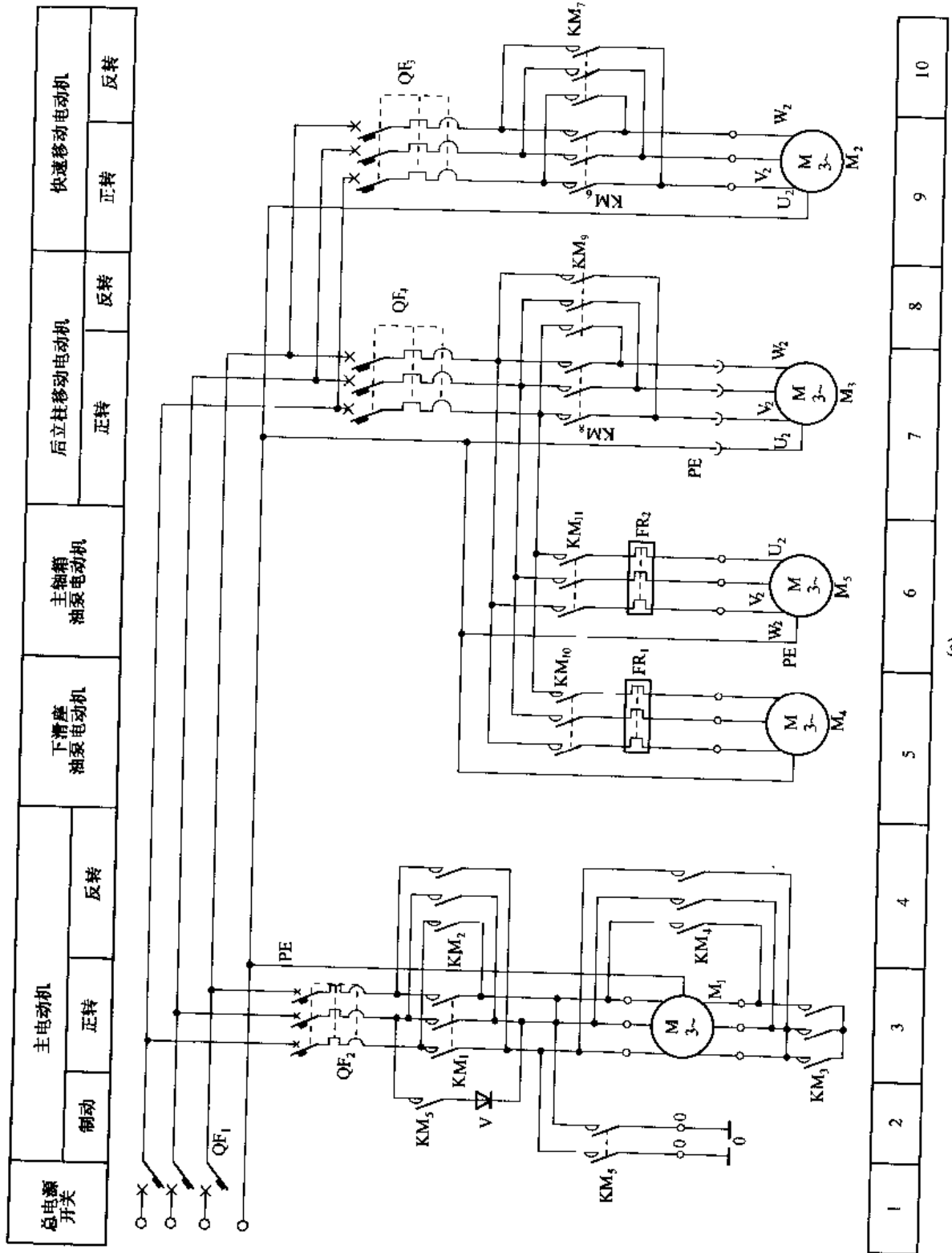
(1) 电动机的配置情况及其控制

该机床的拖动系统由 5 台电动机组成。

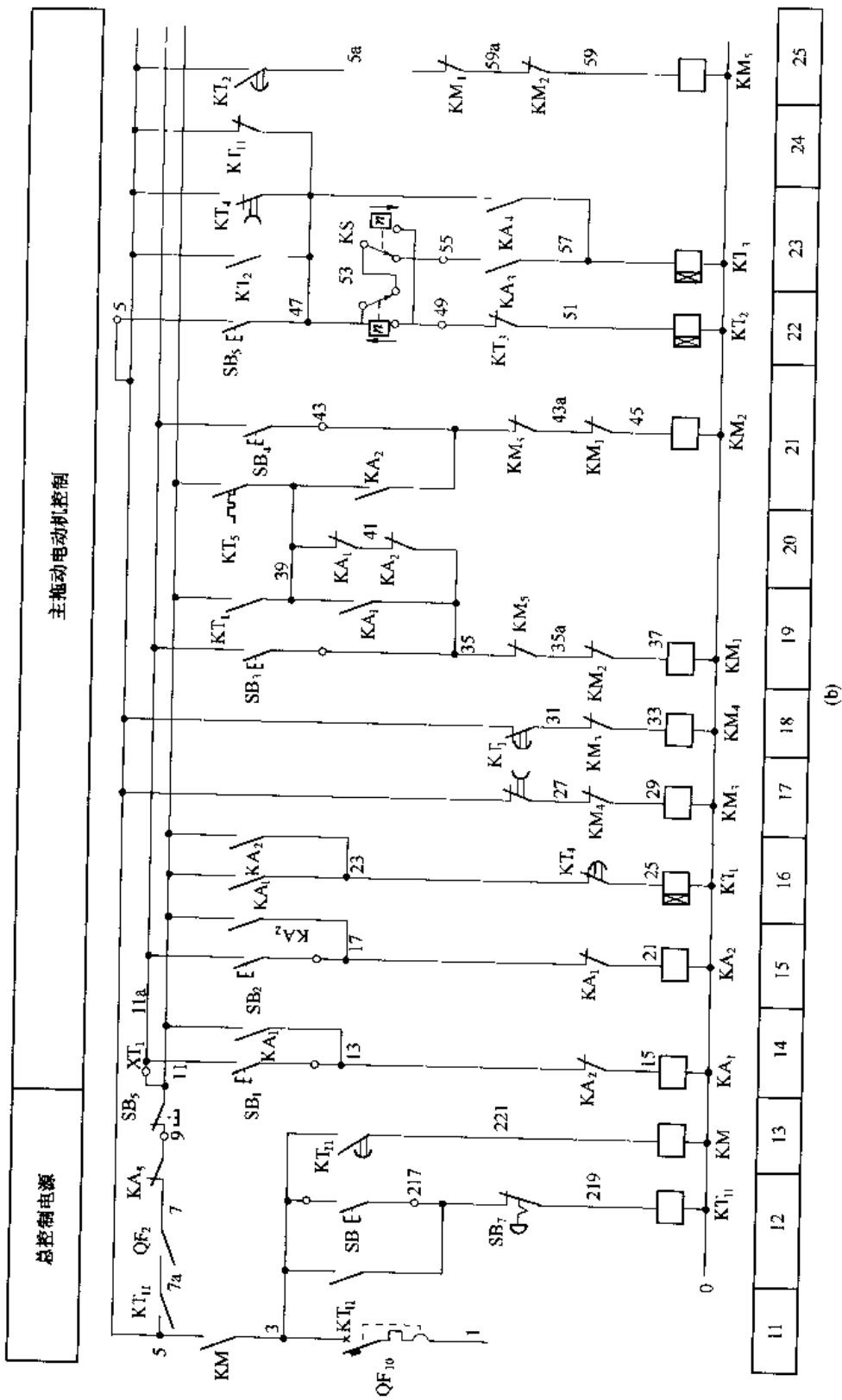
M_1 为主轴电动机，由接触器 KM_1 、 KM_2 控制 M_1 的正反转的启动与停止。 KM_4 和 KM_5 为 M_1 的 Y- Δ 启动电路。 KM_5 、整流二极管 VD 和速度继电器 KS 组成 M_1 的按速原则组成的能耗制动电路。 QF_2 是 M_1 的电源开关，也是 M_1 的短路保护电器。

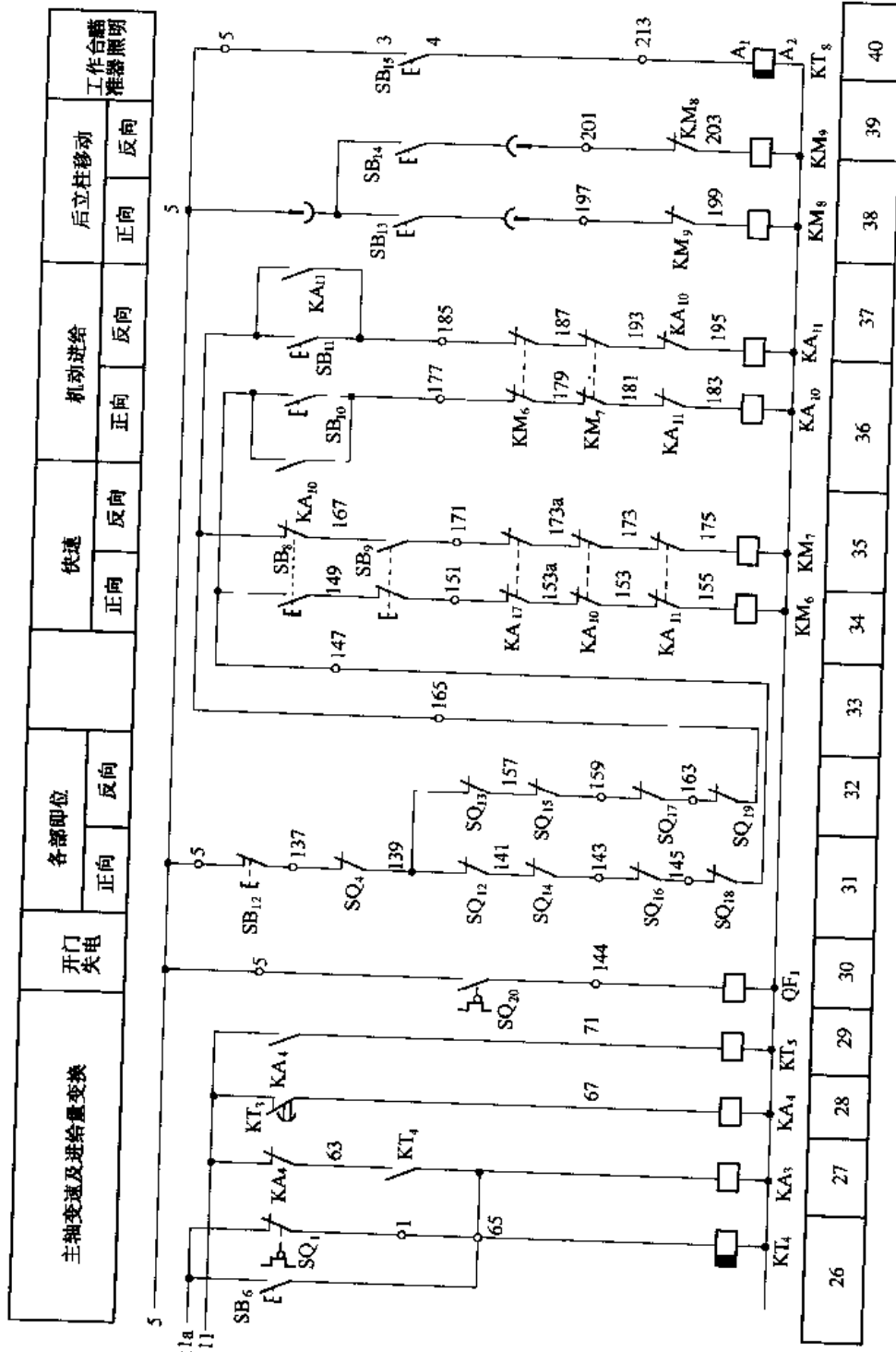
M_2 为快速移动电动机，由接触器 KM_6 、 KM_7 控制 M_2 的正反转的启动与停止。 QF_3 是 M_2 的电源开关，也是 M_2 的短路保护电路。

M_3 为立柱快速移动电动机，由接触器 KM_8 、 KM_9 控制 M_3 的正反转的启动与停止。 QF_4 是 M_3 的电源开关，也是 M_3 的短路保护电器。

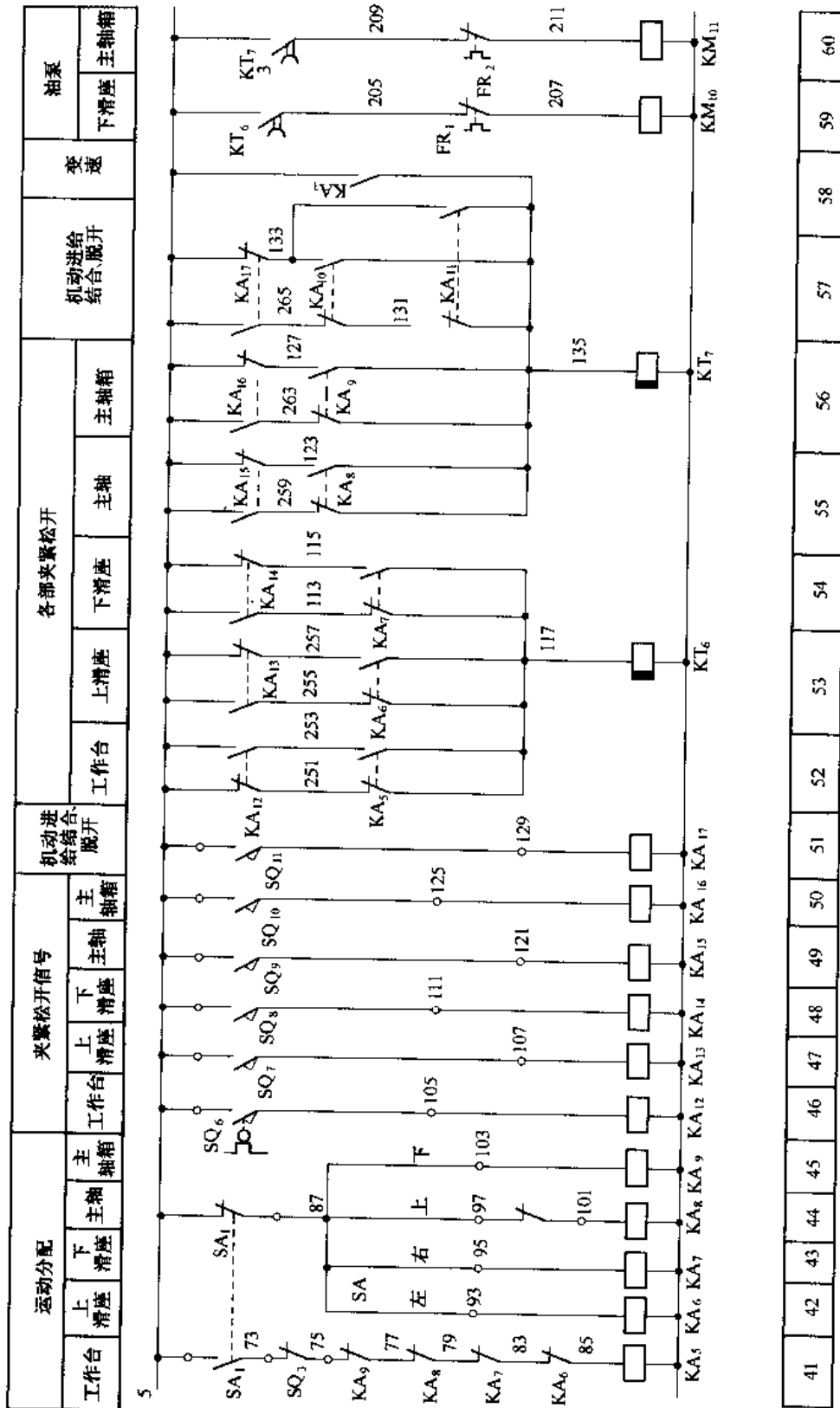


(a)





(c)



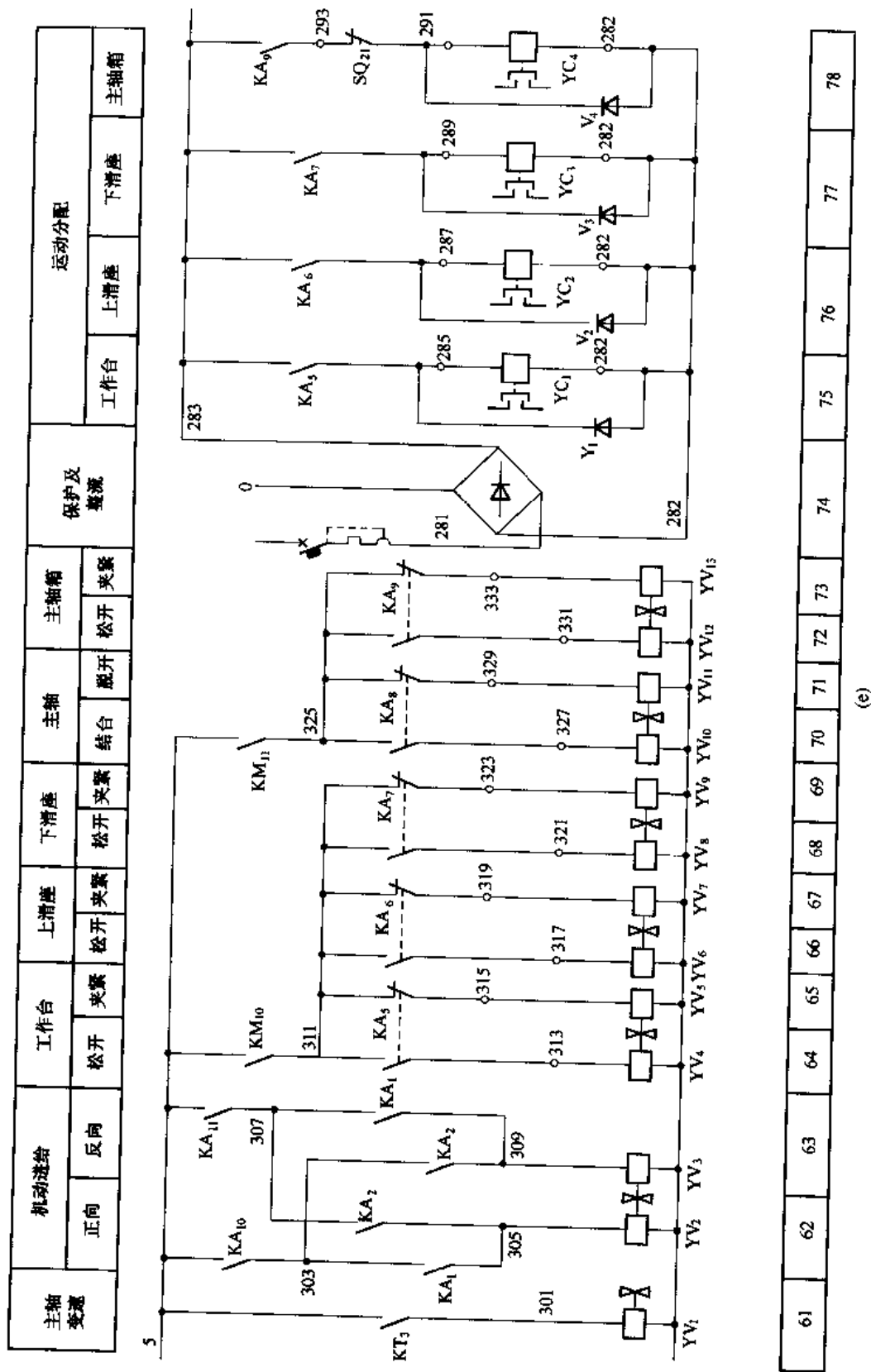


图 4.6.10 T6113 型卧式镗床电气控制电路

表 4.6.3

T6113 型镗床电气元件表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
M ₁	主轴电动机	KA ₇	下滑座移动中间继电器
M ₂	快速移动电动机	KA ₈	主轴移动中间继电器
M ₃	后立柱快速移动电动机	KA ₉	主轴箱移动中间继电器
M ₄	下滑座油泵电动机	KA ₁₀	正向机动进给中间继电器
M ₅	主轴箱油泵电动机	KA ₁₁	反向机动进给中间继电器
QF ₁	总电源断路器	KT ₁	主电动机Y-△启动时间继电器
QF ₂	主电动机电源断路器	KT ₂	能耗制动时间继电器
QF ₃	快速电动机电源开关断路器	KT ₃	主轴变速中点动时间继电器
QF ₄	后立柱电动机电源断路器	KT ₄	主轴变速延时时间继电器
QF ₅	照明灯电源断路器	KT ₅	主电动机点动时间继电器
QF ₆	照明灯电源断路器	KT ₆	工作台回转时间继电器
QF ₇	整流电源断路器	KT ₇	主轴箱移动时间继电器
QF ₈	外接照明灯电源断路器	KT ₈	工作台照明时间继电器
QF ₉	指示灯电源断路器	KT ₁₀	主轴箱照明时间继电器
QF ₁₀	控制电路电源断路器	KS ₁	能耗制动速度继电器
FR ₁	下滑座油泵电动机过载保护热继电器	SA ₁	运动选择开关
FR ₂	主轴箱油泵电动机过载保护热继电器	SA	运动选择十字开关
TC ₁	控制变压器	YA ₁	主轴变速电磁铁
KM ₁	主轴电动机正转启停接触器	YA ₂	正向机动进给电磁铁
KM ₂	主轴电动机反转启停接触器	YA ₃	反向机动进给电磁铁
KM ₃	主轴电动机Y形连接接触器	YA ₄	工作台松开电磁铁
KM ₄	主轴电动机△形连接接触器	YA ₅	工作台夹紧电磁铁
KM ₅	主轴电动机能耗制动接触器	YA ₆	上滑座松开电磁铁
KM ₆	快移电动机正转启停接触器	YA ₇	下滑座夹紧电磁铁
KM ₇	快移电动机反转启停接触器	YA ₈	下滑座松开电磁铁
KM ₈	后立柱电动机正转启停接触器	YA ₉	下滑座夹紧电磁铁
KM ₉	后立柱电动机反转启停接触器	YA ₁₀	主轴结合电磁铁
KM ₁₀	下滑座油泵电动机启停接触器	YA ₁₁	主轴脱开电磁铁
KA ₁	主轴箱油泵电动机启停接触器	YA ₁₂	主轴箱松开电磁铁
KA ₂	主轴电动机正转中间继电器	YA ₁₃	主轴箱夹紧电磁铁
KA ₃	主轴变速中间继电器	YC ₁	工作台旋转电磁离合器
KA ₄	主轴电动机点动中间继电器	YC ₂	上滑座移动电磁离合器
KA ₅	工作台回转中间继电器	YC ₃	下滑座移动电磁离合器
KA ₆	上滑座移动中间继电器	YC ₄	主轴箱升降电磁离合器

M₄为工作台上、下滑座液压油泵电动机，由接触器 KM₁₀直接控制 M₄的启动与停止。QF₄为其短路保护电器，热继电器 FR₁为其过载保护电器。

M₅为主轴箱液压油泵电动机，由接触器 KM₁₁直接控制 M₅的启动与停止。QF₄为其短路保护电器，热继电器 FR₂为其过载保护电器。

(2) 根据主电路控制电器主触头文字符号将电路进行分解

① 根据电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 $KM_1 \sim KM_5$ ，分别在图区 19、20、21、17、18、25 中找到 $KM_1 \sim KM_5$ 的线圈电路。在 KM_1 、 KM_2 线圈电路中有 KA_1 、 KA_2 、 KT_1 和 KT_5 的触头，在 KM_3 、 KM_4 线圈电路中有 KT_1 的触头，在 KM_5 线圈电路中有 KT_2 的触头。接着在图区 14、15 中找到 KA_1 、 KA_2 的线圈电路，在图区 16 中找到 KT_1 线圈电路，其中又有 KT_4 的触头；在图区 22 中找到 KT_2 的线圈电路，其中又有 KT_3 的触头，在图区 29 中可找到 KT_5 的线圈电路，其中又有 KA_4 的触头。在图区 28 中找到 KA_4 线圈电路，其中又有 KT_3 的触头；在图区 23、24 中找到 KT_3 线圈电路，其中又有 KA_3 、 KT_4 、 KT_{11} 的触头，在图区 27 中找到 KA_3 线圈电路，这样，通过逆读朔源法，可分解出电动机 M_1 的控制电路，如图 4.6.11 所示。

下面再将图 4.6.11 所示的电动机 M_1 控制电路进行分解。

在图区 19、21 中有按钮 SB_3 [19]、 SB_4 [21]，按下 SB_3 、 SB_4 可使 KM_1 、 KM_2 得电吸合，但 KM_1 、 KM_2 不能自锁，因此 SB_3 、 SB_4 为电动机 M_1 的正反转点动按钮，由此可得正反转点动控制电路，如图 4.6.12 所示。

要使 KM_1 或 KM_2 得电吸合并保持，应使 KT_1 (11-39) [19]、 KA_1 (39-35) [19] 或 KA_2 (39-43) [21] 闭合，因此 KA_1 或 KA_2 及 KT_1 应得电吸合；要实现 Y- Δ 转换，即 KM_3 失电后 KM_4 应得电，通过 KT_1 来实现，而 KT_1 又受 KA_1 或 KA_2 控制，由此可得电动机 M_1 的正反转控制电路，如图 4.6.13 所示。

主轴电动机 M_1 的停止。按下按钮 SB_5 ，其动断触头 SB_5 (9-11) [13] 断开， KA_1 或 KA_2 、 KT_1 、 KM_1 (或 KM_2)、 KM_4 先后失电释放， KT_1 的延时断开的动断触头 KT_1 (5-27) 在 KT_1 失电后立即闭合，因此 KM_3 又得电吸合，主电动机 M_1 失电呈现 Y 形连接状态；其动合触头 SB_5 (5-47) [22] 闭合，由于 M_1 仍以较高速度旋转，速度继电器 KS 的动合触头 KS (47-49) [22] 仍闭合，使通电延时时间继电器 KT_2 得电吸合并自锁，经过短暂延时，其延时闭合的动合触头 KT_2 (5-5a) [25] 闭合，使 KM_5 得电吸合。 KM_5 的主触头 [2] 闭合，220V 交流电经 VD 整流成约 100V 的直流电压加到电动机定子绕组上（见图 4.6.14），对主电动机进行能耗制动，主轴电动机转速迅速下降。

主轴电动机的转速下降到 KS 的复位转速时， KS 的动合触头 KS (47-49) 断开，使 KT_2 和 KM_5 先后失电释放， KM_5 主触头断开，切断能耗制动电源，能耗制动结束。

② 根据快速移动电动机 M_2 主电路控制电路主触头文字符号 KM_6 、 KM_7 ，在图区 31~35 中找到 KM_6 、 KM_7 的线圈电路，这是按钮连锁的正反转点动控制电路。

③ 根据立柱快速移动电动机 M_3 主电路控制电器主触头文字符号 KM_8 、 KM_9 ，在图区 38、39 中找到 KM_8 、 KM_9 线圈电路，这是接触器连锁的正反转点动控制电路。

④ 根据液压泵电动机 M_4 、 M_5 主电路控制电器主触头文字符号 KM_{10} 、 KM_{11} ，在图区 59、60 找到 KM_{10} 、 KM_{11} 线圈电路。

然后依据逆读朔源法，分析哪些电器元件动作能使 KM_{10} 、 KM_{11} 得电吸合，直至朔源到主令电器，依据顺读追踪法分析 KM_{10} 、 KM_{11} 得电吸合后，又使哪些电器元件动作，直到追踪到执行电器为止。

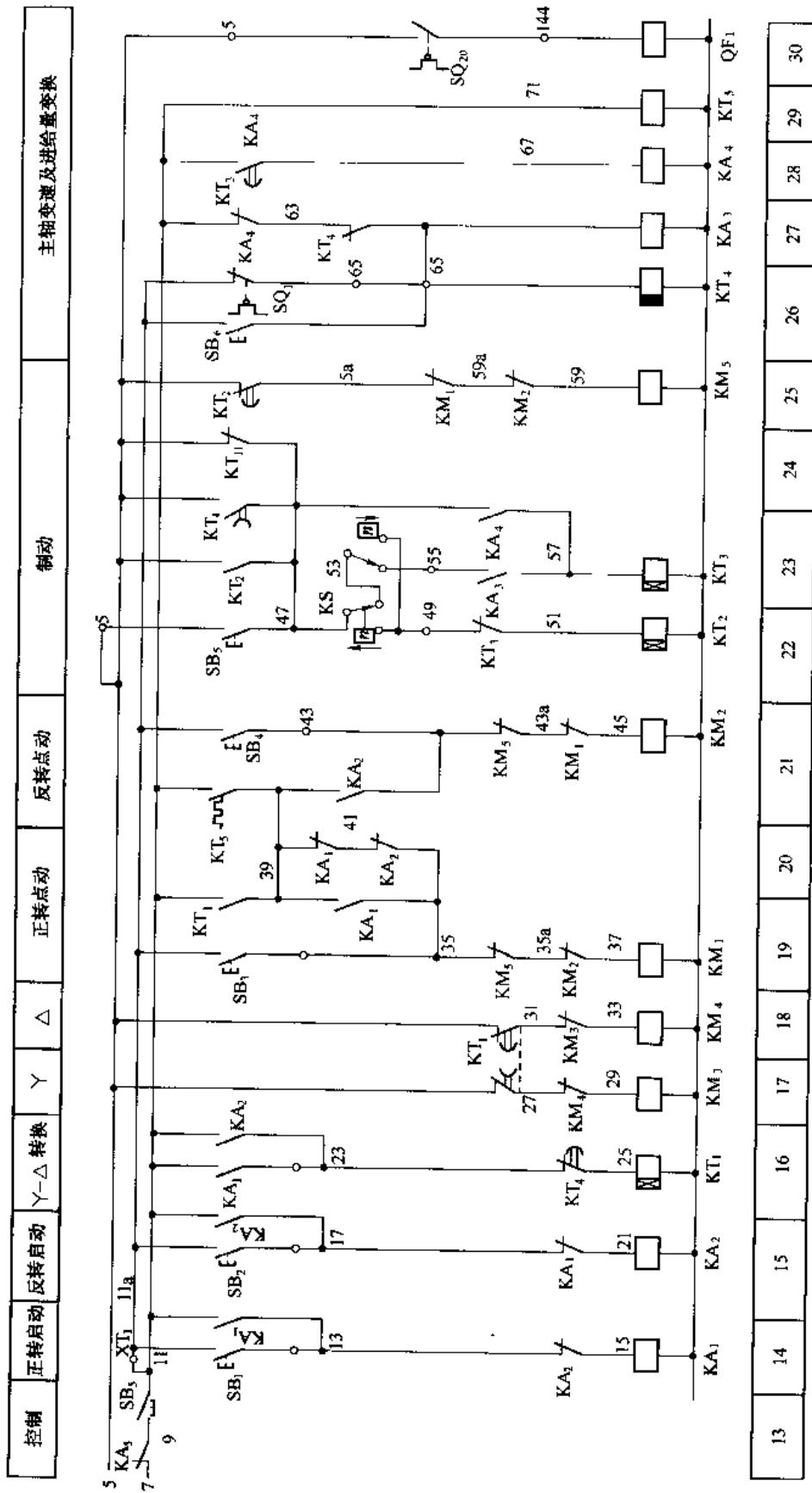


图 4.6.11 电动机 M₁ 的控制电路

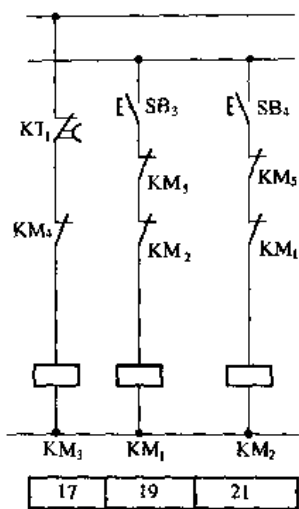


图 4.6.12 电动机 M₁ 的正反转点动控制电路

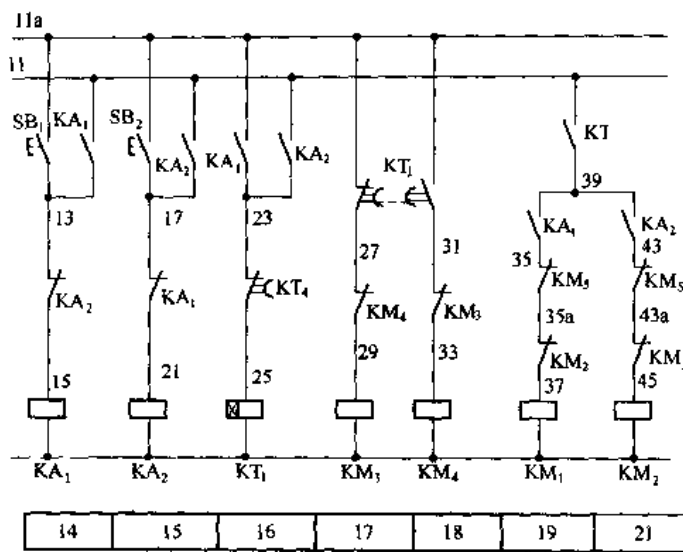


图 4.6.13 电动机 M₁ 的正反转控制电路

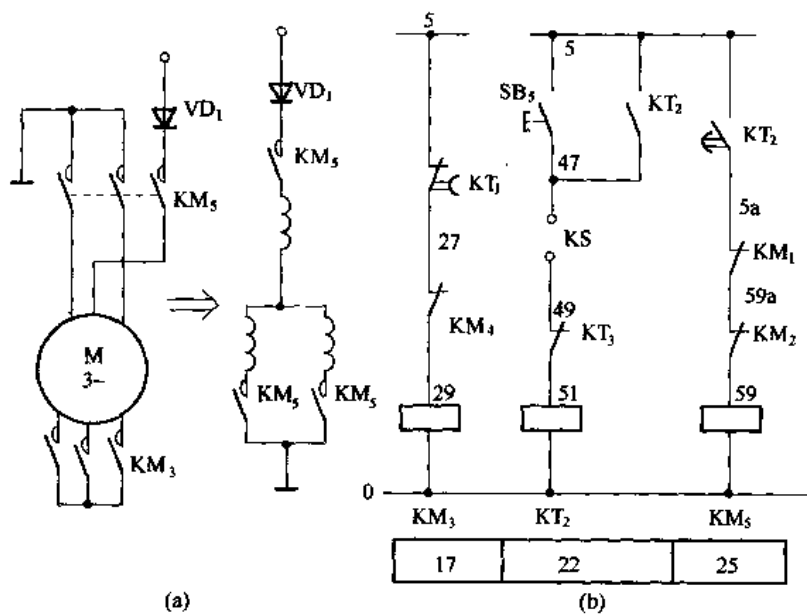
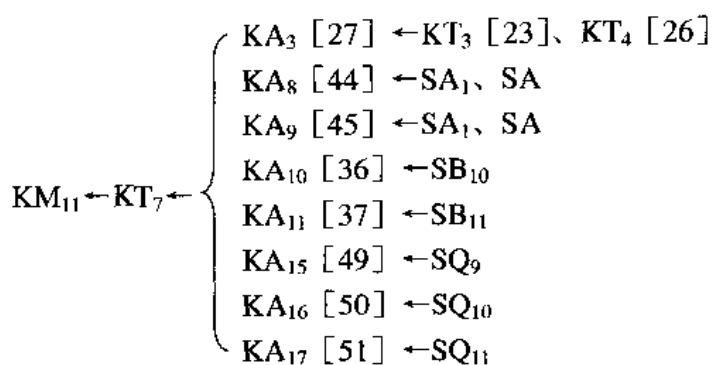


图 4.6.14 能耗制动电路

按上述思路可知：
逆读朔源：

- KA₅ [41] ← SA₁
 - KA₆ [42] ← SA₁、SA
 - KA₇ [43] ← SA₁、SA
 - KA₁₂ [46] ← SQ₆
 - KA₁₃ [47] ← SQ₇
 - KA₁₄ [48] ← SQ₈
- KM₁₀ ← KT₆ [53]



顺读追踪：
 $\text{KM}_{10} \rightarrow \text{YV}_4 \sim \text{YV}_9 [64 \sim 69]$
 $\text{KM}_{11} \rightarrow \text{YV}_{10} \sim \text{YV}_{13} [70 \sim 73]$

$\text{KA}_5、\text{KA}_6、\text{KA}_7、\text{KA}_9 \rightarrow \text{YC}_1 \sim \text{YC}_4 [75 \sim 78]$

因此，图区 41~60 所示的电路为液压泵电动机 $M_4、M_5$ 的控制电路。电动机 M_4 为工作台、上下滑座移动液压泵电动机，由 KT_6 通过 KM_{10} 控制；电动机 M_5 为主轴、主轴箱移动液压泵电动机，由 KT_7 通过 KM_{11} 控制，用来提供压力油。

(3) 各种运动的选择及其控制

① 各项运动包括：工作台回转运动、上滑座移动、下滑座移动、主轴移动和主轴升降。各项运动由转换开关 $\text{SA}_1 [41]$ 和十字开关 $\text{SA} [42 \sim 45]$ 进行选择，并通过 $\text{KA}_5 \sim \text{KA}_9$ 传递运动分配信号，见表 4.6.4。

表 4.6.4 转换开关 SA_1 和十字开关 SA 的触头工作状态

运动选择	$\text{SA}_1 [41、44]$		$\text{SA} [42 \sim 45]$				得电的中间继电器
	$\text{SA}_1 (5-73)$	$\text{SA}_1 (5-87)$	$\text{SA} (87-93)$	$\text{SA} (87-95)$	$\text{SA} (87-97)$	$\text{SA} (87-103)$	
工作台	+	-					KA_5
上滑座	-	+	+	-	-	-	KA_6
下滑座	-	+	-	+	-	-	KA_7
主轴	-	+	-	-	+	-	KA_8
主轴箱	-	+	-	-	-	+	KA_9

② 由行程开关 $\text{SQ}_6 \sim \text{SQ}_{10} [46 \sim 50]$ 通过中间继电器 $\text{KA}_{12} \sim \text{KA}_{16} [46 \sim 50]$ 提供工作台、上滑座、下滑座、主轴、主轴箱松开信号。

③ 由各运动分配信号和各运动部件松开信号。控制 $\text{KT}_6、\text{KT}_7$ ，再由 $\text{KT}_6、\text{KT}_7$ 控制 $\text{KM}_{10}、\text{KM}_{11}$ ，进而控制电动机 $M_4、M_5$ 来完成松开、回转、夹紧操作。

$\text{KA}_5 \sim \text{KA}_9 [41 \sim 45]$ 得电吸合，为松开电磁铁 $[44、46、48、50、52]$ 得电、夹紧电磁铁 $[45、47、49、51、53]$ 不得电提供先决条件。

通过行程开关 $\text{SQ}_6 \sim \text{SQ}_{10}$ ，使 $\text{KA}_{12} \sim \text{KA}_{16}$ 提供松开信号。如果 SQ_6 被压， $\text{SQ}_7 \sim \text{SQ}_9$ 未受压，则使 KA_{12} 得电， $\text{KA}_{13} \sim \text{KA}_{16}$ 失电，由 KA_{12} 提供松开信号。

由 $\text{KA}_5 \sim \text{KA}_6$ 提供的运动分配信号和 $\text{KA}_{12} \sim \text{KA}_{16}$ 提供的松开信号，使断电延时时间继电器 $\text{KT}_6 [53]、\text{KT}_7 [56]$ 得电吸合，并使 $\text{KM}_{10} [59]、\text{KM}_{11} [60]$ 得电吸合，使液压泵电动机 $M_4、M_5$ 启动运转。

由 KM_{10} 、 KM_{11} 的辅助动合触头和 $KA_5 \sim KA_9$ 提供的运动分配信号，使松开电磁铁得电，相应运动部件松开。

由 $KA_5 \sim KA_8$ 、 KA_9 提供的运动分配信号，使电磁离合器 $YC_1 \sim YC_4$ 得电，通过机械传动链，使相应运动部件运动。

相应部件运动后， SQ_6 复位断开， $SQ_7 \sim SQ_{10}$ 受压闭合，进而使 KT_6 、 KT_7 失电，经过一段延迟时间，使 KM_{10} 、 KM_{11} 失电，电动机 M_4 、 M_5 停转。

由于 KM_{10} 、 KM_{11} 失电，使松开电磁铁失电。

运动部件运动结束后，扳动开关 SA_1 和十字开关 SA ，使 $KA_5 \sim KA_9$ 失电释放，则 $KA_{12} \sim KA_{16}$ 得电吸合，使 KT_6 、 KT_7 得电吸合。 KM_{10} 、 KM_{11} 得电吸合， M_4 、 M_5 启动运转，夹紧电磁铁得电，压力油通过夹紧电磁铁相应部件夹紧， SQ_6 被压闭合， $SQ_7 \sim SQ_{12}$ 复位断开，使 KA_7 得电， $KA_{13} \sim KA_{16}$ 失电，进而使 KT_6 、 KT_7 失电。

这样，将各种运动分解为工作台回转、上滑座移动、下滑座移动、主轴移动、主轴箱的升降、正向机动进给、反向机动进给、快速移动等电路，如图 4.6.15~图 4.6.22 所示。

【看图实践】

(1) 开动机床前的准备工作

先将断路器 $QF_2 \sim QF_4$ 扳到接通位置，然后闭合总电源断路器 QF_1 ，电源指示灯 HL_1 亮，表明机床的电气控制电路已进入带电状态。

按下启动按钮 SB [12]，断电延时时间继电器 KT_{11} [12] 得电铁合，并通过瞬动动合触头 KT_{11} (3-217) 自锁，其另一动合触头 KT_{11} (5-7a) 闭合，为控制电路的 11#、11a#线有电

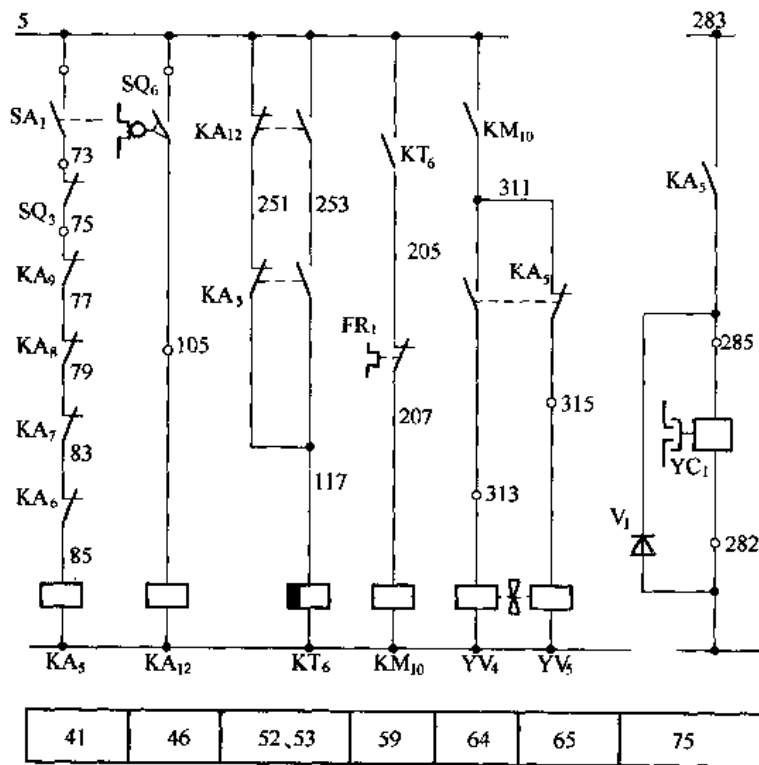


图 4.6.15 工作台回转电路

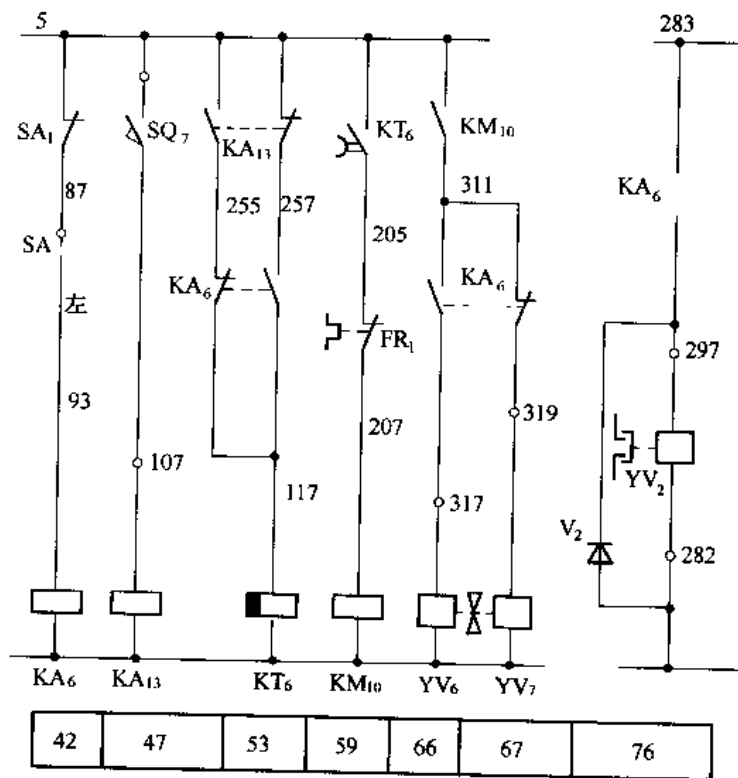


图 4.6.16 上滑座移动电路

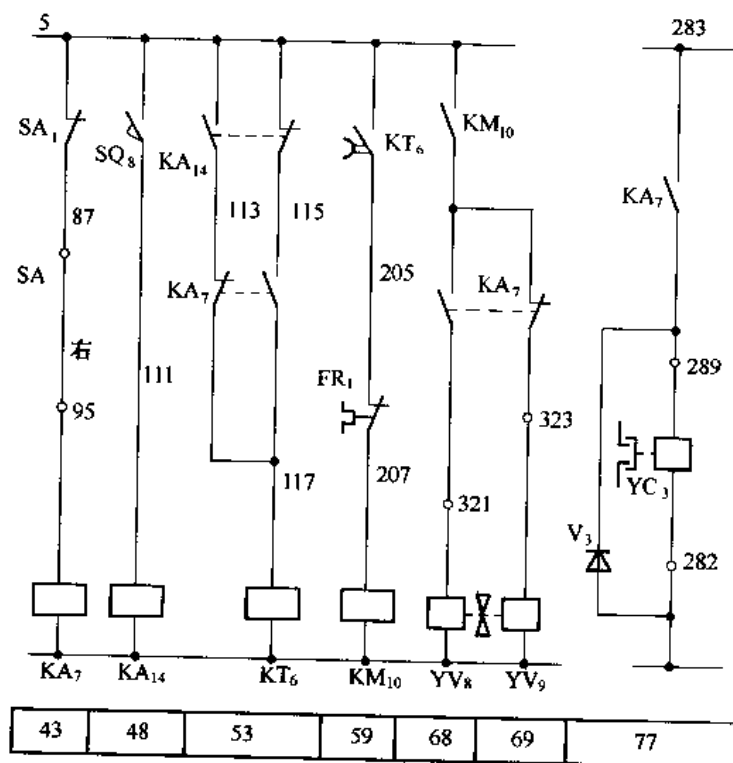


图 4.6.17 下滑座移动电路

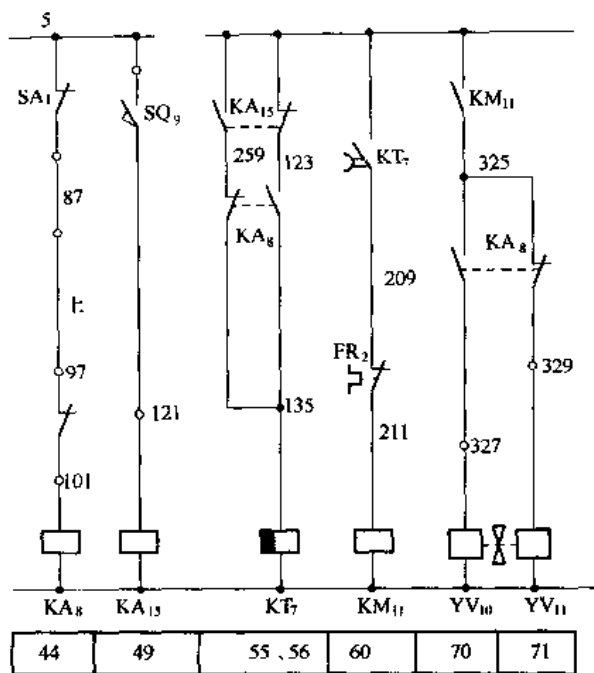


图 4.6.18 主轴移动电路

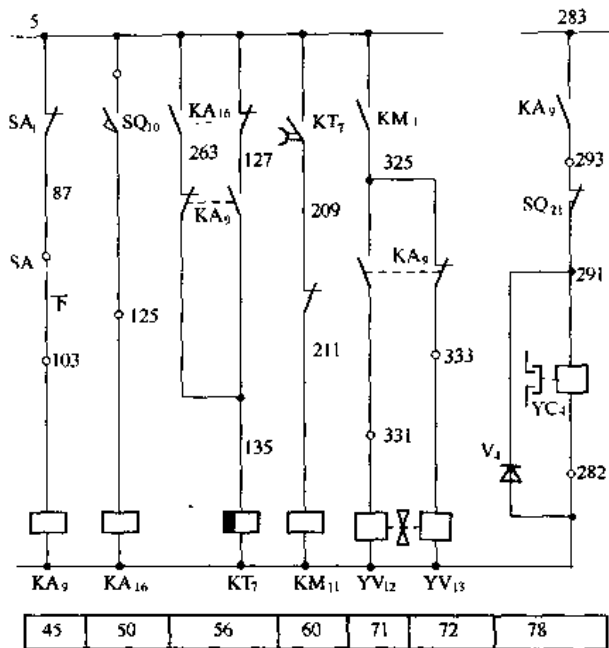


图 4.6.19 主轴箱的升降电路

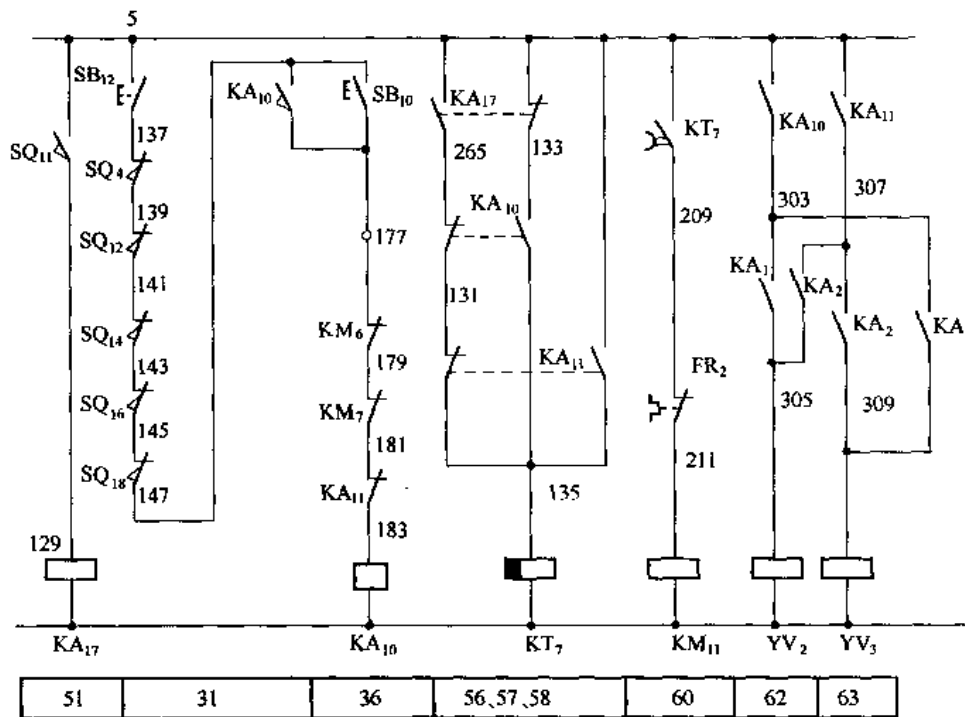


图 4.6.20 正向机动进给电路

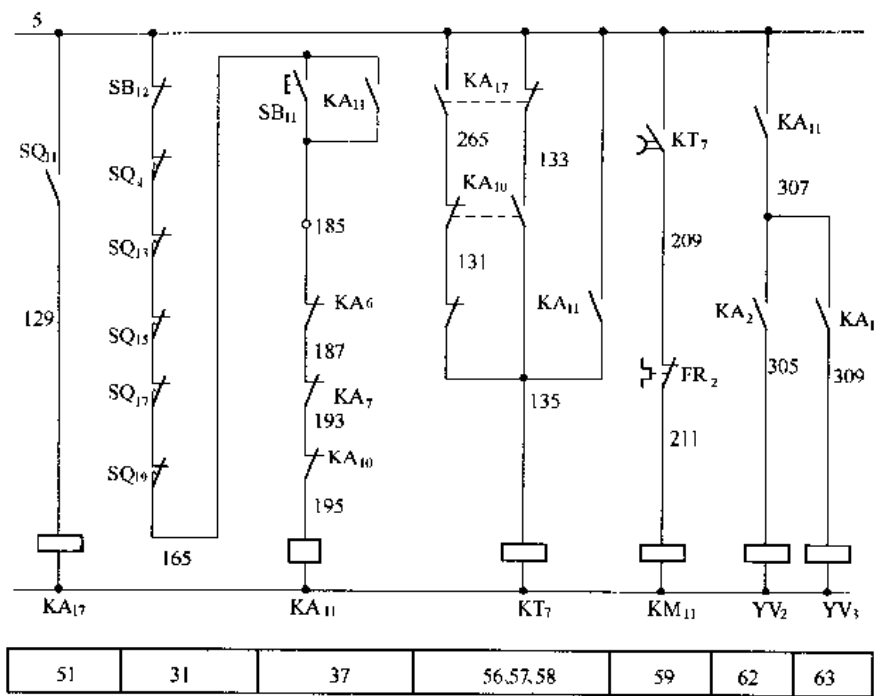


图 4.6.21 反向机动进给电路

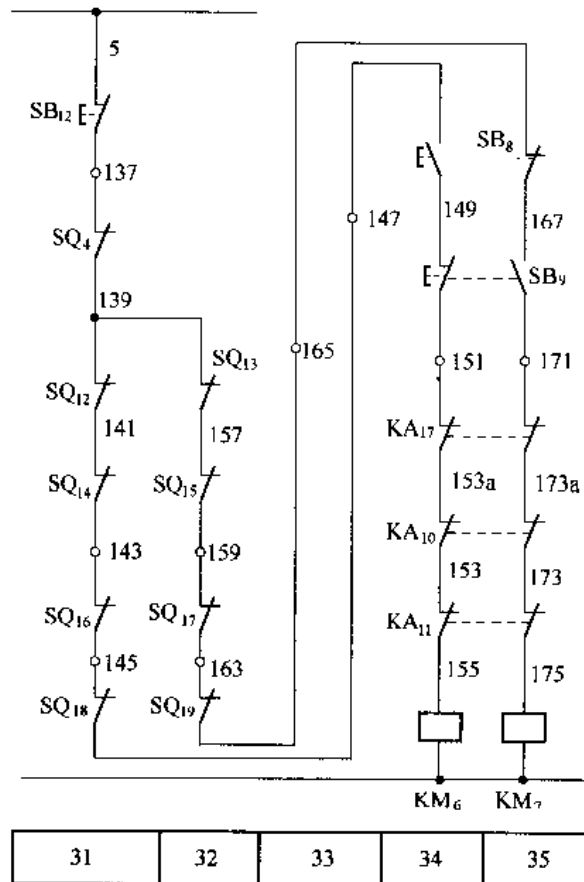


图 4.6.22 快速移动电路

作准备；其延时断开的动合触头 KT_{11} (3-221) [13] 闭合，使控制电路电源接触器 KM [13] 得电吸合，其动合触头 KM (5-3) [11] 闭合，接通控制电路电源；其瞬动的动断触头 KT_{11} (5-47) [24] 立即断开，为急停时对电动机 M_1 进行能耗制动作准备。

此时接触器 KM_3 [17] 得电吸合 (1→ QF_{10} → KM (3-5) → KT_1 (5-27) → KM_4 (27-29) → KM_3 线圈→0)，将电动机 M_1 定子绕组联接成Y形。

(2) 主电动机 M_1 的控制 (见图 4.6.11)

① 主电动机 M_1 的点动控制 (见图 4.6.12) 按下正向 (或反向) 点动按钮 SB_3 [19] (或 SB_4 [21])，接触器 KM_1 (或 KM_2) 得电吸合，其主触头 [3] (或 [4]) 闭合，接通电动机 M_1 电源， M_1 正转 (或反转)。松开正向 (或反向) 点动按钮 SB_3 (或 SB_4)，接触器 KM_1 (或 KM_2) 失电释放，其主触头断开，切断 M_1 的电源，主电动机停转。

② 主电动机 M_1 的正反向转动控制 (见图 4.6.13) 按下正向启动按钮 SB_1 [14]， KA_1 得电吸合并自锁，其动合触头 KA_1 (39-35) [19] 闭合，为 KM_1 得电作准备；其另一动合触头 KA_1 (11a-23) [16] 闭合，使通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合，其瞬动的动合触头 KT_1 (11-39) [19] 立即闭合，使 KM_1 得电吸合。 KM_1 辅助动断触头 KM_1 (43a-45) [21] 断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁； KM_1 主触头 [3] 闭合，接通主电动机 M_1 的电源。由于机床启动时主电动机 M_1 的定子绕组已经接成Y形，因此主电动机 M_1 在Y形连接下正向减压启动。

当主电动机 M_1 的转速上升接近额定转速时 (即 KT_1 延迟时间到)， KT_1 延时断开的动断触头 KT_1 (5-27) [17] 断开，使 KM_3 失电释放，其主触头断开，主电动机 M_1 的定子绕组的末端脱离速接状态； KM_3 的辅助动断触头 KM_3 (31-33) [18] 复位闭合，为 KM_4 得电作准备。与此同时， KT_1 的延时闭合的动合触头 KT_1 (5-31) [18] 闭合，使 KM_4 得电吸合。 KM_4 的辅助动断触头 KM_4 (27-29) 断开，使 KM_3 不能得电，实现互锁； KM_4 的主触头 [4] 闭合，将 M_1 的三相定子绕组接成△形的条件下正向运转。

主电动机 M_1 的反向转动控制与正向转动控制相似。只需将 KA_1 换成 KA_2 ， SB_1 换成 SB_2 ， KM_1 换成 KM_2 即可。

③ 主电动机 M_1 的速耗制动控制 (见图 4.6.11 及图 4.6.14) 主电动机 M_1 停车时，无论原来是正转还是反转，都能够进行能耗制动。停车时，按下停止按钮 SB_5 ，其动断触头 SB_5 (9-11) [13] 断开，使控制电路 11#、11a#线失电，进而使 KA_1 、 KA_2 、 KT_1 、 KM_1 、 KM_2 失电释放，主电动机 M_1 断开电源，但仍以较高的速度旋转。速度继电器 KS 的动合触头 KS (47-49) [22] 仍闭合。由于 KT_1 失电释放，其延时断开的动断触头 KT_1 (5-27) [17] 在 KT_1 失电时立即闭合，因此 KM_3 又得电吸合，其主触头闭合，将电动机 M_1 定子绕组重新接成Y形。

SB_5 的动合触头 SB_5 (5-47) [22] 闭合，使通电延时时间继电器 KT_2 得电吸合 (5→ SB_5 (5-47) → KS (47-49) → KT_3 (49-51) → KT_2 线圈→0)，并自锁，经一段时间延迟，其延时闭合的动合触头 KT_2 (5-5a) [25] 闭合，使 KM_5 得电吸合。 KM_5 主触头 [2] 闭合，220V 交流电经整流二极管 VD 整流成为约 100V 的直流电压，加到主电动机 M_1 的定子绕组上，对 M_1 进行能耗制动， M_1 转速迅速下降。

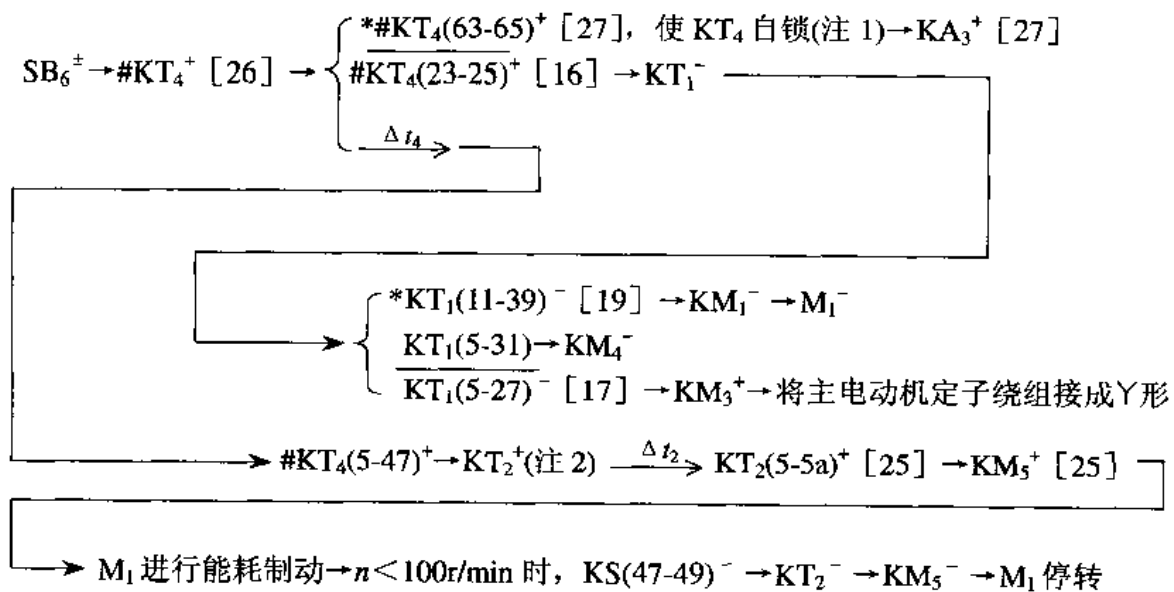
当 M_1 的转速下降到速度继电器 KS 的复合位转速时， KS 的动合触头 KS (47-49) 复位断开，使 KT_2 和 KM_5 先后失电释放。 KM_5 的主触头复位断开，切断能耗制动电路，能耗制

动结束。

④ 主轴转速与进给量的变换（见图 4.6.11） 无论主轴是在正向或反向运行，或者处于停车状态，都可以用预选盘选择转速。它采用液压油缸推动拨叉，移动联动齿轮来变速。为了在主电动机 M_1 运行时可以换接齿轮，当进行预选变速时，自动控制电路首先使主电动机反接制动停车，接着液压缸推动拨叉去拨动联动齿轮。为了防止顶齿影响齿轮啮合，要求主电动机低速脉冲运行。最后，变速完成，重新自动启动主电动机，恢复原来的运行状态。

若主轴在正向转动时需要变速，则可用预选盘预选，将主轴变速转阀或进给量转阀旋到所需位置，然后按下变速按钮 SB_6 [26]。其控制过程分为 3 个阶段。

主电动机 M_1 反接制动：



注 1：由于 KA_4 未得电，其动断触头 KA_4 (11-63) [27] 是闭合的，因此 KT_4 经其瞬时动合触头 KT_4 (63-65) 和 KA_4 的动断触头 KA_4 (11-63) 形成自锁回路（限位开关 SQ_1 是断开的）。

注 2：通过速度继电器 KS 的动合触头 KS (47-49) [22]，使通电延时继电器 KT_2 得电吸合。

开动液压系统，使主电动机周期性点动，消除因顶齿而妨碍齿轮啮合。主轴电动机 M_1 停转后，速度继电器 KS 的动合触头 KS (47-49) 断开，使 KT_2 、 KM_5 相继失电释放，速度继电器 KS 的触头 KS (47-55) [23] 闭合， KS (47-55) \rightarrow KT_3^+ [23] \rightarrow $*KT_3$ (5-301) \rightarrow YV_1^+ ，打开电磁阀，允许压力油通过。由于 KA_3 和 KT_4 同时得电，因此 KA_3 的动合触头 KA_3 (5-135) \rightarrow $\#KT_7^+$ \rightarrow $\#KT_7$ (5-209) \rightarrow KM_{11}^+ [60] \rightarrow M_5^+ \rightarrow 供应压力油 \rightarrow 液压油缸推动拨叉，带动滑移齿轮移动，按预先选好的车速进行主轮变速。

若变速后齿轮未啮合好，则机械装置使限位开关 SQ_1 的动断触头 SQ_1 (11a-65) [26] 复位闭合，从而保证 KA_4 [28] 得电后（ KA_4 的动断触头 KA_4 (11-63) [27] 断开）， KT_4 和 KA_3 仍然得电。

经过延时， KT_3 延时闭合的动合触头 KT_3 (11-67) [28] 闭合，使 KA_4 得电吸合。 KA_4 动断触头 KA_4 (11-63) [27] 断开、动合触头 KA_4 (47-57) [23] 和 KA_4 (11-71) [29] 闭合。

KA₄ (47-57) 的闭合, 保证主电动机转动时 (KS 的动断触头 KS (47-55) [23] 断开), KT₃ 仍得电吸合; KA₄ (11-71) [29] 闭合, 使脉动型晶体管时间继电器 KT₅ [29] 得电吸合。KT₅ 的瞬动动合触头 KT₅ (11-39) [20] 断续闭合与断开, 使 KM₁ 或 KM₂ 断续得电吸合, 其主触头断续接通主轴电动机的电源, 使主轴电动机在 Y 形连接下断续得电而瞬间转动, 使变速齿轮顺利啮合。

当齿轮已处于良好的啮合状态时, 限位开关 SQ₁ 受压, 其动断触头 SQ₁ (11a-65) [26] 断开, 使 KT₄ 和 KA₃ 失电释放, 进而使 KT₃ 失电释放。KA₃ 的动合触头 KA₃ (5-135) [58] 复位断开, 使 KT₇ 失电释放, 经过一段延时时间, KT₄ 和 KT₇ 的延时断开的动合触头 KT₄ (5-47) [23] 和 KT₇ (5-209) [60] 和瞬动的动合触头 KT₃ (5-301) [61] 立即复位断开, 使 KA₄ [28]、YV₁ [61] 失电释放。KA₄ 的动合触头 KA₄ (11-71) [29] 复位断开, KT₅ 失电释放, 使 KM₁ 或 KM₂ 失电释放, 主电动机失电停转。

由于 KM₁₁ 失电释放, 主轴箱液压泵电动机 M₅ 失电停转。电磁铁失电恢复原状, 变速结束。

重新启动主电动机, 如果变速前主电动机在转动, 中间继电器 KA₁ 或 KA₂ 已经得电吸合, 变速后因时间继电器 KT₄ 失电, 其延时闭合的动断触头 KT₄ (23-25) [16] 闭合, 时间继电器 KT₁ 得电吸合, KT₁ 的瞬动的动合触头 KT₁ (11-39) [19] 闭合, 接触器 KM₁ 或 KM₂ 得电吸合。变速时由于接触器 KM₃ 已经得电将主电动机接成 Y 形, 因此主电动机仍按原来转向以 Y- Δ 启动。经过一段延时, KT₁ 的延时断开的动断触头 KT₁ (5-27) [17] 断开, 延时闭合的动合触头 KT₁ (5-31) [18] 闭合, 使 KM₄ 得电, KM₃ 失电, 主电动机恢复变速前的运行状态。

如果变速前主电动机已经停车, 则变速后主电动机仍将处于停转状态。

变速结束时, 时间继电器 KT₃、KT₅ 和中间继电器 KA₄ 延时失电, 目的是为了保证三联齿轮通过中间啮合位置而不使变速中断。

(3) 各种进给运动的选择

各种运动可通过转换开关 SA₁ [41、44] 和十字开关 SA [42~45] 进行选择。

① 工作台回转运动的控制 (见图 4.6.15) 工作台回转运动必须在工作台松开后方能进行, 因为工作台原来处于夹紧状态, 松开后才能回转。回转结束后, 必须将工作台夹紧, 才能进行机械加工。因此, 工作台回转运动控制电路包括工作台松开、回转和再夹紧 3 部分。

由于工作台原来处于夹紧状态, 因此行程开关 SQ₆ 受压, 其动合触头 SQ₆ (5-105) [46] 闭合, 使 KA₁₂ [46] 得电吸合, 其动断触头 KA₁₂ (5-251) [52] 断开, 其动合触头 KA₁₂ (5-253) [52] 闭合, 为 KT₆ 得电提供先决条件。

要求工作台松开时, 将钮子开关 SA₁ 接到“工作台松开”位置, 则触头 SA₁ (5-73) 闭合, 使中间继电器 KA₅ 得电吸合, 其动断触头 KA₅ (7-9) [12] 断开 (见图 4.6.11), 切断由 11#、11a# 线给控制电路提供的电源; 其另一动断触头 KA₅ (311-315) [65] 断开, 使工作台夹紧电磁铁 YV₅ 不能得电, 其动合触头 KA₅ (311-313) [64] 闭合, 为 YV₄ 得电提供先决条件; 其动合触头 KA₅ (253-117) [52] 闭合, 使断电延时时间继电器 KT₆ 得电吸合, 其延时断开的动合触头 KT₆ (5-205) [59] 立即闭合, 使 KM₁₀ 得电吸合, KM₁₀ 的主触头 [5] 闭合, 使工作台上、下滑座油泵电动机 M₄ 得电启动运转, 接供压力油。

与此同时, KM₁₀ 的辅助动合触头 KM₁₀ (5-311) [64] 闭合, 使电磁阀 YV₄ [64] 得电

动作，打开工作台松开装置的进油电磁阀门，液压装置使工作台松开。

在 KA_5 得电吸合时，其动合触头 KA_5 (283-285) [75] 闭合，使电磁离合器 YC_1 得电动作，接通工作台回转传动链，使工作台按预选的方式进行回转运动。

工作台夹紧装置松开，作回转运动时，限位开关 SQ_6 恢复原状态，其动合触头 SQ_6 (5-105) [46] 复位断开，使 KA_{12} 、 KT_6 先后失电释放。经过一段延时， KM_{10} 失电释放，则电动机 M_4 和电磁阀 YV_4 失电，而 YC_1 仍得电吸合，工作台回转。

工作台回转指定位置，必须将工作台夹紧后才能操纵机床对工件进行加工。工作台夹紧的控制过程如下：

将 SA_1 扳到工作台夹紧位置， SA_1 (5-73) 断开，使中间继电器 KA_5 失电释放，其动断触点 KA_5 (251-117) [52] 复位闭合，而动合触头 KA_5 (253-117) [53] 复位断开。由于限位开关 SQ_6 的动合触头 SQ_6 (5-105) 已复位断开，使 KA_{12} 失电释放，其动断触头 KA_{12} (5-251) [52] 复位闭合，这样，使时间继电器 KT_6 得电吸合，进而使接触器 KM_{10} 、电磁铁 YV_5 先后得电吸合，工作台夹紧装置夹紧。由于 KA_5 失电，其动合触头 KA_5 (283-285) [75] 断开，电磁离合器 YC_1 线圈失电，工作台回转传动链被断开。由于 KM_{10} 得电，电动机 M_4 得电旋转，又由于 YV_5 得电，因此压力油经 YV_5 进入工作台夹紧装置，将工作台夹紧。

工作台夹紧后， SQ_6 被压动作，其动合触头 SQ_6 (5-105) [46] 闭合，使 KA_{12} 得电吸合，进而使 KT_6 、 KM_{10} 、 M_4 、 YV_4 失电。

② 上滑座移动控制（见图 4.6.16） 上滑座在机床对工件进行加工时处于夹紧状态，松开后可进行移动，移动到指定位置后需将其夹紧。因此，上滑座移动控制包括上滑座松开、移动和再夹紧 3 部分。

上滑座松开前，限位开关 SQ_7 [47] 处于正常状态，其动合触头 SQ_7 (5-107) [47] 是断开的，使 KA_{13} 不能得电。

将十字开关 SA 的手柄向左扳动，其动合触头 SA (87-93) [42] 闭合，使 KA_6 得电吸合，其动合触头 KA_6 (311-317) [66] 闭合，为 YV_6 得电提供先决条件；其动合触头 KA_6 (257-117) [53] 闭合，使 KT_6 得电吸合，其延时断开的动合触头 KT_6 (5-205) [59] 立即闭合，使 KM_{10} 得电吸合，其主触头 [5] 闭合，电动机 M_4 得电运转；其辅助动合触头 KM_{10} (5-311) 闭合，使电磁 YV_6 得电。打开上滑座松开装置的进油阀门，上下滑座油泵电动机 M_4 得电转动，供应压力油，使上滑座松开。

在中间继电器 KA_6 得电时，其动合触点 KA_6 (283-287) [76] 闭合，电磁离合器 YC_2 [76] 得电动作，接通上滑座移动传动链，使上滑座移动。

上滑座夹紧装置松开后，上滑座开始移动，压动行程开关 SQ_7 ，其动合触点 SQ_7 (5-107) [47] 闭合，使 KA_{13} [47] 得电吸合，其动断触头 KA_{13} (5-257) [53] 断开，使断电延时时间继电器 KT_6 失电释放。经过一段延时， KT_6 (5-205) [59] 断开，使 KM_{10} 和 YA_6 相继失电释放，上下滑座油泵电动机停转。

上滑座移动结束时，扳动十字开关 SA ，使 SA (87-93) 断开， KA_6 失电释放，其动合触点 KA_6 (283-287) [76] 断开，电磁离合器 YC_2 失电，上滑座移动传动链断开。同时， KA_6 的动断触点 KA_6 (255-117) [53] 和 KA_6 (311-319) [67] 复位闭合，由于限位开关的动合触点 SQ_7 (5-107) 已闭合，使 KA_{13} 得电吸合，因此使时间继电器 KT_6 、接触器 KM_{10} 和电磁铁 YV_7 得电动作。电动机 M_4 转动，压力油经 YV_7 进入上滑座夹紧装置，将上滑座夹紧。

上滑座夹紧时,推动限位开关 SQ_7 ,其动合触点 SQ_7 (5-107) 断开,使 KA_{13} 、 KT_6 、 KM_{10} 和 YV_7 先后失电释放, M_4 停止转动。

③ 下滑座移动控制(见图 4.5.17) 控制电路及其控制原理均和上滑座移动控制相似,只需将十字开关手柄向右扳动,限位开关 SQ_7 换成 SQ_8 ,电磁铁 YV_6 换成 YV_8 , YV_7 换成 YV_9 ,电磁离合器 YC_2 换为 YC_3 。

④ 主轴移动控制(见图 4.6.18) 主轴移动前必须使主轴液压离合器结合,主轴移动到指定位置后,又必须将主轴液压离合器脱离开,因此主轴移动控制包括主轴液压离合器结合、主轴移动和主轴液压离合器脱开 3 部分。

主轴移动前,限位开关 SQ_9 处于正常状态,其动合触点 SQ_9 (5-121) [49] 断开。

将十字开关的手柄向上扳动,其动合触点 SA (87-97) [44] 接通,中间继电器 KA_8 [44] 得电吸合,其动合触点 KA_8 (123-135) [55] 和 KA_8 (325-327) [70] 闭合,使断电延时时间继电器 KT_7 [56]、接触器 KM_{11} 和电磁铁 YV_{10} 相继得电动作。主轴箱油泵电动机 M_5 得电转动,使主轴液压离合器结合。主轴按原来确定的方式进行移动。

这时,行程开关 SQ_9 被压下,其动合触点 SQ_9 (5-121) [49] 闭合,使 KA_{15} 得电吸合,时间继电器 KT_7 、 KM_{11} 和 YV_{10} 先后失电释放, M_5 停转。

要使主轴液压离合器脱开,则扳动十字开关 SA 回到原位, SA 的触点 SA (87-97) 断开,中间继电器 KA_8 失电释放。 KA_8 的动断触点 KA_8 (259-135) 和 KA_8 (325-329) 复位闭合,使时间继电器 KT_7 、交流接触器 KM_{11} 和电磁铁 YV_{11} 先后得电动作。主轴箱油泵电动机 M_5 得电转动,使主轴液压离合器脱开。这时,限位开关 SQ_9 复位,其动合触点 SQ_9 (5-121) 复位断开,使 KA_{15} 、 KT_7 、 KM_{11} 和 YV_{11} 失电释放,电动机 M_5 停转,指示灯 HL_5 灭。

⑤ 主轴箱的升降控制(见图 4.6.19) 将 SA 向下扳动, SA (87-103) [45] 接通,中间继电器 KA_9 [45] 得电吸合,其动合触点 KA_9 (127-135) [56] 和 KA_9 (283-293) [78] 闭合。 KA_9 (283-293) [78] 闭合,使电磁离合器 YC_4 得电动作 [78],主轴箱升降,传动链接通。由于限位开关 SQ_{10} 在正常位置,其动合触头 SQ_{10} (5-125) [50] 断开, KA_{16} 未得电,其动断触头 KA_{16} (5-127) [56] 闭合,因此,时间继电器 KT_7 、接触器 KM_{11} 、电磁铁 YV_{12} 先后得电动作,主轴箱油泵电动机 M_5 转动,主轴箱夹紧装置松开。同时,主轴箱升降传动链接通,主轴箱按预定方式上升或下降。

这时,限位开关 SQ_{10} 被压下,其动合触头 SQ_{10} (5-125) [50] 闭合,使 KA_{16} [50] 得电吸合,其动断触头 KA_{16} (5-127) [56] 断开,使 KT_7 、 KM_{11} 和 YV_{12} 失电释放,电动机 M_5 停转。

要使主轴箱夹紧,将开关 SA 扳到中间位置, SA (87-103) 断开,中间继电器 KA_9 失电,其动合触头 KA_9 (283-293) [78] 断开,电磁离合器 YC_4 失电,断开主轴箱升降传动链,主轴箱停止升降。同时,中间继电器 KA_9 动断触头 KA_9 (325-333) 和 KA_9 (263-135) 复位闭合, KT_7 、 KM_{11} 和 YV_{13} 得电动作, M_5 得电转动,使主轴箱夹紧。这时,限位开关 SQ_{10} 又恢复原位。

(4) 机动进给控制

该机床的机动进给控制包括正向机动进给、反向机动进给和进给停止 3 部分。

① 正向机动进给控制(见图 4.6.20) 在主轴电动机 M_1 正常转动并选择了上述 5 种运动中的某项运动后,按下启动按钮 SB_{10} [36],使 KA_{10} [36] 得电吸合并自锁,其动合触头

KA₁₀ (133-135) [57] 闭合, 使断电延时时间继电器 KT₇ 得电吸合, 其延时断开的动合触头 KT₇ (5-209) [60] 立即闭合, 使 KM₁₁ 得电吸合。KM₁₁ 的主触头闭合, 使主轴箱油泵电动机 M₅ 启动运转, 提供压力油。KA₁₀ 的另一动合触头 KA₁₀ (5-303) [62] 闭合, 为电磁阀 YV₂、YV₃ 得电提供先决条件。

若主轴电动机 M₁ 在正向转动, 中间继电器 KA₁ 的动合触头 KA₁ (303-305) [62] 闭合, 电磁铁 YV₂ [62] 得电动作, 打开换向离合器向上移动进油阀门, 使换向离合器向上移动, 将光杆接通, 仍进行正向进给。

机动进给挂车后, 限位开关 SQ₁₁ 被压动, 其动合触头 SQ₁₁ (5-129) 闭合, 使 KA₁₇ 得电吸合, 其动断触头 KA₁₇ (5-133) 断开, 进而使时间继电器 KT₇、接触器 KM₁₁ 先后失电释放, 电动机 M₅ 停转。

② 反向机动进给控制 (见图 4.6.21) 控制电路及其控制原理均与正向机动进给相似, 只是将 SB₁₀ 换成 SB₁₁, KA₁₀ 换成 KA₁₁, SQ₁₂ 换成 SQ₁₃, SQ₁₄ 换成 SQ₁₅, SQ₁₆ 换成 SQ₁₇, SQ₁₈ 换成 SQ₁₉。

③ 机动进给停止控制 (见图 4.6.20 及图 4.6.21) 按下机动进给停止按钮 SB₁₂, 中间继电器 KA₁₀ 或 KA₁₁ 失电释放。KA₁₀ 或 KA₁₁ 的动合触头 KA₁₀ (5-303) [62] 或 KA₁₁ (5-307) [63] 断开, 电磁铁 YV₂ 或 YV₃ 失电。同时, 动断触头 KA₁₀ (265-131) [57]、KA₁₁ (131-135) [57] 闭合, 由于机动进给挂车时限位开关 SQ₁₁ 已被压动, 动合触头 SQ₁₁ (5-129) [51] 已经闭合, 使 KA₁₇ 得电吸合, 其动合触头 KA₁₇ (5-265) [57] 闭合, 因此时间继电器 KT₇、接触器 KM₁₁ 相继得电吸合, 电动机 M₅ 得电转动, 经液压传动装置使换向离合器回到中间位置, 将光杠脱开, 进给停止。这时限位开关 SQ₁₁ 恢复原来状态, 使 KT₇、KM₁₁ 失电释放, M₅ 停转。

(5) 快速移动控制 (见图 4.6.22)

按下正向快速移动启动按钮 SB₈, 接触器 KM₆ 得电吸合, 快速移动电动机 M₂ 得电, 正向转动, 带动相应机构进行正向快速移动。松开正向快移启动按钮 SB₈, KM₆ 失电释放, M₂ 停转, 正向快速移动停止。

按下反向快速移动启动按钮 SB₉, 接触器 KM₇ 得电吸合, 快速移动电动机 M₂ 反向转动, 带动相应机构进行反向快速移动。松开 SB₉, KM₇ 失电释放, M₂ 停转, 反向快速移动停止。

在机动进给和快速移动控制电路中, 串进 8 个限位开关 SQ₁₂~SQ₁₉, SQ₁₂ 和 SQ₁₃ 是主轴伸缩终点限位开关; SQ₁₄ 和 SQ₁₅ 是主轴箱升降极限限位开关; SQ₁₆ 和 SQ₁₇ 是上滑座移动极限限位开关; SQ₁₈ 和 SQ₁₉ 是下滑座移动极限限位开关。当某一移动部件到达极限位置时, 相应的限位开关动作, 切断快速移动控制电路或使换向离合器脱开, 使机动进给和快速移动停止。

极限位置保护限位开关动作后, 可以按下相反方向的快速移动或机动进给按钮, 使动作的开关复位。

(6) 后立柱滑座或刀杆支架的快速移动 (见图 4.6.10 的图区 38~40)

按下快速移动启动按钮 SB₁₃, 接触器 KM₈ 得电吸合, 后立柱快速移动电动机 M₃ 得电正向转动, 带动后立柱滑座或刀杆支架进行正向快速移动。

按下反向快速移动启动按钮 SB₁₄, 接触器 KM₉ 得电吸合, M₃ 得电反向转动, 带动后立柱滑座或刀杆支架进行反向快速移动。

松开启动按钮，接触器失电释放， M_3 停转，快速移动停止。

(7) 限位及保护环节 (见图 4.6.10)

① 急停控制 由断电延时时间继电器组成急停控制电路。急停时，按下按钮 SB_7 [12]， KT_{11} [12] 失电释放，经一段时间延时，其延时断开的动合触头 KT_{11} (3-221) [13] 复位断开，使 KM 失电释放，其动合触头 KM (3-5) [11] 复位断开，切断部分控制电路电源，使 KA_1 、 KA_2 、 KT_1 、 KM_1 、 KM_2 、 KM_4 失电释放，使 M_1 进入能耗制动工作状态，最后使 M_1 停转。

② 电气柜门连锁 机床工作时，不允许打开电气开关柜。打开柜门时，行程开关 SQ_{20} [30] 被压合， QF_1 分立脱扣线圈得电， QF_1 断开，机床失电。

③ 主轴保护 当工作台处于“松开”状态时， KA_5 的动断触头 KA_5 (7-9) [12] 断开，切断主轴控制电路，主轴不能旋转。

④ 机动进给和快速移动的互锁 机动进给时，中间继电器 KA_{10} 或 KA_{11} 的动断触头断开，切断快速移动控制电路。快速移动时，接触器 KM_6 或 KM_7 的动断触头断开，切断机动进给控制电路。

⑤ 主轴的微动与手动 将主轴箱前的大手轮扳到“微动”位置，行程开关 SQ_4 被压动作，其动断触头 SQ_4 (137-139) [31] 断开，切断快速移动和机动进给电路。大手轮扳到“手大动”位置， SQ_3 被压动作，其动合触头 SQ_3 (73-75) [41] 断开，使十字开关分配主轴无效，主轴只能手动移动。

⑥ 各运动选择的互锁 当工作台处于松开位置时， SA_1 的动断触头 SA_1 (5-87) [44] 断开，使十字开关 SA [42~45] 控制的各运动控制电路断开，十字开关的分配无效。当十字开关 SA 控制某项运动， $KA_6 \sim KA_9$ 的动断触头 [41] 总有一个断开，切断 KA_5 [41] 控制电路，使 SA_1 分配无效，从而防止两个运动同时进行。

⑦ 防止电源短路的互锁 在主轴正反转、正反向快速进给、正反向机动进给、工作台松开夹紧、主轴箱松开夹紧、上下滑座松开夹紧的控制电路中，分别串进了相反方向控制电路所用电器元件的动断触头，以保证两个方向不能同时得电，防止发生电源短路事故。

第七节 齿轮加工机床电气控制电路

用来加工齿轮表面的齿轮加工机床是机械制造业中的一种重要设备。

一、Y3150 型齿轮机床电气控制电路

电路如图 4.7.1 所示。

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及控制

该机床主电路中有两台电动机。其中 M_1 是主轴电动机，由接触器 KM_1 、 KM_2 控制其正、反转，通过机械传动装置供给刀具旋转、刀架进给及工件转动的动力； M_2 为冷却泵电动机，由接触器 KM_3 控制其单向运行，为切削工件时输送冷却液。

FU_1 作 M_1 和 M_2 短路保护，热继电器 FR_1 、 FR_2 分别作 M_1 、 M_2 的长期过载保护。

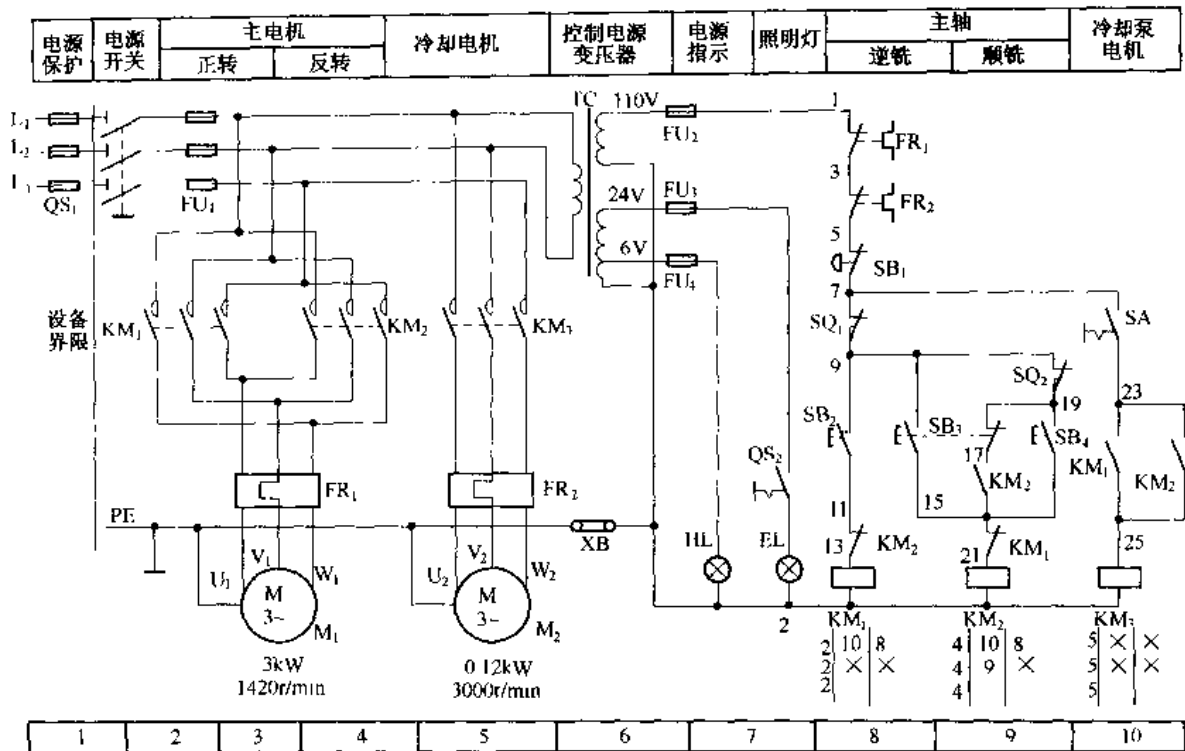


图 4.7.1 Y3150 型齿轮机床电气控制电路

(2) 根据电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路分解

① 根据电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 KM_1 ，在图区 8 中可找到 KM_1 线圈电路，该电路为点动控制电路， SB_2 为点动按钮。根据电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 KM_2 ，在图区 9 中找到 KM_2 线圈电路，为点动与连续运行控制电路， SB_3 为点动按钮，按下 SB_3 ，其动合触头 SB_3 (9-15) 闭合，使 KM_2 得电吸合，但 SB_3 的动断触头 SB_3 (19-17) 断开，切断 KM_2 自锁支路；松开 SB_3 ， KM_1 失电释放。 SB_4 为启动按钮。

在 KM_1 和 KM_2 线圈电路中有行程开关 SQ_1 。 SQ_1 为滚刀架工作行程的极限开关，当刀架超出工作行程时，撞铁撞到 SQ_1 ，其动断触头 SQ_1 (7-9) [8] 断开，切断 KM_1 、 KM_2 控制电路电源，使机床停车。这时若再开车，则必须先用机械手柄把滚刀架摇到使挡铁离开行程开关 SQ_1 ，让 SQ_1 (7-9) 复位闭合，然后机床才能工作。

在 KM_2 线圈电路中还有行程开关 SQ_2 。 SQ_2 为终点极限开关，当工件加工完毕时，装在机床刀架滑块上的挡铁撞到 SQ_2 ，其动断触头 SQ_2 (9-19) [9] 断开，使 KM_2 失电释放，电动机 M_1 自动停车。

② 根据电动机 M_2 主电路控制电器主触头文字符号 KM_3 ，在图区 10 中找到 KM_3 的线圈电路，该电路由接触器 KM_1 、 KM_2 及转换开关 SA 控制。

【看图实践】

(1) 主轴电动机 M_1 的控制

按下启动按钮 SB_4 ， KM_2 得电吸合并自锁，其主触头闭合，电动机 M_1 启动运转，按下停止按钮 SB_1 ， KM_2 失电释放， M_1 停转。

按下点动按钮 SB_2 ， KM_1 得电吸合，电动机 M_1 反转，使刀架快速向下移动；松开 SB_2 ，

KM₁ 失电释放，M₁ 停转。

按下点动按钮 SB₃，其动合触头 SB₃ (9-15) [8] 闭合，使 KM₂ 得电吸合，其主触头闭合，电动机 M₁ 正转，使刀架快速向上移动，SB₃ 的动断触头 SB₃ (19-17) [9] 断开，切断 KM₂ 的自锁回路；松开 SB₃，KM₂ 失电释放，电动机 M₁ 失电停转。

(2) 冷却泵电动机 M₂ 的控制

冷却泵电动机 M₂ 只有主轴电动机 M₁ 启动后，闭合转换开关 SA，使 KM₃ 得电吸合，其主触头闭合，电动机 M₂ 启动，供给冷却液。

二、Y3180 型滚齿机电气控制电路

电路如图 4.7.2 所示。

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制

由图区 1~9 所示主电路可以看出，Y3180 型滚齿机有 5 台电动机，M₂ 为主轴电动机，带动装在滚刀主轴上的滚刀作旋转运动，通过接触器 KM₂、KM₃ 实现正、反转控制；M₄ 为刀架快速移动电动机，主要用于调整机床以及加工时刀具快速接近工件和快速退出，通过接触器 KM₄、KM₅ 实现正、反转控制；M₅ 为工作台快速进给电动机，通过接触器 KM₆、KM₇ 实现正、反转控制；M₁ 为液压泵电动机，由接触器 KM₁ 控制；M₃ 为冷却泵电动机，由接触器 KM₈ 控制。

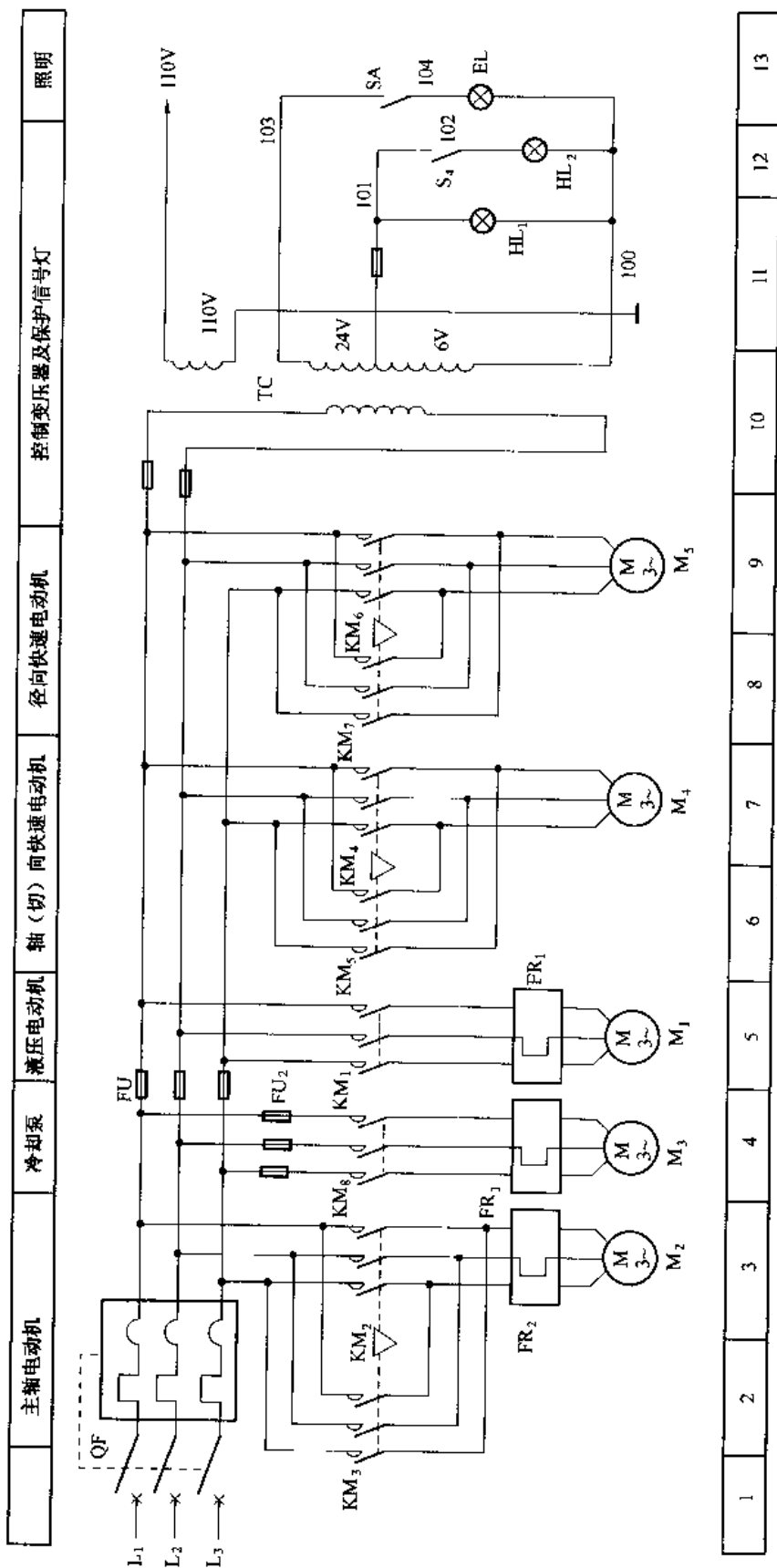
断路器 QF 为总电源开关，兼作主轴电动机 M₂ 的短路保护；熔断器 FU₁ 作 M₁、M₄ 和 M₅ 的短路保护；熔断器 FU₂ 作 M₃ 的短路保护。热继电器 FR₁、FR₂ 和 FR₃ 分别作为 M₁、M₂ 和 M₃ 的过载保护；电动机 M₄ 和 M₅ 为点动操作，短时工作，不设过载保护。

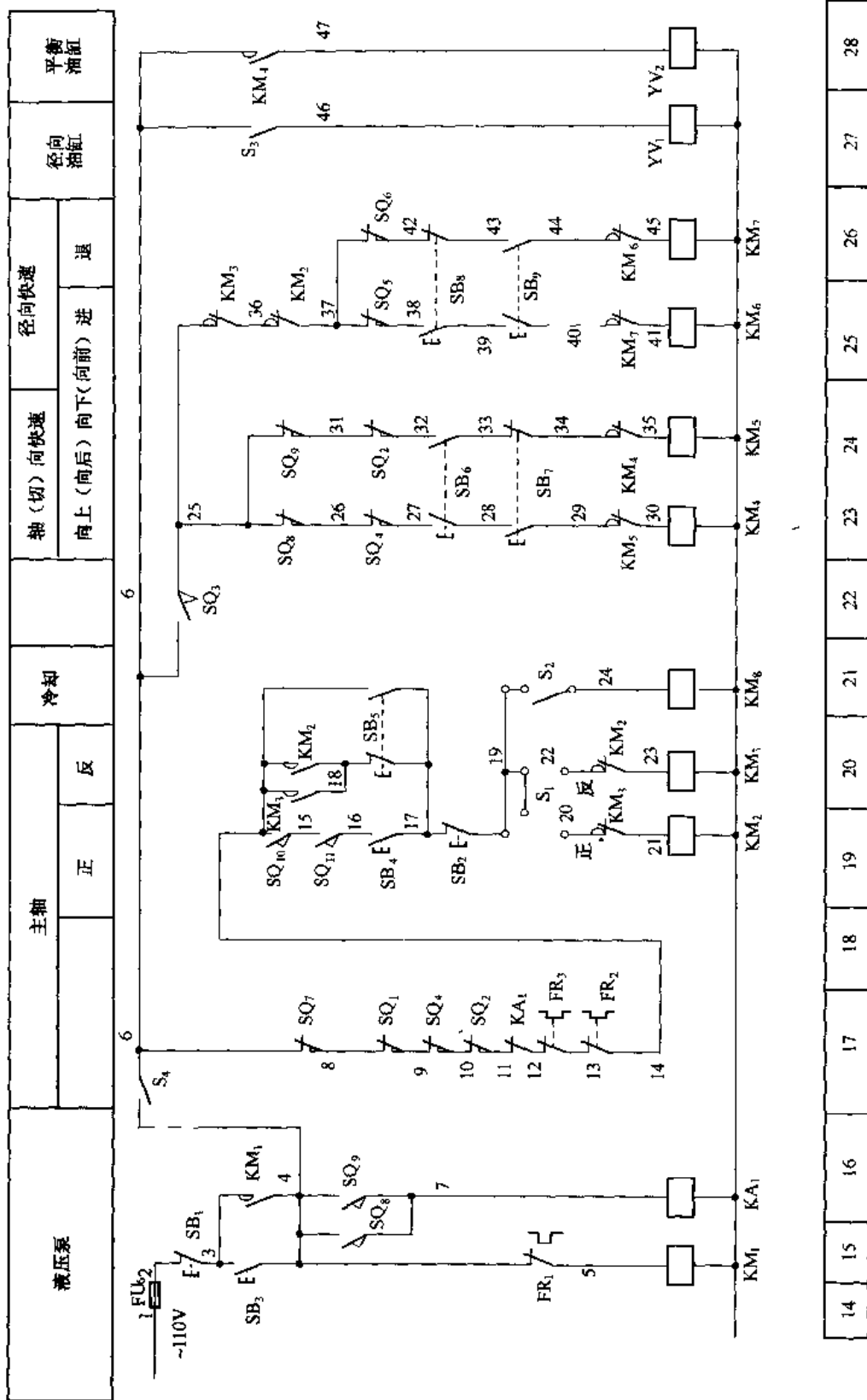
(2) 行程开关和转换开关配置情况及其作用

行程开关和转换开关配置情况及其作用见表 4.7.1。

表 4.7.1 行程开关和转换开关配置情况及其作用

符 号	名 称	所 在 图 区	用 途
SQ ₁	行程开关	17	轴向行程开关
SQ ₂	复合行程开关	17、24	轴向向上极限开关
SQ ₃	行程开关	22	进给与快速互锁开关
SQ ₄	复合行程开关	17、23	轴向向下极限开关
SQ ₅	行程开关	25	径向向前极限开关
SQ ₆	行程开关	26	径向向后极限开关
SQ ₇	行程开关	17	切向行程开关
SQ ₈	复合行程开关	15	切向向后极限开关
SQ ₉	复合行程开关	16	切向前极限开关
SQ ₁₀	行程开关	19	左挂轮架门开关
SQ ₁₁	行程开关	19	右挂轮架门开关
YV ₁	电磁阀	27	
YV ₂	电磁阀	28	
S ₃	旋钮开关	27	工作台液压移动快速向前向后旋钮开关
S ₄	浮子继电器	12、17	保证机床可靠润滑
S ₁	转换开关	19、20	控制主轴正、反转
S ₂	转换开关	21	控制冷却泵电动机





(b)

图 4.7.2 Y3180 型滚齿机电气控制电路

为保证机床可靠润滑，在滚齿机立柱顶上的油池中设有浮子继电器 S_4 ，液压电动机运转片刻后，若液压系统已建立了液压，则其动合触头 S_4 (101-102) [12] 闭合，润滑指示灯 HL_2 亮，表明润滑正常，其另一动合触头 S_4 (4-6) [17] 闭合，接通控制电路电源，此时才能启动机床。电磁阀 YV_1 、 YV_2 分别控制径向油缸、平衡油缸高压油的通断。

(3) 根据各电动机主电路控制电器主触头文字符号将控制电路进行分解

① 根据油压泵电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 KM_1 ，在图区 15 中找到 KM_1 线圈电路，这是按钮控制的电动机启、停控制电路。

液压泵电动机 M_1 启动后，液压系统中的浮子继电器得电吸合，其动合触头 S_4 (4-6) [17] 闭合。

② 根据电动机 M_2 主电路控制电器主触头文字符号 KM_2 、 KM_3 ，在图区 17~20 中找到 KM_2 、 KM_3 的线圈电路；根据 KM_2 、 KM_3 线圈电路中的动断触头 KA_1 (11-12) [17]，在图区 16 中找到 KA_1 线圈电路，这样可得到如图 4.7.3 所示的电动机 M_1 的控制电路。在图中有行程开关 SQ_1 、 SQ_2 、 SQ_4 、 SQ_7 、 SQ_9 、 SQ_{10} 及 SQ_{11} ，其作用如表 4.7.1 所示；转换开关 S_1 控制 KM_2 或 KM_3 ，以实现控制 M_3 的正反转； SB_4 为启动按钮， SB_2 为停止按钮；复合按钮 SB_5 为点动按钮。

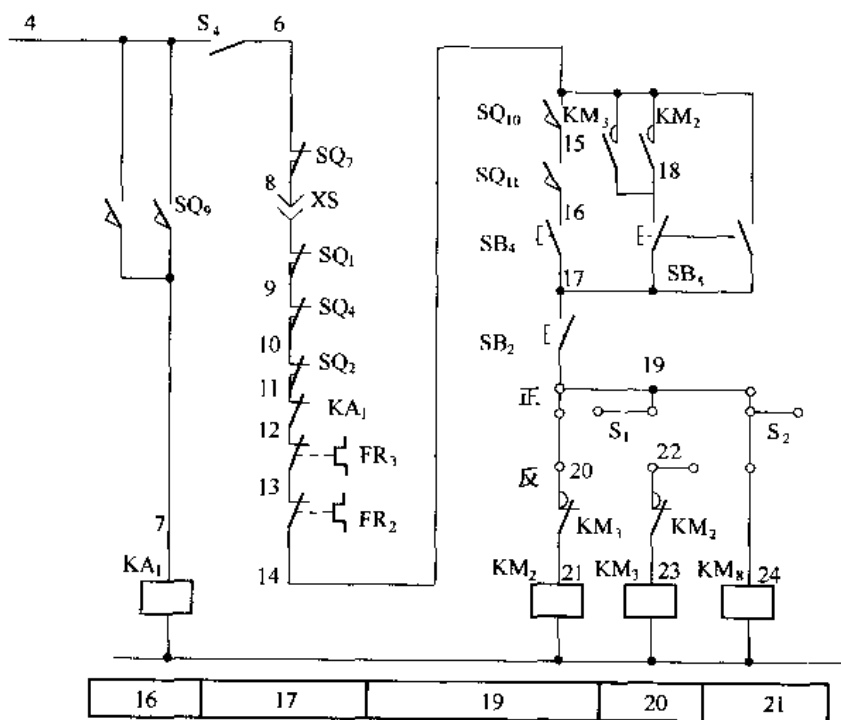


图 4.7.3 电动机 M_3 、 M_2 的控制电路

③ 根据冷却泵电动机 M_3 主电路[4]控制电器主触头文字符号 KM_8 ，在图区 21 中找到 KM_8 线圈电路。

④ 根据电动机 M_4 、 M_5 主触头文字符号 KM_4 与 KM_5 、 KM_6 与 KM_7 ，在图区 23、24、25 及 26 中找到 KM_4 与 KM_5 、 KM_6 与 KM_7 线圈电路，如图 4.7.4 所示。

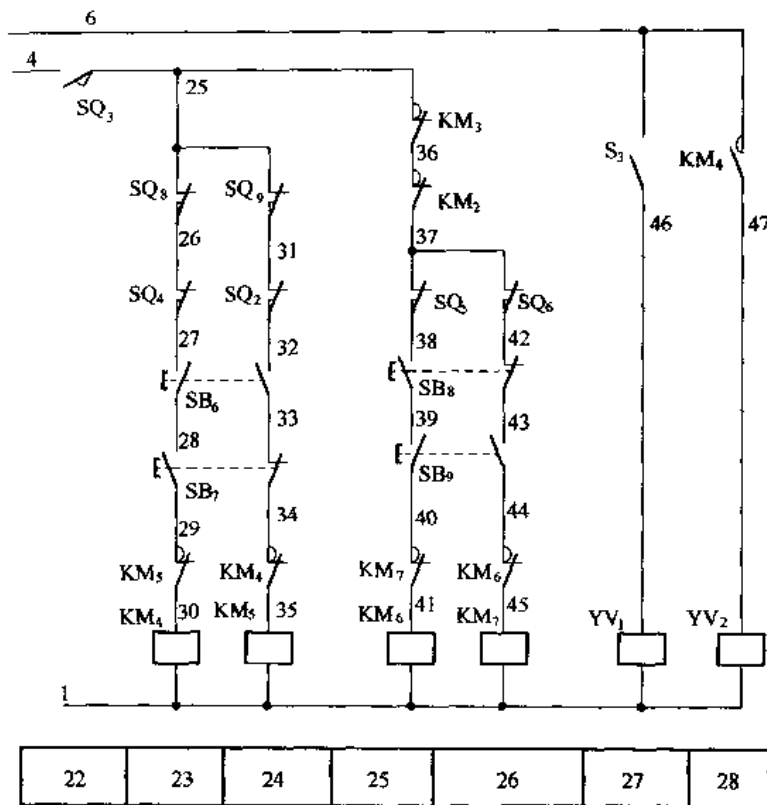


图 4.7.4 M₄、M₃的控制电路

【看图实践】

(1) 电动机的控制 (见图 4.7.2 及图 4.7.3)

将 S₁ 置于主轴正转位置 (S₁ (19-20) [19] 闭合, S₁ (19-22) [20] 断开), 将进给与快速互锁开关 SQ₃ 置于快速位置 (SQ₃ (6-25) [22] 闭合)。按下启动按钮 SB₃ [15], 接触器 KM₁ [16] 得电吸合并自锁, 其主触头 [5] 闭合, 液压泵电动机 M₁ [5] 启动运转。液压泵电动机运转片刻后, 接压系统建立了液压, 油池中的浮子继电器 S₄ 动作, 其动合触头 S₄ (101-102) [12] 闭合, 指示灯 HL₂ 亮, 表明润滑系统正常, 其另一动合触头 S₄ (4-6) [17] 闭合, 接通控制电路电源。

再按下主轴启动按钮 SB₄ [19], 若轴向未超程, 即 SQ₁、SQ₂、SQ₄ [17] 均处于原始状态 (闭合), 接轮架门已关闭, 即 SQ₁₀、SQ₁₁ [19] 被压合, 则接触器 KM₂ 得电吸合 (1 → FU₆ [14] → SB₁₁ [15] → KM₁ (3-4) [16] → S₄ (4-6) [17] → SQ₇ [17] → SQ₁ (8-9) → SQ₄ (9-10) → SQ₂ (10-11) → KA₁ (11-12) → FR₃ → FR₂ → SQ₁₀ [19] → SQ₁₁ → SB₄ → SB₂ → S₁ (19-20) → KM₃ (20-21) → KM₁ 线圈) 并自锁, 其主触头 [3] 闭合, 主轴电动机 M₂ [3] 正转运行; 其辅助动断触头 KM₂ (22-23) [20] 断开, 使 KM₃ 不能得电。

若冷却泵开关 S₂ 闭合 (S₂ (19-24) [21] 闭合), 则 KM₂ 得电吸合并自锁后, KM₈ 同时得电吸合, 其主触头 [4] 闭合, 电动机 M₃ [4] 启动运转, 冷却泵开始工作, 机床进行滚削。由于 KM₈ 的控制电源取自 KM₂ 或 KM₃ 的自锁回路之后, 因此, M₂ 和 M₃ 属于顺序控制, 只有 M₂ 启动后, M₃ 才能启动。

在滚削过程中，操纵者可以点动控制轴向快速电动机 M_4 和径向快速电动机 M_5 。

(2) 工作台的驱动 (见图 4.7.2 及图 4.7.4)

工作台有 3 种驱动方式。

① 用液压快速油缸驱动。工作台液压移动快速向前向后旋钮开关 S_3 处于“向前”位置 (S_3 (6-46) [27] 闭合)，电磁阀 YV_1 得电，工作台向前移； S_3 处于“向后”位置 (S_3 (6-46) 断开)，电磁阀 YV_1 失电，工作台向后移动。最大移动距离 50mm。

② 用快速电动机驱动。操纵按钮 SB_8 、 SB_9 ，使 KM_6 、 KM_7 得电吸合，由径向快速电动机 M_5 驱动工作台向前及向后移动。最大移动距离为 400mm。

③ 手动驱动调整。在调整工作台时，应首先使工作台向需要调整移动方向用液压油缸驱动移动 50mm，然后使用快速移动电动机 M_5 驱动，最后才用手动调整到所需加工位置。

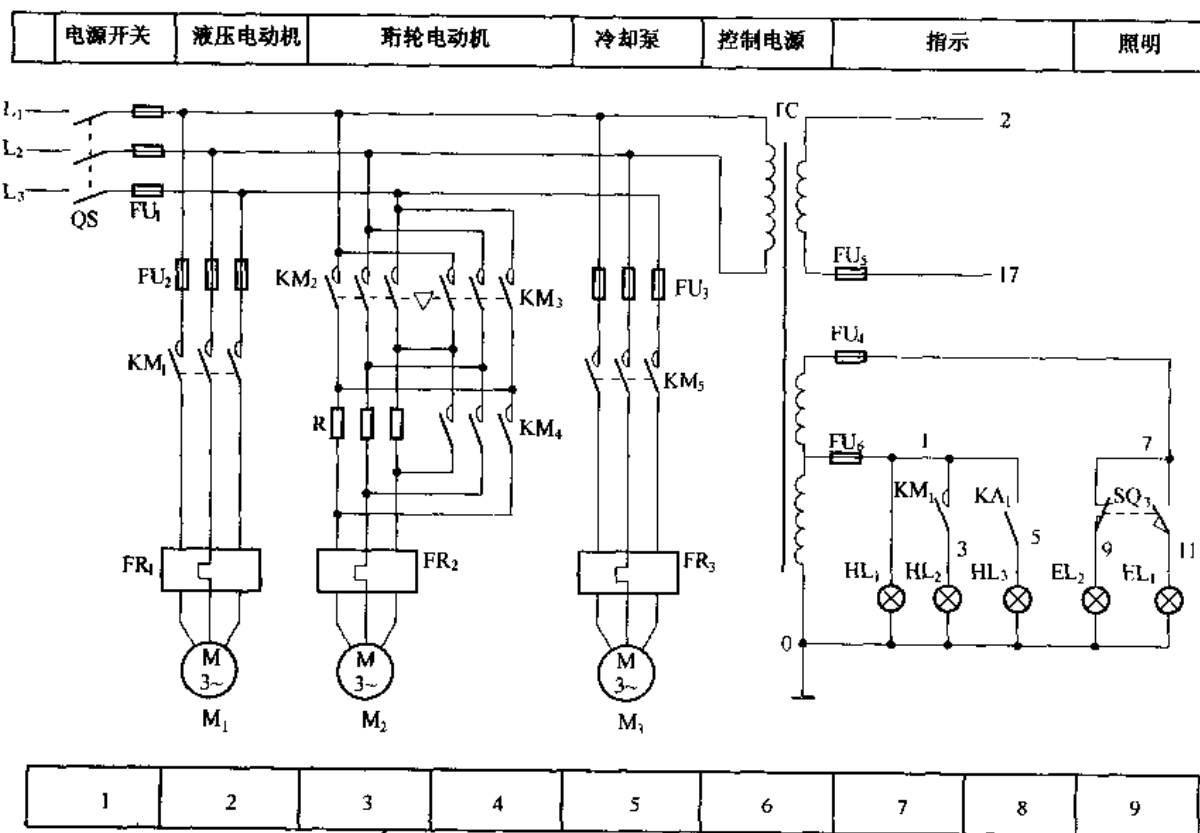
在刀架快速轴向向上或径向向后进给时， KM_5 得电吸合， KM_4 失电释放， KM_4 辅助动合触头 KM_4 (6-47) [28] 断开， YV_2 失电，油进入油缸；在刀架快速轴向向下或径向向前进给时， KM_4 得电吸合， KM_5 失电， KM_4 的辅助动合触头 KM_4 (6-47) 闭合， YV_2 得电，油不进入油缸。

当 SQ_3 处于进给位置 (SQ_3 (6-25) [22] 断开) 时，快速电动机 M_4 、 M_5 均不能启动。

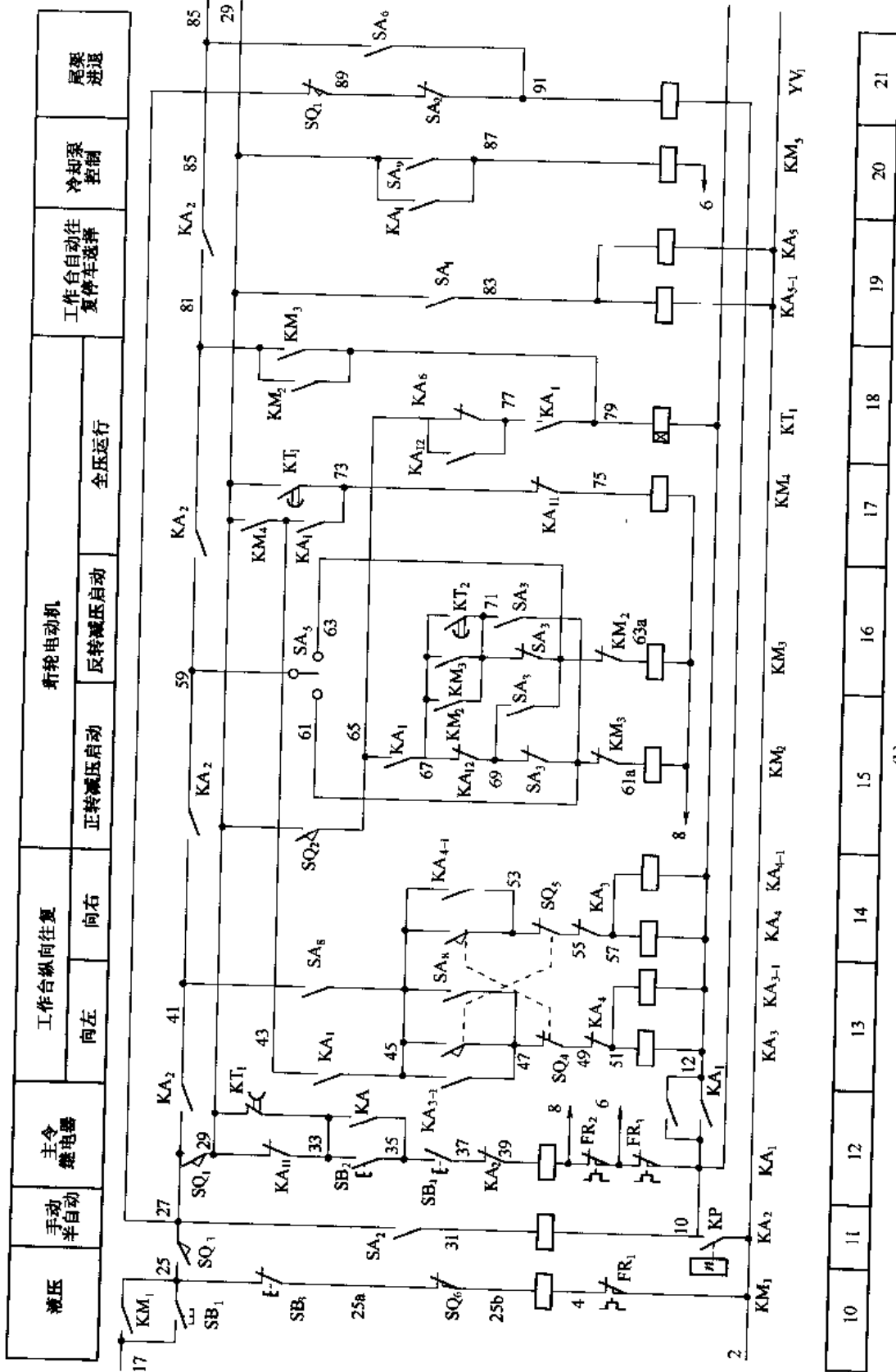
三、Y4632 型珩齿机电气控制电路

珩齿机是齿轮精加工机床，用于精加工轮齿齿面。

图 4.7.5 为 Y4632 型珩齿机电气控制电路。



(a)



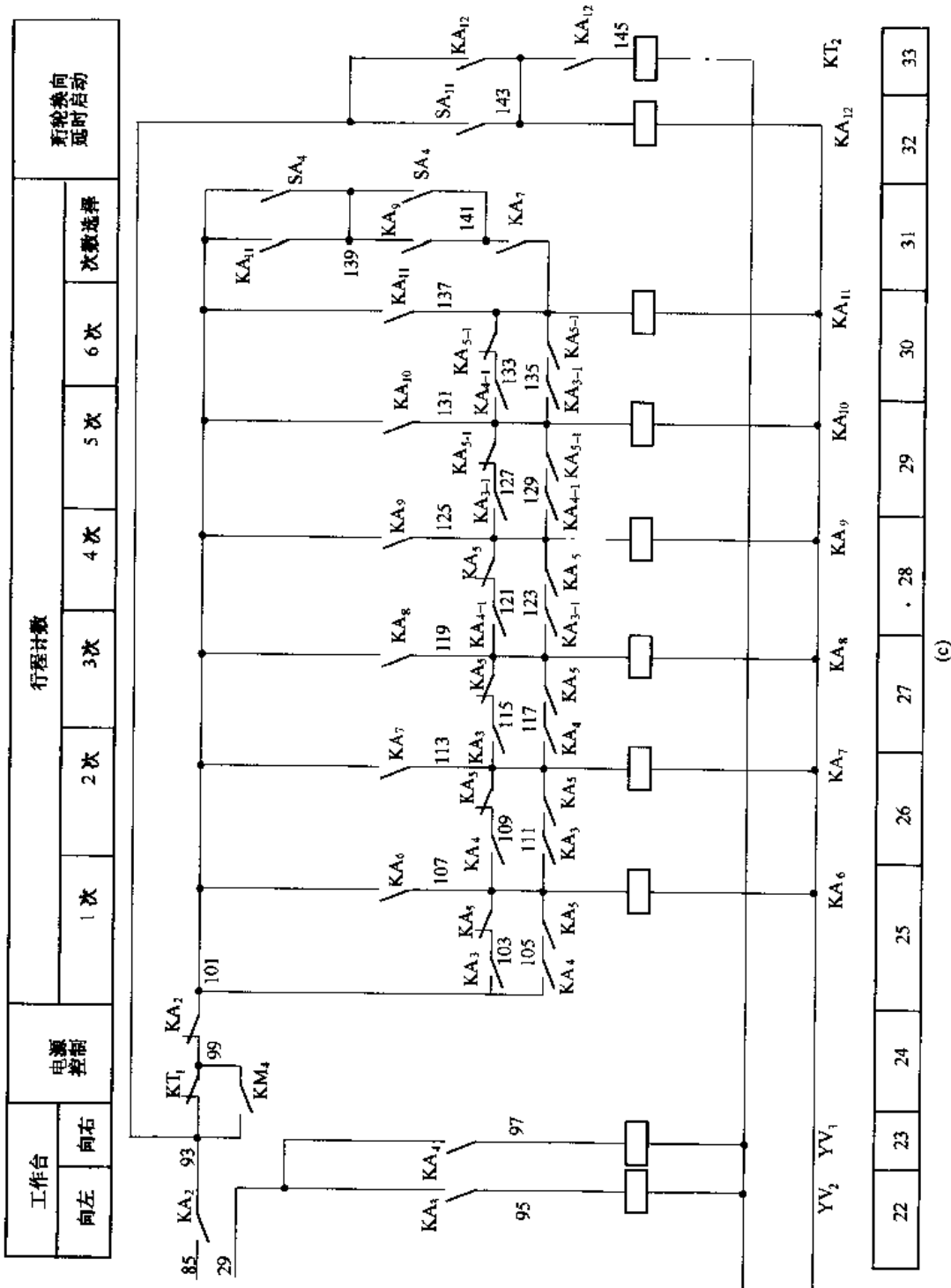


图 4.7.5 Y4632 型齿机电气控制电路

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制

该机床共配置 3 台电动机。M₂[3]为珩轮电动机，是主电动机，要求正反转控制和减压启动。正、反转向接触器 KM₂、KM₃ 分别控制；减压启动采用在电动机定子绕组中串电阻 R 的方法。启动时，电阻 R 接入电动机定子绕组，经预先整定时间后，接触器 KM₄ 得电吸合，短接电阻 R，减压启动结束，转入正常运行。

M₁[2]为液压泵电动机，M₃[5]为冷却泵电动机。

熔断器 FU₂、FU₁、FU₃ 分别作 M₁、M₂、M₃ 的短路保护，过载保护由 FR₁、FR₂、FR₃ 来实现。

(2) 辅助电路[10~33]配置的行程开关、转换开关、电磁阀等电器的用途及其工作情况

根据产品说明书、主要电器元件表和图 4.7.5 可知，该电路配置的行程开关、转换开关、电磁阀、压力继电器的符号、名称及用途如表 4.7.2 所示。其 SA₂、SA₃、SA₄ 的触头工作状态分别如表 4.7.3~4.7.5 所示。

表 4.7.2 符号、名称及用途

符 号	名 称	所 在 图 区	用 途
SQ ₁	复合行程开关	12、21	防护罩安全开关
SQ ₂	行程开关	14	尾架顶紧安全开关
SQ ₃	行程开关	11	门开关
SQ ₄	复合行程开关	13、14	工作台往复限位开关
SQ ₅	行程开关	13、14	工作台往复限位开关
SQ ₆	行程开关	10	工作台限位开关
SA ₁	转换开关	19	工作台自动往复停车位置选择开关
SA ₂	复合转换开关	11、21	手动、半自动选择开关
SA ₃	转换开关	15	珩削方向选择开关
SA ₄	转换开关	30	行程次数选择开关
SA ₅	转换开关	16	珩轮正反转选择开关（手动）
SA ₆	转换开关	22	尾架进选调整开关（手动）
SA ₈	转换开关	13	工作台纵向往复调整开关（手动）
KP	压力继电器	12	
SA ₉	转换开关	20	控制冷却泵开关（手动）
YV ₁	电磁铁	21	
YV ₂	电磁铁	22	
YV ₃	电磁铁	23	

表 4.7.3 手动、半自动选择开关 SA₂

触 头	所 在 图 区	手 动	半 自 动
SA ₂ (27-31)	11	+	-
SA ₂ (85-91)	21	-	+

表 4.7.4 珩削方向选择开关 SA₃

触 头	所在图区	正 向	反 向
SA ₃ (69-61)	15	+	-
SA ₃ (69-63)	15	-	+
SA ₃ (71-63)	16	+	-
SA ₃ (71-61)	16	-	-

表 4.7.5 行程次数选择开关 SA₄

触 头	所在图区	二 次	四 次	六 次
SA ₄ (101-139)	30	+	+	×
SA ₄ (139-141)	30	+	-	×

(3) 将辅助电路分解成手动电路和半自动电路

由表 4.7.2 和表 4.7.3 可知, SA₂[11]为手动、半自动选择开关, SA₂ (27-31) 闭合时, 为手动; SA₂ (27-31) 断开时, 为半自动。据此将辅助电路分解成手动电路和半自动电路。

① 当 SA₂ (27-31) [11]闭合时, 中间继电器 KA₂ 得电吸合, 其动断触头 KA₂ (37-39) [12]断开, 使 KA₁ 不能得电吸合, 因此有 KA₁ 动合触头的支路相当于开路; KA₂ 的另一动断触头 KA₂ (99-101) [24]断开, 切断行程计数电路电源, KA₂ 的动合触头 KA₂ (27-41) [12]、KA₂ (41-59) [15]、KA₂ (59-81) [17]、KA₂ (81-85) [19]、KA₂ (85-93) [22]闭合, 并通过 SA₈[13]控制工作台纵向往复运行, SA₅[16]控制珩轮正反转, SA₆[21]控制尾架, SA₉[20]控制冷却泵, 其等效电路如图 4.7.6 所示。

② 当 SA₂ (27-31) [11]断开时, KA₂ 不能得电吸合, KA₂ 的动合触头断开, 使 SA₈、SA₅、SA₆ 不起控制作用; KA₂ 的动断触头 KA₂ (99-101) [24]闭合, 接通行程计数电路, 其等效图如图 4.7.7 所示。

(4) 根据主电路控制电器主触头的文字符号进一步将半自动电路 (见图 4.7.7) 进行分解

① 根据电动机 M₁ 主电路控制电器主触头文字符号 KM₁[2], 在图区 10 中找到 KM₁ 线圈电路, 这是典型按钮 (SB₁、SB₃) 启停控制电路。

② 根据电动机 M₃ 主电路控制电器主触头文字符号 KM₅[5], 在图区 20 中找到 KM₅ 线圈电路, 这是由 KA₁ 的动合触头 KA₁ (29-87) [20]、转换开关 SA₉ 控制的电路。

③ 根据电动机 M₂ 主电路控制电器主触头文字符号 KM₂、KM₃、KM₄[3、4], 在图区 15~17 中找到 KM₂、KM₃、KM₄ 的线圈电路。在该电路中有 KA₁ 的动合触头 KA₁ (65-67) [15], 有 KA₁₁ 的动断触头 KA₁₁ (73-75) [17], 有 KT₁ 的动合触头 KT₁ (29-73) [17], 有 KT₂ 的动合触头 KT₂ (67-71) [16], 有 KA₁₂ 的动断触头 KA₁₂ (67-69) [15], 在相应图区 12、18、30、32、33 中找到 KA₁、KT₁、KA₁₁、KA₁₂ 和 KT₂ 的线圈电路, 即 KM₂、KM₃、KM₄ 线圈电路的相关电路。这样可得出珩轮电动机 M₂ 的等效控制电路如图 4.7.8 所示。这是按时间原则组成的正、反转串电阻减压启动控制电路。主令继电器 KA₁ 得电吸合后, 其动合触头均闭合, 为电动机 M₂ 得电提供先决条件, 由 SA₃[15]选择电动机 M₂ 的正反转, 由通电延时时间继电器 KT₁[18]控制电路转换, 使 KM₄[17]得电吸合, 短接电阻 R。

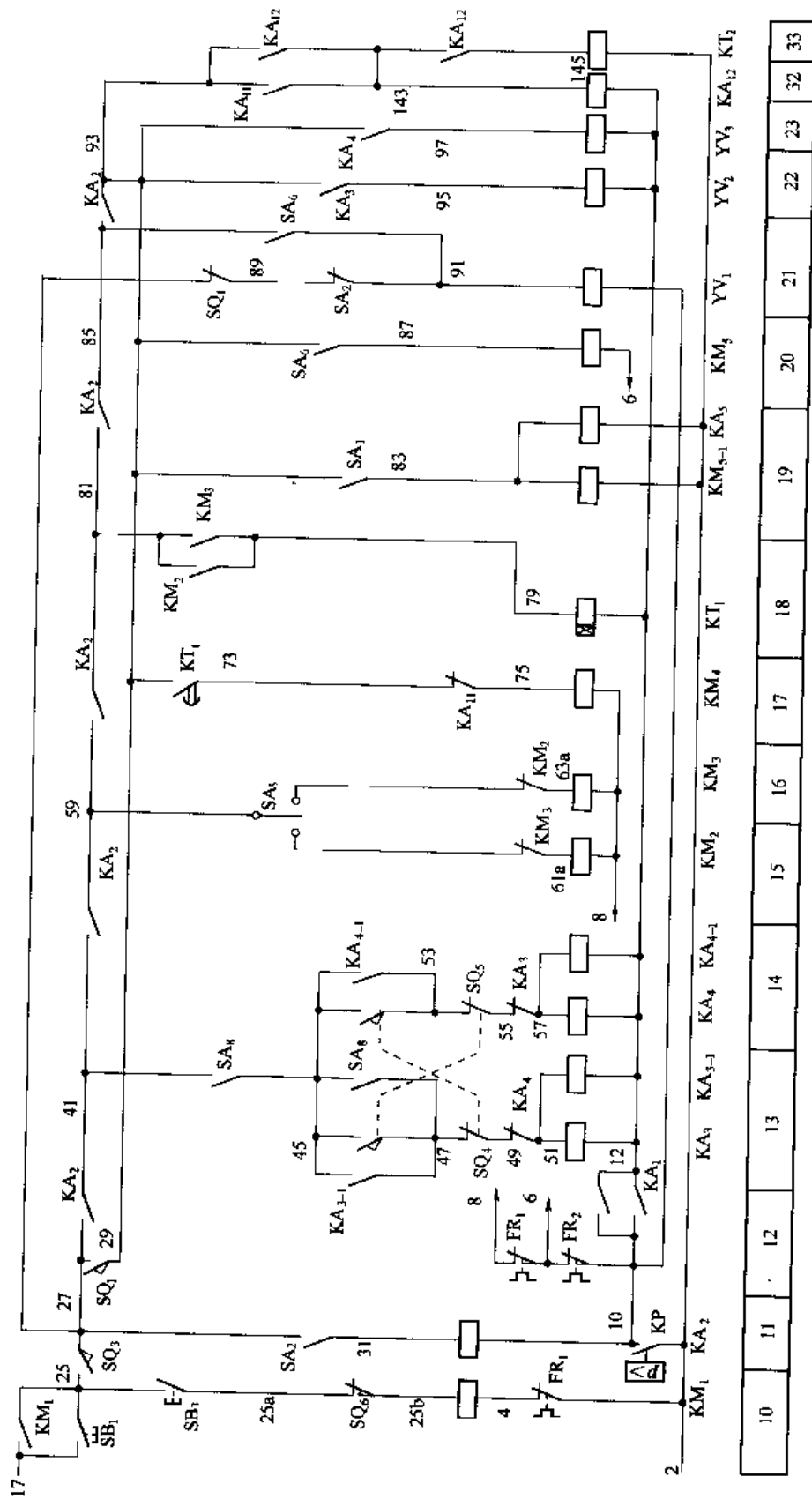


图 4.7.6 手动等效电路

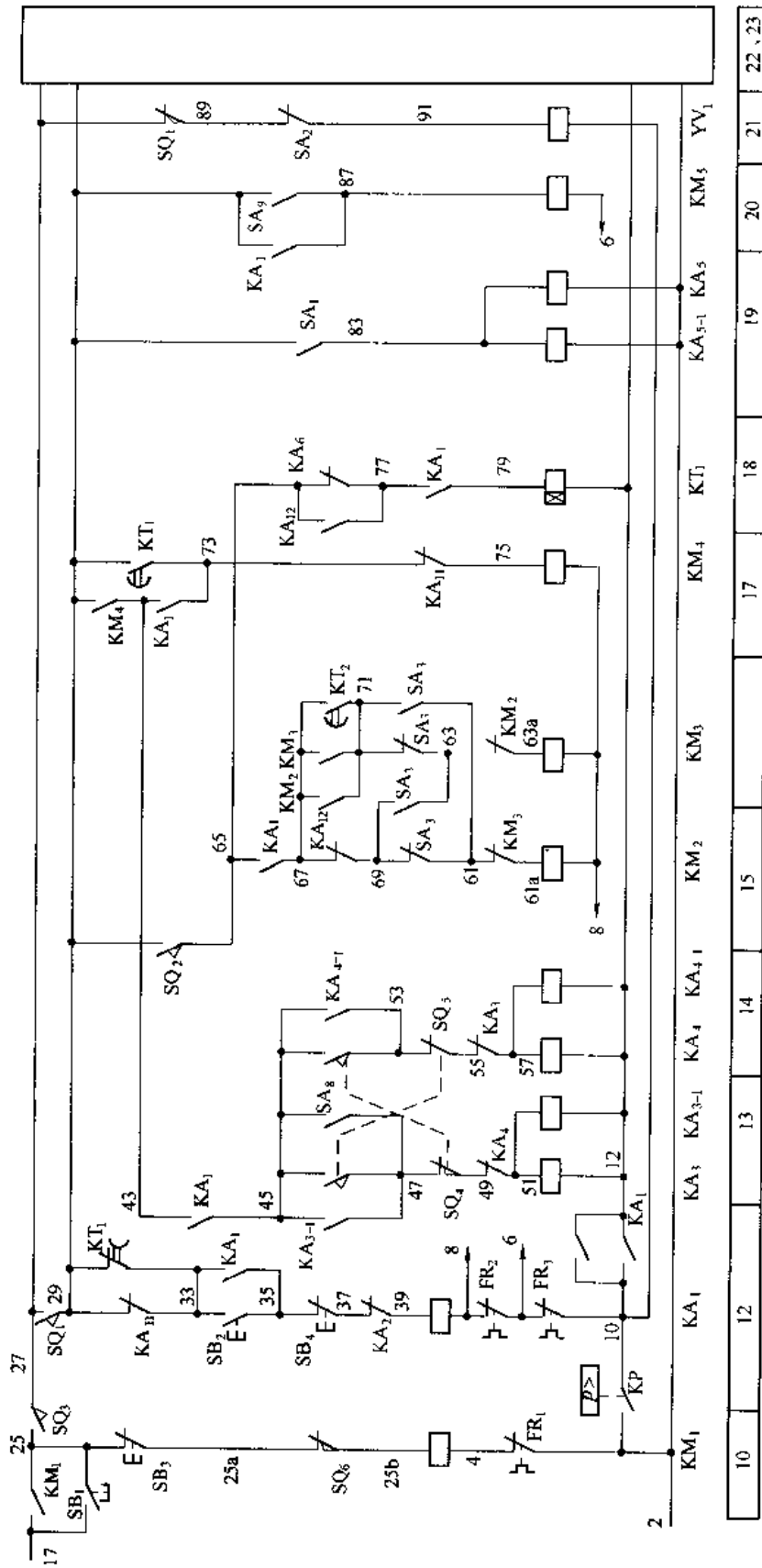


图 4.7.7 半自动等效电路

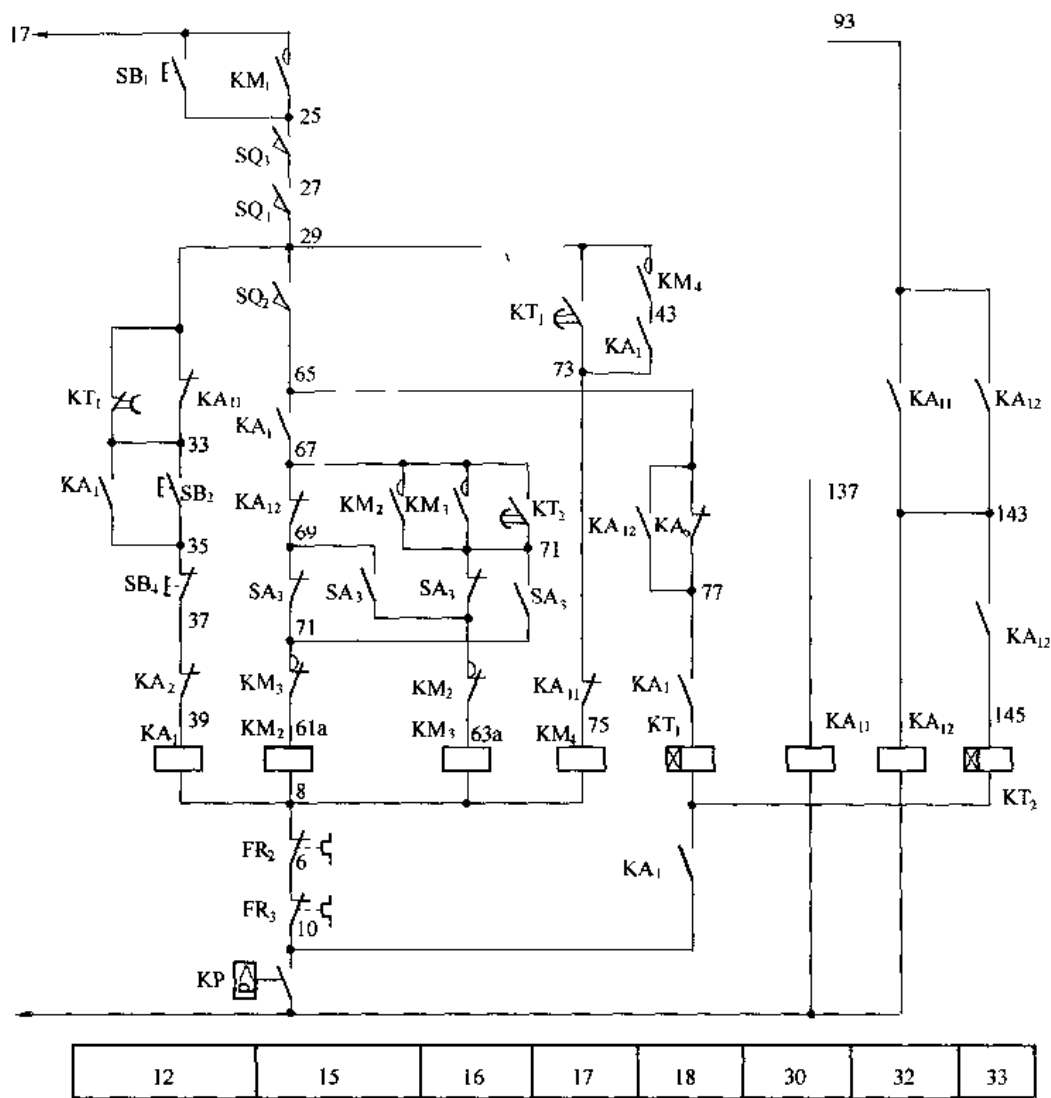


图 4.7.8 珩轮电动机控制电路

由图区 15、16 可以看出，只要 KA_{12} (67-69) [15]断开， KT_2 (67-71) [16]闭合，就能实现珩轮电动机 M_2 的换向，因此 KA_{12} 和 KT_2 实现珩轮换向延时启动。当工作台纵向往复单行程达到计数次数时， KA_{11} [30]得电吸合，其动合触头 KA_{11} (93-143) [32]闭合，使 KA_{12} 得电吸合，其动断触头 KA_{12} (67-69) [15]断开，使 KM_3 失电释放，电动机 M_2 正转停转，其动合触头 KA_{12} (93-143) [33]闭合，使通电延时时间继电器 KT_2 [33]得电吸合，经延时，其延时闭合的动合触头 KT_2 (67-71) [16]闭合，使 KM_3 得电吸合，电动机 M_2 串电阻 R 反向减压启动。 KA_{12} 的动合触头 KA_{12} (65-77) [18]闭合，使通电延时时间继电器 KT_1 得电吸合，经延时，其延时闭合的动合触头 KT_1 (29-73) [17]闭合，使 KM_4 得电吸合并自锁，其主触头[4]闭合，短接电阻，电动机 M_2 进入反转正常运行。

(5) 由上述分析，珩轮电动机 M_2 横向延时启动的关键是， KA_{12} [32]得电吸合。因此，由 KA_{12} 为出发点，采用逆读溯源法可看出， KA_{12} 受 KA_{11} 、 KA_{10} 、 KA_9 、 KA_8 、 KA_7 、 KA_6 以及 KA_5 、 KA_4 、 KA_3 控制。而 KA_3 和 KA_4 通过 SQ_4 、 SQ_5 和 YV_2 、 YV_3 控制工作台往复循环运动

及行程计数电路，其等效电路如图 4.7.9 所示。

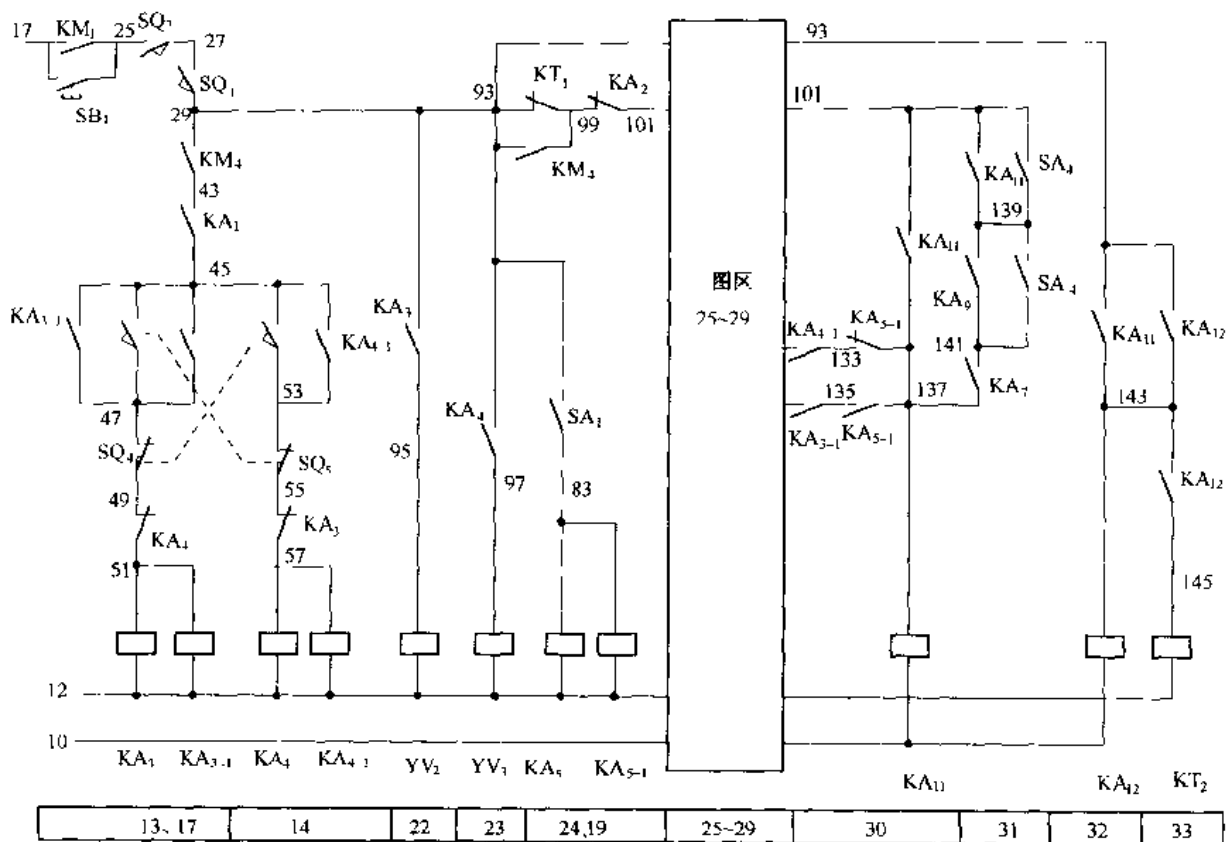


图 4.7.9 工作台纵向往复运动控制电路和行程计数电路

工作台纵向往复运动由 KA_3 - KA_{3-1} 、 KA_4 - KA_{4-1} 和 YV_2 、 YV_3 实现。设工作台开始时位于右端，因此压下行程开关 SQ_4 [13、14] 则 SQ_4 (45-53) \rightarrow [14] \rightarrow KA_4^+ - KA_{4-1}^+ \rightarrow KA_4 (93-97) \rightarrow [23] \rightarrow YV_3^+ \rightarrow 工作台左移。左移到左端后，压下行程开关 SQ_5 [13、14] \rightarrow SQ_5 (45-47) \rightarrow [13] \rightarrow KA_3^+ - KA_{3-1}^+ \rightarrow KA_3 (29-95) \rightarrow [22] \rightarrow YV_2^+ \rightarrow 工作台右移，如此往复循环。

行程计数电路[25~30]由开关 SA_4 选择行程开关次数，由开关 SA_1 [19] 通过 KA_5 、 KA_{5-1} 决定工作台往复循环结束后，停在左端还是右端。当工作台往复运行时， KA_3 - KA_{3-1} 或 KA_4 - KA_{4-1} 每得电吸合一次，行程计数器就右移计数一次，当按预选次数计满后， KA_{11} 得电吸合，通过 KA_{12} 和 KT_2 使珩轮电动机 M_2 换向。

【看图实践】

(1) 循环准备 (见图 4.7.5)

以机床工作时，工作台位于右端并以双侧珩削进行半自动循环，为此将开关 SA_1 [19] 置于接通位置，即 SA_1 (29-83) [19] 闭合。

工作台行程次数预选 6 次，即开关 SA_4 的动合触头 SA_4 (101-139)、 SA_4 (139-141) [31] 均处于断开位置。

合上电源开关 QS [1]，指示 HL_1 亮，表明机床已带电。按下按钮 SB_1 [10]，接触器 KM_1 得电吸合并自锁，其主触头[2]闭合，液压电动机 M_1 [2]启动运转，建立液压，并使压力继电器 KP 动作，其动合触头 KP (2-10) [11] 闭合； KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (1-3) [7] 闭合，

使指示灯 HL₂ 亮, 表明液压系统已启动。

由于门开关 SQ₃ 已闭合 (SQ₃ (25-27) [11] 闭合), 使电磁阀 YV₁[21] 得电 (17→KM₁ (17-25) →SQ₃ (25-27) →SQ₁ (27-89) →SA₂ (89-91) →YV₁ 线圈→KP (10-2) →2), 电磁阀动作, 使尾架退出。

将工件放上托架, 关好防护门安全开关, SQ₁ 动作, 其动断触头 SQ₁ (27-89) [21] 断开, 切断 YV₁ 供电电路, 使尾架顶紧工件; 其动合触头 SQ₁ (27-29) [12] 闭合, 为工作台自动循环、珩轮电动机、冷却泵控制电路提供电源。由于开机床前已将 SA₉[20] 合上, 因此 KM₅ 得电吸合, 冷却泵 M₃ 启动工作。

(2) 半自动循环 (见图 4.7.7~图 4.7.9)

① 启动电动机 M₂ (见图 4.7.7、图 4.7.8) 按下循环启动按钮 SB₂[12], 主令继电器 KA₁[12] 得电吸合并自锁 (17→KM₁ (17-25) →SQ₃ (25-27) →SQ₁ (27-29) →KA₁₁ (29-33) →SB₂ (33-35) →SB₄ (35-37) →KA₂ (37-39) →KA₁ 线圈→FR₂ (8-6) →FR₃ (6-10) →KP (10-2) →2), 其动合触头 KA₁ (1-5) [8] 闭合, 指示灯 HL₃ 亮, 提示进行半自动循环; 其动合触头 KA₁ (29-87) [20] 闭合, 使 KM₅ 得电吸合, 其主触头[5]闭合, 冷却泵 M₃ 工作; 其动合触头 KA₁ (43-45) [13] 闭合, 为工作台纵向往复控制电路得电作准备; 其动合触头 KA₁ (43-73) [17] 闭合, 作为 KM₄ 得电吸合自锁的先决条件; 其动合触头 KA₁ (65-67) [15] 闭合, 使接触器 KM₂ 得电吸合 (17→KM₁(17-25) →SQ₃(25-27) →SQ₁ (27-29) →SQ₂ (29-65) [15] →KA₁ (65-67) →KA₁₂ (67-69) →SA₃ (69-61) →KM₃ (61-61a) →KM₂ 线圈→FR₂ (8-6) →FR₃ (6-10) →KP (10-2) →2), 此时 SQ₂ (29-65) 已闭合。KM₂ 得电吸合, 其主触头[3]闭合, 主轴电动机 M₂[3]的定子绕组串电阻 R 减压启动; 其辅助动断触头 KM₂ (63-63a) [16] 断开, 使 KM₃ 不能得电, 实现互锁。KA₁ 得电吸合, 其另一动合触头 KA₁ (77-79) [18] 闭合, 使通电延时时间继电器 KT₁[18]得电吸合并开始延时, 延时时间为 3s, 而后其延时闭合的动合触头 KT₁ (29-73) [17] 闭合, 使接触器 KM₄[17]得电吸合 (17→KM₁ (17-25) →SQ₃ (25-27) →SQ₁ (27-29) →KT₁ (29-73) →KA₁₁ (73-75) →KM₄ 线圈→FR₂ (8-6) →FR₃ (6-10) →KP (10-2) →2), 其主触头[4]闭合, 短接启动电阻 R, 减压启动结束, 电动机 M₂ 进入正常运转; KM₄ 的辅助动合触头 KM₄[29-43][17]闭合, 并通过 KA₁ (43-73) 使 KM₄ 自锁。

② 工作台纵向往复运动 (见图 4.7.5、图 4.7.9) KM₄ 得电吸合后, 其辅助动合触头 KM₄ (29-43) [17] 闭合, 为工作台纵向往复运动控制电路 KA₃-KA₃₋₁、KA₄-KA₄₋₁ 提供工作电源。

由于设定工作台开始时位于右端, 因此压下了往复行程开关 SQ₄, 其动合触头 SQ₄(45-53) [14] 闭合, 使中间继电器 KA₄、KA₄₋₁[14] 得电吸合; 其动断触头 SQ₄ (47-49) [13] 断开, 使中间继电器 KA₃[13] 不能得电, 实现互锁。KA₄ 得电吸合, 其动合触头 KA₄ (29-97) [23] 闭合, 使电磁阀 YV₃[23] 得电, 工作台开始左移。左移到位后, 压下行程开关 SQ₅, 其动断触头 SQ₅ (53-55) [14] 断开, 使 KA₄、KA₄₋₁ 失电释放, 其动合触头 KA₄ (29-27) 复位断开, YV₃ 失电, 工作台停止左移; SQ₅ 的动合触头 SQ₅ (45-47) [13] 闭合, 使 KA₃、KA₃₋₁[13] 得电吸合, 其动合触头 KA₃ (29-95) [22] 闭合, 使电磁阀 YV₂[22] 得电, 工作台开始右移。这样, 工作台上的挡块反复压动行程开关 SQ₄ 和 SQ₅, 使 KA₃-KA₃₋₁ 和 KA₄-KA₄₋₁ 交替得电吸合, 电磁阀 YV₂、YV₃ 交替得电, 使工作台得以往复移动。

③ 行程计数器 (见图 4.7.5 及图 4.7.9) 行程计数器由中间继电器 KA₆~KA₁₁[25-31] 组成。

行程计数器工作条件：

半自动循环状态， SA_2 (27-31) [11]断开， KA_2 失电，其动断触头 KA_2 (99-101) [24]闭合，使行程计数器电路得电。

将工作台停车位置（左或右）选择开关 SA_1 接通或断开，即触头 SA_1 (29-83) [19]闭合或断开，从而使 KA_5 - $KA_{5.1}$ [19]得电吸合或失电。 KA_5 - $KA_{5.1}$ 在图区 25~30 中的动断触头断开或闭合、动合触头闭合或断开，这样，在图区 25~30 中 KA_3 - $KA_{3.1}$ 或 KA_4 - $KA_{4.1}$ 的动合触头控制下，使行程计数器计数， KA_6 ~ KA_{11} 依次相继得电吸合，工作台移动到位（左或右）停车。

行程单程次数预置由转换开关 SA_4 控制，见表 4.7.5 和图 4.7.10。

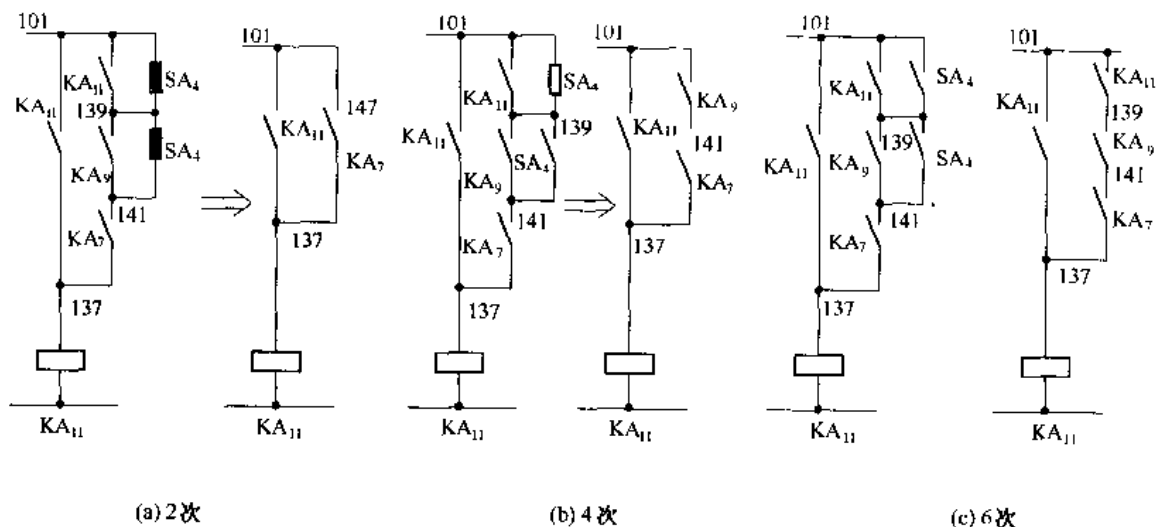


图 4.7.10 行程单程次数预置电路

开关 SA_1 [19]断开， KA_5 [19]失电释放。

当选择开关 SA_4 [31]置于预选“2次”位置，其动合触头 SA_4 (101-139) [31]、 SA_4 (139-141) [31]闭合。工作台单行程走完一次， KA_3 、 $KA_{3.1}$ [13]得电吸合，其动合触头 KA_3 (101-103) [25]闭合，使中间继电器 KA_6 [25]得电吸合并自锁。 KA_6 的动断触头 KA_6 (65-77) [18]断开，使 KT_1 [18]失电释放，其延时断开的动断触头 KT_1 (29-33) [12]复位闭合，其延时闭合的动合触头 KT_1 (29-73) [17]复位断开。单行程走完两次， KA_3 、 $KA_{3.1}$ 再次得电吸合，其动合触头 KA_3 (107-111) [25]闭合，使 KA_7 得电吸合并自锁。 KA_7 的动合触头 KA_7 (137-141) [30]闭合，使 KA_{11} 得电吸合并自锁 (17→ KM_1 (17-25)→ SQ_3 (25-27)→ SQ_1 (27-29)→ KM_4 (29-99)→ KA_2 (99-101)→ SA_4 (101-139)→ SA_4 (139-141)→ KA_7 (141-137)→ KA_{11} 线圈)→2)。 KA_{11} 得电吸合，其动合触头 KA_{11} (93-143) [32]闭合，使 KA_{12} 得电吸合并自锁；其动断触头 KA_{11} (73-75) [17]断开，使 KM_4 失电释放， KM_4 的辅助动合触头 KM_4 (29-43) [17]复位断开， KM_4 的另一辅助动合触头 KM_4 (29-99) [24]复位断开，切断行程计数电路电源，使 KA_6 ~ KA_{11} 失电释放。 KA_{12} 的动断触头 KA_{12} (67-69) [15]断开，使 KM_2 [15]失电释放，其主触头断开，电动机 M_2 停止运转； KA_{12} 的动合触头 KA_{12} (93-143)、 KA_{12} (143-145) [33]闭合，使通电延时时间继电器 KT_2 得电吸合； KA_{12} 的另一动合触头 KA_{12} (65-77) [18]闭合，使 KT_1 得电吸合。 KT_2 和 KT_1 同时得电并开始延时， KT_2 整定时间为 2s， KT_1 整定时间为 3s。

2s 后, KT_2 的延时闭合的动合触头 KT_2 (67-71) [16] 闭合, 使接触器 KM_3 得电吸合 ($17 \rightarrow KM_1$ (17-25) $\rightarrow SQ_3$ (25-27) $\rightarrow SQ_1$ (27-29) $\rightarrow SQ_2$ (29-65) $\rightarrow KA_1$ (65-67) $\rightarrow KT_2$ (67-71) $\rightarrow SA_3$ (71-63) $\rightarrow KM_2$ (63-63a) $\rightarrow KM_3$ 线圈 $\rightarrow FR_1$ (8-6) $\rightarrow FR_2$ (6-10) $\rightarrow KP$ (10-2) $\rightarrow 2$), 其主触头[4]闭合, 使主轴电动机 M_2 [3]串电阻 R 减压启动; 其辅助动断触头 KM_3 (61-61a) [15]断开, 使 KM_2 不能得电, 实现互锁。又经 1s, KT_1 的延时闭合的动合触头 KT_1 (29-73) [17]闭合, 使 KM_4 得电吸合并自锁, 其主触头[4]闭合, 短接启动电阻 R , 反向减压启动结束, 进入正常工作运转。 KT_1 延时断开的动断触头 KT_1 (29-33) [12]断开, KT_1 的瞬动动断触头 KT_1 (93-99) [24]断开, KM_4 的辅助动合触头 KM_4 (29-99) [24]闭合, 接通过行程计数器电源。

工作台单行程走完一次, KA_6 得电吸合, 其动合触头 KA_6 (65-77) [18]断开, 使 KT_1 失电释放, KT_1 (29-33) [12]复位闭合, KT_1 (29-73) [17]复位断开, KT_1 (93-99) [24]复位闭合。单行程走完二次, KA_7 得电吸合, 使 KA_{11} 得电吸合, 随之 KA_{12} 得电吸合。 KA_{11} 得电吸合, 其动合触头 KA_{11} (29-33) [12]断开, 为 KA_1 失电提供先决条件, 其动断触头 KA_{11} (73-75) [17]断开, 使 KM_4 失电释放, 其辅助动合触头 KM_4 (29-99) [24]断开, 为行程计数器电路失电提供先决条件。 KA_{12} 得电吸合, 其动合触头 KA_{12} (67-69) [15]断开, 使 KM_2 失电释放; KA_{12} 的动合触头 KA_{12} (65-77) [18]闭合, 使 KT_1 得电吸合, 其瞬动动断触头 KT_1 (93-99) [23]断开, 切断行程计数器电路电源; 其延时断开的动断触头 KT_1 (29-33) [12]经延时断开, 使 KA_1 失电释放, 其动合触头 KA_1 (43-45) [13]、 KA_1 (65-67) [15]、 KA_1 (29-87) [20]断开, 使 KM_2 、 KM_3 、 KM_4 和 KM_5 不能得电, 电动机 M_2 、 M_3 停转, 计数完成, 循环结束。

(3) 手动控制 (见图 4.7.6)

将选择开关 SA_2 置于“手动”位置, 其触头 SA_2 (27-31) [11]闭合、 SA_2 (89-91) [21]断开。按下启动按钮 SB_1 [10], 接触器 KM_1 [10]得电吸合并自锁, 其主触头[2]闭合, 液压泵电动机 M_1 [2]启动运转, 片刻后, 压力继电器 KP 的触头 KP (10-2) [11]被压合, 由于门开关 SQ_3 (25-27) [11]闭合, 因此中间继电器 KA_2 [11]得电吸合 ($17 \rightarrow KM_1$ (17-25) $\rightarrow SQ_3$ (25-27) $\rightarrow SA_2$ (27-31) $\rightarrow KA_2$ 线圈 $\rightarrow KP$ (10-2) $\rightarrow 2$), 其动断触头 KA_2 (99-101) [24]断开, 切断了行程计数电路; 其另一动断触头 KA_2 (37-39) [12]断开 (见图 4.7.5), 使主令继电器 KA_1 [12]不能得电; 其动合触头 KA_2 (27-41) [12]、 KA_2 (41-59) [15]、 KA_2 (59-81) [17]、 KA_2 (81-85) [19]、 KA_2 (85-93) [22]闭合, 为手动控制珩轮、工作台、冷却泵、尾架作准备。在图中, 开关 SA_8 [13]控制工作台纵向往复, SA_5 [16]控制珩轮正、反转, SA_9 [20]控制冷却泵、 SA_6 [21]控制尾架。

第五章 液压机床电气控制电路

液压传动广泛应用于工业、农业和国防等各个部门。由于采用液压传动能实现无级变速和在往复运行中实现频繁的换向等，因此液压传动在机床行业中得到了广泛应用。

(1) 机床往复运动 龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕、组合机床动力滑台、拉床刀杆等都是采用液压传动来实现高速往复运动的。与机械传动相比，采用液压传动可以大大减少换向冲击，降低能量消耗，并能缩短换向时间，有利于提高生产效率和加工质量。

(2) 机床回转运动 车床和铣床主轴采用液压传动实现回转运行，可使主轴无级变速。但是，由于液压传动泄漏是难免的，加之液体的可压缩性使液压传动不能保证有严格的传动比，因此，类似车床的螺纹传动链这类具有内在联系的运动，尚不能采用液压传动。

(3) 机床进给运动 液压传动在机床进给运动装置中应用得比较多，如磨床砂轮架快进、快退运动的传动装置；六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架；磨床、钻床、铣床和刨床的工作台；组合机床的动力滑台等都广泛地采用了液压传动。

(4) 机床仿形运动 在车床、铣床、刨床上应用液压伺服系统进行仿形加工，实现复杂曲面加工自动化。随着电液伺服阀和电子技术的发展，各种数字程序控制机床和加工中心开始普及，提高了机床自动化水平和加工精度，并为计算机辅助制造创造了条件。

(5) 机床辅助运动 机床上的夹紧装置、变速操纵装置、丝杠螺母间隙消除机构、分度装置以及工件和刀具的装卸、输送、储存装置都采用了液压技术。这样不但简化了机床结构，而且提高了机床的自动化程度。

第一节 液压传动的工作原理和组成

一、液压传动的工作原理

液压传动是以液体压力进行能量传递和自动控制的一种传动方式。图 5.1.1 (a) 为简化的磨床工作台的液压传动系统图。这是一种半结构式的工作原理图，直观性强，容易理解，但难于绘制。该液压传动系统的功能是推动磨床工作台实现往复直线运动，其工作过程包括工作台向右、向左直线运动和停止状态。

1. 工作台向右直线运动

电动机（图中未画）带动液压泵（4）工作，从油箱（1）中吸油，经过滤器（2）过滤，

油液被泵加压从泵的输油口进入油路，经油路进入液压缸（18）的左腔，推动活塞（17）向右移动，带动工作台（19）向右直线运动。

系统中油液流动情况：进油路为液压泵（4）→压力油管（10）→手动换向阀（9）→节流阀（13）→换向阀（15）→液压缸（18）左腔；回油路为液压缸（18）右腔→换向阀（15）→回油管（14）→油箱（1）。

2. 工作台向左直线运动

由于工作台运动方向变化，此时换向阀（15）的阀芯相对于阀体处于图 4.1.1（b）所示位置，油液通道发生变化，于是液压泵（4）从油箱（1）中吸入的液压油，经油路进入液压缸（18）的右腔，推动活塞（17）向左移动，带动工作台（19）向左直线运动。

系统中油液流动情况：进油路为液压泵（4）→压力油管（10）→手动换向阀（9）→节流阀（13）→换向阀（15）→液压缸（18）右腔；回油路为液压缸（18）左腔→换向阀（15）→回油管（14）→油箱（1）。

3. 工作台处于停止状态

由于工作台处于停止状态，此时换向阀（9）的阀芯相对于阀体处于图 5.1.1（c）所示的位置。这时由液压泵（4）输出的压力油经换向阀（9）、回油管（12）直接流回油箱（1）。

磨床工作时，除了要求工作台能够往复运动外，还要根据不同的加工需求，调节工作台的往复运动速度。通过改变节流阀（13）开口的大小，来控制通过节流阀的流量，使其控制进入液压缸的流量，进而控制工作台运动速度的快慢。当节流阀开大时，进入液压缸的油液流量增多，工作台移动速度增大；反之，工作台移动速度减小。

工作台移动时，要克服各种阻力（如切削力、摩擦力等）。由于工件材料不同、切削用量不同，其阻力大小也不同，因此液压缸必须有足够大的推力，才能克服工作台受到的阻力。液压缸的推力是由油液压力产生的，压力越大，克服的阻力越大。根据阻力不同，油液的压力应能够调整。可通过调整溢流阀（7）的弹簧压紧力来控制油液的压力，压紧力越大，油液压力越大，反之则越小。油液的压力可通过压力表观察，当系统压力达到溢流阀的调整压力时，溢流阀溢流，系统的压力维持在溢流阀的调定值上，油液压力不再升高。

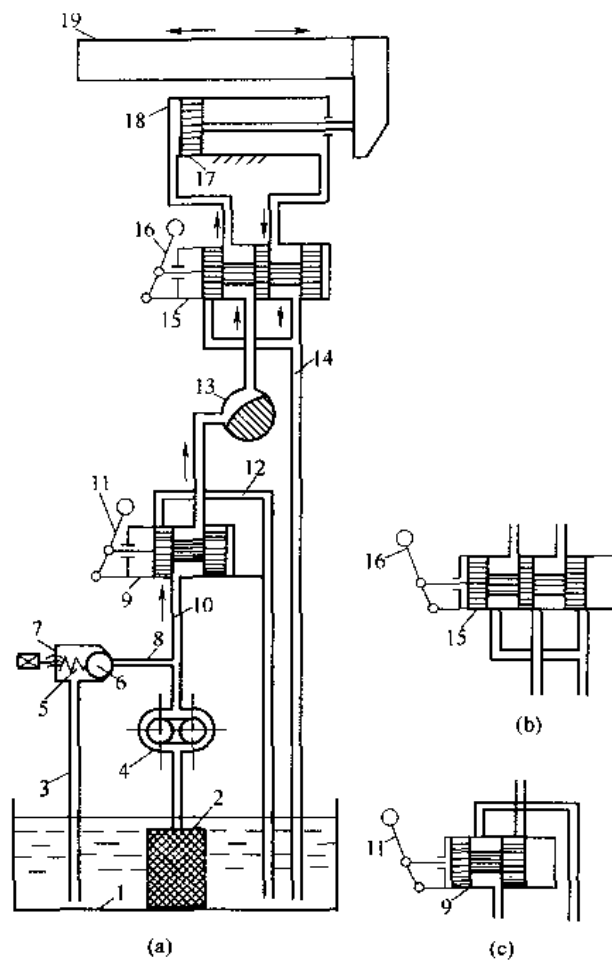
通过对磨床工作台简化的液压传动系统的分析，可知液压传动的基本原理有以下几点：

（1）液压传动是一种能量转换方式，液压泵把电动机输入的机械能转换成油液的内能，通过液压回路，液压缸又把油液的内能转换成磨床工作台往复运动的机械能。

（2）液压传动是以有压力的油液作为传递动力和运动的工作介质。

（3）工作台运动承载能力的大小与油液压力和活塞的有效工作面积有关。

（4）液压缸活塞运动时，其进油腔油液容积不断增大，而排油腔油液容积不断减小；同时工作台运动速度取决于通过节流阀进入液压缸的油液容积的多少，即液压传动是借助于油液容积变化工作的，这种液压传动可称为容积式液压传动。



1—油箱 2—过滤器 3、12、14—回油管 4—液压泵 5—弹簧 6—钢球
7—溢流阀 8—压力支管 9—手动换向阀 10—压力油管 11—换向手柄
13—节流阀 15—换向阀 16—换向阀手柄 17—活塞 18—液压缸 19—工作台

图 5.1.1 磨床工作台简化的液压传动系统图

二、液压传动系统的组成

通过对上述液压传动系统的分析，可总结出液压传动系统由 5 部分组成。

1. 动力元件

动力元件是将机械能转换为液体内能的装置，给整个系统提供压力油。比如液压泵，它供给系统压力油，将电动机或其他原动机输出的机械能转换为液体内能，以驱动执行元件运动。

2. 执行元件

执行元件是将液体内能转为机械能的装置，它克服负载做功，带动工作机构运动，如液压缸、液压马达等。

3. 控制调节元件

控制调节元件用于控制和调整液压系统的压力、流量（速度）及液流方向，以改变执行元件输出的力（或转矩）、速度（或转速）及运动方向，从而保证工作机构完成预定的工作运动，如压力控制阀、方向控制阀和流量控制阀等。

4. 辅助元件

辅助元件为液压系统正常工作起辅助保证作用，如油箱、过滤器、油管、管接头和压力计等。用来储油、过滤、连接各元件和测量油压等，使系统得以正常工作和便于监测控制。

5. 工作介质

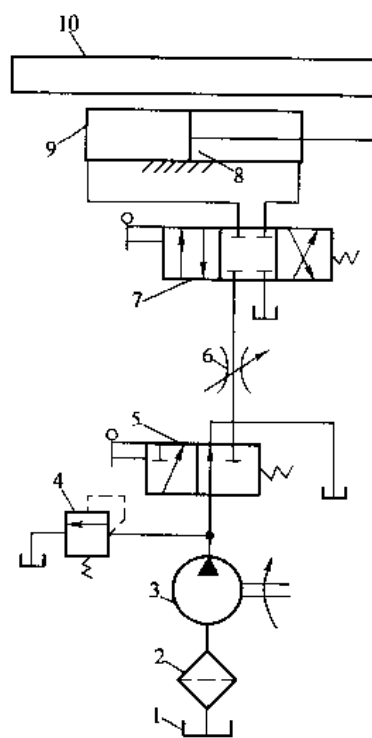
传动压力的工作介质，同时还起冷却、润滑和防锈作用，通常为液压油。

液压泵由电动机拖动为系统提供压力油，推动执行件液压缸活塞移动或者液压马达转动，输出动力。控制调节元件中，压力阀和调速阀用于调整系统的压力和执行元件的运动速度，方向阀用于控制液流的方向或接通、断开油路以控制执行元件的运动方向和液压系统工作的不同状态，满足各种运动的要求。

三、液压传动系统图及图形符号

在图 5.1.1 所示的液压传动系统中，各元件是以结构符号表示的，直观性强，容易理解，但图形复杂，绘制困难。用国标规定的液压图形符号表示，其液压传动系统如图 5.1.2 所示，图形简单、清晰，易于绘制。

液压图形符号只表示元件的功能，不表示元件的结构和参数。元件的名称、型号和参数，必要时允许标注在元件图形符号的旁边。液压传动系统图上的各液压元件的图形符号，一般应以元件的静止状态或零位表示。



1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—溢流阀
5—手动换向阀 6—节流阀 7—换向阀
8—活塞 9—液压缸 10—工作台

图 5.1.2 用图形符号表示的磨床工作台的液压传动系统图

第二节 液压控制阀

在液压传动系统中，液压控制阀的作用是控制液流的压力、流量和方向，以满足执行元件在输出的力（力矩）、运动速度及运动方向上的不同要求。因此，液压传动系统的控制调节部分就是由各种液压控制阀组成的。

液压控制阀品种繁多，按用途可分为方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀。

一、方向控制阀

方向控制阀（简称方向阀）的作用是控制液压系统中的液流方向。其工作原理是利用阀芯和阀体间相对位置的改变，实现油路之间的接通或断开，以满足系统对油流方向的要求。方向阀有单向阀和换向阀两大类。

1. 单向阀

(1) 普通单向阀 普通单向阀又称逆止阀，它控制油液只能沿一个方向流动，不能反向流动。图 5.2.1 (a) 所示为机床上常用的管式连接单向阀，由阀体 (1)、阀芯 (2) 和弹簧 (3) 等零件构成。当压力油从进油口 (P_1) 输入时，克服弹簧 (3) 的作用力，顶开阀芯 (2)，经阀芯 (2) 上 4 个径向孔 (a) 及内孔 (b)，从出油口 (P_2) 输出。当液流反向流动时，在弹簧和压力油的作用下，阀芯锥面紧压在阀体 (1) 的阀座上，油液不能通过。图 5.2.1 (b) 为单向阀的图形符号。

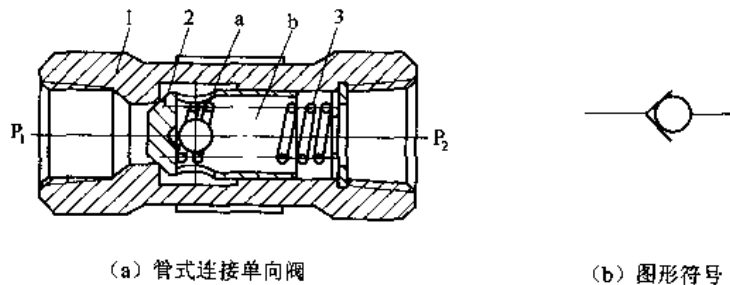


图 5.2.1 单向阀

(2) 液控单向阀 液控单向阀的结构如图 5.2.2 所示，与普通单向阀相比，增加了一个控制油口 (X)，控制活塞 (1) 通过顶杆 (2) 打开单向阀的阀芯 (3)。当控制油口 (X) 处无压力油进入时，液控单向阀起普通单向阀的作用，主油路上的压力油经 P_1 口输入、 P_2 口输出，不能反向流动。当控制油口 (X) 通入压力油时，活塞 (1) 的左侧受压力油的作用，右侧 (a) 腔与泄油口相通。于是活塞 (1) 向右移动，通过顶杆 (2) 将阀芯 (3) 打开，使进、出油口接通，油液可以反向流动，不起单向阀的作用。控制油口 (X) 处的油液与进、出油口不通。进入控制油口 (X) 的油液压力最小不应低于主油路压力的 30%~50%。

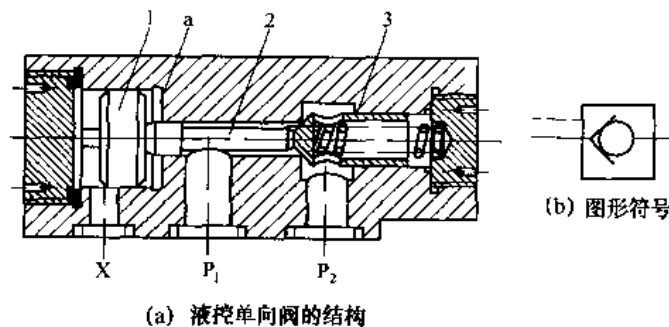


图 5.2.2 液控单向阀

2. 换向阀

换向阀的作用是利用阀芯对阀体的运动来接通、关闭油路或改变液流方向，从而实现执行元件的启动、停止或变换运动方向。换向阀的工作原理可用图 5.2.3 来说明。图 (a) 的上部是油缸及活塞，下部的左边是线圈和铁心，与铁心相连的杆上有 3 个小活塞，可在有 5 个孔的圆筒状阀座中左右滑动，这串在一起的 3 个小活塞和 5 个孔的圆筒统称为“滑阀”。下部的右边有弹簧，当线圈中无电流时，弹簧总是力图将铁心向左推出线圈，如图 5.2.3 (a) 所示的状态。在这种情况下，高压油从孔 P 流入，经孔 B 进入油缸右侧，推动活塞向左运动。左腔的油则经孔 A 送往孔 T 排出。

线圈得电后，铁心和滑阀被吸向右方，成为图 5.2.3 (b) 所示的状态，高压油自孔 P 送往孔 A，压力作用在活塞左边，使活塞向右移动。油腔的油则经孔 B 和孔 T 排出。

由于活塞的运动行为取决于滑阀，而滑阀虽然有 5 个孔却只有 4 个对外的通道，即 P、T、A 和 B，因此有“四通”之称。

这种四通阀在图纸上表示时，用图 5.2.3 (c) 所示的画法。中间两个方格代表它有两个状态，靠近弹簧符号的方格是它的常态，即线圈无电时的状态，靠近线圈符号的方格是线圈得电时的状态。各孔的相对位置一样，因此只在一个方格上标上 P、T、A 和 B 即可。

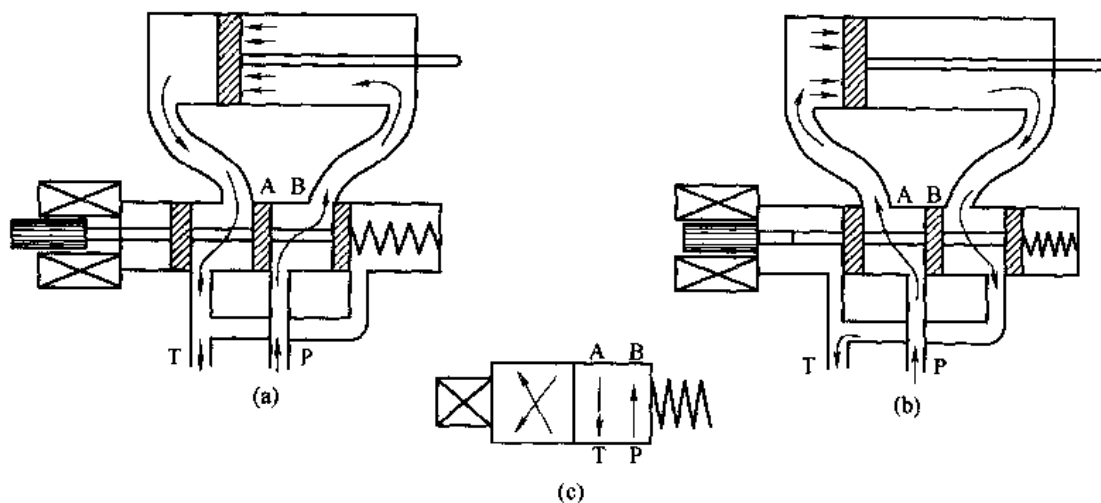


图 5.2.3 电磁四通阀原理

常用换向阀的图形符号如图 5.2.4 所示。换向阀图形符号的规定和含义为：

- ① 用方框“□”表示阀芯可变的位数，有几个方框就表示有几位。
- ② 方框内的箭头“↑↓”表示在这一位置上油路处于接通状态，但箭头方向并不一定表示油液的实际流向。
- ③ 方框内的符号“┣”或“┫”表示该通路被阀芯封住，即该油路不通。
- ④ 一个方框上边、下边与外部连接的接口，称为油路的通路数，即几通。
- ⑤ 一般阀与系统供油路连接的进油口用字母 P 表示；阀与系统回油路连接的回油口用字母 T 表示，即与油箱连通的回油口；而阀与执行元件连接的工作油口则用字母 A、B 表示。

这些字母均应标在常态位，即阀芯未受到外力作用的位置，一般是三位阀的中间方框及二位阀侧面有弹簧的那个方框。

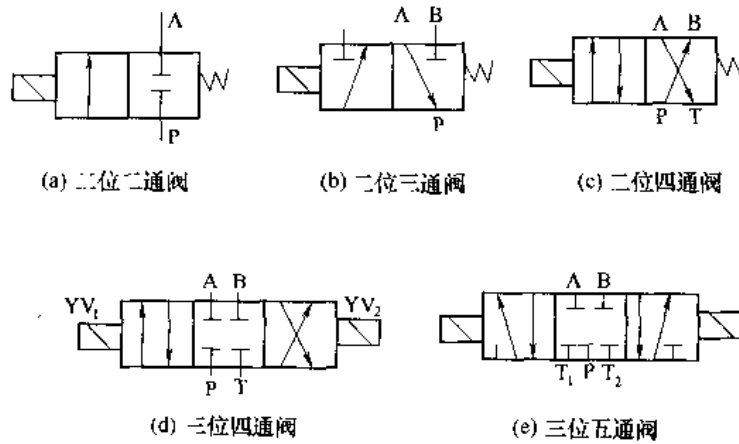


图 5.2.4 常用换向阀的图形符号

⑥ 操纵方式用图形符号表示。控制方式和复位弹簧的符号画在方框的两端。改变阀芯与阀体的相对位置可以手动、电动、液动、机动或电液动等，用不同符号表示，如图 5.2.5 所示。

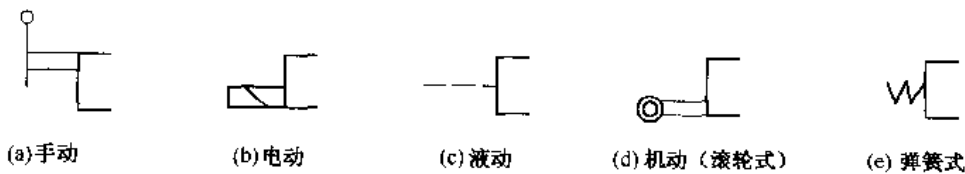


图 5.2.5 换向阀的操纵方式

(1) 手动换向阀 手动换向阀是用手动杠杆操纵阀芯换位的方向控制阀。按其定位方式分为自动复位式和钢球复位式两种，其图形符号如图 5.2.6 所示。

图 5.2.6 (a) 所示为自动复位手动换向阀的图形符号，推动手柄，可使阀芯处于左位工作（P 口与 A 口接通，B 口与 T 口接通）或右位工作（P 口与 B 口接通、A 口与 T 口接通），放开手柄，在弹簧力作用下自动复位到中间位置（P、T、A、B 口均不接通）。

图 5.2.6 (b) 所示为钢球在弹簧作用下，可使阀芯定位在左、中、右任何一个位置上。

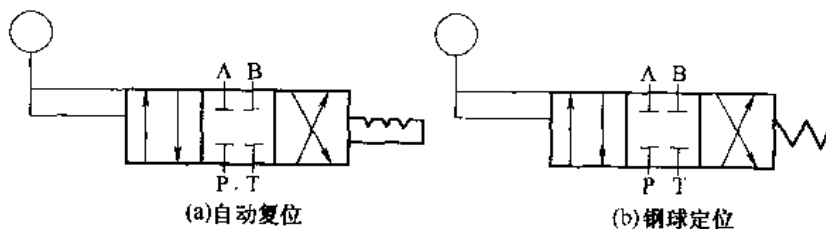


图 5.2.6 手动换向阀图形符号

(2) 机动换向阀 机动换向阀又称行程阀，主要用来控制机械运动部件的行程。它借助于安装在工作台上的行程挡块或凸轮推动阀芯实现换向，通常为二位阀，有动断和动合两种，

其图形符号如图 5.2.7 所示。以图 (b) 为例，在左位工作时，使油口 P 与 B 相通，A 被堵死；在右位工作时，油口 P 与 A 相通，B 被堵死。

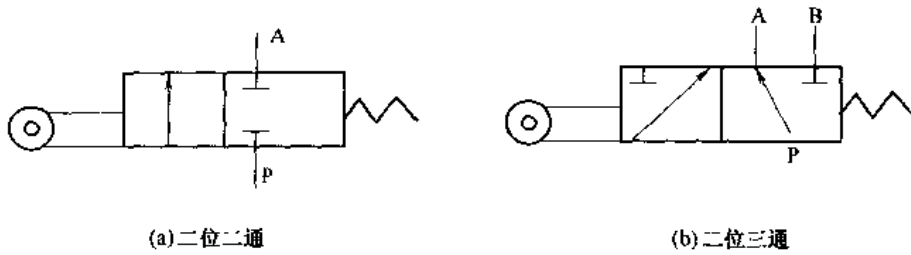


图 5.2.7 二位三通机动换向阀

(3) 电磁换向阀 电磁换向阀简称电磁阀，它利用电磁铁吸合时产生的推动力使阀芯移动，以实现液流通、断或改变流向，复位通常依靠弹簧力的作用。其电信号是由液压设备上的按钮开关、限位开关、行程开关或其他电器元件发出，用来控制电磁铁的得电或失电，从而方便地实现各种操作及自动顺序动作。

图 5.2.4 为几种常用电磁换向阀的图形符号。单电磁铁图形符号中，与电磁铁邻推的方格中表示孔的通向正是电磁铁得电的工作状态，与弹簧邻接的方格中表示的状态是电磁铁失电时的工作状态。双电磁铁图形符号中，与电磁铁邻接的方格中表示孔的通向正是该侧电磁铁得电的工作状态。

图 5.2.4 中列举了其推几种常见的电磁阀的流通状态和图形表示法。图 (a) 最为简单，只有两个位置和两个孔，叫做二位二通电磁阀。当电磁铁线圈得电时，换向阀位于一种通油状态，即 AP 通，当电磁线圈失电时，在反力弹簧的作用下，换向阀复位于另一种通油状态，即 AP 不通状态。电磁阀线圈的得电、失电控制了油路的切换。图 (b) 为二位三通电磁阀，当电磁铁得电时，BP 通而 AP 闭；失电时，AP 通而 BP 闭。图 (c) 为二位四通电磁阀。

图 (d) 为双电三位四通电磁阀，阀上装有两个线圈，分别控制阀的两种通油状态，当两电磁阀线圈都不得电时，换向阀处于中间位的通油状态。需注意的是两个电磁阀线圈不能同时得电，以免阀的状态不确定。与 YV_1 邻推的方格的工作状态是 P 与 A 通，B 与 T 通，亦即表示电磁线圈 YV_1 得电时的工作状态。随后，如果 YV_1 失电，而 YV_2 又未得电，则电磁阀的工作状态仍保持在 YV_1 得电时的工作状态，直至电磁铁 YV_2 得电时，电磁阀才换向，其工作状态为 YV_2 邻推的方格所表示的内容，即 P 与 B 通，A 与 T 通。同样，如果 YV_2 失电，则仍保持在 YV_2 得电时的工作状态。如果要换向，则需 YV_1 得电。

在图 (e) 中，当电磁铁 YV_1 和 YV_2 都失电时，其工作状态以中间方格的内容来表示，5 孔互不相通。同上述情况一样，如果 YV_1 得电时，则阀的工作状态由邻推 YV_1 的方格中的内容来确定，即 P 与 A 通，B 与 T_2 通。当 YV_2 得电时，阀的工作状态由邻推 YV_2 的方格所表示的内容确定，即 A 与 T_1 通、P 与 B 通。对三位四（五）通电磁阀，在设计控制电路时，同样不允许电磁铁 YV_1 和 YV_2 同时得电。

(4) 液动换向阀 液动换向阀利用控制油路的压力油来推动阀芯实现换向。液压驱动力大，可用于大流量液压传动系统，其图形符号如图 5.2.8 所示。

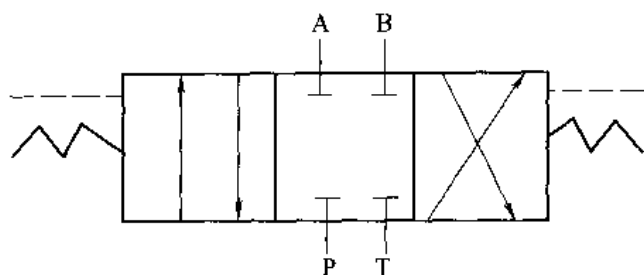


图 5.2.8 液压阀图形符号

液动换向阀的阀芯换位需要利用另一个小换向阀来改变控制油的流向，因此经常与其他控制方式的换向阀结合使用。液压控制阀控制油的换向可用手动阀、机动阀或电磁阀来完成。

(5) 电液换向阀 电液换向阀由电磁换向阀和液动换向阀两部分组成。电磁阀起先导阀的作用，通过它改变控制油路液流方向，从而控制液动换向阀，实现其控制要求，因此液动换向阀为控制主油路换向的主阀。

图 5.2.9 为三位四通电液换向阀的图形符号。当左端电磁铁得电时，控制油路的压力油使电液换向阀的左位工作，主油路油口 P 与 A 相通，而 B 与 T 相通；反之，当右端电磁铁得电时，控制油路的压力油使电液换向阀的右位工作，主油路的油口 P 与 B 相通，而 A 与 T 相通。两端电磁铁都失电时，电液换向阀工作于中位，而 P、T、A、B 之间都不相通。

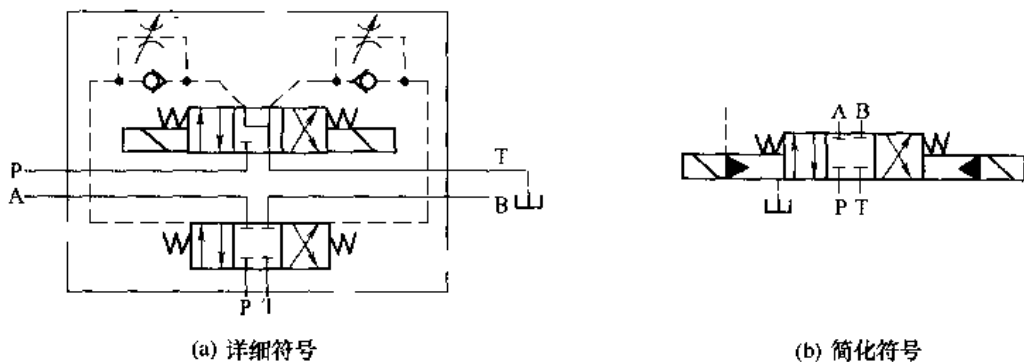







图 5.2.9 三位四通电液换向阀图形符号

(6) 换向阀的中位机能 对于各种操作方向的三位换向阀，都可以根据系统不同的使用要求，在阀芯处于中间（常态）位置时，各油口有不同的连通情况，这种连接方式称为换向阀的中位机能或滑阀机能，如表 5.2.1 所示。

表 5.2.1 三位四通换向阀中位滑阀机能

机能代号	中位图形符号	机能特点和作用
O		各油口全部封闭，缸两腔封闭，系统不卸荷。液压缸充满油，从静止到启动平稳；制动时运动惯性引起液压冲击较大；换向位置精度高
H		各油口全部连通，系统卸荷，缸成浮动状态。液压缸两腔接油箱，从静止到启动有冲击；制动时油口互通，因此制动较O型平衡；但换向位置变动大

续表

机能代号	中位图形符号	机能特点和作用
P		压力油 P 与缸两腔连通, 可形成差动回路, 回油口封闭。从静止到启动较平稳; 制动时缸两腔均通压力油, 因此制动平稳; 换向位置变动比 H 型的小, 应用广泛
Y		油泵不卸荷, 缸两腔通回油, 缸成浮动状态。由于缸两腔接油箱, 从静止到启动有冲击, 制动性能介于 O 型与 H 型之间
K		油泵卸荷, 液压缸一腔封闭一腔接回油。两个方向换向时性能不同
M		油泵卸荷, 缸两腔封闭。从静止到启动较平稳; 制动性能与 O 型相同; 可用于油泵卸荷液压缸锁紧的液压回路中
X		各油口半开启接通, P 口保持一定的压力; 换向性能介于 O 型和 H 型之间

所谓“常态”,是指换向阀的阀芯未受到外部操纵时所处的位置。采用不同中位机能的换向阀,会影响到阀在常态位时执行元件的工作状态,如停止还是运动、前进还是后退、卸荷还是保压等。

二、压力控制阀

压力控制阀简称压力阀,在液压传动系统中用来控制油液压力,或利用压力作为信号来控制执行元件或电器元件动作。

常用的压力阀有溢流阀、顺序阀、减压阀和压力继电器。

1. 溢流阀

溢流阀起稳压溢流作用。当系统负载达到或超过其限定压力时,打开溢流阀,使其压力再也不能上升,对设备起到安全保护作用;在定量泵节流调速系统中用来保持液压泵出口压力恒定,并将泵输出多余的油液溢回油箱。

常用溢流阀有直动型和先导型两种,其图形符号如图 5.2.10 所示。

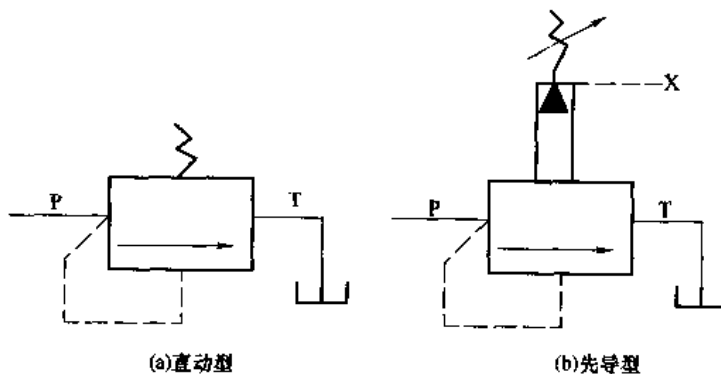


图 5.2.10 溢流阀图形符号

对直动型溢流阀而言，当进口液压力较低时，阀口关闭，将油口 P 与 T 隔开，阀处于关闭状态没有溢流；当液压力超过其限定压力时，阀口打开，油口 P、T 相通，溢流阀溢流，油液从出油口 T 流回油箱，从而保证进口压力基本恒定，系统压力不再上升。

2. 顺序阀

顺序阀的作用是利用液压传动系统的压力变化来控制油路的通断，从而控制某些液压元件按一定顺序动作。顺序阀按结构不同分为直通型和先导型，按控制来源不同又分为内控式和外控式。

图 5.2.11 所示为直通型顺序阀的图形符号，从图中可看出，顺序阀的结构和工作原理与溢流阀很相似，不同之处是：顺序阀的出油口通向系统的另一压力油路，即工作油路，而溢流阀出口接油箱；由于顺序阀进、出油口均为压力油，其泄油口 L 必须单独外接油箱，否则将无法工作，而溢流阀的泄油可在内部连通回油口直接流回油箱；按控制压力来源的不同，溢流阀是进口油压控制，即内控式，而顺序阀既有内控又有外控两种方式。

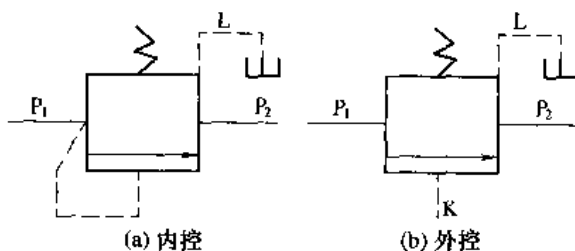


图 5.2.11 直通型顺序阀的图形符号

当顺序阀的进油压力低于预调压力时，阀口关闭；当进油压力超过预调压力时，进出油口接通。

实际使用中，顺序阀与单向阀常以并联形式出现在回路中，因此，将并联的两个阀制成一体，就构成单向顺序阀，其图形符号如图 5.2.12 所示。

顺序阀主要用来控制液压缸（或液压马达）的顺序动作，此外，还可作卸荷阀、背压阀和平衡阀用。图 5.2.13 为专用车床的横向和纵向进给液压缸的顺序动作实例，其顺序动作是：① 车刀先横向进给，② 纵向进给，③ 横向退刀，④ 纵向退刀。图示位置表示当二位四通电磁换向阀 YA_1 失电时，油液首先进入横向液压缸 A 的下腔，车刀横向进给，完成动作①；碰上死挡铁后横向进给停止，油压升高打开顺序阀 C，油液进入纵向液压缸 B 的右腔，车刀纵向进给完成，完成动作②；当进给结束时， YA_1 得电，二位四通电磁换向阀换向，液压缸 A 上腔进油，下腔回油，车刀横向退回，完成动作③；当退至终点时，系统压力升高，打开顺序阀 D，液压缸 B 左腔进油，车刀纵向退回，完成动作④，至此

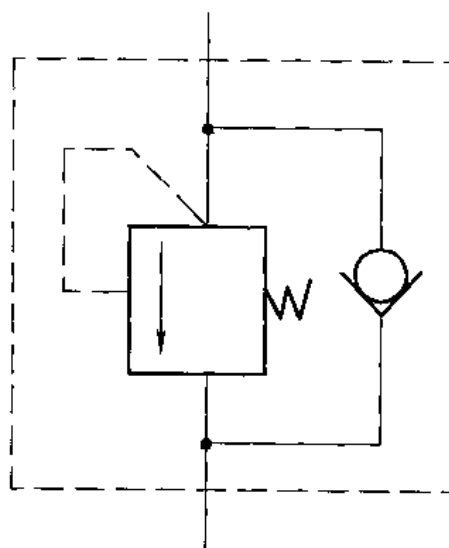


图 5.2.12 单向顺序阀图形符号

完成一个循环。

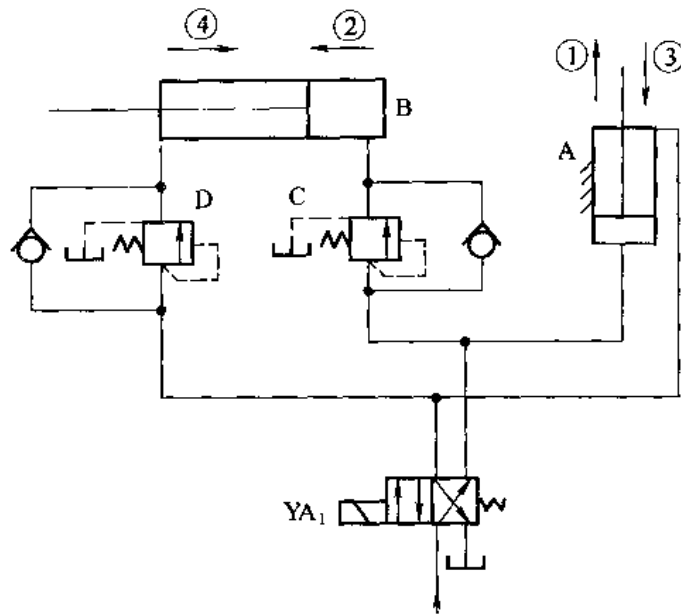


图 5.2.13 顺序阀的应用

3. 减压阀

减压阀是利用液流流过缝隙产生压力降的原理，使出口压力低于进口压力的压力控制阀。减压阀在各种夹紧系统或润滑系统中应用较多。

图 5.2.14 为减压阀的图形符号。先导减压阀与先导溢流阀结构和工作原理相似，但两者的阀芯形状以及油口连接情况有明显差别。在原始状态时，循流阀的进、出油口完全不通，而减压阀的进出口完全通；溢流阀利用进口压力来控制阀芯移动，保持出口压力恒定，而减压阀利用出口压力控制阀芯移动，保持出口压力恒定；溢流阀调压弹簧腔的油液经阀的内部孔通到出油口，而减压阀需单独接油较。

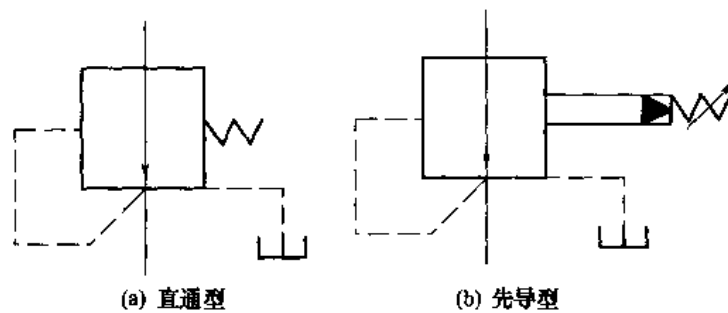
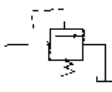

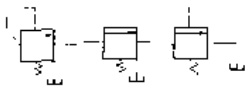


图 5.2.14 减压阀的图形符号

4. 溢流阀、减压阀和顺序阀比较

溢流阀、减压阀和顺序阀的异同点见表 5.2.2。

表 5.2.2 溢流阀、减压阀和顺序阀比较

阀类		溢流阀	减压阀	顺序阀
项目				
图形符号				
控制油路的特点		通过调定弹簧的压力，控制进油路的压力，保证进口压力恒定	通过调定弹簧的压力，控制出油路的压力，保证出口压力恒定	直控式顺序阀是通过调定弹簧的压力控制进油路的压力，而液控式顺序阀由单独油路控制压力
出油口情况		出油口与油箱相连	出油口与减压回路相连	出油口与工作油路相连
泄漏形式		内泄式	外泄式	外泄式
进出口状态及压力值	常态	动断	动合	动断
	工作状态	进出口相通，进口压力为调整压力	出口压力低于进口压力，出口压力稳定在调定值上	进出口相通，进口压力允许继续升高
在系统中的连接		并联	串联	实现顺序动作时串联，作卸荷阀用时并联
功用		限压、保压、稳压	减压、稳压	不控制系统的压力，只利用系统的压力变化控制油路的通断
工作原理	利用控制压力与弹簧力相平衡的原理，改变滑阀移动的开口量，通过开口量的大小来控制系统的压力			
结构	结构大体相同，只是泄油路不同			

5. 压力继电器

压力继电器是将液压信号转换为电信号的转换装置，即系统压力达到压力继电器调整压力时，压力继电器内的微动开关动作，发出电信号，自动接通或断开电路，操纵电磁阀或通过中间继电器，使油路换向、卸压或实现顺序动作要求以及关闭电动机等，从而实现程序控制和安全保护。其图形符号如图 5.2.15 所示。

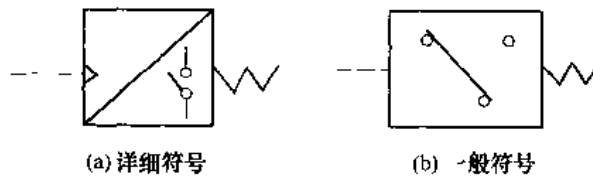


图 5.2.15 压力继电器的图形符号

三、流量控制阀

流量控制阀简称流量阀，它通过改变阀口的通流面积或通道长度来改变液阻，从而调节通过阀口的流量，改变液压缸或液压马达的运动速度。

1. 普通节流阀和单向节流阀

图 5.2.16 (a) 为普通节流阀的图形符号，压力油从进油口 P_1 进入，从出油口 P_2 流出，转动手柄即可调节节流口的开度，以调节流量大小。

节流阀与单向阀并联使用而形成一体称为单向节流阀，图 5.2.16 (b) 为单向节流阀的图

形符号。当压力油从油口 P_1 流入、从油口 P_2 流出时起节流作用；压力油从油口 P_2 进入时，油液不再经过节流口而直接从油口 P_1 流出，这时起单向阀的作用。

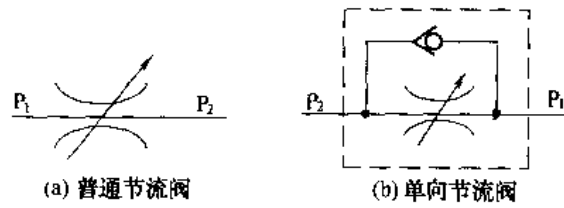


图 5.2.16 普通节流阀和单向节流阀的图形符号

2. 调速阀

调速阀的图形符号如图 5.2.17 所示。调速阀是采用定压减压阀和节流阀串联组合而成的。节流阀用来调节通过的液体流量的大小，定压减压阀则自动补偿负载变化对流量的影响，始终保持节流阀前后的压差恒定不变，使通过节流阀的流量基本稳定，从而控制执行机构的速度稳定。

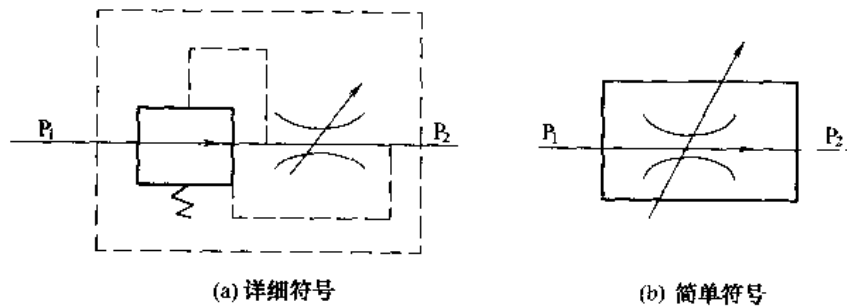


图 5.2.17 调速阀的图形符号

3. 溢流节流阀（普通型调速阀）

普通型调速阀的图形符号如图 5.2.18 所示。普通型调速阀也是一种压力补偿型节流阀，由压差溢流阀和节流阀并联而成，能保证节流阀前后的压差基本不变，从而使通过节流阀的流量基本不受负载变化的影响。

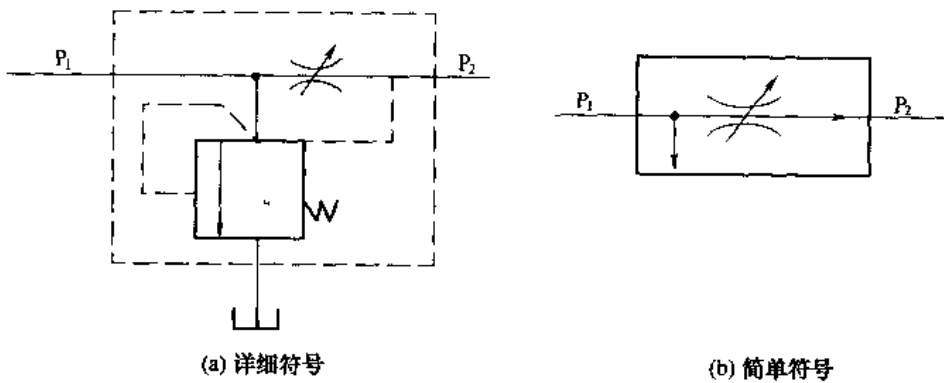


图 5.2.18 普通型调速阀的图形符号

四、二通插装阀

1. 结构和工作原理

二通插装阀又称插装式锥阀。图 5.2.19 (a) 为二通插装阀的结构简图，主要由阀芯、阀套和弹簧等元件组成，有两个管道接口 A、B 和一个控制口 C。控制口 C 控制主油路油口 A 和 B 的启闭，通过主阀芯的启闭，可对主油路的通断起控制作用。使用不同的先导阀构成的压力控制、方向控制或流量控制，也可组成复合控制。

二通插装阀上腔连接先导控制阀，与控制油路相通。当控制油口 C 与油箱相接时，二通插装阀打开，A、B 两油口相通，因此利用先导控制阀使 C 口卸压或加压，即可实现锥阀的启闭。

图 5.2.19 (b) 为二通插装阀的图形符号。

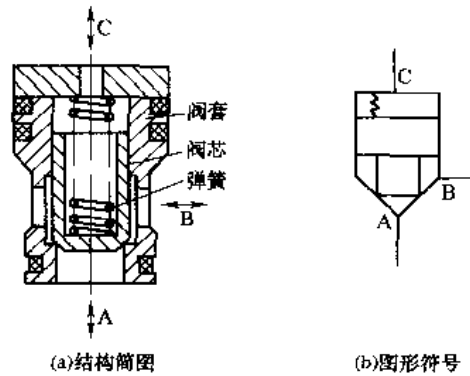


图 5.2.19 二通插装阀

2. 二通插装阀应用举例

(1) 单向阀 将 C 腔与 A 或 B 连通，即成为单向阀，如图 5.2.20 (a)、(b) 所示，在控制盖板上加一个二位三通液动阀（先导阀），就成为液动单向阀，如图 5.2.20 (c) 所示。

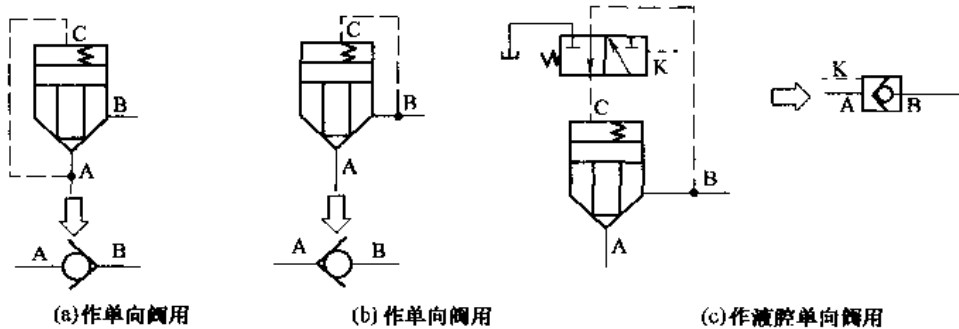


图 5.2.20 插装阀作单向阀用

(2) 换向阀 一定数量的插装元件与相应的先导阀可组成不同的换向阀。图 5.2.21 为两个插装阀和一个二位四通电磁阀（作为先导阀）组成的换向回路，等效于二位三通电磁阀。先导阀处于常态时，右阀上腔进控制油，P 口不通，左阀上腔回油，A、T 口相通，相当于二

位三通阀的右位；当先导阀得电时，右阀上腔回油，左阀打开，使 P、A 口相通，左阀上腔进控制油，左阀关闭，A、T 口不通，相当于二位三通阀的左位。

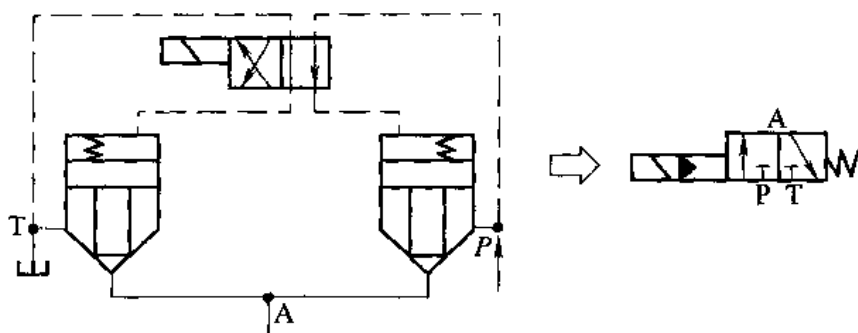


图 5.2.21 插装阀用作二位三通阀

(3) 插装阀用作压力控制阀 图 5.2.22 (a) 为插装阀用作溢流阀的原理图，A 腔压力油经阻尼小孔进入控制腔 C，并与先导压力阀进口相通，B 腔接油箱，这样插装阀的开启压力可由先导压力阀来调节，其工作原理与先导式溢流阀完全相同，当 B 腔不接油箱而接负载时就成为一个顺序阀；在 C 腔再接一个二位二通电磁阀就成为电磁溢流阀（如图 5.2.22 (b) 所示）。图 5.2.22 (c) 所示为减压阀原理图，减压阀的阀芯采用动合的滑阀式阀芯，B 腔为进油口，A 腔为出油口，A 腔的压力油经阻尼小孔后与控制腔 C 相通，并与先导压力阀进口相通，其工作原理和普通先导式减压阀相同。

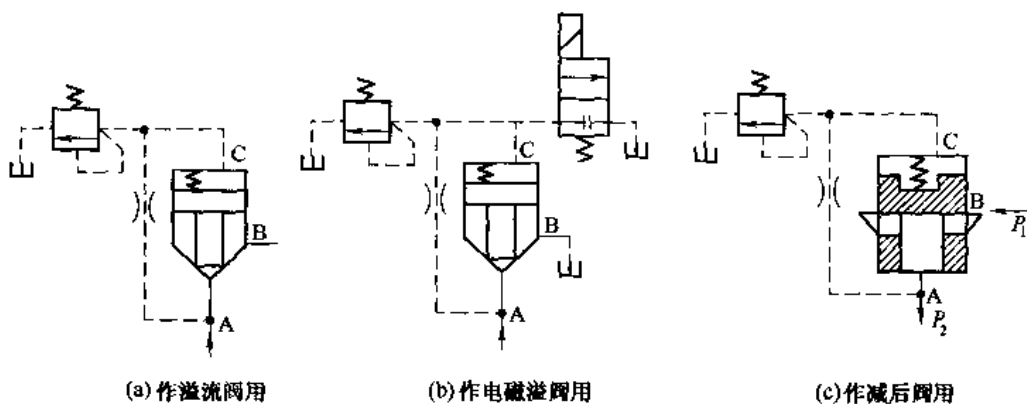


图 5.2.22 插装阀用作压力阀

第三节 液压基本回路

现代机械的液压传动系统越来越复杂，但任何复杂系统不外乎是由一些简单的基本回路组成的。液压基本回路，就是由若干液压元件组成，能够完成某一特定功能的回路。基本回路分为方向控制回路、压力控制回路和速度控制回路 3 种基本类型。掌握它们的工作原理、组成及性能，对分析和设计液压传动系统是必不可少的。

一、方向控制回路

在液压传动系统中，利用方向阀控制油流通、断和换向，使执行元件启动、停止或变换运动方向，这样的回路称为方向控制回路，它包括换向回路和锁紧回路。

1. 换向回路

用二位四通、三位四通（五通）电磁换向阀换向是最普遍采用的换向方法。尤其在自动化程度要求较高的组合机床液压传动系统中应用更为广泛。图 5.3.1 为利用限位开关控制三位四通电磁换向阀动作的换向回路。按下启动控制钮， YA_1 得电，液压缸左腔进油，活塞向右运动。当接通限位开关（2）时， YA_2 得电， YA_1 失电，换向阀切换到右位工作，液压缸右腔进油，活塞向左运动。当接通限位开关（1）时， YA_1 得电， YA_2 失电，换向阀切换到左位工作，液压缸左腔进油，活塞又向右运动。这样往复变换换向阀的工作位置，即可自动变换活塞的运动方向。当 YA_1 和 YA_2 都失电时，活塞停止运动。

图 5.3.2 为电液换向阀的换向回路。当 YA_1 得电时，三位四通电磁换向阀左位工作，控制油路的压力油推动液动阀阀芯右移，液动阀处于左位工作状态，泵输出流量经液动阀输入到液压缸左腔，推动活塞右移。当 YA_1 失电， YA_2 得电时，三位四通电磁阀换向，使液动阀也换向，液压缸右腔进油，推动活塞左移。

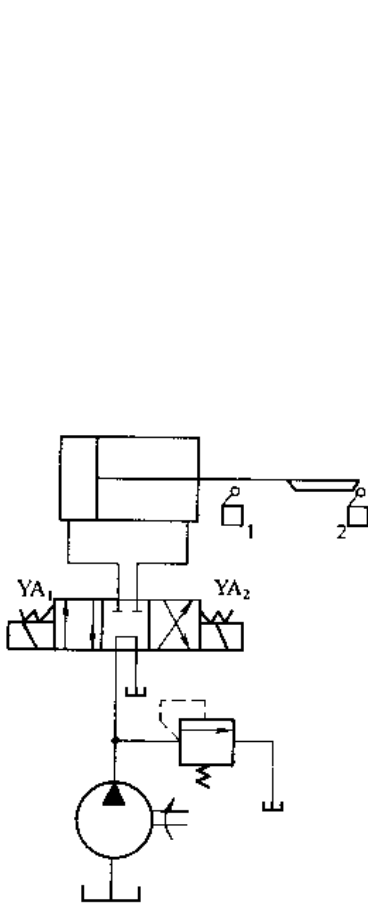


图 5.3.1 电磁换向阀换向回路

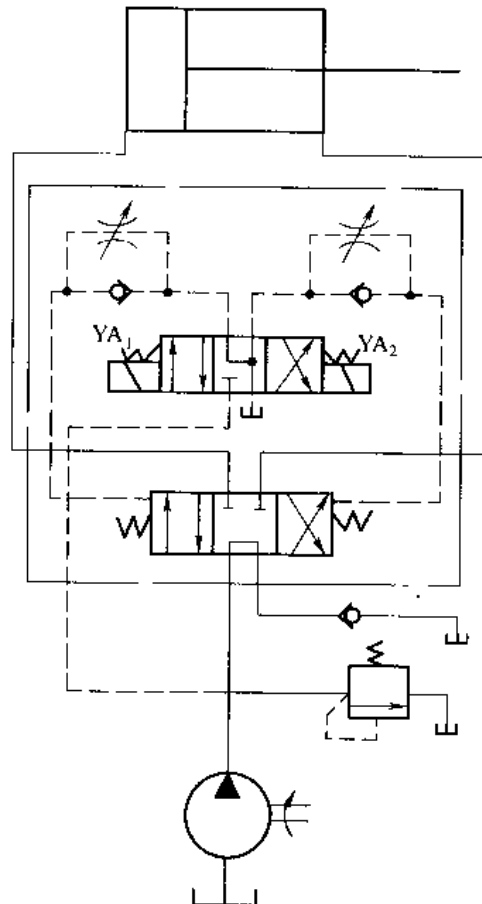


图 5.3.2 电液换向阀换向回路

2. 锁紧回路

锁紧回路的作用是使执行元件(如液压缸)在任意位置停留,且停留后不会因外界影响而发生漂移或窜动。

图 5.3.3 所示为使用两个液控单向阀的锁紧回路,在液压缸两腔的油路上都设置一个液控单向阀。当三位四通电磁换向阀处于中位时,泵停止向液压缸供油,液压缸停止运动。此时两个液控单向阀将液压缸两腔油液封闭在里面,使液压缸锁住。由于液控单向阀的锥阀关闭的严密性,因此密封性能好,即使在外力作用下,活塞也不致于移动,能长时间地将活塞准确地锁紧在停止位置上。

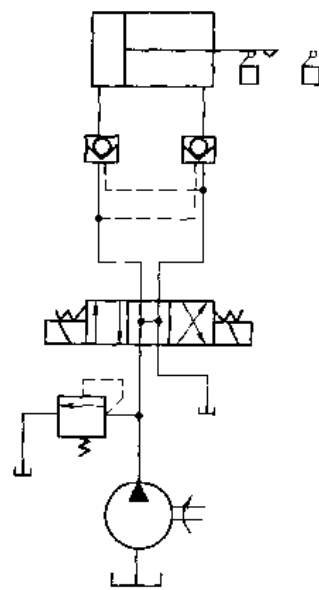


图 5.3.3 用液控单向阀的锁紧回路

二、压力控制回路

压力控制回路是利用压力控制阀控制油液的压力,实现调压、稳压、减压、增压和卸荷等控制,以满足执行元件对力或转矩的要求;或利用压力作为控制信号,控制其他元件动作,以实现某些动作要求。

压力控制回路主要有:调压回路、减压回路、增压回路、卸压回路、保压回路、平衡回路和背压回路等。

1. 调压回路

调压回路用于调定或限制液压传动系统的最高工作压力,或者使执行元件在工作过程中的不同阶段实现多级压力变化。

图 5.3.4 为远程调压回路,将远程调压阀(2)用油管接在先导型溢流阀(1)的外控口上,泵的出口压力由远程调压阀(2)进行远距离调节。远程调压阀(2)仅作调节压力用,而油液仍从溢流阀(主阀)溢回油箱。先导型溢流阀(1)的调整压力必须大于远程调压阀(2)的最高压力,这样系统压力才可能由远程调压阀(2)来调定。

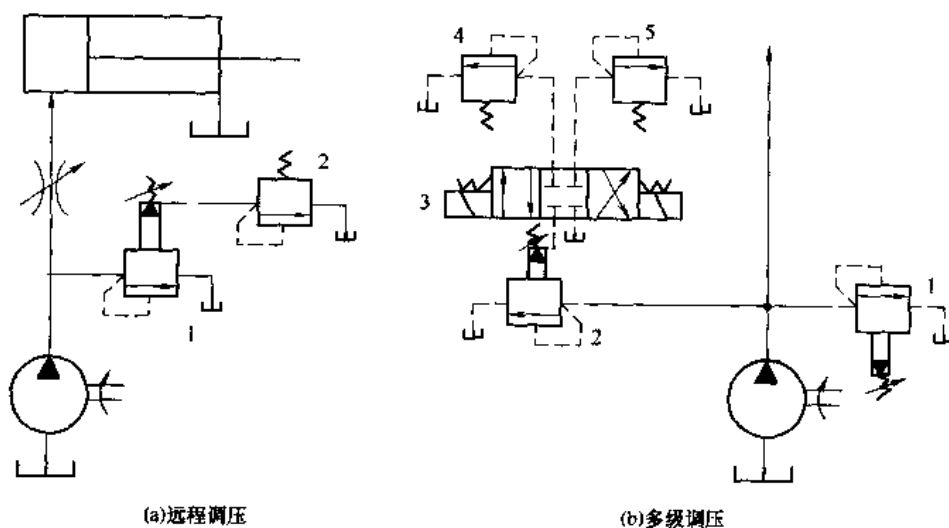


图 5.3.4 调压回路

图 5.3.4 (b) 为多级调压回路，将远程调压阀 (4、5) 通过三位四通电磁换向阀 (3) 与溢流阀 (2) 的外控口相连，使系统得到 3 种压力调定值。当电磁换向阀 (3) 处于中位时，系统压力由溢流阀 (2) 调定；当电磁换向阀 (3) 处于左位时，远程调压阀 (4) 与溢流阀 (2) 外控口相通，构成了远程调压回路，这时系统的压力由远程调压阀 (4) 调定；当电磁换向阀 (3) 处于右位时，远程调压阀 (5) 与溢流阀 (2) 外控口相通，系统压力由远程调压阀 (5) 调定。必须注意，远程调压阀 (4、5) 的调整压力必须小于溢流阀 (2) 的调整压力，远程调压阀才起作用。溢流阀 (1) 作安全阀使用，其调整压力大于溢流阀 (2) 的调整压力。

2. 减压回路

减压回路是使系统某支路获得比系统工作压力低的稳定压力。如机床的工件夹紧、导轨润滑、液压传动系统的控制油路或局部低压系统中，均由减压阀组成减压回路。

图 5.3.5 (a) 为使用单向减压阀的单级减压回路。泵同时向系统和缸 (4) 供油，工作时系统的压力较高（即为泵的压力），缸 (4) 所需的较低压力由减压阀 (2) 调节获得，单向阀 (3) 用于当主油路压力低于减压阀 (2) 的调定值时，防止缸 (4) 的压力受其干扰，起短时保压作用。

图 5.3.5 (b) 为二级减压回路，它是在先导式减压阀 (2) 的遥控油路接入远程调压阀 (3) 来使液压回路获得两种压力。在图示位置上，减压阀出口处的压力由减压阀 (2) 调定；当换向阀换向时，减压阀出口处的压力改由远程调压阀 (3) 调定。远程调压阀 (3) 调定压力必须低于减压阀 (2)，泵的最高工作压力由溢流阀 (1) 调定。

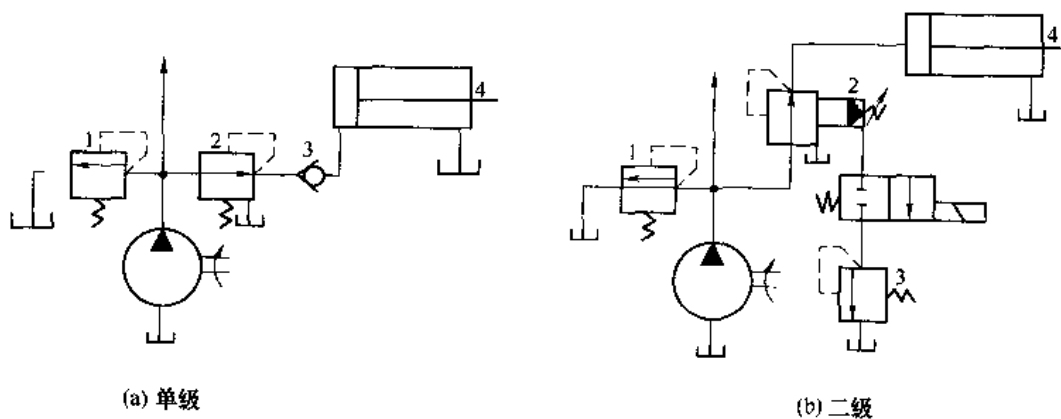


图 5.3.5 减压回路

3. 增压回路

增压回路可以从压力较低液压源获得压力较高的小流量油液，以满足局部系统的压力要求。

(1) 图 5.3.6 (a) 所示为用增压缸组成的单向增压回路。增压缸中有大、小两个活塞，并由一根活塞杆连接在一起。增加倍数由增加缸大小端有效面积之比决定。当二位四通电磁换向阀 (3) 右位工作时，泵输出压力油进入增压缸 A 腔，推动活塞向右运动，右腔油液经

换向阀(3)流回油箱,而B腔输出高压油,油液进入工作缸(6)推动单作用式液压缸活塞下移,增压缸B腔输出油压比液压泵输出油压高。

当换向阀(3)左位工作时,增压缸活塞向左退回,工作缸(6)靠弹簧复位。为补偿增压缸B腔和工作缸(6)的泄漏,可通过单向阀(5)由辅助油箱补油。

用增压缸的单向增压回路,只能供给断续的高压油,因此,它适用于行程较短的、单向作用力很大的液压缸中。

(2)连续增压回路是一个双作用增压缸,并采用电气控制的自动换向回路,如图5.3.6(b)所示。当 YA_1 得电时,增压缸A、B腔输入低压油,推动活塞右移,C腔油液流回油箱,D腔增压后的压力油经单向阀(3)输出,此时单向阀(2、4)关闭。当活塞移至顶端触动行程开关(5)时,换向阀 YA_1 失电, YA_2 得电,换向阀换向,活塞左移,A腔增压后的压力油经单向阀(2)输出。这样依靠换向阀不断换向,即可连续输出高压油。

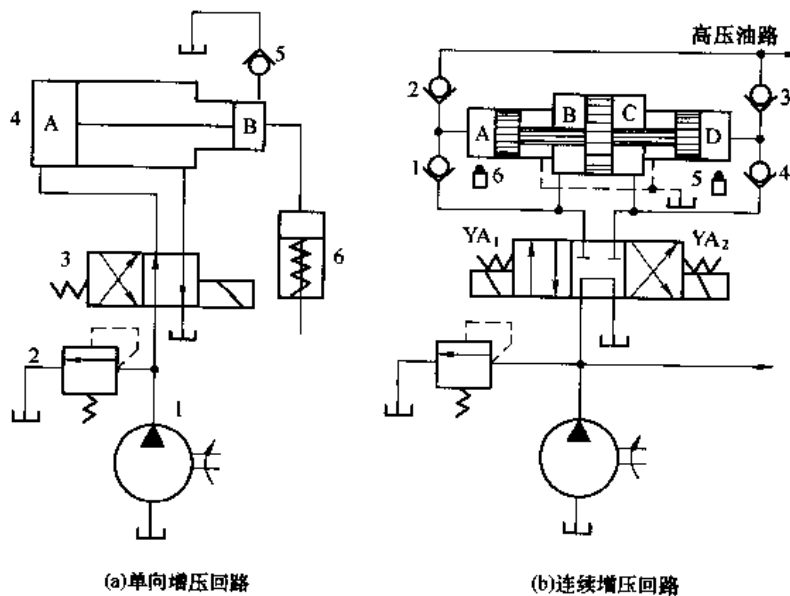


图 5.3.6 增压回路

4. 保压回路

保压回路能使系统在液压缸不动或仅有工件变形所产生微小移动的工况下保持稳定不变的压力。

图5.3.7(a)所示为液控单向阀保压回路,当液压缸(7)上腔压力达到保压数值时,压力继电器发出电信号,三位四通电磁换向阀(3)回复中位,泵(1)卸荷,液控单向阀(6)立即关闭,液压缸(7)上腔油压依靠液控单向阀内锥阀关闭的严密性来保压。由于液控单向阀不可避免地存在泄漏,使压力下降,因此保压时间较短,压力稳定性较差。

图5.3.7(b)所示为蓄能器保压回路。泵1同时驱动主油路切削缸和夹紧油路,夹紧缸7工作,并且要求切削缸空载或快速退回运动时,夹紧缸必须保持一定的压力,使工件被夹紧而不松动。

为此,回路设置了蓄能器6进行保压。加工工件的工作循环是先将工件夹紧后,方可进

行加工，因此泵 1 首先向夹紧缸供油，同时向蓄能器充液，当夹紧油路压力达到压力继电器 5 调定压力时，说明工件已夹紧，压力继电器发出电信号，主油路切削缸开始工作，夹紧油路由蓄能器补偿夹紧油路的泄漏，以保持夹紧油路压力。当夹紧油路的压力降低到一定数值时，泵应再向夹紧油路供油。当切削缸快速运动时，主油路压力低于夹紧油路的压力，单向阀 3 关闭，防止夹紧油路压力下降。

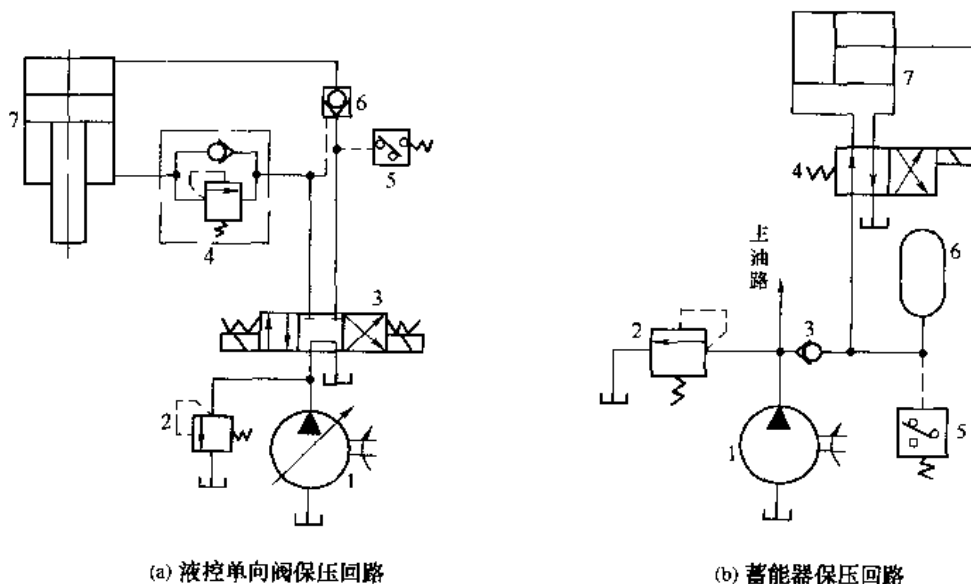


图 5.3.7 保压回路

5. 卸荷回路

在整个液压系统工作循环中，有时要求执行元件短时间停止工作，或保持不动作，而只要求回路保持一定的压力，此时，液压系统不需要或只要少量的压力油，因此应使液压泵在无负荷状态下运转。在液压传动系统中，应设置卸荷回路，使泵输出流量在零压或低压状态流回油箱，以减少功耗，减少油液发热。

图 5.3.8 (a) 所示为电磁换向阀的卸荷回路，泵输出的油液经三位四通电磁换向阀直接流回油箱。采用液动阀或电液换向阀的卸荷回路，必须在回油路上安装背压阀，如单向阀或溢流阀，以保证控制油路具有所需的启动压力。

图 5.3.8 (b) 所示为采用挡块操纵二位二通换向阀的卸荷回路，二位四通手动换向阀处于图示位置时，液压缸返回，当行程至终点时，活塞杆上的挡块自行操纵二位二通换向阀，使泵与油箱连通，泵卸荷，液压缸停止运动。

图 5.3.9 (a) 是用溢流阀的卸荷回路。小型的二位二通电磁阀得电时，溢流阀的遥控口，接通油箱，即可使泵卸荷。

图 5.3.9 (b) 所示为二通插装阀的卸荷回路。由于二通插装阀通流能力大，因而这种卸荷回路适用于大流量的液压传动系统。正常工作时，泵压力由二通插装阀 (1) 调定。当二位四通电磁阀 (2) 得电后，主阀上腔接通油箱，二通插装阀主阀口打开，泵即卸荷。

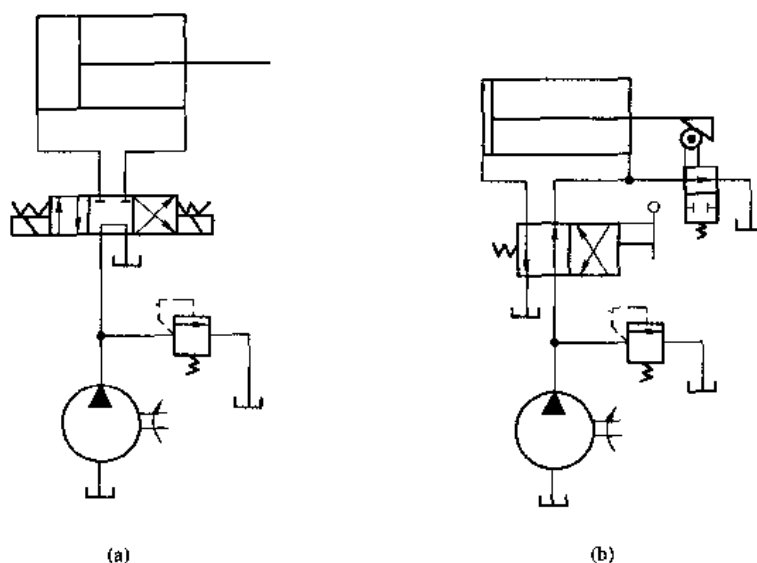


图 5.3.8 电磁换向阀的卸荷回路 (a) 和用二位二通换向阀的卸荷回路 (b)

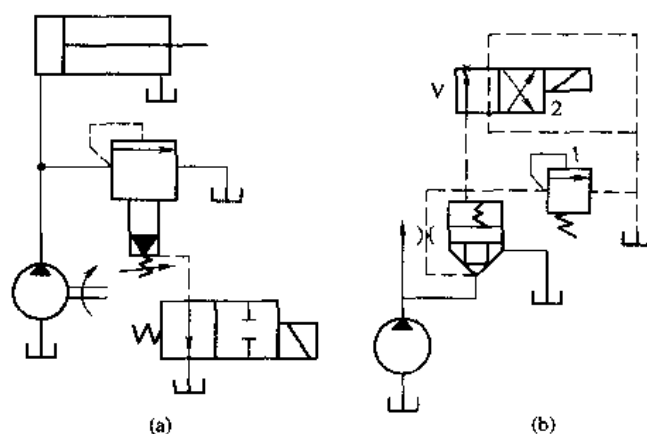


图 5.3.9 用溢流阀的卸荷回路 (a) 和用二通插装阀的卸荷回路 (b)

三、速度控制回路

速度控制回路包括调速回路、快速运动回路和速度变换回路。

1. 调速回路

在机床液压传动系统中，机床的主运动和进给运动对速度都有较高的要求，工作部件在整个工作循环中要求能够调节和变换各阶段的速度。液压传动的最大优点之一，就是能够对运动部件做无级调速。

调速回路利用流量控制阀调节和控制执行元件的运动速度，其形式有节流调速、容积调速和容积节流调速。现仅介绍节流调速回路。

节流调速回路由定量泵、溢流阀、流量控制阀和执行元件组成，如图 5.3.10 所示，采用定量泵供油，通过改变接在回路中流量阀阀口的开度，从而控制进入执行元件的流量，以实现速度控制。

图 5.3.10 (a) 所示为进口节流调速回路。流量阀安装在定量泵和液压缸之间，即液压缸的进油路上，通过调节流量阀阀口的大小，即调节流入液压缸的流量，来控制液压缸的运动速度。定量泵输出的多余流量经溢流阀溢回油箱。

图 5.3.10 (b) 所示为出口节流调速回路。流量阀串联在液压缸和油箱之间，即安装在液压缸的回油路上，由流量阀控制与调节排出液压缸的流量，从而调节活塞的运动速度。进入液压缸的流量受排出流量的限制，因此由流量阀调节排出液压缸的流量，也就调节了进入液压缸的流量。定量泵输出的多余油液经溢流阀流回油箱。

图 5.3.10 (c) 所示为旁油路节流调速回路。流量阀安装在与液压缸并联的支路上，液压泵输出的流量，一部分进入液压缸，另一部分经流量阀流回油箱。调节流量阀阀口的大小，即可控制进入液压缸的流量，实现对液压缸运动速度的调节。

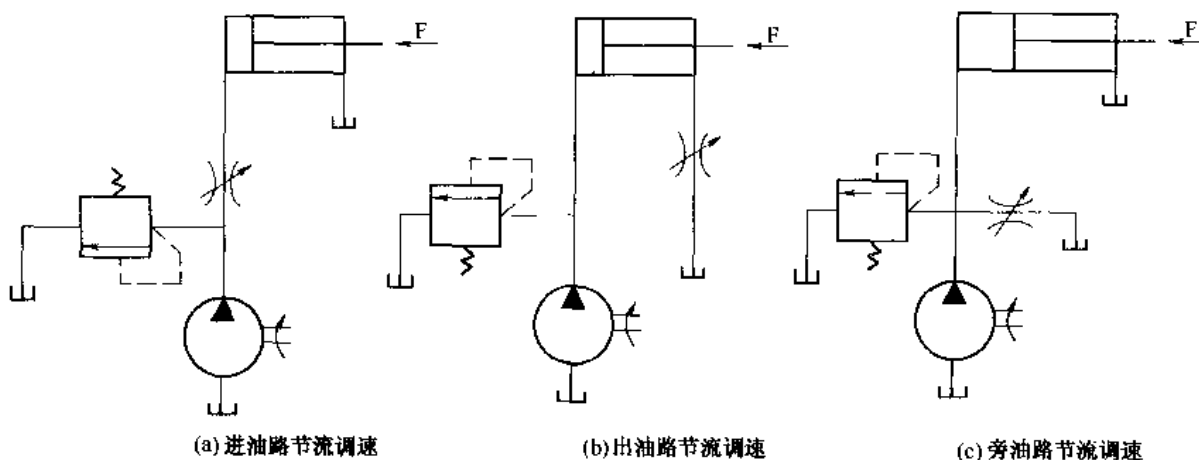


图 5.3.10 调速回路

2. 快速运动回路

快速运动回路用于使执行元件获得必要的高速，以提高系统的工作效率。执行元件在空行程时都需要快速运动，而执行元件在一个工作循环过程中，不同的阶段要求有不同的运动速度来承受不同的负载。例如，快进→工件进给→快退的自动工作循环，在快进和快退阶段，工作机构空载，速度快，因此要求液压传动系统压力低而流量大；工件进给时，工作机构有较大的负载，运动速度低，因而要求液压传动系统的压力高而流量小。通常，根据工作阶段要求的运动速度和承受负载的情况来决定液压泵的流量和压力。

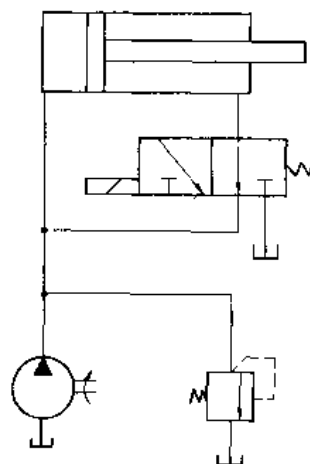
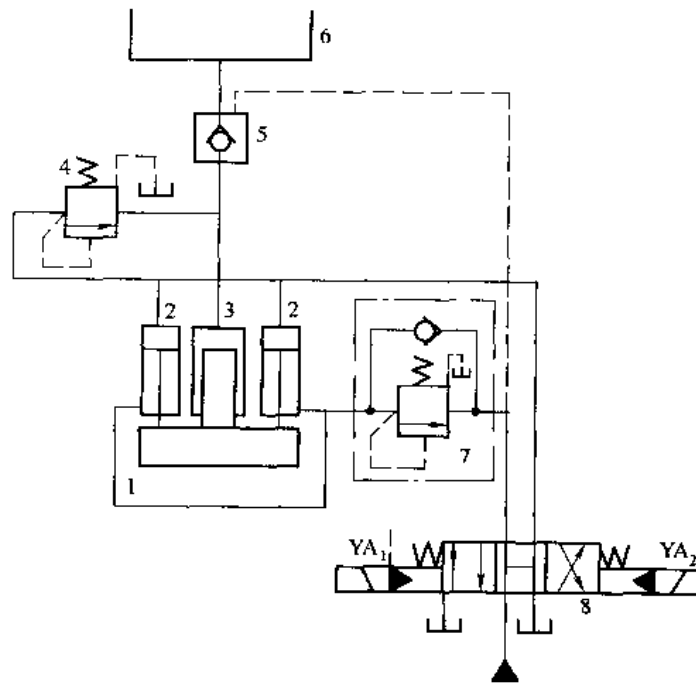


图 5.3.11 液压缸差动连接快速运动回路

(1) 液压缸差动连接的快速运动回路 如图 5.3.11 所示，换向阀处于原位时，液压缸有杆腔的回油和液压泵的供油合在一起，进入液压缸的无杆腔，使活塞快速向右移动。

(2) 用辅助缸的快速运动回路 图 5.3.12 为用辅助缸实现快速运动的回路。回路中共有三个液压缸，中间柱塞缸 (3) 为主缸，两侧直径较小的液压缸 (2) 为辅助缸。当电液换向

阀处于右位时，压力油只能进入辅助缸上腔，其下腔则经单向顺序阀（7）回油，以产生一定背压，起平衡滑块自重的作用。由于辅助缸的有效工作面积小，因此滑块快速下行，而主缸上腔则经液控单向阀（5，也称充液阀）从油箱（6）吸入油液。当滑块（1）触及工件后，系统压力上升，打开顺序阀（4），压力油进入主缸（3），三个液压缸同时进油，速度降低，转为慢速加压行程。当电磁换向阀（8）处于左位时，液压缸回程，充液阀（5）开启，主缸油液排回充油箱（6）。



1—滑块 2—辅助缸 3—主缸 4—顺序阀 5—充液阀
6—油箱 7—单向顺序阀 8—电磁换向阀

图 5.3.12 用辅助缸的快速运动回路

3. 速度换接回路

速度换接回路的作用是使液压执行元件在一个工作循环中，从一种运动速度变换到另一种运动速度。例如在机床上，刀具对工件进行的切削加工循环为：快速趋近→Ⅰ工进→Ⅱ工进→快速退回。在这样的工作循环中，刀具首先快速接近工件，然后以第Ⅰ种工进速度（慢速）对工件进行加工，接着又以第Ⅱ种工进速度（更慢的速度）对工件进行加工，加工完毕，快速退回原位。因此，刀具的运行速度由快速→慢速→更慢的速度→快速运动。

（1）快速与慢速的换接回路 图 5.3.13（a）所示为一个能使执行元件按照快进→工进→快退→停止这一自动循环运动的液压回路。这种循环可用动作循环图 5.3.13（b）表示，图示状态为快退至原位的状态。当二位四通电磁阀（7）得电时，自动循环开始，由于此时二位二通行程阀（4）处于导通的位置，液压缸（1）回油路没有阻力，活塞快进。当挡块（2）将行程阀（4）压下时，液压缸（1）必须经过调速阀（5）回油，其速度减慢，成为工作进给。当活塞继续运动，挡块碰到行程开关（3）后，电磁阀（7）失电，活塞退回。此时由于单向阀（6）的存在，液压缸进、回油路上都没有阻力，因此为快速。当退到终点时，活塞停止运动。

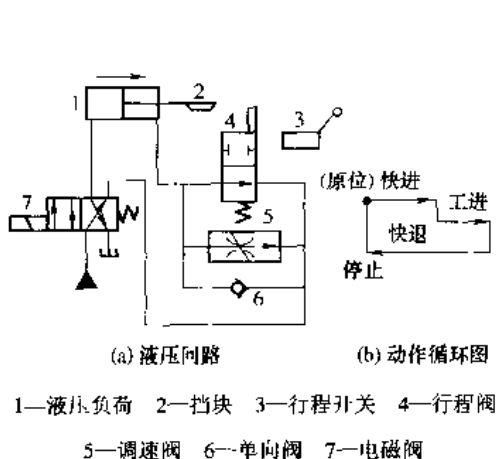


图 5.3.13 快速与慢速换接电路

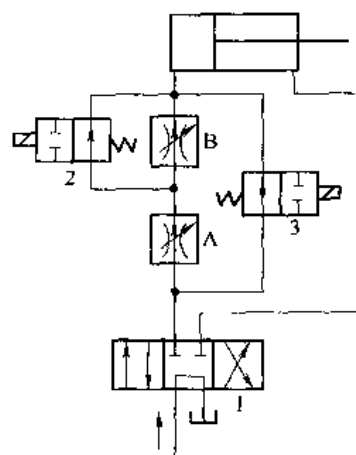


图 5.3.14 串联调速阀的两慢速换接回路

(2) 两种慢速换接回路 图 5.3.14 所示为两调速阀串联的两个工进速度换接回路。当阀(1)在左位工作且阀(3)断开,而控制阀(2)处于右位时,油液经调速阀 A 进入液压缸左腔;而控制阀(2)处于左位时,油液既经 A 又经 B 才能进入液压缸左腔,从而实现两种工进速度的换接。值得注意的是,阀 B 的开口需调得比 A 小,即第二种工进速度必须比第一种工进速度低。此外,这种回路因调速阀 A 一直处于工作状态,换接平稳性较好,但能量损失较大。

第四节 组合机床的电气控制电路

组合机床是以独立的通用部件为基础,配以部分专用部件组成的高效率专用机床。通常采用多刀、多面、多工位和多工序的加工方式,适用于小批、大批和大量生产企业,多用于加工大、中型箱体类工件,可完成钻孔、扩孔、铰孔,加工各种螺纹、镗孔、车端面和凸台,在孔内镗各种形状槽,以及铣削平面和成形面等。

组合机床的通用部件有动力部件(如动力箱、动力滑台等)、支承部件(如床身、滑座、立柱等)、输送部件(如回转工作台、回转鼓轮等)、控制部件(如液压部件、控制板、按钮台等)以及辅助部件(如机械扳手、润滑装置、夹紧装置等)。

组合机床的电气控制系统大多采用机械、液压(或气动)、电气相结合的控制方式,是典型的机电或机电液一体化的自动化加工设备。动力部件采用电动机液压传动系统驱动,由电气系统进行自动循环控制。因此,在了解组合机床的电气控制系统时,应注意分析机、电、液(或气)之间的相互关系。

多动力部件构成的组合机床,其控制通常有三方面的工作要求:一是动力部件的点动及复位控制;二是动力部件的单机自动循环控制(也称半自动控制);三是整批全自动工作循环控制。

本节首先介绍怎样看电液控制图,然后介绍组合机床通用部件的电液控制,最后介绍双面单工位组合机床电气控制电路。

一、怎样看电液控制图

液压传动系统图又称液压传动图，是由各种液压元件及辅件等图形符号组成的，表示液压传动系统工作原理的简图，也是表示执行元件完成某些动作的工作原理图，它反映液压设备所完成的动作顺序、调速方式、液压元件型号和规格等。

1. 看液压传动图的方法

首先要很好地掌握液压知识，熟悉各种液压元件的工作原理、功用和特性；其次要了解并掌握液压传动系统的各种基本回路和油路的一些基本性质；再次要熟悉液压传动系统的各种控制方法及图中的符号标记。

如果液压传动图附有说明书和动作顺序表，则可按说明书逐一对照阅读。如果没有说明书，而只有一张系统图（图上可能附有工作循环表、电磁铁动作顺序表或简单说明），这时就要通过分析各元件的作用及油路的连通情况，弄清系统的工作原理。

看液压传动图，一般可按下列步骤进行：

(1) 了解液压传动系统的用途、工作循环、应具有的性能和对液压传动系统的各种要求等。例如看外圆磨床的液压传动图时，应当了解外圆磨床的用途是磨削外圆表面，因此要求液压传动系统应能实现工作台的往复运动、砂轮的快速进退和周期进给等工作循环；有的还要求能实现液压驱动工件旋转。在性能上，要求液压传动系统应具有使工作台换向精度高、运动平稳、往复运动速度不高、调速范围不大和砂轮进给比较恒定等特点。

(2) 根据工作循环、工作性能的要求等，分析需要哪些基本回路，并弄清各液压元件的类型、性能和相互间的连接关系及功用。为此，首先要弄清楚图中的元件及其图形符号、专用元件的工作原理及性能；其次找出液压缸或液压马达；再次看各种控制装置；最后看辅助装置等。在此基础上，根据工作循环和工作性能要求分析必须具有哪些基本回路，并在液压传动原理图上逐一查接出每条基本回路。

(3) 按照工作循环顺序，仔细分析并依次找出完成各个动作的相应油液流经路线，为了便于分析，在分析之前最好将液压传动系统中的每个液压元件和各条油路编上号码。

看油液流经油路时，要分清主油路和控制油路。对于主油路，应从液压泵开始，一直到执行元件，这就构成进油路线，然后再由执行元件回油一直读到油箱（闭式系统则回到液压泵）。这样分析，目标明确，不易搞乱。

(4) 在分析各种状态时，要特别注意从一种工作状态转换到另一种工作状态，是由哪些发信元件发出的信号，使哪些控制元件动作，从而改变哪些通路状态，达到何种状态的转换。

在看图时还要注意，主油路和控制油路是否有矛盾，是否相互干扰等。

在分析各个动作油路的基础上，列出电磁铁和其他转换元件的动作顺序表。

2. 电气控制电路图

在前面第二章第三节、第四章第一节已作过介绍，此处不再重述。

3. 液压传动系统图和电气控制电路图的联系

液压传动系统图和电气控制电路图通过电磁铁、行程开关、按钮和压力继电器等进行

联系。

电磁铁在两种图上都能找到，按钮、行程开关在电气控制电路图上能找到，而在液压传动系统图上有的并不标注。

(1) 根据液压传动系统图分析电气控制电路图。如果有液压传动系统电磁铁和其他转换元件的动作顺序表，那么就可以根据液压传动系统的动作顺序表分析电气控制电路。

(2) 根据电磁铁进行分析。当液压传动系统图上没有给出电磁铁和其他转换元件的动作顺序表时，由于这两种图上都有标注有电磁铁符号，因此以电磁铁作为看图的起点，再结合说明书，找出行程开关、压力继电器的动作过程，就能得出电磁铁和其他转换元件的动作顺序表。

(3) 通过液压传动系统的电磁铁动作顺序，在电路图上找出电磁铁所在的图区，然后分析电气控制电路图如何满足电磁铁的动作顺序要求，为了满足这些要求，就应有相应的行程开关、压力继电器触头、按钮动作，再去分析液压传动系统如何使这些行程开关、压力继电器动作。

(4) 根据电气控制电路图上电磁铁的动作顺序去分析液压传动系统图，结合产品说明书，通过电气控制电路图初步分析出电磁铁的动作顺序，并找出作相应动作的行程开关、压力继电器触头等，然后以此为依据去分析液压传动系统图，验证电气控制电路的分析是否准确。通过液压传动系统分析，再去修正对电气控制电路的分析，这样经过几次反复就能搞清楚两张图的关系。

二、液压动力滑台的电液控制及其控制电路

液压动力滑台是组合机床上用以实现进给运动的通用动力部件。滑台由液压缸拖动工件作进给运动，根据被加工工件的要求实现不同的工作循环。液压动力滑台通过液压传动系统可方便地进行无级调速，且正反向平衡，冲击力小，便于频繁地换向工作。

液压动力滑台是一种他驱式动力部件，由滑台、滑座和液压缸 3 部分组成，由于其自身不带液压泵、油箱等装置，需设专门的液压站及其配套装置，由电动机带动液压泵送出压力油，经电气、液压元件的控制，推动油缸中的活塞来带动工作台的运动。

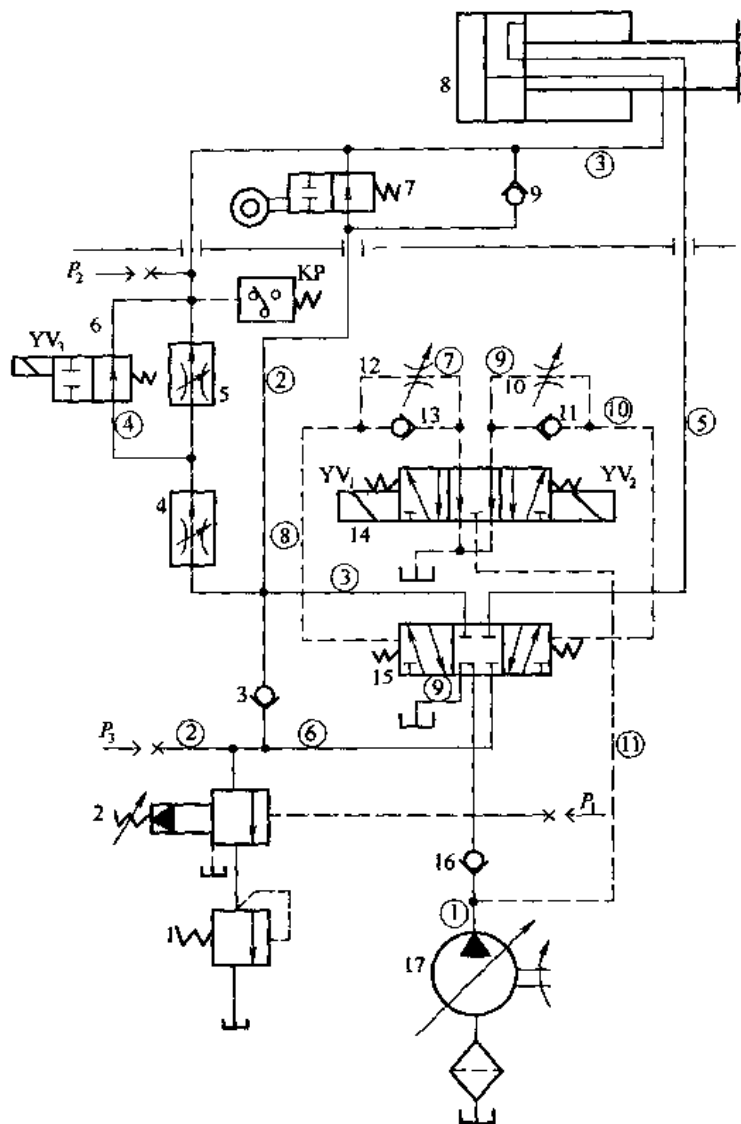
根据加工工艺要求，液压动力滑台可组成一次工作进给、二次工作进给、死挡铁停留、跳跃式进给、反向进给和分级进给等多种工作循环。

图 5.4.1 为液压动力滑台二次进给液压传动系统图，图中圆圈内的数为油路号码；图 5.4.2 为其工作循环图。

表 5.4.1 二次工作进给电气控制电路元件动作表

元件 工步	YV ₁	YV ₂	YV ₃	行程阀	KP
快进	+	-	-	-	-
I 工进	+	-	-	+	-
II 工进	+	-	+	+	-
死挡铁停留	+	-	+	+	-/+
快退	-	+	-	+/-	-
原位	-	-	-	-	-

注：“+”为得电，“-”为失电。



1—背压阀 2—顺序阀 3、9、11、13、16—单向阀 4、5—调速阀 6—二位二通电磁阀
7—二位二通行程阀 8—液压缸 10、12—节流阀 14、15—三位五通换向阀 17—变量泵

图 5.4.1 液压动力滑台液压传动系统图

图 5.4.3 为具有二次工作进给电气控制电路，表 5.4.1 为元件动作表。

【看图思路】

(1) 液压动力滑台液压传动系统中各液压元件的作用

① 液压泵 (17) 该泵为限压式变量泵，随负载的变化而输出不同流量的油液，以适应快速运动和工作进给 (慢速) 的要求。

② 液压缸 (8) 该液压缸为活塞杆固定的差动液压缸。活塞杆较粗，无杆路与有杆腔的有效工作面积之比为 2:1，使快速进给和快速退回的速度相等。

③ 电液慢向阀 由三位五通液动换向阀 (15) 和三位五通电磁换向阀 (14) 组成，用以控制液压缸的运动方向。

④ 调液阀 (5 和 4) 这两个阀串联在进液路上，实现节流调速。由调液阀 (4) 控制

I工进速度（慢速），由调速阀（5）控制 II工进速度（更慢速），由二位二通阀（6）控制两种工进速度的换接。

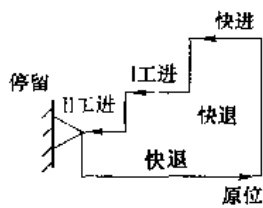


图 5.4.2 液压动力滑台液压传动系统工作循环图

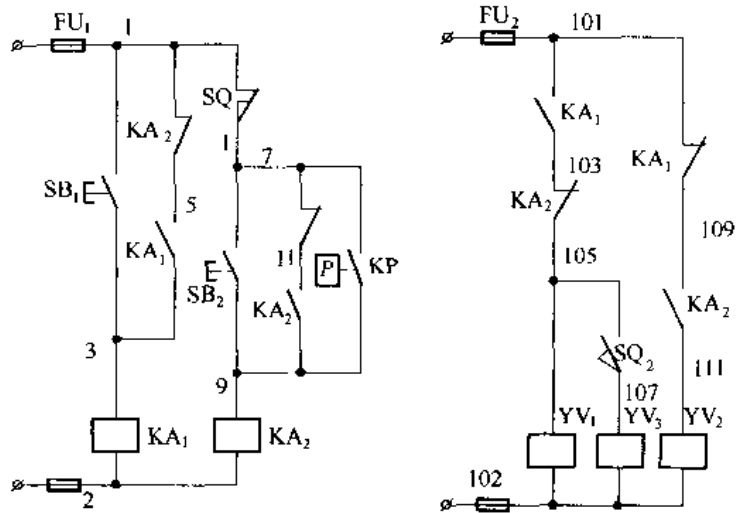


图 5.4.3 次工作进给电气控制电路

⑤ 行程阀（7） 用于控制快进和工进的速度换接。

⑥ 背压阀（1） 由于采用进口节流调速，液压缸运动的平稳性差，因此在回油路上设置背压阀，用以提高液压缸运动的平稳性。

⑦ 顺序阀（2） 液压缸快进时，系统压力低，顺序阀（2）关闭，使液压缸形成差动连接；在工进时，由于系统压力升高，顺序阀（2）打开，回油经背压阀（1）流回油箱。

⑧ 单向阀（3） 液压缸工进时，单向阀（3）将进油路与回油路隔开。

⑨ 单向阀（16） 除防止油液倒流，保护液压泵外，在该回路中，主要是使控制油路具有一定的压力，用以控制三通五位换向阀（14、15）的启动。

⑩ 压力继电器（KP） 控制电液换向阀（14、15），使液压缸快速退回。

（2） 液压动力滑台液压传动系统可完成的工作循环

液压动力滑台液压传动系统可完成的工作循环：快进→I工进→II工进→死挡铁停留→快退→原位停止，见图 5.4.2。

【看图实践】

（1）快进

液压泵（17）启动后，按下启动按钮（SB₁），使中间继电器（KA₁）得电吸合并自锁，其动合触头 KA₁（101-103）闭合，使电磁铁 YV₁ 得电，其动断触头 KA₁（101-109）断开，使电磁铁 YV₂ 不能得电。由于 YV₁ 得电，YV₂ 不能得电，使电磁换向阀（14）左位工作，进而使液动换向阀（15）左位工作，变量泵（17）输出的压力油，沿主油路①→辅助油路（11）→电磁换向阀（15）的左位→辅助油路⑦→单向阀（13）→辅助油⑧→液动换向阀（15）的左位→把三通五位阀（15）推向右端→右端的回油经辅助的油管⑩→节流阀（10）→辅助油路⑨→回油箱。于是接通工作油路，液压泵输出的压力油→单向阀（16）→液动换向

阀(15)的左位→主油路②→行程阀(7)右位→主油路③→液压缸(8)左位, 液压缸带动滑台滑向右运动。液压缸右腔的油液经主油路⑤→液动换向阀(15)的右位→主油路⑥→单向阀(3)→主油路②→行程阀(7)的右位→主油路③→又进入液压缸(8)的左腔, 实现差动联接。由于液压缸快进时不进行切削加工, 滑台负载小, 系统压力较低, 因此顺序阀关闭, 变量泵在低压控制下输出最大流量, 使滑台快速进给。

(2) 一次工作进给

当滑台快速前进到预定位置, 滑台上的挡铁压下行程阀(7), 切断主油管②、③之间的通路。这时来自液压泵的压力油→主油管①→单向阀(16)→液动换向阀(15)的左位→主油路②→调速阀(4)→主油路④→二位三通阀(6)左位→主油路③→液压缸左腔。滑台由快进转入一次工作进给, 进给速度由调速阀(4)来控制。

由于系统压力较高, 工作进给时负载大, 油压升高, 顺向阀被打开, 液压缸右腔的回油→主油路⑤→换向阀(15)→主油路⑥→顺向阀(2)→背压阀1→油箱。

这时变量泵由于系统压力升高而自动减小其输出流量, 刚好适应一次工作进给的需要。由于油路工作状态的变化是由行程阀(7)来实现的, 因此电路工作状态并未改变。

(3) 二次工作进给

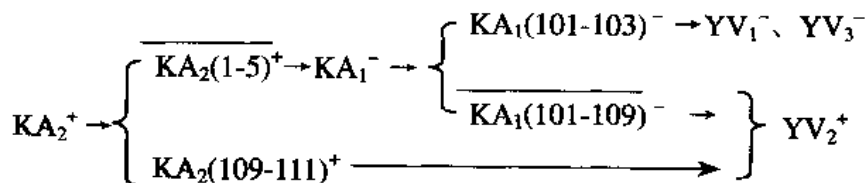
当滑台一次进给结束时, 挡铁压下行程开关 SQ_2 , 其动合触头 $SQ_2(105-107)$ 闭合, 使电磁铁 YV_3 得电吸合, 二位三通阀(6)的左位工作, 切断主油路④、③之间的通路, 使液压泵的压力油→液动换向阀(15)的左位→调速阀(4、5)→主油路③→液压缸左腔, 滑台由一次工作进给转为二次工作进给。液压缸右腔回油路线与一次工作进给相同。由于调速阀(5)的通油截面比阀(4)小, 因此二次工作进给速度较一次工作进给速度慢, 其速度大小由调速阀(5)调节。在整个二次工作进给过程中, 行程开关 SQ_2 一直受压。

(4) 死挡铁停留

当工作进给结束时, 滑台碰上死挡铁, 滑台不再前进, 停留在死挡铁处。设置死挡铁可提高滑台停留时的位置精度。

(5) 快速退回

滑台碰上死挡铁停止运动时, 液压泵仍向液压缸中供油, 因此系统压力进一步升高。当液压缸左腔压力升高到压力继电器 KP 的整定值时, 其动合触头 $KP(7-9)$ 闭合, 发出信号, 使中间继电器 KA_2 得电吸合:



由于 YV_1 失电、 YV_2 得电, 电磁阀(14)和液动换向阀(15)换向, 处于右路工作。此时, 液压泵的压力油→主油路①→单向阀(16)→换向阀(15)右位→主油路⑤→液压缸右腔, 液压缸左腔的油经单向阀(9)→主油路②→换向阀(15)左位→流回油箱。液压缸带动工作台快速退回。这个过程由于进油管路、回油管路均未经过调速阀, 且滑台退回时负载小, 油压低, 变量泵输出流量最大, 滑台快速退回。

(6) 原位停止

当滑台退到原位时，挡铁压下原位行程开关 SQ_1 ，其动断触头 SQ_1 (1-7) 断开，使 KA_2 失电释放，其动合触头 KA_2 (109-111) 复位断开，使电磁铁 YV_2 失电。由于 YV_1 、 YV_2 均失电，因此液动换向阀 (14) 在其两边弹簧力的平衡力作用下回到中间位置。同时，液动换向阀 (15) 封闭，滑台停止运动。其他阀也回到工作前的状态。这时液压泵输出的油经单向阀 (16)、液动换向阀 (15) 排回油箱，液压泵在低压卸荷。

三、带定位夹紧的一次进给系统控制电路

在组合机床中，往往要求几个执行机构按一定的工艺要求和顺序工作。如加工开始时，先将工件定位夹紧，而后开始加工，当加工结束退回原位时，自动拨销松开工件，实现整个加工过程的自动循环。

带定位夹紧的一次进给油路系统如图 5.4.4 所示，其电气控制电路如图 5.4.5 所示，元件工作状态如表 5.4.2 所示。

表 5.4.2 元件动作表

元件 工步	YV_1	YV_2	YV_3	YV_4	YV_5	行程阀	KP_1	KP_2
原位	-	-	-	(+)	+	-	-	-
定位夹紧	-	-	+	-	-	-	-	+
快进	+	-	(+)	-	-	-	-	+
工进	+	-	(+)	-	-	+	-	+
死挡铁停留	+	-	(+)	-	-	+	-/+	+
快退	-	-	(+)	-	-	+/-	-	+
松开拨销	-	-	-	+	-	-	-	-

注：“(+)”为可继续保持通电。

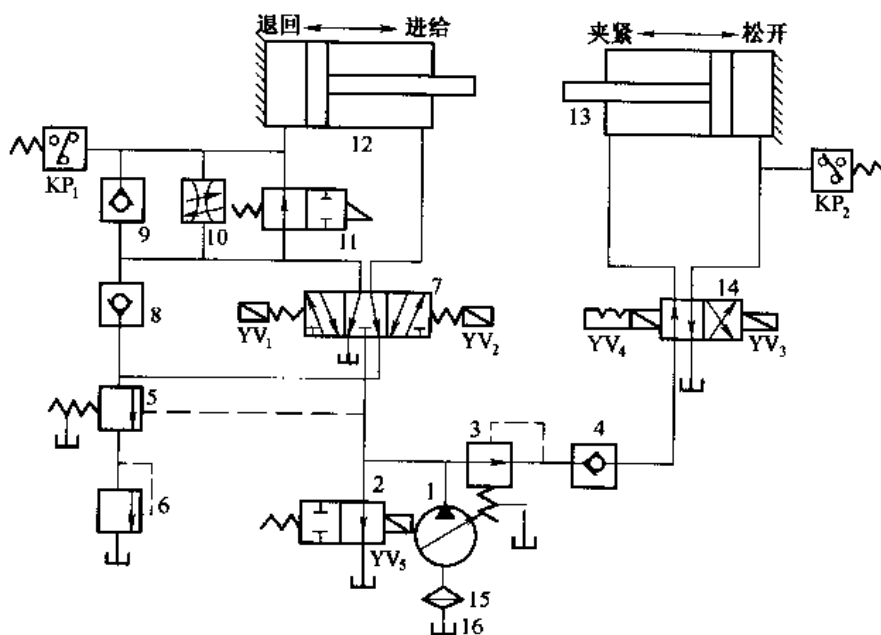


图 5.4.4 带定位夹紧一次进给油路系统图

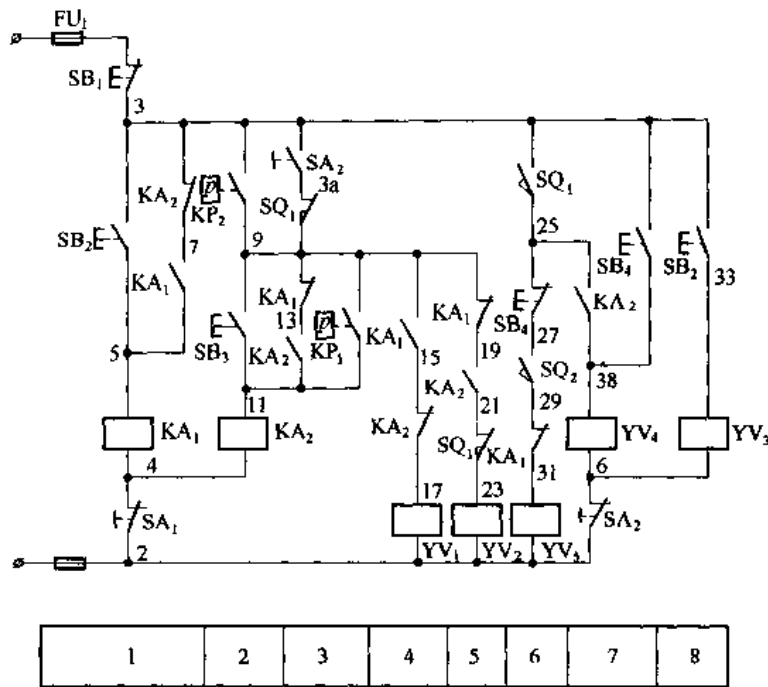
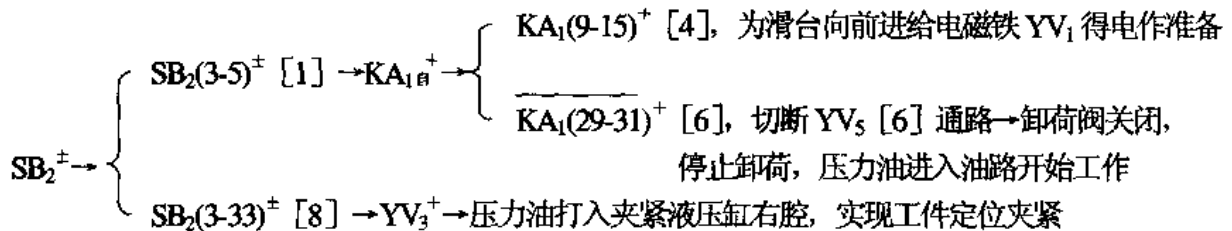


图 5.4.5 带定位夹紧的一次进给电气控制电路图

带定位夹紧的一次工作进给的液电控制工作情况：液压泵电动机启动后，液压泵打出高压油，液压部件尚未开始工作，滑台停在原位，SQ₁处于被压下状态，卸荷电磁阀 YV₅得电，使液压泵打出的高压油经卸荷阀流回油箱。

系统开始工作时，按下工作开始按钮 SB₂[1]（SB₂为复合按钮），其动合触头 SB₂（3-5）闭合：

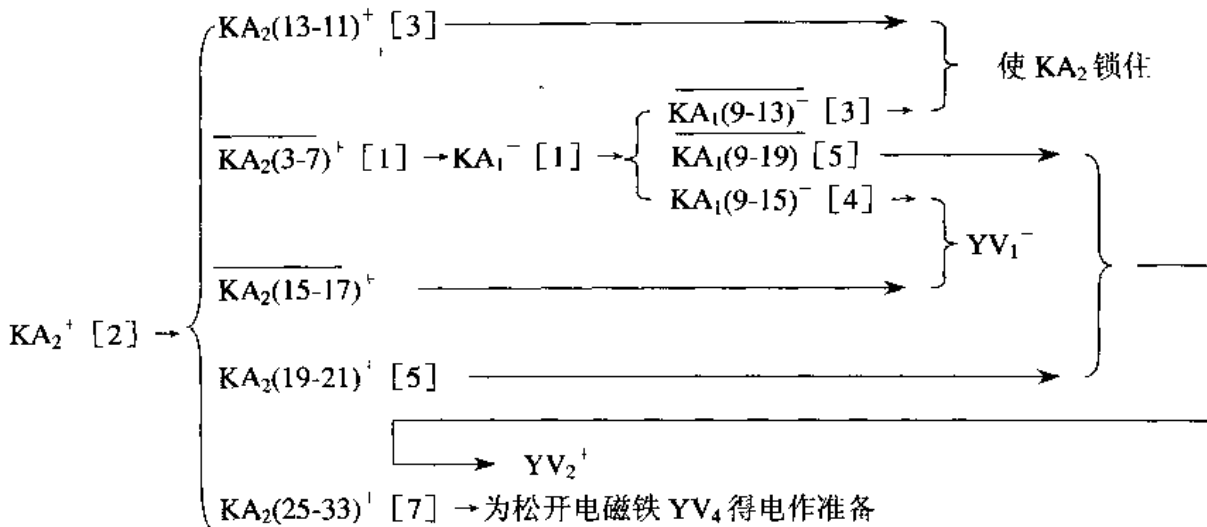


工件夹紧后，油路压力逐渐升高，压力继电器（KP₂）工作，其动合触头 KP₂（3-9）[2]闭合，发出信号，使电磁铁（YV₁）得电，电磁换向阀（7）工作在左位，压力油经换向阀（7）左位打入液压缸的左腔，滑台快速进给。

当挡铁压下行程阀时，调速阀接入油路，进油量减少，滑台转入工作进给。此时，电路工作状态不变。

加工至终点，死挡铁停留，滑台停止前进，压力继电器（KP₁）动作，其动合触头 KP₁（9-11）[3]闭合，使 KA₂[2]得电吸合：

YV₁失电、YV₂得电，使电磁换向阀（17）改变进给油路工作状态，压力油打入液压缸右腔，滑台快速退回。



当滑台退回至原位时，压下行程开关 SQ_1 ，其动断触头 $SQ_1(21-23)[5]$ 断开，使 $YV_2[5]$ 失电，使换向阀 2 工作中位，进油路被切断，滑台停在原位。 SQ_1 的动合触头 $SQ_1(3-25)[16]$ 闭合，使 $YV_4[7]$ 得电，压力油打入夹紧液压缸左腔，进行拨销、松开，油路压力降低， KP_2 的动合触头 $KP_2(3-9)[2]$ 断开，使 $KA_2[2]$ 失电释放，其动合触头 $KA_2(25-33)[7]$ 复位断开，使 $YV_4[7]$ 失电。工件被松开后，压下 SQ_2 ，其动合触头 $SQ_2(27-29)[16]$ 闭合，使卸荷电磁铁 YV_5 得电，油路系统卸荷，加工循环结束。

卸荷电磁阀是液压泵的保护环节。当液压系统采用变量泵时，在各液压部件尚未工作、液压泵电动机又不停机的情况下，使液压泵打出的高压油有一条回油通道，保护液压泵不因过负荷而损坏。当液压系统投入工作后，必须使其立即停止卸荷，使压力油进入油路工作。

电路中调整开关 SA_1 、 SA_2 作为定位夹紧和滑台进给单独调整用。按钮 SB_2 、 SB_4 、 SB_3 同时也作为滑台夹紧、松开和退回的调整用。

四、双面单工位组合机床电气控制电路

【双面单工位组合机床的结构及工作循环】

图 5.4.6 所示为由两个 HY 型液压滑台、动力箱、固定式夹具、底座、床身和液压站等部件组成的双面单工位组合机床的结构示意图。

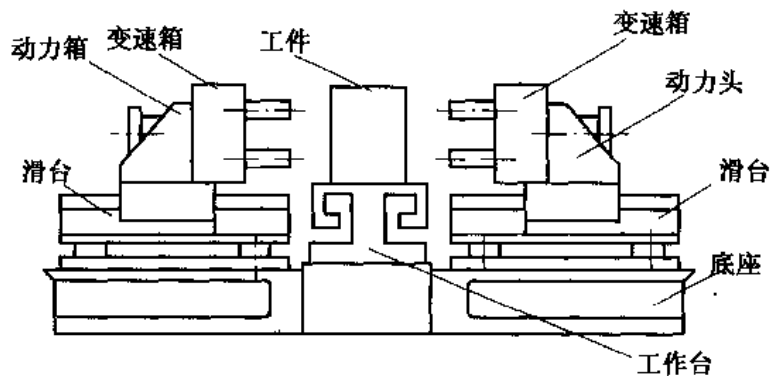


图 5.4.6 双面单工位组合机床结构

组合机床可完成“半自动”和“调整”两种工作方式，其半自动工作循环如图 5.4.7 所示，加工时，将工件放在工作台上并夹紧，当工件夹紧后，发出加工指令，左、右滑台开始快进，当接近加工位置时，左、右滑台变为工作进给，直至终点后再快退返回，至原位左右滑台分别停止，并将工件松开取下，工作循环结束。

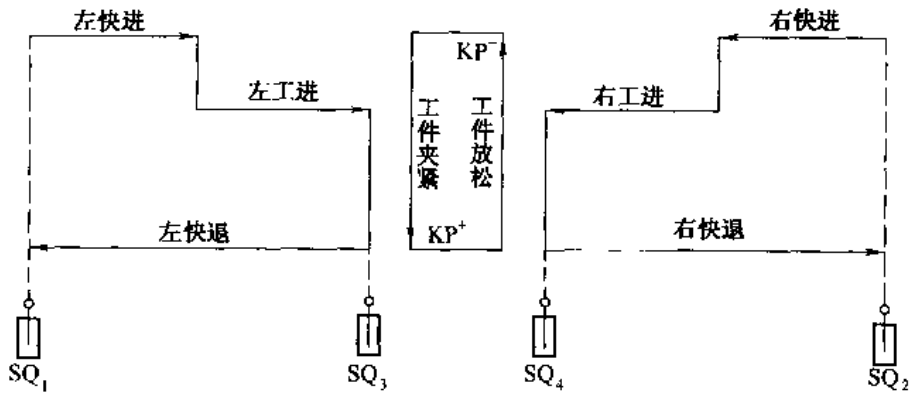


图 5.4.7 工作循环示意图

【看图思路】

(1) 双面单工位组合机床液压系统

图 5.4.8 为上述双面单工位组合机床的液压系统图，由于左、右液压滑台工作油路相同，因此图中只画出一个液压滑台的油路。系统液压元件动作情况如表 5.4.3 所示。

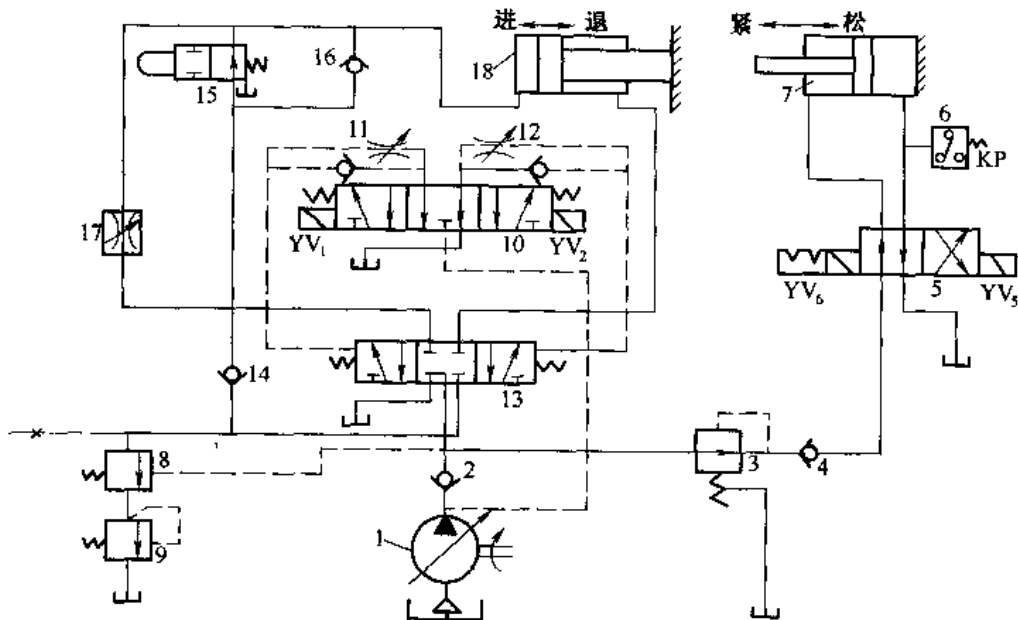


图 5.4.8 液压系统图

表 5.4.3

液压元件动作表

元件 工步	YV ₁	YV ₂	YV ₃	YV ₄	YV ₅	YV ₆	KP
原 位	-	-	-	-	-	(+)	-

续表

元件 工步	YV ₁	YV ₂	YV ₃	YV ₄	YV ₅	YV ₆	KP
工件夹紧		-	-	+	-	+	
滑台向前	+	-	+	-	(+)	-	+
滑台向后	-	+	-	+	(+)	-	+
工件松开	-	-	-	-	-	+	-

(2) 双面单工位组合机床的电气控制线路

图 5.4.9 为双面单工位组合机床电气控制电路。机床有“半自动”和“调整”两种工作循环，由转换开关 SA 进行选择。

① 电动机的控制 液压泵电动机 M₃ 由接触器 KM₃ 控制，左、右动力头电动机 M₁、M₂ 分别由接触器 KM₁、KM₂ 控制。当合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB₂[7]，接触器 KM₁、KM₂、KM₃ 得电吸合并自锁，电动机 M₁、M₂、M₃ 启动运行。SA[10、11]、SA₄[11]、SA₅[13] 为工作循环调整开关；SB₁ 为停止按钮。SA₁、SA₂、SA₃ 分别为 M₁、M₂、M₃ 的单独调整开关。

② 根据图 5.4.8 所示液压系统电磁换向阀电磁铁 YV₁、YV₂ (YV₃、YV₄)、YV₅、YV₆ 的电气图形符号，在图 5.4.9 所示电气控制电路中，在图区 15~20 中分别找到 YV₁~YV₆ 的线圈电路，它们又分别由 KA₁、KA₂、KA₃、KA₄、SB₅ 和 SB₆-SQ₁-SQ₂ 控制。在图区 11~14 中找到 KA₁~KA₄ 的线圈电路。KA₁、KA₃ 又受到 KA₅[10] 控制，而 KA₅ 又受压力继电器 KP 控制。

(3) 电液控制

图 5.4.8 与图 5.4.9 通过 YV₁~YV₆、KP 和 SQ₁~SQ₄ 联系起来。

【看图实践】

准备工作：装上工件，合上电源开关 QS[1]，将电动机单独调整开关 SA₁、SA₂、SA₃[7~9] 置于其动合触头断开、动断触头闭合。按下启动按钮 SB₂[7]，接触器 KM₁、KM₂、KM₃[7、8、9] 得电吸合并自锁，其主触头[2、3、4]闭合，电动机 M₁、M₂、M₃[2、3、4] 启动运转。

(1) 工件夹紧

液压泵电动机启动后，按下按钮 SB₅[19] 发出工件夹紧信号，使电磁阀 YV₅[19] 得电，二位四通阀 5 右位工作，压力油经阀 3、单向阀 4 进入夹紧油缸 7 的大腔，而小腔回油至油箱，工件夹紧。当夹紧到位后压力继电器 KP 工作，表示工件已夹紧，其动合触头 KP (17-19) [10] 闭合，为 KA₅[10] 得电作准备。注意，由于电磁阀具有机械保持功能，虽然按下 SB₅ 后放开，又使 YA₅ 失电，但电磁阀还是处于夹紧工作位置。

(2) 快速趋近

工件夹紧后，再按向前按钮 SB₃[10]，发出滑台快速移动信号，KA₅ 得电吸合，其动合触头 KA₅ (21-23) [11]、KA₅ (35-39) [13] 闭合，使左、右滑台的向前继电器 KA₁、KA₃ 分别得电吸合并自锁，同时分别接通向前电磁阀 YV₁、YV₃，左、右滑台快进。

$$SB_3^{\pm} \rightarrow KA_5^+ [10] \rightarrow \begin{cases} KA_5(21-23)^+ [11] \rightarrow KA_1 n^+ [11] \rightarrow KA_1(103-105)^+ [15] \rightarrow YV_1^+ [15] \\ KA_5(35-37)^+ [13] \rightarrow KA_3 n^+(13) \rightarrow KA_3(103-109)^+ [17] \rightarrow YV_3^+ [17] \end{cases}$$

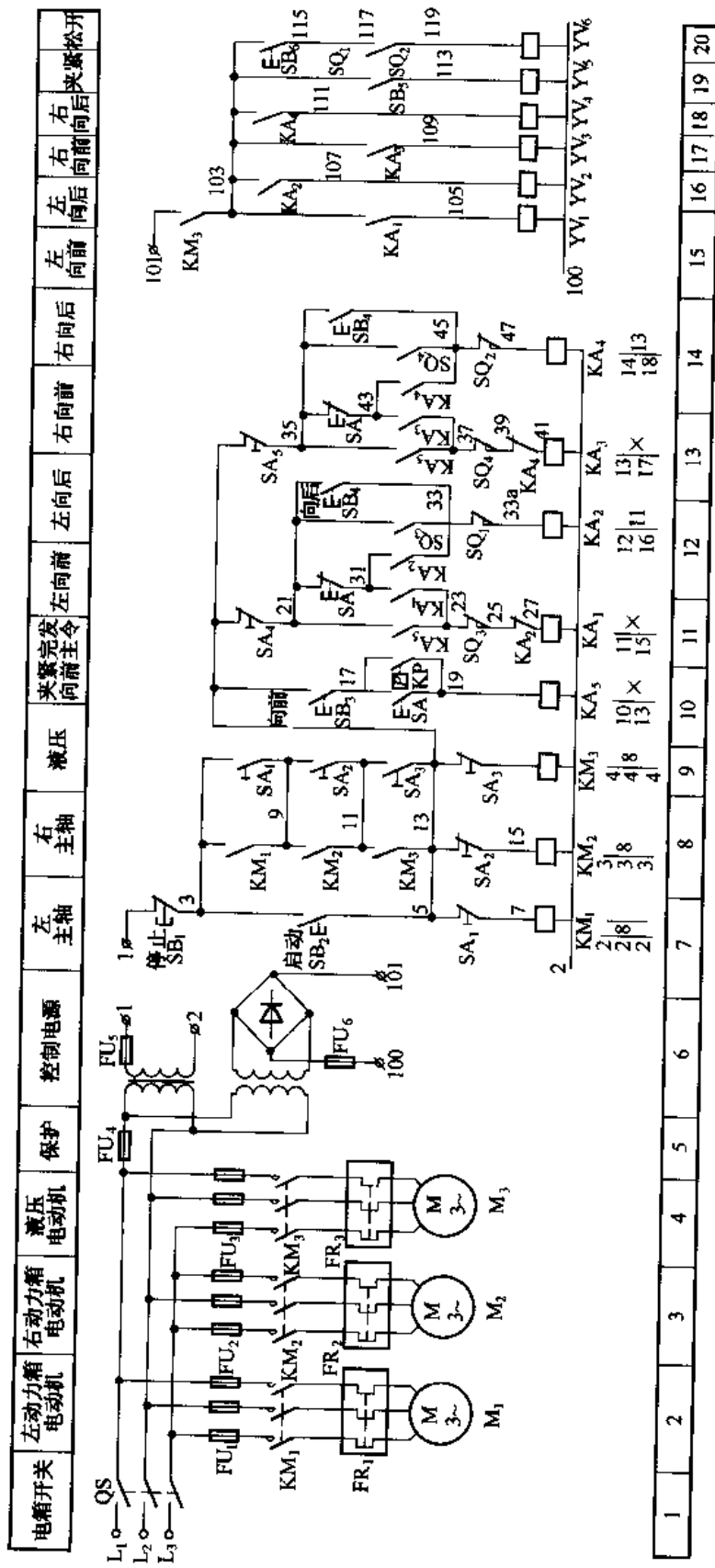


图 5.4.9 双面单工位组合机床电气控制电路

电磁阀 YV_1 (YV_3) 得电, 三位五通阀 10 左位工作, 使液控阀 13 左位工作, 接通工作油路, 压力油经行程阀 15 进入进给液压缸 18 大腔, 而小腔内回油经过阀 13、阀 14、阀 15 再进入液压缸 18 大腔, 使滑台向前快速移动。

(3) 工件进给

液压滑台快速移动到接近加工位置时, 滑台上挡铁压下行程阀 15, 切断压力油通路, 压力油只能通过调速阀 17 进入进给液压缸大腔, 减少进油量, 降低滑台移动速度, 滑台转为工作进给。此时由于负载增加, 工作油路油压升高, 顺序阀 8 打开, 液压缸小腔回油不再经过单向阀 14 流入液压缸大腔, 而是经顺序阀 8 流回油箱。

(4) 快速退回

当滑台工作到终点, 压终点限位行程开关 SQ_3 、 SQ_4 , 其动断触头 SQ_3 (23-25) [11]、 SQ_4 (39-37) [13] 断开, KA_1 、 KA_3 失电释放, 使 YV_1 、 YV_3 失电, 同时 SQ_3 、 SQ_4 的动合触头 SQ_3 (21-33) [12]、 SQ_4 (35-45) [14] 闭合, 又使左、右滑台的向后继电器 KA_2 、 KA_4 得电吸合并各自自锁, 分别接通向后电磁阀 YV_2 、 YV_4 , 使左、右滑台快退:

$$SQ_3 \rightarrow \begin{cases} \overline{SQ_3(23-25)^- [11]} \rightarrow \overline{KA_1^- [11]} \rightarrow \overline{KA_1(103-105)^- [15]} \rightarrow \overline{YV_1^- [15]} \\ SQ_3(21-33)^+ [12] \rightarrow KA_2^+ [12] \rightarrow KA_2(103-107)^+ [16] \rightarrow YV_2^+ [16] \end{cases}$$

$$SQ_4 \rightarrow \begin{cases} \overline{SQ_4(37-39)^- [13]} \rightarrow \overline{KA_3^- [13]} \rightarrow \overline{KA_3(103-109)^- [17]} \rightarrow \overline{YV_3^- [17]} \\ SQ_4(35-45)^+ [14] \rightarrow KA_4^+ [14] \rightarrow KA_4(103-111)^+ [18] \rightarrow YV_4^+ [18] \end{cases}$$

电磁阀 YV_1 (YV_3) 失电, 而电磁阀 YV_2 (YV_4) 得电, 阀 10 右位工作, 使液控阀 13 右位工作, 压力油直接进入液压缸小腔, 使滑台快速退回。同时大腔内的回油经单向阀 16、阀 13 直接流回油箱。当滑台快速退回原位时, 压下行程开关, 电磁阀 YV_2 (YV_4) 失电, 液压阀回中间位置, 切断工作油路, 滑台停止于原位。

当左、右滑台停止于原位后, 压下各自的原位行程开关 SQ_1 、 SQ_2 , 其动断触头 SQ_1 (33-33a) [12]、 SQ_2 (45-47) [14] 断开, KA_2 [12]、 KA_4 [14] 失电释放, 使 YV_2 [16]、 YV_4 [18] 失电, 左、右滑台停止于原位; 其动合触头 SQ_1 (115-117) [20]、 SQ_2 (117-119) [20] 闭合, 为 YA_6 得电作准备。

(5) 工件松开

当滑台回到原位停止后, 按动按钮 SB_6 [20], 使电磁阀 YV_6 [20] 得电, 二位四通阀 5 左位工作, 改变油路的方向, 压力油进入夹紧液压缸 7 小腔, 大腔内的回油经阀 5 直接流回油箱, 使工件松开, 同时压力继电器 KP 复位, 取下工件, 一个工作循环结束。再装上工件, 准备下次加工。

(6) 调整工作循环的控制

将转换开关 SA 扳至“调整”位置, 即 SA (17-19) [10] 闭合, SA (21-31) [11] 断开, 再操作开关 $SA_1 \sim SA_5$, 按相应按钮, 进行各部件单独调整。例如, 在电动机旋转且不装工件的情况下, 左滑台单独调整的过程是, 断开开关 SA_1 、 SA_2 和 SA_5 , 按 SB_2 , 液压泵电动机启动工作, 再按下 SB_3 , 即进行左滑台的向前点动调整; 按 SB_4 , 进行左滑台的向后点动调整。同理也可进行右滑台的单独调整。

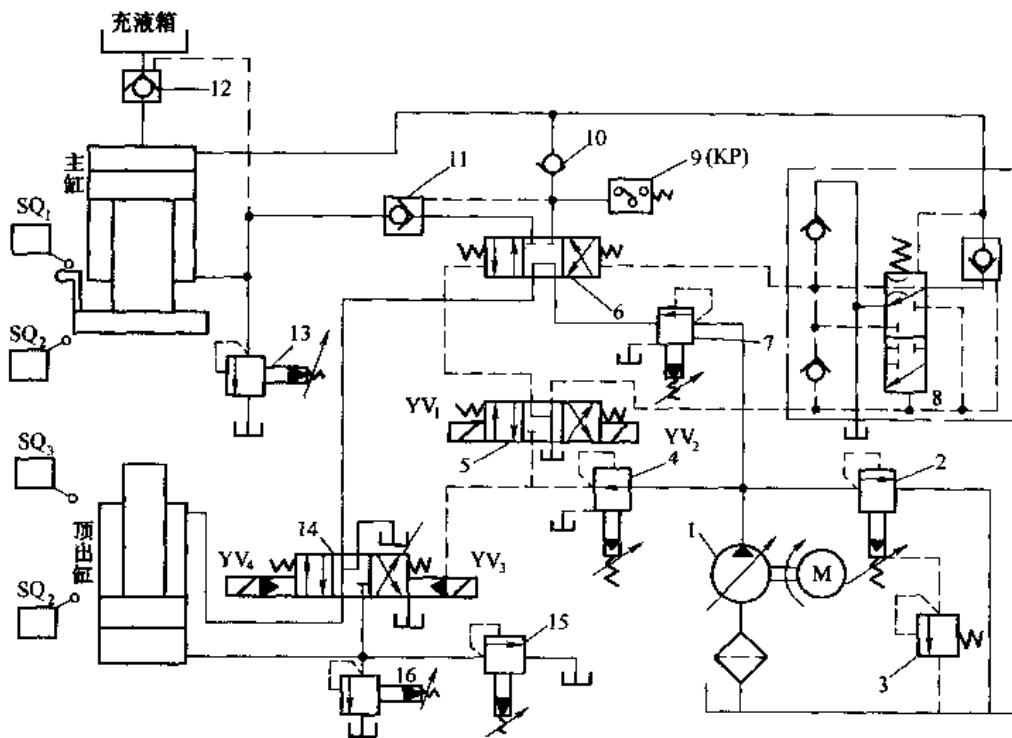
第五节 液压压力机电气控制电路

液压压力机是对金属材料、塑料、橡胶、粉末冶金制品进行压力加工的设备，在许多工业部门中得到了广泛的应用。

四柱式液压压力机用得最多，也最典型。它可以进行冲剪、弯曲、翻边和薄板拉伸等工艺，也可以从事校正、压装、砂轮成形、塑料制品及粉末制品的压制成形等工艺。

一、YB32-200 型万能液压压力机电气控制电路

图 5.5.1 为 YB32-200 型液压压力机的液压系统图。该系统采用变量泵-液压缸容积调速回路，工作压力范围为 10~32MPa。其主油路的最高压力由安全阀 2 限定，实际工作可由远控调压阀 3 调整。控制油路的压力由减压阀 4 调整。液压泵卸荷压力可由顺序阀 7 调整。



1—变量泵 2—先导式溢流阀 3—远程控制阀 4—先导式减压阀 5—电磁换向阀 6—液压换向阀 7—顺序阀
8—预泄换向阀 9—压力继电器 10—单向阀 11、12—液控单向阀 13—平衡阀 14—电液换向阀 15—背压阀

图 5.5.1 YB32-200 型液压压力机的液压系统图

图 5.5.2 所示为 YB32-200 型液压压力机电气控制电路，其作用是按液压系统规定的动作要求，驱动电动机，选择工作方式，在主令电器信号的作用下，使有关电磁铁动作以完成指定的工艺动作循环。

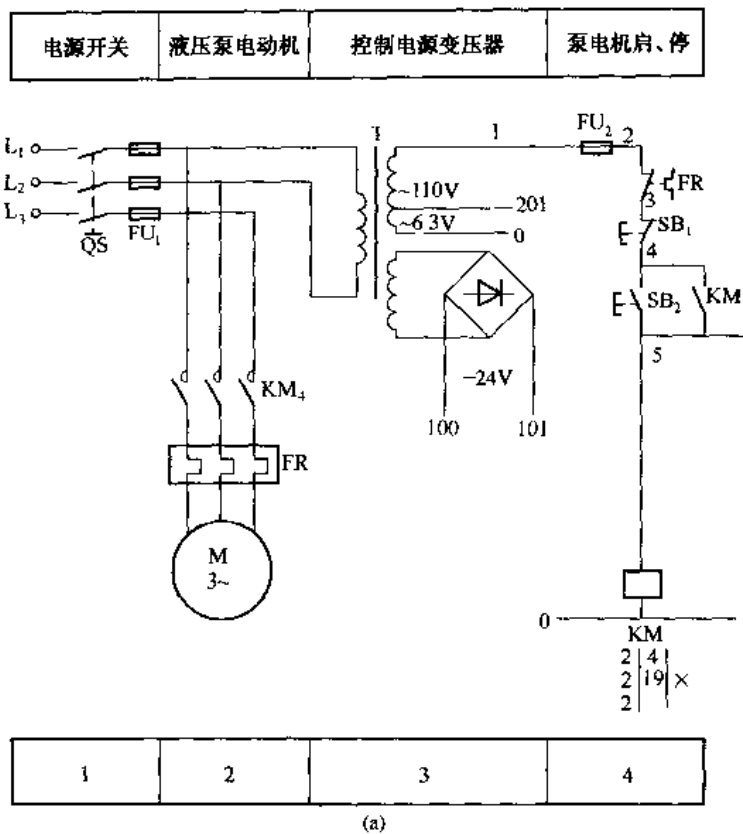


图 5.5.2 YB32-200 型液压压力机电气控制电路

YB32-200 型液压压力机液压系统电磁铁动作顺序如表 5.5.1 所示。

表 5.5.1 YB32-200 型压力机电磁铁动作顺序表

液压缸	工作循环	信号来源	电 磁 铁			
			YV ₁	YV ₂	YV ₃	YV ₄
主 缸	快速下行	启动按钮 SB ₃	+	-	-	-
	慢速加压	上滑块压住工件	+	-	-	-
	保压延时	KP 或 SQ ₂	-	-	-	-
	卸压换向	时间继电器 KT ₁	-	+	-	-
	快速退回	预泄阀换为下位	-	+	-	-
	原位停止	行程开关 SQ ₁	-	-	-	-
顶出缸	向上顶出	顶出按钮 SB ₅	-	-	+	-
	向下退回	时间继电器 KT ₂	-	-	-	+
	原位停止	行程开关 SQ ₄	-	-	-	-

【主要结构与运动形式】

YB32-200 型液压压力机由主机和控制机构两大部分组成,通过管路和电气装置联系起来构成一个整体。主机部分由机身、主缸、顶出缸及充液装置等组成,如图 5.5.3 所示。控制机构由动力机构、减速限程装置、管路及电气操纵箱等组成。

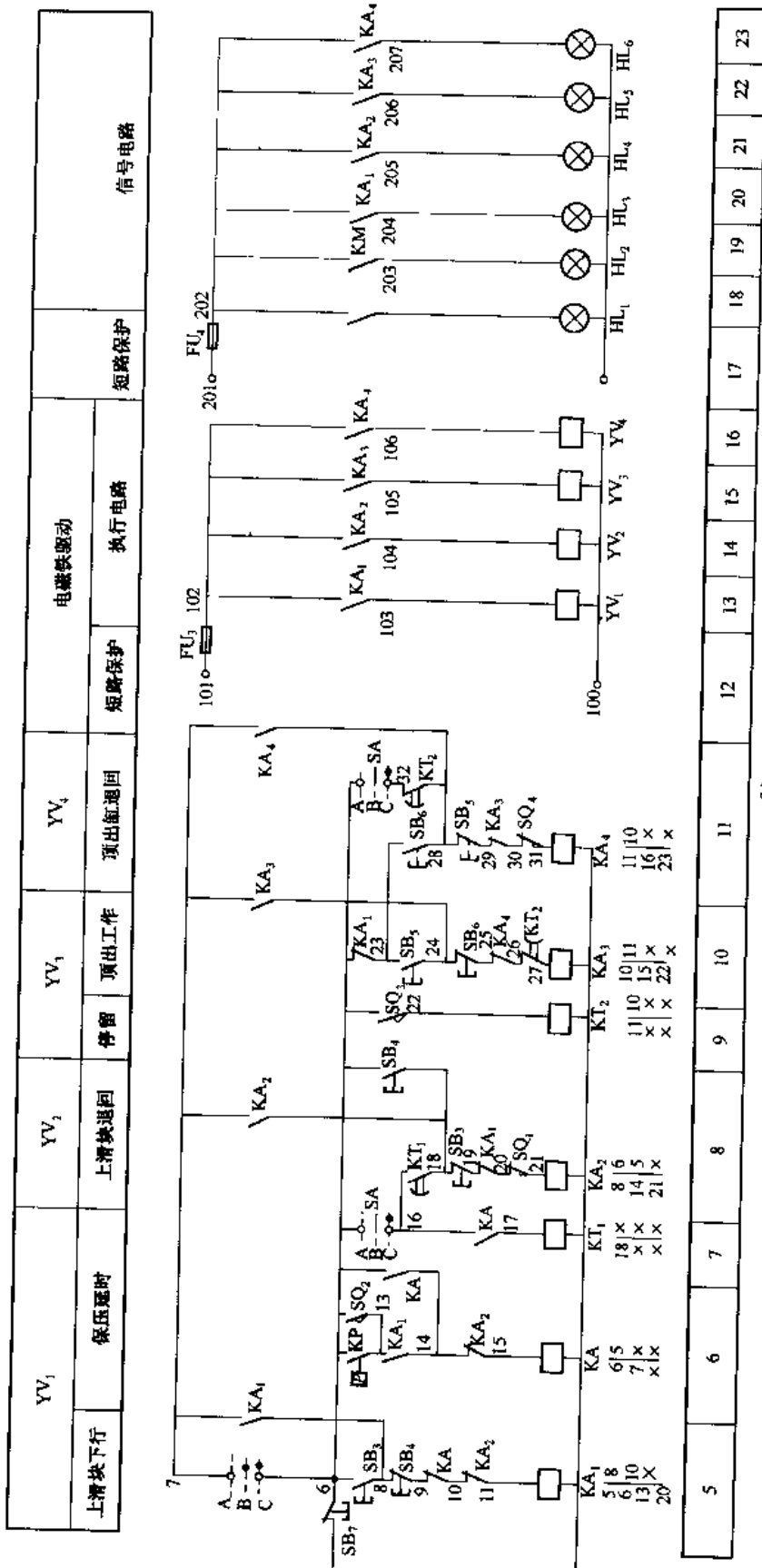


图 5.5.2 YB32-200 型液压压力机电气控制电路

机身由上横梁、活动横梁、工作台及立柱等组成。依靠4个立柱作为主架、上横梁及工作台由锁紧螺母紧固于两端。主缸缸体紧固于上横梁，主缸活塞与活动横梁螺母紧固联接，活动横梁内装有导向套，依靠四柱导向作上下运动。活动横梁及工作台表面均有T形槽，以便于安装模具。顶出缸装于工作台中心孔内。

动力机构由油箱、液压泵、电动机以及各压力阀和方向阀等组成，是产生和分配工作液压而使主机实现各种动作的机构。

【看图思路】

图 5.5.2 中，图区 1、2 为主电路，图区 3~33 为辅助电路，其中图区 3 为辅助电路的供电电路，并且采用变压器 T 进行隔离。通过变压器 T 降压，图区 5~11 采用交流 110V 供电，图区 17~23 的信号电路采用交流 6.3V 供电。图区 12~16 的电磁阀执行电路采用直流 24V 供电。

(1) 主电路

主电路[1、2]采用三相交流 380V 电源，由电源开关 QS、熔断器 FU_1 、交流接触器 KM、热继电器和驱动油泵用的三相笼形异步电动机所组成。在图区 4 中找到 KM 的线圈电路，这是典型的启动按钮控制电路。

(2) 根据工作状态选择开关 SA[5、7、11]将辅助电路进行分解

在 KA_1 、 KT_1 、 KA_4 线圈电路中，有工作状态选择开关 SA，根据生产工艺的要求，设有“调整”、“手动”和“半自动”3种工作方式，由转换开关 SA 来进行选择，其触头工作状态见表 5.5.2。

表 5.5.2 工作方式选择开关触头工作状态

工作方式	触 头		
	SA _(6,7) [5]	SA _(6,16) [7]	SA _(6,32) [11]
手动(B)	+	-	-
半自动(C)	+	+	+
调整(A)	-	-	-

根据转换开关 SA，将辅助电路分解为调整、手动和半自动 3 种工作方式电路。

在调整工作方式下，按下按钮 $SB_3 \sim SB_6$ ，即可得到相应的动作，放开按钮即停止。在手动工作方式下，只要按下按钮 $SB_3 \sim SB_6$ ，即可得到相应的动作，直到该动作完成为止。半自动工作方式分为“定压成型”与“定程成型”两种。

“定压成型”时，按下工作按钮 SB_3 ，上滑块即可自动按顺序进行快速下行、慢速加压，压力升到一定值时开始保压延时，延时到进行泄压换向、快速退回至原位停止。再按下顶出按钮 SB_5 ，自动顶出工件，停留，顶出缸退回原位停止。

“定程成型”时，应事先将行程开关 SQ_2 调整至所需位置，且将压力继电器 KP 的动作

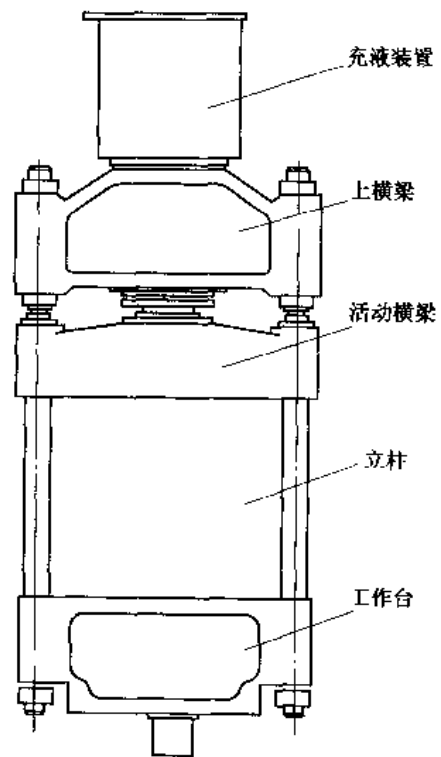


图 5.5.3 YB32-200 型液压压力机构的基本结构

压力调整至大于加压的压力。当上滑块下行、加压碰到 SQ_2 时, 开始保压延时, 延时到自动退回。

(3) 根据电磁换向阀电磁铁的图形符号 $YV_1 \sim YV_4$ 将辅助电路进行分解

根据图 5.5.1 所示液压系统中电磁换向阀 5、14 的电磁铁 $YV_1 \sim YV_4$ 的电气图形符号, 在图 5.5.2 所示的电气控制电路中的图区 13~16 中分别找到 $YV_1 \sim YV_4$ 的线圈电路, 在图区(5、6、20)、(7、8、21)、(9、10、22)、(11、23) 中找到 $YV_1 \sim YV_4$ 的控制电路。再结合表 5.5.1, 即可容易地看出电气控制电路如何满足表 5.5.1 所示的电磁铁动作顺序。再根据表 5.6.1 所示的电磁铁动作顺序, 就能看懂图 5.5.1 所示的液压系统图。

若没有给出表 5.5.1, 根据 $YV_1 \sim YV_4$ 的线圈电路, 采用逆读溯源法, 再结合图 5.5.1 所示液压系统图, 也可得到表 5.5.1。

【看图实践】

现以半自动“定压成型”工作方式为例, 对电气控制电路进行分析。首先将转换开关 SA 扳到“C”位置, 然后合上电源开关 QS, 信号灯 HL_1 亮。再按下启动按钮 SB_2 , 接触器 KM 得电吸合并自锁, 使油泵电动机启动运行, 信号灯 HL_2 亮。注意, 所有动作必须在液压泵电动机运行的情况下方可进行。

(1) 主缸运动

① 快速下行 按下工作按钮 SB_3 , 其动合触头 SB_3 (6-8) [5] 闭合, 使中间继电器 KA_1 [5] 得电吸合并自锁。 KA_1 的动合触头 KA_1 (102-103) [13] 闭合, 电磁阀 YV_1 [13] 得电; KA_1 的动合触头 KA_1 (202-204) [20] 闭合, 使指示灯 HL_3 亮; KA_1 的动合触头 KA_1 (13-14) [6] 闭合, 为 KA_1 [6] 得电作准备。 YV_1 得电, 使电磁换向阀 5 左位接入系统, 控制油进入液动换向阀 6 的左端, 阀 6 左位接入系统。主油路中压力油经顺序阀 7、换向阀 6 及单向阀 10 进入主缸上腔, 并将液控单向阀 11 打开, 使主缸下腔回油, 主缸活塞带动上滑块快速下行, 主缸上腔压力降低, 其顶部充液箱的油经液控单向阀 12 的主缸上腔补油。当上滑块接触到被压制工件时, 转为慢速下行。

② 慢速加压 当主缸活塞带动上滑块接触到被压制工件时, 主缸上腔压力升高, 液控单向阀 12 关闭, 充液箱不再向主缸上腔供油, 且液压泵流量自动减少, 滑块下移速度降低, 慢速加压工作。

③ 保压延时 当主缸上腔油压升高到压力继电器 KP 的动作压力时, 压力继电器 KP 得电吸合, 发出信号, 其动合触头 KP (6-13) [6] 闭合, 使中间继电器 KA_1 [6] 得电吸合并自锁, 其动断触头 KA_1 (9-10) [5] 断开, 使 KA_1 [5] 失电释放。 KA_1 的动合触头 KA_1 (102-103) [13] 复位断开, 电磁铁 YV_1 [13] 失电, 阀 5 换为中位。这时阀 6 两端油路均通油箱, 因而阀 6 在两端弹簧力作用下换为中位, 主缸上、下腔油路均被封闭保压; 液压泵则经过阀 6 中位、阀 14 中位卸荷。同时, 压力继电器还向时间继电器发出信号, 即 KA_1 的动合触头 KA_1 (16-17) [7] 闭合, 使通电延时时间继电器 KT_1 [7] 得电吸合, KT_1 开始延时。保压时间由 KT_1 在 0~24min 范围内调节。

该系统也可利用行程开关控制, 使系统由慢速加压转为延时保压, 即当慢速加压时, 滑块下移到预定位置, 由与滑块相连的运动件上的挡块压下行程开关 SQ_2 [6], 其动合触头 SQ_2 (6-13) 闭合, 也使 KA_1 得电吸合, 发出信号, 使阀 5、阀 6 换为中位停止状态, 同时 KT_1 [6] 发出信号, 使系统进入保压阶段。

④ 泄压换向 保压延时结束, 即 KT_1 [7] 的延时时间到, KT_1 发出信号, 其延时闭合的动合触头 KT_1 (16-18) [8] 闭合, 使中间继电器 KA_2 [8] 得电吸合并自锁。 KA_2 的动断触头 KA_2

(14-15) [6]断开,使 KA_1 失电释放; KA_1 的动合触头 KA_1 (16-17) [7]复位断开,使 KT_1 失电释放。 KA_2 的动合触头 KA_2 (102-104) [14]闭合,使电磁铁 YV_2 得电,阀 5 换为右位。控制油经阀 5 进入液控单向阀 13 的控制油腔,顶开其卸载阀芯,使主缸上腔的高压油经 13 卸载阀芯上的槽口及预泄换向阀 8 上位(图示位置)的孔道与油箱连通,从而使主缸上腔的油卸压。同时, KA_2 的另一动合触头 KA_2 (202-205) [21]闭合,使灯 HL_4 [21]亮。

⑤ 快速退回 主缸上腔泄压后,在控制油压作用下,阀 8 换为下位,控制油经阀 8 进入阀 6 右端,阀 6 左端回油,因此阀 6 右位接入系统。主油路中,压力油经阀 6、阀 11 进入主缸下腔,同时将液压单向阀 12 打开,使主缸上腔油返回充液箱,主缸活塞带动上滑块快速上升,退回到原位。

⑥ 原位停止 当主缸活塞带动上滑块返回到原始位置时,压下行程开关 SQ_1 [8],其动断触头 SQ_1 (20-21) [8]断开,使 KA_2 [8]失电释放。 KA_2 的动合触头 KA_2 (102-104) [14]复位断开,使 YV_2 [14]失电。电磁阀 YY_2 失电,阀 5 和阀 6 均为中位(阀 8 复位),主缸上、下腔封闭,滑块停止运动。阀 13 为主缸平衡阀,起平衡块重量作用,可防止与上滑块相连的运动部件在上位时因自重而下滑。

(2) 顶出缸运动

① 向上顶出 按下顶出按钮 SB_5 ,其动合触头 SB_5 (23-24) [10]闭合,使中间继电器 KA_3 [10]得电吸合并自锁,其动合触头 KA_3 (102-105) [15]闭合,使电磁铁 YV_3 [15]得电;其另一动合触头 KA_3 (202-206) [22]闭合,使灯 HL_5 [22]亮。电磁铁 YA_3 得电,阀 14 换为右位。压力油经阀 14 进入顶出缸下腔,其上腔回油,顶出缸活塞带动下滑块上移。将压制好的工件从模具中顶出。这时系统的最高工作压力可由溢流阀 15 调整。

② 停留 当下滑块上移到其活塞碰到缸盖时,便可停留在这个位置上。同时碰到上位行程开关 SQ_3 ,其动合触头 SQ_3 (6-22) [9]闭合,使通电延时时间继电器动作, KT_2 [9]得电吸合并开始延时,下滑块延时停留。停留时间可由时间继电器 KT_2 调整。

③ 向下退回 当停留结束,即 KT_2 延时时间到时, KT_2 发出信号,其延时断开的动断触头 KT_2 (26-27) [10]断开,使 KA_3 [10]失电释放, KA_3 的动合触头 KA_3 (102-105) [15]复位断开,使 YV_3 [15]失电, KT_2 的延时闭合的动合触头 KT_1 (32-28) [11]闭合,使 KA_4 得电吸合并自锁。 KA_4 的动合触头 KA_4 (102-106) [16]闭合,使电磁铁 YV_4 得电, KA_4 的另一触头 KA_4 (202-207) [23]闭合,使灯 HL_6 亮。由于电磁阀 YV_4 得电, YY_3 失电,阀 14 换为左位。压力油进入顶出缸上腔,其下腔回油,下滑块下移。

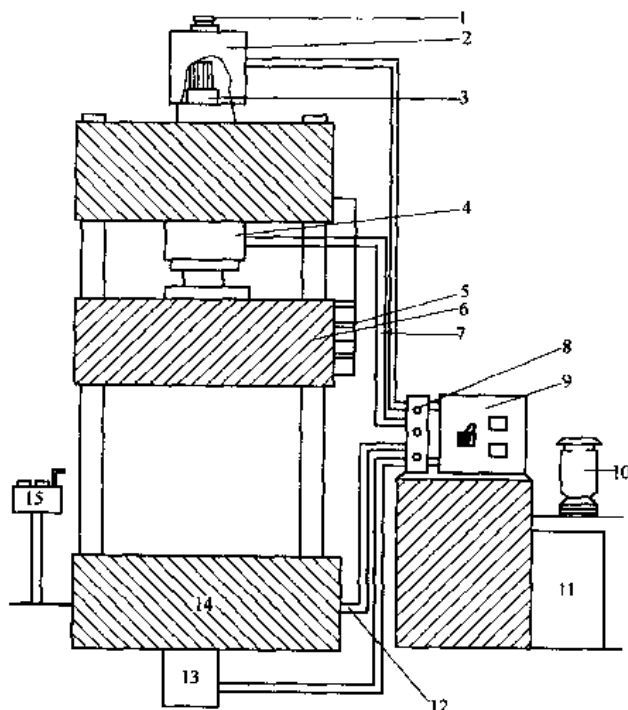
④ 原位停止 当下滑块退到原位时,挡铁压下下位行程开关 SQ_4 ,其动断触头 SQ_4 (30-31) [11]断开,使 KA_4 [11]失电释放,其动合触头 KA_4 (102-106) [16]复位断开,使电磁阀 YV_4 [16]失电,阀 14 换为中位,运动停止,顶出缸上腔和泵油均经阀 14 中位回油箱。

二、YH32-500D 型液压压力机电气控制电路

【主要结构与运动形式】

YH32-500D 型压力机结构如图 5.5.4 所示。主要由四根立柱、主液压缸、机身(滑块)、工作台、顶出缸、液压泵及驱动控制装置等组成。顶出缸安装在工作台中间,用来将压制的成品顶出,由手控点动方式完成。机身(滑块)由主液缸驱动,有调整和半自动两种操作方式,其压力、压制速度可以在规定的范围内调节,具有定压成形和定程成形两种工作方式,

并在压制后进行保压延时及自动回程操作。循环过程包括：机身快速下行、慢速加压、保压、卸压、回程和原位停止等。液压机采用油压驱动、电气控制、两台 30kW 的交流电动机驱动两台液压泵同时工作，驱动主液压缸和顶出缸的活塞做上、下运动。



1—空气滤清器 2—充液油箱 3—充液阀 4—主液压缸
5—滑块行程限位开关 6—机身 7—上油管 8—液压控制柜
9—电气柜 10—液压泵驱动电动机 11—动力机构 12—下管
13—顶出缸 14—工作台 15—活动按钮盒

图 5.5.4 YH32-500D 液压机结构

【看图思路】

图 5.5.5 为 YH32-500D 型液压压力机液压系统图，图 5.5.6 为其电气控制电路图，表 5.5.3 为其动作循环表。

表 5.5.3 YH32-500D 型液压压力机液压系统动作循环表

线 圈		YH32-500D 型液压压力机液压系统动作循环表										下一个动作的发信元件
		YV ₁	YV ₂	YV ₃	YV ₄	YV ₅	YV ₆	YV ₇	YV ₈	YV ₉	YV ₁₀	
主 缸	快速下行	+	+		+		+		+			SQ ₂
	慢速下行（加压）	+	+			+	+					KP ₁
	保压					+	+					KT ₄
	卸压							+				KP ₃
	回程	+		+		+			+			SQ ₁
	停止											
顶出缸	顶出	+								+		SB ₁₀
	退回	+									+	SB ₁₁

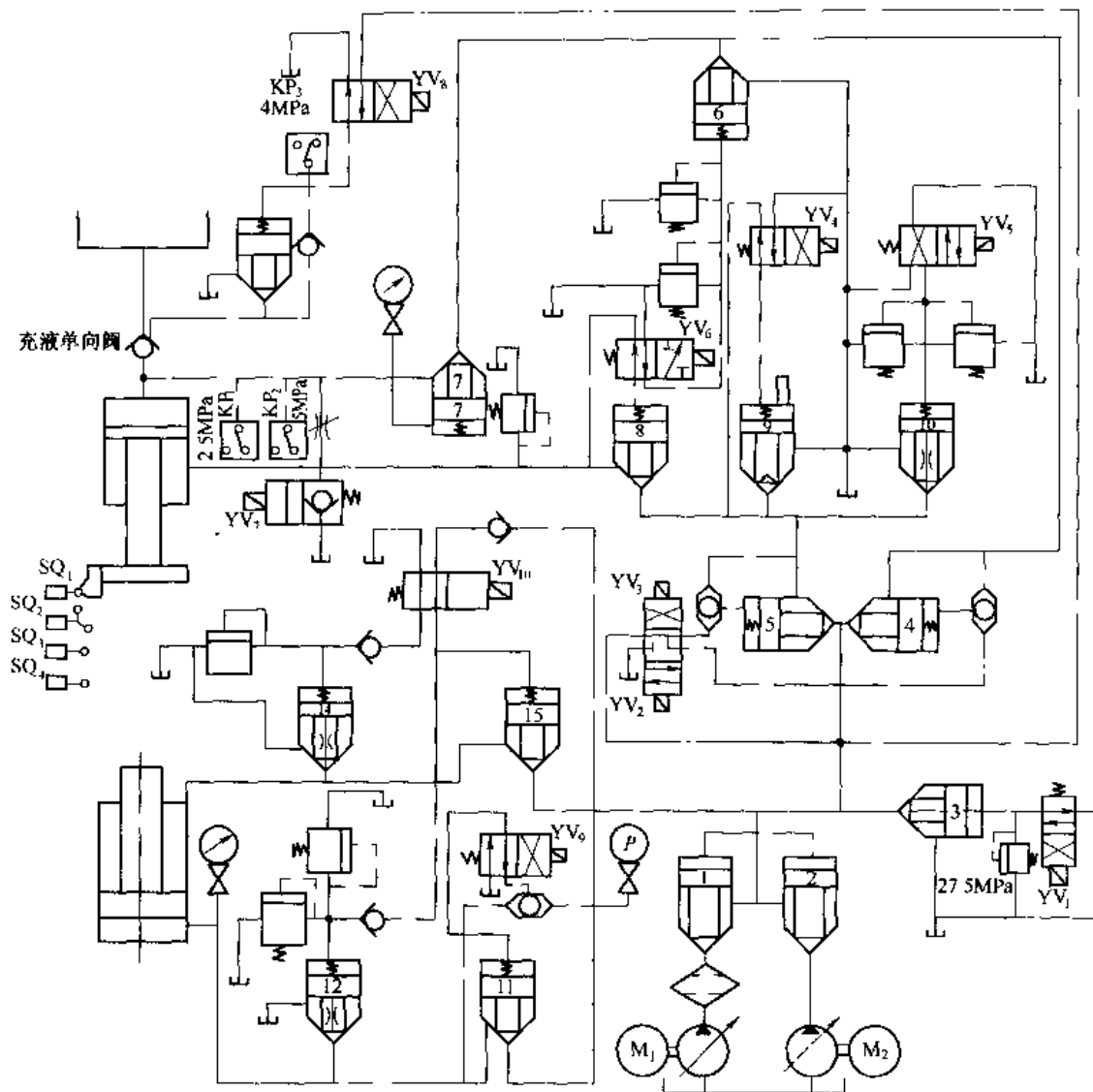


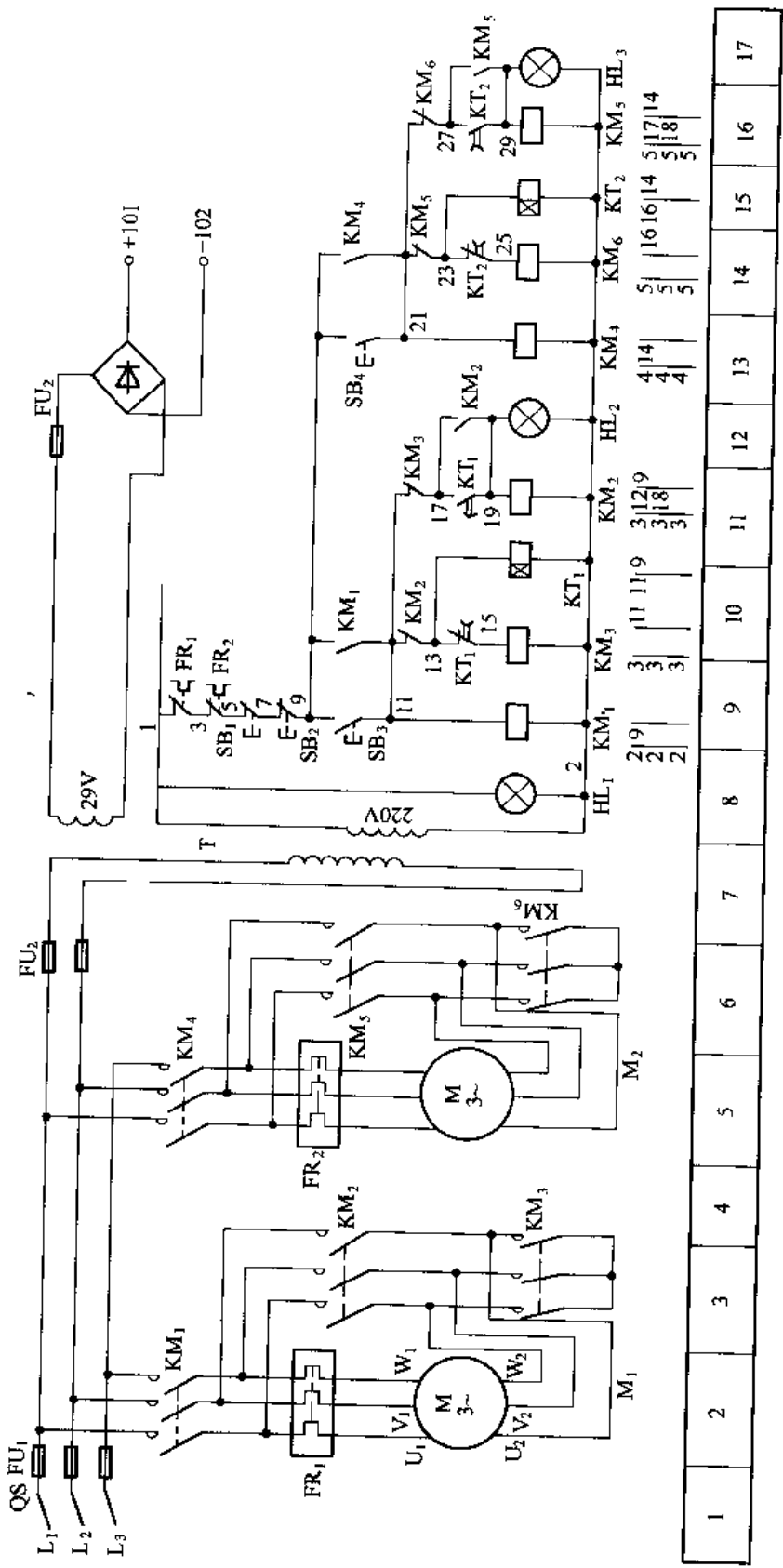
图 5.5.5 YH32-500D 型液压压力机液压系统图

(1) 液压机工作过程 (参见表 5.5.3)

① 主缸动作循环 主缸 (滑块) 动作循环分滑块下行、慢速回压、保压、卸压、回程及原位停止等过程。

快速下行。电磁阀 YV_1 得电, 锥阀 3 关闭, 液压泵向系统供油。同时 YV_2 得电, 油液经过锥阀 4、7 供到主缸上腔。电磁阀 YV_4 、 YV_6 得电, 主缸下腔油液经锥阀 8、9 快速流回油箱。 YV_8 得电, 充液单向阀打开, 于是液压滑块在自重作用下快速下行, 主缸上腔产生负压, 使主缸上腔充液。

慢速下行 (加压)。行程挡块随滑块快速下行, 压下行程开关 SQ_2 时, YV_1 、 YV_2 、 YV_6 仍保持得电, 同时 YV_4 、 YV_8 失电, YV_9 得电, 液压泵供压力油经锥阀 1、2、4、7 进入主缸上腔, 主缸下腔油液经锥阀 8、10 和背压阀流回油箱, 由于背压阀使主缸下腔产生压力, 平衡了滑块的自重, 主缸下行时上腔已不再是负压, 且 YV_8 失电, 充液阀关闭, 这时, 必须产生上腔压力, 滑块方可下行, 下行仅由液压泵供油, 通过阀 7, 使主缸慢速下行或加压。



(a)

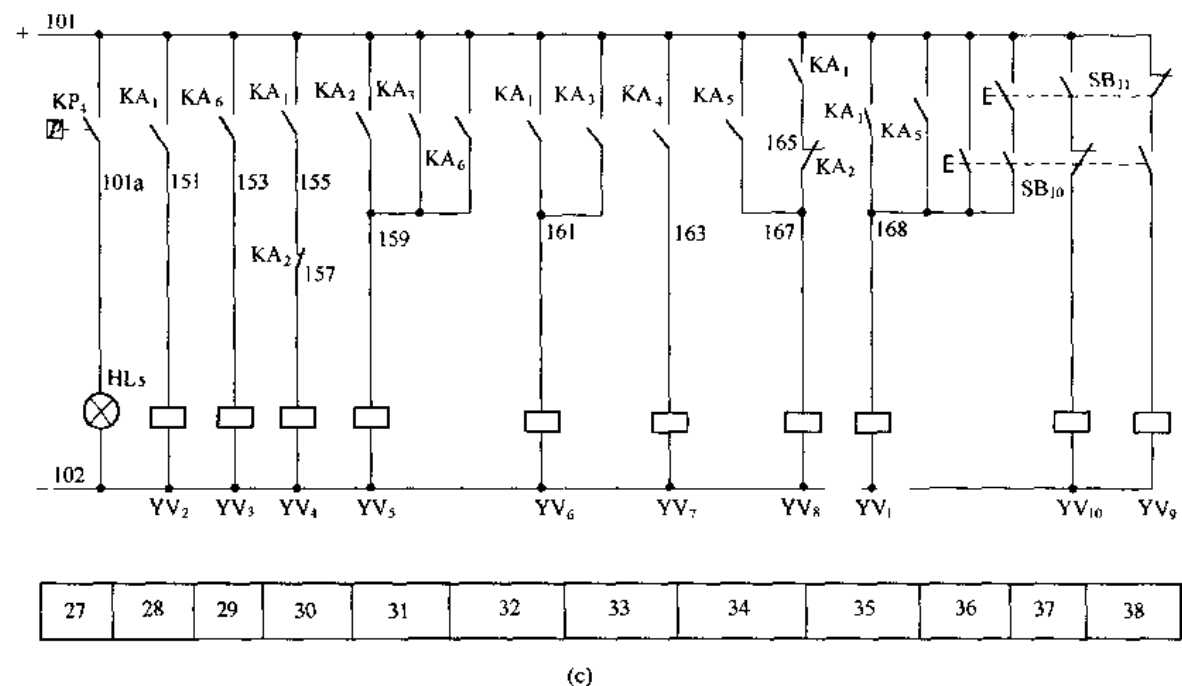
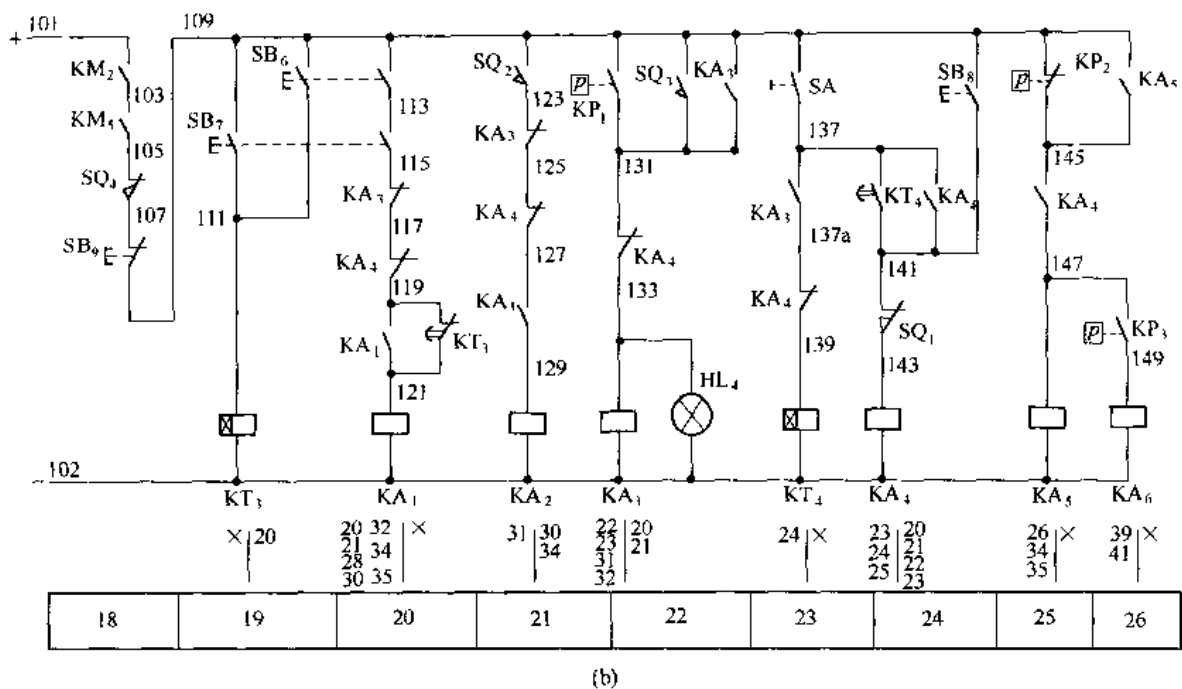


图 5.5.6 YH32-500D 型液压压力机电气控制电路

保压。当主缸上腔压力达到压力继电器 KP_1 的整定压力时，压力继电器发信号（若定程下行时，可由行程挡块压下行程开关 SQ_3 发信号），使 YV_1 、 YV_2 失电，同时时间继电器得电吸合，泵的油液经锥阀 3 卸荷（此时滑块已无运动），锥阀 4、7 关闭，充液单向阀也关闭，主缸上腔保压，保压时间由时间继电器控制。

卸压。保压到一定时间，由时间继电器发信号，使电磁阀 YV_7 得电，主缸上腔压力油经

可调节流器和电磁球阀接通油箱，使主缸上腔卸压。

回程。主缸上腔卸压到允许换向压力值时，压力继电器 KP_3 发信号，使电磁阀 YV_1 和 YV_8 得电，锥阀 3 关闭，油泵停止卸荷，压力油控制油路作用到充液阀控制活塞上，打开充液阀。当充液阀控制油路中压力达到压力继电器 KP_3 的发信压力时， KP_3 发信号，使电磁阀 YV_3 和 YV_5 得电，油泵压力油经锥阀 1、2、5、8 作用到主缸下腔，上腔油液经充液阀排回油箱，滑块快速回程。

停止。当滑块回程结束后，挡块压下行程开关 SQ_1 ，使所有电磁阀失电，锥阀 8 关闭，滑块处于停止状态，油泵卸荷。

② 顶出缸动作循环。

顶出。值动顶出缸顶出按钮，电磁阀 YV_1 和 YV_9 得电，液压泵停止卸荷，压力油经锥阀 11 进入顶出缸下腔，上腔油液经锥阀 14 回油箱，顶出缸活塞向上顶出，松开按钮，顶出缸停止顶出。

退回。按动顶出缸退按钮，电磁阀 YV_1 和 YV_{10} 得电， YV_9 失电，泵停止卸荷，压力油经锥阀 13 进入顶出缸上腔，下腔油液经锥阀 12 回油箱，顶出缸活塞退回，松开按钮，顶出缸停止退回。

(2) 电气控制电路分析

压力机的电气控制电路由两台值压泵电动机的 Y- Δ 启动电路和液压回路的电气控制电路组成。

图 5.5.6 所示电气控制电路中，图区 1~5 为主电路，图区 6~38 为辅助电路，并采用控制变压器 T 进行隔离。辅助电路中的图区 7~17 采用交流电源供电，图区 18~38 采用直流电源供电。

① 主电路[1~5] 由图 5.5.6 可知， M_1 和 M_2 为驱动液压泵的值动电动机，在图区 2~5 中找到电动机 M_1 、 M_2 的主电路，它们分别由接触器 KM_1 ~ KM_3 、 KM_4 ~ KM_6 的主触头控制。在图区 8~12、13~17 中可找到 KM_1 ~ KM_3 、 KM_4 ~ KM_6 的线圈电路及其相关电路，这是典型的值时间原则控制的 Y- Δ 减压启动电路。

② 根据电磁换向阀电磁铁的电气图形符号将辅助电路进行分解。

根据图 5.5.5 所示的液压系统中电磁换向阀电磁铁的电气图形符号 YV_1 ~ YV_{10} ，在图 5.5.6 所示电气控制电路的图区 35、28、29、30、31、32、33、34、38、37 中分别找到 YV_1 ~ YV_{10} 的线圈电路。再采用逆读溯源法，找到 YV_1 ~ YV_{10} 的控制电路，据此可得出表 5.5.4 所示的控制元件及其所在图区。

表 5.5.4 电磁阀的控制元件及其所在图区

电磁铁	控制元件及其所在图区
YV_1	KA_1 [20] KA_5 [25] SB_{10} [37] SB_{11} [38]
YV_2	KA_1 [20]
YV_3	KA_6 [26]
YV_4	KA_1 [20] KA_2 [21]
YV_5	KA_2 [21] KA_3 [22] KA_6 [26]
YV_6	KA_1 [20] KA_3 [22]
YV_7	KA_4 [24]

续表

电磁铁	控制元件及其所在图区
YV ₈	KA ₁ [20] KA ₂ [21] KA ₅ [25]
YV ₉	SB ₁₀ [37] SB ₁₁ [38]
YV ₁₀	SB ₁₀ [37] SB ₁₁ [38]

根据图 5.5.5 所示的液压系统图中行程开关 SQ₁~SQ₄ 和压力继电器 KP₁~KP₄ 的电气图形符号, 在图 5.5.6 所示的电气控制电路中, 找出 SQ₁~SQ₄ 和 KP₁~KP₄ 的触头所在图区及其被控电器元件, 如表 5.5.5 所示。

表 5.5.5 行程开关 SQ₁~SQ₄ 及 KP₁~KP₄ 所在图区及其控制电器元件

触 头	所 在 图 区	控制的电器元件
SQ ₁ (141-143)	24	KA ₄ [24]
SQ ₂ (109-123)	21	KA ₂ [21]
SQ ₃ (109-131)	22	KA ₃ [22]
SQ ₄ (105-107)	18	直流控制电源
KP ₁ (109-131)	22	KA ₃ [22]
KP ₂ (109-145)	25	KA ₅ [25] KA ₆ [26]
KP ₃ (147-149)	26	KA ₆ [26]
KP ₄ (101-101a)	27	指示灯

(3) 电液控制

通过电磁铁线圈 YV₁~YV₁₀、行程开关 SQ₁~SQ₄ 和压力继电器 KP₁~KP₄, 将图 5.5.6 的液压系统和图 5.5.6 的电气控制电路联系起来 (参见表 5.5.4 和表 5.5.5)。

由表 5.5.4 和表 5.5.5 可以看出, 触头 SQ₂ (109-123) [21] 闭合, 可使 KA₂ 得电吸合, 进而使 YV₅ 得电吸合, YV₈ 失电, 因此 SQ₂ 是使 YV₅、YV₈ 动作的发信元件。

触头 KP₁ (109-131) [22] 或 SQ₃ (109-131) [22] 闭合, 可使 KA₃ [22] 得电吸合, KA₃ (115-117) 断开, 使 KA₁ 失电, 进而使 YV₁、YV₂ 失电, YV₅、YV₆ 得电吸合, 因此 KP₁ (或 SQ₃) 是使 YV₁、YV₂、YV₅、YV₆ 动作的发信元件。触头 KP₃ (147-149) 闭合, 使 KA₆ 得电吸合, 电磁阀 YV₃、YV₅ 得电, 因此, KP₃ 是使 YV₃、YV₅ 动作的发信元件。

在 KA₄ 的线圈电路中, 有通电延时时间继电器 KT₄ 的动合触头 KT₄ (137-141) [24] 闭合, 使 KA₄ 得电吸合, 进而使 YV₇ 得电, 因此 KT₄ 为 YV₇ 动作的发信元件。

这样就可以得到表 5.5.3 所示的液压系统动作循环表, 根据表 5.5.3 就能看懂液压系统图。

【看图实践】

合上电源开关 QF, 指示灯 HL₁ [7] 亮。

(1) 电动机 M₁、M₂ 的控制

按下启动按钮 SB₃ [9], 接触器 KM₁ [9] 得电吸合并自锁, 其主触头 [2] 闭合, 使电动机 M₁ 接通三相电源。KM₁ 得电吸合后, 使接触器 KM₃ [10] 和通电延时时间继电器 KT₁ [11] 同时得电吸合。KM₃ 得电吸合, 其主触头 [3] 闭合, 使电动机 M₁ 定子绕组的末端短接, M₁ 进行减压启动; 其辅助动断触头 KM₃ (11-17) [11] 断开, 使 KM₂ 不能得电, 实现互锁。KT₁ 得电吸合后, 开始延时, 延时一段时间, 其延时断开的动断触头 KT₁ (13-15) [10] 断开, 使 KM₃ 失电释放。

KM₃的主触头断开,解除M₁定子绕组的Y形联接;KM₃的辅助动断触头KM₃(11-17)[11]复位闭合。与此同时,KT₁延时闭合的动合触头KT₁(17-19)[11]闭合,使KM₂得电吸合并自锁。KM₂的主触头[3]闭合,电动机M₁定子绕组联接成△形全压运行,指示灯HL₂亮,KM₂的辅助动断触头KM₂(11-13)[10]断开,确保KM₃不能得电,实现互锁,并使KT₁失电释放。对电动机M₂的控制与对电动机M₁的控制完全相同,不再赘述。

当按动停车按钮SB₁或SB₂及出现过载时FR₁或FR₂动断触头断开时,接触器失电释放,电动机M₁、M₂失电停转。

(2) 机身(滑块)的电气控制

当液压泵电动机M₁、M₂启动后,KM₂和KM₅的辅助动合触头KM₂(101-103)[18]和KM₅(103-105)[18]闭合,接通机身电气控制电路电源,即可对液压控制电路进行操作。将移动操作台上滑块工作方式选择开关SA[23]分别扳至“调整”和“工作”位置时,滑块可实现调整与单循环(半自动)两种不同的工作方式。

① 调整工作方式 选择开关SA在调整位置时,其触头SA(109-137)[23]断开,双手同时按下SB₆、SB₇[19、20],可实现滑块快速下行、慢行加压、下行停止等操作,松开按钮,运行过程停止。按动回程按钮SB₈[24],滑块回程。

快速下行。为了操作者的安全,需双手同时按动SB₆、SB₇[19、20]按钮,方可实现滑块下行。时间继电器KT₃[19]用来保证双手同时操作的时间误差不大于一定值(0.5~1s)时,才能经过KT₃延时断开触头使KA₁[20]得电吸合并自锁。否则,只能重新松开按钮,让KT₃失电后,再进行双手操作。

同时按下SB₆、SB₇后,KA₁得电吸合并自锁,其动合触头KA₁(101-168)[35]、KA₁(101-151)[28]、KA₁(101-155)[30]、KA₁(101-161)[32]、KA₁(101-165)[34]均闭合,使电磁阀YV₁[35]、YV₂[28]、YV₄[30]、YV₆[32]、YV₈[34]得电。YV₁得电,锥阀3关闭,液压泵向系统供油;YV₂得电,油液由锥阀4、7供到主缸上腔;YV₄、YV₆得电,主缸下腔油液由阀8、9快速流回油箱;YV₈得电,充液单向阀打开。液压机滑块在自重作用下实现机身快速下行,使主缸上腔产生负压而充液。

慢速下行。滑块下行至滑块挡铁压SQ₂时,SQ₂的动合触头SQ₂(109-123)[21]闭合,使KA₂[21]得电吸合(KA₁仍得电),电磁阀YV₁、YV₂、YV₆仍得电。KA₂的动合触头KA₂(101-159)[31]闭合,使YV₅得电,KA₂的动断触头KA₂(155-157)[30]、KA₂(165-167)[34]断开,使YV₄、YV₈失电,液压泵供压力油经锥阀1、2、4、7进入主缸上腔,主缸下腔油液经锥阀8、10和背压阀流回油箱,由于背压阀使主缸下腔产生压力,平衡了滑块的自重,因此机身下行速度由快变慢,以工作速度下行,同时主液压缸上腔油路开始加压。

定压制。压力上升到压力继电器KP₁的整定值,其动合触头KP₁(109-131)[22]闭合发出信号;定程压制时,滑块挡铁压动行程开关SQ₃,其动合触头SQ₃(109-131)[22]闭合,发出信号。由于KP₁(109-131)或SQ₃(109-131)闭合,使KA₃[22]得电吸合并自锁,指示灯HL₄[22]亮,发出压制成形信号。KA₃得电吸合,其动断触头KA₃(115-117)[20]、KA₃(123-125)[21]断开,使KA₁[20]、KA₂[21]失电释放。KA₁失电,其动合触头KA₁(101-168)[35]断开,使YV₁失电;其动合触头KA₁(101-151)[28]断开,使YV₂失电。电磁阀YV₁、YV₂失电,泵的油液由锥阀3卸荷,锥阀4、7关闭,充液单向阀也关闭。KA₃动合触头KA₃(101-159)[31]、KA₃(101-161)[32]闭合,使YV₅、YV₆得电,机身下行停止,主缸上腔处

于保压状态。松开双手，调整方式动作结束。

回程。按下滑块回程按钮 SB_8 [24]，中间继电器 KA_4 [24]得电吸合，其动合触头 KA_4 (101-163) [33]闭合，电磁阀 YV_7 [33]得电，主缸上腔卸压；同时， KA_4 的另一动合触头 KA_4 (145-147)[25]闭合，使 KA_5 [25]得电吸合。 KA_5 的动合触头 KA_5 (101-168)[35]、 KA_5 (101-167) [34]闭合，使电磁阀 YV_1 、 YV_8 得电，锥阀 3 关闭，液压泵停止卸荷，打开充液阀，卸压结束，充液阀完全打开，压力继电器 KP_3 发出信号，其触头 KP_3 (147-149) [26]闭合，中间继电器 KA_6 得电吸合，其动合触头 KA_6 (101-153) [29]、 KA_6 (101-159) [31]闭合，使电磁阀 YV_3 、 YV_5 得电，油泵压力油由锥阀 1、2、5、8 作用到主缸下腔，上腔油液经充液阀排回油箱， YV_1 、 YV_8 仍维持得电状态，机身快速回程，直至终点，滑块挡铁压下行程开关 SQ_1 ，其动断触头 SQ_1 (141-143) [24]断开，或松开按钮 SB_8 [24]，使继电器 KA_4 、 KA_5 、 KA_6 相继失电释放，得电的电磁阀也均失电，锥阀 8 关闭，回程停止。

② 单循环（半自动）工作方式 单循环包括滑块快速下行、滑块慢速下行（加压）、保压延时、卸压、快速回程到原位停止等过程。

将工作方式选择开关 SA 扳至“工作”位置，其触头 SA (109-137) [23]闭合，同调整方式操作方法一样，用双手按下 SB_6 、 SB_7 ，使滑块快速下行，然后滑块慢速下行（加压），直到下行结束，中间继电器 KA_3 得电吸合，其动断触头 KA_3 (115-117) [20]、 KA_3 (123-125) [21]断开，使 KA_1 、 KA_2 失电释放，进而使电磁阀 YV_1 、 YV_2 失电， YV_5 、 YV_6 得电，主缸上腔保压。与此同时， KA_3 的动合触头 KA_3 (137-137a)[23]闭合，使通电延时时间继电器 KT_4 [23]得电吸合，延时保压；保压时间到，其延时闭合的动合触头 KT_4 (137-141) [24]闭合，使中间继电器 KA_4 [24]得电吸合并自锁（此时可松开双手按钮）， KA_4 的动合触头 KA_4 (101-163) [33]闭合，使电磁阀 YV_7 得电，主缸上腔卸压； KA_4 的动合触头 KA_4 (145-147) [25]闭合，使 KA_5 得电吸合，其动合触头 KA_5 (101-168) [35]、 KA_5 (101-167) [34]闭合，使电磁阀 YV_1 、 YV_8 得电，为回程作好准备，上腔压力卸到一定值时，压力继电器 KP_3 发出信号，其动合触头 KP_3 (147-149) [26]闭合，使 KA_6 得电吸合。 KA_6 的动合触头 KA_6 (101-153) [29]、 KA_6 (101-159) [31]闭合，使 YV_3 、 YV_5 得电，滑块回程，其动作与调整方式相同，滑块回到原位，挡铁压下行程开关 SQ_1 ，其动断触头 SQ_1 (141-143) [24]断开，单循环过程结束。

③ 顶出缸和停止操作 按下按钮 SB_{10} [36、37]，使电磁阀 YV_1 、 YV_9 得电，液压泵停止卸荷，压力油由锥阀 11 进入顶出缸下腔，上腔油液由锥阀 14 流回油箱，顶出缸活塞向上顶出，松开按钮时运动停止。按动顶出缸退回按钮 SB_{11} [37、38]，使 YV_1 [35]、 YV_{10} [37]得电，液压泵停止卸荷，压力油由锥阀 13 进入顶出缸上腔，下腔油液由锥阀 12 流回油箱，顶出缸活塞退回，松开按钮时运动停止。

按动停止按钮 SB_9 [18]，机身控制电路失电，机身停止，液压泵电动机仍在转动。当主油路压力超过 KP_4 整定压力时，其动合触头 KP_4 (101-101a) [27]闭合，使超压报警灯 HL_5 亮。

第六章 起重机械电气控制电路

第一节 建筑工地用起重机电气控制电路

一、建筑工地用简易起重机电气控制电路

建筑工地用简易起重机电气控制电路如图 6.1.1 所示。

【看图思路】

(1) 主电路[1-3]

通过接触器 KM_1 ，使电动机 M 接通正相序电源，通过接触器 KM_2 、 KM_3 ，使电动机接通反相序电源。因此， KM_1 使电动机正转，提起吊篮； KM_2 、 KM_3 使电动机反转，吊篮下降。 YB 为电磁制动器，电动机 M 得电时， YB 同时得电，制动器松闸；电动机 M 失电时 YB 也失电，制动器抱闸。

(2) 行程开关、转换开关

$SQ_1 \sim SQ_7$ 为层楼定位行程开关，其中 $SQ_2 \sim SQ_7$ 为复合行程开关。

SQ_8 、 SQ_9 为超高限位保护开关， SQ_C 为超高解除开关。

$SA_1 \sim SA_7$ 为层楼选择开关。

(3) 电动机 M 的控制

由图区 9~16 可见，闭合 $SA_1 \sim SA_7$ 的任意一只开关，即选择吊篮欲往的楼层后，通过其相应楼层行程开关（ $SQ_1 \sim SQ_7$ 中相应的行程开关）的动断触头，可使 KM_1 、 KM_2 得电吸合，电动机正转或反转，使吊篮保升或下降。

当吊篮达到欲选楼层后，压动相应的楼层定位行程开关 $SQ_1 \sim SQ_7$ ，其动断触头断开，使 KM_1 或 KM_2 失电释放，电动机停转，吊篮停止上升或下降；同时其动合触头闭合，使接触器 KM_3 和通电延时时间继电器 KT 得电吸合，电动机反转， KT 延时时间到，其延时断开的动断触头断开，使 KM_3 、 KT 失电释放，电动机停转。

【看图实践】

(1) 吊篮上升

在起重机需要上升时，如吊篮需上升到 5 楼，按下楼层选择开关 SA_5 ， $SA_1 \sim SA_4$ 、 $SA_6 \sim SA_7$ 自动跳开，控制电路经 SA_5 接通电源。按上升启动按钮 SB_2 ，使接触器 KM_1 得电吸合（ $L_1 \rightarrow SQ_8$ (1-7) $\rightarrow SQ_9$ (7-9) $\rightarrow SA_5 \rightarrow SQ_9$ (27-13) $\rightarrow SB_1 \rightarrow SB_2 \rightarrow KM_2$ (17-19) $\rightarrow KM_1$ 线圈 \rightarrow

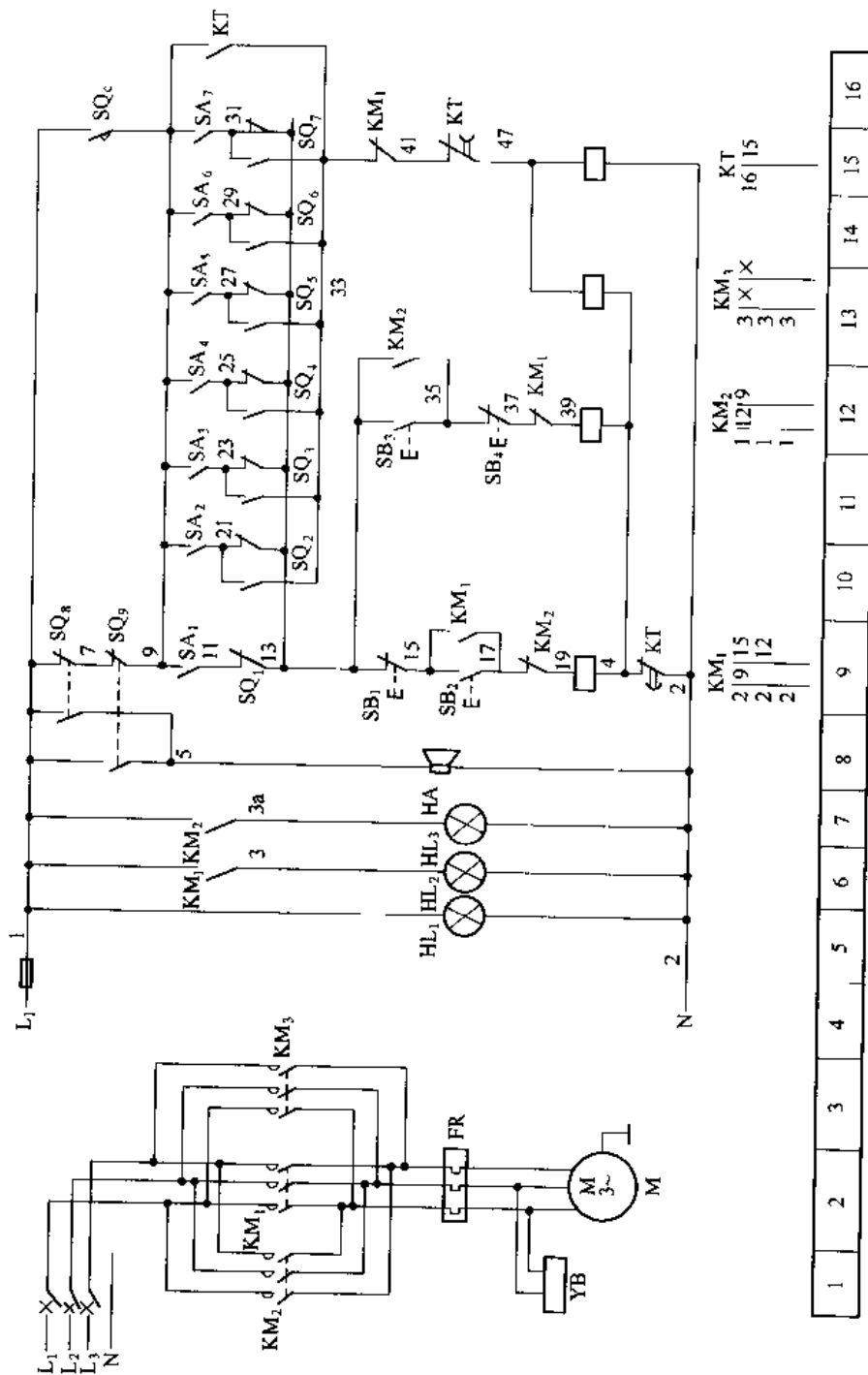


图 6.1.1 建筑工地用简易起重机电气控制电路

KT (4-2) → N)，并通过其自身辅助动合触头 KM_1 (15-17) 自锁。 KM_1 的主触头闭合，使电动机 M 正转启动，吊篮上升。 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (37-39) 断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁。吊篮底下装有两根保险杠，保险杠沿着保险钩的外沿向上滑行，并挑起可沿轴活动的保险钩挡板。当吊锁上升到 5 楼时，吊篮碰压 5 层楼的层楼定位行程开关 SQ_5 （此时保险杠超过保险钩最高点）。 SQ_5 的动断触头 SQ_5 (27-13) 断开，使 KM_1 失电释放，其主触头断开，电动机停转；其辅助动合触头复位闭合，为 KM_2 得电作准备。 SQ_5 的动合触头闭合，使锁触器 KM_3 和通电延时时间继电器 KT 得电锁合 ($L_1 \rightarrow SQ_8$ (1-7) → SQ_9 (7-9) → $SA_5 \rightarrow SQ_5$ (25-33) → KM_1 (33-41) → KT (41-47) → (KT 线圈 // (KM_3 线圈 → KT (4-2))) → N)，并通过 KT 的瞬动触头 KT (9-33) 使 KM_3 和 KT 锁住。 KM_3 得电吸合，其主触头闭合，使电动机 M 反转，吊篮下降，使保险杠落到保险钩上，以防起重机抱闸失灵和钢丝绳断锁造成事故。KT 得电吸合并自锁后，开始延时，延时时间到后，吊篮降落在锁险钩上时，KT 的延时断开的动断触头 KT (41-47) 断开，使 KM_3 和 KT 同时失电释放，电动机停转，上升结束。

当需要吊篮锁续上升到 7 层楼时，同样按下楼层选择开关 SA_7 ， $SA_1 \sim SA_6$ 全部断开，再按下上升启动按钮 SB_2 ，锁触器 KM_1 得电吸合，电动机正转启动。吊篮上升到 7 楼时，碰上楼层定位行程开关 SQ_7 ，重复上面的控制过程，直到吊篮停放平稳。若 7 楼的 SQ_7 失控，吊篮将锁续上升。但上升到超高保险装置碰压行程开关 SQ_8 、 SQ_9 时，其动断触头 SQ_8 (1-7)、 SQ_9 (7-9) 断开，切断控制电源，其动合触头 SQ_8 (1-5)、 SQ_9 (1-5) 闭合，使电笛 HA 得电，进行锁警。排除故障后，合上开关 SQ_C ，锁下 SB_3 ，使 KM_2 得电锁合，电动机反转，吊篮下降。吊篮下降到位后，断开开关 SQ_C ，以免 SQ_8 、 SQ_9 失控。

(2) 吊篮下降

在要求吊篮下降到某一层时，锁下该楼层选择开关后，先按下 SB_2 ，让吊篮上升脱离保险钩，挑起保险钩挡板，保险杠上升脱离挡板后，挡板自由落下，再按 SB_3 ，电动机反转，吊篮下降，保险杠沿挡锁外沿向下楼行。当吊篮下降到该层保险钩以下时，按下 SB_4 ，停止下降，再锁下 SB_2 ，使电动机正转，吊篮上升，挑起挡板，重复上述停层的控制程序，直至停放平稳。如果要求吊锁下降到底层，则可按下 SA_1 ，使吊篮上升脱离保险钩，再按 SB_3 ，使吊篮下降到底层时碰压 SQ_1 ，动断触头断开，电动机停止工作，下降结束。

由于主回路附带有制动电超铁 YB，因此选择上升用的接触器时，主触头的额定电流要放大一个等级，以免触头粘连，造成不可控制的后果。

二、快速拆锁式塔式起重机电气锁制电路

电路如图 6.1.2 所示。

【看图思路】电源进超处为集电环，快锁拆装式塔式起重机为下回转，电源进线不能用导线束锁锁入，采用滑动连楼，在回转部位装有集电环。

(1) 主电动机 M 的控制

电动机 M 为起重电动机（绕线转子式感应电动机），由凸轮转控制器 QM 进行正反向启动和调速控制。 YB_1 为失电锁闸起升制动楼，当电动机 M 失电时， YB_1 也失电， YB_1 的闸瓦将起升电动机 M 刹住。同时 YB_1 还受启停脚超开关 SF_2 [20] 的控制，踏下 SF_2 ， KM_7 [20] 失电释放，制动器 YB_1 动作，刹住主电动机 M。主电动机 M 用过电超锁过楼 KI_1 、 KI_2 作过锁保护。

(2) 电动机 $M_1 \sim M_3$ 的控制

电动机 $M_1 \sim M_3$ 的控制电路均为由接触器组成的正反转控制电路。

M_1 为行走电动机，由接触器 KM_1 、 KM_2 进行正反转控制，以控制 M_1 的行走方向。在控制回路中装有限位开关 SQ_3 和 SQ_4 ，分别装在行车轨道尽头处，行车至轨道尽头时，撞压行程开关 SQ_3 或 SQ_4 ，使行车自动停止行走。

M_2 为回转电动机，由接触器 KM_3 、 KM_4 进行正反转控制。

M_3 为变幅电动机，由接触器 KM_5 、 KM_6 进行正反转控制。变幅电动机上装有失电抱闸控制器 YB_2 ，进行制动控制，变幅电动机为点动控制。向上抬时，超过上限幅度时，上限幅度限制行程开关 SQ_5 断开，电动机 M_3 自动停转。

$SQ_1 \sim SQ_5$ 均为复合行程开关（动断触头接在电动机控制电路，动合触头接在警笛电路），因此，在司机室内不论是升起、行走或变幅到极限位置，警笛 HA_2 都要鸣响。 SF_1 为脚踏电铃开关，当起重机有动作时都要打铃 HA_1 以警示地面人员注意。熔断器 $FU_1 \sim FU_5$ 起短路保护作用。

(3) 主接触器 KM 的控制

在起重机投入运行前，应将凸轮控制器 QM 的控制手柄扳到“零位”， QM 在主接触器 KM 控制电路的动断触头 Q_5 和 Q_6 [14] 处于闭合状态下，然后按下启动按钮， KM 得电吸合并自锁，其主触头闭合，接通总电源，其辅助动合触头 $KM(1-9)$ [14] 闭合，接通控制电路电源。

提升电动机 M 和主接触器 KM 的控制电路可改画成如图 6.1.3 所示的电路。 SQ_1 和 SQ_2 是起重时限位的位置开关， $Q_5 \sim Q_7$ 为凸轮转控制器 QM 的触头。

主接触器 KM 作主电路通断控制以及作失压保护，过流继电器 KI_1 、 KI_2 作过载保护，过流继电器线图分别串接在三相电源的两条电源线上，其动断触头 $KI_1(6-4)$ 、 $KI_2(4-2)$ 串接在 KM 线圈电路中，当电流出现过载时，过流继电器吸合，其动断触头断开，使 KM 失电释放，其主触头断开，切断总电源，电动机停转。

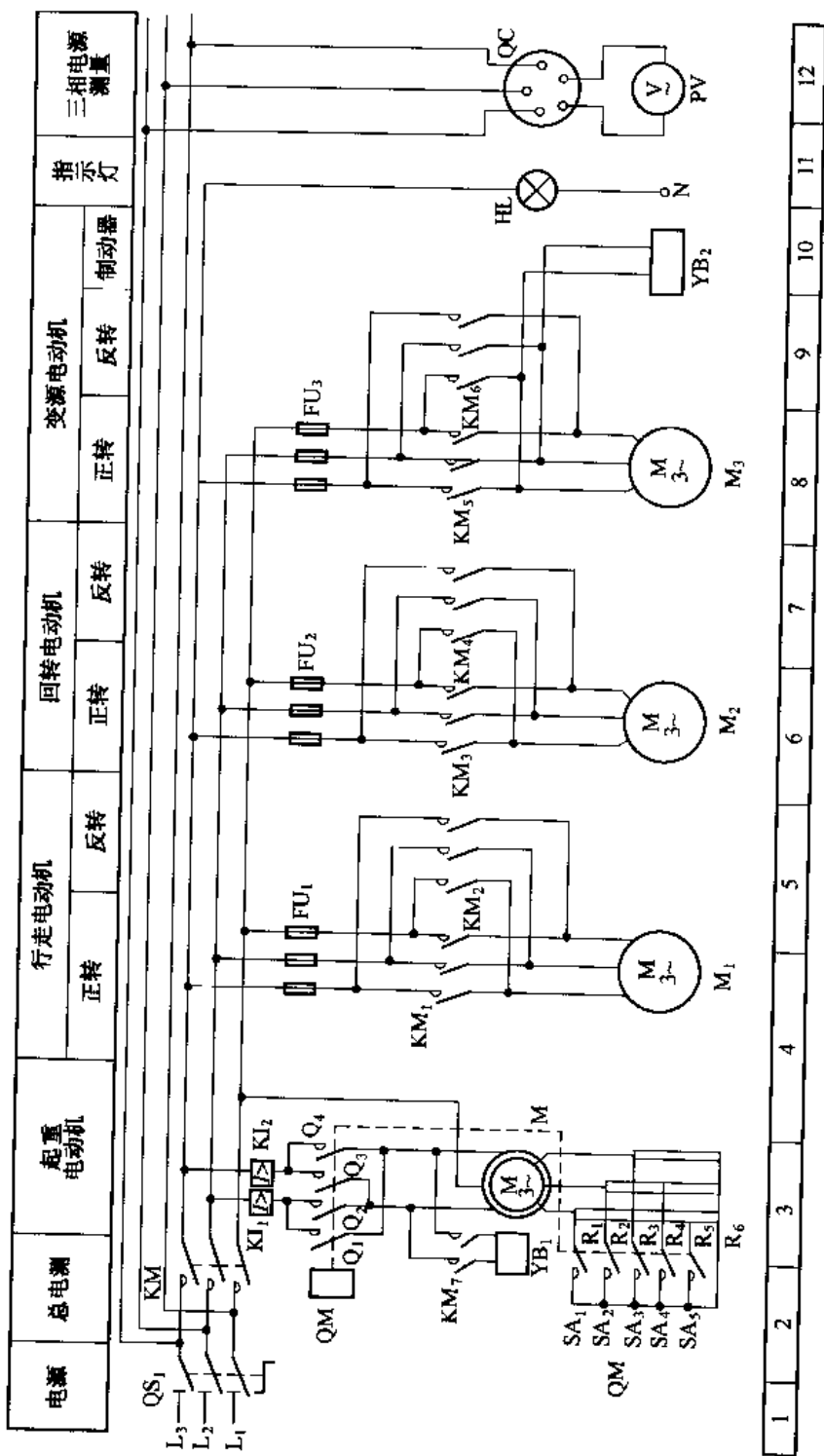
启动过程中，主令控制器手轮可以停在任何位置，电动机就会按此时的转速旋转，起到调速作用，也就是绕线转子感应电动机可以通过一个主令控制器来控制。

【看图实践】

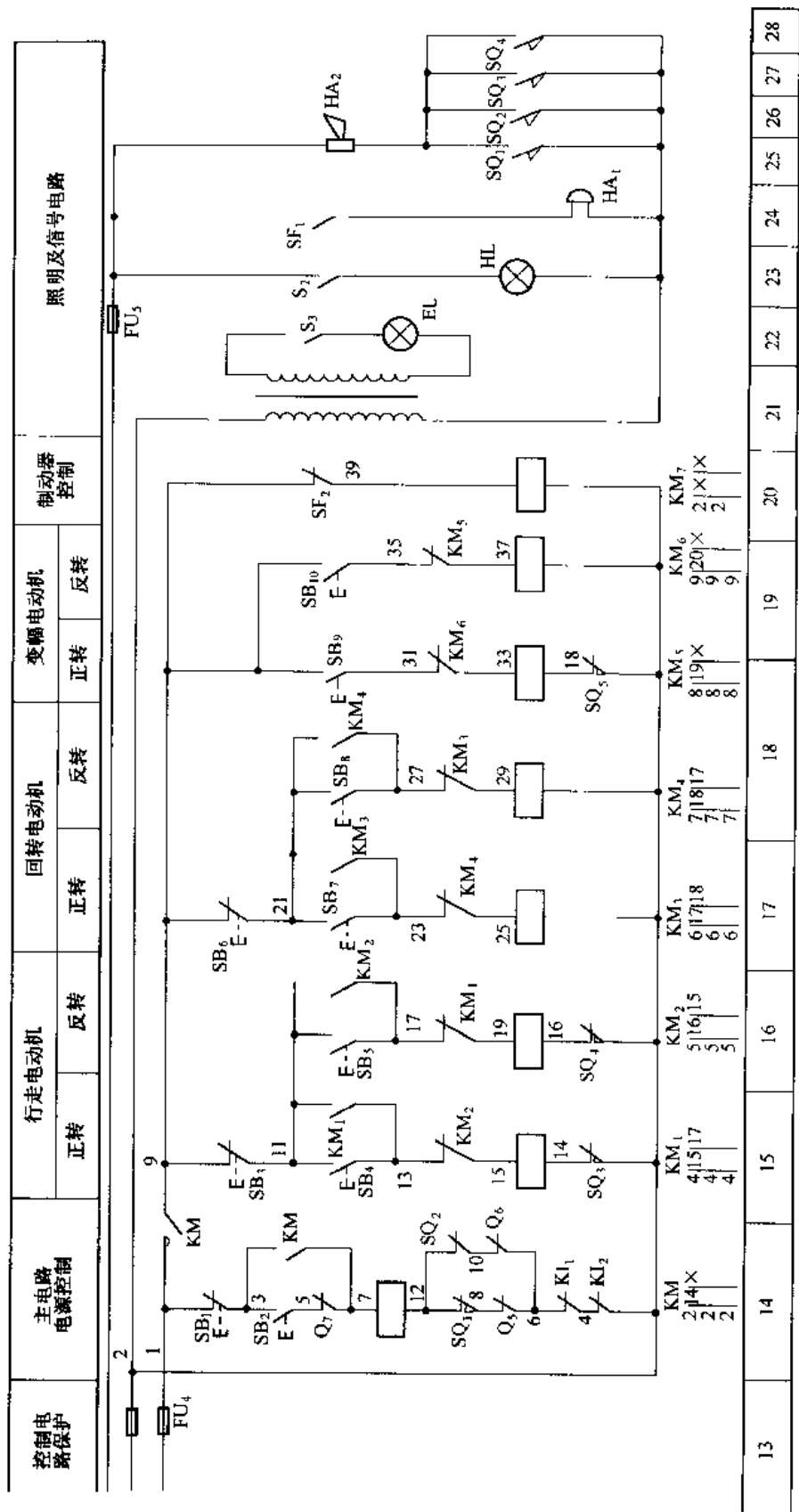
(1) 起重电动机 M 的控制（见图 6.1.2 及图 6.1.3）

合上开关 QS ，将主令控制器 QM 置于“0”位，按启动按钮 SB_2 ，使接触器 KM 得电吸合并自锁，其主触头 [2] 闭合，接通主电路电源；其辅助动合触头 $KM(1-9)$ [14] 闭合，接通控制电路电源。转动 QM ，若使电动机正转，则 QM 的触头 Q_2 、 Q_4 闭合而 Q_1 、 Q_3 断开；若使电动机反转，则 QM 的触头 Q_1 、 Q_3 闭合而 Q_2 、 Q_4 断开。但不论正转或反转，在位置“1”时， $SA_1 \sim SA_5$ 均断开，转子电路中的所有电阻均串入，电动机开始启动。随着转速的提高，把手轮转到“2”的位置，触头 SA_5 闭合，电阻被短路一段，串联电阻变小转速继续提高，手轮转到“2”、“3”、“4”、“5”位时，触头 SA_4 、 SA_3 、 SA_2 、 SA_1 相继闭合，将启动电阻全部短路，启动完成。

SQ_1 是反转限位行程开关， SQ_2 是正转限位行程开关。



(a)



(b)

图 6.1.2 快速拆装式塔式起重机电气控制电路

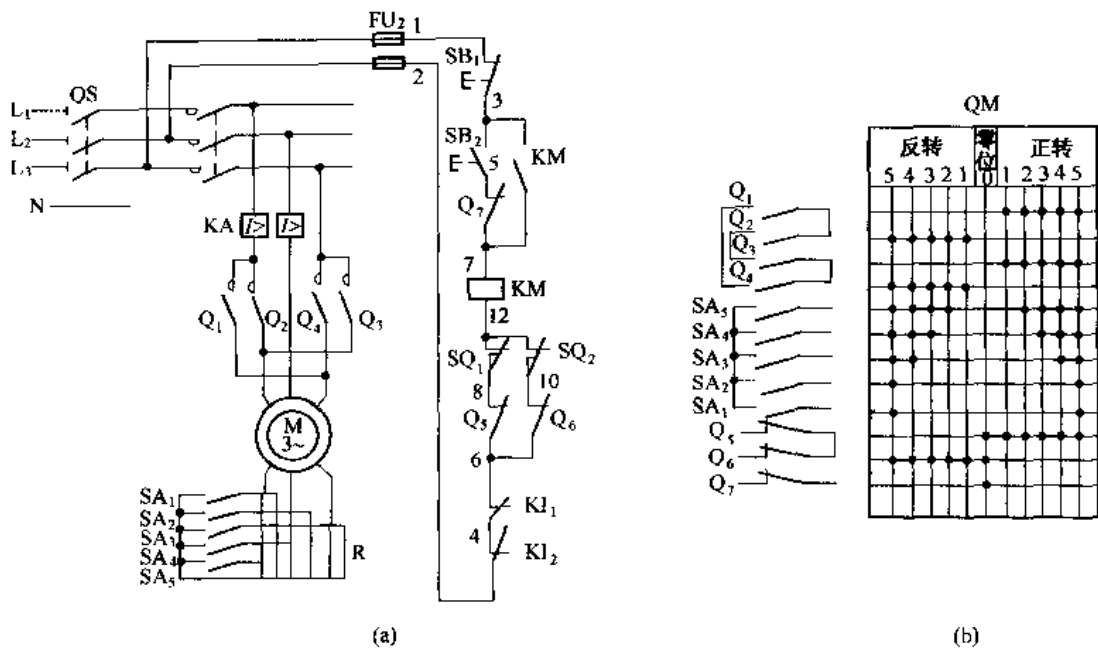


图 6.1.3 凸轮控制器控制绕线式感应电动机电路

(2) 行走电动机 M_1 和回转电动机 M_2 的控制

M_1 和 M_2 的控制电路为典型的接触器连锁的正反转控制电路。 M_1 的控制电路中设有正反转的限位开关 SQ_3 及 SQ_4 。

(3) 变幅电动机 M_3 的控制

M_3 的控制电路为典型的接触器连锁的正反转点动控制电路，并且设有失电制动的电磁制动器 YB_2 。

三、TQ60/80 型塔式起重机电气控制电路

TQ60/80 型塔式起重机是普通上回转塔式起重机，适用于 18 层以下混凝土结构高层建筑施工。起重机最大起重幅度为 30m（米），最大起重量为 8t（吨），最大起升高度为 50m，设备总容量为 48kW。

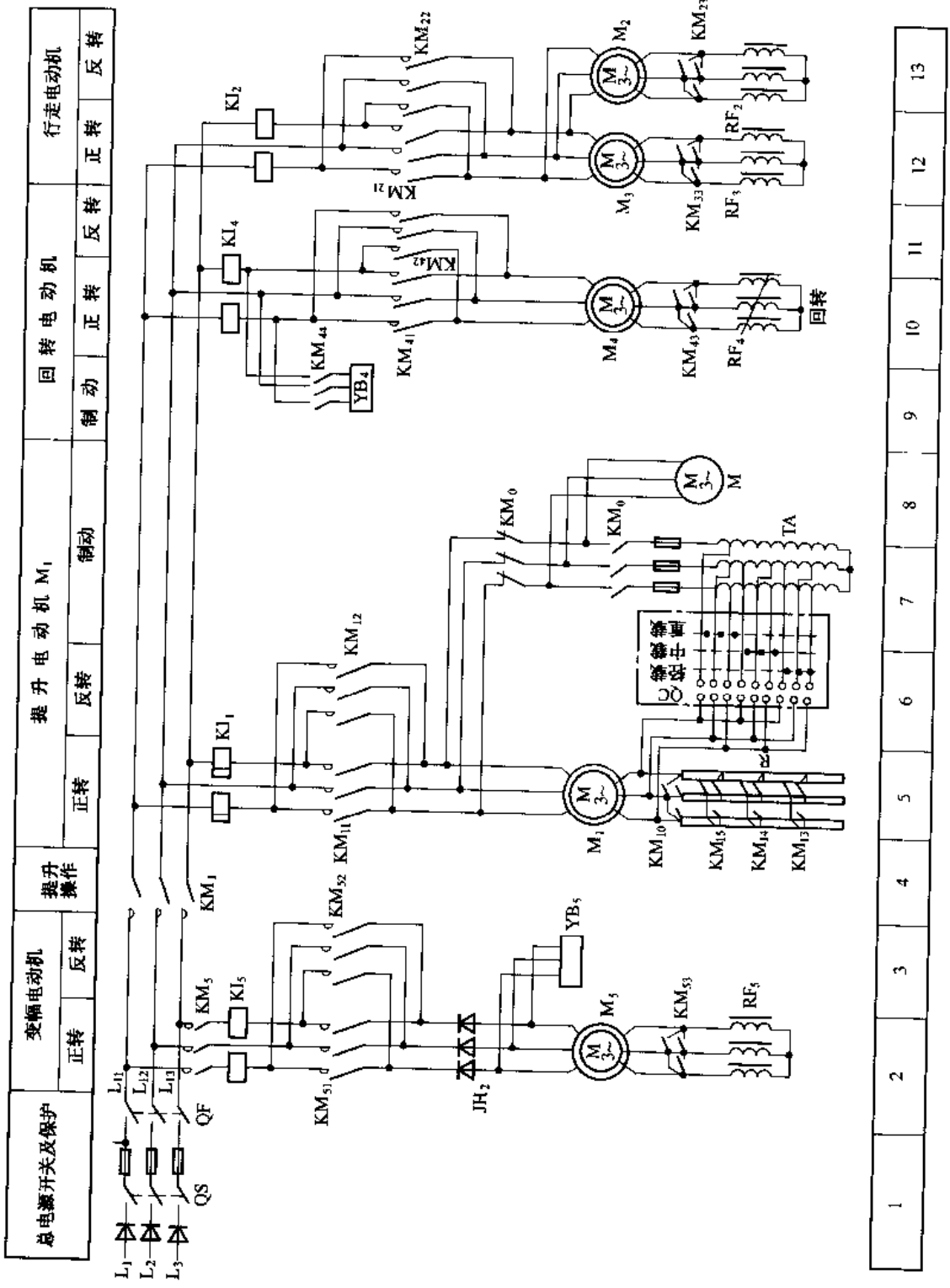
TQ60/80 型塔式起重机电气控制电路如图 6.1.4 所示。

【看图思路】

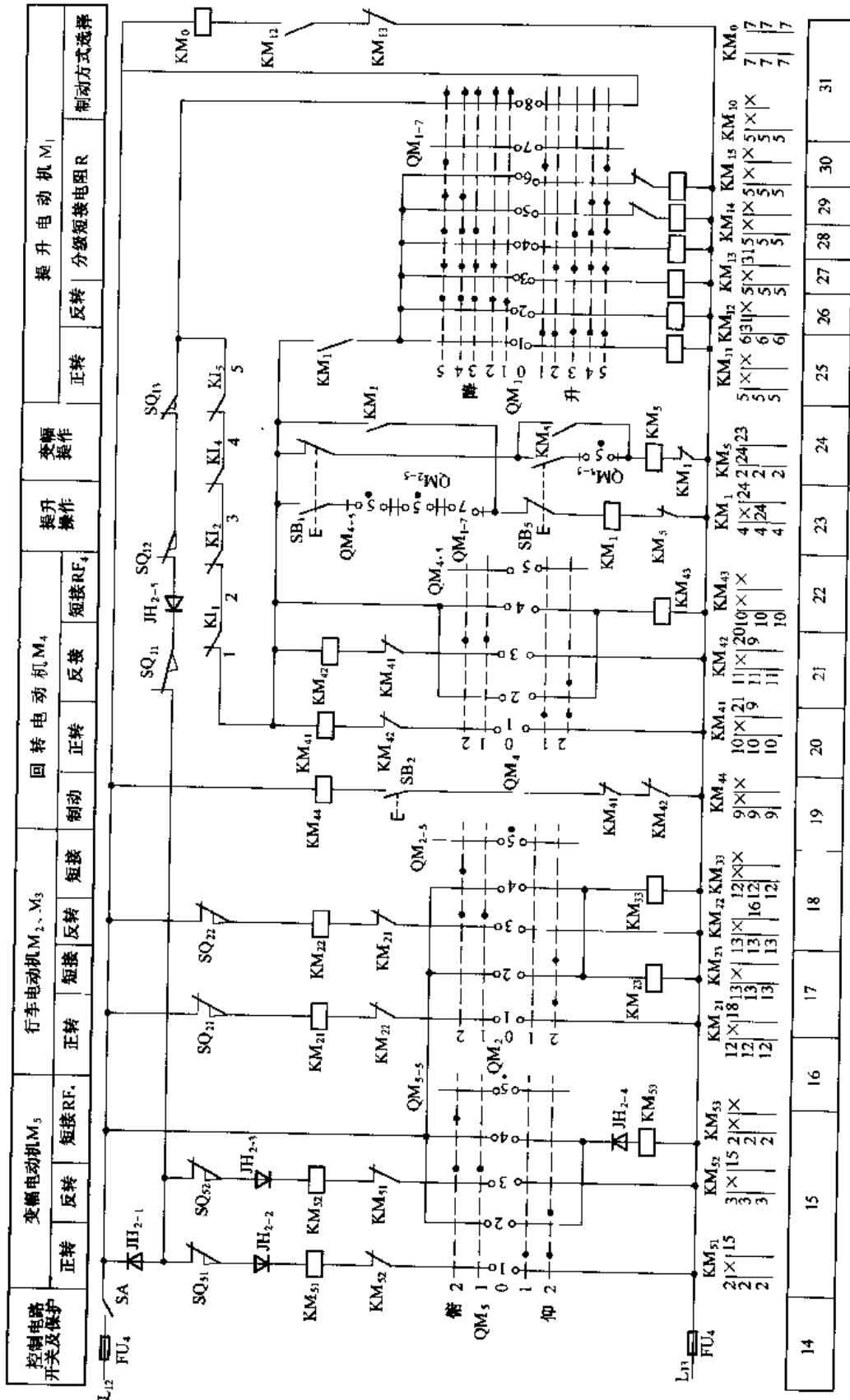
起重机上有 5 台绕线转子式感应电动机 $M_1 \sim M_5$ ，其中 M_1 为提升电动机， M_2 、 M_3 为行车电动机， M_4 为回转电动机， M_5 为变幅电动机。鼠笼式感应电动机 M 接在电动机 M_1 电路中，为提升电动机 M_1 制动用的电力液压推杆制动器上的电动机。

(1) 电动机 M_1 采用转子绕组串电阻启动和调速，接触器 KM_{11} 、 KM_{12} 控制 M_1 的正反转， KM_{13} 、 KM_{14} 、 KM_{15} 与 KM_{10} 为分级短接启动电阻 R 的接触器。凸轮控制器 QC 、自耦变压器 TA 、接触器 KM_0 和电动机 M 组成电动机 M_1 的制动电路。

根据电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 $KM_{10} \sim KM_{15}$ 和 KM_0 ，在图区 25~31 中可找到 M_1 的控制电路。由图可见，电动机 M_1 的工作状态的转换由主令控制器 QM_1 、接触器 $KM_{10} \sim KM_{15}$ 来实现。



(a)



(b)

图 6.1.4 TQ60/80 型塔式起重机电气控制电路

电动机 M_1 通过接触器 KM_1 的动合触头[4]、 KM_{11} 的动合触头[5]或 KM_{12} 的动合触头[6]得电，并使制动电动机 M 得电，制动器松闸；在电动机 M_1 失电停转后， M 也失电，制动器立即刹死。在重物下降阶段的下降 1 时，接触器 KM_{12} 得电吸合，使接触器 KM_0 也得电吸合。电动机 M 通过 KM_0 的动合触头[7]接在自耦变压器 TA 的原边绕组上，而 TA 的副边绕组通过凸轮控制器 QC 接在电动机 M_1 的转子电路上， TA 起升压变压器作用。这时，电动机 M_1 的转子电路，通过 QC 及 TA 给电动机 M 供电。在不同转速的情况下，转子电路启动电阻上的电压不同，自耦变压器上的电压也不同，电动机 M 上的电压也不同，使电动机 M 的转速也不同。 M 的转速高，制动器就刹得松些； M 的转速低，制动器就刹得紧些，可根据起重量用 QC 来选择（变换 TA 的变压比） M 上的电压。这种制动方式只有在重物下降时才使用。

(2) 行车电动机 M_2 、 M_3 采用转子绕组串接频敏电阻 RF_2 、 RF_3 来启动和调速，接触器 KM_{21} 、 KM_{22} 控制 M_2 、 M_3 正反转，接触器 KM_{23} 、 KM_{33} 短接频敏电阻 RF_2 、 RF_3 。根据 M_2 、 M_3 主电路控制电器主触头文字符号 $KM_{21} \sim KM_{23}$ 、 KM_{33} ，在图区 16~18 中可找到 M_2 、 M_3 的控制电路。由图可见，电动机 M_2 、 M_3 的工作状态由主令控制器 QM_2 通过接触器 $KM_{21} \sim KM_{23}$ 、 KM_{33} 来实现转换。行程开关 SQ_{21} 、 SQ_{22} 作行走限位控制。

(3) 回转电动机 M_4 采用转子绕组串接频敏变阻器 RF_4 来启动和调速，接触器 KM_{41} 、 KM_{42} 控制 M_4 的正反转，接触器 KM_{43} 短接频敏变阻器 RF_4 ，接触器 KM_{44} 控制电动机 M_1 的制动抱闸 YB_4 。根据 M_4 主电路控制电器主触头文字符号 $KM_{41} \sim KM_{44}$ ，在图区 19~22 中可找到 M_4 的控制电路。由图可见，电动机 M_4 的工作状态由主令控制器 QM_4 通过接触器 $KM_{41} \sim KM_{44}$ 来实现转换。

(4) 变幅电动机 M_5 采用转子绕组串接频敏变阻器 RF_5 来启动和调速，接触器 KM_{51} 、 KM_{52} 控制 M_5 正反转，接触器 KM_{53} 短接频敏变阻器 RF_5 。 YB_5 为 M_5 的制动抱闸， M_5 停转后立即抱闸。根据 M_5 主电路控制电器主触头文字符号 $KM_{51} \sim KM_{53}$ ，在图区 14、15 中可找到 M_5 的控制电路。由图可见，电动机 M_5 由主令控制器 QM_5 通过接触器 $KM_{51} \sim KM_{53}$ 来实现转换。行程开关 SQ_{51} 、 SQ_{52} 作变幅的限位控制。

(5) 在图区 2、4 中有接触器 KM_1 、 KM_5 的主触头，通过 KM_5 主触头给电动机 M_5 供电，通过 KM_1 主触头给 $M_1 \sim M_4$ 供电。在图区 23、24 中可找到 KM_1 、 KM_5 的线图电路，如图 6.1.5 所示。

SQ_{11} 为超高限位行程开关， SQ_{12} 为脱槽保护开关， SQ_{13} 为超重保护开关，当出现超高、脱槽、超重时， $SQ_{11} \sim SQ_{13}$ 的动断触头断开，接触器 KM_1 或 KM_5 不能得电，塔吊也不能进行回转或提升操作。

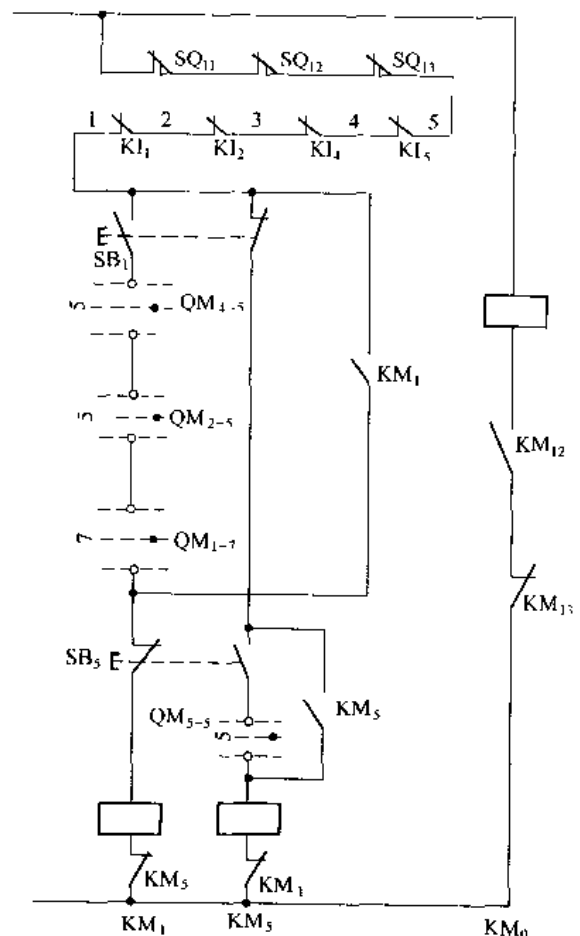


图 6.1.5 KM_1 、 KM_5 线图电路

KI₁ (1-2)、KI₂ (2-3)、KI₄ (3-4)、KI₅ (4-5) 为过流继电器 KI₁、KI₂、KI₄、KI₅ 的动断触头，当任一电动机过载时，接触器 KM₁、KM₅ 不能得电，塔吊也不能做回转或提升操作。

KM₁、KM₅ 采用按钮、接触器双重连锁。当主令控制器 QM₁、QM₂、QM₄ 都置于“0”位时，按动按钮 SB₁[23]，使 KM₁[23] 得电吸合并自锁，而 KM₅[24] 不能得电；当 QM₅ 置于“0”位时，按动按钮 SB₅[23、24]，才能使 KM₅ 得电吸合并自锁，而 KM₁ 不能得电，保证不会出现误操作。

(6) 由图区 26、27 可见，只有在下降 1 时，KM₁₃[27] 不得电，而 KM₁₂[26] 得电，才能使 KM₀[31] 得电吸合。

(7) QM₂、QM₄、QM₅ 为 5 位 5 层开关，不论电动机正转还是反转，在“1”位时为串接频敏变阻器启动状态；在“2”位时为短接频敏变阻器，电动机处于正常运转状态；在“0”位时为停止状态。

SA[14] 为控制电路事故急停开关，当出现事故时，扳动此开关，使控制电路失电，进而使整个电路失电。

【看图实践】

合上总电源开关 QS[1] 和断路器 QF[1]，为 M₁~M₅ 得电作准备。再合上事故急停开关 SA[14]，接通控制电路电源。将主令控制器 QM₁、QM₂、QM₄、QM₅ 置于零位，为接触器 KM₁[23] 或 KM₅[24] 得电作准备。

(1) 若需要提升操作，按下启动按钮 SB₁[23]，则接触器 KM₁[23] 得电吸合并自锁 (L₁₂→FU₄→SA→SQ₁₁→SQ₁₂→SQ₁₃→KI₅→KI₄→KI₂→KI₁→SB₁ (动合触头)→QM₄₋₅→QM₂₋₅→QM₁₋₇→SB₅ (动断触头)→KM₁ 线圈→KM₅ 辅助动断触头→FU₄→L₁₃)，KM₁ 主触头[4] 闭合，总电源通过 KM₁ 主触头[4] 给电动机 M₁~M₄ 供电，则可以通过 QM₁、QM₂、QM₄ 来控制电动机 M₁、M₂、M₃ 以及 M₄ 的工作状态。此时，由于 KM₁ 的动断触头[24] 断开，使接触器 KM₅ 不能得电，实现连锁，使变幅电动机 M₅ 不能工作。

若使回转电动机 M₄ 工作，不论电动机是正转还是反转，将 QM₄ 由“0”位置于“1”、“2”位，则 KM₄₁ 或 KM₄₂ 得电吸合，电动机 M₄ 正转或反转，同时 KM₄₁、KM₄₂ 的辅助动断触头[19] 断开，确保 KM₄₄[19] 不能得电，使 YB₄[9] 不能得电，确保制动器松闸。若使 M₄ 停转，则应将 QM₄ 由“1”、“2”位置于“0”位，使 KM₄₁、KM₄₂[21、22] 失电释放，其辅助动断触头[19] 复位闭合，为 KM₄₄[19] 得电准备，按下点动按钮 SB₂[19]，则 KM₄₄[19] 得电吸合，其主触头[9] 闭合，YB₁[9] 得电，制动器紧闸，使 M₄ 迅速停转。

关于 QM₁ 对 M₁ 的控制，见图 6.2.9。

(2) 若需要进行变幅操作，首先应将 QM₅ 置于“0”位，然后按下启动按钮 SB₅[23、24]，则接触器 KM₅[24] 得电吸合并自锁，其主触头[2] 闭合，总电源通过 KM₅ 的主触头[2] 给变幅电动机 M₅ 供电，则可以通过 QM₅ 来控制 M₅ 的工作状态。此时，KM₁ 不能得电，实现连锁，使电动机 M₁~M₄ 不能工作。YB₅[3] 为 M₅ 的电磁制动器，M₅ 得电时松闸，M₅ 失电时抱闸。

第二节 起重运输机械的电气控制电路

起重运输机械是一种起吊和运输重物的设备，在车间、仓库和流水加工线上得到广泛的

应用。对减轻劳动强度，提高生产效率有着重要的作用，是现代化生产中不可缺少的机械设备之一。

起重运输机械的工作具有周期短，工作重复，操作频繁，经常需要电动机启动、制动、反转、调速等特点，因此这类电气控制电路在电力拖动中具有一定的典型性。

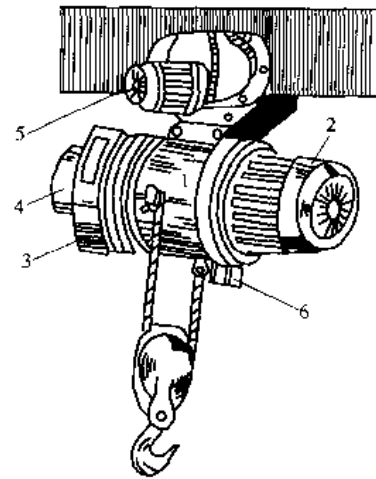
起重运输机械的种类较多，如电动葫芦、桥式起重机、龙门起重机、汽车吊机、电瓶铲车等。由于电动葫芦和桥式起重机具有代表性，因此下面就以这两种起重运输机械为例，分析它们的电气控制电路。

一、电动葫芦的电气控制电路

电动葫芦是用来提升或下降重物，并能在水平方向移动的起重运输机械。它具有起重重量小、结构简单、操作方便等特点。一般电动葫芦只有一个恒定的运行速度，广泛应用于工矿企业中进行小型设备的安装、吊运和维修中。

【主要组成及运动形式】

我国自行联合设计的 CD 型钢丝绳电动葫芦，如图 6.2.1 所示。它由两个结构上相互联系的提升机构和移动装置组成，分别由提升电动机和移动电动机拖动。提升机构电动机通过减速箱拖动钢丝卷筒。提升的钢丝卷筒（1）由电动机（2）经减速箱（3）拖动，主传动轴和电磁制动器（4）的锥型圆盘相连接。电动葫芦是借导轮的作用在工字梁上来回移动，而导轮由另一台电动机（5）经圆柱型减速箱驱动。电动葫芦的行走机构设有电磁制动器，并用机械撞块限制前后两个方向的移动行程。



1—钢丝卷筒 2—锥型电动机 3—减速箱
4—电磁制动器 5—电动机 6—限位开关

图 6.2.1 电动葫芦结构图

电磁制动器对主传动轴制动。在提升吊钩的极限位置装有行程限位开关。移动机构电动机经减速箱拖动行走导轮，行走导轮可以在工字轨道上来回滚动。当它超出行程时，由行程限制开关进行限位保护。为了安全，电动葫芦采用点动控制，当操作人员离开岗位时，电动葫芦就自动停车，避免事故发生。

【看图思路】

电动机 M_1 为吊钩升降电动机，用来提升货物，由接触器 KM_1 、 KM_2 进行正反转控制，以实现吊钩升降。 YB 为吊钩电动机 M_1 的电磁制动器，它的线圈两端与电动机 M_1 的两相电源线并联在一起，当 M_1 得电时， YB 也得电并松闸，让电动机 M_1 转动； M_1 失电时， YB 也失电，靠弹簧力将 M_1 制动。

根据电动机 M_1 主电路控制电器主触头文字符号 KM_1 、 KM_2 ，在图区 6、7 中可找到 KM_1 、 KM_2 线圈电路， SB_1 、 SB_2 为吊钩电动机 M_1 的正反向复合启动按钮，正反向接触器 KM_1 、 KM_2 线圈电路间采用复合按钮和接触器双重连锁。由于无自锁触头，因此松开按钮 SB_1 或 SB_2 ， KM_1 或 KM_2 就失电释放，电动机 M 就停止转动。 SQ_1 、 SQ_2 为上下限位行程开关。

M_2 为移动机构电动机，用来水平移动搬运货物，由接触器 KM_3 、 KM_4 进行正反转控制，采用复合按钮和接触器双重连锁，实现电动机 M_2 的水平移动， M_2 停止时不需要电磁制动，控制电路中设有限位开关 SQ_3 、 SQ_4 进行限位保护，防止电动葫芦移位时超出允许

行程。

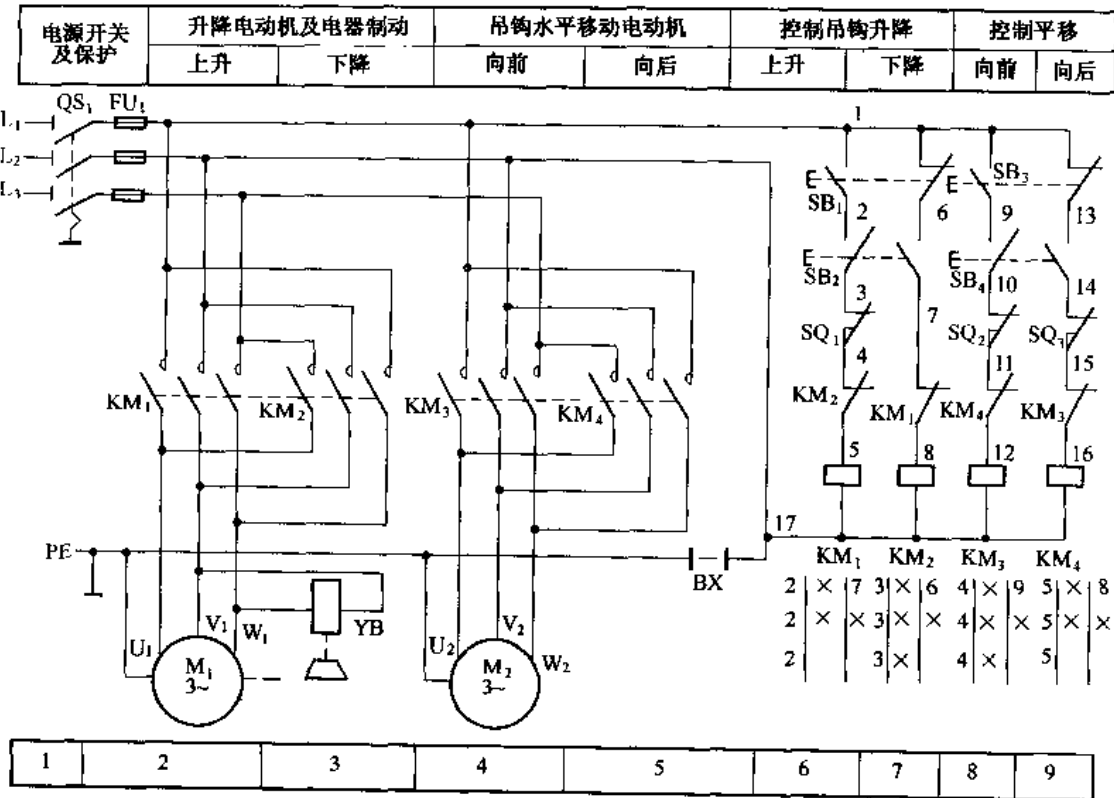
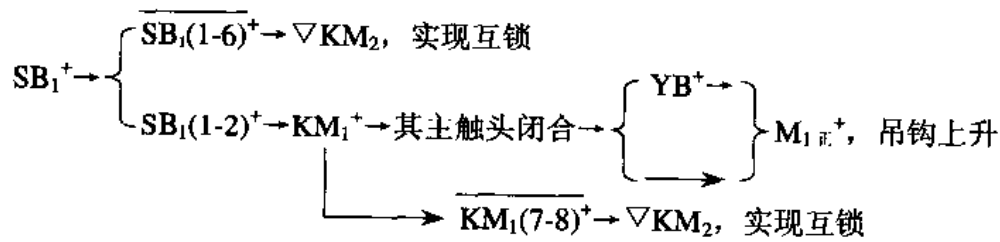


图 6.2.2 电动葫芦电气控制电路

【看图实践】

图 6.2.2 所示电路的工作过程为：

(1) 吊钩提升



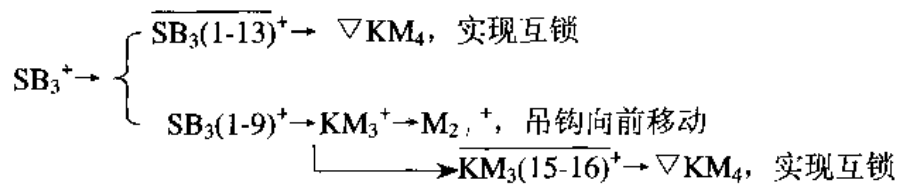
当吊钩上升到需要位置时，松开 SB_1 ：



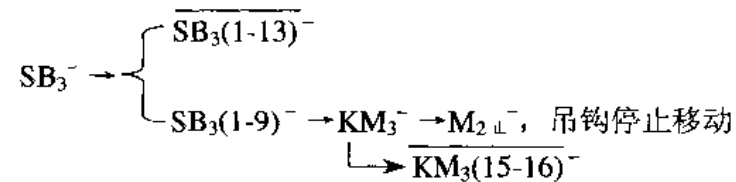
(2) 吊钩下降

吊钩下降的动作过程与吊钩提升过程相似，动作电器为 SB_2 、 KM_2 。

(3) 吊钩向前移动



当吊钩前移到预定的位置时松开 SB_3 :



(4) 吊钩向后移动

吊钩向后移动的动作过程与吊钩前移相似，动作电器为 SB_4 、 KM_4 。

二、提升机电气控制电路

图 6.2.3 所示为提升机的机械传动和电器设备示意图，该系统有两个料斗提升系统。两个料斗往返运动，由电动机通过减速装置驱动。提升甲料斗时，乙料斗下降。当甲料斗升到 SQ_{11} 行程开关位置时， SQ_{11} 动作；当甲料斗升到 SQ_{21} 终点开关位置时，甲料斗碰动 SQ_{21} ，此时电动机应失电，甲料斗升到预定位置。如果甲料斗升到 SQ_{21} 位置，电动机不能失电，甲料斗就会继续上升，上升到最高位置即 SQ_{31} 、 SQ_{41} 限位开关位置时， SQ_{31} 、 SQ_{41} 被碰动，电动机立即失电，停止甲料斗上升。当乙料斗上升时，甲料斗下降。乙料斗上升到 SQ_{12} 、 SQ_{22} 、 SQ_{32} 、 SQ_{42} 位置时，也会碰动这 4 个开关。

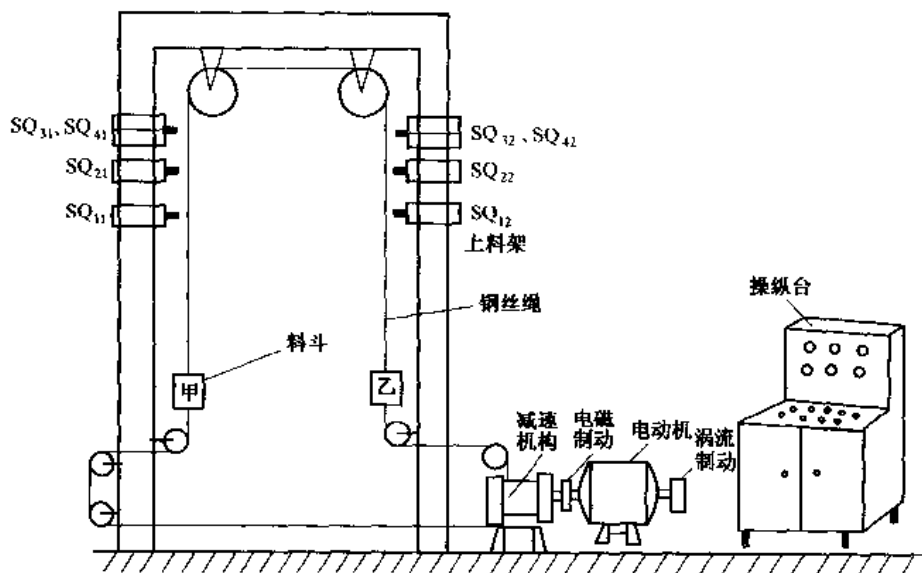


图 6.2.3 提升机的机械传动和电器设备示意图

甲料斗上升时电动机正转，乙料斗上升时电动机反转。电动机的启动和停止都是通过操纵台上的设置按钮控制的。提升系统的工作状态有指示灯显示。

该提升机的电气控制电路如图 6.2.4 所示。

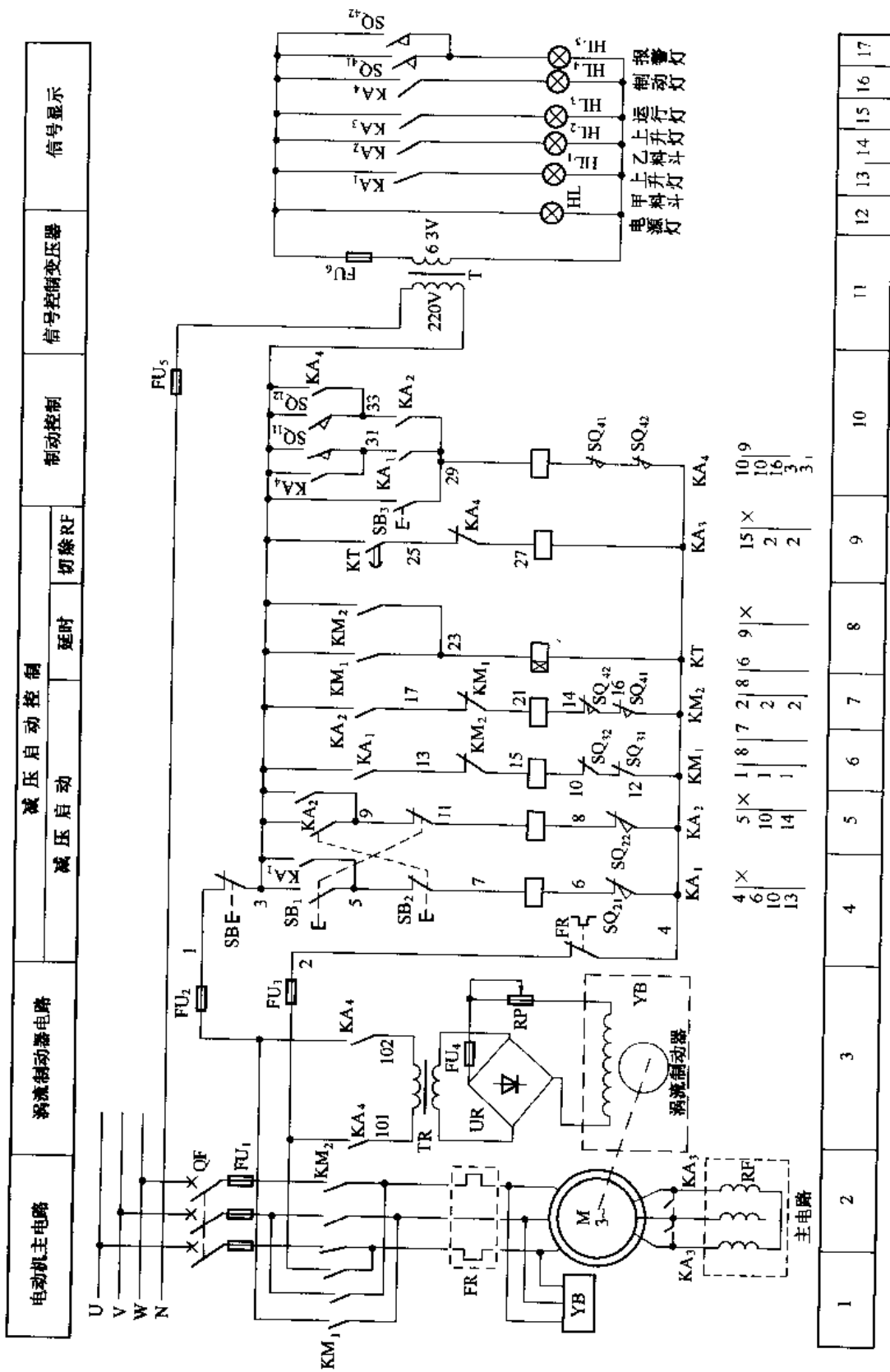


图 6.2.4 提升机的电气控制电路

【看图思路】

根据电动机 M 主电路控制电器上触头文字符号 KM_1 、 KM_2 ，在图区 4~9 中找到电动机 M 的控制电路。这是按时间原则组成三相绕线型感应电动机串接频敏变阻器的减压启动控制电路，由接触器 KM_1 、 KM_2 控制其正反转， KA_3 为短接频敏电阻继电器， KA_4 为制动继电器， KA_1 、 KA_2 为启动中间继电器， KT 为通电延时时间继电器。

采用电磁抱闸进行停车制动，电磁抱闸 YB 与电动机同步得电、失电。YB 得电时，电磁抱闸吸合衔铁，使抱闸松开，电动机轴可以自由转动；而当 YB 失电时，电磁抱闸将电动机刹住不动。熔断器 FU 作电动机的短路保护，热继电器 RF 作电动机的长期过载保护。

电动机提升料斗升到接近终点位置前，有制动减速运行过程。制动减速过程由涡流制动器 YB 来完成[3]，而涡流制动器由中间继电器 KA_4 [10]控制。

涡流制动器只是在电动机提升料斗到终点前开始起作用，使电动机制动减速运行，以便料斗准确到位停止移动。涡流制动器只有在继电器 KA_4 的动合触头闭合时才起制动作用。

制动电路[3]由整流变压器 TR、桥式整流装置 UR、熔断器 FU_4 、电位器 RP、涡流制动器 YB 组成。

FU_2 、 FU_3 为起短路保护的熔断器； SB [4]为停止按钮开关、 SB_1 [4]为电动机 M 正转启动按钮开关、 SB_2 [4]为电动机 M 反转启动按钮开关、 SB_3 [10]为电动机制动过程手动按钮开关。

SQ_{11} 、 SQ_{12} [10]为使电动机开始制动的行程开关； SQ_{21} 、 SQ_{22} [4、5]为使电动机提料斗到终点时，发出使电动机停止命令的终点开关； SQ_{31} 、 SQ_{41} 、 SQ_{32} 、 SQ_{42} [6、7]为使料斗到极限位置时的限位开关，起限制料斗上升最高位置的作用。

信号电路中有 6 个信号指示灯（HL、 $HL_1 \sim HL_5$ ），指示灯电压为交流 6.3V。其中，HL 为电源接通指示灯， HL_1 为甲料斗上升指示灯， HL_2 为乙料斗上升指示灯， HL_3 为电动机正常运行指示灯， HL_4 为电动机制动状态指示灯， HL_5 为料斗冲过终点达到最高位置报警指示灯。

信号灯受总电源开关 QF、 KA_1 、 KA_2 、 KA_3 、 KA_4 、 SQ_{41} 、 SQ_{42} 控制。

【看图实践】

合上断路器 QF，电源有电压（正常电压），则电源指示灯 HL 亮。

(1) 电动机正转甲料斗提升、乙料斗下降的工作过程

合上开关 QF→按动 SB_1 → KA_1 得电吸合并自锁→其动合触头 KA_1 (3-13) [6]闭合→使 KM_1 得电吸合→ KM_1 的主触头[1]闭合→电动机转子绕组串入频敏电阻器正转启动，同时 KM_1 的动合触头 KM_1 (3-23) [8]闭合，使通电延时时间继电器 KT 得电吸合并开始延时。 KM_1 的辅助动断触头 KM_1 (17-21) [7]断开，使 KM_2 不能得电，实现互锁。当 KA_1 得电吸合时（电动机正转，甲料斗提升过程），则甲料斗提升灯 HL_1 亮。

一旦 KT 延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT (3-25) [9]闭合→使 KA_3 得电吸合→ KA_3 的动合触头[2]闭合→频敏电阻器 RF 被切除，电动机启动结束，转为正常运行状态。

当提升甲料斗到行程开关 SQ_{11} 位置时→ SQ_{11} 被碰动→ SQ_{11} (3-31) [10]闭合→使 KA_4 得电吸合→使 KA_4 的动合触头[3]闭合→使 TR 接通电源→桥式整流器 UR 输出直流电→涡流制动器工作→电动机处于制动减速状态。 KA_4 得电吸合后，其动断触头 KA_4 (25-27) [9]断开，使 KA_3 失电释放，频敏变阻器又接入电动机转子电路。同时制动指示灯 HL_3 亮。

当提升甲料斗到终点开关 SQ_{21} 位置时→ SQ_{21} 被碰动→ SQ_{21} (6-4) [4]断开→使 KA_1 失电释放→使 KM_1 失电释放→电动机失电，电磁抱闸抱住电动机轴（同时由于 KM_1 失电释放，

使 KT 失电释放，使 KA₃ 失电释放；KA₄ 失电释放，使电动机结束制动减速)。

(2) 电动机反转乙料斗提升、甲料斗下降工作过程

当 QF 闭合后，按动 SB₂→KA₂ 得电吸合并自锁→其动合触头 KA₂ (3-17) [7] 闭合→使 KM₂ 得电吸合→电动机转子绕组串入频敏电阻器反转启动，同时 KM₂ 的动合触头 KM₂(3-23) [8] 闭合，使 KT 得电吸合并开始延时。KM₂ 的辅助动断触头 KM₂ (13-15) [6] 断开，使 KM₁ 不能得电，实现互锁。当 KA₂ 得电吸合时（电动机正转，乙料斗提升过程），则乙料斗提升灯 HL₂ 亮。

一旦 KT 延时时间到，其延时闭合的动合触头 KT (3-25) 闭合→使 KA₃ 得电吸合→频敏电阻器 RF 被切除，电动机启动结束，转为正常运行状态。

当乙料斗碰到 SQ₂₂ 时，电动机失电，同时电磁抱闸 YB 失电，电动机轴被抱闸抱住，电动机反转提升乙料斗过程完毕。

(3) 超高限位开关 SQ₃₁、SQ₃₂、SQ₄₁、SQ₄₂ 的作用

设置超高限位开关的目地是为了在料斗提升过程中，一旦料斗到终点开关 SQ₂₁、SQ₂₂ 位置时，电动机不能失电，料斗会超续上升，当料斗碰到最后设置的限位开关时，电动机失电，料斗停止上升。SQ₃₁、SQ₃₂、SQ₄₁、SQ₄₂ 是为使电动机失电而设置的最后一道防线。如果电路中各电器元件运动正常，电路传输信号正常，电动机会正常启动和停止，是不会碰到开关 SQ₃₁、SQ₃₂、SQ₄₁、SQ₄₂ 的，只有发生故障时，才可能发生超高（超过终点开关位置）故障，才可能碰到开关 SQ₃₁、SQ₃₂、SQ₄₁、SQ₄₂。若出现超限位，则会碰到开关 SQ₄₁ 或 SQ₄₂，使报警指示灯 HL₅ 亮。

(4) 制动减速行程开关 SQ₁₁ 和 SQ₁₂ 的作用

只有料斗上升时碰到制动减速行程开关 SQ₁₁ 和 SQ₁₂，它们才起到使电动机制动减速的控制作用，而料斗在下降过程中碰到 SQ₁₁ 和 SQ₁₂ 是不起控制作用的。使 KA₄ 得电有 3 种方法（3 条途径）：第一种方法是用手按动 SB₃，使其得电动作，电动机制动减速；第二种方法是电动机正转时，KA₁ 得电吸合，而 KA₁ 串接于 KA₄ 线圈支路，因此其动合触头 KA₁ (31-29) [10] 闭合且甲料斗碰到 SQ₁₁[10] 时，可以使 KA₄ 得电吸合，电动机制动减速；第三种方法是电动机反转时，KA₂ 得电吸合，KA₂ 串于 KA₄ 线圈支路，其动合触头 KA₂ (33-29) [10] 闭合且乙料斗碰到 SQ₁₂[10] 时，可以使 KA₄ 得电吸合，电动机制动减速。

通过观察指示灯的亮、灭状态，可知提升机的工作状态。

三、桥式起重机主要结构、运动形式与控制要求

起重机是一种用来吊起和放下重物，以及在固定范围内装卸、搬运物料的超重机械，广泛应用于工矿企业、车站、码头、港口、仓库、建筑工地等场所，是现代化生产不可缺少的机械设备。

1. 桥式起重机的结构和运动形式

桥式起重机主要由大车（桥架）、小车（移动机构）和起重提升机构组成，如图 6.2.5 所示。大车在轨道上行走，大车上架有小车轨道，小车在小车轨道上行走，小车上装有提升机。这样，起重机就可以在大车的行车范围内进行起重运输。

2. 桥式起重机对电力拖动的要求

(1) 提升用的电动机，经常有载启动，启动转矩要大，启动电流要小，有一定的调速范围，因此用绕线转子式感应电动机。

(2) 要有合理的升降速度，空载、轻载要快，重载要慢。

(3) 要有适当的低速区，这在起吊和重物快要下降到地面时特别有用。

(4) 提升的第一挡作为预备级，用以消除传动间隙、张紧钢丝绳，以避免过大的机械冲击。

(5) 当负载下放时，根据负载大小，自动转换运行到电动机状态、倒拉反接状态或再生制动状态。

(6) 有完备的保护环节：短路、过载和终端保护等。

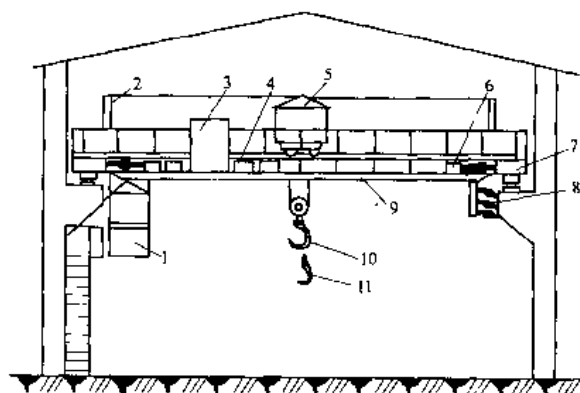
(7) 采用电气、机械双重制动。为了安全，起重机采用失电制动方式的机械抱闸制动，以避免由于停电造成的无制动力矩，导致重物自由下落而引发事故。

大车在移动时，如果用两台电动机拖动，则应在大车两端安装电动机。为使电动机同步运行，可采用同一控制机构，将两台电动机并联。如果采用一台电动机拖动，则应将其安装在大车中间，用轴连接到大车两端的行走机构上。大车前后移动时速度变化较大，而且经常是重载启动，因此需要用绕线式异步电动机拖动，采用转子串电阻方法进行启动和调速。由于大车在工作中经常需要前后移动，因此车上的全部电源需要通过大车主滑线引入。

小车在大车上横向移动，一般用一台电动机拖动。小车移动的速度变化范围和启动转矩都较大，因此通常用绕线式异步电动机拖动，用转子串电阻的方法启动和调速，以减小启动电流，增大启动转矩。小车在工作中相对大车不断地移动位置，因此大车上有供小车移动的轨道，小车上的电源从大车上的“小滑线”引入。

一般来讲，起重量在 10t 以下的桥式起重机只有一只吊钩，用一台绕线式异步电动机拖动。当起重量在 10t 以上时，就需要主钩和副钩，需要用两台绕线式异步电动机拖动。这些吊钩的调速和制动的要求都比较高，调速时采用转子串电阻的方法，有些起重机用反接制动等方法来满足制动要求。吊钩、钢丝卷筒及机械变速结构都安装在小车上。

大车、小车、吊钩提升机构运行时由行程限位开关进行限位保护。每台电动机上都装有过电流继电器进行过流保护。另外，每台电动机上还接有电磁制动器，以保证运行位置的准确、可靠。电动机转子中串接的电阻安装在大车上。在驾驶室内装有各种操纵机构，如电动机启动和调速用的凸轮控制器、照明开关、电铃开关、事故紧急开关等。在驾驶室的上方有通向桥架走台的舱口，舱口门上装有安全开关，安全开关串联在控制电路中，要求只有在舱口门关好后，桥式起重机才能得电工作。



1—驾驶室 2—辅助滑线架 3—交流磁力控制盘 4—电阻箱
5—起重小车 6—大车拖动小车 7—端架 8—主滑线
9—主梁 10—主钩 11—副钩

图 6.2.5 桥式起重机的主要结构

四、5t 桥式起重机电气控制电路

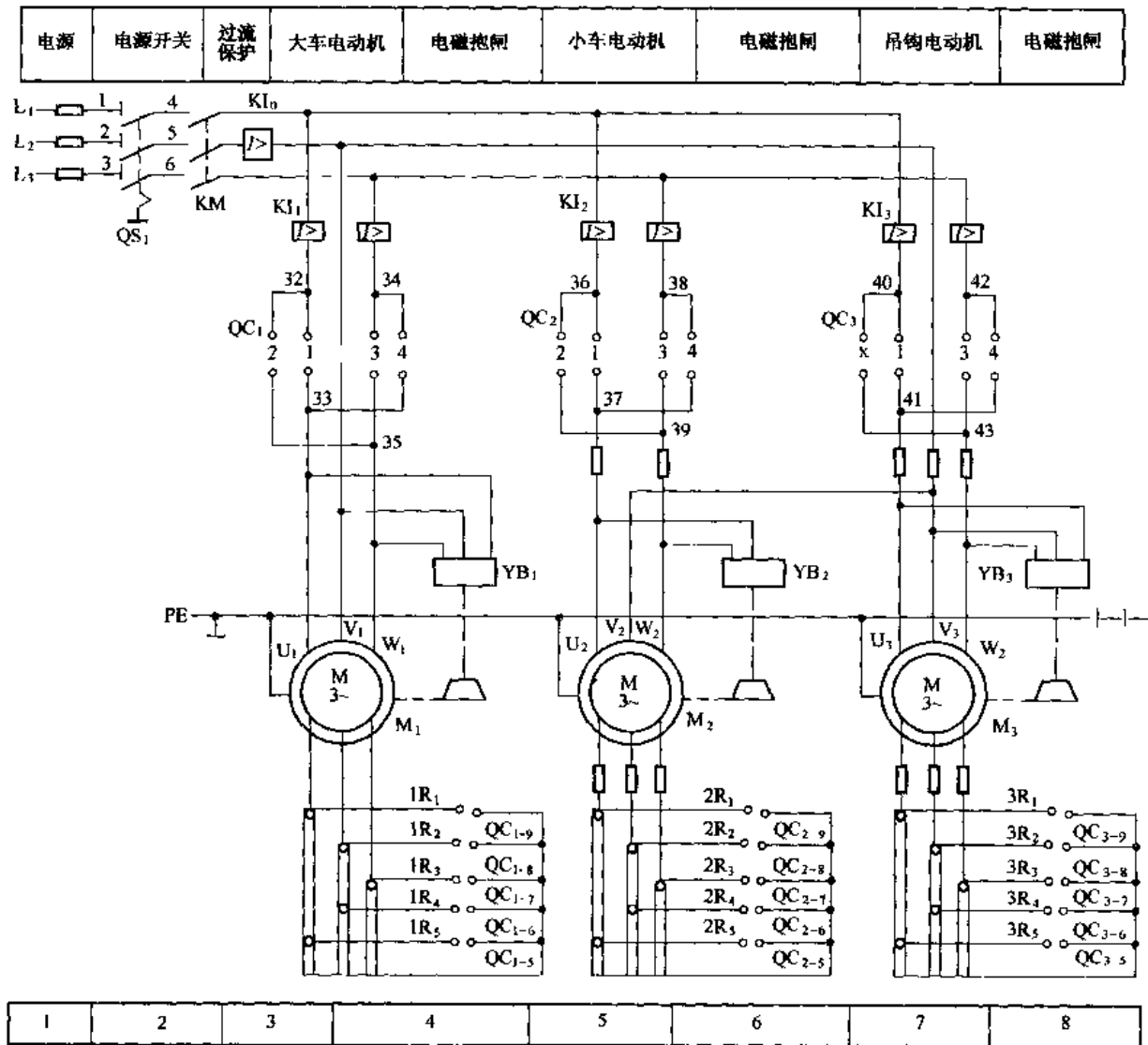
电路如图 6.2.6 所示。

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制

该起重机配置 3 台电动机 M_1 、 M_2 和 M_3 ，它们分别是大车、小车和吊钩电动机，均为绕线式转子感应电动机，都采用串接电阻（ $1R$ 、 $2R$ 、 $3R$ ）的方法实现启动和逐级调速。 M_1 、 M_2 和 M_3 的正反转以及电阻 $1R$ 、 $2R$ 、 $3R$ 的逐级切除，分别用凸轮控制器 QC_1 、 QC_2 、 QC_3 控制。

YB_1 、 YB_2 、 YB_3 为制动电磁铁，分别与电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 的定子绕组并联，以实现得电松闸，失电抱闸的制动作用。这样在电动机定子绕组失电时，制动电磁铁失电，电磁抱闸抱紧，从而可以避免重物自由下落而造成的事故。



(a)

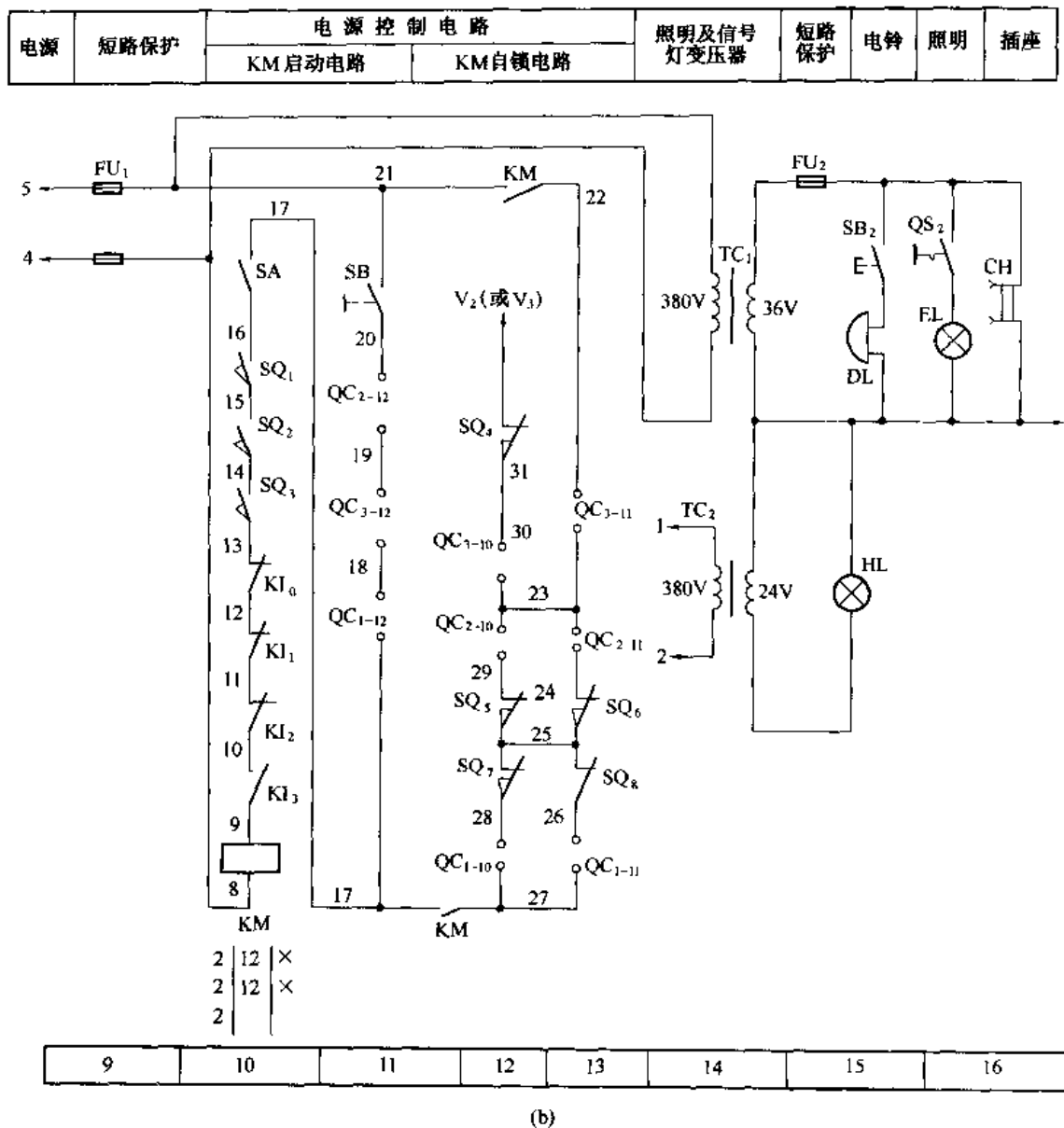


图 6.2.6 St 桥式起重机电气控制电路

电流继电器 KI_1 、 KI_2 、 KI_3 分别作电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 的过电流保护。电源电路则采用电流继电器 KI_0 实现过电流保护。

(2) 总控制电路

由图区 2 可以看出，只有接触器 KM 得电吸合，其主触头[2]闭合，接通电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 的电源，操纵凸轮控制器各台电动机才能工作，否则无法工作。在图区 10~13 中可以找到 KM 线圈电路， KI_1 (12-11)、 KI_2 (11-10)、 KI_3 (10-9) 和 KI_0 (13-12) 分别为电动机 M_1 ~ M_3 和电源电路过流继电器 KI_1 ~ KI_3 和 KI_0 的动断触头，串联在一起用于控制 KM 线圈。当任意一台电动机或总电源发生过电流或短路时，相应的动断触头断开，使 KM 失电释放，断开电动机电源。 SA [10]为紧急开关，当驾驶员发现紧急情况时，断开该开关， KM 失电释放，切断电动机电源。 SQ_1 为安全窗开关，以防止驾驶员在上下桥架时发生意外。 SA 、 SQ_1 ~ SQ_3

全部闭合时，接触器 KM 才能得电吸合，桥式起重机才能启动。另外，3 个凸轮控制器的手柄都在“0”位时，其触头 QC₁₋₁₂、QC₂₋₁₂、QC₃₋₁₂ 闭合，接触器 KM 才能得电吸合，以实现零位保护，防止任一台电动机在未串入电阻的情况下直接启动。

大车移行凸轮控制器 QC₁ 的触头 QC₁₋₁₀ 和 QC₁₋₁₁，大车在左右行走极限位开关 SQ₇ 和 SQ₈；小车运行凸轮控制器 QC₂ 的触头 QC₂₋₁₀ 和 QC₂₋₁₁，小车前后运行限位开关 SQ₅ 和 SQ₆；提升机构凸轮控制器 QC₃ 的触头 QC₃₋₁₀ 和 QC₃₋₁₁ 以及提升限位开关 SQ₄ 联接成串并联电路，与接触器 KM 的辅助动合触头 KM (17-27)、KM (21-22) 的构成 KM 的自锁电路。当大车或小车运行至极限位置以及提升机构升至规定高度时，相应的极限开关断开，使 KM 失电释放，保证起重机的安全。要使起重机构退出极限位置，必须将凸轮控制器退至“0”位，再启动接触器 KM，操纵凸轮控制器，使运行机构反向运动，才能退出极限位置。

(3) 凸轮控制器

各凸轮控制器 QC₁、QC₂、QC₃ 都在“0”位时，才允许接通交流电源。在开关 QS₁ 闭合状态下，按动启动按钮 SB，接触器 KM 得电吸合并自锁，然后可由 QC₁~QC₃ 分别控制各电动机，凸轮控制器的触头工作状态如图 6.2.7 所示。

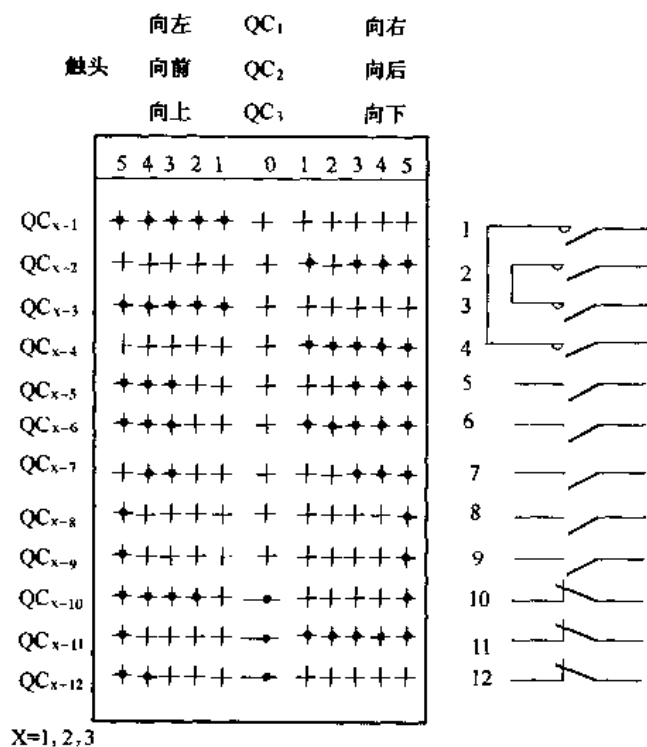


图 6.2.7 凸轮控制器触头工作状态

凸轮控制器是一种多触头、多位置的转换开关。凸轮控制器 QC₃、QC₂、QC₁ 分别对大车、小车、吊钩电动机 M₃~M₁ 实行控制。各凸轮控制器的位数为 5-0-5，共有 11 个操作位，共有 12 副触头，其中 4 副触头（1、2、3、4）控制各相对应电动机的正反转，5 副触头（5~9）控制电动机的启动和分级短接相应电阻，两副触头（10、11）和限位开关配合，用于大车行车、小车行车和吊钩提升极限位置的保护，另一副触头（12）用于零位启动保护。

【看图实践】

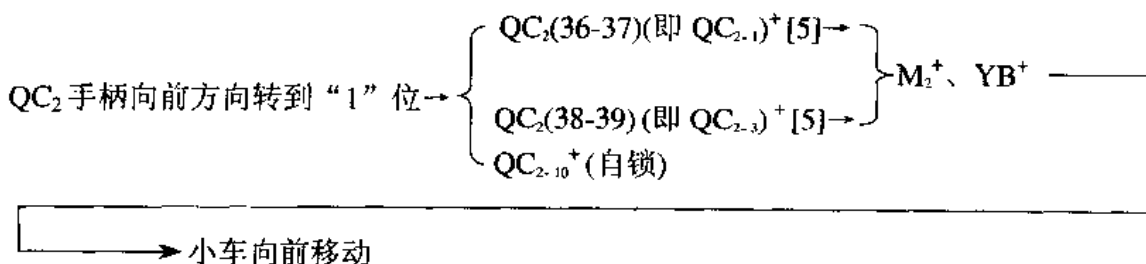
(1) 准备工作

合上开关 QS_1 ，把凸轮控制器 QC_1 、 QC_2 、 QC_3 的手柄置于零位，把驾驶室上的舱口门和桥架两端的门关好；合上紧急开关 SA 。按下启动按钮 $SB[11]$ ，使交流接触器 $KM[10]$ 得电吸合，其辅助动合触头 $KM(21-22)$ 、 $KM(17-21)$ 闭合自锁，其主触头[2]闭合，接通总电源，为各电动机的启动作好准备。

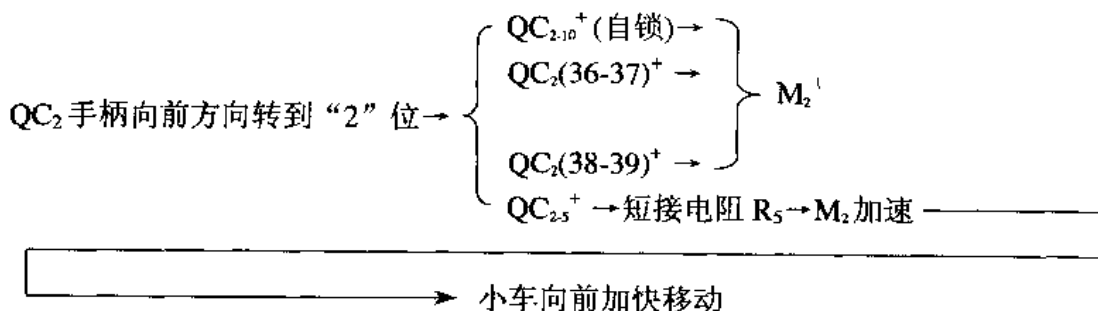
(2) 小车控制（见图 6.2.6 及图 6.2.7）

① 小车向前。

把 QC_2 手柄在向前方向转到“1”位，则



把 QC_2 手柄在“向前”从“1”转到“2”位，则



把 QC_2 手柄在“向前”从“2”转到“3”、“4”、“5”位时，其触头 $QC_2(36-37)[5]$ 、 $QC_2(38-39)[5]$ 和 $QC_{2.5}$ 继续保持闭合，而在“3”、“4”、“5”位时，触头 $QC_{2.5}$ 、 $QC_{2.5} \sim QC_{2.6}$ 、 $QC_{2.5} \sim QC_{2.7}$ 、 $QC_{2.5} \sim QC_{2.9}$ 分别接通，相应短接电阻 $2R_5$ 、 $2R_4$ 、 $2R_3$ 、 $2R_2$ 、 $2R_1$ ，小车速度逐渐加快。

② 小车向后。

把 QC_2 手柄转到“向后”方向的位置上，其工作原理与小车“向前”控制相似。

(3) 大车、吊钩控制

大车“向左”、“向右”控制，把 QC_1 手柄转到“向左”、“向右”方向的位置上；吊钩“向上”、“向下”控制，把 QC_3 手柄转到“向上”、“向下”位置上，其工作原理均与小车“向前”控制相似。

五、15t/3t 桥式起重机电气控制电路

电路如图 6.2.8 所示。

【看图思路】

(1) 电动机配置情况及其控制电路

该起重机共配置 5 台电动机 $M_1 \sim M_5$ 。

大车用两台相同的电动机 M_3 和 M_4 同速拖动，用凸轮控制器 QC_3 控制。两台电动机分别由电磁制动器 YB_3 和 YB_4 采用失电方式制动，这样可以保障停电时，停车制动，保证安全。两个位置开关 SQ_7 和 SQ_8 装在大车两侧，当大车行至终点与挡铁相撞时，便压开位置开关，使电动机失电制动。

小车是用电动机 M_2 拖动，用凸轮控制器 QC_2 控制，电磁制动器 YB_2 控制机械抱闸用以制动 M_2 ，位置开关 SQ_5 和 SQ_6 装在小车两端，当小车行到终端与挡铁相撞时，便压开位置开关，失电制动。

副钩用电动机 M_1 拖动，用凸轮控制器 QC_1 控制，电磁制动器 YB_1 控制机械抱闸，位置开关 SQ_4 作为上限行程保护。

主钩用电动机 M_5 拖动，当被吊重物大于 3t、小于 15t 时，用主钩提升。 M_5 容量较大，用主令控制器 QM 控制接触器，再由接触器控制电动机 M_5 ，位置开关 SQ_9 作为上限保护。

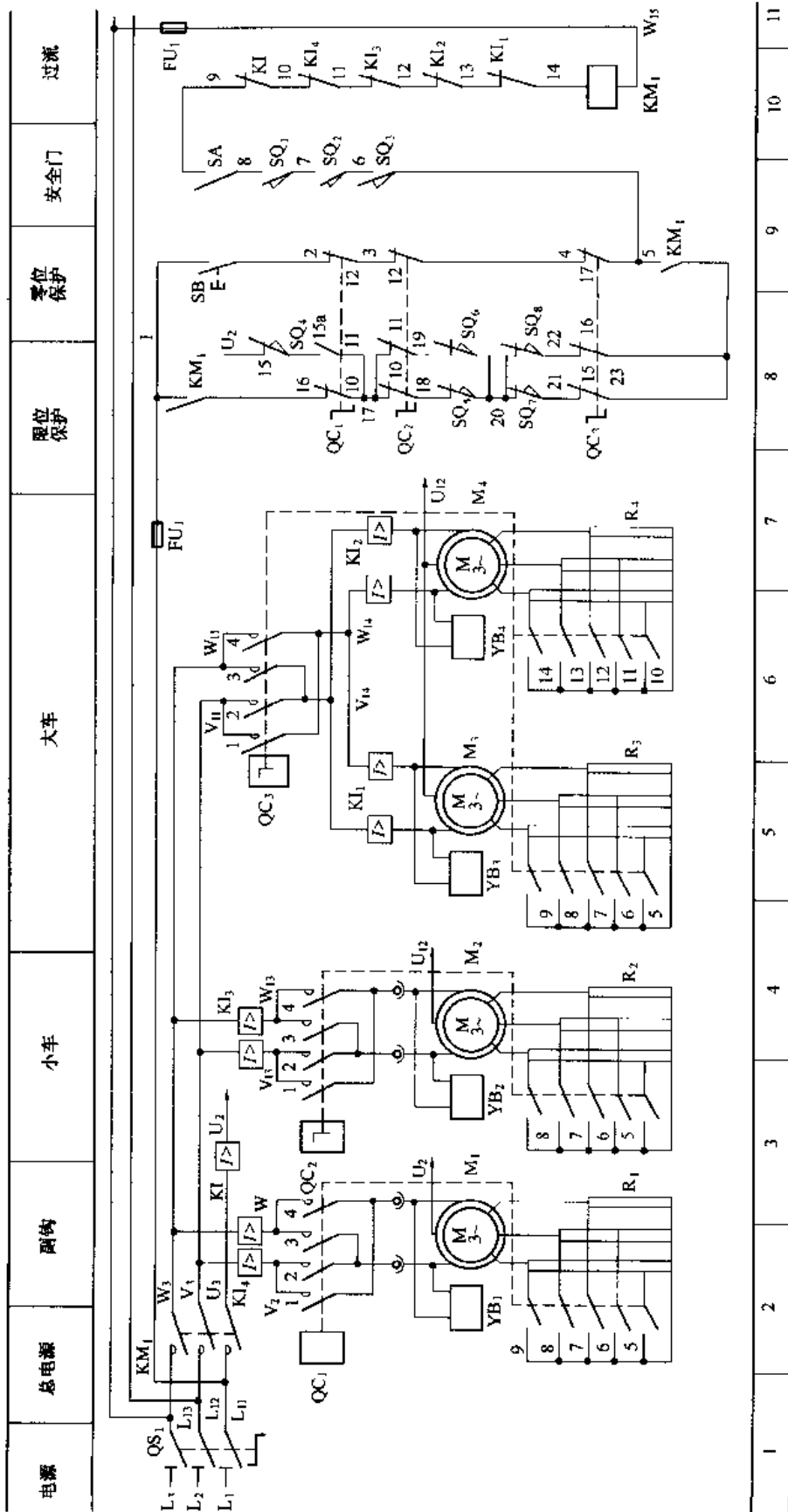
QS_1 为三相电源开关，大车、小车、副钩电源用接触器 KM 控制，主钩主电源开关用 QS_2 控制，主钩控制电源由 QS_3 控制。

(2) 安全保护措施

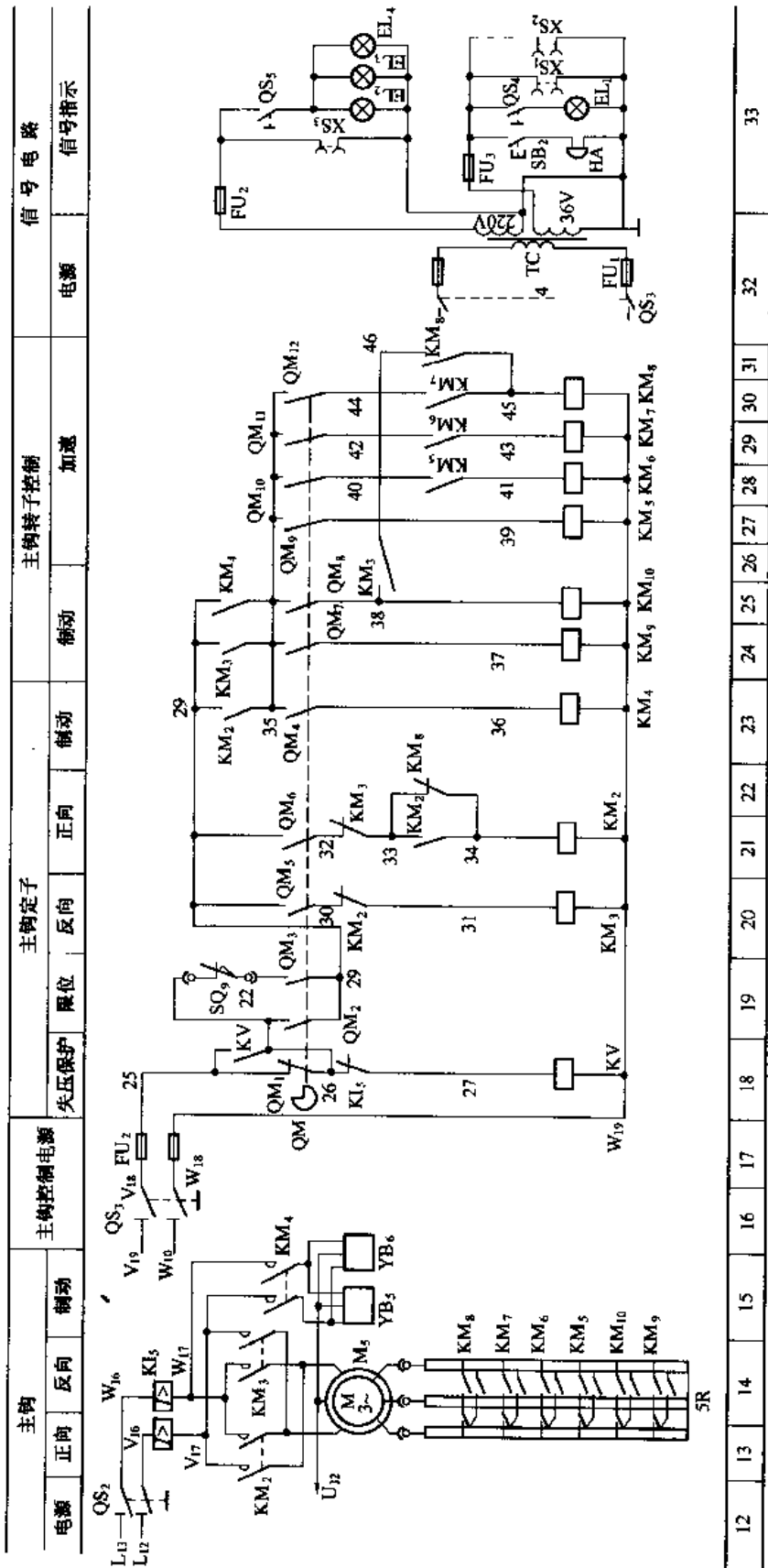
① 过电流保护 每台电动机的 W、V 两相电路中，都串接过电流继电器。过电流整定值，一般为电动机额定电流的 2.25~2.5 倍；V 相中串接的总过流继电器，过电流整定值为全部电动机额定电流的 1.5 倍。所有过流继电器的动断触头串联后，再与 KM_1 的线圈相串联。作为电流保护，只要有一台电动机的一相超过整定电流值，过电流继电器就动作，切断控制电源，并将主电源切断，所有电动机被抱闸制动，使吊车停在原位。起重设备中所用的电动机通常为绕线式异步电动机，处于值时、频繁启动的工作状态下，因此不能使用热继电器作为过载保护元件。由于热继电器的检测元件为双金属片，其热惯性较大，动作时间较长，尤其是在过载电流不大时动作的时间会很长，这样就无法保护工作时间较短的电动机，因此起重设备中常采用具有反时限特性的过电流继电器作为过载保护。电磁式过流继电器线圈中的电流可以直接反映电动机的工作电值，当电机超过电动机正常工作电流时，过流继电器就会动作，实现电动机的过载保护。然而，电动机启动时，其启动电流将为正常工作的几倍，这足以使过流继电器动作，致使电动机无法启动，因此作为起重设备过载保护的过流值电器还必须具有延时特性。若延迟时间大于启动时间，就可以区别时间较短的启动电流与时间较长的故障电流，使电动机安全启动。一般情况下，起重设备常选用具有上述保护特性的 JL12 系列电流延时继电器作为过载保护继电器。

② 短路保护 在超个控制电路中，每条控制支路都由熔断器作为短路保护 (FU_1 、 FU_2)。

③ 零位保护 控制系统中设有零位连锁， QC_1 (2-3)、 QC_2 (3-4)、 QC_3 (4-5) [9] 为相应凸轮控制器的零位触点，用于 KM_1 的启动； QC_1 (16-17)、 QC_2 (17-18)、 QC_3 (21-23) [7] 以及 QC_1 (15a-17)、 QC_2 (17-19)、 QC_3 (22-23) [8] 也为相应凸轮控制器的零位触点，用于 KM_1 的自锁。因此，必须将控制器的控制手柄全部置于零位，合上紧急开关 SA [10]，按下启动按钮 SB [9]，才能使 KM_1 [11] 得电吸合并自锁，接通电源，这样可以保证各电动机转子都能串接着电阻启动。



(a)



(b)

图 6.2.8 150/31 桥式起重机电气控制电路

④ 极限位置保护 限位开关 $SQ_4 \sim SQ_9$ [7、8、19]分别被安装在不同的极限位置上，起极限保护作用。其中， SQ_7 和 SQ_8 与大车凸轮控制器 QC_3 的限位保护触头15、16($QC_3(21-23)$ 、 $QC_3(22-23)$)串并联[7、8]，实现对大车左右两个方向的极限保护； SQ_5 和 SQ_6 与小车凸轮控制器 QC_2 的限位保护触头10、11($QC_2(17-18)$ 、 $QC_2(17-19)$)串并联[7、8]，实现对小车向前向后两个方向的极限保护； SQ_4 与副钩凸轮控制器 QC_1 的限位保护触头11($QC_1(15a-17)$)串联[8]，实现对副钩提升时的上限终端保护， SQ_9 [19]串接在主钩上升接触器 KM_3 [20]线圈电路中，实现对主钩提升时的上限终端保护。

⑤ 停车保护 为使桥式起重机及时、准确地停车，常采用电磁制动器($YB_1 \sim YB_6$)作为准确停车装置，进行停车保护，使被起吊的重物在停车后可靠地停住。

⑥ 人身安全保护 桥式起重机驾驶室的门、盖及横梁栏杆门上分别装有安全限位开关($SQ_1 \sim SQ_3$)，它们的动断触头均与启动按钮 SB 串联。只要一处没有关紧，其触头就处于断开位置，启动按钮就不能使 KM_1 得电吸合，起重机就不能得电启动运行，从而保证人身安全。

⑦ 应急触电保护 桥式起重机的驾驶室内，在司机操作时便于触到的地方装有一只单刀单掷紧急开关 SA ，它在控制线路中与电源接触器 KM_1 的线圈串联，当发生意外情况时，驾驶员可立即拉下 SA ，迅速使 KM_1 失电释放，切断系统电源，使吊车停下(电动机制动)，以避免事故的发生。

(3) 凸轮控制器 QC_1 、 QC_2 、 QC_3 和主令控制器 QM 的控制电路

为了便于看图，将凸轮控制器控制大车、小车、吊钩电动机控制电路改画成图5.2.9(以小车为例)，将主令控制器控制主钩电动机控制电路改画成图6.2.10。图中标有“·”的位置，表示该触头在这个位置是闭合的，而不标有“·”的位置则表示该触头在这个位置是断开的。

凸轮控制器 QC_1 、 QC_2 、 QC_3 主令控制器和主令控制器 QM 的触头通断情况如表6.2.1~表6.2.3所示。

表 6.2.1 副卷扬、小车凸轮控制器 QC_1 、 QC_2 触头闭合表

触头号	向 左					零 位	向 右				
	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
1							+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+						
3							+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+						
5	+	+	+	+				+	+	+	+
6	+	+	+						+	+	+
7	+	+								+	+
8	+									+	+
9	+										+
10						+	+	+	+	+	+
11	+	+	+	+	+	+					
12						+					

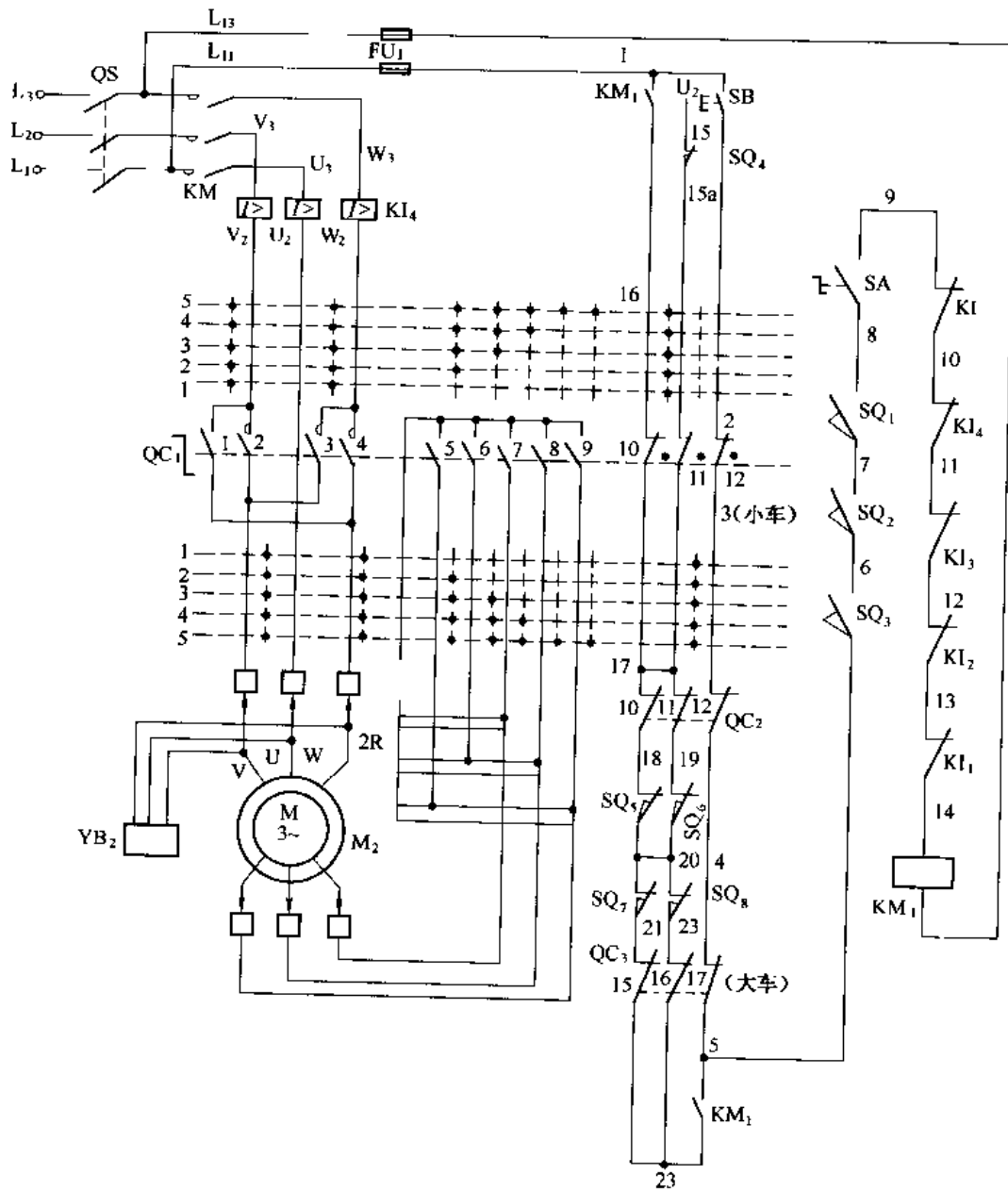


图 6.2.9 凸轮控制器控制电路

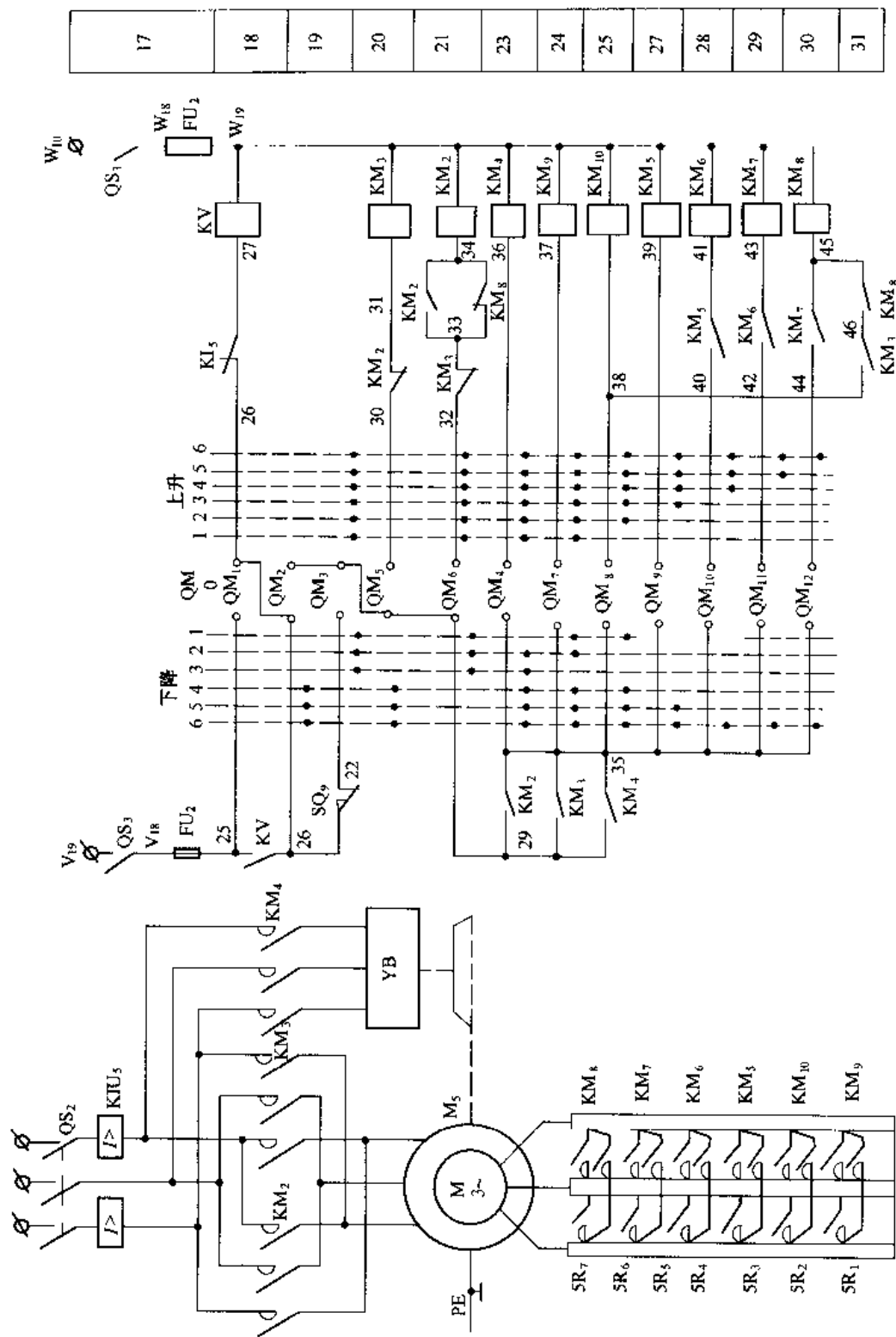


图 6.2.10 主令控制器 QM 的控制电路

表 6.2.2 大车凸轮控制器 QC₃ 触头闭合表

触头号	向 后					零 位	向 前				
	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
1							+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+						
3							+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+						
5	+	+	+	+				+	+	+	+
6	+	+	+						+	+	+
7	+	+								+	+
8	+										+
9	+										+
10	+	+	+	+				+	+	+	+
11	+	+	+						+	+	+
12	+	+								+	+
13	+										+
14	+										+
15						+	+	+	+	+	+
16	+	+	+	+	+	+					
17						+					

表 6.2.3 主卷扬主令控制器 QM 触头闭合表

触头号	下 降						零 位	上 升						
	强 力			制 动										
	6	5	4	3	2	1		0	1	2	3	4	5	6
1							+							
2	+	+	+											
3				+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+											
6				+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
7	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+
8	+	+	+			+			+	+	+	+	+	+
9	+	+								+	+	+	+	+
10	+										+	+	+	+
11	+											+	+	+
12	+												+	+

(4) 桥式起重机的控制过程

在桥式起重机的控制电路中，一般选用绕线式感应电动机作为驱动部件，利用在其转子中串入可调电阻的方式（即通过改变转子回路的电阻值），来达到调节电动机输出转矩和转速的目的，同时也可以起到限制电动机启动电流的作用。在起重机各不同部分的控制电路中，完成上述控制的方法也有所不同。

① 凸轮控制器对大车、小车、副钩的控制方法 大车、小车及副钩三者的控制是完全相同的，均由凸轮控制器进行控制。工作时，大车、小车及副钩分别由 3 个凸轮控制器进行控制（由于大车采用双电动机独立驱动，因此使用控制双电动机的凸轮控制器），下面以副钩为例简要分析其控制过程。

凸轮控制器是电动起重机械中控制电动机启动、调速、停止、正反运行的专用装置，它通过凸轮的转动来带动触头的闭合与打开，从而使电源接通或短接电阻。

凸轮控制器一般有 12 副触头，每副触头均有正反方向闭合的功能且正反方向连锁。其 1#~4#触头用于接通和切断电动机定子电路，只控制电动机的两相，另一相不经过触头控制，直接由电源接至电动机定子，这是电动起重机械中电动机接线的一个特点。5#~9#触头是用于分段切除转子串接电阻；10#~12#触头均为动断触头，用在保护电路。动断触头 10#~12#在“0”位时是闭合的。

副钩电动机正反转及停车控制（见图 6.2.8、图 6.2.9）。控制副钩电动机的正反转是采用对调定子电源任意两相来实现的。电源的任意两相通过凸轮控制器接入电动机定子（凸轮控制器有 4 副主触头 1、2、3、4，接在提升电动机的定子电路中），另一相直接接在电动机定子上。控制器的操作手柄可由零位向顺时针和逆时针两个方向移动。当推动手柄由零位向顺时针方向转动时，触头 2、4 闭合，定子绕组的 V 端经触头 2 与电源 L_2 相连，W 端经触头 4 与电源 L_3 相连，而 U 端（不经过触头）直接与 L_1 相连，这时，电动机接顺相序电源为正转，此时电动机正转，副钩上升。当推动手柄由零位向逆时针推动时，触头 1、3 闭合，定子接逆相序电源，电动机反转，副钩下降。操作手柄处于零位时，电动机停转。

因此，凸轮控制器手柄转到提升 1~5 挡时，触头 2、4 都闭合，而触头 1、3 是断开的，从而保证电动机接通顺相序电源，电动机正转；当凸轮控制器手柄转到下放 1~5 挡时，触头 1、3 都闭合，而触头 2、4 是断开的，从而保证电动机接通逆相序电源，电动机反转。凸轮控制器手柄置于“0”位时，触头 1、2、3、4 都是断开的，电动机停转。这样就可以完成电动机正反转及停车控制，即副钩的升降控制；同样的方法可完成大车纵向左右控制、小车横向前后控制。

由于直接通过凸轮控制器的触头来接通和分断主电路，因此这部分触头装有灭弧装置。但毕竟受触头通断电流容量的限制，所以凸轮控制器控制的电动机功率不能太大。

电动机的调速。电动机的调速采用绕线式感应电动机转子回路串电阻的方式来实现，电阻器经凸轮控制器另外 5 副触头（5~9）接入与切除，控制器的顺、逆时针方向各有 5 个挡位。转子电阻采用不对称接法，在凸轮控制器位于提升或下放的 5 个位置时，可逐级不对称切除转子电阻，以得到不同的运行速度。对于提升或下放的 5 个位置，其触头的通断情况对称。当手柄置于第 1 挡时，转子加全部（不对称）电阻，如图 6.2.11（a）所示。随着转子电阻的逐级切除图 6.2.11（b）、（c）、（d）所示，电动机的转速逐渐升高。

在第 5 挡时转子电路电阻最小，如图 6.2.11（e）所示，电动机转速最高（副钩快速转动）从而达到了调节电动机转矩和转速的目的（利用同样的方式可控制大车、小车的运动速度）。

制动与保护。电动机得电的同时，电磁制动器也得电，机械制动失去作用，允许副钩作升降运动；电动机失电停止时，电磁制动也同时失电，机械制动产生作用，使副钩迅速停止运动并准确停车。大车、小车的控制方法相同。

控制电路。凸轮控制器还有 3 副触头 (10~12) 接于控制电路中, 其中触头 12 用于接触器 KM_1 “0” 位启动, 触头 10、11 用于 KM 的自锁回路。

接触器 KM 得电吸合的自锁回路是由大车移行凸轮控制器 QC_3 的触头 QC_{3-15} 和 QC_{3-16} 与大车左右移行极限位置保护行程开关 SQ_7 和 SQ_8 、小车移行凸轮控制器 QC_2 的触头 QC_{2-10} 和 QC_{2-11} 与小车前后移动极限位置行程开关 SQ_5 和 SQ_6 、副钩凸轮控制器 QC 的触头 QC_{1-10} 和 QC_{1-11} 与吊钩上移极限位置保护行程开关 SQ_4 组成的串并联电路, 再与 KM_1 的辅助动合触头 KM_1 (1-16)、 KM_1 (5-23) 串联构成的。

例如, 大车移行凸轮控制器 QC_3 的触头 QC_{3-15} 与右极限行程开关 SQ_7 串联, QC_{3-16} 与左极限行程开关 SQ_8 串联, 然后两条支路并联。在大车左行的 5 个挡位, 触头 QC_{3-16} 均闭合, 因此通过 QC_{3-16} 与 SQ_8 支路使 KM_1 自锁, 达到极限位置时, 压下 SQ_8 , 使 KM_1 失电释放, 大车停止运行, 将 QC_3 移至原位, 重新按 SB , 通过 QC_{3-16} 、 SQ_8 支路使 KM_1 得电吸合并自锁。

同理可分析右行极限位保护功能。

再如, 小车凸轮控制器 QC_2 的触头 QC_{2-11} 与向前限位开关 SQ_6 的动断触头串联, 在向前的 1~5 挡, 触头 QC_{2-11} 均闭合, 若向前限位开关 SQ_6 被压下, 其动断触头断开, 将使接触器 KM_1 失电释放, 电动机失电停转; 而触头 QC_{2-10} 与向后限位开关 SQ_5 的动断触头串联, 在下放的 1~5 挡, 触头 QC_{2-10} 均闭合, 若向后限位开关 SQ_5 被压下, 其动断触头断开, 将使接触器 KM_1 失电释放, 使电动机失电停转; 还有触头 QC_{2-10} 与启动按钮 SB 串联, 只有手柄置于“0”位时, 触头 QC_{2-10} 才闭合。

SQ_4 为副钩上升极限保护开关, 其原理与大车保护相同。

凸轮控制器 QC_1 的触头 QC_{1-11} 理论上可接在 KM_1 自锁触头 KM_1 (1-16) 的下方, 而实际控线在电动机 M_2 定子端线号 U_2 上, 既方便, 又不影响自锁电路的正常工作。

任何过流继电器动作, 某个门未关好或按动急停按钮 SA , 交流接触器 KM_1 都会失电, 将主回路的电源切断。接触器 KM_1 失电后, 要使其重新得电, 必须将凸轮控制器的手柄反向转到“0”位, 使 12#触头闭合, 这样才能重新启动。因此, 12#触头称为零位保护或零压保护触头。

② 主令控制器对主钩电动机 M_1 的控制 (见图 6.2.10 及图 6.2.8)。

桥式起重机的主钩一般用来起吊额定重量的物体, 驱动主钩提升的电动机容量较大, 因此主钩电动机不能采用凸轮控制器直接控制而必须通过大容量的接触器控制。主令控制器发出电动机正反转、停止及调速的命令 (与凸轮控制器原理相似), 由大容量的接触器来执行,

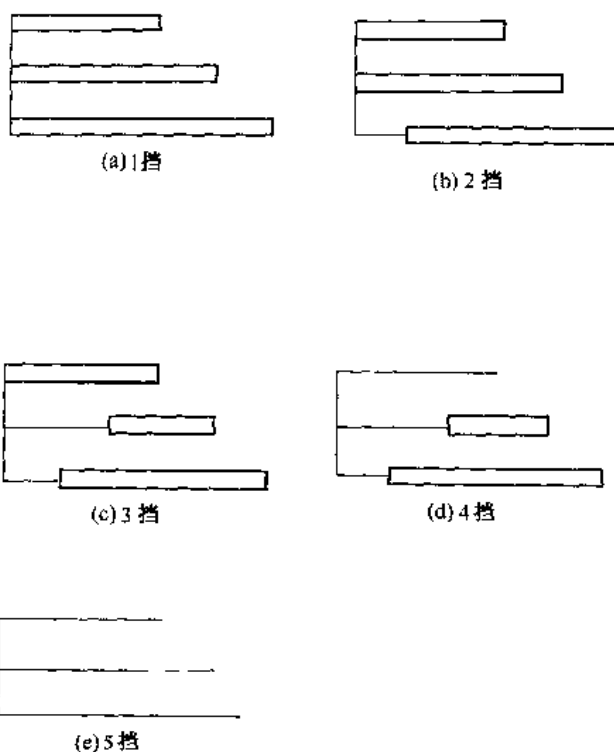


图 6.2.11 转子电路电阻逐机切除情况

从而完成对主钩电动机各种运行状态的控制。此外，主钩的制动与副钩的制动不同，主钩的制动电磁铁的得、失电是可以控制的（参见图中接触器 KM_4 [23]），而且在主钩下降过程中，下降的前三挡，电动机的转矩为提升转矩，对下降的重物起反接制动的作用。

在图 6.2.10 所示的主钩控制器 QM 控制主钩电动机 M_1 的电路中， KM_2 、 KM_3 为正反向接触器，用以变换电动机定子电源相序，实现电动机正反转。 KM_4 为制动接触器，用以控制三相制动器 YB。在电动机转子电路中接有 7 段对称接法的转子电阻。其中前两段 $5R_1$ 、 $5R_2$ 为反接制动电阻，分别由反接制动接触器 KM_9 、 KM_{10} 控制； $5R_3 \sim 5R_7$ 为调速电阻，分别由加速接触器 $KM_5 \sim KM_8$ 控制；最后一段 R_7 为固定接入起软化特性作用的电阻。

LK1-12/90 型主令控制器共有 12 副触点，提升、下降各有 6 个工作位置。通过将控制器操作手柄置于不同的工作位置去控制定子电路与转子电路的接触器，决定电动机的转向、转矩、转速，使主钩上升、下降、高速、低速运行，即实现电动机工作状态的改变，使物品获得上升与下降的不同速度。由于主令控制器为手动操作，因此电动机的工作情况由操作者掌握。

主令控制器 QM 的 12 副触头的作用是：

QM_1 为零位保护连锁触头，控制的是电压继电器 KV，其动合触头 KV（25-26）闭合，自锁，并接通控制电路电源，实现零压保护。同时，过流继电器 KI_5 的动断触头 KI_5 （26-27）串联在线圈回路里，过载时可切断控制回路电源，实现过负荷保护。

QM_2 和 QM_3 用于上升、下降的限位保护，上升限位由限位开关 SQ_9 执行。

QM_4 用于控制接触器 KM_4 ，进而控制电磁制动器 YB_5 和 YB_6 。

QM_5 和 QM_6 用于控制提升接触器 KM_2 、下降接触器 KM_3 。

QM_7 和 QM_8 用于控制反接制动器 KM_9 和 KM_{10} 。

QM_9 和 QM_{10} 用于控制调速电阻接触器 $KM_5 \sim KM_8$ 。

先合上开关 QS_3 ，将主令控制器 QM 手柄置于“0”位，触头 QM_1 闭合，欠压继电器 KV 得电吸合，其动断触 KV（25-26）[18]闭合并自锁，为主钩电动机 M_5 工作做好准备。

提升重物的控制。控制器提升控制共有 6 个挡位，在提升各挡位上，触头 QM_3 、 QM_4 、 QM_6 、 QM_7 都闭合，于是将上行程开关 SQ_9 接入，实现提升限位保护；接触器 KM_2 、 KM_4 、 KM_9 始终得电吸合，电磁抱闸松开，短接电阻 $5R_1$ ，电动机按提升相序接通电源，产生提升方向电磁转矩。在提升“1”位启动转矩小，作为消除齿轮间隙的预备启动级。

当主令控制器手柄依次扳到上升“2”位至上升“6”位时，控制器触头 $QM_8 \sim QM_{12}$ 依次闭合，接触器 KM_{10} 、 $KM_5 \sim KM_8$ 依次得电吸合，将 $5R_2 \sim 5R_6$ 各段转子电阻逐级短接。可根据负载大小选择合适挡位进行提升操作。

下放重物的控制。主令控制器在下放重物时也有 6 个挡位，但在前 3 个挡位，正转接触器 KM_2 得电吸合，电动机仍以提升相序接线，产生向上的电磁转矩。只有在下降的后 3 个挡位，反转接触器 KM_3 才得电吸合，电动机产生向下的电磁转矩。因此，前 3 个挡位为倒拉反接制动下放，而后 3 个挡位为强力下放。

下降“1”为预备挡，此时控制器触头 QM_4 断开， KM_4 失电释放，制动器未松开；触头 QM_6 、 QM_7 、 QM_8 闭合，接触器 KM_2 、 KM_9 、 KM_{10} 得电吸合，电动机转子短接两段电阻 $5R_1$ 、 $5R_2$ ，定子按提升相序接通三相交流电源，但此时由于制动器未打开，因此电动机并不旋转。该挡位是为适应提升机构由提升变换到下放重物，消除因机械传动间隙产生冲击而设定的。

因此该挡不能停留，必须迅速通过该挡，以防电动机在堵转状态下时间过长而烧毁电动机。

下放“2”挡是为了重载低速下放而设的。此时控制器触头 QM_6 、 QM_4 、 QM_7 闭合，接触器 KM_2 、 KM_4 、 KM_9 得电吸合，制动器打开，电动机转子串入 $5R_2 \sim 5R_7$ 电阻，定子按提升相序接线，在重载时获得倒拉反接制动低速下放。

下放“3”挡是为中型载荷低速下放而设的。在该挡位时，控制器触头 QM_6 、 QM_4 闭合，接触器 KM_2 、 KM_4 得电吸合，此时电动机转子串入全部电阻，制动器松开，电动机定子按提升相序接线，在中型载荷作用下电动机按下放重物方向运转，获得倒拉反接制动下降。

在上述制动下降的3个挡位，控制器触头 QM_3 始终闭合，将提升行程开关接入，其目的在于当对吊物重量估计不准，如将中型载荷误认为重型载荷而将控制器手柄置于下放“2”挡位时，将会发生重物不但不下放反而上升。 SQ_9 起上升限位保护作用。

另外还应注意，在下放“2”与“3”挡位，当负载转矩较小时，不应将控制器手柄在此停留，以避免出现不但不下放反而提升的现象。

控制器手柄在下放“4”、“5”、“6”挡位时为强力下放。此时，控制器触头 QM_2 、 QM_5 、 QM_4 、 QM_7 、 QM_8 始终闭合。接触器 KM_3 、 KM_4 、 KM_9 、 KM_{10} 得电吸合，制动器打开，电动机定子按下放重物相序接线，转子短接两段电阻 $5R_1$ 、 $5R_2$ 启动旋转，电动机工作在反转电动状态。这3个挡位用于重力负载转矩小于摩擦转矩，依靠自身重量不能下放，必须在电动机帮助下实现强迫下放。

当将控制器手柄扳至下放“5”挡位时，触头 QM_9 闭合，接触器 KM_6 得电吸合，短接电阻 $5R_3$ ，电动机转速提高；当控制器手柄扳至下放“6”挡位时，触头 QM_{10} 、 QM_{11} 、 QM_{12} 均闭合，接触器 KM_7 、 KM_8 、 KM_9 得电吸合，电动机转子只串入一段常串电阻 $5R_7$ ，在低于同步转速的下放速度下放重物。

【看图实践】

(1) 主接触器 KM_1 的控制（见图 6.2.8 的图区 7~21 及图 6.2.9）

先合上总电源开关 SQ_1 。在起重机投入运行前，合上紧急开关 $SA[10]$ ，司机室舱口关好，其安全开关 $SQ_1 \sim SQ_3$ 均闭合，然后将所有的凸轮控制器 $QC_1 \sim QC_3$ 的手柄置于“0”，它们在主接触器 KM_1 线圈电路中的动断触头 $QC_{1-10} \sim QC_{1-12}$ 、 $QC_{2-10} \sim QC_{2-12}$ 、 $QC_{3-15} \sim QC_{3-17}$ [7、8、9] 均处于闭合状态，然后按下启动按钮 $SB[9]$ ，主接触器 KM_1 得电吸合并自锁，其主触头 [2] 闭合，接通总电源，由于各凸轮控制器手柄都置于“0”位，只有 L_1 相电源送至电动机的定子绕组，而 L_2 和 L_3 两相电源未送入电动机定子绕组，因此电动机还不会运转。

KM_1 线路得电通路为： $L_{11} \rightarrow FU_1 \rightarrow SB \rightarrow QC_{1-12} \rightarrow QC_{2-12} \rightarrow QC_{3-17} \rightarrow SQ_3 \rightarrow SQ_2 \rightarrow SQ_1 \rightarrow SA \rightarrow KI \rightarrow KI_4 \rightarrow KI_3 \rightarrow KI_2 \rightarrow KI_1 \rightarrow KM_1$ 线圈 $\rightarrow FU_1 \rightarrow L_{13}$ 。

KM_1 自锁通路为： $KM_1 (1-16) \rightarrow QC_{1-10} \rightarrow QC_{2-10} \rightarrow SQ_5 \rightarrow SQ_7 \rightarrow QC_{3-15} \rightarrow KM_1 (23-5)$ 或 $U_2 \rightarrow SQ_4 \rightarrow QC_{1-11} \rightarrow QC_{2-11} \rightarrow SQ_6 \rightarrow SQ_8 \rightarrow QC_{3-16} \rightarrow KM_1 (23-5)$ （此时限位开关 $SQ_4 \sim SQ_8$ 都是闭合的）。

(2) 凸轮控制器对大、小车和副钩的控制（见图 6.2.8 及图 6.2.9）

现以小车为例介绍凸轮控制器 QC_2 的工作情况。当主接触器 KM_1 吸合后，总电源被接通，然后将 QC_2 的手柄从“0”转到“向前”位置的任一挡时，触头 QC_{2-11} 、 QC_{2-12} 都断开而触头 QC_{2-10} 闭合，接触器 KM_1 线圈经 $L_{11} \rightarrow FU_1 \rightarrow KM_1 (1-16) \rightarrow QC_{1-10} \rightarrow QC_{2-10} \rightarrow SQ_5 \rightarrow SQ_7 \rightarrow QC_{3-15} \rightarrow KM_1 (23-5) \rightarrow SQ_3 \rightarrow SQ_2 \rightarrow SQ_1 \rightarrow SA \rightarrow KI \rightarrow KI_4 \rightarrow KI_3 \rightarrow KI_2 \rightarrow KI_1 \rightarrow KM_1$ 线圈 \rightarrow