轻松学电工

识图篇

杨清德　主编

- **有趣**
  通过数百条口诀归纳电工操作要点
- **易学**
  以图表和模块化结构呈现电工知识
- **实用**
  由高级技师讲授多年电工实践经验
- **规范**
  符合相关标准和职业技能鉴定要求

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

轻轻松松学电工



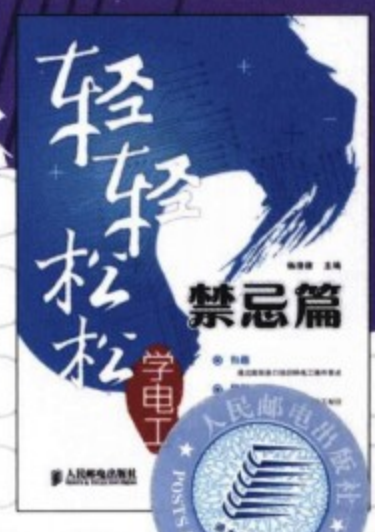












封面设计：董福彬

分类建议：电工技术／电工基础
人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

ISBN 978-7-115-21682-3

ISBN 978-7-115-21682-3
定价：35.00 元

轻松学电工

识图篇

杨清德　主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目（CIP）数据

轻轻松松学电工. 识图篇 / 杨清德主编. —北京 : 人民邮电出版社, 2010.1
ISBN 978-7-115-21682-3

Ⅰ. ①轻… Ⅱ. ①杨… Ⅲ. ①电工－基本知识②电路图－识图法 Ⅳ. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第194083号

内 容 提 要

本书结合广大电工人员的实际需要，主要介绍了常用电工电路识图的基础知识、方法及技巧，内容包括常用电气符号、电工识图基本方法，以及识读供配电系统图、建筑电气图、电力拖动系统电气图、PLC 梯形图、变频器应用电路图和软启动器应用电路图等的方法和技巧。以通俗的语言介绍电工知识是本书的一大特色，书中每一个章节的标题都采用了一句读者耳熟能详的短语进行辅助说明，以加深读者对知识的理解和掌握。本书的新（新技术、新方法、新工艺、新应用）、实（贴近实际、注重应用）、简（文字简洁、风格明快）、活（模块式结构配以图表，便于自学）编写风格可带给读者耳目一新的感受。

本书适合广大电工人员阅读，也可作为电工培训教材以及各类职业院校相关专业师生的参考书。

轻轻松松学电工——识图篇

◆ 主　　编　杨清德
责任编辑　刘　朋

◆ 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
三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：19.75
字数：479 千字　　2010 年 1 月第 1 版
印数：1 – 4 000 册　　2010 年 1 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21682-3

定价：35.00 元

读者服务热线：(010)67129264　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154

前　言

电的应用不仅影响到国民经济的方方面面，也越来越广泛地渗透到人们生活的各个层面。电气化程度已成为衡量社会发展水平的一个重要标志。做一名合格的电工，学到一技之长，是许多人的迫切愿望。

电工技术是一门知识性、实践性和专业性都很强的实用技术，其中的符号、规范比较多，学习起来相对比较枯燥乏味。初学者学习电工技术时，往往会遇到先学什么，再学什么，怎么学，怎样才能轻轻松松快速入门，怎样才能学以致用等一系列问题。鉴于此，我们组织有关专家学者和技术人员进行了深入系统的考虑和研究，并根据广大初学者的特点和实际需要，结合《国家职业标准——维修电工》初级与中级部分的相关知识与技能要求，编写了这套“轻轻松松学电工”系列图书。本套丛书可作为广大电工技术初学者的自学读物，也可作为岗前培训以及各类电工短期培训班的教材，还可供职业院校相关专业的师生学习相关课程时参考阅读。

本套丛书试图从读者的兴趣和认知规律出发，一步一步地、手把手地引领初学者学习电工职业所必须掌握的基础知识和基本技能，学会使用基本的电气工具、仪表和设备，识读常用电工电路图，书中内容实用性和针对性较强。本套丛书第一批包括《轻轻松松学电工——基础篇》、《轻轻松松学电工——器件篇》、《轻轻松松学电工——技能篇》、《轻轻松松学电工——应用篇》，由于特色鲜明、内容实用，出版后深受读者欢迎。为了帮助读者比较全面地掌握电工知识和技术，我们又组织编写了《轻轻松松学电工——识图篇》、《轻轻松松学电工——禁忌篇》和《轻轻松松学电工——电路篇》。

《轻轻松松学电工——基础篇》：重点介绍初级电工必须掌握的基础知识，包括直流电、电磁现象、正弦交流电、电工工具、电工识图以及安全用电等内容。

《轻轻松松学电工——器件篇》：重点介绍常用电子元器件、高低压电器、电工材料以及仪表的种类、检测和使用方法等内容。

《轻轻松松学电工——技能篇》：重点介绍电工基本操作技能，如焊接、导线连接、照明线路安装、电动机的拆卸与装配、电动机控制线路以及其他常用电气设备的安装方法等。

《轻轻松松学电工——应用篇》：重点介绍照明线路、电动机、变压器、常用电动工具及其他电气设备的使用、维护、故障检修方法和电工应用小技巧。

《轻轻松松学电工——识图篇》：重点介绍常用电气符号、电工识图基本方法，以及识读供配电系统图、建筑电气图、电力拖动系统电气图、PLC 梯形图、变频器应用电路图和软启动器应用电路图等的方法和技巧。

《轻轻松松学电工——禁忌篇》：重点介绍安全用电及安全生产、电工工具使用、常用高低压电器选用方面应禁止的操作，以及室内外线路安装、电动机安装与维护、PLC 和变频器的使用与保养等方面的禁忌事项。

《轻轻松松学电工——电路篇》：重点介绍比较常用的传统经典电工电路和近年来应用较多的新型电路，适当涉及部分比较复杂的电路的安装、调试与检修知识，如照明电路、低压

供电电路、电动机控制电路、机电设备控制电路、电工测量电路和电子应用电路等。

本套丛书在编写时力图体现以下特点。

◆ 在内容安排上，立足于初学者的实际需要，旨在帮助读者快速提高职业技能，尽量做到少讲理论、多讲方法，不求高深、只求实用，任务驱动、目标明确，要点突出、上手容易，一看就懂、一学就会。读者通过学习本套丛书可构建自己的知识体系，掌握电工必备知识和操作技能，同时也可以从中了解电工新知识、新技术、新设备、新材料、新工艺和新方法，为今后工作和进一步学习打下基础。书中标有“*”号的内容是对初级电工必备知识的提高和扩展，读者可根据实际情况自行安排学习。

◆ 在标题设置上，每一个章节标题都搭配了一句读者耳熟能详的成语、短语或流行语，这既是对主标题的补充说明，又显得诙谐风趣，留给读者较大的思索空间，有助于读者与常见事物相联系，加深对知识的理解和记忆（联想记忆）。

◆ 在写作方式上，用典故、成语或歇后语点题，大量采用比喻、拟人、类比等修辞手法，以细腻通俗的文字向读者娓娓道来，以拉近编者与读者的距离，增加亲切感；中间穿插“知识链接”、“器件应用”、“技能提高”、“思路点拨”、“想一想”、“考一考”、“能力 PK”、“电工小百科”、“轻松一刻”等栏目，以增强趣味性和可读性；同时书中配以大量的图片和表格，形象直观，便于总结。

◆ 在版式设计上，克服了传统电工技术图书单调刻板的缺点，在图表的应用和版面的安排上进行了大胆尝试和创新，力求内容与形式相统一，带给读者新的阅读享受。

本书由维修电工高级技师杨清德主编，参加本书编写工作的还有杨卓荣、黎平、胡萍、余明飞、杨松、成世兵、康娅、杨国仕、兰晓军、邹奇林等。重庆电子工程职业学院彭克发教授审阅了本书并提出了许多宝贵意见，编者所在单位的领导对于本书的出版给予了很大的关心和支持，在此一并表示谢意。希望本套丛书的出版对广大初学者学习电工技术和走上就业岗位能够有所帮助。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。关于对本书的任何意见和建议，请发电子邮件至 yqd611@163.com。

编　者

目　录

第1章 电气符号——电工通用语言 ……1

1.1 电气识图的重要性——职场基本功 ……2

1.2 图形符号——象形文字 ……4

1.2.1 图形符号的分类——图形符号有国标，基本符号要记牢 ……4

1.2.2 图形符号的构成方式——一般要素与限定，掌握规律分得清 ……7

1.2.3 正确理解和使用图形符号——符号表情又达意，正确使用勤练习 ……9

1.3 文字符号——字母组合 ……14

1.3.1 基本文字符号——设备种类要表述，单双字母来帮助 ……14

1.3.2 辅助文字符号——特征状态较复杂，辅助文字助表达 ……18

1.3.3 特殊用途文字符号——端子导线不混淆，特殊符号应记牢 ……19

1.3.4 正确使用文字符号——避繁就简用符号，国家标准优先挑 ……19

1.4 项目代号——种类分层识别码 ……23

1.4.1 项目代号的划分——项目关系分层次，习惯采用结构树 ……24

1.4.2 项目代号的组成——四个前缀代号段，代号项目能判断 ……25

1.4.3 正确使用项目代号——项目代号规定多，勤加练习把关过 ……27

1.5 回路标号——连接关系助记符 ……29

第2章 电工识图基础——练好基本功 ……32

2.1 电气图的基本组成——电路说明和标题 ……33

2.1.1 电路——电源负载与导线，控制元件也关键 ……33

2.1.2 技术说明——图纸容量终有限，附加说明能实现 ……36

2.1.3 标题栏——电气制图有干系，责任签字莫忘记 ……36

2.2 常用电气图——相互补充好施工 ……38

2.2.1 电气图的分类——基本类型十九种，表达形式各不同 ……38

2.2.2 电路图——图形符号加文字，上下左右排整齐 ……39

2.2.3 概略图（框图）——系统复杂莫慌张，电气单元框中装 ……43

2.2.4 接线图（表）——导线连接乱如麻，照图施工不复杂 ……47

2.2.5 逻辑图——功能实现多方法，逻辑关系来考查 ……52

2.2.6 其他常用电气图——电气布置平面图，安装检修多用途 ……53

2.3 识图基本功——火眼金睛需多练 ……58

第3章 供配电系统图——回路一清二楚……65
3.1 电力供配电系统图——发输变配大电网……66
3.1.1 电力系统图——单线表示电系统，发输变配紧靠拢……66
3.1.2 常见供配电系统——供电降压方式多，总体要求差不多……68
3.1.3 电力系统中性点的运行方式——高压系统中性线，一旦接地不能变……71
3.1.4 低压配电系统的接地方式——低压接地有三种，根据需要选系统……74
3.1.5 一次回路和二次回路的划分——电能传输主电路，二次设备作辅助……77
3.2 一次回路图——读图入手看主变……78
3.2.1 高压一次回路图——基本线路有三种，概略图纸要看懂……79
3.2.2 工厂变电站一次回路图——工厂自建变电站，一次接线较简单……82
3.3 二次回路图——控制监测与保护……90
3.3.1 二次回路的分类——二次设备较分散，交直回路最常见……90
3.3.2 二次回路常用电路——控制回路有多种，保护电路容易懂……100
3.3.3 二次回路图的绘制——设备编号要标明，位置编号应注清……105
3.3.4 识读二次回路图的基本途径——各个击破细分析，触点动作讲逻辑……110

第4章 建筑电气图——强弱电不相往来……114
4.1 建筑电气工程识图常识——重点读懂平面图……115
4.1.1 图样的分类及特点——总图分图有特色，专用符号须记得……115
4.1.2 识图程序方法及要点——先读说明再看图，看罢总图看分图……116
4.2 照明和动力配电图——动力照明两相宜……123
4.2.1 动力与照明配电系统图——布局层次分解看，供配电况可计算……123
4.2.2 动力与照明配电平面图——线路设备好分辨，安装维修都方便……127
4.3 弱电工程图——楼宇智能化标志……134
4.3.1 闭路监控电视系统工程图——看懂图例及说明，控制方式要弄清……134
4.3.2 电话系统工程图——终端传输与交换，系统平面图要看……139
4.3.3 消防工程电气图——元件设备环节多，逐条回路去诉说……146
4.3.4 防盗保安工程电气图——分清区域与接线，设备分布细查看……151
4.3.5 综合布线工程图——标注区分各弱电，设备位置重点看……157

第5章 电力拖动系统电气图——电机运行随人愿……163
5.1 电动机基本控制电路图——基本环节要弄清……164
5.1.1 电动机控制电路的基本环节和常用元件——十个环节及器件，熟悉原理把图看……164
5.1.2 电气控制电路图——电气控制分三部，电源电路及主辅……167

5.1.3 电气控制接线图——器件线路对号坐，安装维修防出错 ……184
5.2 典型机床控制电气图——流水作业程序 ……190
5.2.1 机床控制电气图的特点——控制过程较复杂，分区绘制便观察 ……191
5.2.2 识读常用机床控制电路图——典型电路先熟悉，特殊功能慢分析 ……194
5.3 识读起重设备电气图——正反转操控特例 ……203
5.3.1 电路特点和识图方法——控制作为突破口，读图分析好入手 ……203
5.3.2 识读常用起重设备控制电路图——肩负重任听召唤，主辅电路联系看 ……204
5.4 给排水电气控制电路图——两台水泵巧配合 ……216
5.4.1 给水控制电路图——两泵控制电路图，备泵投入靠自动 ……216
5.4.2 排水控制电路图——控制电路往下看，开关转换方式变 ……222

第6章 PLC梯形图——似曾相识好编程 ……225
6.1 常用基本电路梯形图及编写——电机基本控制程序 ……226
6.1.1 梯形图与继电器控制电路图的差异——控制功能均未变，主要差异有五点 ……226
6.1.2 编写梯形图——图形格式先熟悉，常用电路多练习 ……228
6.2 继电器控制电路与PLC电路的转换——奔向自动化 ……233
6.2.1 电路图转换为梯形图的步骤及方法——语法规定应履行，I/O分配要可行 ……233
6.2.2 用PLC改造电动机传统控制电路——主路保留辅路变，虚拟电路能实现 ……241
6.3 PLC控制系统电气图的识读方法——程序方法最重要 ……248

第7章 变频器和软启动器应用图——电机控制新电路 ……252
7.1 调速与变频器——调速新技术 ……253
7.1.1 变频调速的技术优势——电机配上变频器，调速如虎又添翼 ……253
7.1.2 变频器的工作原理——交流直流可转换，频率也可连续变 ……254
7.1.3 变频器外围基本配置——变频配置器件多，确保主机好工作 ……257
7.2 识读变频器工程安装图——按图施工 ……260
7.2.1 变频器配线——电路配线守规定，以免日后并发症 ……260
7.2.2 变频器工程安装接线图——输入输出不错线，控制端子细分辨 ……262
7.2.3 识读变频器应用电路图——先主后控识电路，工作过程把握住 ……270
7.3 识读软启动器应用电气图——循序渐进 ……276
7.3.1 软启动器的工作原理及特点——平稳启动无冲击，保护电机没问题 ……276
7.3.2 识读软启动器工作原理图——启动停车及保护，信号分析把握住 ……278
7.3.3 识读软启动器安装接线图——端子功能看说明，主辅接线回路清 ……287
7.3.4 识读软启动器应用电路图——软启动器应用广，识图还得方法讲 ……298

参考文献 ……305

第1章

电气符号

——电工通用语言

绘制电气图时，所有电气设备和电气元件都应使用国际统一标准符号，若没有国际标准符号，可采用国家标准或行业标准符号。电气符号主要包括图形符号、文字符号、项目代号和回路标号。识读电气图，首先得认识并掌握电气符号，只有正确地理解各种电气符号所表示的意义，才能准确、全面、快速地阅读电气图。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

① 了解电气识图的重要性。
② 了解图形符号的种类。
③ 理解图形符号的4种构成方式。
④ 理解项目代号的组成和划分方法。
⑤ 掌握常用的基本文字符号和辅助文字符号的含义。
⑥ 掌握回路标号的主要原则。

能力目标

① 能正确认识和使用常用的图形符号。
② 能正确认识和使用常用的文字符号。
③ 能正确认识和使用项目代号。
④ 能正确认识回路标号。

1.1 电气识图的重要性——职场基本功

设计方案绘成图，加工制造依据图。
安装维护看看图，思路清晰不糊涂。
维修更是需要图，原理清楚故障除。
电工语言一套图，初学电工先识图。
应聘现场考识图，胜任工作有前途。

近年来，许多学生去企业应聘的反馈信息表明，企业在招聘电工时，除了测试一些电工基础知识和基本技能外，识读电路图也是测试的主要内容之一（图 1-1 所示为某企业电工招聘考试现场）。仔细想一想也有道理。用人单位会想，请你来做一个专业电工，如果你连简单的电路草图都画不出来，甚至看不懂基本的电路图，那么你还会做什么呢？当然，责任不完全在于学生，因为一般的中职学校甚至高职院校很少开设电气识图和制图课，学生又没有选学这部分内容。某些学校一味强调所谓的“培养动手能力”，但却忽视了一些基本素质的培养，致使一些学生根本不会识图和制图，不会分析电路的工作原理。有的学生没有较好地掌握电路中元器件的名称、作用及损坏后的故障现象，一听说识图就害怕，打退堂鼓，更不用说回答考官接二连三提出的“为什么”。显然，这势必会给就业造成障碍。



图 1-1　某企业电工招聘考试现场（局部）

电气图是电气工程图的简称。电气工程图是按照统一的规范规定绘制的，采用标准图形和文字符号表示实际电气工程安装、接线、功能、原理及供配电关系等的简图。

电工识图是从事电气技术工作的关键环节，电气工程或电气设备的设计、改进、安装、维护、管理、检修等都与电气图有关。正确识读电气图，是学习电工技术至关重要的一步。

在日常生活及工作中，我们可能会接触到各种各样的电气图。例如，洗衣机、电风扇、抽油烟机等家用电器说明书中的电路图、安装图，以及电能表的接线图、家庭装修的平面图和布

线图，这些都是电气图。一般而言，电气图的复杂程度与电气工程项目的对应关系见表 1-1。

表 1-1 电气图的复杂程度与电气工程项目的对应关系

工程名称	工程项目	电气图的复杂程度
电力外线工程	主要包括 35kV 以下的架空电力线路、电缆电力线路等室外电源供电线路	比较复杂
电力内线工程	主要包括室内 380/220V 动力及照明电气线路等	比较复杂
变配电工程	主要包括 35kV 以下的变压器、高低压设备、继电保护和相关的二次设备、接线机构等	最复杂
发电设备	一般指 400V 柴油发电机组等自备发电设备及附属设备	比较简单
电气接地工程	各种电气装置的保护接地、工作接地、防静电接地等的接地装置	比较简单
防雷工程	建筑物和电气装置的防雷设施等	比较简单
弱电工程	主要指电话、广播、闭路电视、安全报警系统等的弱电信号线路和设备	比较简单

面对如此繁多的电气工程、如此复杂的电气系统，无论是实际安装还是实际运行时的维护保养，或者是出现故障时的检修，如果没有电气图的帮助，电工根本不能顺利开展工作。

电气图是电气设计人员、电气安装人员、电气操作和检修人员进行沟通的通用工程语言，是进行技术交流不可缺少的重要途径。电气图可以用来说明电气设备的构成和功能，阐述其工作原理，用来指导电气工作人员进行安装、接线、维护和管理。设计者通过电气图表达其设计思想；制造者通过识图了解设计意图，组织指导生产；维修人员通过识图了解设备的工作原理、结构性能，以排除故障。所以，对于电气行业的从业人员来说，必须学会并掌握这种通用语言。这对于每一个从事电气工程设计、制造、安装、维护、管理的人员来说都具有非常重要的意义，对保证电气设备保持良好的工作状态和保证生产质量及效益也具有极其重要的意义。

俗话说，冰冻三日，非一日之寒。从校园到职场，从农民到电工，从电工初学者到电工师傅，从电工师傅到电工技师，有一个循序渐进、熟能生巧的过程。让我们一起从学习电气识图的基础知识入手，一步一步往前走，向着职场的制高点冲刺（如图 1-2 所示）。



图 1-2 电工识图——走向职场第一步

找 开 关

有3个空房间，一个房间内有3盏灯，另一个房间内有3个开关，每一个开关只能打开一盏灯，如果你只可以进入每个房间一次，请问你如何知道哪个开关控制哪盏灯？

参考答案：进入有开关的房间，打开其中一个开关，过5min后关掉，再打开另一个开关后离开房间。



1.2 图形符号——象形文字

图形符号象形字，既能表情又达意。
国标规定十一类，功能定义很明晰。
巧妙组合图像形，信息就靠它传递。
符号较多易混淆，琢磨清楚明其义。

许多电工师傅把图形符号比喻为电气工程技术文件中的“象形文字”。图形符号是电气工程技术通用语言的“单词”和“词汇”，它实际上就是一种图形、记号或符号。图形符号既可以用来代表电气工程中的实物，也可以用来表示电气工程中与实物对应的概念。

1.2.1 图形符号的分类
——图形符号有国标，基本符号要记牢

国家标准GB 4728规定，图形符号可分为11类：导线和连接器件，基本无源元件，半导体管和电子管，电能的发生和转换装置，开关、控制和保护装置，测量仪表、灯和信号器件，电信交换和外围设备，电信传输，电力、照明和电信布置，二进制逻辑单元，模拟单元等。

除上述图形符号外，还有一些其他符号，如表示机械控制、操作件和操作方法、非电量控制、接地、接机壳和等电位、理想电路元件(电流源、电压源、回转器)、电路故障、绝缘击穿等的符号。

从组成功能上来说，图形符号包括符号要素、一般符号、限定符号和方框符号。

1. 符号要素

符号要素是一种最简单的、最基本的图形，它具有确定的含义，通常用来表示实物（项

目）的特性和功能。

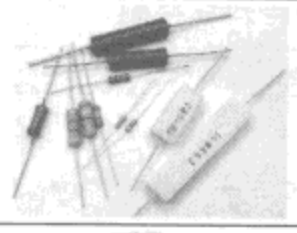
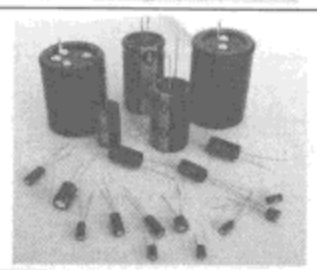
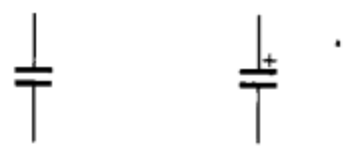
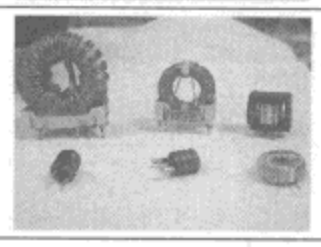
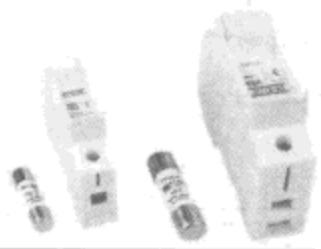
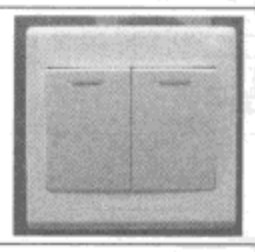
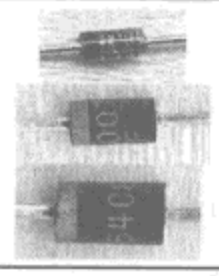
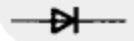
符号要素不能单独使用，必须与一般符号等进行组合后才能形成多种不同的图形符号。例如“□”、“▭”、“○”3个符号要素，只要在符号轮廓内填入适当的符号或元件代号，就可以用来表示元件、装置或功能单元。

2. 一般符号

一般符号是通用的符号，是用来表示某一类项目共同特征或功能的简单符号。一般符号可单独作为图形符号使用，也可与符号要素或限定符号配合使用，构成新的符号。

在一般符号上增加限定符号或符号要素后，就形成了某类设备中特定设备的图形符号。例如“Ⓜ”表示直流电动机，“⊖”表示双绕组变压器。一些常用元件的一般符号如表1-2所示。

表1-2 常用元件的一般符号示例

名　称	实 物 图	一 般 符 号
电阻器		
电容器		
电感器		
熔断器		
开关		
二极管		



想一想　电气元件的图形符号能不能自己规定呢？

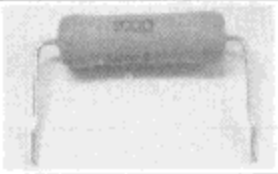
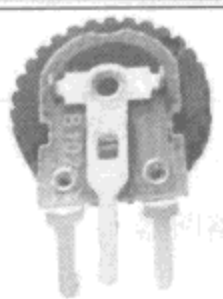
提示：电气元件的图形符号不能自己随心所欲、想当然地画，绘图时应遵守国家规定，采用标准符号。

3. 限定符号

限定符号是用来加在其他图形符号上提供附加信息的一种符号。限定符号一般不能单独使用。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。

限定符号一般由具有一定方向的箭头、短横线、小叉或小圆圈等构成。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、压敏电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、碳堆电阻器等，如表 1-3 所示。

表 1-3　　电阻器限定符号示例

名　称	电路图形符号	实 物 图
电阻器		
热敏电阻器	θ	
压敏电阻器	U	
普通电位器		
直滑电位器		
微调电位器		
功率为 1W 的电阻器	1	

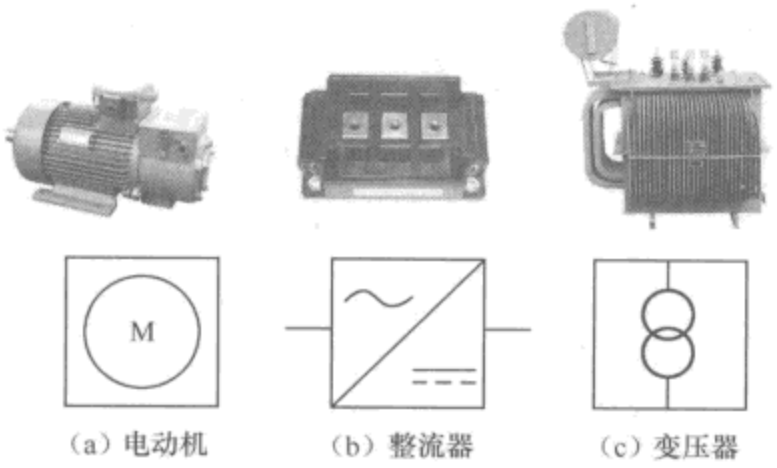
从表 1-3 可知，使用限定符号很方便。小小电阻器就有这么多符号，我们一定要记住！



练一练　自己查阅资料，画出电容器的限定符号。

4．方框符号

方框符号用来表示元件、设备等的组合及其功能，是既不给出元件、设备的细节也不考虑所有连接的一种简单的图形符号。



（a）电动机　（b）整流器　（c）变压器

图 1-3　电气元件的实物外形和方框符号应用示例

方框符号通常用在采用单线表示法的图中，也可用在表示出全部输入和输出接线的图中。换句话说，方框符号主要用来表示设备或部件的外壳。将整个设备或部件用方框符号表示后，该设备或部件在图中相当于一个元件，因此对该设备的细节等都不表示，也没有办法表示，如图 1-3 所示。

此外，图形符号中的基本符号一般不表示独立的电气元件，只说明电路的某些特征，例如“～”表示交流，“—”表示直流。



想一想　能不能用若干个方框符号和连线一起来绘制电路原理方框图？

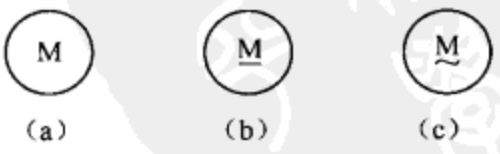
提示：方框图是一种用方框和连线来表示电路工作原理和构成概况的电路图。从根本上说，这也是一种原理图，不过在这种图纸中，除了方框和连线，几乎就没有别的符号了。

1.2.2　图形符号的构成方式
——一般要素与限定，掌握规律分得清

在电气图中实际运用的图形符号通常由符号要素、一般符号、限定符号等按照一定的组合方式构成。图形符号的构成方式有多种，最基本和最常用的有以下 4 种。

1．符号要素+限定符号

在符号要素的基础上再加上限定符号，就可得到若干个新的图形符号。图 1-4（a）是电动机的一般符号，它由符号要素和限定符号组成。在电动机的一般符号上增加限定符号“—”后，就成为直流电动机的图形符号，如图 1-4（b）所示；在电动机的一般符号上增加限定符号“～”后，就成为交流电动机的图形符号，如图 1-4（c）所示。



（a）　（b）　（c）

图 1-4　电动机的图形符号

2. 一般符号+限定符号

在一般符号的基础上再加上限定符号，就可得到若干个新的图形符号。例如，图 1-5（a）为开关的一般符号，它分别与接触器功能符号、断路器功能符号、隔离器功能符号、负荷开关功能符号这几个限定符号结合，便可组成接触器图形符号、断路器图形符号、隔离开关图形符号和负荷开关图形符号。

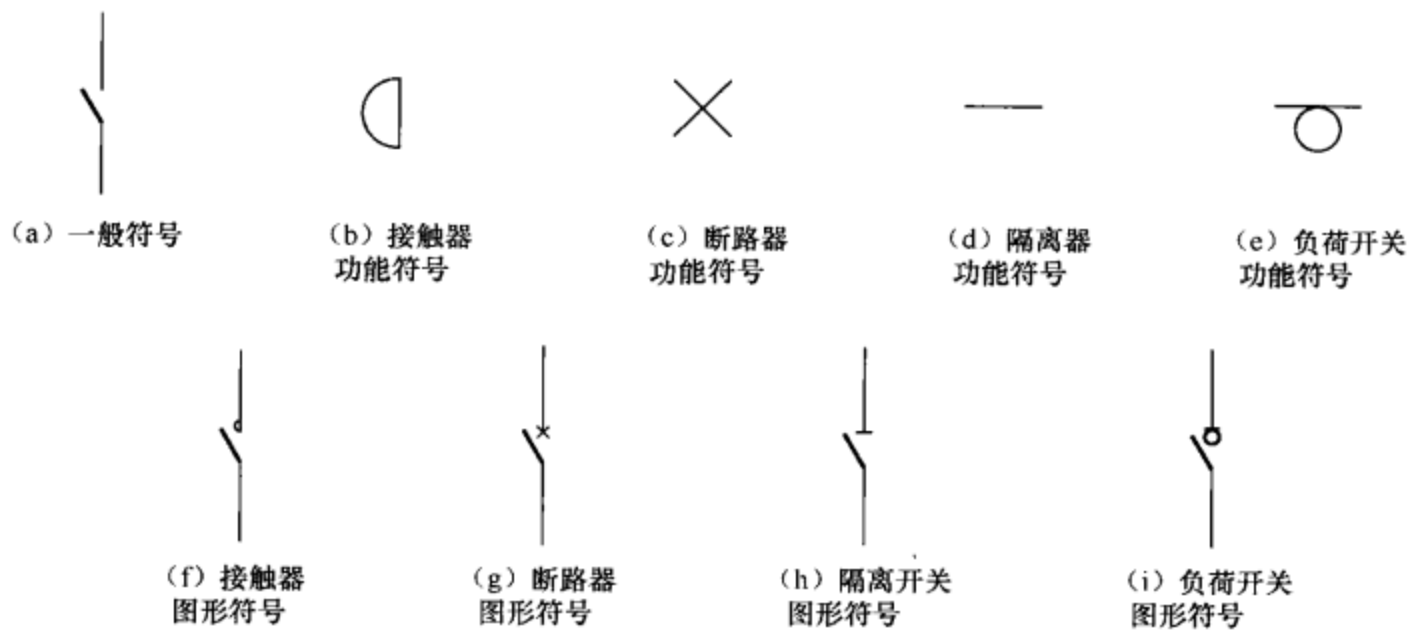


图 1-5　一般符号与限定符号组合示例

3. 符号要素+一般符号

在符号要素的基础上再加上一般符号，就可得到若干个新的图形符号。如图 1-6 所示，保护接地图形符号由表示保护的符号要素与接地的一般符号组成。



图 1-6　符号要素与一般符号组合示例

4. 符号要素+一般符号+限定符号

为表示某些比较复杂的概念，可用符号要素、一般符号和限定符号组合成新的图形符号。如图 1-7 所示，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与表示放大器的一般图形符号、表示自动控制的限定符号以及文字符号 dB（作为限定符号）构成。

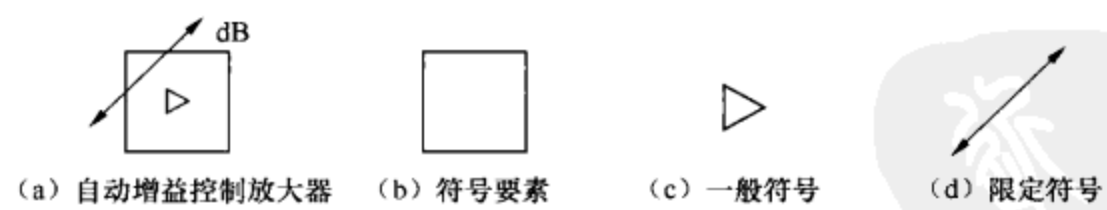


图 1-7　符号要素、一般符号与限定符号组合示例



想一想　图形符号有哪几种构成方式？

1.2.3 正确理解和使用图形符号
——符号表情又达意，正确使用勤练习

1．注意区分图形符号的含义

图形符号存在图形相似、一形多义、一义多图的现象，读图时应特别注意图形符号的使用场合、组合情况和细微差别。如限定符号“×”可以表示“磁场效应”、“断路器功能”和“擦除、消抹”等含义，读图时应该根据不同的使用场合予以区分。

2．摸清图形符号表示的状态

所有图形符号都是按照设备或元件在无电压、无外力作用时的“自然状态”画成的，这个状态称为正常状态，简称常态。常态又称为复位状态，如开关未闭合、线圈未得电。与复位状态相反的状态称为动作状态，由常态向动作状态变化的过程称为“动作”，由动作状态向常态变化的过程称为“复位”。

一般来说，在电气图中继电器和接触器的动断触点都处在闭合的位置，动合触点都处在断开的位置；带零位的手动开关在零位位置，不带零位的手动控制开关处于图中规定的位置；事故、备用、报警等开关应处在设备正常使用时的位置，如在特定的位置时图上应有说明。

机械操作开关或触点的工作状态与工作条件或工作位置有关，其对应关系应在图形符号附近加以说明，以利看图时能较清楚地了解开关和触点在什么条件下动作，在什么情况下保持原来的状态不动作，进而了解电路的原理和功能。如图 1-8 所示，在各垂直坐标轴上，“0”表示触点断开，“1”表示触点闭合，水平轴表示改变运行方式的条件，如温度、速度、时间、角度、位置等。

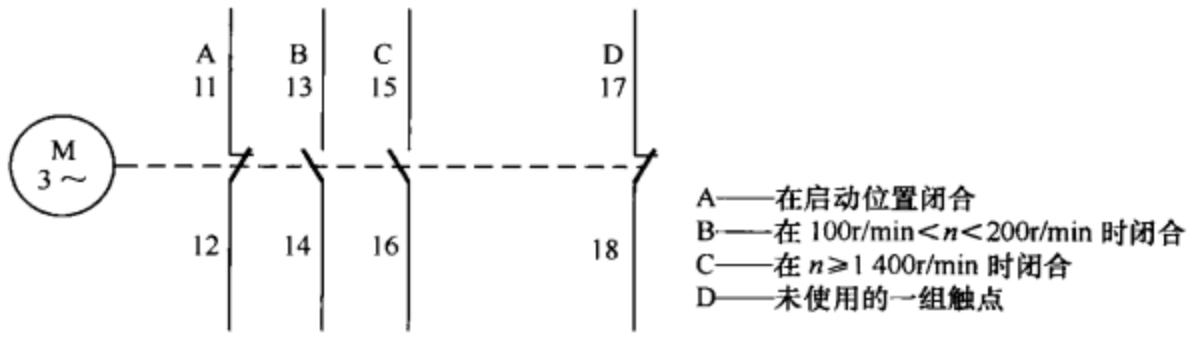


图 1-8　开关或触点运行方式文字说明示例

值得注意的是，开关或触点类型不同，采用的表示方法也不同。图 1-9 所示为多位开关触点工作状态与工作位置的关系的表示方法，图中是一个五位控制器，它有 4 对触点，5 个位置分别用数字表示。其中“0”表示手柄在中间位置，两侧的数字“1”、“2”表示操作位置数，数字上也可标注文字表示具体的操作（前、后、手动、自动等）。纵向虚线表示手柄操作触点断、合的位置线，有“•”时表示手柄转向该位置时触点接通，无“•”时表示不接通。

3．否定要素

图形符号的否定要素由一个叉号来表示，如图 1-10（a）所示。为了保证视觉的清晰，否定要

素可简化成一个从左上到右下的斜杠，如图 1-10（b）所示。

否定的含义随所否定的图形符号而定。例如，当图形符号表示控制某功能时，否定通常意味着否定功能，如图 1-10（a）所示。如果图形符号表明功能状态，否定常常表示相反的功能状态，如图 1-10（b）所示。某图形符号如为引导某操作行为时，否定往往得出一个相反的操作行为，如图 1-10（c）所示。

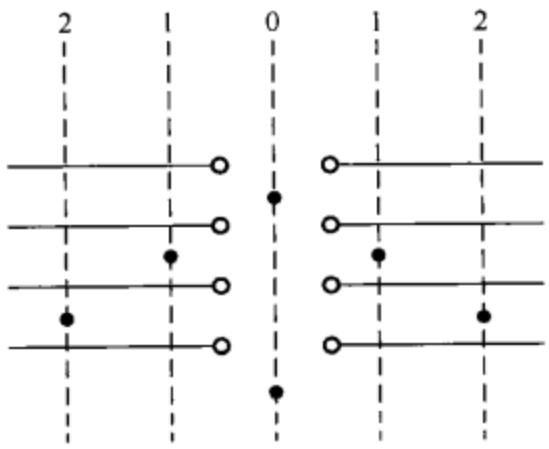


图 1-9　多位开关触点工作状态与工作位置的关系的表示方法



（a）铃声消除



（b）燃油关闭



（c）不允许滚动

图 1-10　否定要素示例

注意：带有从左上到右下的红色斜杠的红圈表示禁止（见 GB/T 16903.1）而不应用于表示否定。

思路点拨

动断触点和动合触点的含义

初学者一定要注意继电器触点状态的不同含义。前几年出版的一些书籍把继电器、接触器的动断触点称为常闭触点，把动合触点称为常开触点，近年来出版的书籍一般都统一称为动断触点和动合触点。在阅读时注意理解就不容易混淆了。

线圈不通电时两个触点是断开的，通电后这两个触点就闭合，通常把这类触点称为动合触点；线圈不通电时两触点是闭合的，通电后这两个触点就断开，通常把这类触点称为动断触点。也就是说，“动合”等同于“常开”，“动断”等同于“常闭”。

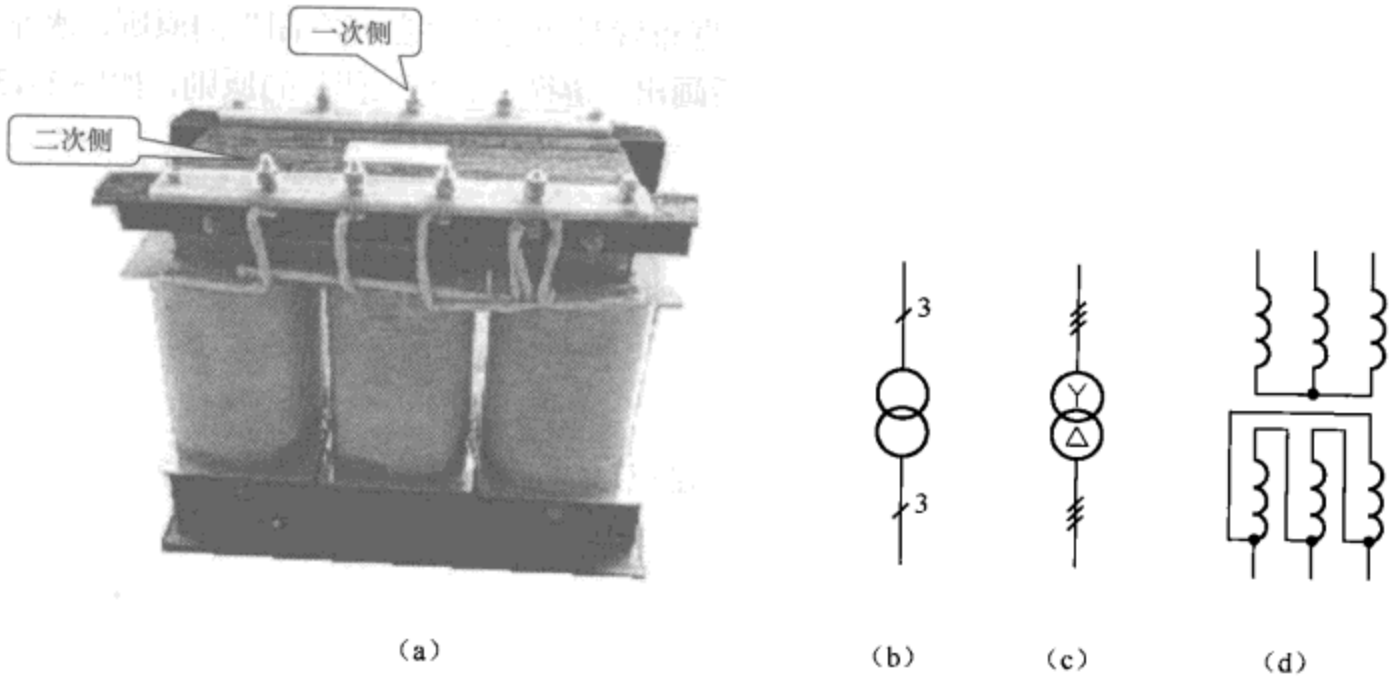
4．选用图形符号的原则

选用图形符号时应遵循的原则是：若某设备或电气元件有几个图形符号，当图形符号存在优选形和其他形时，应尽量采用优选形，选用最简单的形式，以满足表达需要为原则。

注意：在同一份图纸中，只能采用一种形式的图形符号，以降低识图的难度。

图 1-11 所示是一台三相变压器的 3 种不同形式的图形符号。图 1-11（b）所示为最简单的三相变压器的图形符号，表示有铁芯的三相双绕组变压器。图 1-11（c）所示是增加了限定符号后的三相变压器的图形符号，表示有铁芯的三相双绕组变压器，其一、二次侧绕组采用星形一三角形连接方式，一般在详细的简图中使用。图 1-11（d）所示是详细的三相变压器的图形符号。在不影响意思表达的情况下，应尽量采用最简单的形式。

在绘制图形符号时，有国家标准的应尽量按照标准符号画；若无国家标准，应用图例或文字加以说明。



（a）　（b）　（c）　（d）

图 1-11　三相变压器的 3 种图形符号

5. 图形符号的大小和线条宽度

符号的大小和图线宽度一般不影响其含义。但为了增加输入、输出线数量，便于补充信息，强调某些方面或把符号作为限定符号使用，允许对相同符号的尺寸大小、线条粗细依国家标准放大或缩小。

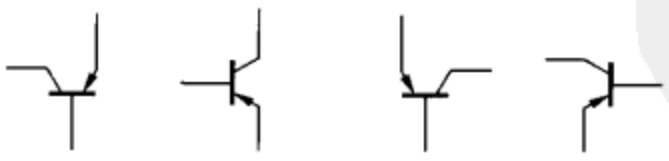
关于图形符号的大小，在一般情况下以国家标准 CB/T 4728 中给出的符号大小进行表示。在有些需要强调具体项目或对其补充信息的场合中，允许采用经过尺寸放大后的符号。

6. 图形符号的方向性

有的图形符号的含义与绘制方向有关，有的与方向无关，如图 1-12（a）、（b）所示。一般来说，图形符号的绘制取向原则上是任意的，即可以根据图的布置需要，在不改变符号含义的前提下，将符号旋转或采用镜像符号（即从镜子中看到的图形），如图 1-12（c）所示。但文字和指示方向不得倒置。而镜像符号或经过旋转后可能引起混淆的某些符号一般不采用。



（a）符号含义与方向无关　　（b）符号含义与方向有关



（c）三极管图形符号的变换

图 1-12　图形符号含义与方向

总之，图形符号在位于任何方向时其含义应保持不变，若图形符号含义与方向有关，应明确说明，如图 1-14（b）所示。

值得说明的是，各类开关、触点的画法垂直布置时应遵循“左开右闭”的原则，水平布置时可将垂直布置的符号按逆时针方向旋转 90° 后画出，遵循“下开上闭”的原则，如图 1-13 所示。

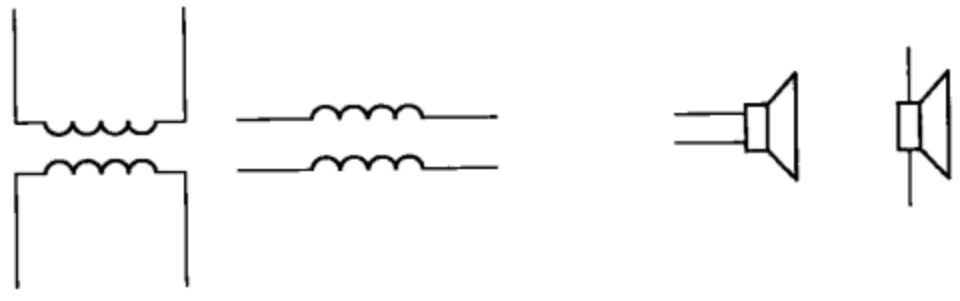


（a）动合触点　　（b）动断触点

图 1-13　开关图形符号的方位

7. 符号引线的位置

图形符号所带的连接线不是图形符号的一个组成部分，在一般情况下引线位置只要不影响符号的含义，则引线的方向可以改变。例如变压器、扬声器的引线改变方向都是允许的，如图 1-14 所示。



（a）变压器图形符号　　（b）扬声器图形符号

图 1-14　符号引线位置改变示例

若改变引线位置要影响符号的含义，则不能随意改变，例如电阻器图形符号的引线、继电器线圈方框的引线，因为如果改变电阻器、继电器线圈方框引线的位置，就容易引起图形符号的混淆。



想一想　对于同一个电气元件，手工绘图和计算机绘图采用的图形符号是一样的吗？

提示：同一个电气元件的基本形状应该是一样的。

知识链接

常用电工符号及单位与代号

常用电工符号及单位与代号见表 1-4。

表 1-4　常用电工符号及单位与代号

名　称	符　号	单位及其代号	辅助单位及其代号
电流	I	安 [培]（A）	1 安=1 000 毫安（mA） 1 毫安=1 000 微安（μA）

续表

名　　称	符　　号	单位及其代号	辅助单位及其代号
电压	V	伏 [特]（V）	1 千伏=1 000 伏（V） 1 伏=1 000 毫伏（mV）
电阻	R	欧 [姆]（Ω）	1 兆欧（MΩ）=1 000 千欧（kΩ） 1 千欧=1 000 欧（Ω）
电容	C	法 [拉]（F）	1 法=1 000 毫法（mF） 1 毫法=1 000 微法（μF）
电感	L	享 [利]（H）	1 享=1 000 毫享（mH） 1 毫享=1 000 微享（μH）
感抗	X_L	欧 [姆]（Ω）	
容抗	X_C	欧 [姆]（Ω）	
有功功率	P	瓦 [特]（W）	1 千瓦（kW）=1 000 瓦（W）
无功功率	Q	乏（var）	1 千乏（kvar）=1 000 乏（var）
视在功率	S	伏安（VA）	1 千伏安（kVA）=1 000 伏安（VA）
电能	W	千瓦时（kW·h）	
功率因数	$\cos\phi$		
频率	f	赫［兹］（Hz）	1 千赫（kHz）=1 000 赫（Hz）
转速	n	转/分（r/min）	
电场强度	E	伏［特］每米（V/m）	

8. 新符号的补充

对于国家标准中未规定的图形符号，可根据实际需要，按突出特征、结构简单、便于识别的原则画出，即补充的新符号都要符合易识、易读、易记的标准。“一看就明白”是符号设计的重要原则，如果大家都不明白，就失去了符号本身的意义——达意。

新符号的补充应根据国家标准的符号要素、一般符号和限定符号进行组合设计，派生出新的符号，但需要报国家标准局备案。

当采用除国家标准符号以外的其他来源的符号或代号时，必须在图样和技术文件中说明其含义。



想一想

① 电气图形符号是不是像形符号？

② 有些图形符号具有几种形式，绘图时应该选用哪一种符号？

提示：在不影响识图的前提下，一般来说应优选最常用、最简单的国家标准符号。但在同一张电气图样中只能选用一种形式的图形符号，其大小和线条的粗细也应基本一致。

手机买家与卖家的经典对话

买家：老板，什么手机最耐用？

卖家：只有相对耐用的，没有绝对耐用的。

买家：为什么？

卖家：你见过谁家有祖传的手机？

买家：你给我说说智能手机和非智能手机有什么区别？

卖家：就以闹钟为例，一般的手机到点就闹，闹得醒闹不醒不管；智能手机见闹不醒你，会打电话给你们单位领导请假。



1.3 文字符号——字母组合

文字符号有三类，基本辅助和特殊。
单双字母是基本，缩略用语为辅助。
特殊符号为专用，端子导线可描述。
文字符号灵活用，设备装置表清楚。

文字符号是用来表示和说明电气设备、装置、元器件的名称、功能、状态和特征的字符代码。文字符号可为电气技术中的项目代号提供电气设备、装置和元器件种类字母代码和功能字母代码，也可作为限定符号与一般图形符号组合使用，以派生出新的图形符号。另外，还可以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。

电气技术的文字符号可分为基本文字符号、辅助文字符号和特殊用途文字符号三大类。

1.3.1 基本文字符号
——设备种类要表述，单双字母来帮助

基本文字符号主要表示电气设备、装置和元器件的种类，分为单字母符号和双字母符号。

在单字母符号表示方法中，用拉丁字母将各种电气设备、装置和元器件分为 20 多类，每一大类用一个大写字母表示。如用“A”表示组件和部件，用“S”表示控制电路的开关，用

“K”表示继电器、接触器类等。电气技术中常用的单字母符号见表 1-5。

表 1-5 国家标准中的单字母符号（摘自国家标准 GB 7159—1987）

符　号	设备或装置类别	设备或装置名称
A	组件、部件	分立元件放大器、磁放大器、激光器、微波发射器、印制电路板、调节器、集成电路放大器，本表中其他地方未提及的组件、部件
B	变换器（从非电量到电量或相反）	热电传感器、热电池、光电池、测功计、晶体换能器、送话器、拾音器、扬声器、耳机、自整角机、旋转变压器、测速发电机、速度变换、压力变换、温度变换器
C	电容器	—
D	二进制单元、延迟器件、存储器件、门电路	数字集成电路和器件、延迟线、双稳态元件、单稳态元件、磁芯存储器、寄存器、磁带记录机、盘式记录机、与门、与非门、或门
E	杂项	光器件、热器件、本表中其他地方未提及的元器件
F	保护器件	熔断器、避雷器、过电压放电器件
G	发电机电源	旋转发电机、旋转变频机、电池、振荡器、石英晶体振荡器
H	信号器件	光指示器、声响指示器、指示灯
K	继电器、接触器	—
L	电感器、电抗器	感应线圈、线路陷波器、电抗器（并联和串联）
M	电动机	—
N	模拟元件	运算放大器
P	测量设备、试验设备	指示、记录、积算、测量设备，信号发生器、时钟
Q	电力电路的开关	断路器、隔离开关
R	电阻器	电位器、变阻器、可变电阻器、热敏电阻、测量分流器
S	控制电路的开关	控制开关、按钮、选择开关、限制开关
T	变压器	电压互感器、电流互感器
U	调制器、变换器	鉴频器、解调器、变频器、编码器、逆变器、变流器、电报译码器
V	电真空器件、半导体器件	电子管、气体放电管、晶体管、晶闸管、二极管
W	绕组传输通道、波导、天线	励磁绕组、转子绕组、导线、电缆、母线、偶极天线、抛物面天线
X	端子、插头、插座	插头和插座、端子板、连接片、电缆封端和接头测试插孔
Y	电气操作的机械装置	制动器、离合器、气阀
Z	终端设备、滤波器均衡器、限幅器	电缆平衡网络、压缩扩展器、晶体滤波器、网络

双字母符号是由一个表示种类的单字母符号与另一个表示同一类电气设备、装置或元器件的不同用途、功能、状态和特征的字母组成。双字母符号的组合方式为种类字母（单字母）在前，另一个字母（通常用该类设备、装置或元器件的英文名称的第一个字母）在后。如“T”表示变压器类，则“TA”表示电流互感器，“TV”表示电压互感器，“TM”表示电力变压器等。电气技术中常用的双字母符号见表 1-6。

表 1-6　　国家标准中的双字母符号（摘编自国家标准 GB 7159—1987）

类　别	设备或装置名称	双字母符号
A	电桥	AB
	晶体管放大器	AD
	集成电路放大器	AJ
	磁放大器	AM
	电子管放大器	AV
	印制电路板	AP
B	压力变换器	BP
	位置变换器	BQ
	旋转变换器（测速发电机）	BR
	温度变换器	BT
	速度变换器	BV
E	发热器件	EH
	照明灯	EL
	空气调节器	KV
F	具有瞬时动作的限流保护器件	FA
	具有延时动作的限流保护器件	FR
	具有瞬时和延时动作的限流保护器件	FS
	熔断器	FU
	限压保护器件	FV
G	同步发电机、发生器	GS
	异步发电机	GA
	蓄电池	GB
	变频机	GF
H	声光指示器	HA
	光指示器	HL
	指示灯	HL
K	瞬时接触继电器	KA
	交流继电器	KA
	闭锁接触继电器	KL
	双稳态继电器	KL
	接触器	KM
	极化继电器	KP
	延时继电器	KT
	热继电器	KR
L	限流电抗器	LC
	启动电抗器	LS
	滤波电抗器	LF
M	同步电动机	MS
	调速电动机	MA
	笼型电动机	MC

续表

类　别	设备或装置名称	双字母符号
P	电流表	PA
	（脉冲）计数器	PC
	电能表	PJ
	记录仪器	PS
	电压表	PV
	时钟、操作时间表	PT
Q	断路器	QF
	电动机保护开关	QM
	隔离开关	QS
R	电位器	RP
	测量分路表	RS
	热敏电阻器	RT
	压敏电阻器	RV
S	控制开关	SA
	选择开关	SA
	按钮开关	SB
	压力传感器	SP
	位置传感器	SQ
	转速传感器	SR
	温度传感器	ST
T	电流互感器	TA
	电力变压器	TM
	磁稳压器	TS
	电压互感器	TV
V	电子管	VE
	控制电路用电源的整流器	VC
X	连接片	XB
	测试插孔	XJ
	插头	XP
	插座	XS
	端子板	XT
Y	电磁铁	YA
	电磁制动器	YB
	电磁离合器	YC
	电磁吸盘	YH
	电动阀	YM
	电磁阀	YV

1.3.2 辅助文字符号
——特征状态较复杂，辅助文字助表达

电气设备、装置和元器件的种类、功能、状态、位置和特征可用辅助文字符号表示，通常由表示功能、状态和特征的英文单词的前一两位字母构成，也可采用缩略语或约定俗成的习惯用法，一般不超过 3 位字母。例如，表示“启动”时采用“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上一个字母，为“STP”。

辅助文字符号也可放在表示种类的单字母符号后面，组成双字母符号，如“GS”表示同步发电机，“YB”表示制动电磁铁等。为简化文字符号起见，若辅助文字符号由两个以上的字母组成，允许只采用其第一位字母进行组合，如“MS”表示同步电动机等。辅助文字符号还可以单独使用，如“ON”表示接通，“OFF”表示关闭，“N”表示交流电源的中性线。电气工程中的常用辅助文字符号见表 1-7。

表 1-7　　常用辅助文字符号

名　称	辅助文字符号	名　称	辅助文字符号
电流、模拟	A	增	INC
交流	AC	感应	IND
自动	A、AUT	左、限制、低	L
加速	ACC	闭锁	LA
附加	ADD	主、中、中间线	M
可调	ADJ	手动	MAN
辅助	AUX	中性线	N
异步	ASY	断开	OFF
制动	B、BRK	闭合	ON
黑	BK	输出	OUT
蓝	BL	压力、保护	P
绿	GN	保护接地	PE
红	RD	保护接地与中性线共用	PEN
白	WH	不接地保护	PU
黄	YE	记录、右、反	R
向后	BW	复位	R、RST
控制	G	备用	RES
顺时针	CW	运转	RUN
逆时针	CCW	信号	S
延时（延迟）、差动、数字、降	D	启动	ST
直流	DC	置位、定位	S、SET
减	DEC	饱和	SAT

续表

名　　称	辅助文字符号	名　　称	辅助文字符号
接地	E	步进	STE
紧急	EM	停止	STP
快速	F	同步	SYN
反馈	FB	温度、时间	T
正、向前	FW	无噪声（防干扰）接地	TE
高	H	真空、速度、电压	V
输入	IN		



想一想　在书写辅助文字符号时，是不是一定要注意区分大小写字母？

提示：必须注意区分大小写字母，否则会产生歧义或误解。例如：F表示快速，f表示频率。

1.3.3 特殊用途文字符号
——端子导线不混淆，特殊符号应记牢

在电气图中，一些特殊用途的接线端子、导线等通常采用一些专用的文字符号。例如，交流系统电源的第一相、第二相、第三相分别用文字符号 L1、L2、L3 表示，交流系统设备的第一相、第二相、第三相分别用文字符号 U、V、W 表示，直流系统电源的正极、负极分别用文字符号 L+、L-表示，交流电、直流电分别用文字符号 AC、DC 表示，接地、保护接地、不接地保护分别用文字符号 E、PE、PU 表示。

在电路图中，文字符号组合的一般形式为：

基本文字符号+辅助文字符号+数字序号

例如，KT1 表示电路中的第一个时间继电器，FU2 表示电路中的第二个熔断器。

1.3.4 正确使用文字符号
——避繁就简用符号，国家标准优先挑

① 编制电气图及电气技术文件时，应优先选用国家标准 GB 7159—1987 中的基本文字符号、辅助文字符号以及它们的组合。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。一般来说，基本文字符号不能超过两位字母，辅助文字符号不能超过 3 位字母。

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，可以按照有关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 文字符号可作为限定符号与其他图形符号组合使用，但不可用于电气产品型号的编制

与命名。

知识链接

常用电气符号

电气图中涉及的符号很多，表 1-8 列举了一部分最常用的图形符号及与之对应的文字符号，表 1-9 列举了一部分最常用低压电器的实物图及电气符号，旨在引导读者入门，为后面的学习奠定基础。

表 1-8　　图形符号举例

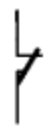
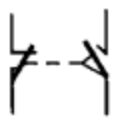
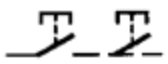
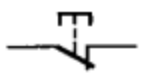
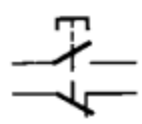
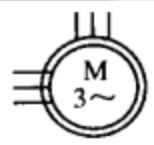
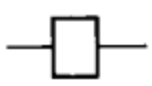
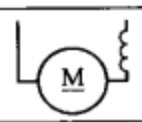
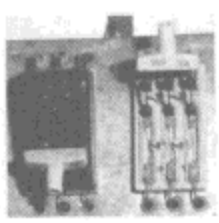
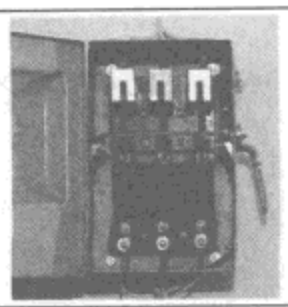
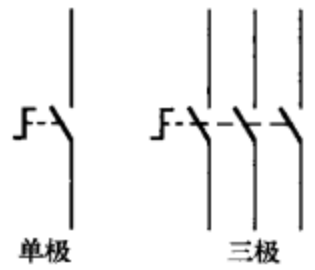
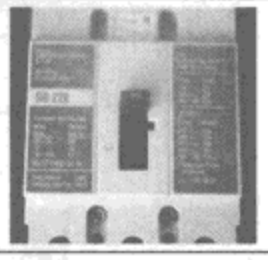
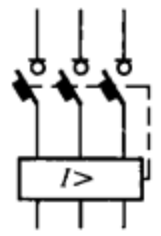
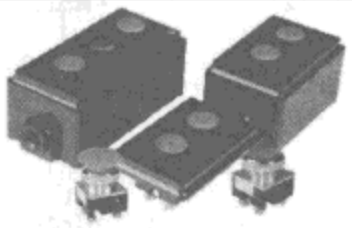
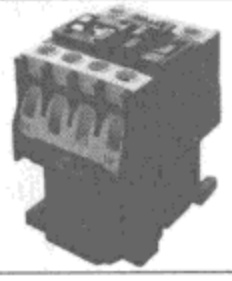
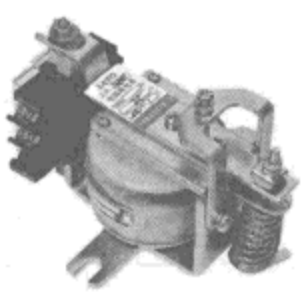
名　称	图形符号	文字符号	名　称	图形符号	文字符号
动合触点		SQ	欠电压继电器线圈		FV
动断触点		SQ	过电流继电器线圈		FA
复合触点		SQ	继电延时线圈		SJ
启动按钮		SB	通电延时线圈		SJ
停止按钮		SB	三相鼠笼式异步电动机		M
复合按钮		SB	三相绕线式异步电动机		M
接触器线圈		KM	串励直流电动机		M

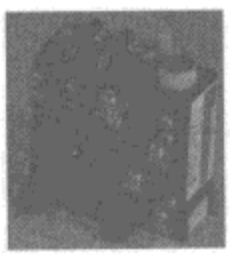
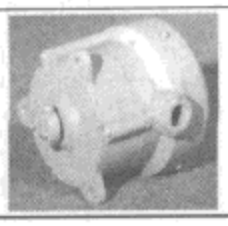
表 1-9　　常用低压电器实物图及电气符号

电器名称	实物图	图形符号	文字符号
刀开关			QS
铁壳开关			QS

续表

电器名称	实物图	图形符号	文字符号
组合开关			SA
空气开关			QF
按钮开关			SB
熔断器			FU
接触器			KM
中间继电器			KA
电流继电器			KI

续表

电器名称	实物图	图形符号	文字符号
电压继电器		U> 过电压继电器 U< 欠电压继电器	KV
时间继电器		通电延时线圈 断电延时线圈 延时闭合动合触点 延时断开动断触点 延时断开动合触点 延时闭合动断触点 瞬动动断触点 瞬动动合触点	KT
热继电器		热元件 动断触点	KR
速度继电器			KS



练一练

说说在图 1-15 中采用了哪些文字符号和图形符号？说出各个符号的含义。

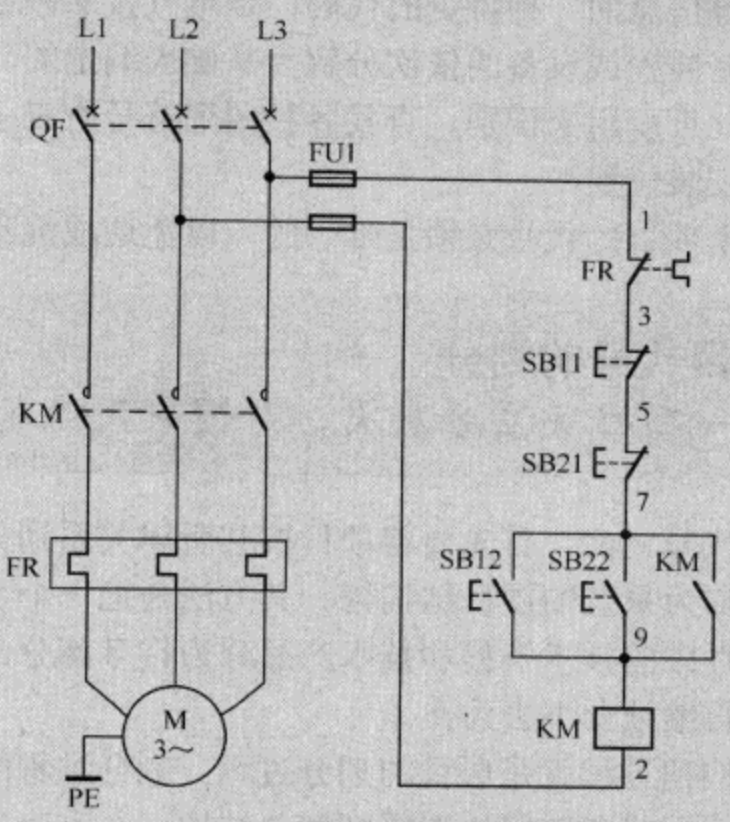


图 1-15 某电动机控制电路图

报 警



一位著名钢琴家乘火车赴 K 城演出。她在包厢里休息时，用手弹动床边的一排按键，练习指法。

到 K 城时，火车晚点两小时，她责怪列车长。

列车长抱歉地回答说："我们在路上先后共停车两小时，因为不时有人弹动警报器，可又找不到是谁！"

1.4 项目代号——种类分层识别码

复杂项目分层次，唯一代号结构树。
结构划分两方法，功能位置一步步。
四个号段表项目，方便识图就近注。
代号实物相对应，安装维修受帮助。

项目代号是用来识别简图、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。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，它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气元件、装置和设备以及它们的隶属关系、安装位置。

在系统中每个项目的代号必须是唯一的，以免造成混乱或混淆。

1.4.1 项目代号的划分
——项目关系分层次，习惯采用结构树

在分配项目代号之前，首先要将项目按其所属关系划分为各个层次，建立项目代号的结构系统，习惯上称为系统的项目结构树。其方法是把一个工厂或系统的图纸（包括简图、表图和表格）、文件中的技术资料和技术产品分为许多部分，这些部分又可依次分为更小的部分等，直到不能再继续分下去为止。

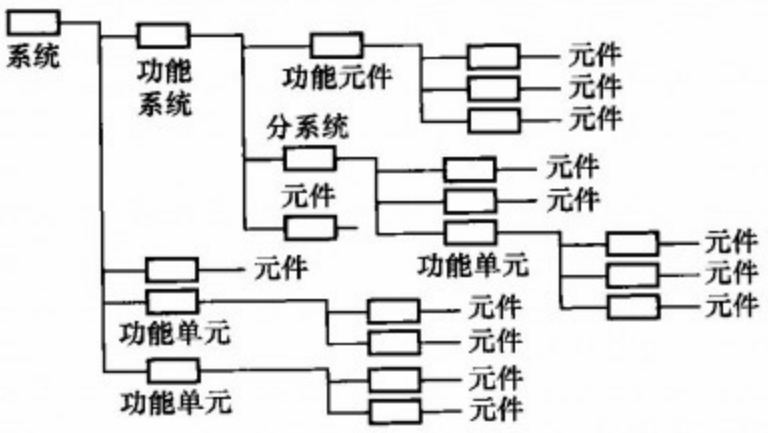
树状结构的构建过程就是项目的划分过程。划分过程的步数是任意的，但为使用方便，一般可按照功能原则或者按照位置原则划分结构，在不违反划分原则的条件下步数应最少。

1．按功能原则划分结构

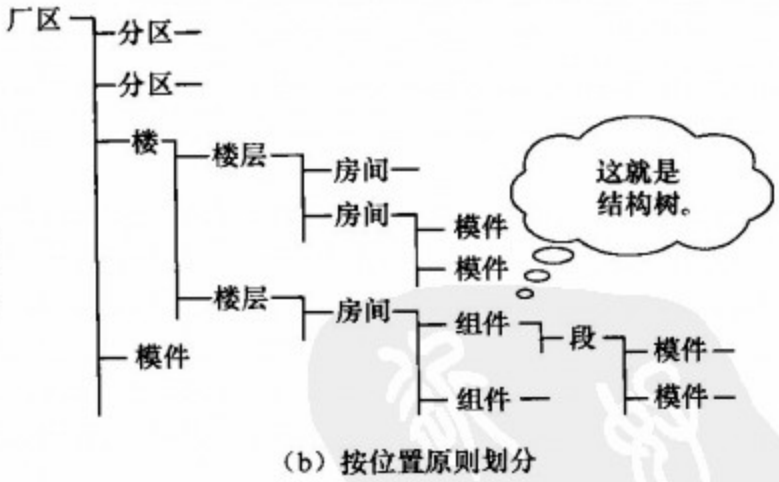
按项目之间的功能关系划分项目，一个系统可划分为功能系统、功能分系统、功能单元、器件、元件等。对于软件项目（如计算机程序、程序模块、程序单元），应按与硬件项目相同的方法处理。软件项目一般按功能原则划分结构，如图 1-16（a）所示。

2．按位置原则划分

按位置原则划分项目，就是按项目之间的位置关系划分项目。例如，一个厂的系统可划分为厂区、分区、楼、楼层、房间、组件、段和模件等，如图 1-16（b）所示。



（a）按功能原则划分



（b）按位置原则划分

图 1-16　项目代号的划分



想一想　为什么要划分项目代号？

1.4.2 项目代号的组成
——四个前缀代号段，代号项目能判断

项目代号由高层代号、位置代号、种类代号和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。

项目代号可以理解为一个搜寻项目的路径。对于复杂的电气系统，项目代号可能有很多，若要用最短的时间寻找某一个具体的项目，通过项目代号去查找是最佳捷径。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1-10。

表1-10　　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	=	第三段	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、成套配电装置、设备的划分方法不同，某些部分对其下一级项目来说就是高层。例如，电力系统相对于其下所属的变电所来说是高层代号，但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。

高层代号的前缀符号“=”是一个等号，它后面的字符代码由字母和数字组合而成，如“=D2”。高层代号的字母代码可以按习惯自行确定，但设计人员应在电气图的施工图设计阶段对自行确定的字母代码列表加以说明，作为设计说明中的一部分内容提供给施工单位和建设单位，以便于读图。高层代号可以由两组或多组代码复合而成，复合时要将较高层次的高层代号写在前面。

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。

位置代号的前缀符号“+”是一个加号，它后面的字符代码可以是字母或数字，或者是字母与数字的组合。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是什么种类的一种代号，是项目代号的核心部分。

标注种类代号时，只考虑项目的种类属性，而与项目的功能无关。种类代号的前缀符号“-”是一个减号，其后的字符代码由专门的国家标准规定。例如，传感器等检测元件的种类代号为 B，电容器和蓄电池的种类代号为 C，灯及激光器等的种类代号为 E，熔断器的种类代号为 F，干电池和发电机的种类代号为 G，继电器、接触器和电磁阀的种类代号为 K，电动机的种类代号为 M，信号灯显示仪表等的种类代号为 P，断路器、隔离开关、电力接触器、晶闸管、电动机启动器的种类代号为 Q，电阻器、电感器和二极管等的种类代号为 R，按钮、控制开关等的种类代号为 S，变压器、变换器、变频器、整流器等的种类代号为 T，绝缘子的种类代号为 U，滤波器的种类代号为 V，汇流排、电缆、导线、光纤等的种类代号为 W，端子排、连接器、插头等的种类代号为 X。有时也可采用数字作为其代号，数字代号的意义可以自行定义，但必须配有专门的说明。

种类代号通常有以下 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 个继电器。种类代号中的字母采用文字符号中的基本文字符号，一般是单字母，最多为双字母。

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，以利于识读。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。数字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 等，继电器为-21、-22、-23 等。

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，由使用者自行确定，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。

种类代号应用示例如图 1-17 所示。

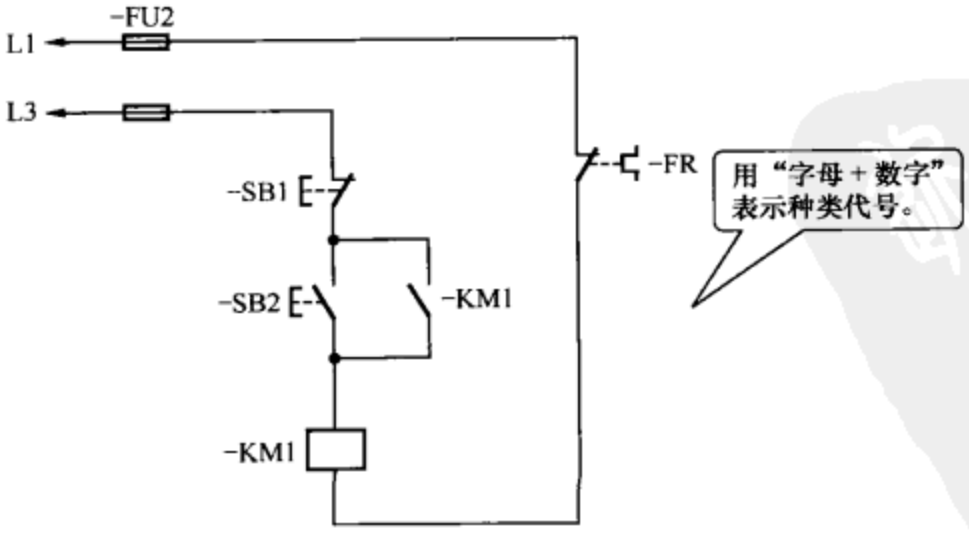


图 1-17　种类代号应用示例

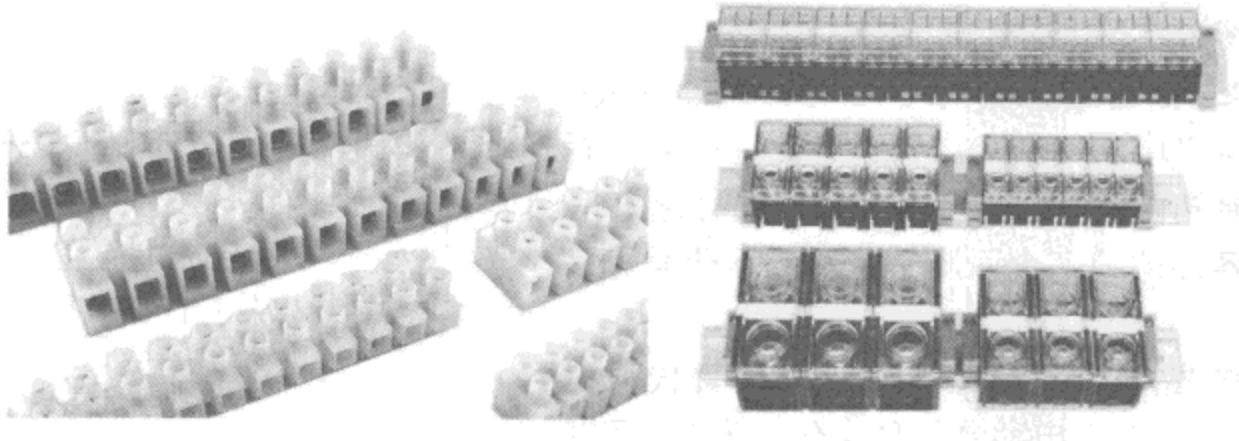
4. 端子代号

端子代号是指项目（如成套柜、屏）内外电路进行电气连接的接线端子的代号。

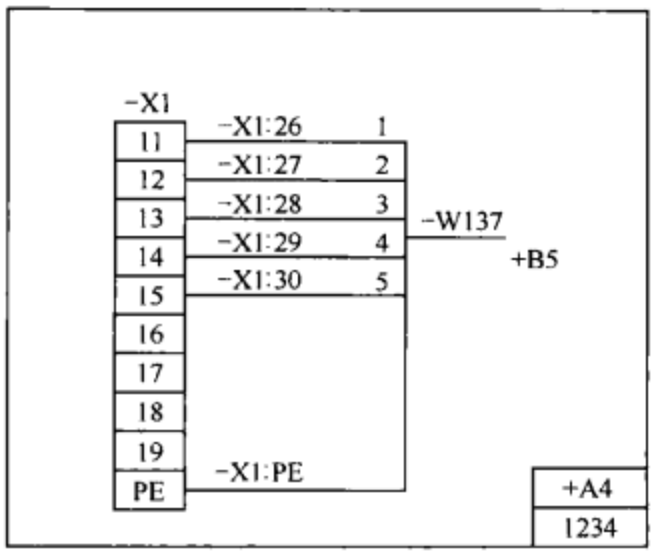
项目代号的最后一项就是端子代号。端子代号的前缀“：”是一个冒号，冒号后面一般为用数字表示的端子序号，也可为字母与数字的组合。电气图中端子代号的字母必须大写。

电器接线端子与特定导线（包括绝缘导线）相连接时，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，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。

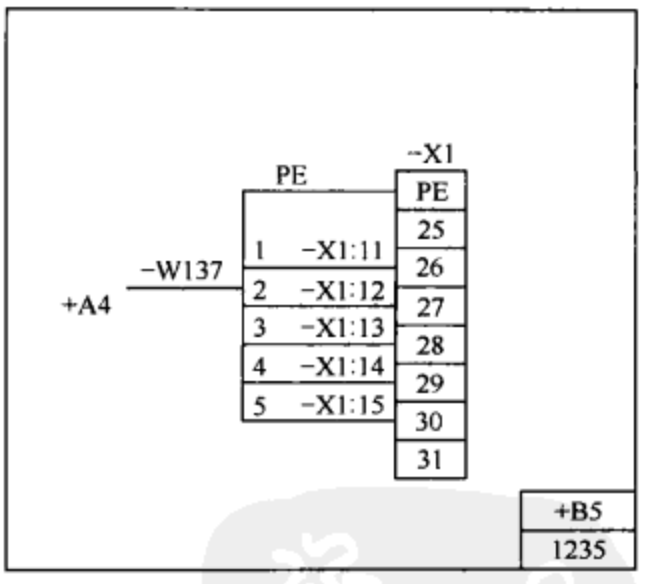
端子代号可标注在端子附近，对于不画小圆的端子则将端子代号标注在符号引线附近，标注方向以看图方向为准。在画有围框的功能单元或结构单元中，端子代号必须标注在围框内。图 1-18 所示为端子代号标注示例，电缆-W137 的相应芯线接到远端+B5-X1 的端子 26～30 及 PE 上。



（a）接线端子排实物图



（b）接线图一



（c）接线图二

图 1-18　端子代号标注示例

1.4.3 正确使用项目代号

——项目代号规定多，勤加练习把关过

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。例如，图 1-18（a）中各端子的代号为“-X1:26”、“-X1:27”……

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。

在采用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。在采用分开表示法的图中，项目代号应在项目每一部分旁都标注出来。

在不会引起误解的前提下，项目代号采用单一代号段标注时，端子代号的前缀“：”规定不标出来。其他代号段单独作为项目代号标注时，其前缀既可标出来也可省略不标。

看图实践

例 1-1 如图 1-19 所示，P1 系统的项目装在 101 室内，室内有 A、B、C、D 四个分机柜，每一个机柜又由若干个控制箱组成。设在 A 机柜的第五个控制箱内有一个电力电容器，编号为 16，试写出该电容器的第二个引脚的完整项目代号和简化项目代号。

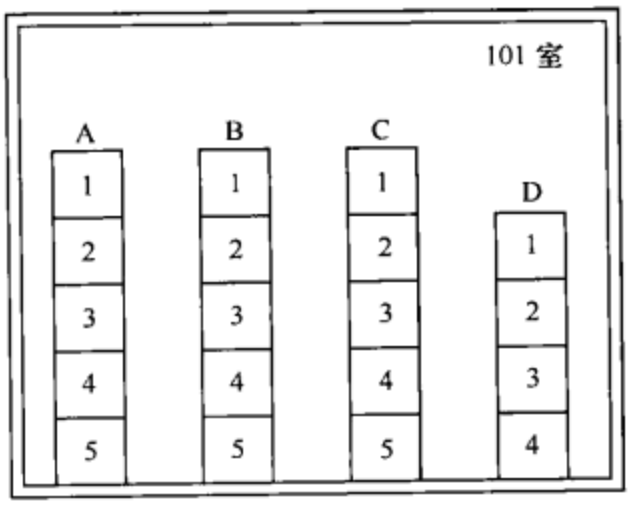


图 1-19 项目代号识图示例

该系统高层代号段为“=P1”，位置代号段为“+101+A+5”，电力电容器的种类代码为 C，因此种类代号为“-C16”，端子代号为“：2”。所以，该电容器的第二个引脚的完整项目代号为“=P1+101+A+5-16：2”。位置代号可以简化为“+101A5”，如果采用组合代码“=P1+101”集中表示 101 室的项目，则电容器的第二个引脚的项目代号可以简化为“+A5-C16：2”。若某张图纸专门用来表示 101 室 A 机柜第五个控制箱，且该图纸上集中表示了项目代号“=P1+101A5”，则该电容器的第二个引脚的项目代号可以简化为“-C16：2”，或直接在图纸上在电容器图形符号的上方（或左边）用“-C16”标注其项目代号，在电容器的两个引脚上直接用 1、2 标出这两个引脚的编号。

思路点拨

项目代号的标注

在电气图中进行标注时，有时并不需要将项目代号中的 4 个代号段全部标注出来。通常可针对项目，按分层说明、适当组合、符合规范、就近标注、有利看图的原则，有目的地进行标注，也就是可以就项目本身的情况标注单一的代号段或几个代号段的组合。对于经常使用而又较为简单的图，可以只采用某一个代号段。

在大部分电路图中，通过上述的组合，通常只剩下种类代号段作为项目代号。一般都在

项目的图形符号或图框边就近标注，但在接线图中要注意尽量避免标注在有端子的连接线或引线的一边，以避免读图时误将种类代号段与端子代号组合在一起。如果没有端子的连接线或引线的限制，则项目代号通常标注在所表示的项目的上方或左边。在一些高层次的电气图中，种类代号可与高层代号组合，或再组合进位置代号（包括设计后期添加的），标注在项目的图形符号或单元的图框近旁。

猜 一 猜

有个物品左看像电灯，右看也像电灯，和电灯没什么两样，但它就是不会亮，这是什么物品？

参考答案：坏了的电灯。



1.5 回路标号——连接关系助记符

多个回路电线多，便于识别就标号。
回路标号有方法，功能分组确定号。
电位相等号相同，电位不等不同号。
一次回路三位数，二次回路奇偶号。

当电气图比较大时，一般将一个电气系统分成多个回路，分别在不同图纸上进行绘制。为了便于安装接线和维护检修时读图，需要对每个回路及其元件间的连接线进行标号，以表示各个回路之间的连接关系。电路图中用来标记各种回路种类、特征的文字和数字标号统称为回路标号。在机床电气控制电路图中，回路标号实际上是导线的线号。

编制回路标号的主要原则如下。

① 等电位原则。电路中连接在一点上的所有导线（不论其根数多少）具有同一电位而标注相同的回路标号。当回路经过开关或继电器触点时，虽然在接通时为等电位，但断开时开关或触点两侧的电位不等，所以应给予不同的标号。

② 功能分组原则。回路标号一般是按功能分组，并为每组分配一定范围的数字，然后对其进行标号。在一般情况下，标号数字由 3 位或 3 位以下的数字组成，当需要标明回路的相别和其他特征时，可在数字前加注必要的文字符号。

主电路和交流一次回路的标号一般采用3位数字，具体方法见表1-11。

表1-11　　主电路和交流一次回路的标注方法

回　路	个位数	十位数	百位数	说　明
主电路（即直流一次回路）	表示极性：1，正极；2，负极	电源正极回路，1、11、21、31等；电源负极回路，2、12、22、32等	区分不同供电电源回路。A电源的正极回路按顺序标注为101、111、121等，电源负极的回路按顺序标注为102、112、122等；B电源的正极回路按顺序标注为201、211、221等，电源负极的回路按顺序标注为202、212、222等	若电路中共用同一个电源，则可以省略百位数
交流一次回路	个位数表示相别，U相为1，V相为2，W相为3	根据十位数的顺序区分不同的线段，如U相回路用1、11、21、31等，V相回路用2、12、22、32等，W相回路用3、13、23、33等	对于由不同电源供电的回路，可按百位数字的顺序进行区分	—

二次回路的标注方法见表1-12。

表1-12　　二次回路的标注方法

回　路	标注方法
直流二次回路	从电源正极开始，按奇数顺序1、3、5……进行标注，直至最后一个主要电压降元件（即承受回路电压的主要元件），然后从电源负极开始，以偶数顺序2、4、6……进行标注，直到与奇数号相遇
交流二次回路	从电源的一侧开始，以奇数顺序标到最后一个主要电压降元件，然后从电源的另一侧开始，以偶数顺序标到与奇数号相遇



想一想　在识图时，回路标号有没有规律可循？



例1-2　图1-20所示为某交流二次回路的标号，说明其含义。

L1是三相交流电源第一相的相线，N为三相交流电源第一相的中性线，Q1和Q2是电力系统配电用的断路器线圈。第一个电源供电的第一个回路从L1开始标注，经101、103到达电压降的主要元件Q1。然后从N开始，经102到104为止。第一个电源供电的第二个回路从L1开始标注，经111、113到达电压降的主要元件Q2，然后从N开始，经112到114为止。

例1-3　图1-21所示为某直流二次回路的标号，说明其含义。

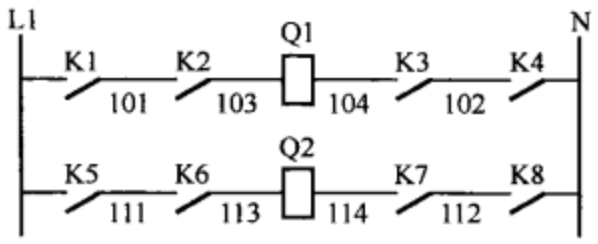


图 1-20 某交流二次回路的标号

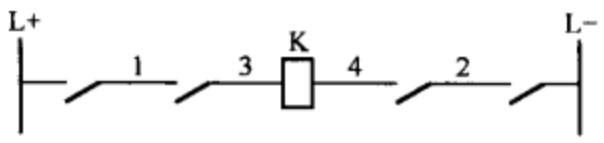


图 1-21 某直流二次回路的标号

在该直流电路中，L+是电源正极，经过第一个触点后标号为 1，经过第二个触点后标号为 3。图中的主要电压降元件为接触器线圈 K。该线圈的右边是电源回路，因此标号从电源的负极开始，用偶数进行标注。

电力安全用语猜一猜

① 巧妇当家，人民作主（劳动保护二字）。

② 不按曲谱弹琴（词语）。

③ 若有先主在，怎会失街亭（安全管理术语）。

④ 洗吹烫染各种发式（安全防治四字术语）。

⑤ 文言文章声声入耳，双木成字莫猜是林（现代安全管理三字术语）。

⑥ 瞎子驱动马达响（事故行为）。

⑦ 缘何丝丝难入扣（设备事故）。

参考答案：①安全；②违章操作；③有备无患；④综合治理；⑤故障树；⑥盲目操作；⑦螺丝松动。



第2章

电工识图基础

——练好基本功

电气图的绘制与识读有着紧密联系，若不了解各种电气图的绘制方法及相关规则，就不能真正读懂电气图。电气图的种类很多，本章仅介绍相对比较简单的制图与识图的基本知识。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

① 理解电气图的组成及各组成部分的作用。
② 理解电气图的分类方法。
③ 掌握绘制电路图的一般方法。
④ 了解概略图的基本形式。
⑤ 理解接线图的3种类型。
⑥ 掌握识图分析的一般步骤。

能力目标

① 正确识读并分析比较简单的电路图、概略图和接线图。
② 能对照电路实物绘制比较简单的电路图。

2.1 电气图的基本组成——电路说明和标题

图纸组成三部分，电路说明和标题。
根据需要绘详图，电路为先是主体。
技术说明应详细，言简意赅供学习。
标题栏中要签字，各负其责不扯皮。

电气图的主要作用是用来阐述电气系统的工作原理，描述产品的构成和功能，是提供装接和使用信息的重要工具和手段。电气图一般由电路、技术说明和标题栏 3 部分组成。这 3 部分在电气图中的作用是不一样的。

2.1.1 电路
——电源负载与导线，控制元件也关键

为实现电气设备的预定功能，用导线将电源、负载以及有关的控制元件按一定规则连接起来构成的闭合回路叫做电路。把这种电路画在图纸上，就成为了电路图。

电路的结构形式是多种多样的，常见的电路有电力系统电路和信号传递与处理电路（如电视机、影碟机的电路）两大类，本书主要介绍电力系统的电路。

电路是电路图的主体部分，电路图是用来反映电路构成的。下面以家庭电路和电力工程电路为例进行说明。

1．家庭电路

家庭电路主要由低压供电线、电能表、闸刀开关、保险盒、开关、用电器、插座等部分组成。图 2-1（a）为某家庭电路组成示意图，图 2-1（b）为其原理图。

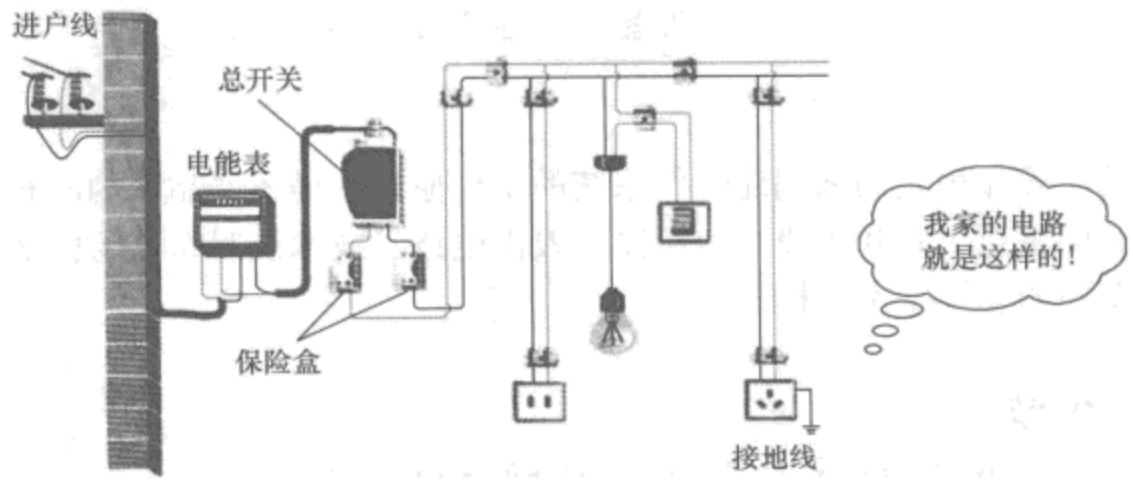
家庭电路中各主要部分的作用见表 2-1。

表 2-1　　家庭电路中各主要部分的作用

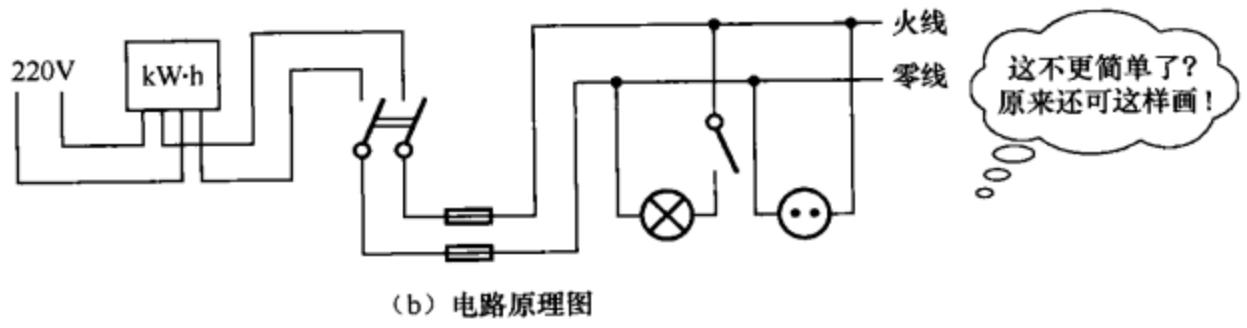
名　称	主 要 作 用
进户供电线	由户外低压输电线引电进来。供电线分为相线和零线，正常情况下相线和零线间的电压是 220V，相线和大地之间的电压也是 220V，零线和大地之间的电压为零
电能表	用来测量用户所消耗的电能。电能表装在家庭电路的干路中，它有 4 个接线柱，相线从“1”接线柱进，“2”接线柱出；零线从“3”接线柱进，“4”接线柱出，即“1”、“3”进，“2”、“4”出
总开关	用来控制室内所有电路的通断，便于检修
保险丝	对室内所有电路起保护作用，有熔丝和空气开关两种。家庭电路的保险盒和闸刀上都装有保险丝，当电路中的电流过大时它能自动切断电路，起到保护作用

续表

名　称	主 要 作 用
插座	插座给可移动用电器供电，应并联在电路中。家庭电路中的插座有两种：两孔插座，一孔接火线，一孔接零线；三孔插座，一孔接火线，一孔接零线，另一孔接地
用电器	用电器工作时将电能转化成其他形式的能



（a）组成示意图



（b）电路原理图

图 2-1　家庭电路的组成

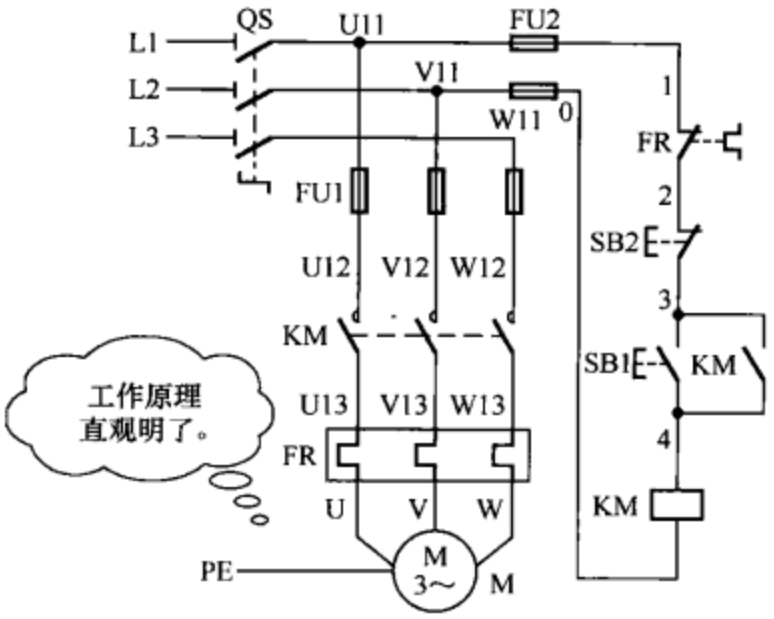
2. 电力工程电路

电力工程电路可分为两部分：主电路和辅助电路。

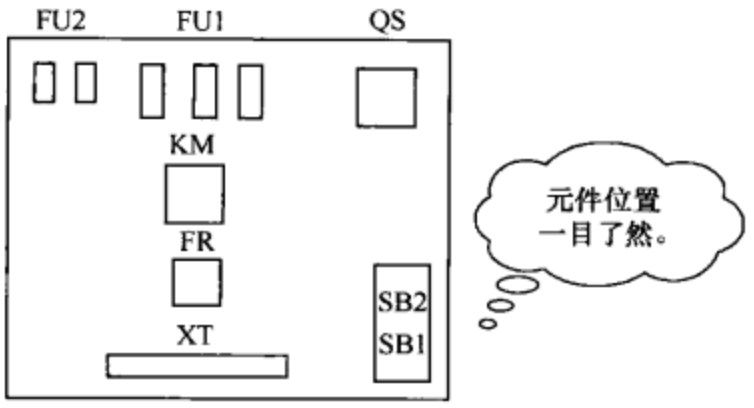
主电路也称一次回路，是电源向负载输送电能的电路，包括电源设备、控制电路和负载等（如电动机、电弧炉等），它是受辅助电路控制的电路。主电路在电路图中用粗实线表示，一般位于辅助电路的左侧或上部。

辅助电路也称二次回路，是对主电路进行控制、保护、监测、批示的电路，包括可为主电路发出动作指令信号的控制电器、仪表、指示灯等。辅助电路用细实线表示，位于主电路的右侧或者下部。

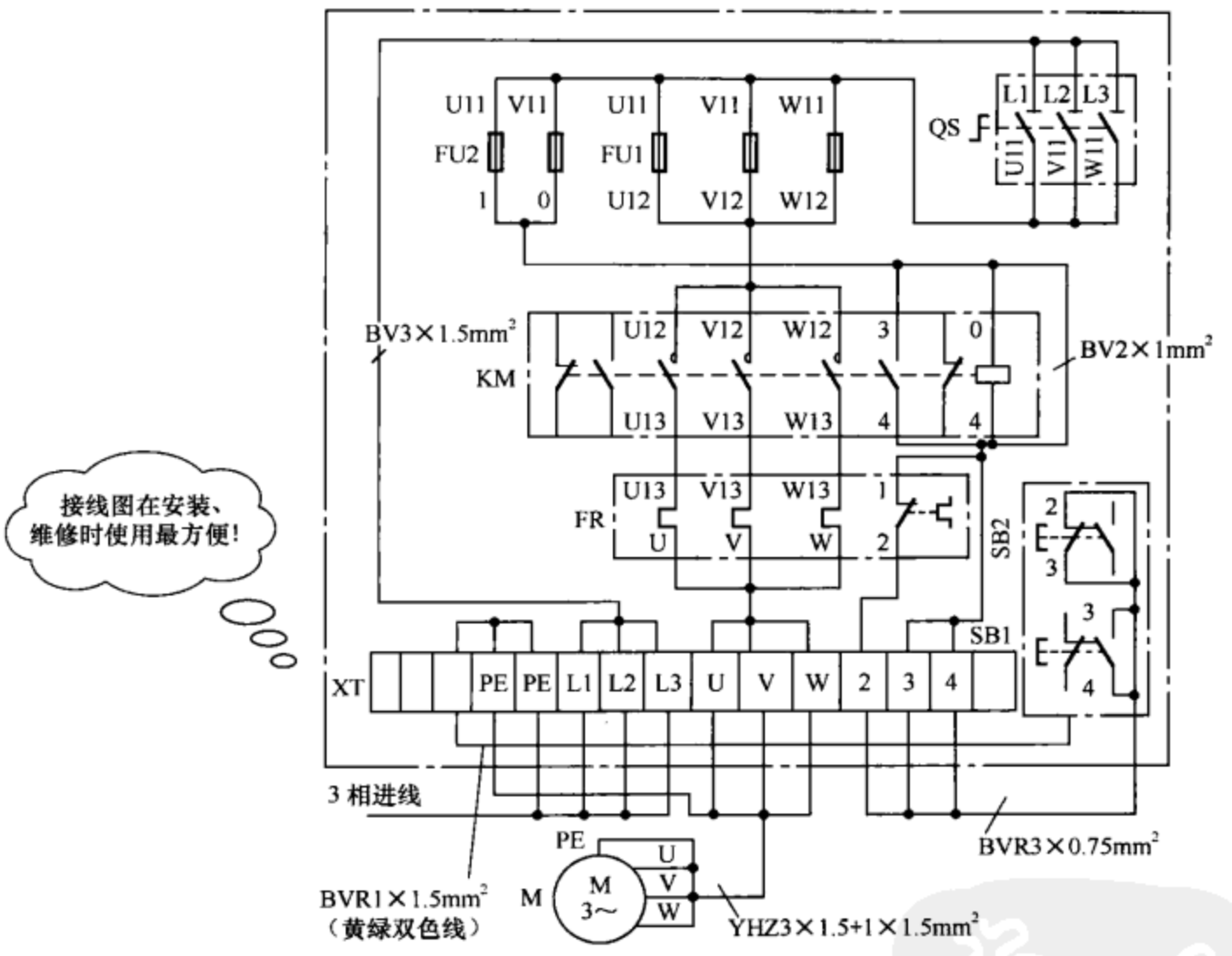
由于电气元件的外形和结构比较复杂，在绘图时必须采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示电气元件的不同种类、规格以及安装方式。根据电气图的不同用途，可将其绘制成不同形式的图。有的只绘制电路图，以便了解电路的工作过程及特点。对于比较复杂的电路，需要绘制安装接线图。必要时，还要绘制分开表示的接线图（俗称展开接线图）、平面布置图等。图 2-2 所示为具有过载保护的电动机自锁正转控制电路，由于该电路比较复杂，所以绘制了控制电路原理图、安装接线图和元件平面布置图。



（a）控制电路原理图



（c）元件平面布置图



（b）安装接线图

图 2-2 具有过载保护的电动机自锁正转控制电路



想一想

电路中的元件和电路图中的元件符号是一一对应的吗?

2.1.2 技术说明
——图纸容量终有限，附加说明能实现

设计人员在电气图中需要清楚地向施工人员表达的意图很多，通常把电路图中的文字说明和元件明细表总称为技术说明。

文字说明用于注明电路的某些要点及安装要求等，通常位于电路图的右上方。如果需要说明的内容比较多，也可以单独用附页加以说明。

为便于安装，在比较复杂的电路图中一般还有元件明细表，它用于列出电路中元器件的名称、符号、规格和数量。元件明细表一般位于标题栏的上方，表中的序号按照自下而上的顺序编排。

某电气图技术说明如下。

① 接触器接线端子采用制造厂在产品上所做的标记。

② 组合开关接线端子采用制造厂在产品上所做的标记。

③ 按钮、端子排可根据实际使用的元器件进行接线。

④ 配电板可用木板自制或购买成品器材。

⑤ 表 2-2 所列元件名称、规格、数量供安装时参考，允许根据实际情况做必要的变动。

表 2-2　　元件明细表示例

代　号	名　称	型　号	规　格	数　量
M	三相异步电动机	Y-112M-4	4kW、380V，△接法	1
QS	组合开关	HZ10-25-3	三极，额定电流为 25A	1
FU1	螺旋式熔断器	RL1-60/25	500V、60A 配熔体额定电流为 25A	3
FU2	螺旋式熔断器	RL1-15/2	500V、15A 配熔体额定电流为 2A	2
KM	交流接触器	CJ10-20	20A，线圈电压为 380V	1
SB	按钮	LA10-3H	保护式，按钮数为 3	1
T	端子排	JX2-1015	10A、15 节	1
	配电板		650mm × 500mm × 50mm	1



想一想　电气图的技术说明和识图分析说明是不是一回事？

2.1.3 标题栏
——电气制图有干系，责任签字莫忘记

标题栏中的项目有“设计单位名称”、“工程名称”、“图纸名称”、“设计人”、“审核人”

等，均应填写。

0～4 号图纸无论采用横式或竖式图幅，工程设计标题栏均应设置在图纸的右下方，紧靠图框线，如图 2-3 所示。

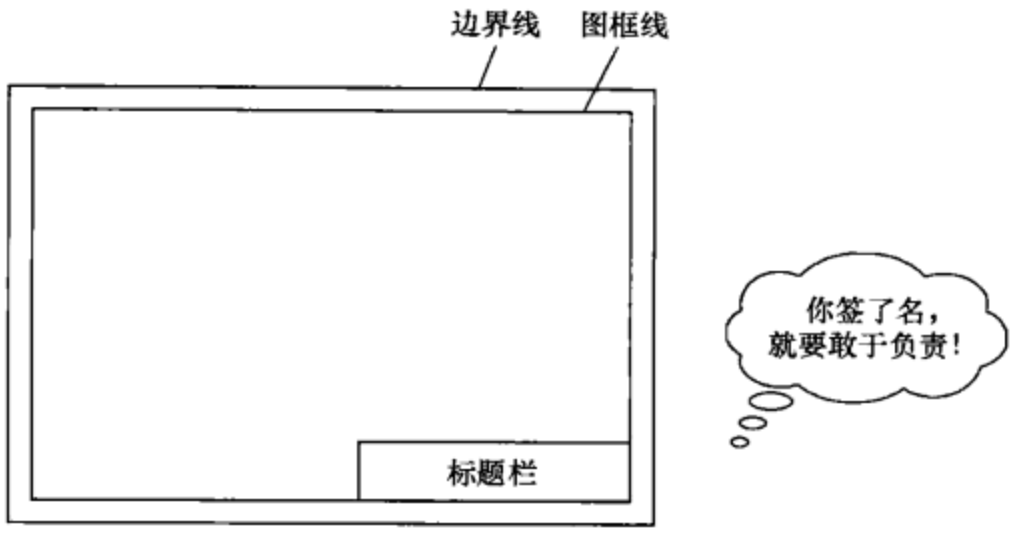


图 2-3 标题栏的位置

标题栏是电路图不可或缺的组成部分，是非常重要的技术档案。栏目中的签名者必须认真审查图中的技术内容，一旦签字就得各负其责。

某电气图标题栏见图 2-4。

××设计院				工程名称		
审核		总工程师		电动机控制电路图	专业	
校核		总专业师			单位	
制图		项目负责人			日期	
设计		专业负责人			图号	

图 2-4 标题栏示例

你　猜

某电工第一次坐火车，从车厢厕所出来洗手，不见洗手池的水龙头开关。忙请教旁边的人，那人答道："你猜。"该电工心想这有什么好猜的，没时间跟你逗，于是又请教一次。那人又说："你猜！"有毛病吧？惹不起躲得起，我走吧。那人拦在面前，说："叫你猜怎么不猜呀？""这怎么猜呀？"那人依旧拦在面前，指指洗手池下面，说："用脚猜（踩）！"



2.2 常用电气图——相互补充好施工

基本类型十九种，电工统称电气图。
究竟采用哪几种，根据需要来定图。
常用图纸有几类，认真学习多识读。
单元电路用框图，连接关系原理图。
系统控制功能图，外部接线端子图。
如何接线接线图，具体位置安装图。
空间位置装配图，总体布局平面图。
型号规格数量等，对应列表最好读。
大型工程图很多，相互配合细心读。
图纸细节领会透，确保安全最幸福。

电气图的种类很多，基本种类有 19 种。落实到具体的一台电气装置上，究竟需要多少电气图，一是看实际需要，二是看该装置的复杂程度。一般来说，相对复杂的设备需要较多种类的电气图才能满足工程需要，简单设备可能用一两种图纸就可满足需要。

2.2.1 电气图的分类
——基本类型十九种，表达形式各不同

按照国家标准 GB/T 6988.1～6 的规定，电气图大致可分为 19 种，见表 2-3。图的概念是广泛的，它是采用图示法的各种表达形式的总称。不同电气图之间的主要区别在于其表示方法或表达形式不同。

表 2-3　　电气图的分类

名　称	定　义
概略图（框图）	用符号或带注释的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
功能图	表示理论的或理想的电路而不涉及实现方法的一种简图，其用途是提供绘制电路图和其他有关简图的依据
逻辑图	主要用二进制逻辑单元图形符号绘制的一种简图。只表示功能而不涉及实现方法的逻辑图称为纯逻辑图
功能表图	表示控制系统（如一个供电过程或一个生产过程的控制系统）的作用和状态的一种表图
电路图	用图形符号并按工作顺序排列，详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系，而不考虑其实际位置的一种简图。其作用是便于技术人员详细了解电路、设备或成套装置的作用原理，分析和计算电路特性
等效电路图	表示理论的或理想的元件及其连接关系的一种功能图，供分析和计算电路特性和状态用
端子功能图	表示功能单元的所有外接端子，并用功能图、表图或文字表示其内部功能的一种简图

续表

名　称	定　义
程序图	详细表示程序单元和程序片段及其互联关系的一种简图。其要素和模块的布置应能清楚地表示出其相互关系，目的是便于技术人员对程序运行的理解
时序图	按照比例绘出时间轴的顺序表图
设备元件表	根据成套装置、设备或电路中各组成部分和相应数据列成的表格，其用途是表示各组成部分的名称、型号、规格和数量等
接线图或接线表	表示成套装置、设备或电路的连接关系，用以进行接线和检查的一种简图或表格
单元接线图或单元接线表	表示成套装置或设备中一个结构单元内的连接关系的一种接线图或接线表
互连接线图或互连接线表	表示成套装置或设备不同单元之间连接关系的一种接线图或接线表
端子接线图或端子接线表	表示成套装置或设备的端子以及接在端子上的外部接线（必要时包括内部接线）的一种接线图或接线表
数据单	对特定项目给出详细信息的资料
位置简图或位置图	表示成套装置、设备或电路中各个项目的位置的一种简图或图
总平面图	表示建筑工程服务网络、道路工程相对于测定点的位置、地表资料、进入方式和工区总体布局的平面图
安装图	表示各个项目具体安装位置的图
装配图	按照比例表示一组装配部件的空间位置和形状的图

表 2-3 是对电气图的基本分类，并不是每一种电气装置或设备都必须具备上述图表。下面主要介绍电工在日常工作中比较常用的电路图、概略图（框图）、接线图和逻辑图这 4 种基本电气图和其他辅助资料。

思路点拨

简图不等于简单的图

简图是一个技术术语，不可理解为就是简单的图。

简图是电气图的主要表达形式，它是用图形符号、带注释的围框或简化外形表示系统或设备中各组成部分之间相互关系及连接关系的一种图。在不致引起混淆的情况下，简图也可简称为图。电气图中的大多数图种，如系统图、电路图、逻辑图和接线图等均属于简图。

2.2.2 电路图
——图形符号加文字，上下左右排整齐

1. 电路图的基本特征和作用

电路图也称为电气原理图或原理图，它是采用图形符号和文字符号并按照工作顺序（从

上到下、从左到右）排列，表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系，而不表明电气设备和电气元件的实际安装位置和接线方式的一种简图。

电路图可单独绘制，也可与接线图、功能图（表）等组合绘制。

电路图主要用于详细表示电路、设备或成套装置及其组成部分的工作原理，并为测试和寻找故障提供信息。电路图可用于分析和计算电路特性并为编制接线图提供依据。所以，电路图看起来比较直观，读图时对整个电路的构成容易形成一个清晰的整体印象。

2. 电路图的主要内容及基本表达形式

在电路图中至少应包含有表示电路元件或功能元件的图形符号、元件或功能件之间的连接线、项目代号和端子代号、信号电平约定、位置标记以及了解功能件必需的补充信息等内容。

为了能够清楚地表述上述内容，电路图的基本表示方法有集中式表示法和分开式表示法两种。

（1）采用集中式表示法的电路图

图 2-5 为两台电动机互锁电路原理图，它采用集中式表示法，主要用于说明电动机 M1 和 M2 的供电、控制及互相连锁关系、电路构成和工作原理。

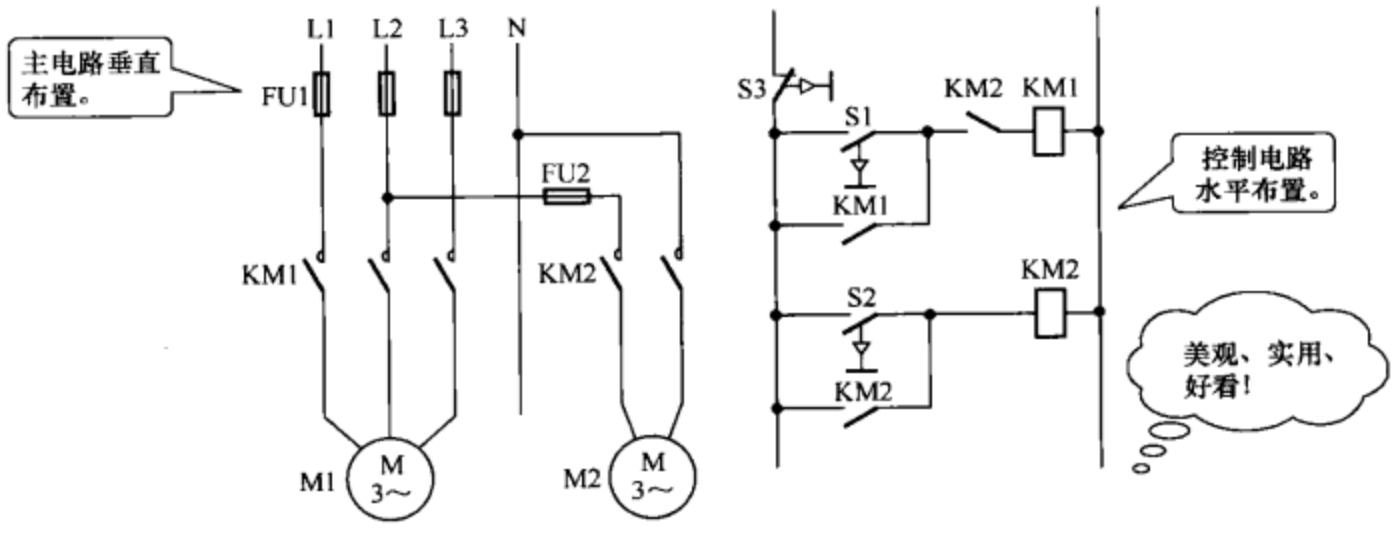


图 2-5　采用集中式表示法的电路图示例

该电路按照供电电源和功能分为两部分：主电路按电流流向绘制，表示电流经过熔断器 FU1 和 FU2、接触器 KM1 和 KM2 至电动机 M1 和 M2 的供电关系；辅助电路按动作顺序，即功能关系绘制。

主电路采用垂直布置方式，辅助电路采用水平布置方式。这种布局方法主要是为了说明装置的工作原理，而与元器件的实际位置无关。各元器件均用图形符号表示，与它们的外形结构无关。图中详细标出了各元件及有关的技术参数（图中另外用附表给出），还表示了各元件的连接关系，但是它不能代替接线图。

（2）采用分开式表示法的电路图

图 2-6 为采用分开式表示法的电路图。分开式表示法表示的元件的各组成部分在功能上也是相关的，元件图形符号的各部分分散在简图中，有功能联系的各部分之间用项目代号加以标记。

3. 电路图的绘制方法

（1）绘制电路图的一般方法

① 控制系统内的电气元件全部按照国家标准规定的图形符号和文字符号进行绘制和标注。

② 电路图一般按主电路和控制电路（辅助电路）两部分分别画出。主电路画在图的左边或上面，用粗线表示；控制电路（辅助电路）画在图的右边或下面，用细线表示。电路图中的线条要粗细分明，图面要整洁。

③ 整个电路与电网断开，各电器都按没有通电或不受外力作用时的正常状态画出。

④ 在电路图中，一般按动作顺序从上到下、从左到右依次排开各个元件。有直接电联系的导线交叉连接点用小圆圈或黑圆点表示。为了作图美观，应事先规划好各种元件符号的位置，让各符号在整幅图中布置均匀。

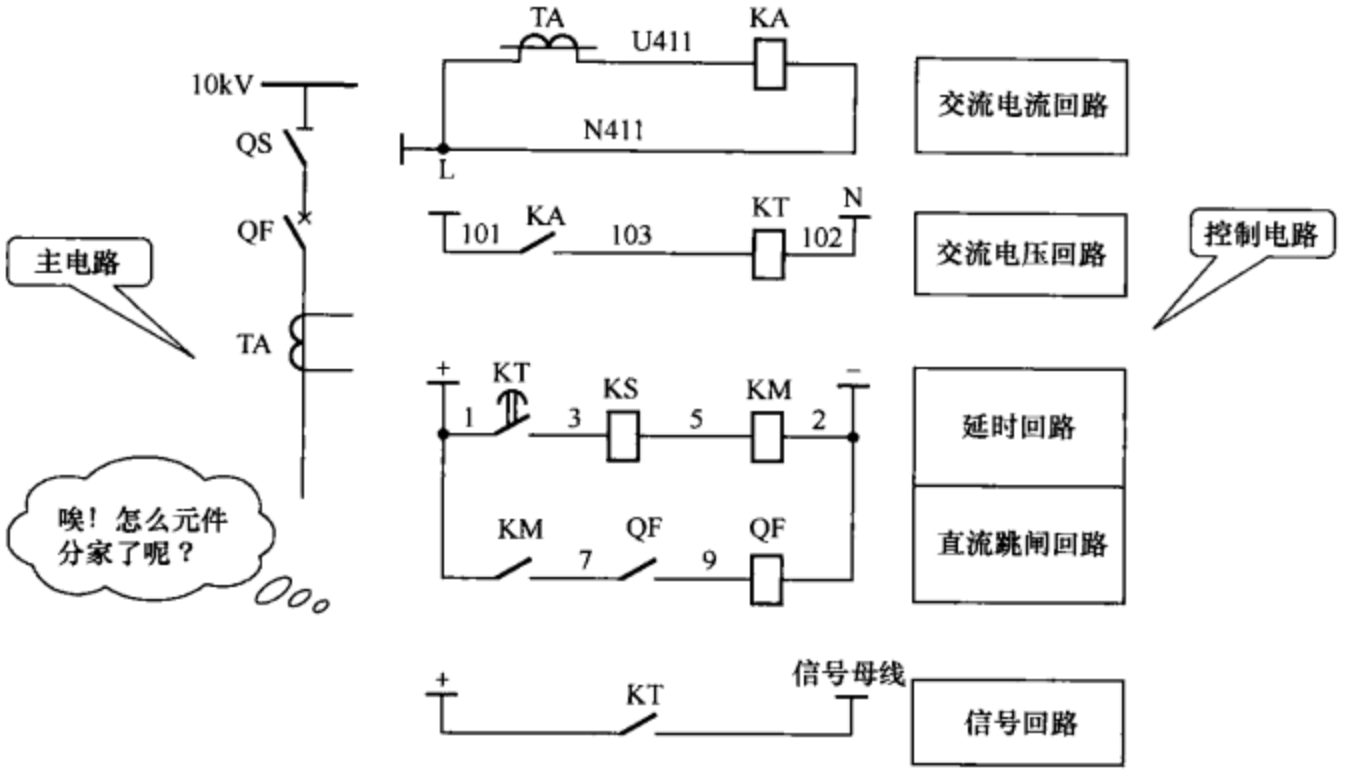


图 2-6 采用分开式表示法的电路图示例

⑤ 对于属于同一电器的不同部件，按其在电路中的作用而在不同的电路部位上标以相同的文字符号并用数字加以区别。对于元器件的文字符号中标注的数字，应该根据它们在图中的排列位置，自上而下、从左到右进行编号。

（2）电源的画法

电路图中电源的表示方法如下。

① 用“+”、“−”“L”、“N”等符号表示。

② 用线条表示，如图 2-7（a）所示。

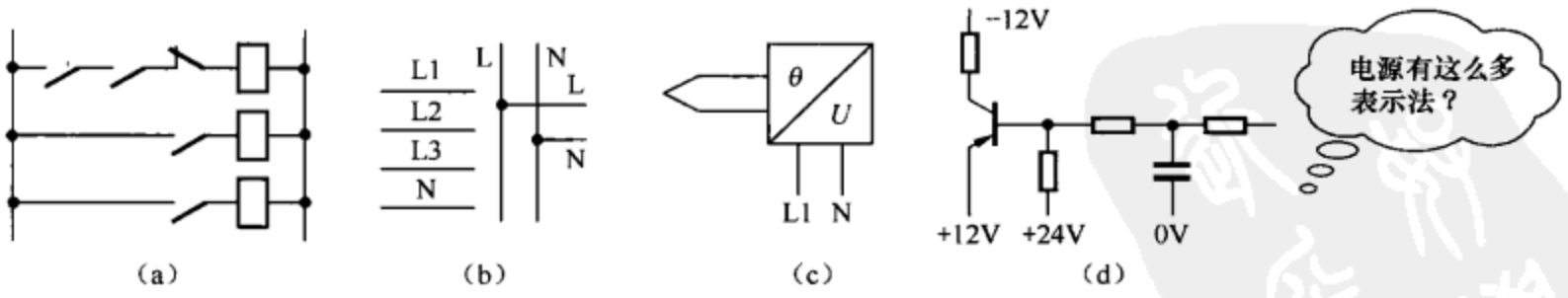


图 2-7 电路图中电源的表示法

③ 同时用线条和符号表示，如图 2-7（b）所示。

④ 所有的电源线可集中绘制在电路的上部或下部，多相电源按相序从上至下或从左至右排列，中性线绘制在相线的下方或右方。

⑤ 连接到方框符号的电源线一般与信号流向成直角绘制，如图 2-7（c）所示。

⑥ 对于公用的供电线（例如电源线等），可用电源的电压值来表示，如图 2-7（d）所示。

（3）触点的画法

电路图中的触点具有接通和断开电路的功能，尤其是有触点的电气系统，如继电器—接触器控制系统、配电操作系统等。

触点有两种：动合触点（常开触点）和动断触点（常闭触点）。

下面给出国家标准 GB/T 4278.7—2000《电气简图用图样符号》中部分常用开关、触点的标准图形符号（见表 2-4），供大家绘制电路图时选用。

表 2-4　　部分常用开关、触点的标准图形符号

符　号	说　明	符　号	说　明
	动合触点		位置开关的动断触点
	动断触点		具有动合触点且可以自动复位的拉拔开关
	当操作器件被吸合时延时闭合的动合触点		具有动合触点但不能自动复位的转换开关
	当操作器件被释放时延时断开的动合触点		可自动返回的动合触点
	当操作器件被吸合时延时断开的动断触点		不能自动返回的动合触点
	当操作器件被释放时延时闭合的动断触点		具有动合触点且可以自动复位的按钮开关
	当操作器件被吸合时延时闭合、释放时延时断开的动合触点		接近开关的动合触点
	位置开关的动合触点		接近时动作的接近开关的动断触点

在绘图时，有些触点的符号可以旋转 45° 的整数倍角度后使用，如动合触点旋转 90° 后可得到的符号为“—／—”。有时受到实际图幅的限制，为确保绘制的电路图不出现拥挤现象，表示延时的限定符号画在一般符号的左边，也可画在一般符号的右边，如图 2-8 所示。

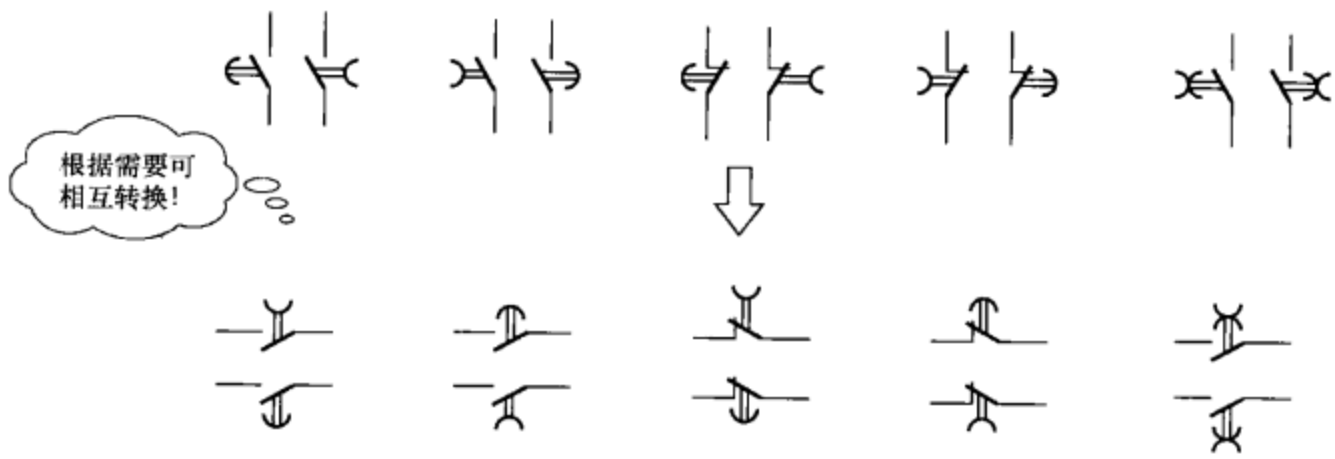


图 2-8 时间继电器触点的变形画法

练一练

图 2-9 中画出了 3 个电路图，试指出其中不符合画图规范要求的地方并改正过来。

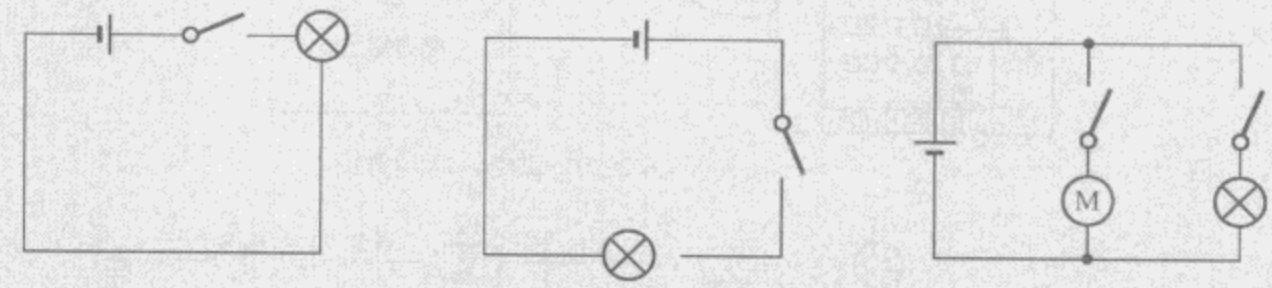


图 2-9 找出图中不规范的地方

2.2.3 概略图（框图）

——系统复杂莫慌张，电气单元框中装

概略图也称为系统图或框图，它是表示系统、装置、设备、电器、部件、软件中各项目之间主要关系和连接的相对简单的简图。

概略图的主要作用包括两个方面：一是作为教学、训练、操作和维修的基础文件，使人们对系统、装置、设备等有一个概括性的了解，从而依据故障现象分析故障产生原因，确定检修思路及检修方法；二是为进一步编制详细技术文件以及绘制电路图、逻辑图、接线图等提供依据。

概略图一般采用符号或带注释的方框来表示系统或分系统的基本组成、彼此之间的关系及其重要特征。概略图可分层次绘制，一般按绘图对象逐级分解来划分层次。较高层次的概略图可反映对象的概况，较低层次的概略图可将对象表达得较为详细。

要表达过程和信息的流向时，还可在框与框之间的连线上用箭头表示。根据国家标准，电信号流向用开口箭头表示，非电过程或信号的流向用实心箭头表示。

概略图的布局采用功能布局法，能清晰表达过程和信号的流向。为便于看图，控制信号的流向与过程流向应相互垂直。

概略图的基本形式有用一般符号绘制的概略图、框图和与非电流程统一绘制的概略图3种。

1. 用一般符号绘制的概略图

用一般符号绘制的概略图通常采用单线表示法绘制。图 2-10 是电力供电系统示意图，清

楚地表达了电力供电系统中发电、输电和配电的全过程。若分别用图形符号代表发电机（G）、变压器（T1、T2、T3）、线路（W1、W2）、负荷（P），并标注一定的文字符号，就可以把图2-10绘制成为图2-11所示的概略图。

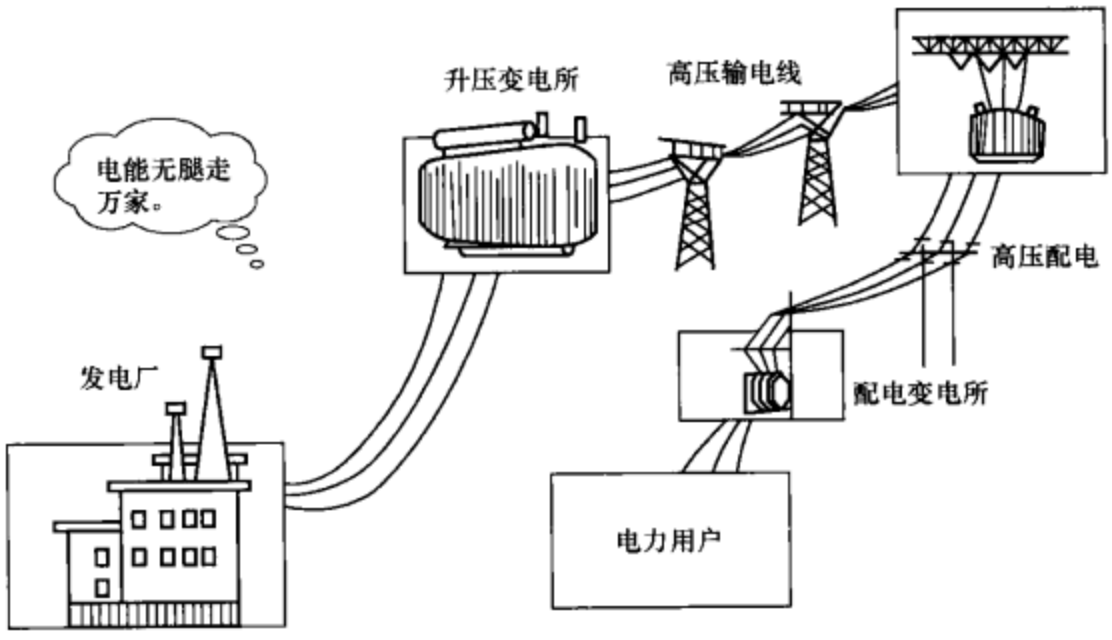


图2-10　供电系统示意图

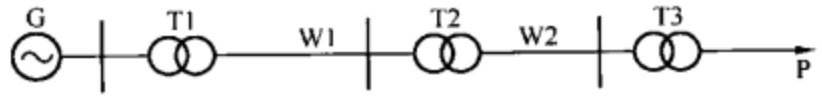


图2-11　供电系统概略图

2．框图

通常用框图来表示系统或分系统的组成。图2-12为根据图2-10绘制的电力供电系统框图。

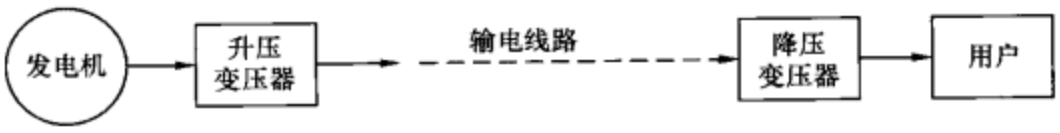


图2-12　电力供电系统框图

方框符号是用来表示元件、设备等的组合及其功能，既不给出元件、设备的细节，也不考虑所有连接的一种简单的图形符号。“框”是概略图中的主要内容，框中的内容可随图的表达层次不同而不同。较高层次的图一般只反映对象的概况，可用带说明其功能或组成文字的单元实线框表达。较低层次的图可将对象表达得较为详细一些，例如可用包含若干图形符号并附有简要文字说明的单元实线框表达，或者用能反映若干图形符号间连接关系的点划线框表达，必要时还可标注围框及围框内各图形符号的项目代号，若干具有相同组成部分的围框还可采用简化画法表示。

3．与非电流程统一绘制的概略图

在某些情况下与非电流程统一绘制的概略图能更清楚地表示系统的构成和特征。图2-13是某一水泵电动机供电和给水系统的概略图。它表示了电动机供电、水泵工作和控制3个部分间的连接关系。

以上介绍了概略图的3种基本形式，为了帮助读者进一步理解概略图和框图，有必要对这两个概念作一番比较。

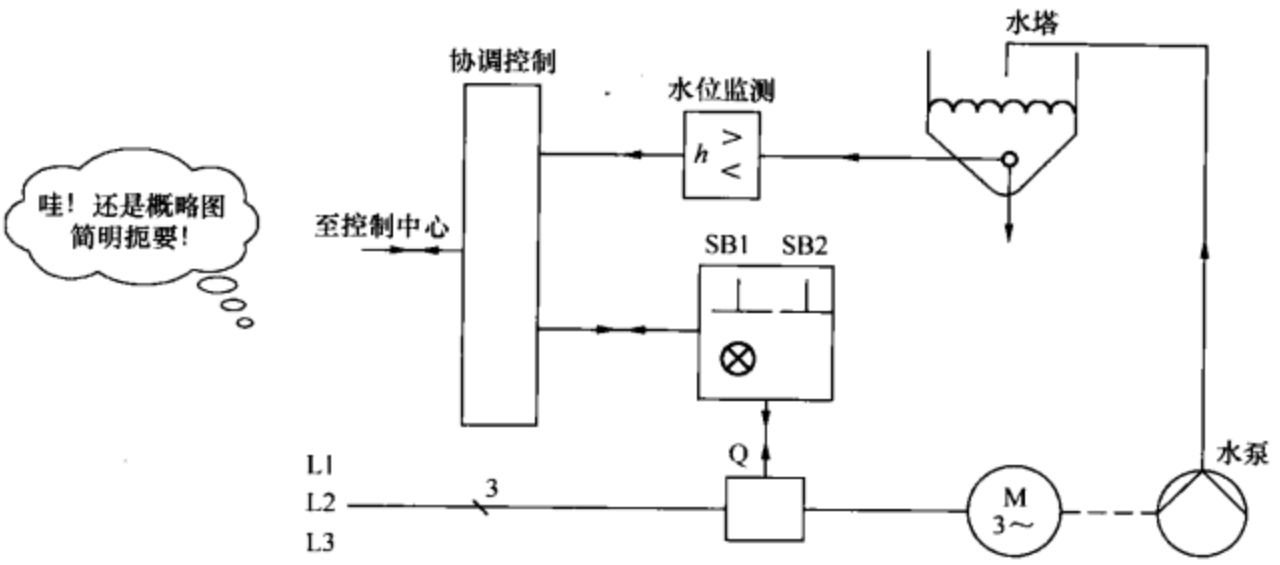
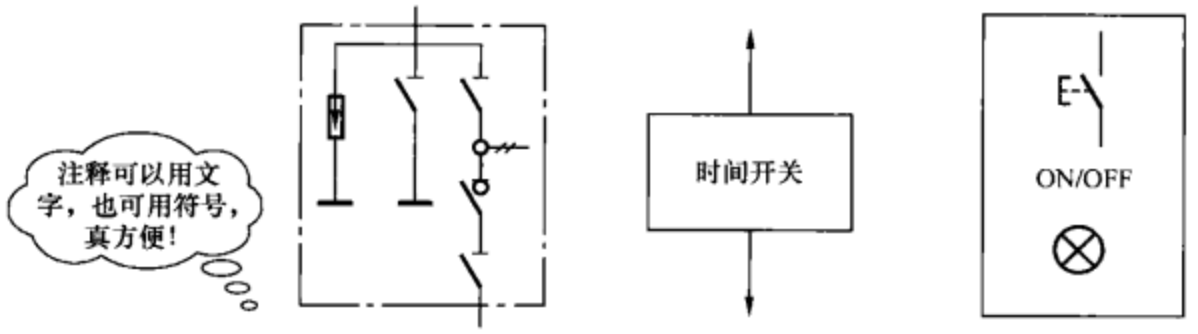


图 2-13 某水泵电动机供电和给水系统的概略图

概略图和框图所描述的内容是系统的基本组成和主要特征，而不是全部组成和全部特征。概略图与框图没有原则性的区别，两者都是用符号绘制的简图。但在实际应用中两者又有比较大的区别：概略图采用一般符号和框形符号，框图则采用框形符号；概略图标注的项目代号为高层代号，框图若标注项目代号，一般为种类代号；两者所描述的对象有些区别，概略图通常用于表示系统或成套装置，而框图通常用于表示分系统和设备。

框图的常用注释方法如图 2-14 所示。其中，图 2-14（a）为通用的图形符号注释方法，较详细地表示了框内各主要元件的连接关系：电源输入后，经隔离开关、电流互感器、负荷开关、隔离开关至输出端，一组避雷器和一组接地隔离开关并联，一端接电源，另一端接地。图 2-14（b）采用文字注释，用文字直接说明该框的功能是作为时间开关用的。图 2-14（c）将上述两种方法综合运用，即采用符号与文字相结合的注释方法，识读时更容易理解。



（a）用图形符号注释　（b）用文字注释　（c）用图形符号和文字结合注释

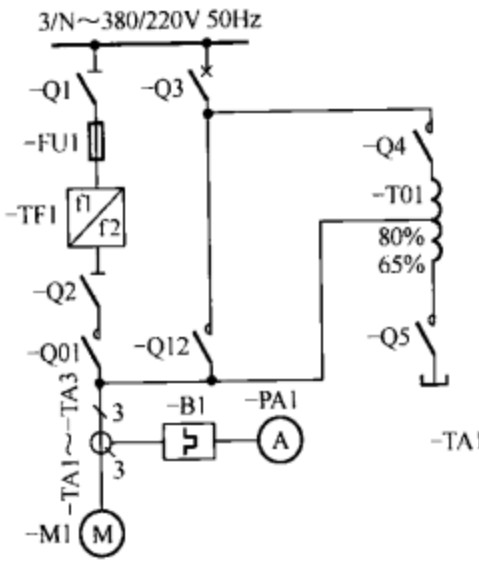
图 2-14 框图的常用注释方法

概略图对布图有较高的要求，强调布局清晰，有利于识别过程和信息的流向。基本流向应是自左至右或自上至下，只有在某些特殊情况下可例外。用于表达非电过程中的电气控制系统或电气控制设备的概略图，可以根据非电过程的流程图绘制，但一般要求控制信号的流向应与过程流向垂直，以利于识别。

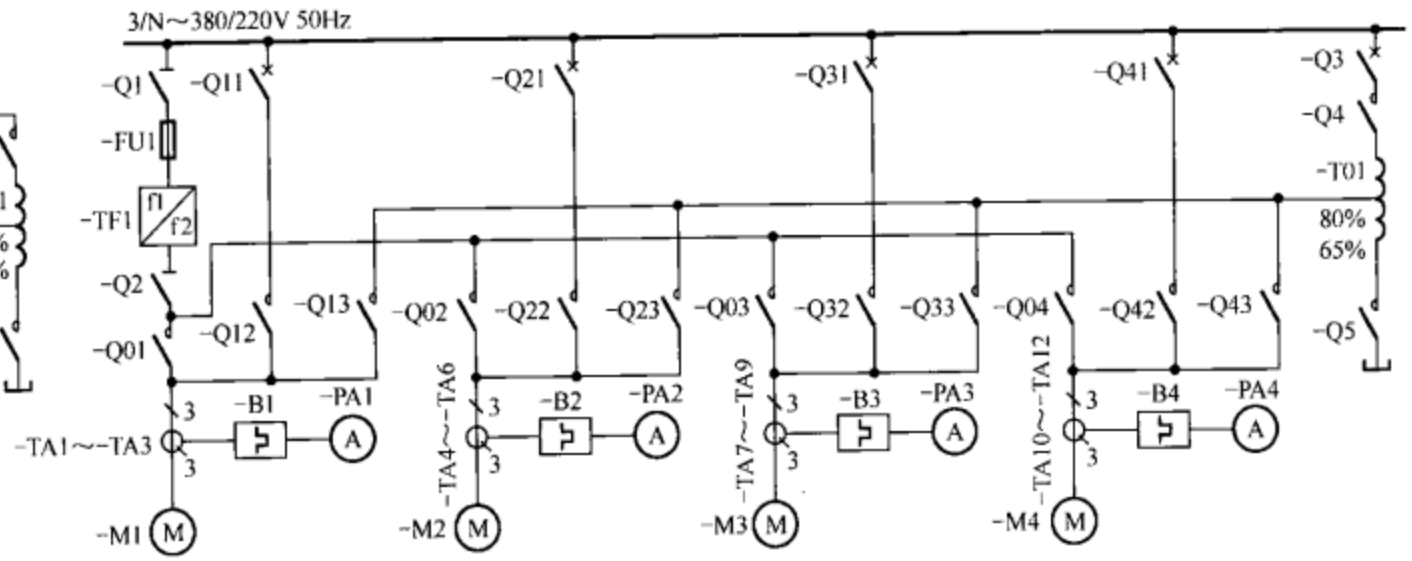


想一想

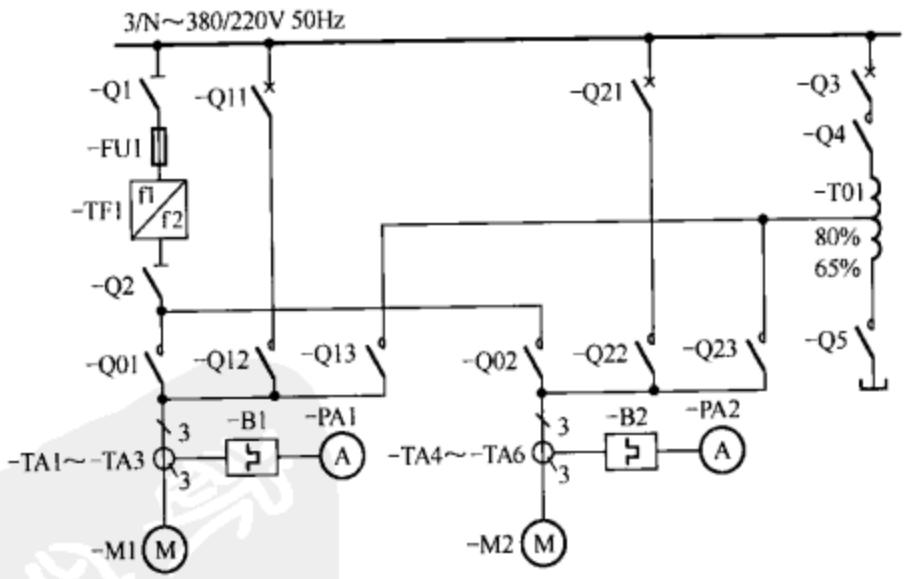
图 2-15 为某工程变频调节风机和水泵控制电路，对照图中的 3 个概略图，想一想采用概略图有哪些好处？



一变频器调节一泵（补偿启动）概略图



一变频器调节三用一备泵（补偿启动）概略图



一变频器调节一用一备泵（补偿启动）概略图

电气元器件明细表

项号	参照代号	数量	单位	零件名称	型号	技术数据	质量	零件标识符	
								代码	零件号
1	-Q3,-Q11,-Q21,-Q31,-Q41	1,3,5	台	断路器	设计确定	设计确定	—	—	—
2	-Q1,-Q2	5	台	隔离开关	设计确定	设计确定	—	—	—
3	-Q01～-Q04,-Q12,-Q13,-Q22,-Q23	2,6,8	台	接触器	设计确定	设计确定	—	—	—
4	-Q32,-Q33,-Q42,-Q43,-Q4,-Q5	2,2,6	台	接触器	设计确定	设计确定	—	—	—
5	-B1～-B4	1,2,4	台	热继电器	设计确定	设计确定	—	—	—
6	-FU1	3	套	快速熔断器	设计确定	设计确定	—	—	—
7	-TF1	1	台	变频器	设计确定	设计确定	—	—	—
8	-T01	1	台	自耦降压启动器	设计确定	设计确定	—	—	—
9	-TA1～-TA12	3,6,12	台	电流互感器	设计确定	设计确定	—	—	—
10	-PA1～-PA4	1,2,4	台	电流表	设计确定	设计确定	—	—	—
11	-M1～-M4	1,2,4	台	电动机	设计确定	设计确定	—	—	—

变频调节风机和水泵概略图（四）　图集号

审核　　校对　　设计　　页

图 2-15　某工程变频调节风机和水泵控制电路

2.2.4 接线图（表）——导线连接乱如麻，照图施工不复杂

表示电气设备、元器件或装置等项目之间的连接关系，用来进行安装接线、线路检查、线路维护和故障检修的简图，称为接线图。如果项目之间的连接关系采用表格的形式表示，一般称为接线表。

接线图和接线表是表示相同内容的两种表示方式，两者功能相同，可以单独使用，也可以组合起来使用，一般以接线图为主，接线表作为接线图的补充说明文件。

1. 接线图（表）的信息容量

在接线图中可以提供的信息很多，主要包括以下几个方面。

① 各个连接点以及所用导线或电缆的信息。
② 导线和电缆的种类信息。
③ 导线号、电缆号或项目代号。
④ 连接点的标记或表示方法。
⑤ 导线的敷设、走向、端头处理、捆扎、绞合、屏蔽等说明或方法。
⑥ 导线或电缆长度。
⑦ 信号代号或信号的技术数据。
⑧ 需补充说明的其他信息。

接线图提供的信息以表示清楚为原则，因此，并不是每张具体的接线图都一定要能够提供上述信息。接线图和接线表通常要与电路图、平面位置图等电气图结合起来使用；否则，仅仅依据接线图或者接线表来分析电路工作原理和排除故障，对初学者来说是比较困难的。

2. 接线图（表）的种类

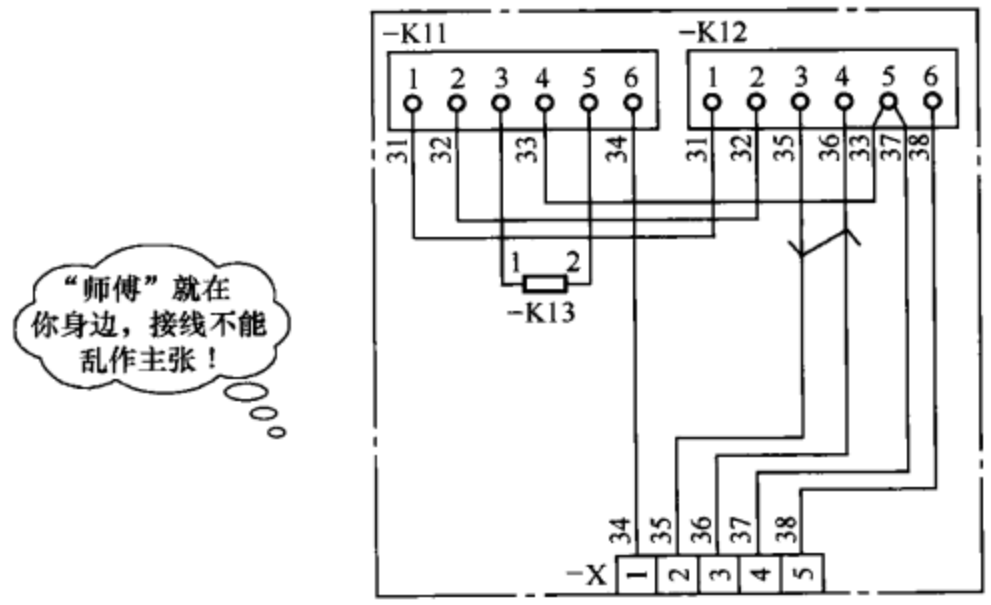
接线图是接线类图的总称。单元接线图、互连接线图、端子接线图和电缆图等都是接线图，而这样的分类只是表示它们连接的对象不同而已。

接线图的特点是图中只表示电气元件的安装地点和实际尺寸、位置和配线方式等，但不能直观地表示出电路的工作原理和电气元件间的控制关系。根据所表示的内容不同，接线图可分为以下 3 类。

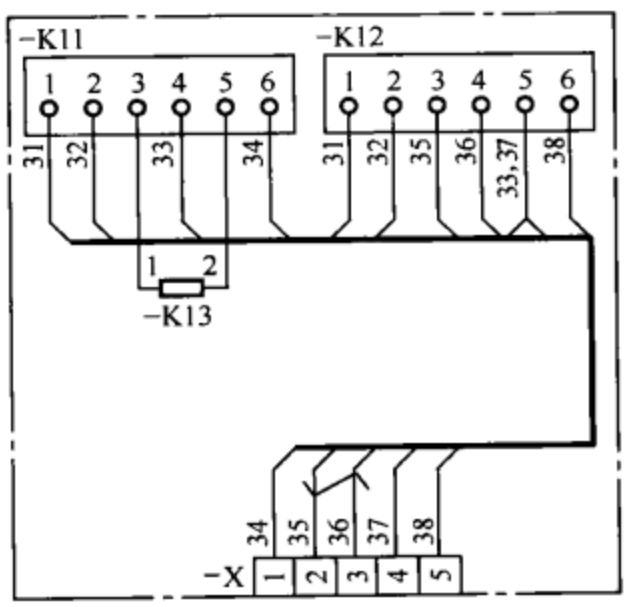
（1）单元接线图（表）

它是表示成套设备或设备中一个结构单元内部各元件间连接关系的图（表）。这里的结构单元是指可以独立运行的组件或某种组合体，如电动机、继电器、接触器等。单元接线图（表）通常不包括单元之间的外部连接，但可给出与之有关的互连接线图的图号。

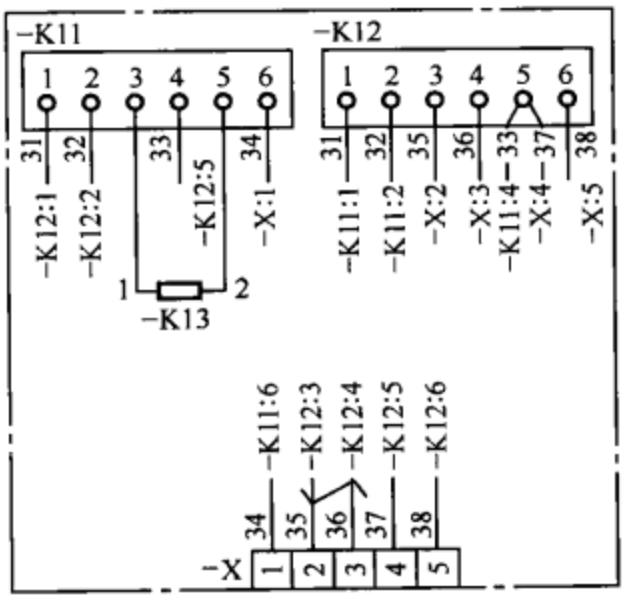
在单元接线图中，导线采用编号进行标注，如图 2-16 所示。其中，图 2-16（a）为连续线段的表示方法，图 2-16（b）为导线束的表示方法，图 2-16（c）为中断线的表示方法。



(a)



(b)



(c)

图 2-16　单元接线图示例

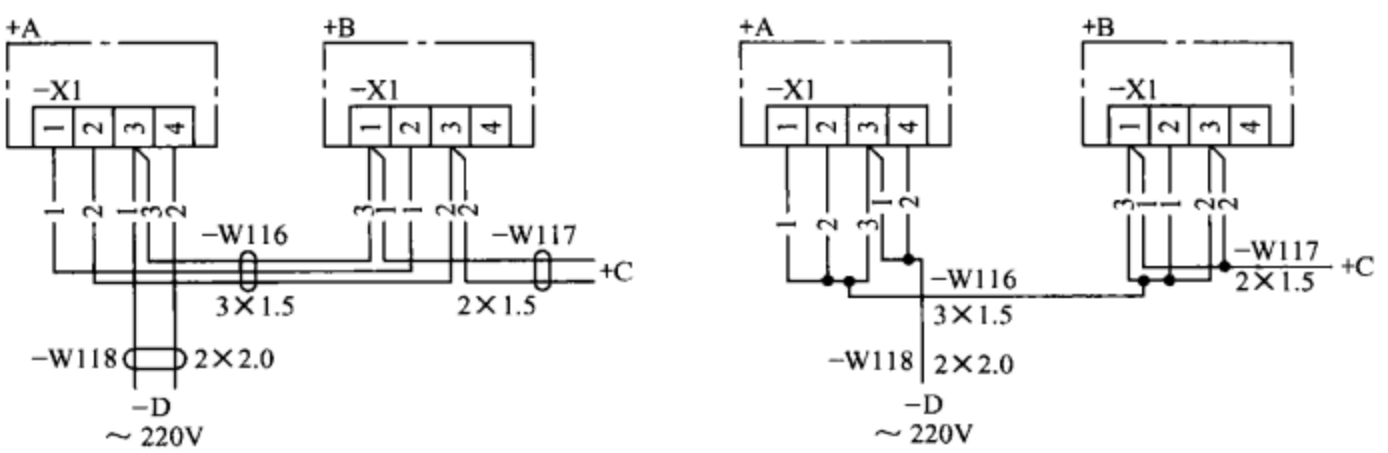
单元内部的连接关系也可用单元接线表来表示。表 2-5 就是根据图 2-14 所示的单元接线图列出的单元接线表，它是按照连接线号顺序排列的。该表共有 10 根连接线，其中－K11 和－K13 之间的两根连接线很短，没有编号，其余的 8 根连接线采用独立标记法进行编号，按顺序编为 31～38。项目－K12 的第五个端子同时连接线号为 33 和 37 的连接线。线号为 33 的连接线的“参考栏”内标有数字“37”，其含义为可参考线号为 37 的连接线。由线号为 33 和 37 的两根连接线所连接的端子是一个共同的接线端子，即－K12 的第五号端子。接线表的附注栏主要表示连接线的其他信息，如“短接线”、“绞合线”、“屏蔽”、“屏蔽接地”等。

（2）互连接线图（表）

它是表示成套装置或设备内两个或两个以上单元之间的连接关系的图（表），一般不包括各单元内部的连接关系。各单元用点划线围框表示。单元之间的连接线既可用连续线表示，也可用中断线表示，如图 2-17 所示。

表 2-5　　单元接线表

线缆号	线号	线缆型号及规格	连接点一			连接点二			附注
			项目代号	端子号	参考	项目代号	端子号	参考	
–	31	–	–K11	1	37	–K12	1	–	绞合线
	32		–K11	2		–K12	2		
	33		–K11	4		–K12	5		
	34		–K11	6		–X	1		
	35		–K12	3		–X	2		
	36		–K12	4		–X	3		
	37		–K12	5		–X	4		
	38		–K12	6		–X	5		
	–		–K11	3	33	–K13	1		
	–		–K11	5		–K13	2		



（a）多线表示法　　（b）单线表示法

图 2-17　互连接线图示例

（3）端子接线图（表）

它是用于表示成套装置或设备的端子及其与外部导线的连接关系的图（表），通常不包括单元或设备的内部连接，但可提供与其相关的图纸编号。端子接线表可以和接线图组合起来绘制在一起，如图 2-18 中的端子接线板 X；端子接线也可单独绘制，见表 2-6。

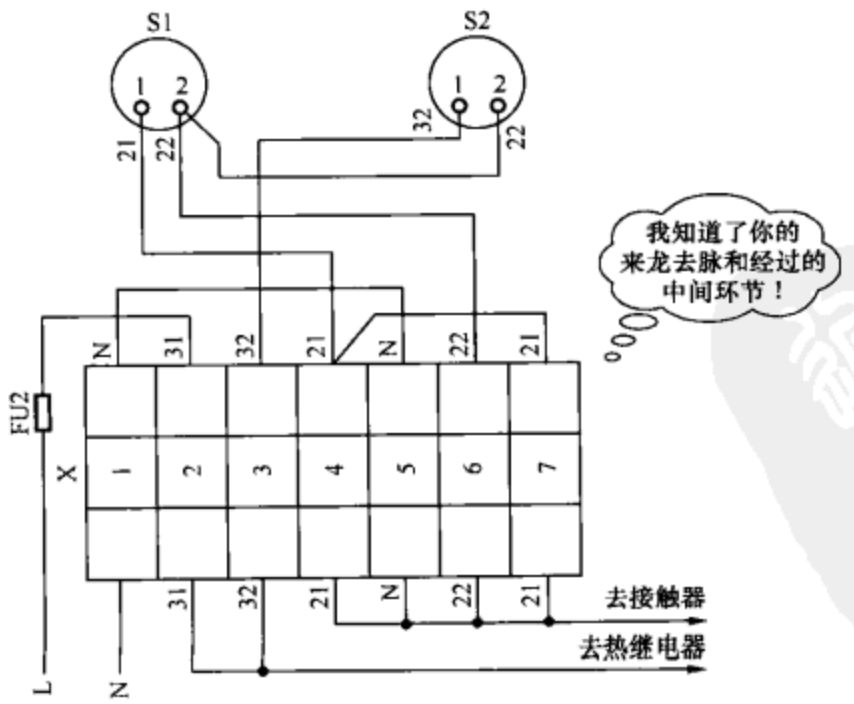


图 2-18　端子接线表和接线图组合起来绘制

表 2-6　　以端子为主的端子接线表示例

项目代号	端子代号	电缆号	芯线号
-X1	:11	-W136	1
	:12	-W137	1
	:13	-W137	5
	:14	-W137	3
	:15	-W136	4
	:16	-W137	2
	:PE	-W136	PE
	:PE	-W137	PE
	备用	-W137	6

3. 接线图举例

图 2-19 为 KVFC 变频器接线图，表 2-7 为主回路端子功能的说明，表 2-8 为控制回路端子符号及信号功能。

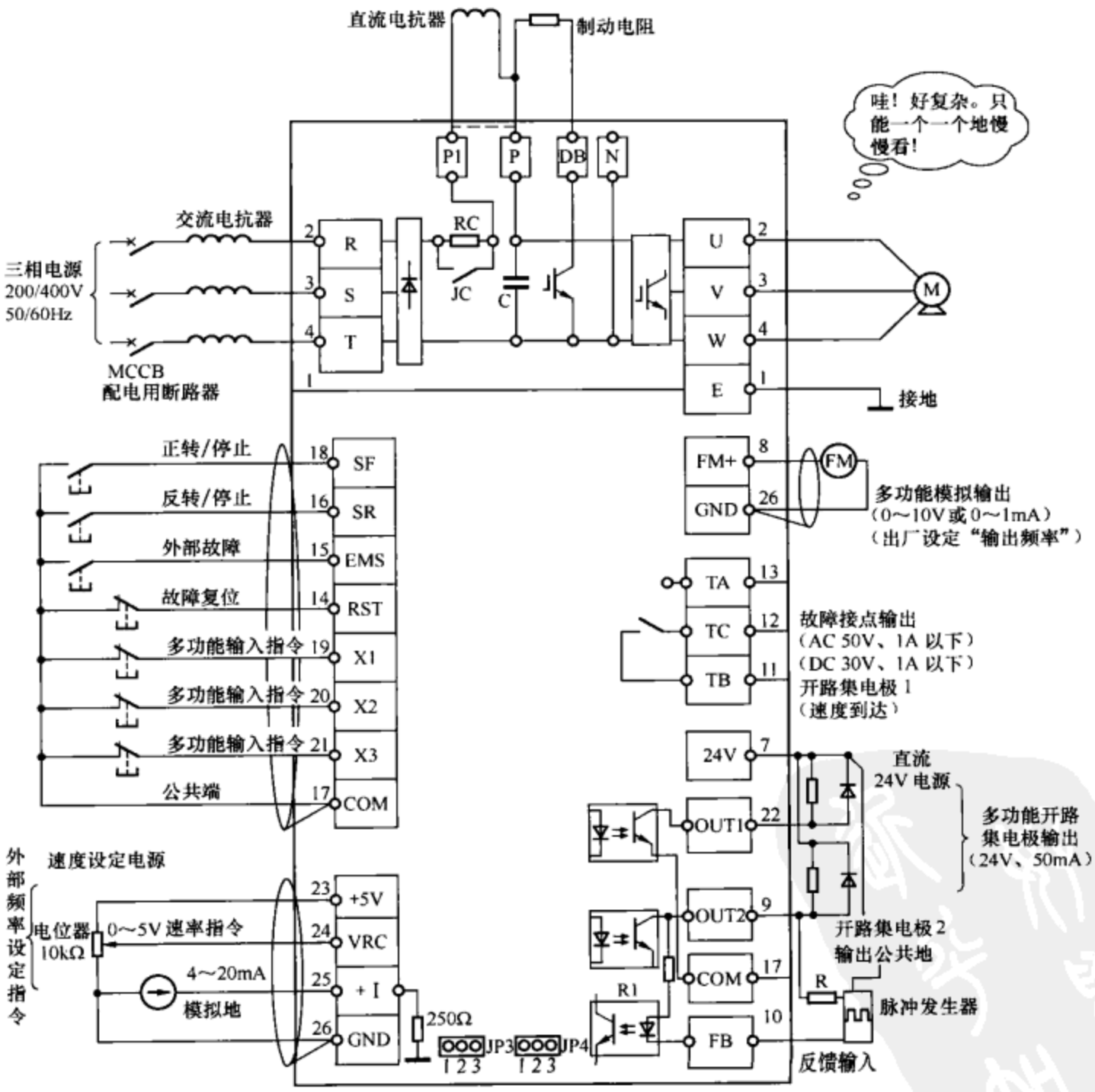


图 2-19　KVFC 变频器接线图

表 2-7 主回路端子功能说明

端　子	说　明
R、S、T	主回路电源输入 R、T 用于特殊的单相输入
U、V、W	变频器输出
P、N、DB、P1	对于需接制动电阻的机型（200V 级，任选），P 和 DB 端子间接放电电阻器。能量再生时，从直流端子 P、N 处引线。若需外接直流电抗器，可接于 P 和 P1 端子之间，否则短接 P 和 P1 端子

表 2-8 控制回路端子符号及信号功能

类别	端　子	信号功能	说　明	信号要求
开关量输入信号	SF	正转/停止信号	“闭”，正转；“开”，停止	光耦隔离输入 DC 24V、8mA
	SR	反转/停止信号	“闭”，反转；“开”，停止	
	RST	出错复位输入	“闭”，复位	
	EMS	外部异常输入	“闭”，自由停车	
	X1、X2、X3	多段速指令	“闭”，有效	
	COM	开关量输入公共端		
模拟输入信号	FB	反馈输入信号	可选为脉冲输入/模拟输入	—
	+5V	速度指令电源端子	速度指令电源	+5V（允许最大电流为 10mA）
	VRC	频率指令	0～+5V/最大输出频率	或 0～+10V
	+I		4～20mA/最大输出频率	4～20mA
	GND	公共端	—	—
开关量输出信号	OUT1	开路集电极输出 1	运行为低电平，可选择运行中、速度到达、过载、欠压 OUT2 具有复用功能，通过 JP4 插针短接②和③脚，选接脉冲发生器的外部电源	开路集电极输出 +24V、50mA（最大）
	OUT2	开路集电极输出 2		
	COM	开路集电极输出公共端	—	
	TA	出错信号输出	故障保护时， TA 和 TB 闭合， TB 和 TC 断开 （TB 为公共端）	接点额定容量：AC 250V，1A 或更小；DC 30V，1A 或更小的电阻性负载
	TC			
	TB	出错信号输出公共端		
模拟输出信号	24V	DC 24V 电源正极	COM 为负极	+10V 电压表或 1mA 电流表
	FM+	频率表或安培表输出	0～10V 或 0～1mA	
	GND	公共端		

思路点拨

电气原理图、元件布置图和接线图各有侧重点

电气原理图是为了便于阅读和分析控制线路工作原理而绘制的，电路结构简单、层次分明，适用于研究和分析控制系统的组成及工作原理，可为寻找故障提供帮助。

电气元件布置图表明了电气设备上所有电气元件的实际位置，为电气设备的安装及维提供必要的资料。

电气安装接线图主要用于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理，是为安装电气设备和电气元件、进行配线或检修电气故障服务的。

电气原理图和电气元件布置图是绘制电气安装接线图的依据，电气安装接线图便于设备的接线与调试。查找故障时，通常根据电气原理图分析电路原理、判断故障，根据电气接线图确定故障部位。



想一想

在电气检修时，如果没有接线图，怎么办？如果接线图与实际接线有差异，怎么办？

2.2.5 逻辑图
——功能实现多方法，逻辑关系来考查

逻辑图是用二进制逻辑单元图形符号绘制的、用以实现一定逻辑功能的一种简图，可分为理论逻辑图和工程逻辑图两类。理论逻辑图只表示功能而不涉及实现的方法，因此是一种功能图。工程逻辑图不仅表示功能，而且有具体的实现方法，因此是一种电路图。

逻辑图具有以下特点。

① 逻辑图的布图。逻辑图的布图通常从左到右或从上到下进行，应清晰地反映信息的流向，图形符号的方位不能任意改变，输入线和输出线分别置于图形符号相对的两侧，并与图形符号的框线相垂直。一般输入线在左侧，输出线在右侧。

② 连接线及其标记。二进制逻辑单元图形符号和图形符号之间的连接线是构成逻辑图的两个基本要素。逻辑图上各单元之间的连接线及单元的输入、输出线称为信号线。

在绘制逻辑图的同时，需在连接线上绘出连接线标记，以便逻辑图更容易被绘制和理解。一般还应提供与信号相关联的信息，给出信号功能说明，即信号名。当采用极性表示法时，还应给出信号名的真值与逻辑电平之间的对应关系。将所对应的电平书写在信号名字符之后，并用圆括号括起来，例如 STAR（L）或 CD9RU（H）。

③ 非逻辑元件的连接。逻辑图中经常要用到一些非逻辑元件，如电容器、电阻器、指示灯、继电器、开关等。当这些元件出现在控制逻辑单元中时，在元件连接处要标出波形、电平来表示它们的动作条件，其接线端子上不能出现逻辑非符号。

图 2-20 是过负荷保护逻辑图。d59 用于整定是否送出过负荷信号 F16，d59 为“ON”

时送出 F16 信号，为“OFF”时关闭该信号。而 H83 用于整定是否送出负荷信号给跳闸回路、信号回路和重合闸闭锁，防止因过负荷动作跳闸后的重合闸操作。一旦过负荷保护作用于跳闸回路，同时给出闭锁重合闸操作（即发生过负荷保护）而跳闸，就不允许重合闸。

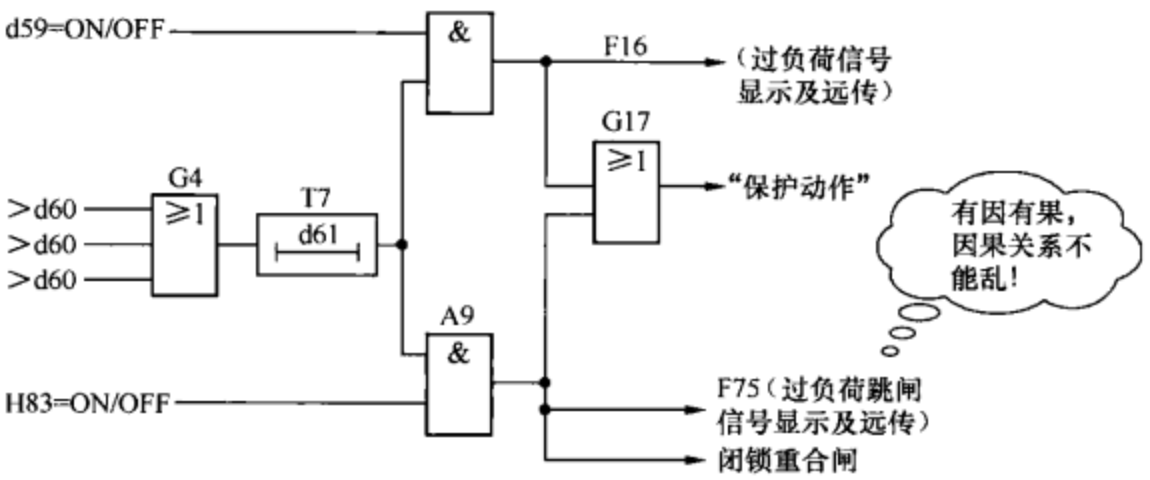


图 2-20 过负荷保护逻辑图示例

知识链接

电气工程图最基本的应用

电气工程图最基本的应用主要有以下 3 个方面。

① 普通电工根据电气图分析运行中电气设备的工作状态和性能，对电气设备进行维护、检修和故障排除。

② 技术人员根据电气图对电气设备进行安装、调试，并使电气设备投入正常运行。

③ 高级技术人员根据电气图对电气系统设计人员设计的图样进行审核，编制施工预算和预案，指导电气安装人员进行实际电气安装和调试。

2.2.6 其他常用电气图——电气布置平面图，安装检修多用途

1. 电气布置图

电气布置图用来表明电气设备上所有电动机、电器的实际位置，是电气控制设备制造、安装和维修所必不可少的技术文件。

电气布置图一般用双点划线画出设备轮廓，但不需要严格的比例。用粗实线描绘所有可见的或需要表达的电气元件的外形轮廓，要求所有电气元件及设备代号必须与电气控制原理图或明细表上的代号一致。电气元件布置图的设计依据是部件原理图、组件的划分情况等。设计时应遵循以下原则。

① 对于同一组件中电气元件的布置，应注意将较大和较重的电气元件安装在电路板的下

面，而发热元件应安装在电气箱（柜）的上部或后部，但热继电器宜放在其下部，因为热继电器的出线端直接与电动机相连便于出线，而其进线端与接触器直接相连接，便于接线并使走线最短，且易于散热。

② 强电和弱电分开并注意屏蔽，防止外界干扰。

③ 需要经常维护、检修、调整的电气元件的安装位置不宜过高或过低，人力操作开关及需经常监视的仪表的安装位置应符合人体工程学原理。

④ 电气元件的布置应考虑安全间隙，并做到整齐、美观、对称，外形尺寸与结构类似的电器可安放在一起，以利于加工、安装和配线。若采用行线槽配线方式，应适当加大各排电器的间距，以利于布线和维护。

⑤ 各电气元件的位置确定以后，便可绘制电气布置图。电气布置图是根据电气元件的外形轮廓绘制的，即以其轴线为准，标出各元件的间距尺寸。每个电气元件的安装尺寸及其公差范围，应按产品说明书的标准标注，以保证安装板的加工质量和各电器的顺利安装。大型电气柜中的电气元件宜安装在两个安装横梁之间，这样可减轻柜体重量，节约材料，另外便于安装，所以设计时应计算纵向安装尺寸。

⑥ 在电气布置图设计中，还要根据本部件进出线的数量、所用导线规格及出线位置等，选择进出线方式及接线端子排、连接器或接插件，并按一定顺序标上进出线的接线号。

依据以上原则，可以根据图 2-21 绘制出控制元件板面布置图，见图 2-22。

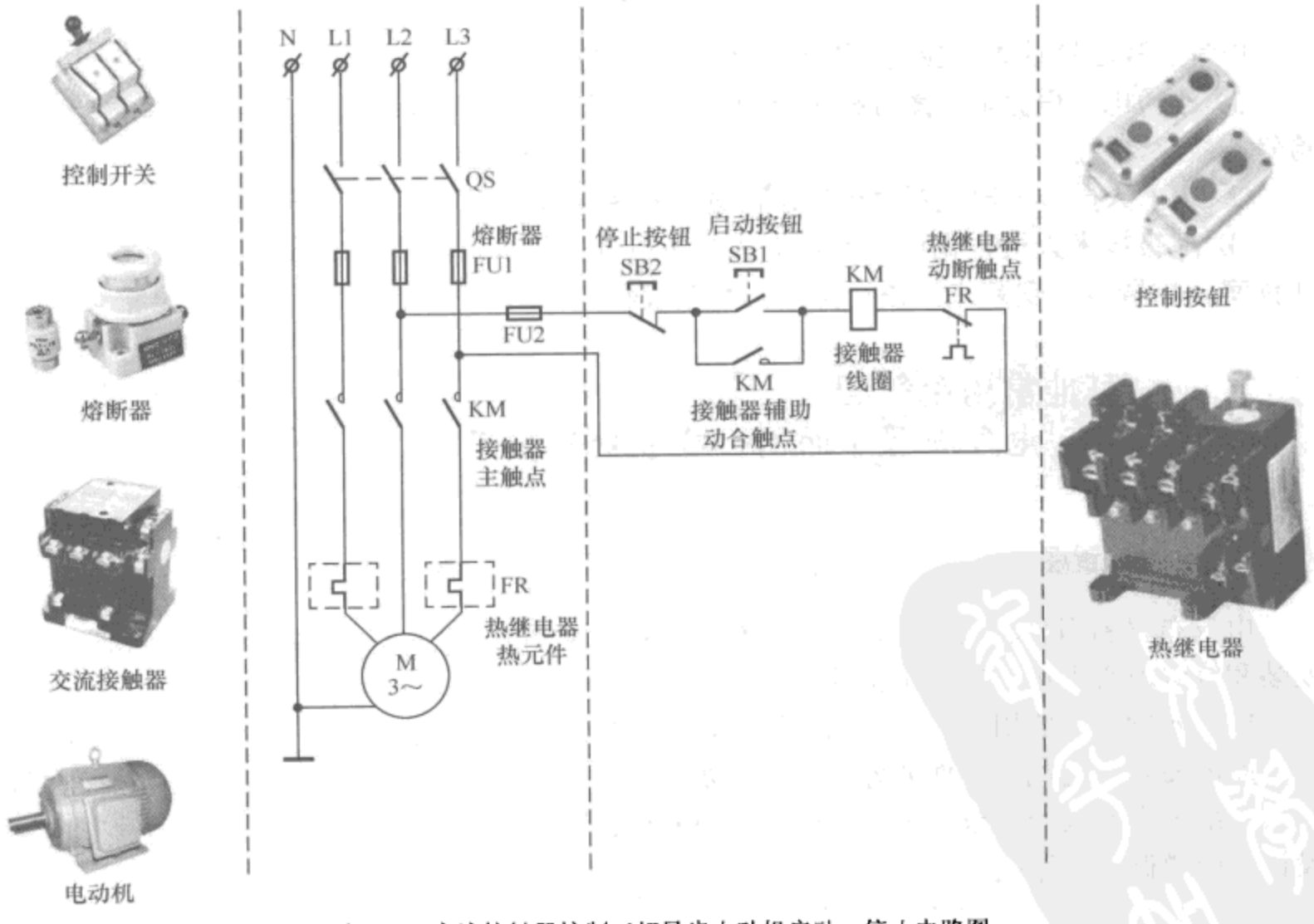


图 2-21　交流接触器控制三相异步电动机启动、停止电路图

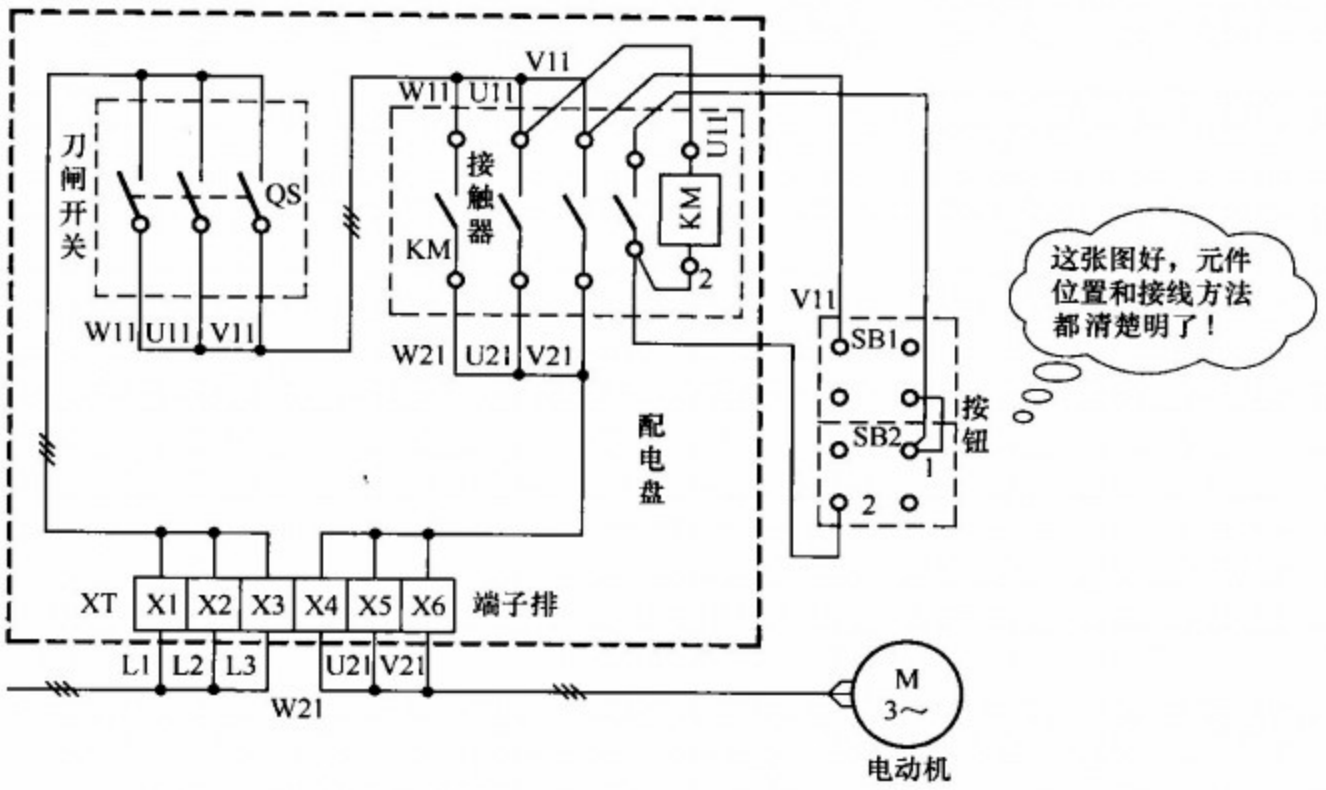
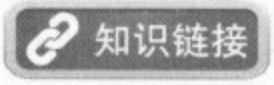


图 2-22　交流接触器控制三相异步电动机启动、停止电路的电气元件布置图



想一想

图 2-21 中的点划线有什么作用？



电气元件布置的要求

① 按国家标准规定，电气柜内的电气元件必须位于维修台之上 0.4～2m 处。

② 电气柜内按照用户要求制作的电气装置最少要留出 10%的备用面积，以供装置改进或局部修改。

③ 电气柜的门上除了人工控制开关、信号测量部件外，不能安装任何器件。

④ 电源开关最好安装在电气柜内右上方，其操作手柄应装在电气柜前面或侧面。电源开关上方最好不安装其他电器。

⑤ 发热元件安装在电气柜内的上方，并注意将发热元件和感温元件隔开，以防误动作。

⑥ 应尽量将外形与结构尺寸相同或相近的电气元件安装在一起，既便于安装和布线处理，又使电气柜内的布置整齐美观。

2. 电气平面图

电气平面图用于表示各种电气设备与线路平面位置，是进行电气设备安装的重要依据。电气平面图包括外电总电气平面图和各专业电气平面图。

外电总电气平面图是以建筑总平面图为基础，绘出变电所、架空线路、地下电力电缆等的具体位置并注明有关施工方法的图纸。在有些外电总电气平面图中还注明了建筑物的面积、电气负荷的种类、电气设备的容量等。

专业电气平面图有动力电气平面图、照明电气平面图、变电所电气平面图、防雷与接地平面图等。专业电气平面图在建筑平面图的基础上绘制。由于电气平面图缩小的比例较大，因此不能表现电气设备的具体位置，只能反映电气设备之间的相对位置关系。

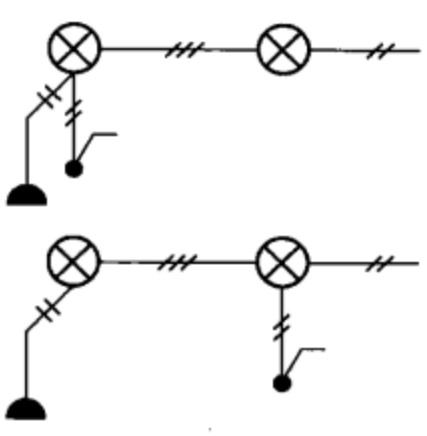
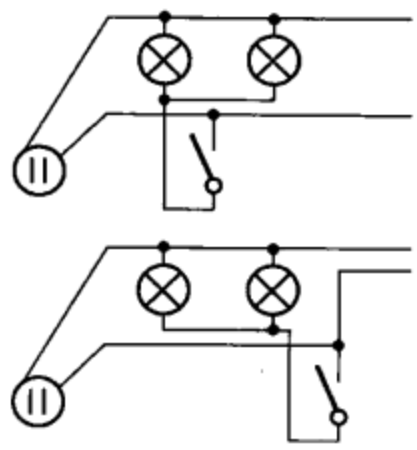
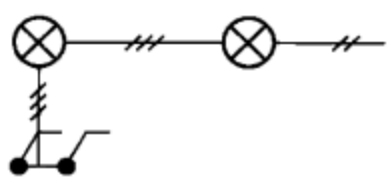
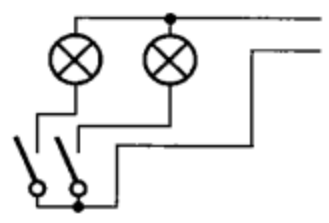
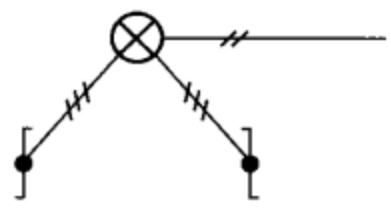
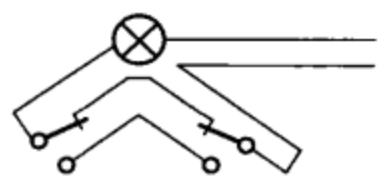
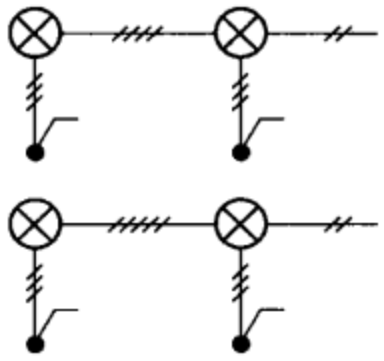
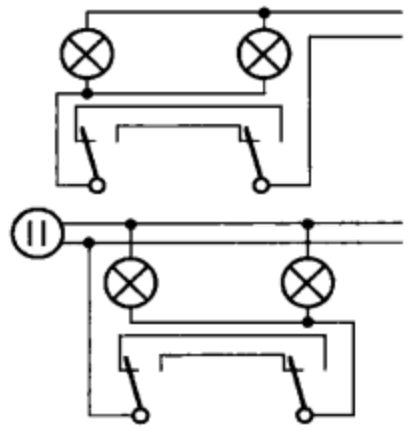
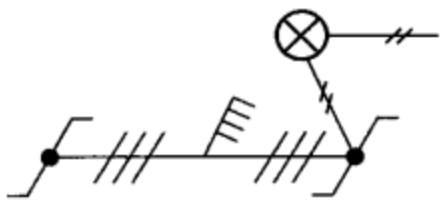
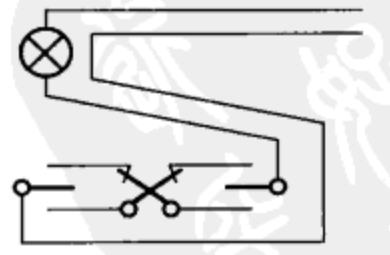
在布置灯具及放线时，“相线进开关，零线进灯头”，这是最基本的知识。但仅知道这些还不够，还要知道灯具与灯具之间的放线根数。如果图纸上已标注出导线根数（图中灯具之间以短斜线段标注根数）的话，在安装时即可据此放线；如果没有标注根数，则需要电工独立思考来完成放线工作。如若是穿暗管敷设，更要慎重，以免少穿、漏穿导线而给施工造成困难。

照明电气平面图和实际接线图的对比见表 2-9。可以看出，随着开关控制灯具数量的不同，放线根数也不一样。其中最简单的图 1 是用一个开关控制一盏灯。在开关为单极的情况下，电源进线及开关至灯具间的导线均为两根。在设计上，导线为两根时一般不标注，只有在 3 根以上时才用短斜线段表示根数（本例图为说明方便，在两根情况下也注出导线根数）。如表 2-9 中的图 6 所示，在两地分别由一个开关控制两盏灯时，由实际接线图可以推测出放线根数。两个灯具之间为 4 根导线，双控开关至每个灯具为 3 根导线，进线电源仍为两个。在接插座的线路中，插座的相线若由开关盒引出，切记不能在开关后桩头接出，否则，插座也受开关控制了。

表 2-9　照明电气平面图和实际接线图的对比

功　能	电气平面图	实际接线图
图 1：一个开关控制一盏灯	交流 220V　电源 单极开关 双极开关	零线 相线
图 2：一个开关同时控制两盏灯		

续表

功　能	电气平面图	实际接线图
图 3：一个开关同时控制两盏灯并加插座		
图 4：两个开关分别控制两盏灯		
图 5：在两地控制一盏灯		
图 6：在两地分别由一个开关控制两盏灯		
图 7：在三处控制同一盏灯		

值得说明的是，在平面图上标注的内容要与系统图上标注的内容相一致，以便于施工安装时相互对照。

停电之后

几个年轻人大热天夜晚打麻将，突然停电了，只好买了蜡烛继续战斗。过了半个小时，大家实在热得受不了了，其中一人说："还是开电风扇吧，热死了。"

另一人接口："不能开，开了会把蜡烛吹灭的。"



2.3 识图基本功——火眼金睛需多练

快速识图无捷径，唯有苦练基本功。
作图规定须牢记，图类特点理解通。
元件结构及原理，信号流程记心中。
方法步骤灵活用，完成工作也轻松。

读电气图最基本的要求是看懂电气图，能够找出图中标示的电气工程项目的安装位置，能够根据电气设备的工作状态或故障现象分析电气设备的性能或故障原因，提出维护及维修方案，以便及时排除故障或可能存在的隐患，保证电气设备处于良好的工作状态。初学者首先应学会看日常工作中所涉及的相对简单的电气图，如安装图、原理图等；逐渐积累经验后，看比较复杂的电气工程图就容易了。

对初学者来说，掌握识读电气图的基本功主要包括以下几个方面。

1. 熟悉电气图的有关规定

识读电气图需要了解有关电气工程的各种标准和规范，特别是导线的表示方法、电气图形符号、电气文字符号、线路及照明灯具的标注方法等。

识读电气图的主要目的是指导施工、安装，指导运行、维修和管理。一些技术要求不可能都在图面上反映出来，也不可能在图面上一一标注清楚，因为这些技术要求在有关的国家标准和技术规程、规范中已做了明确的规定。因而在识读电气图时，还必须了解这些相关标准、规程、规范，这样才算真正识图。

2. 熟悉各种电气图的特点

各种电气图都有一些独特的绘制和表示方法，只有了解各种电气图的特点，才可能明白

电气图样所表达的含义；也只有了解各种电气图的特点，才能有针对性地读图，也才能达到事半功倍的效果。

在电路原理图中，各电器触点都按电路未通电、未受外力作用时的常态位置画出，分析原理时应从触点的常态位置出发。

在电路原理图中，各电气元件不画实际的外形图，而采用国家规定的统一符号画出。

在电路原理图中，各电气元件不按它们的实际位置画在一起，而是按其在线路中所起的作用分别画在不同电路中，但它们的动作却是相互关联的，必须标以相同的文字符号。

在电路原理图中，有直接电联系的交叉导线连接点用小黑点表示，无直接电联系的导线交叉处则不画小黑点。

例如，电气照明施工平面图是在建筑平面图的基础上绘制而成的，它包括的主要内容如下。

① 电源进户线的位置、导线规格、型号、根数、引入方法（架空引入时注明架空高度，从地下敷设引入时注明穿管材料、名称、管径等）。

② 配电箱的位置（包括主配电箱、分配电箱等）。

③ 各用电器材、设备的平面位置、安装高度、安装方法、用电功率。

④ 线路的敷设方法，穿线器材的名称、管径，导线的名称、规格、根数。

⑤ 从各配电箱引出的回路的编号。

⑥ 屋顶防雷平面图及室外接地平面图，避雷带布置平面，选用材料的名称、规格，防雷引下方法，接地极材料、规格、安装要求等。

又如，配电系统图用来表示整个照明供电线路的全貌和连接关系，主要内容包括建筑物的供电方式和容量分配，供电线路的布置形式，进户线和各干线、支线、配线的数量、规格和敷设方法，配电箱及电能表、开关、熔断器等的数量、型号等。

3．熟悉电气元件的结构和工作原理

每一个电路都是由各种电气元件构成的，如在供电电路中常用到高压隔离开关、断路器、熔断器、互感器、避雷器等，在低压电路中常用到各种继电器、接触器和控制开关等。因此，在看电路图时，首先要搞清楚这些电气元件的性能、相互控制关系以及在整个电路中的地位和作用，才能看懂电流在整个回路中的流动过程和工作原理，否则电路图是无法看懂的。

例如，接触器的触点包括主触点和辅助触点，主触点的作用是接通和分断主回路，控制较大的电流；辅助触点在控制回路中起电气连锁作用，一般有动合、动断触点各两对，以满足各种控制方式的要求。在识读继电器一接触器控制系统原理图时，必须知道继电器、接触器的线圈通电后其触点状态会发生改变（至于如何改变要根据电路原理去分析），从而去控制其他回路的原理。不懂得这些原理，就无法读懂电气图。

同时，掌握主要元件的位置、作用、特性以及主要技术指标，吃透其功能、作用，可以帮助我们理解电路图的指导思想。对于电路图、方框示意图、元件分布图上的元件，要做到对号入座。有必要时，可将实际电路板和几种图互相结合进行分析。

4．掌握识图分析的一般步骤

结合典型线路分析电路，即按功能的不同将电路分成若干局部电路。如果电路比较复杂，

则可将与控制系统关系不大的照明电路、显示电路、保护电路等辅助电路暂时放在一边，先分析主要功能，再集零为整。

具体地说，分析电气原理图的一般步骤如下。

① 看电路图中的说明和备注，有助于了解该电路的具体作用。

② 划分电气原理图中的主电路、控制电路、辅助电路，分清交流电路和直流电路。

③ 从主电路着手，根据每台电动机和执行器件的控制要求去分析控制功能。分析主电路时，从下往上看，即从用电设备开始，经控制元件依次往电源看；分析控制电路时，按从上往下、从左往右的原则，将电路化整为零，分析局部功能。

④ 分析辅助控制电路、连锁保护环节等。

⑤ 综合分析，即将各部分综合起来，以便全面掌握电气原理图。

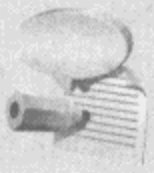
对于比较复杂的电气系统，一般需要经过反复几遍识读才能完全做到真正读懂所有的电气图样。因此，复杂电气系统的读图可分为 3 个阶段，即粗读、细读和精读。

所谓粗读就是将电路图从头到尾大概浏览一遍，主要了解电路的概况，做心中有数。粗读应掌握电路图所包含的主要内容、主要技术参数和总体组成。

所谓细读就是按一定的读图步骤和读图要点仔细阅读每一张图纸，以全面了解系统的组成原理等。

所谓精读就是对电路图中的关键部位及设备的图样重新仔细阅读，系统地掌握中心内容和要求，做到胸有成竹。

对于比较简单的系统，读图步骤有 4 个：首先是读说明，然后读概略图，接着读电路图，最后读安装图和接线图。对于复杂的电气系统，读图应该分 3 个阶段：首先是粗读，然后是细读，最后是精读。粗读可比细读“粗”点儿。这里的“粗”不是“粗糙”的“粗”，而是相对不侧重在细节上。而精读则是选择重点或重要关键内容进一步阅读，是为了保证万无一失而进行的。



练一练

图 2-23 所示是理发用的电吹风机的电路，其中电热丝通电时会发热，电动机通电后会吹风。分析选择开关 S 同时与哪两个触点接触时电动机送出来的是热风。

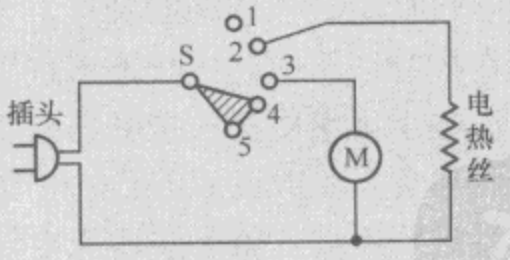


图 2-23　电吹风机电路



电气图幅面的规格

电气图幅面的规格如图 2-24 所示，幅面尺寸见表 2-10。

压本喷面代号 $b \times L$	0 841 × 1 189	1 594 × 841	2 420 × 594	3 297 × 420	4 210 × 297	5 148 × 210
c	10	10	10	5	5	5
a	25	25	25	25	25	25

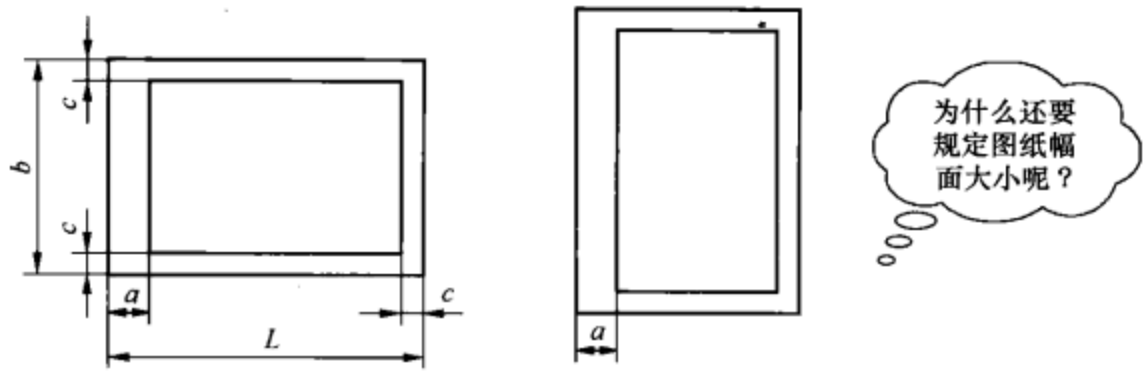


图 2-24 电气图幅面规格

表 2-10 **电气图幅面尺寸**

基本幅面尺寸系列		加长幅面尺寸系列	
代号	尺寸（mm）	代号	尺寸（mm）
A0	841 × 1 189	A3 × 3	420 × 891
A1	594 × 841	A3 × 4	420 × 1 189
A2	420 × 594	A4 × 3	297 × 630
A3	297 × 420	A4 × 4	297 × 841
A4	210 × 297	A4 × 5	297 × 1 051

5. 掌握识图分析的一般方法

（1）化整为零法

可以把总原理图化分成若干部分，在细分过程中，如对于个别元件的特殊用途一时难以明了，可以放后研究。在此步骤里，只求弄清各部分的主要电路及元件连接关系和作用。

例如，控制电路一般是由开关、按钮、信号指示灯、接触器、继电器的线圈和各种辅助触点构成。无论简单或复杂的控制电路一般均由各种典型电路（如延时电路、连锁电路、顺控电路等）组合而成，用以控制主电路中受控设备的“启动”、“运行”、“停止”，使主电路中的设备按设计要求正常工作。对于简单的控制电路，可依据主电路要实现的功能，结合生产工艺要求及设备动作的先后顺序进行分析。

又如，在看电机拖动电路图时，先要分清主电路和辅助电路、交流电路和直流电路，按照先看主电路、再看辅助电路的顺序识读。看主电路时，通常是从下往上看，即从用电设备开始，经控制元件、保护元件顺次往上看电源。看辅助电路时，则自上而下、从左向右看，即先看电源，再依次看各个回路，分析各回路中元器件的工作情况及其对主电路的控制关系。

通过看主电路，要搞清楚用电设备是怎样取得电源的，电源是经过哪些元件到达负载的，这些元件的作用是什么。看辅助电路时，要搞清楚电路的构成、各元件间的联系（如顺序、互锁等）及控制关系，了解在什么条件下电路构成通路或断路，以理解辅助电路如何

对主电路进行控制，进而搞清楚整个系统的工作原理。

（2）比较分析法

对于复杂的控制电路，按各部分所完成的功能，将其分割成若干个局部控制电路，然后与典型电路相对照，找出相同之处，本着先简后繁、先易后难的原则逐个理解每个局部环节，再弄清各环节的相互关系。

（3）指标估算法

为了对电路图有更加深入的了解，可对某些主要技术指标进行一定的估算，必要时要用仪器仪表来验证某个元件的功能及引脚的电气参数，以便对电路的技术性能有一个定量的认识，敢于用事实来怀疑电路图的准确性，因为有些图纸并非原厂图纸。

（4）检修识图法

检修识图是针对性很强的电路分析方法，主要是根据故障现象和所测得的数据决定分析哪部分电路。这是带着问题对局部电路的识图，识图的范围不广，但要有一定深度，还要会联系故障的实际情况。检修识图的基础是十分清楚电路的工作原理，不能做到这一点就无法进行正确的检修识图。

在检修识图中，一般不需对整机电路图中的各部分电路进行全面系统的分析。

（5）综合分析法

对经过化整为零分析后的各个组成部分进行综合分析。

对于机、电、液配合得比较紧密的生产机械，必须进一步了解有关机械传动和液压传动的情况，有时还要借助于工作循环图和动作顺序表，配合电器动作来分析电路中的各种连锁关系，以便掌握其全部控制过程。

对于比较复杂的控制电路，可按照先简后繁、先易后难的原则逐步解决。因为无论怎样复杂的控制线路总是由许多简单的基本环节组成的，阅读时可将它们分解开来，先逐个分析各个基本环节，然后再综合起来全面加以解决。

概括地说，综合分析法可归纳为从机到电、先“主”后“控”、化整为零、连成系统。

综上所述，每个人都有自己读图的习惯和方法，在掌握一定读图规律后都可根据自己的知识水平和知识面，总结适合自己的读图方法。但是读图的目的都是一样的，都是要理解电气设计人员的设计思想，掌握电气设备的工作原理和性能，为电气系统和设备的安装调试及维护管理打下坚实的基础。

6. 识图禁忌

（1）禁忌毫无头绪

电气读图时，应该是一张一张地阅读电气图纸，一张图纸全部读完后再读下一张图纸。如在读该图的过程中遇到与另外图纸有关联的内容或标注说明时，应找出另一张图纸，但只读关联部位，了解连接方式即可，然后返回来再继续读完原图。读每张图纸时则应一个回路一个回路地读，将一个回路分析清楚后再分析下一个回路，这样才不会乱，才不会毫无头绪、杂乱无章。

（2）禁忌急于求成

电气读图时，应该心平气和地读，尤其是负责电气维修的人员更应该在平时设备无故障时就心平气和地读懂设备的工作原理，分析其可能出现的故障现象和原因，做到心中有数；否则，一旦出现故障，心情烦燥、急于求成，一会儿查这条线路，一会儿查那个回路，没有

明确的目标。这样不但不能快速查找出故障的原因，也很难真正解决问题。

（3）禁忌不求甚解

电气读图时，应该仔细阅读图样中的各个细节，切忌不求甚解。只有注意细节上的不同才能真正掌握设备的性能和工作原理，才能避免由于一时的疏忽而造成不良后果甚至事故。

（4）禁忌囫囵吞枣

电气读图时，遇到不懂的地方时应该查找有关资料或请教有经验的人，以免造成不良的影响和后果。应该清楚，每个人的成长过程都是从不懂到懂的过程，不懂并不可怕，可怕的是不懂装懂、囫囵吞枣，从而造成工作失误。

（5）禁忌心中无数

电气读图时，一定要做到心中有数，尤其是对于比较大或复杂的系统，常常很难同时分析各个回路的动作情况和工作状态，适当进行记录有助于避免读图时的疏漏。

7. 识图方法举例

下面以某项目建筑电气施工图的识读为例，说明一般建筑物室内电气施工图纸的基本内容和识读方法。

阅读建筑电气施工图时，在了解电气施工图基本知识的基础上，还应该按照一定顺序进行，才能比较快速地读懂图纸，从而实现识图的目的。

① 识读标题栏和图纸目录：了解工程名称、项目名称、设计日期等。

② 识读设计说明：了解工程总体概况及设计依据，了解图纸中未能表达清楚的有关事项，如供电电源、电压等级、线路敷设方式及敷设部位，设备安装高度及安装方式、防雷接地措施、等电位联结，补充使用的非标准图形符号，施工时应注意的事项。有些分项所涉及的局部问题是在各分项工程的图纸上进行说明的，看分项工程图纸时也要先看设计说明。

③ 识读材料表：了解该工程所使用的设备、材料的型号、规格及数量，以便购置主要设备、材料等；了解图例符号，以便识读平面图。

④ 识读系统图：各分项工程的图纸中一般均包含有系统图，如变配电工程的供电系统图、电力工程的电力系统图、电气照明工程的照明系统图、电话系统图以及电视电缆系统图等。识读系统图的目的是了解系统的基本组成，主要电气设备、元件等的连接关系及它们的规格、型号、参数等，从而掌握该系统的基本情况。

⑤ 识读电路图和接线图：了解各系统中用电设备的电气控制原理，用来指导设备的安装和控制系统的调试工作。识读图纸时，应依据功能关系从上到下或从左到右一个回路一个回路地识读。在进行控制系统的配线和调校工作中，还可配合阅读接线图和端子图进行。

⑥ 识读平面布置图：平面布置图是建筑电气施工图的重要图纸之一。识读平面布置图时，了解设备的安装位置、安装方式、安装容量，了解线路的敷设部位、敷设方式及所用导线型号、规格、数量等。

知识链接

电气控制电路图的识图思路

电路图是电气线路安装、调试与维修的理论依据。对任何复杂的电路图，若有了正确的

识图思路，是不难掌握其工作原理的。

先识机，后识电。所谓先识机，就是应该先了解生产机械的基本结构、运行情况、工艺要求和操作方法，以便对生产机械的结构及其运行情况有一个总体了解。所谓后识电，就是在识机的基础上进而明确对电力拖动的控制要求，为分析电路做好前期准备。

先识主，后识辅。所谓先识主，就是从主回路开始识图。所谓后识辅，就是识读辅助电路时应从主电路入手，根据每台电动机、电磁阀等执行电器的控制要求去分析它们的控制内容。控制内容包括启动、方向控制、调速控制和制动控制等。各种不同类型的生产机械设备电路图中的辅助电路也各不相同。辅助电路包含控制电路、信号电路和照明电路。

任何复杂电路都是由一些基本电路组成的，因此，掌握基本电路的工作原理是进行电气设备运行、安装和检修的基础。

集零为整，统观全局，总结特点。用“集零为整”的方法，检查整个控制电路，看是否有遗漏，特别是要从整体角度进一步检查和理解各控制环节之间的联系，理解电路中每个电气元件的作用。



想一想

识图时应该怎样灵活运用各种识图方法？

开过大奔吗

小王刚买了辆奥拓，在清静的三环路上试车。当他正开得高兴时，一辆大奔从后面超上来，那人从车窗中伸出头来，冲小王喊了一句：“伙计，开过大奔吗？”

过了一会儿，那辆大奔又从后面开过来了。超车时，开大奔的人又冲小王喊了一句：“伙计，开过大奔吗？”这下可惹恼了小王，他想加速追赶，可是怎么也追不上。

没开多远，那辆大奔撞在护栏上了。小王停下车，来到大奔车旁，看见那人还好，伤得不重。那人走过来又说：“伙计，开过大奔吗？”小王差点背过气，只听那人接着说：“伙计，开过大奔吗？刹车在哪儿呀？”



第3章

供配电系统图

——回路一清二楚

电站发出的交流电需要经过高压输送一定距离后，再经过一次或两次降压，才能分配给各种用户使用。这就构成了发电、供电和配电系统。电力系统又称为供配电系统或供电系统。由发电设备、输配电设备、变电设备以及用电设备等组成的总体系统叫做电力系统。电力网由输配电系统和变电所组成，用于连接发电厂和用户。

由一次设备相互连接构成的发电、输电、配电系统或进行其他生产的电气回路称为一次回路或一次接线。由二次设备互相连接构成的对一次设备进行监测、控制、调节和保护的电气回路称为二次回路或二次接线。一次回路是主电路，二次回路是主体设备的辅助电路。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

① 了解电能从生产到应用的5个基本环节。
② 理解常见供配电系统的基本电路结构。
③ 理解电力系统中性点的运行方式。
④ 掌握低压配电系统的接地方式。
⑤ 理解一次回路和二次回路的概念和常用电路。
⑥ 理解高压配电柜一次回路的3种接线方案。
⑦ 掌握二次回路的识图要领。

能力目标

① 正确识读并分析供配电系统图。
② 识读工厂变电站一次回路图。
③ 识读并能简要分析二次回路图。

3.1 电力供配电系统图——发输变配大电网

电力系统很复杂，发输变配和用户。
高压等级不相同，变压之后到用户。
二次降压大负荷，降压一次小用户。
低压电网要接地，用电安全保用户。
农网常用 TT 式，城网适宜 TT-C。
供电质量有要求，安全可靠又经济。

电力系统是现代社会中最重要、最庞杂的工程系统之一，也是人类工程科学史上最重要的成就之一，它由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成。自然界的一次能源通过发电装置转化成电力，再经输电、变电和配电供应给各用户。电力系统的出现使高效、无污染、使用方便、易于调控的电能得到了广泛应用。

3.1.1 电力系统图
——单线表示电系统，发输变配紧靠拢

电力系统是由发电厂、电力网和电能用户组成的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体。图 3-1 所示为电力系统的典型结构。

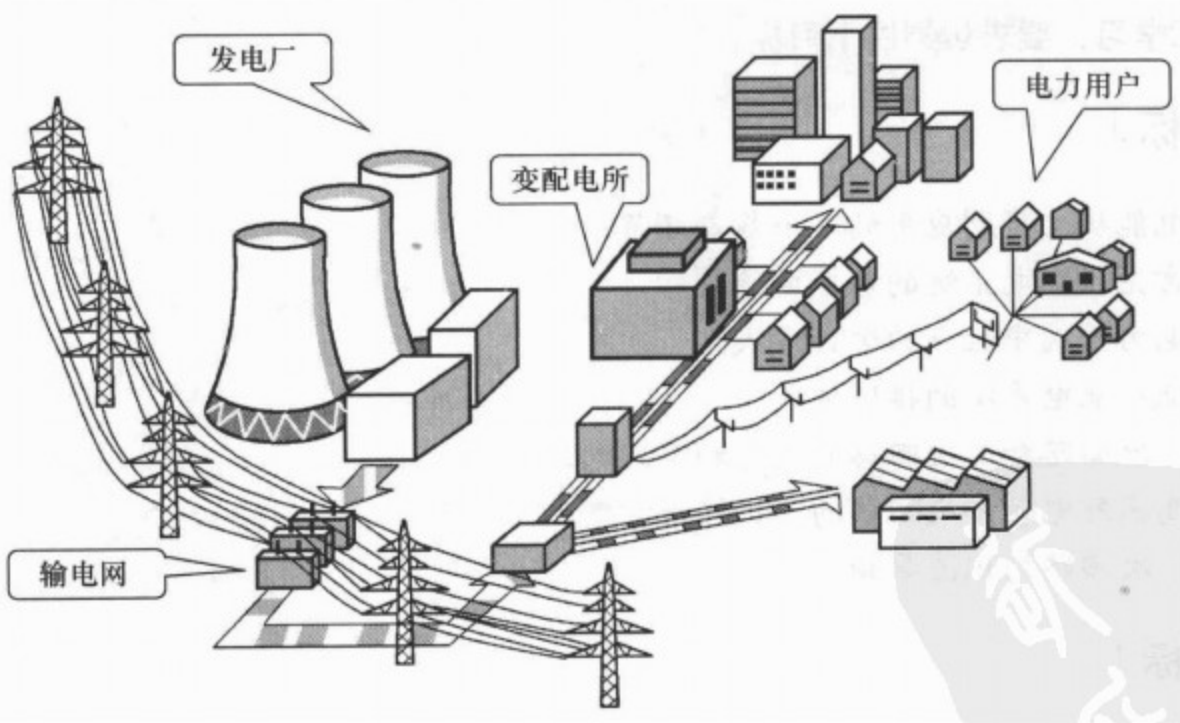


图 3-1　电力系统的典型结构

电能从生产到应用一般要经过 5 个环节，即发电→输电→变电→配电→用电，其中配电又可分为高压配电和低压配电。图 3-2 为某电力系统概略图，该系统中共有 4 个发电厂和 4 个变电站。

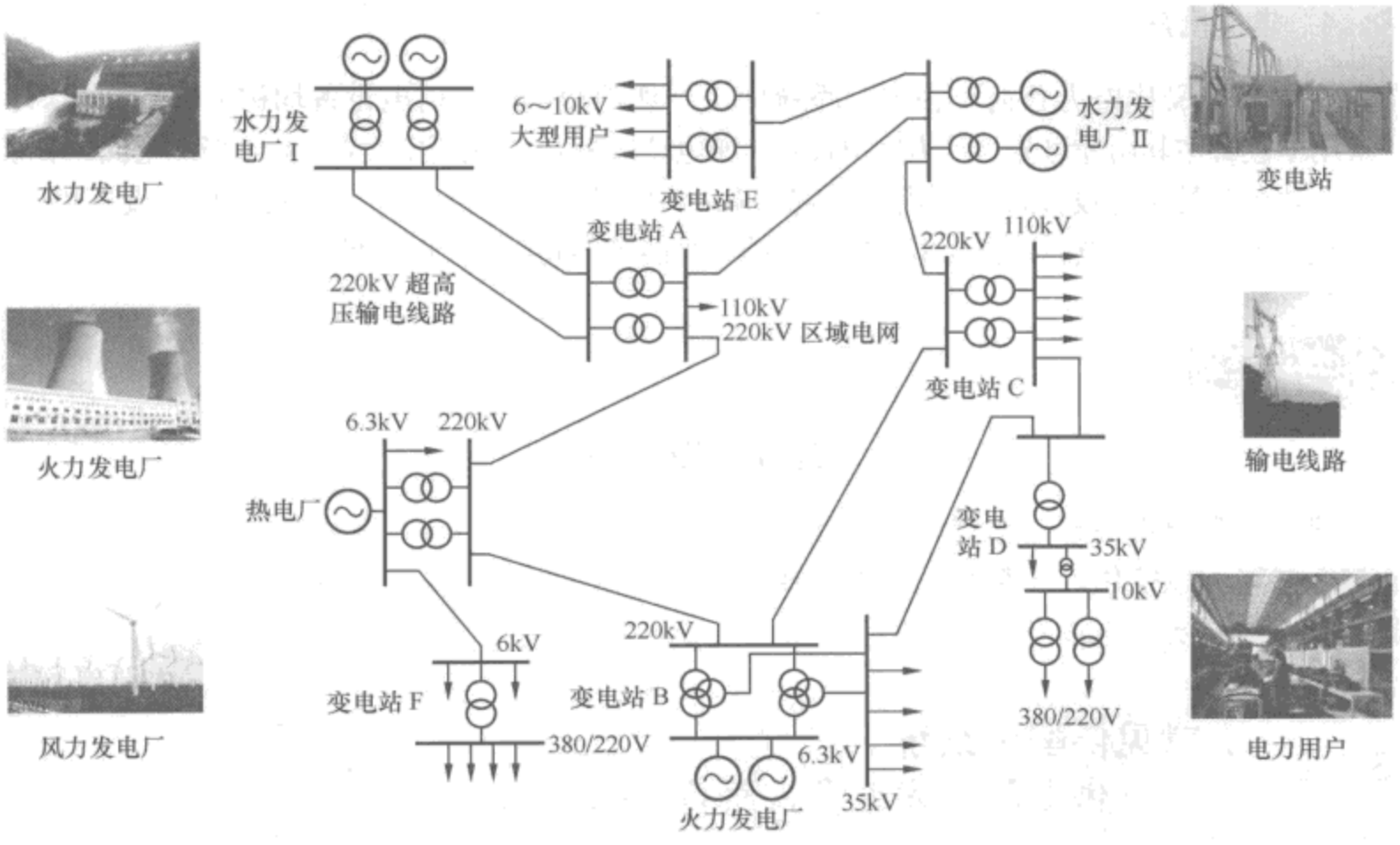


图 3-2　某电力系统概略图

1．发电厂

发电在电力工业中处于中心地位，决定着电力工业的规模，也影响到电力系统中输电、变电、配电等各个环节的发展。发电厂是生产电能的工厂，它是把非电形式的能量转换成电能。发电厂的种类很多，一般根据所利用能源的不同分为火力发电厂、水力发电厂和原子能发电厂。此外，还有风力、地热、潮汐、太阳能等发电厂。

2．变电所

在电力系统中，通过一定设备将电压由低的等级转变为高的等级（升压）或由高的等级转变为低的等级（降压）称为变电。变电是电力系统中不可缺少的重要环节。

实现变电的场所称为变电所，它是接收电能、变换电压和分配电能的场所，由电力变压器和配电装置组成。变电所按变压的性质和作用又可分为升压变电所和降压变电所两大类。升压变电所的任务是将低电压变换为高电压，以利于电能的传输。降压变电所的任务是将高电压变换到一个合理的电压等级，一般建在靠近用电负荷中心的地点。

3．电力线路

电力线路又称输电线。电力线路的作用是输送电能，并把发电厂、变配电所和电能用户连接起来。

电力线路按其用途及电压等级分为输电线路和配电线路。电压为 35kV 及以上的电力线路称为输电线路，电压为 10kV 及以下的电力线路称为配电线路。电力线路按其架设方式可分为架空线路和电缆线路，按其传输电流的种类又可分为交流线路和直流线路。

4. 电能用户

电能用户又称电力负荷。在电力系统中，一切消费电能的用电设备均称为电能用户。

用电设备按其用途可分为动力用电设备（如电动机等）、工艺用电设备（如电解、电镀、冶炼、电焊、热处理等用电设备）、电热用电设备（如电炉、干燥箱、空调器等）、照明用电设备和试验用电设备等，它们将电能转换为机械能、热能和光能等不同形式，以满足生产、生活的不同需要。

知识链接

建筑供配电系统

建筑供配电系统是指所需的电力能源从进入建筑物（或小区）开始到所有用电设备终端的整个电路。建筑供配电系统由总降压变电所（或高压配电所）、高压配电线路、分变电所、低压配电线路及用电设备组成。

3.1.2 常见供配电系统
——供电降压方式多，总体要求差不多

供配电系统主要是指电力网。电力系统中除发电厂和用户以外的其余部分称为电力网，电力网一般指各级电压的变压器、输电线路和各种控制保护装置等。

供配电质量的总体要求是：安全、可靠、优质、经济。

安全——在电能的供应、分配和使用中，不应发生人身事故和设备事故。

可靠——应满足电能用户对供电可靠性的要求。

优质——应满足电能用户对电压质量和频率等方面的要求。

经济——应使供电系统的投资少、运行费用低，并尽可能地节约电能和减少有色金属的消耗量。

在供配电系统中，功率流动方向通常是单向的，即从电源端流向用户端，其主要目的是将电力系统中的电能通过降压和一定的分配方式变换成各电能用户的用电设备所能使用的电能。

对于不同规模的电能用户，由于其所需功率和供电范围的不同，应建立不同电压等级的配电网。

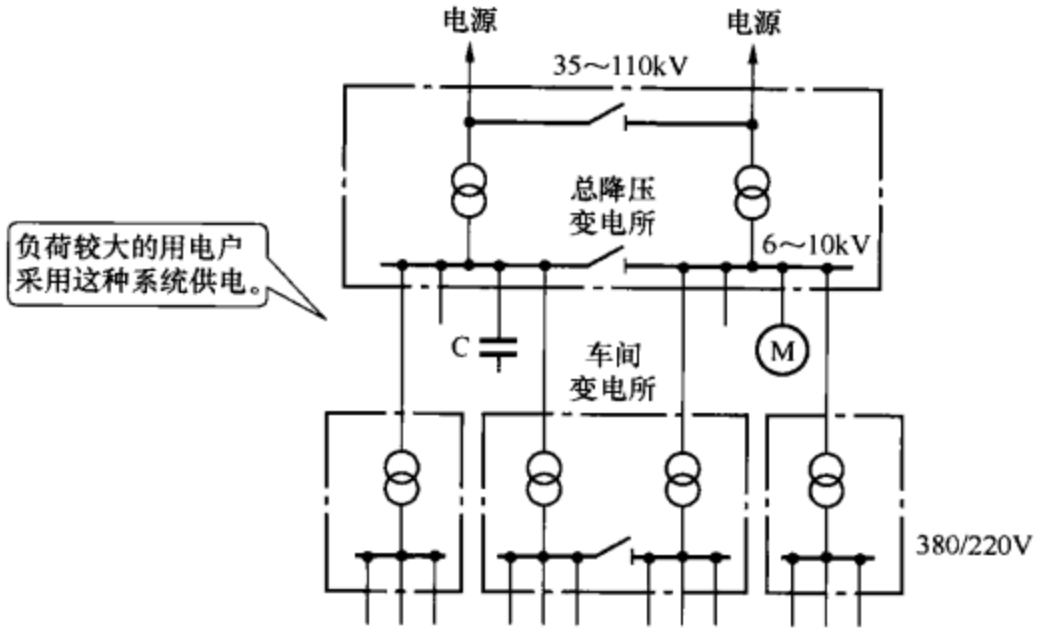
电网电压有四级，超高以及高中低。
大型电网超高电压，220以上千伏级。
常用高压有三种，三五、六零、一百一。
中压常用十千伏，变电输入电压级。
三百八和二百二，低压常用最好记。

电压等级不同，需要采用的降压级数也不一样。根据降压级数的不同，供配电系统可分为二级降压的供配电系统、一级降压的供配电系统和低压供电的小型供电系统。

1. 二次降压的供配电系统

大型、特大型建筑群和某些负荷较大的中型建筑或工业企业，一般采用具有总降压变电

所的二次变压供电系统，如图 3-3 所示。由总降压变电站将 110kV 或 35kV 电压降为 10kV 电压后送至分变电所，在分变电所再降至 380/220V 向用电设备供电。若有中压用电设备，则第一级降压至 3/6kV 后向中压用电设备供电，再将 3/6kV 降至 380/220V 后向低压配电设备供电。此时总降压变电所相当于区域变电所，分变电所相当于用户变电所。




变电装置一

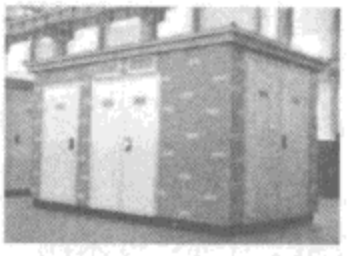

变电装置二

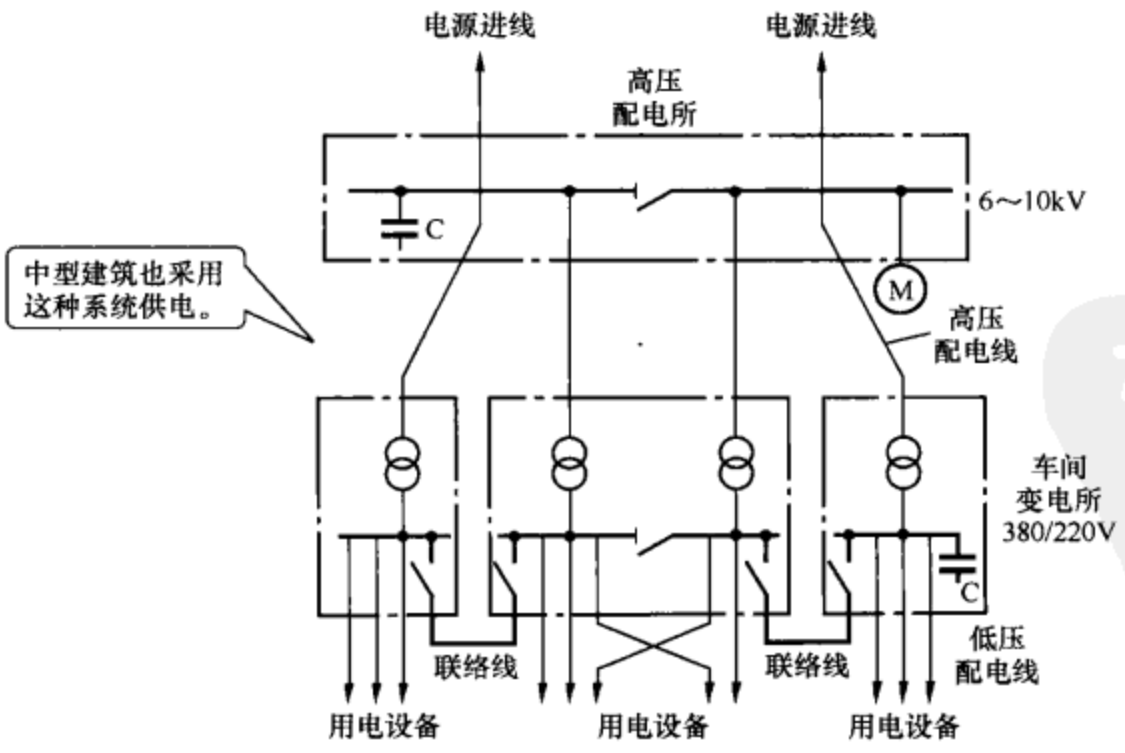
图 3-3　二次变压供电系统

2．一级降压的供配电系统

中型建筑或工业企业一般采用一级降压的供配电系统，由用户变电所将 10kV 电压降至 380/220V 后向用电设备供电。

（1）具有高压配电所的一次变压系统

一般中型建筑或建筑群多采用 6～10kV 电源进线，经高压配电所将电能分配给各分变电所，由分变电所将 6～10kV 电压降至 380/220V，供低压用电设备使用。同样，高压用电设备直接由高压配电所的 6～10kV 母线供电，如图 3-4 所示。




高压变电所


低压变电所

图 3-4　具有高压配电所的供电系统

（2）高压深入负荷中心的一次变压系统

对于某些中小型建筑或建筑群，如果本地电源电压为 35kV 且各种条件允许，可直接采用 35kV 电压作为配电电压，将 35kV 线路直接引入靠近负荷中心的变电所，再由车间变电所将其一次变压为 380/220V，供低压用电设备使用，如图 3-5 所示。

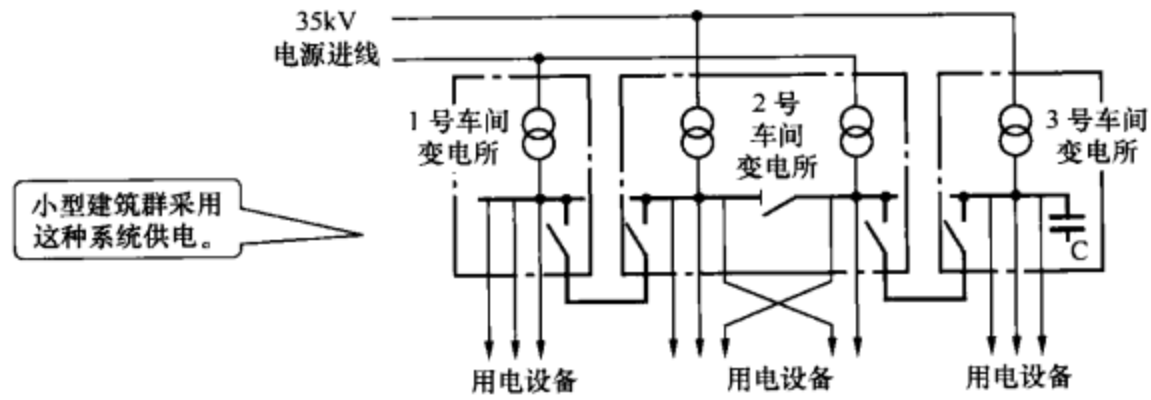


图 3-5　高压深入负荷中心的一次变压系统

（3）只有一个变电所的供电系统

对于小型建筑群或工业企业，由于用电量较少，根据其电能需求量的大小以及周边供配电设施的情况，可采用一级降压的供配电系统。通常只设一个将 6～10kV 电压降为 380/220V 电压的变电所，如图 3-6 所示。

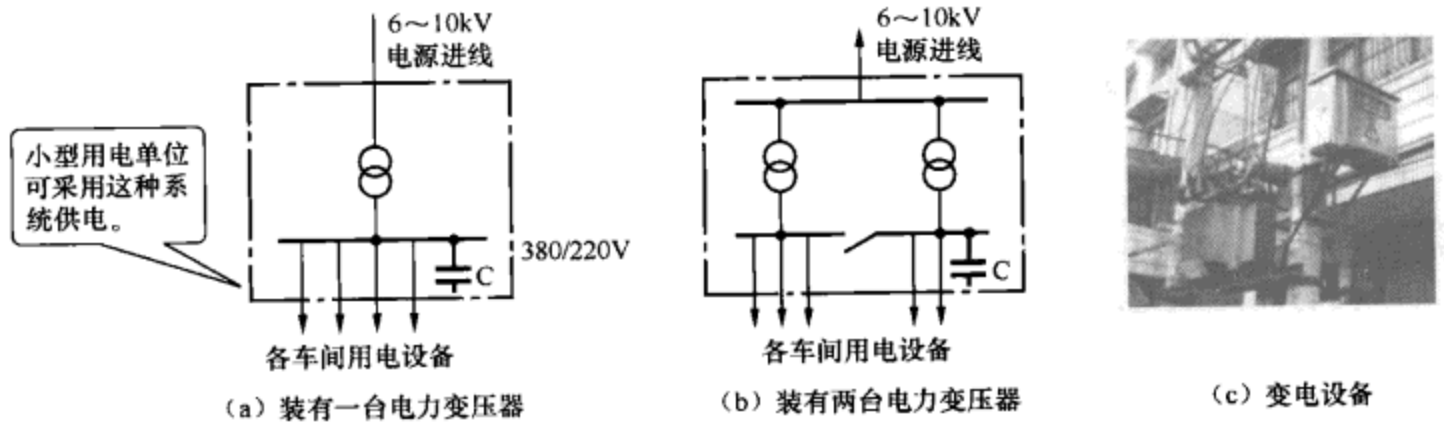


图 3-6　只有一个降压变电所的供电系统

3. 低压供电的小型供电系统

某些小型建筑或建筑群可直接由附近变电所的 380/220V 电源向用户供电。采用 380/220V 低压电源进线，只需设置一个低压配电室，将电能直接分配给各低压用电设备，如图 3-7 所示。

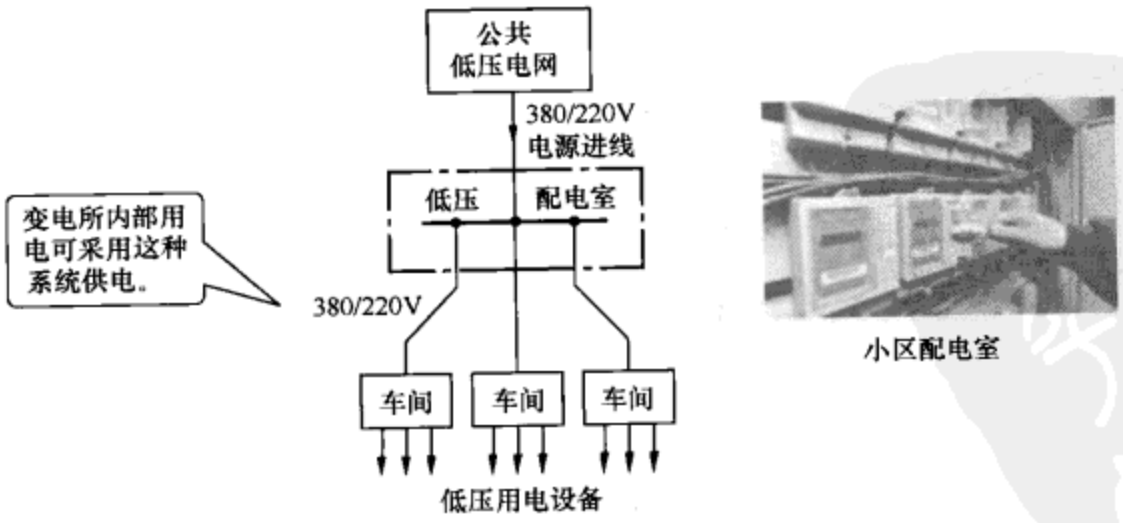


图 3-7　低压供电的小型供电系统

知识链接

电力系统的负荷

根据对负荷供电可靠性要求和允许停电程度的不同，目前我国将电力系统的负荷分为一级、二级和三级负荷。

一级负荷是指若停电将造成人身和设备事故、产生废品，使生产秩序长期不能恢复正常，或者产生严重的社会影响，使城市人民生活发生混乱等的用电负荷。属于一级负荷的有煤矿、化工厂、电台、医院、大型计算机中心、卫星地面站及电气化铁路等。

二级负荷是指若停电将造成大量减产，使城市人民生活受到影响等的用电负荷。属于二级负荷的有非连续生产工厂、一般机关团体、学校等。

一、二级负荷以外的负荷称为三级负荷，如工厂的多数车间、小城镇和农村等。



想一想　　供配电的质量要求是什么？如何理解它？

3.1.3 电力系统中性点的运行方式
——高压系统中性线，一旦接地不能变

选择电力系统中性点接地方式是一个综合性问题。它与电压等级、单相接地短路电流、过电压水平、保护配置等有关，直接影响电网的绝缘水平、系统供电的可靠性和连续性、主变压器和发电机的运行安全以及对通信线路的干扰等。

考虑到电力系统运行的可靠性、安全性、经济性，电力系统中性点运行方式有不接地、经消弧线圈接地、经高电阻接地和直接接地等。

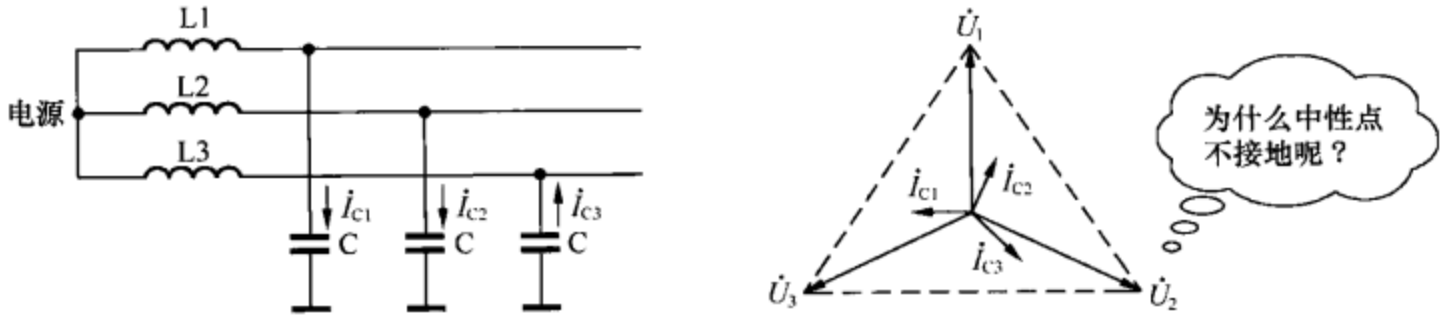
1. 中性点不接地的电力系统

中性点不接地方式即电力系统的中性点不与大地相接。

电力系统中的三相导线之间和各相导线对地之间都存在着分布电容。设三相系统是对称的，则各相对地均匀分布的电容可由集中电容 C 表示，线间电容电流数值较小，可不考虑，如图 3-8（a）所示。

在该系统正常运行时，3 个相电压 $\dot{U}_1$、$\dot{U}_2$、$\dot{U}_3$ 是对称的，三相对地电容电流 $\dot{I}_{C1}$ $\dot{I}_{C2}$、$\dot{I}_{C3}$ 也是对称的，其相量和为零，所以中性点没有电流流过。各相对地电压就是其相电压，如图 3-8（b）所示。

当系统的任何一相绝缘受到破坏而接地时，各相对地电压、对地电容电流都要发生改变。中性点不接地系统发生一相接地时有以下特点。



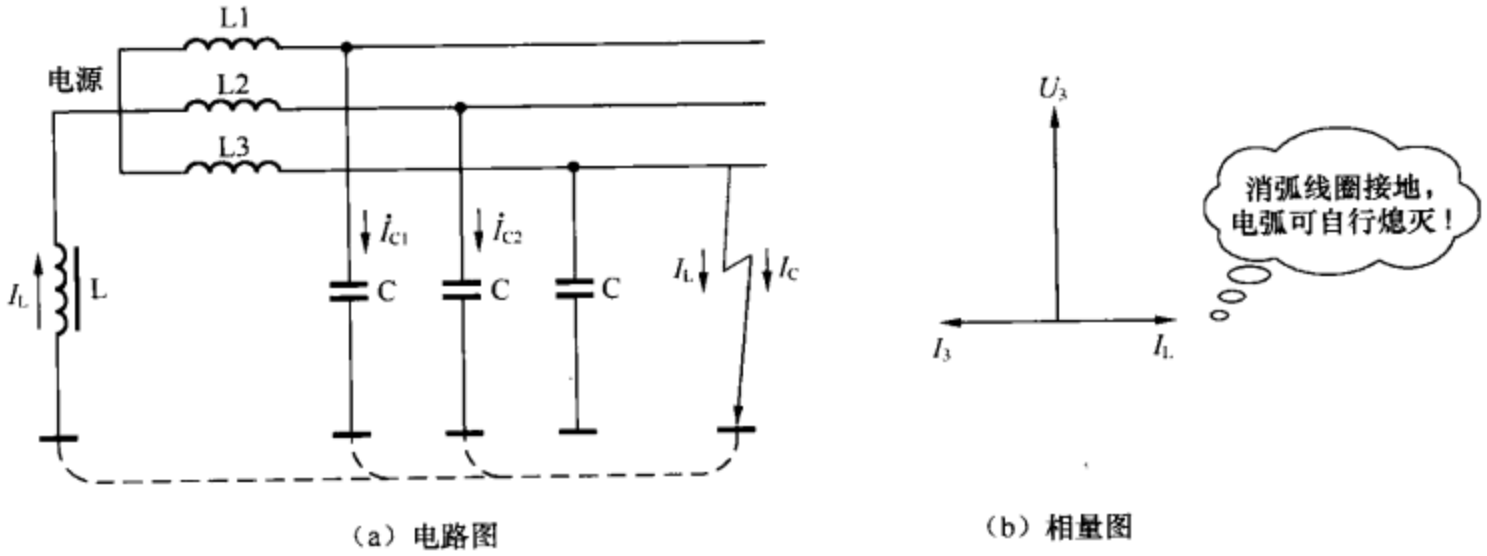
（a）电路图　　（b）相量图

图 3-8　正常运行时中性点不接地的电力系统

① 经故障相流入故障点的电流为正常时本电压等级每相对地电容电流的 3 倍。
② 中性点对地电压升高为相电压。
③ 非故障相的对地电压升高为线电压。
④ 线电压与正常时的相同。

2. 中性点经消弧线圈接地的电力系统

在中性点不接地系统中，当单相接地电流超过规定数值时电弧不能自行熄灭，一般采用经消弧线圈接地措施来减小接地电流，使故障电弧自行熄灭。这种方式称为中性点经消弧线圈接地方式，如图 3-9 所示。



（a）电路图　　（b）相量图

图 3-9　一相接地时的中性点经消弧线圈接地系统

3. 中性点经高电阻接地的电力系统

当接地电容电流超过允许值时，也可采用中性点经高电阻接地方式。此种接地方式和经消弧线圈接地方式相比，改变了接地电流相位，加速泄放回路的残余电荷，促使接地电弧自行熄灭，从而降低弧光间歇接地过电压，同时可提供足够的电流和零序电压，使接地保护可靠动作。该系统一般用于大型发电机中性点或单相接地故障电流较小的6～10kV配电系统中。这种方式适用于接地电容电流小于 10A 的场合。当发电机或变压器的 6～10kV 绕组为 Y 接线时，其原理接线图如图 3-10 所示；当变压器的 6～10kV 绕组为△接线时，其原理接线图如图 3-11 所示。

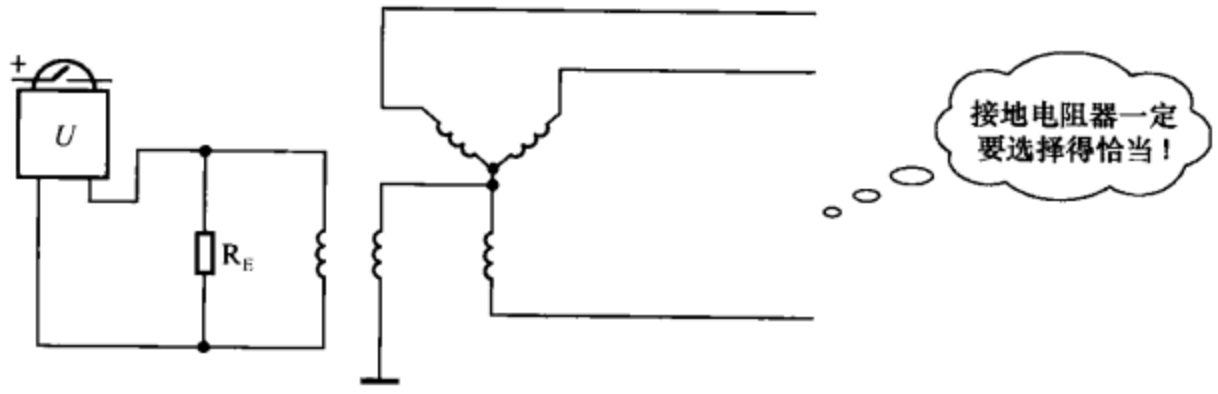


图 3-10 绕组为 Y 接线时中性点经高电阻接地原理图

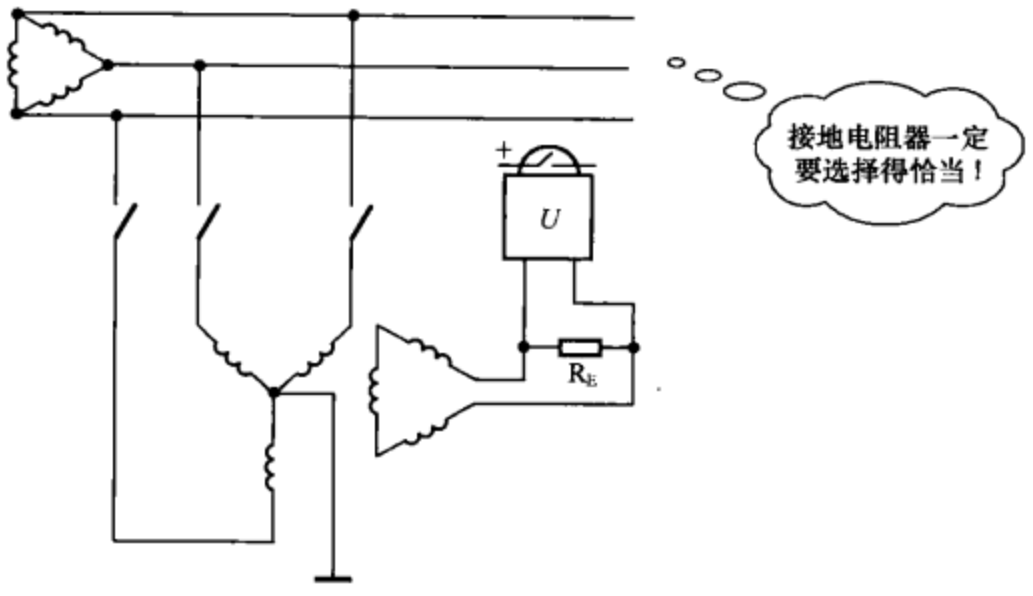


图 3-11 绕组为△接线时中性点经高电阻接地原理图

4. 中性点直接接地的电力系统

在电力系统中采用中性点直接接地方式，就是把中性点直接和大地相接，这种方式可以防止中性点不接地系统单相接地时产生间歇电弧过电压。

中性点直接接地系统又称为大电流接地系统，如图 3-12 所示。

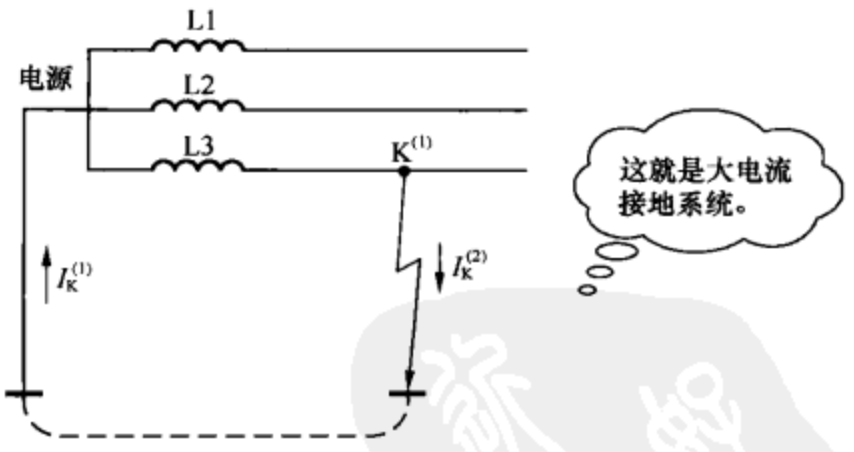


图 3-12 单相接地时的中性点直接接地

5. 中性点经低电阻接地的电力系统

随着我国现代化建设事业的发展，城市电网也正在向电缆化发展，35kV、6～10kV 电网的电容电流也在成比例增大。变压器 35～10kV 侧一般采用△接线，变压器中性点采用小电阻接地方式，其优点为：可以快速切除故障相线路，使过电压不致太高，并防止谐振过电压，所以可采用绝缘水平较低的电缆和设备。另外，可把异相故障的概率降至最低，并为采用简单的、有选择性和足够灵敏度的继电保护提供了可能性。经低电阻接地的 35kV、6～10kV 电力系统如图 3-13 所示。

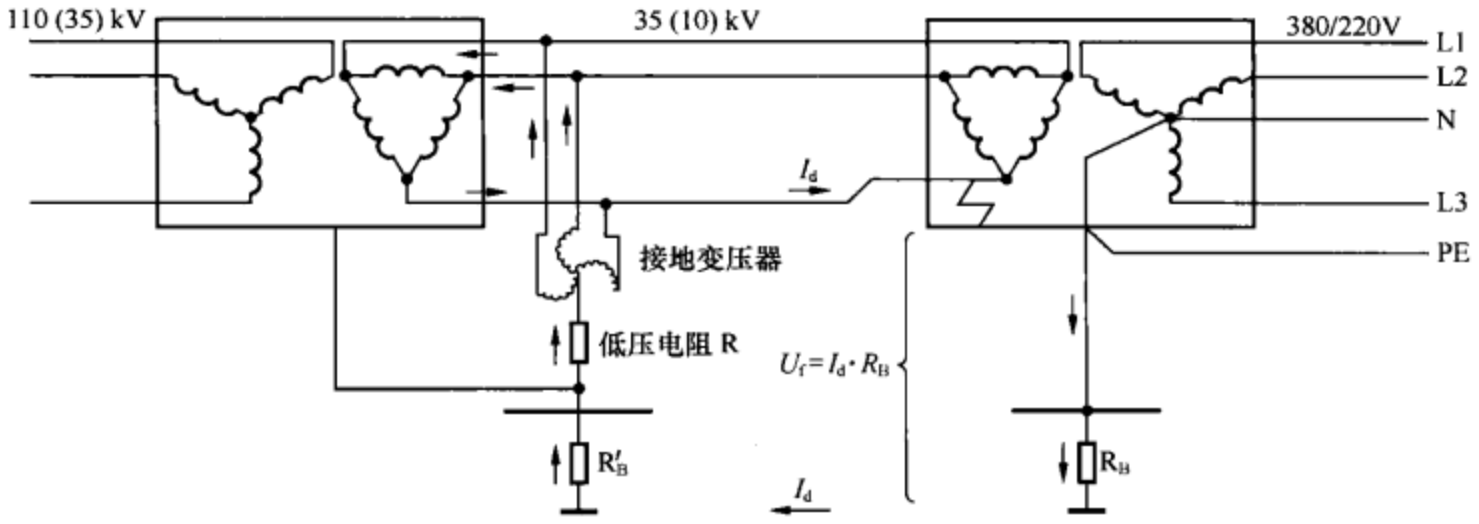


图 3-13　经低电阻接地的 35kV、6～10kV 电力系统



想一想

实地调查了解你所在地的电力系统中性点运行采用的是什么方式？这种方式有何优点？

3.1.4 低压配电系统的接地方式

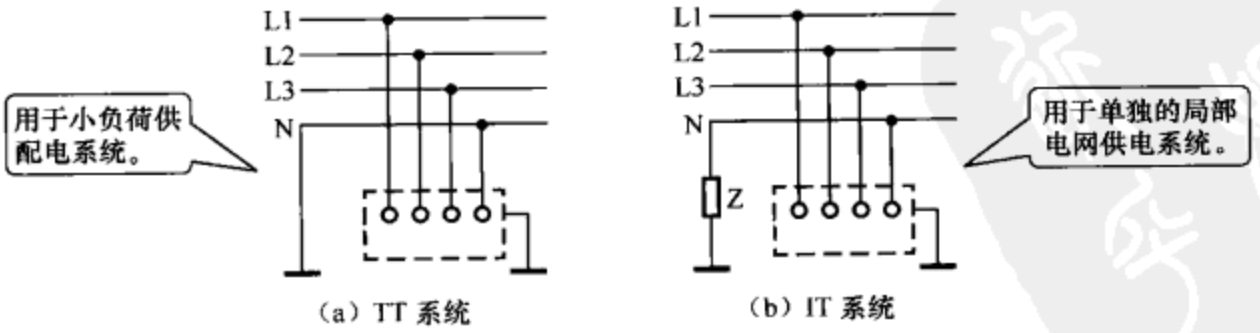
——低压接地有三种，根据需要选系统

三相交流低压电网的接地方式有 3 种 5 类，即 TN-S 系统、TN-C-S 系统、TN-C 系统、TT 系统和 IT 系统。

在接地方式的名称中，第一个字母 T 表示一点直接接地，I 表示所有带电部分与地绝缘。第二个字母表示用电设备的外露可导电部分对地的关系，其中 T 表示与地有直接的电气连接而与配电系统的任何接地点无关，N 表示与配电系统的接地点有直接的电气连接。第二个字母后面的字母表示中性线与保护线的组合情况，其中 S 表示分开（单独），C 表示公用，C-S 表示开头部分是公用，后面部分分开。

1. TT 系统和 IT 系统

图 3-14（a）所示的 TT 系统主要用于农村集体电网等小负荷供配电系统，接地保护可靠性完全取决于接地线的状态及其安装工艺。



（a）TT 系统　　（b）IT 系统

图 3-14　TT 系统和 IT 系统

TT 系统的配电变压器中性线 N 直接接地，并且只能是该点接地。中性线上其余各点的

绝缘要求与相线的绝缘要求相同。在 TT 系统中，用电设备的外壳可以安装接地线，称为保护接地线，用符号 PEN 表示。

值得特别注意的是，TT 系统的中性线上不允许单独安装开关，也不允许单独接熔断器。

低压电网要接地，TT 方式为其一。
此种供电应用广，农网低压最适宜。
配变中线用电壳，两者直接接大地。
电壳接地有名称，三个字母 PEE。
接地唯一配变点，地线绝缘与相齐。
为防中线不断裂，导线截面不可细。
中线不单装开关，也不许装熔断器。

图 3-14（b）所示的 IT 系统主要用于单独的局部电网。IT 系统的输电线路为三相三线制，配电变压器的中性线 N 不接地或者通过一个高阻抗接地，用电设备的外壳直接接地，称为保护接地，用符号 PEE 表示。

2．TN-C 系统

TN-C 系统的 N 线和 PE 线合用一根导线——保护中性线（PEN 线），所有设备的外露可导电部分（如金属外壳等）均与 PEN 线相连，又称为“三相四线制中性点直接接地系统”，如图 3-15 所示。当三相负荷不平衡或只有单相用电设备时，PEN 线上有电流通过。这种系统一般能够满足供电可靠性的要求，而且投资少，节约有色金属，所以在我国城市低压配电系统中的应用最为普遍。

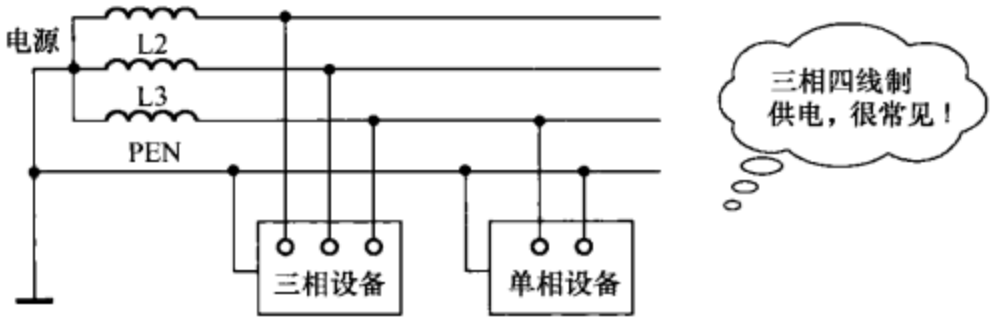


图 3-15　TN-C 系统

低压电网要接地，TN-C 为其一。
此种供电很广泛，城镇电网较适宜。
配变中线接大地，电壳中线连一起。
设备外壳保护线，将其命名为 PE。
中线重复来接地，安全用电更适宜。
为防中线惹祸端，所有规定同 TT。

3．TN-S 系统

TN-S 系统的 N 线和 PE 线是分开的，所有设备的外露可导电部分均与公共 PE 线相连，又称为三相五线制中性点直接接地系统，如图 3-16 所示。该系统的特点是公共 PE 线在正常情况下没有电流通过，因此不会对接在 PE 线上的其他用电设备产生电磁干扰。此外，由于其 N 线与 PE 线分开，因此其 N 线即使断开也不影响接在 PE 线上的用电设备，提高了用电的安全性。所以，这种

系统多用于环境条件较差、对安全性和可靠性要求高及用电设备对电磁干扰要求较严格的场所。

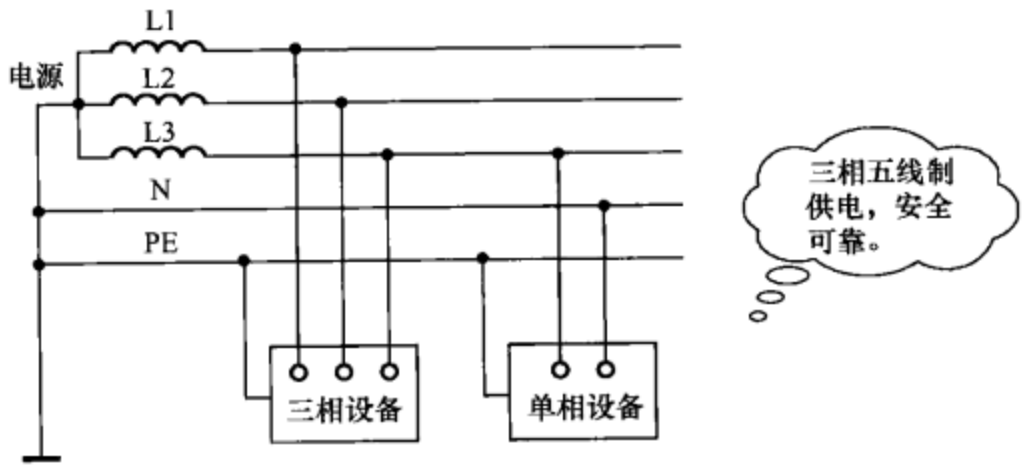


图 3-16　TN-S 系统

4．TN-C-S 系统

TN-C-S 系统的前部为 TN-C 系统，后部为 TN-S 系统（或部分为 TN-S 系统），如图 3-17 所示。它兼有 TN-C 系统和 TN-S 系统的优点，常用于配电系统末端环境条件较差且要求无电磁干扰的数据处理或具有精密检测装置等设备的场所。

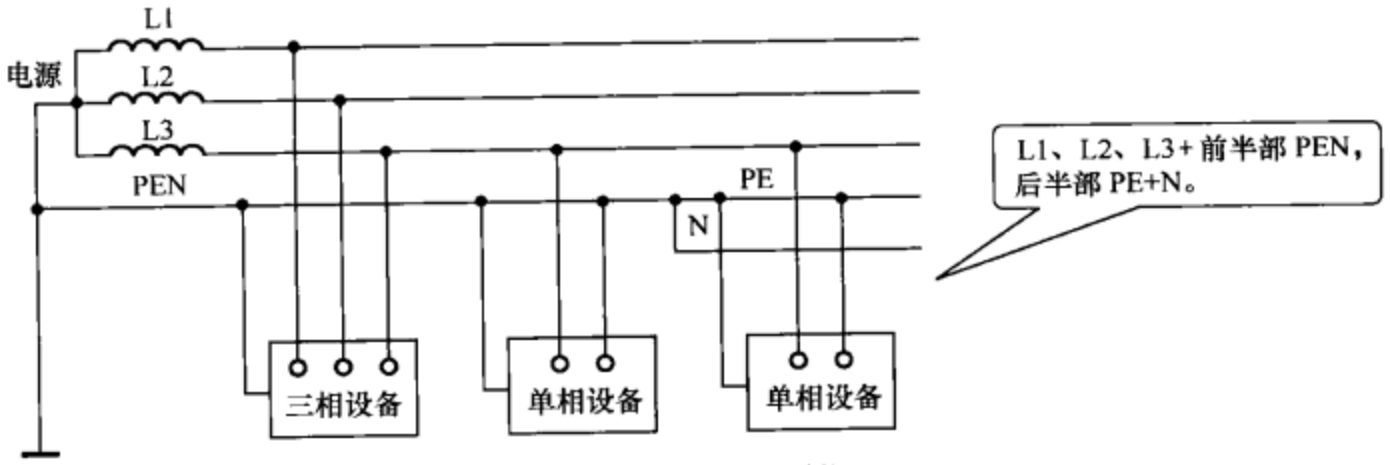


图 3-17　TN-C-S 系统

知识链接

TN 系统及中性线的作用

我国的低压配电系统通常采用三相四线制，即 380/220V 低压配电系统，该系统采用电源中性点直接接地方式，而且引出中性线（N 线）或保护线（PE 线）。这种将中性点直接接地且引出中性线或保护线的三相四线制系统称为 TN 系统。

在低压配电的 TN 系统中，中性线（N 线）不可或缺，其作用有三：一是用来接驳相电压为 220V 的单相设备，二是用来传导三相系统中的不平衡电流和单相电流，三是减小负载中性点电压偏移。

想一想　接地保护和接零保护是一回事吗？

3.1.5 一次回路和二次回路的划分
——电能传输主电路，二次设备作辅助

工厂变电所的设备可分为一次设备和二次设备。传输电能的电路称为主电路，主电路中的设备都是一次设备；对一次设备进行操作控制和运行管理的测量表计、控制及信号装置、继电保护装置、自动和远动装置等统称为二次设备。表示二次设备相互连接关系的电路称为二次回路。一次回路是主电路，二次回路是主体设备的辅助电路。

如果将电力系统比喻成一个人的话，其一次回路是人的骨骼和肌肉，而二次回路线则是神经系统，只有二者都处于良好的状态，才能保证电力系统正常工作。

1．一次回路

系统中用于变换和传输电能的部分称为一次部分，其设备称为一次设备。

一次设备是指直接发电、输电、变电、配电、供电的主系统中所用的设备，如发电机、变压器、开关、接触器、电动机、电热器、输电线路、互感器、避雷器、无功补偿装置等。由这些设备组合而成的电路称为一次回路，见图 3-18。

只有一次系统可进行电能的接收、变换和分配，但不能进行监测和了解运行情况，更不能对系统进行保护（即自动发现并排除故障）和控制。

2．二次回路

用于监测运行参数（电流、电压、功率等）、保护一次设备、自动进行开关投切操作的部分称为二次系统，其设备称为二次设备（如测量仪表、保护装置、自动装置、开关控制装置、操作电源、控制电源等，见图 3-19）。由这些设备组合而成的电路叫二次回路。二次回路包括控制系统、信号系统、监测系统及继电保护和自动化系统等。

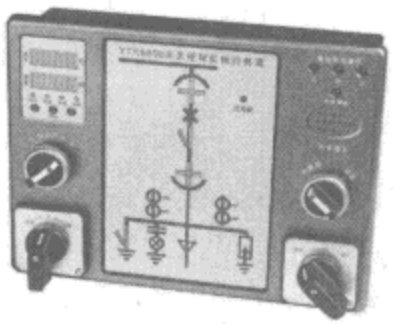


图 3-18　一次回路模拟图

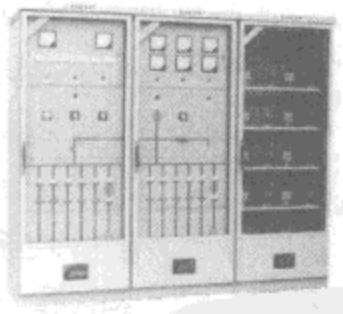


图 3-19　二次设备

二次回路配合一次回路工作，构成一个完整的供配电系统。二次设备的主要作用是对一次设备的工作进行监测、控制、调节及保护，它们还可为运行、维护人员提供运行状态信息或生产指挥信号，如熔断器、控制开关、继电器、计量和测量表计、控制电缆等。

二次回路按电源性质分为直流回路和交流回路。直流回路是由直流电源供电的控制回路（电动回路和自动回路）、保护回路和信号回路。交流回路又分交流电流回路和交流电压回路。交流电流回路由电流互感器供电，交流电压回路由电压互感器或所用变压器供电，构成计量和测量、控制、保护、监视、信号等回路。

二次回路按其用途分为断路器控制（操作）回路、信号回路、测量回路、继电保护回路和自动装置回路等。

二次回路的主要特点是：元件多，接线复杂。一座中等容量的 35kV 工厂变电所所用一次设备一般约为 50 台（件），而其二次设备却可达到 400 多件。一次设备通常只是相邻连接，导线只有 2～4 根（单相为 2 根，三相三线制为 3 根，三相四线制为 4 根），而二次设备之间的连接导线往往跨越较远的距离，交错相连，接线相当复杂，是变配电装置中读图的难点。

供电系统中的电气工程图可分为一次回路图、二次回路图和自动装置图，下面分别介绍这几种电气工程图。

股　票

有两位股民看好电力板块，一位买了明星电力，另一位买了西昌电力。半年后两位相遇，谈及股票，买明星电力的直摇头。

买西昌电力的笑着说："明星电力怎么能买，遂宁那个地方，历来都是星星（我国卫星接收地）往下掉，什么时候升起过？你应该买我的，我那儿才是升星的（西昌卫星发射场）。"



3.2 一次回路图——读图入手看主变

一次系统设备多，高压低压分别看。
接线方式有三种，概略图纸来呈现。
系统庞大较复杂，划分单元是关键。
电能流向为线索，彼此关系要分辨。
回路结构须理清，掌握功能和特点。
读图入手看主变，再看电源进出线。
参数信息应清楚，配电设备多查看。
遵循程序细分析，由浅入深反复练。

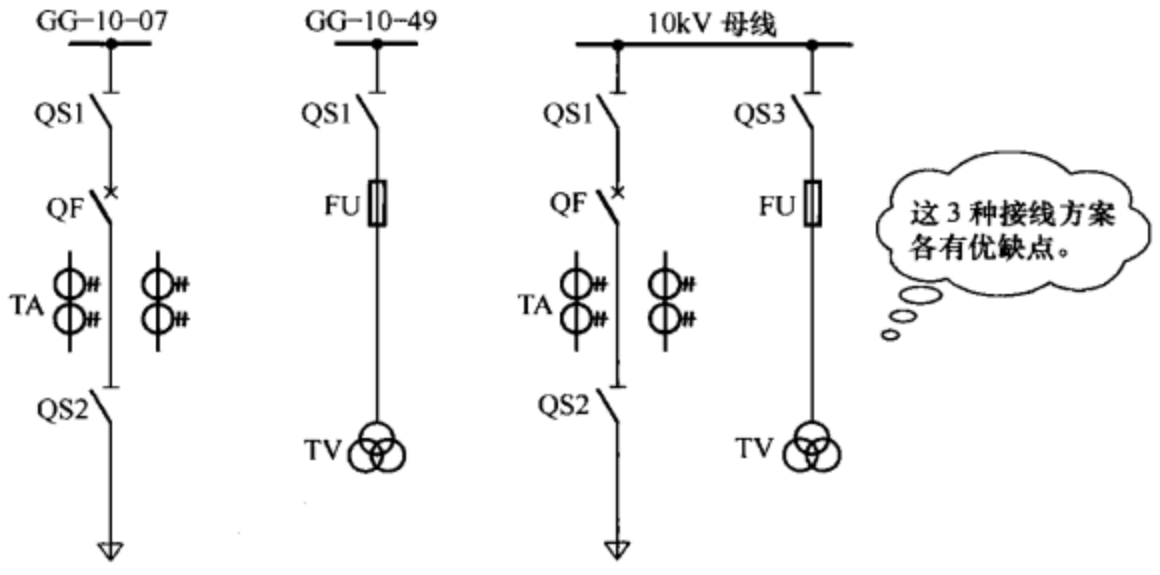
一次回路图是表示供配电系统中电能输送和分配路线的接线图，也称为主接线图。它是由电力变压器、开关电器、互感器、母线、电力电缆等电气设备连接而成的用于接收和分配电能的电路图，也是描述一次设备的全部组成和连接关系、表示电路工作原理的简图。

电力系统一次回路图的形式很多，但读图的方法是一致的。读一次回路图一般是从主变压器开始，了解主变压器的技术参数，然后向上看高压侧的接线，再看低压侧的接线。在一个电力网中，按照不同的接线方式，一次回路图有放射式、树干式和环式 3 种基本形式。

3.2.1 高压一次回路图
——基本线路有三种，概略图纸要看懂

高压配电设备通常采用各种型号的高压配电柜。图 3-20 所示为高压配电柜一次回路的 3 种接线方案，它们均以概略图的形式来反映供配电电路的情况。图 3-20（a）所示为采用高压隔离开关与高压断路器配合方式的一次回路，图 3-20（b）所示为采用隔离开关和熔断器配合方式的一次回路，图 3-20（c）为采用某一馈线单元的概略图。





（a）GG-10-07 方案　（b）GG-10-49 方案　（c）GG-10-54 方案

图 3-20　高压配电柜一次回路的 3 种接线方案

1．放射式线路图

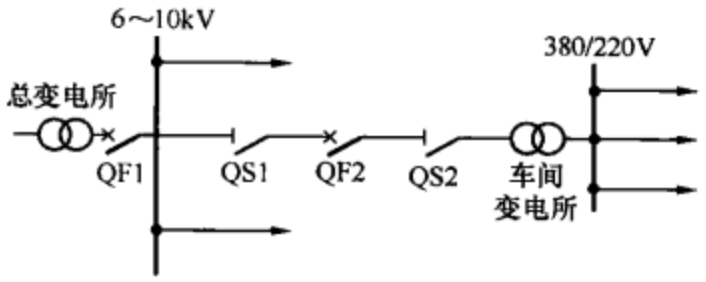
放射式线路可分为单回路放射式线路和双回路放射式线路。图 3-21 为高压放射式接线系统图。放射式线路之间互不影响，便于装设自动装置，但是高压开关设备用得较多，且每台高压断路器须装设一个高压开关柜，从而使投资增加。

放射式线路发生故障或检修时，由该线路供电的负荷都要停电，因此供电可靠性不高，一般适用于三级负荷供电场所。要提高供电的可靠性，可在各变电所高压侧之间或低压侧之间敷设联络线；要进一步提高其供电可靠性，还可采用来自两个电源的两路高压进线，然后经分段母线，由两段母线用双回路对用户交叉供电，如图 3-21（c）所示。这种方式一般适用于为二级负荷供电。

2．树干式线路图

图 3-22 为高压树干式接线系统图。与放射式接线相比，树干式接线具有以下优点：在多数情况下能减少线路的有色金属消耗量，所用高压开关数量少，投资较少。树干式线路有下列缺点：供电可靠性较低，当高压配电干线发生故障或检修时，接在干线上的所有变电所都要停电，在实现自动化方面适应性较差。因此，这种线路一般适用于为三级负荷供电。

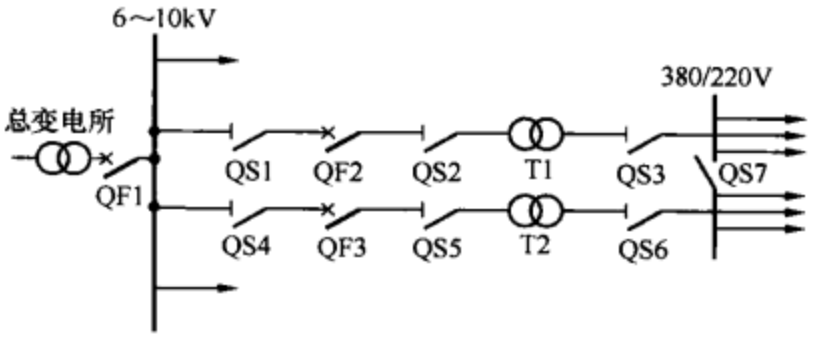
要提高供电可靠性，可采用单侧双回路或者两端供电的接线方式，通过联络开关来选择供电方式，这样供电可靠性就得以提高了，此系统适用于为三级负荷和一些次要场合的二级负荷供电。



（a）单回路放射式



组合式变电站

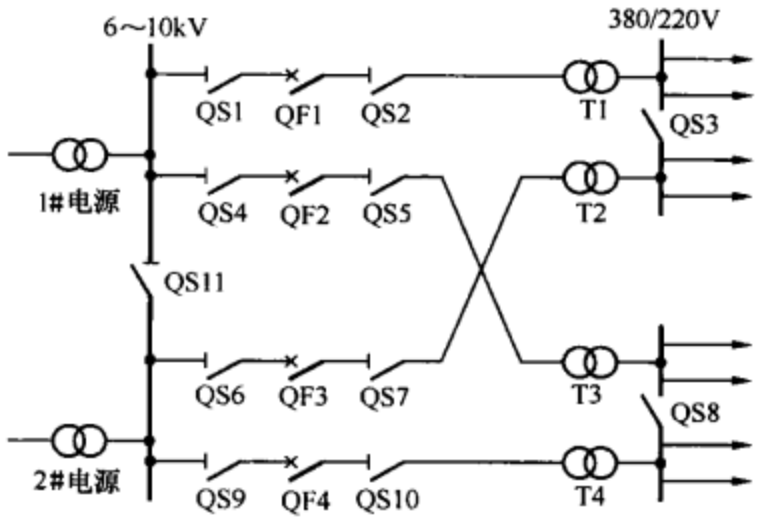


（b）单电源双回路放射式



箱式变电站

放射式线路的突出优点是出线互不影响，供配电可靠性高，但成本较高。



（c）双电源双回路放射式

图 3-21　高压放射式接线系统图

3．环式线路图

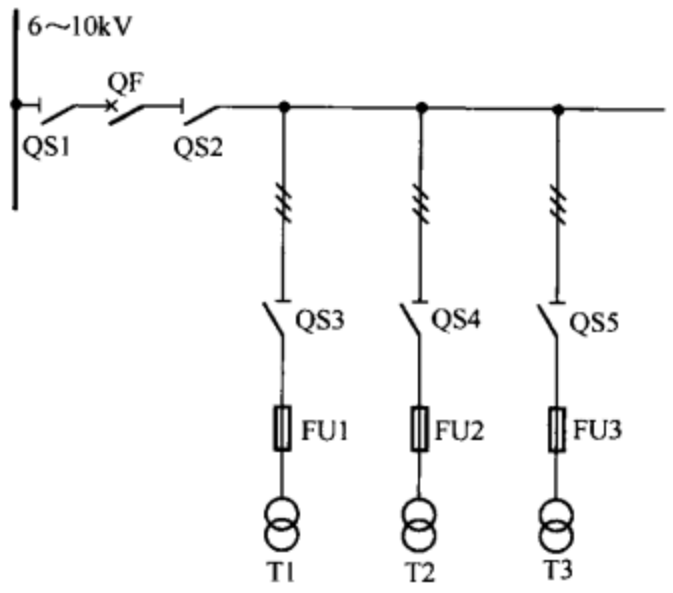
图 3-23 为环式接线系统图。环形接线实质上是两端供电的树干式接线。这种接线在现代城市电网中的应用很广泛。为了避免环式线路发生故障时影响整个电网，也为了便于实现线路保护的速断性，大多数环形线路采用“开口”运行方式，即环式线路中有一处开关是断开的，此时并不影响其他段干线向其负荷供电。该系统适用于为三级或二级负荷供电。

实际上，高压配电系统往往是上述几种接线方式的组合，依具体情况而定。不过一般来说，高压配电系统宜优先考虑采用放射式供电方式。在工厂，对于供电可靠性要求不高的生产区和生活区，一般采用树干式供电方式或环式供电方式，比较经济。

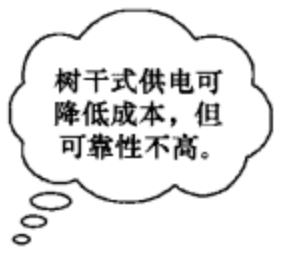
知识链接

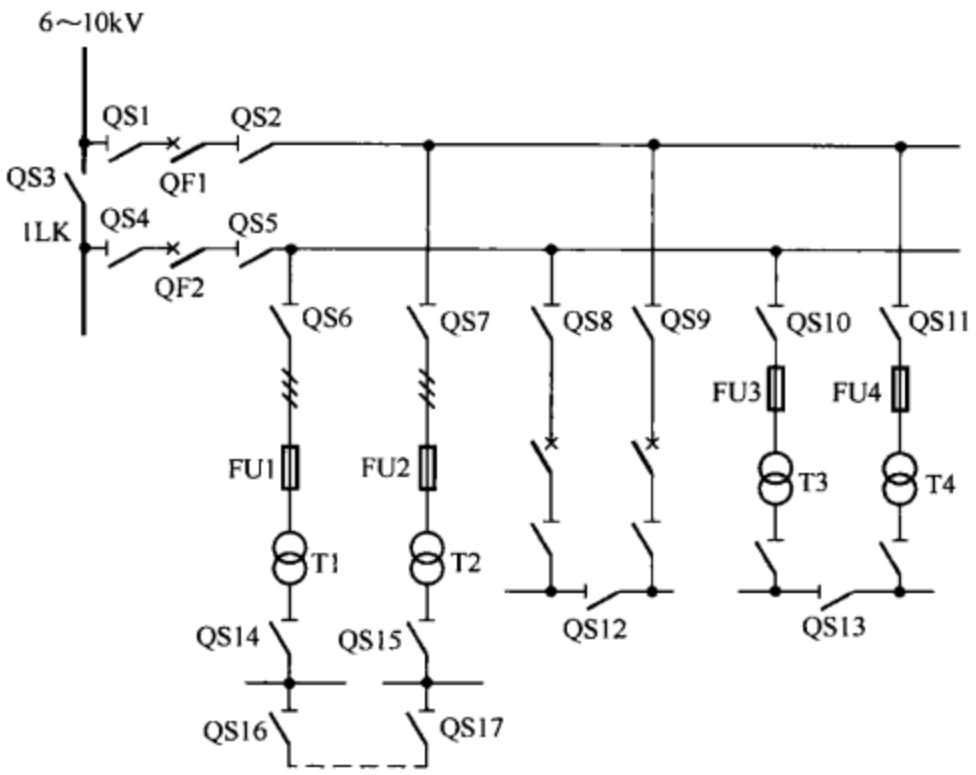
一次系统图的基本表述方法

① 一次系统图一般用概略图来描述。通常仅用符号表示各项设备，而对设备的技术参数、电气接线、电气原理等不作详细表示。



（a）单回路树干式





（b）单侧双回路树干式

图 3-22　高压树干式接线系统图

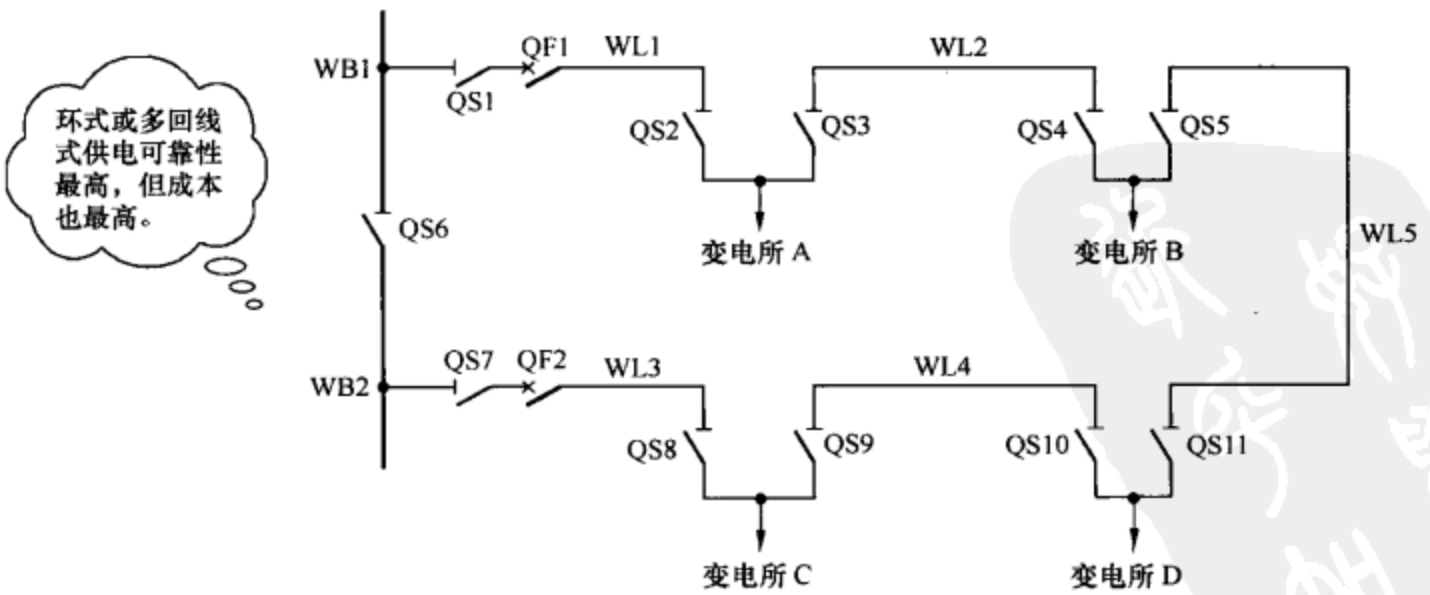


图 3-23　环式线路接线系统图

② 为了简化作图，对于相同的项目，其内部构成只描述了其中的一个，其余项目只在功能框内注以“电路同××”，避免重复描述。

③ 较小系统的电气一次系统图一般画成单线示意图，并以母线为核心将各个设备及项目（如电源、负载、开关电器、电线电缆等）联系在一起。

④ 母线的上方为电源进线，电源的进线如果以出线的形式送至母线，则将此电源进线引至图的下方，然后用转折线接至开关柜，再接到母线上。母线的下方为出线，一般都是经过配电屏中的开关设备和电线电缆送至负载的。

⑤ 在电气系统一次电路图中，通常要标注主要项目的技术数据及设计参数，如设备容量、计算容量、计算电流及各路出线的安装功率、电压损失等。

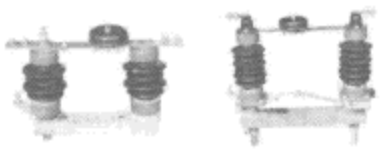
3.2.2 工厂变电站一次回路图
——工厂自建变电站，一次接线较简单

在小型工厂的变电站，一般是将 6～10kV 高压降为用电设备所需要的 380/220V 低压来配电的，这类变电站有的只安装有一台主变压器，有的安装有两台主变压器，一般来说其一次回路接线都比较简单。

1．只安装有一台主变压器的变电站

根据系统高压侧所用开关电器的不同，大致有 3 种类型的接线方案。

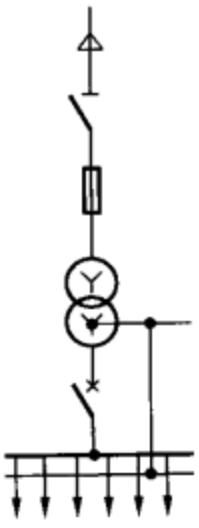
① 高压侧采用隔离开关和熔断器的接线方案，如图 3-24 所示。



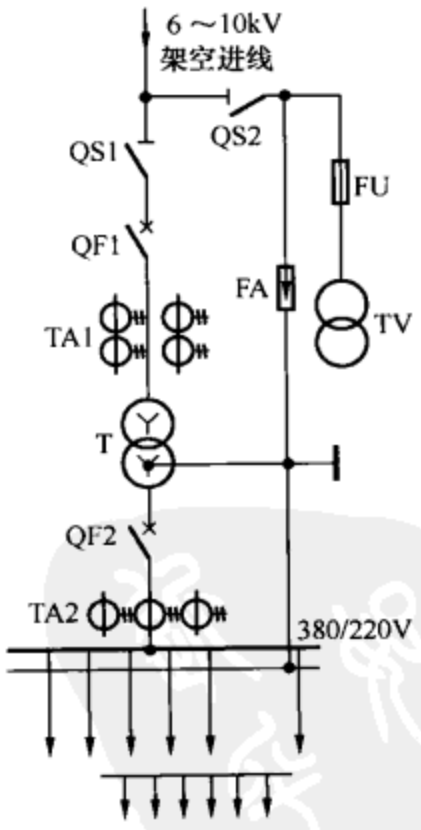
10kV 高压隔离开关



跌落式熔断器

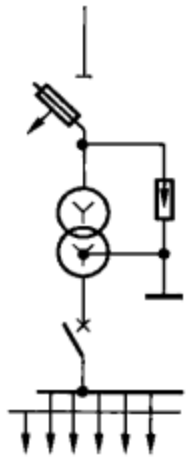


（a）在高压电缆进线上安装隔离开关和熔断器（室内）

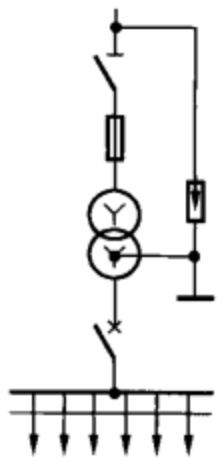


（b）在高压电缆进线上安装跌落式熔断器（室外）

图 3-24　高压侧采用隔离开关和熔断器的变配电站一次电路图



（c）在高压架空进线上安装跌落式熔断器和避雷器（室外）

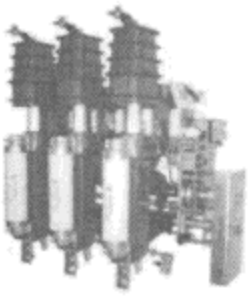


（d）在高压架空进线上安装隔离开关和避雷器（室外）

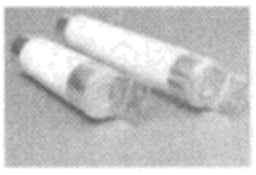
图 3-24　高压侧采用隔离开关和熔断器的变配电站一次电路图（续）

高压侧不用母线，仅装有隔离开关和熔断器（或跌落式熔断器），低压侧为 380/220V，采用隔离开关和跌落式熔断器接通或分断空载变压器。熔断器用来保护变配电站的短路故障。这种接线方案的供电可靠性不高，适用于三级负荷容量在 500kVA 以下的变电站。

② 高压侧采用负荷开关和熔断器的接线方案，如图 3-25 所示。



高压负荷开关



高压熔断器

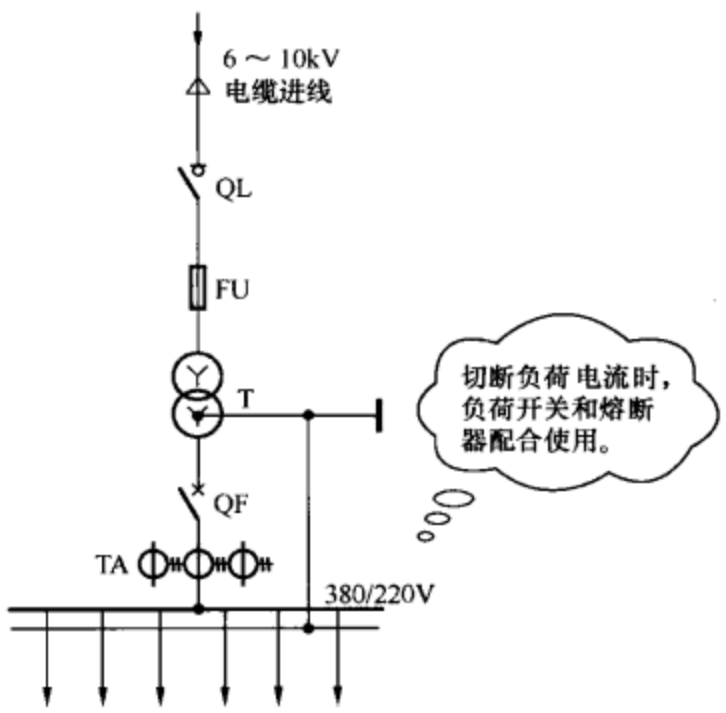


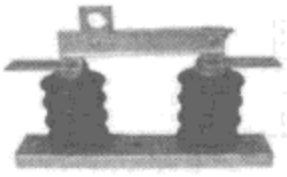
图 3-25　高压侧采用负荷开关和熔断器的变配电站一次回路图

这种方案的负荷开关具有简单的灭弧装置，所以能在带负荷情况下进行操作，使变电站进行停电或送电的操作比较灵活简便。但负荷开关的灭弧能力比断路器差，只能切断负荷电流，所以在线路发生过载或短路故障时需要和熔断器配合使用。

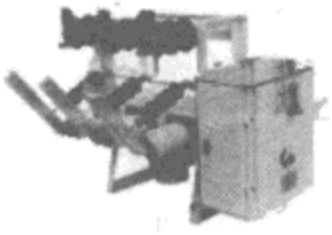
如果使用内部装有高压熔断器和负荷开关的环网柜，就能可靠地保护变压器，并且能方便地实现环形接线，从而使供电的可靠性得到进一步保证。

③ 高压侧采用隔离开关和断路器的接线方案，如图 3-26 所示。

这个系统在高压侧采用了断路器，使变压器的切换操作灵活方便。隔离开关在线路中起到将负载与电源隔开的作用，确保检修过程的安全。线路正常切换时，通过隔离开关和断路器配合使用完成操作；当线路发生过载或短路故障时，继电保护装置能实现使断路器自动跳闸的作用，并且当过载或短路故障消失后又能直接迅速合闸。



10kV 高压隔离开关



10kV 高压断路器

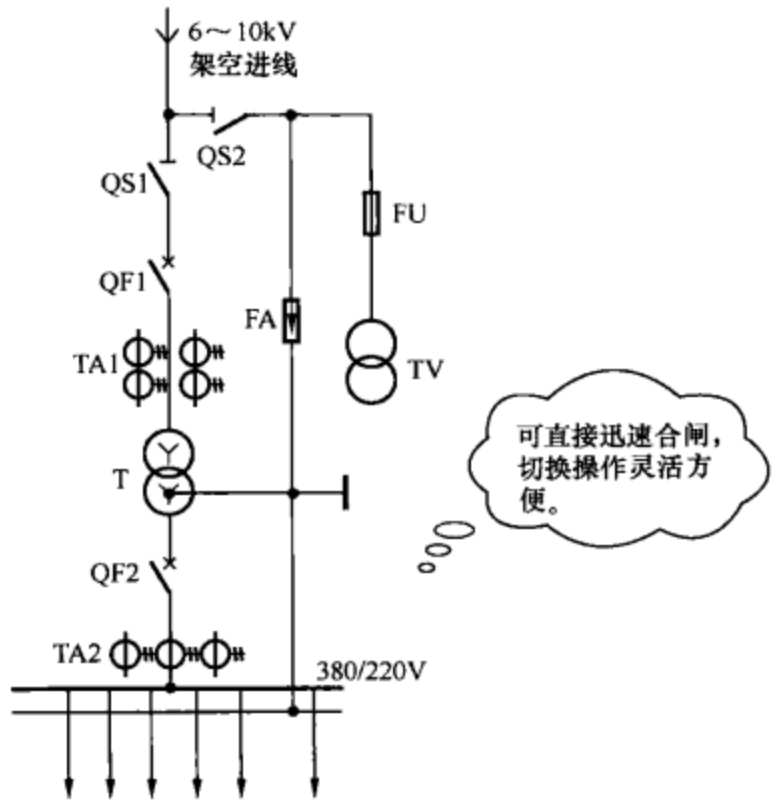
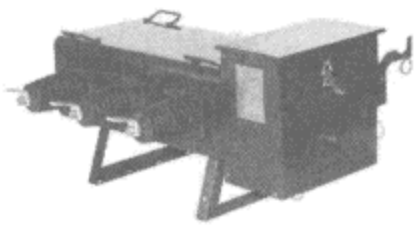


图 3-26　高压侧采用隔离开关和断路器的变配电站一次回路图



倒闸联络开关

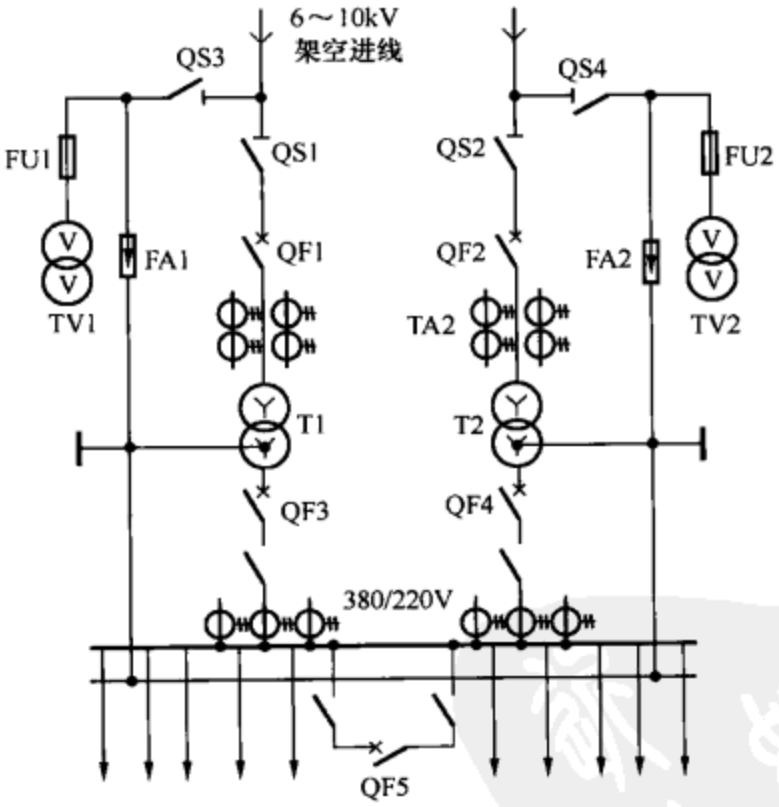


图 3-27　高压侧无母线、低压侧单母线分段的变电站一次回路图

2. 装有两台主变压器的小型变电站

安装有两台主变压器的小型变电站一次回路图可分为以下几种。

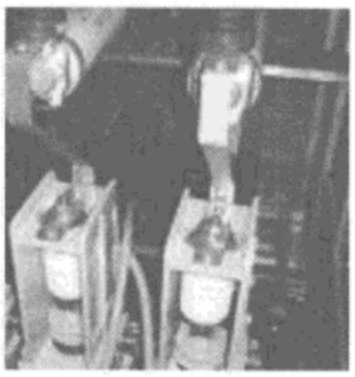
① 高压侧无母线、低压侧单母线分段的变电站一次回路图，如图 3-27 所示。

该系统的最大特点是采用两路电源进线方式，有两台主变压器。倒闸联络开关 QF5 用于任意一台主变压器或任意一路电源线停电检修或发生故障时恢复向负载继续供电，因此该系统的供电可靠性较高。

② 高压采用单母线、低压单母线分段的变电站一次回路图，如图 3-28 所示。



高压单母线



室内低压单母线

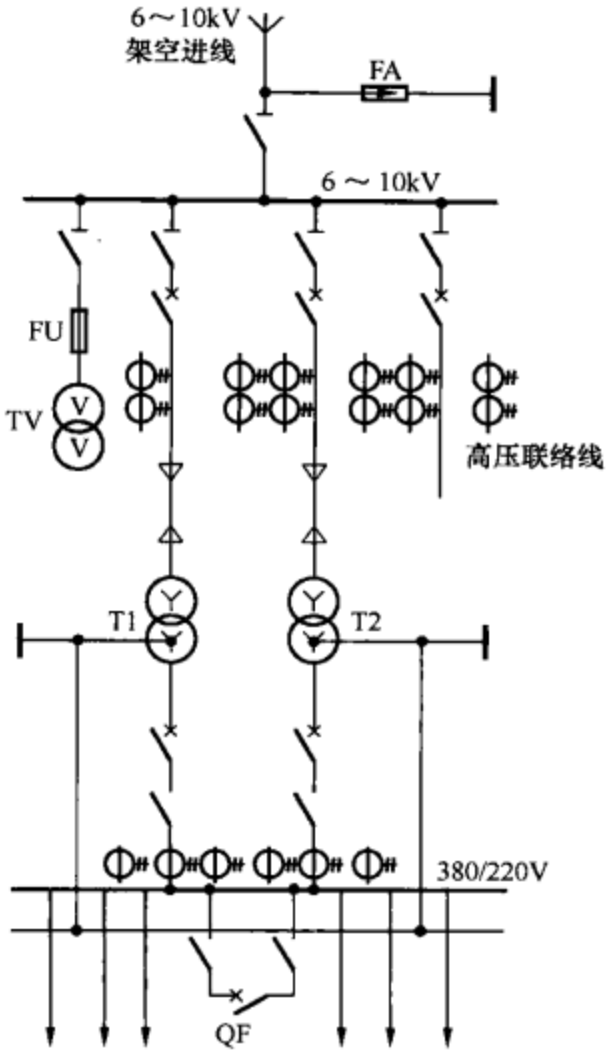


图 3-28 高压采用单母线、低压单母线分段的变电站一次回路图

这种接线适用于装有两台及以上主变压器或具有多路高压出线的变压器。当任一台变压器需要进行检修或发生故障停电时，通过一系列的倒闸操作，可恢复向负载继续供电。

③ 高低压侧均为单母线分段的变电站一次回路图，如图 3-29 所示。

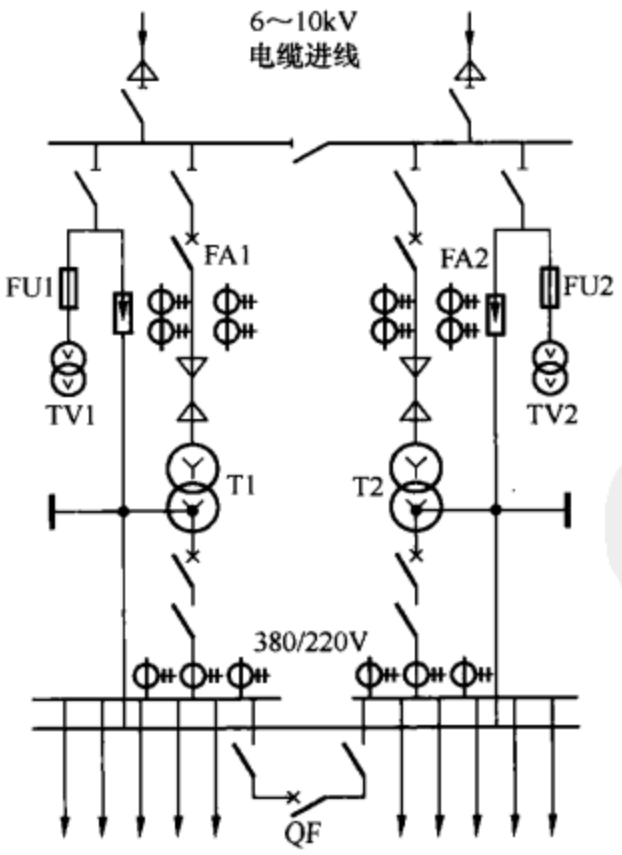


图 3-29 高低压侧均为单母线分段的变电站一次回路图

这种系统的特点是两段高压母线在正常时可以接通运行，也可以分段运行。当线路中某一部分发生故障时，通过一系列倒闸操作，可以将故障部分切除，然后继续对整个变电站进行供电，其供电可靠性很高，可向一、二级负荷供电。



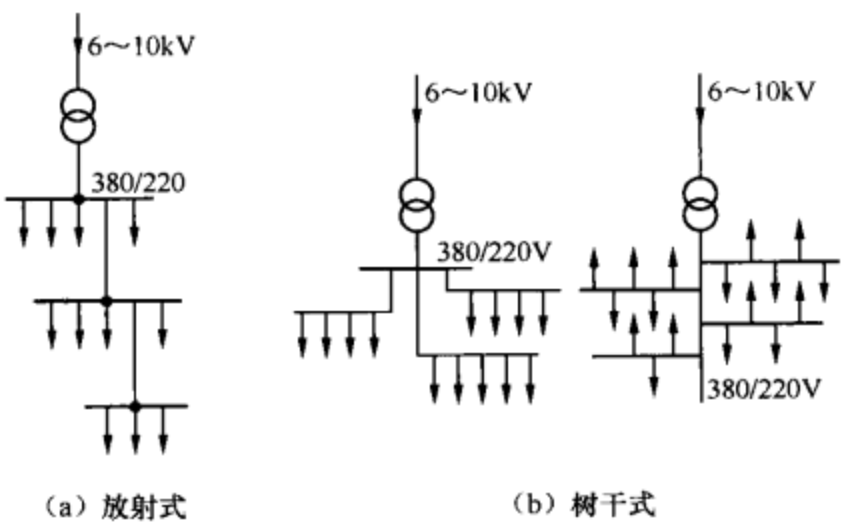
想一想

工厂变电站一次回路图有何特点？

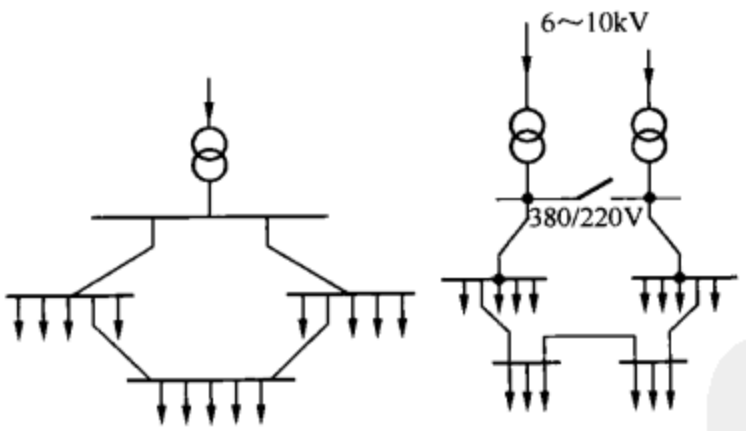
知识链接

低压一次系统图

低压供电电路的接线方式应根据负荷的等级、大小、分布情况和技术等级的不同要求，采用不同的接线方式。低压一次回路也有放射式、树干式和环式等基本接线方式，其原理与高压一次系统基本相似，这里只提供 3 种接线方式的一次回路图（如图 3-30 所示），不再重复叙述其原理，请读者自己分析。



（a）放射式　　（b）树干式



（c）环式

图 3-30　低压系统一次回路图

技能提高

一次系统图识图程序

一次回路图一般以各配电屏单元为基础组合而成，识读时应按照图样标注的配电屏型号

查阅有关手册，把有关配电屏电气系统一次回路图看懂。

一次回路图上一般都标注一些重要参数，如设备容量、负荷等级、线路电压损失等，识图时借助这些参数可获得一些重要信息，对看懂电气图有很大帮助。

路径程序：一般按照电能输送路径的走向进行，即电源进线→母线→开关→设备→馈线等。

先后程序：一般按照先高压后低压的顺序进行，即主变压器（了解主变压器的技术参数）→高压侧接线→低压侧接线。

看图实践

例 3-1　简要分析图 3-31 所示的某工程供电系统主电路图。

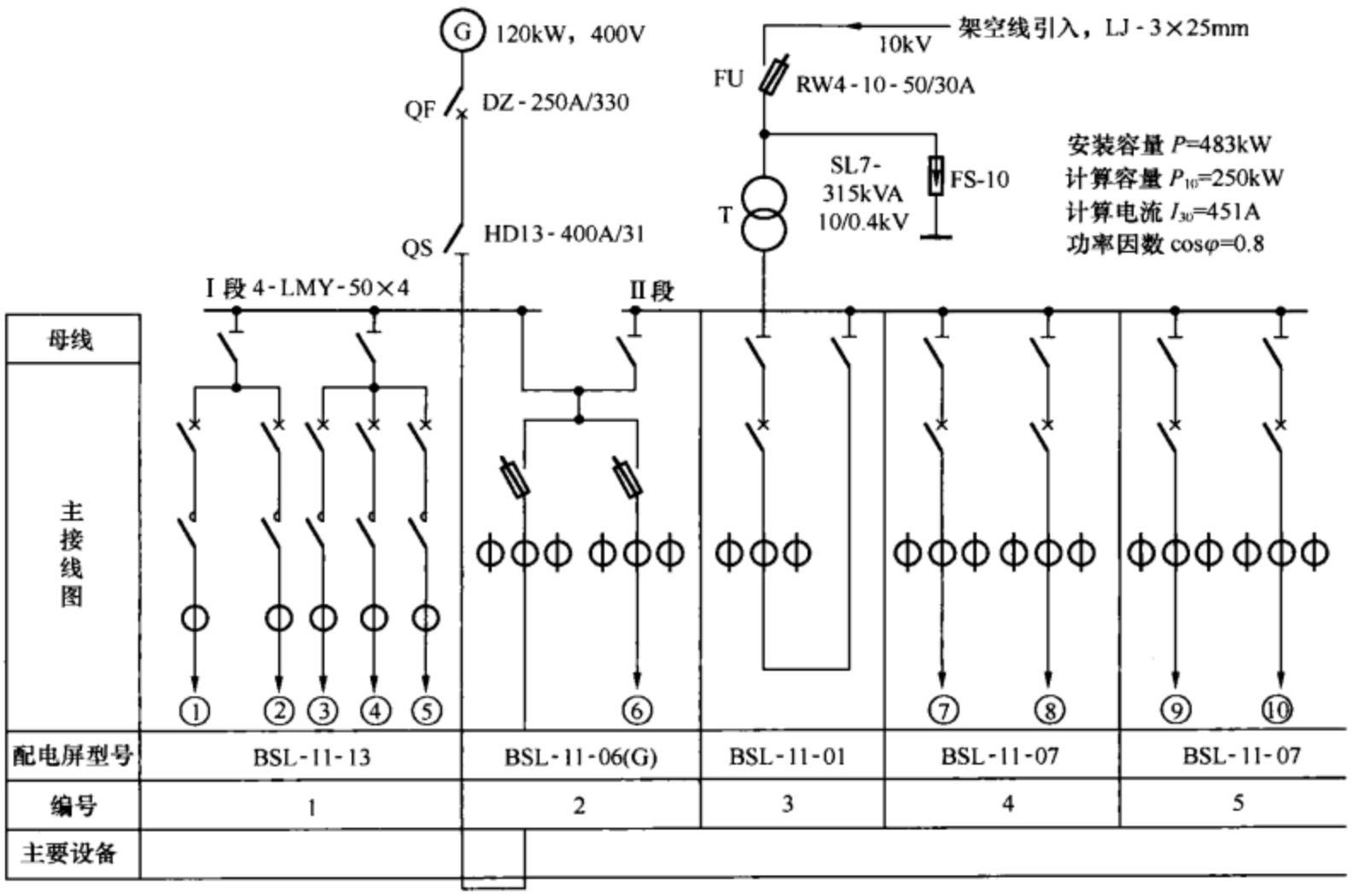


图 3-31　某工程供电系统主电路图

该供电系统主电路有两个电源，一个为 10kV 架空线路的外电源，一个为独立的柴油发电机组自备电源。供电系统共有 5 个配电屏。10kV 架空线路电源进入系统时，首先经过跌落式熔断器 FU，再由变压器 T 将 10kV 电压变换成 0.4kV，然后经 3 号配电屏送到母线上。FS-10 为避雷器，安装在变压器的高压侧。自备发电机电源经 2 号配电屏送到 I 段母线上，在外电源中断时保证重要负荷的供电。3 号配电屏有两个刀开关，一个用于隔断变压器供电，另一个用来隔断自备发电机电源供电。2 号配电屏是受电、馈电兼联络用的配电屏，配电屏内的隔离开关是两段母线的联络开关，带熔断器的刀开关分别控制进线和馈线，图中的电流互感器供测量仪表使用。

该供电系统采用单母线分段放射式接线方案，Ⅰ、Ⅱ两段母线由隔离开关联络。配电屏向用电设备供电的电路称为馈电电路，即馈线。该系统中共有 10 条馈线，其中第 1 条和第

9条是备用馈线。

（1）电源

该系统有外电源和自备电源两个电源。

外电源是正常供电电源，由10kV架空线路经跌落式熔断器FU送到变压器T。跌落式熔断器的型号是RW4-10-50/30A，其中的“50”表示熔管的额定电流为50A，“30A”表示熔丝的额定电流。变压器的型号为SL7-315kVA-10/0.4kV，额定容量为315kVA，额定电压为10/0.4kV。这一电压是指线电压，由低压侧引出中性线，可得到3个相电压为$400/\sqrt{3}\approx230(V)$。

经计算，高压侧的额定电流为18A。可见，高压跌落式熔断器的熔丝规格选30A是比较合理的。低压侧的额定电流为455A，该电流值为看图时判断低压出线开关、导线、母线型号规格的正确性提供了重要依据。

图面上标出3该系统的安装容量为483kW，计算容量为250kW，负载的功率因数一般为0.8，则计算容量为312.5KVA，计算电流为455A。可见，在系统主电路图中，变压器容量选为315kVA是合适的。

为了保护变压器防止雷电过电压，在变压器10kV进线侧安装了一组（共3个）FS-10型避雷器。

自备电源由一独立的柴油发电机供电，发电机的额定功率为120kW，额定电压为400/230V，功率因数为0.8。经计算，发电机的额定电流为216.5A，说明发电机出线开关选用250A的断路器是适宜的。

（2）电源进线与开关设备

10kV高压电源经变压器降压到400V以后由铝排送到3号配电屏，然后送到母线上。3号配电屏的型号是BSL-11-01，主要用作电源进线。配电屏内有两个刀开关和一个DW10型断路器（额定电流为600A，动作整定电流为800A），它对变压器起过流、失压等保护作用。

起隔离作用的两个刀开关，一个与变压器相连，另一个与母线相连。操作的顺序是先断开断路器，再断开两个刀开关，合闸时则相反。配电屏内的3个电流互感器主要供测量仪表用。

自备发电机经一个断路器和一个刀开关连接至2号配电屏，然后引至母线。断路器为装置式（DZ型），额定电流为250A，动作整定电流为330A。断路器的作用是控制发电机送电和对发电机进行保护。刀开关的作用是对带电的母线起隔离作用。

发电机房至配电室送电采用电力电缆，沿电缆沟敷设。电缆的型号为VLV2-500V-3×95+1×50，它是塑料绝缘塑料保护套铝芯铠装电力电缆，额定电压为500V，3根相线的截面积均为95mm^2，中性线截面积为50mm^2。

2号配电屏的型号为BSL-11-06（G），它是受电、馈电兼联络用配电屏，有一路进线和一路馈线。一路进线由自备发电机供电，经3个电流互感器和1组刀熔开关，然后又分成两路，左边一路直接与Ⅰ段母线相连，右边一路经过隔离开关送到Ⅱ段母线。这里的隔离刀开关作为两段母线的联络开关。

（3）母线

该电气系统采用单母线分段放射式接线方式。以4根截面积均为50×4mm^{2}的LMY型硬铝母线作为主母线。两段母线经上述隔离刀开关联络。外电源正常供电时，发电机不供电，联络开关闭合，母线Ⅰ、Ⅱ均由变压器供电；外电源中断时，变压器出线开关断开，联络开关也断开，自备发电机供电，这时只有Ⅰ段母线带电，向办公室等重要负荷供电。在一

定的条件下，Ⅰ、Ⅱ段母线也可全部带电，再根据实际情况断开某些负荷，只要发动机不超载即可。

（4）馈电电路

由配电屏向电力负荷供电的电路称为馈电电路，也称馈线。本系统共有 10 条回路馈电线，其中第 1 回路和第 9 回路是备用线。下面以第 8 回路为例加以说明。第 8 回路由 4 号配电屏控制，该回路提供附属工厂用电，安装容量为 182kW，计算容量为 93kW。该回路采用 HD 型刀外关（额定电流为 400A）和 DW10 型断路器联合控制。断路器的额定电流为 400A，动作整定电流为 500A。该回路装有 3 个电流互感器，变比为 300/5，供测量仪表用。

电路采用架空线，全电路的电压损失率为 4.6%，是符合要求的。

说明：本例在分析时，省去了一些计算步骤，直接给出计算结果，降低了阅读难度。读者若对计算过程有兴趣，可自己动手算一算。

例 3-2　根据所学知识，识读图 3-32 所示的 6～10/0.4kV 高压配电电力系统一次回路图。

这是一种最常见的高压侧无母线的电气系统一次回路图。电源由 6～10kV 架空线或电缆引入，经高压隔离开关 QS 和高压断路器 QF 送到变压器 T。当负荷较小（如 315kVA 及以下）时，可采用跌落式熔断器（FU1）、隔离开关（QS2）、熔断器（FU2），也可以采用负荷开关（Q）、熔断器（FU3）对变压器实施高压控制。

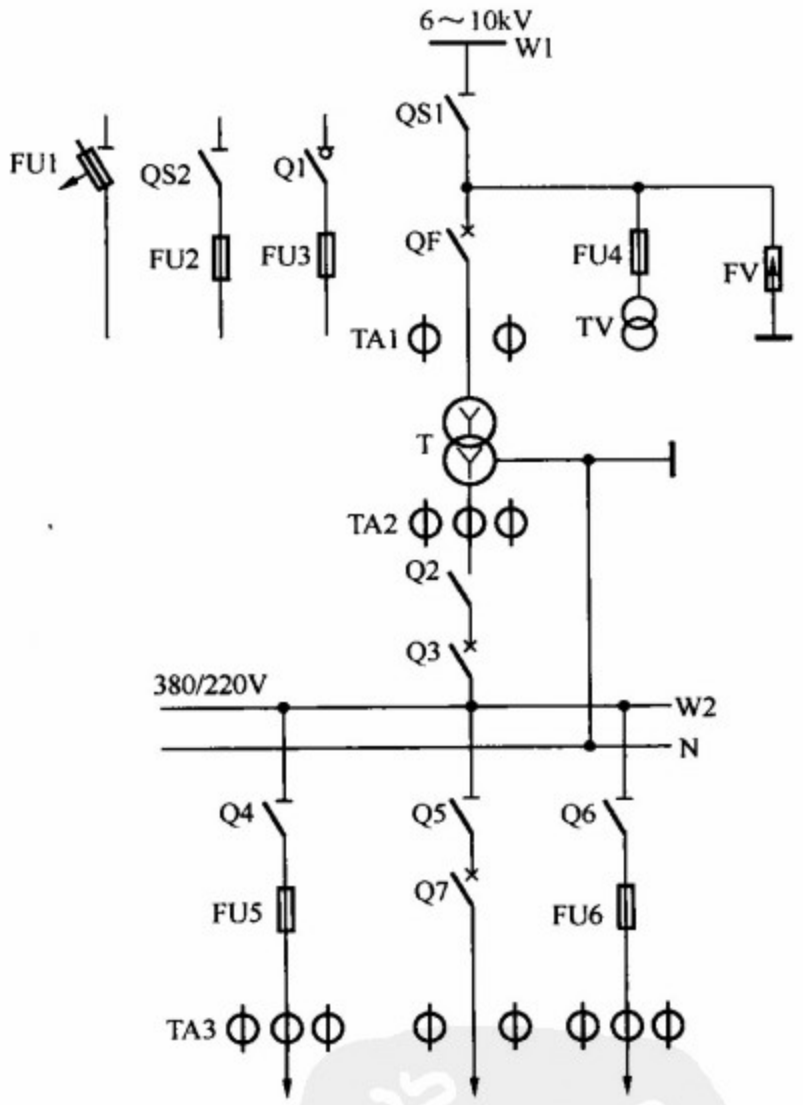


图 3-32　6～10/0.4kV 高压配电电力系统一次回路图

电压经变压器 T 降压为 400/230V 低压后进入低压配电室，经低压总开关（空气断路器或负荷开关）送到低压母线，再经过低压刀开关 Q 和熔断器（或其他开关）送至各用电场所。

高、低压侧均装有电流互感器及电压互感器，用于测量及保护。电流互感器的二次线圈与电压互感器的二次线圈分别接到电能表的电流线圈和电压线圈上，以便计量电能量损耗。电流互感器的二次线圈还接到电流表上，以便测量各相电流，并供电给电流继电器以实现过电流保护。电压互感器的二次线圈接到电压表上，以便测量电压，并供电给绝缘监测用的仪表。

为了防止雷电波沿架空线侵入变电所，在进线处安装有避雷器 FV。

说明：一些大中型工矿企业的负载较大，高压供电线必须深入到工矿企业内部。高压配电一般采用 10kV，但若 3～6kV 高压用电设备负载较大，也可采用 3～6kV 配电。3～10kV 高压配电方式通常按照负荷大小、设备容量、供电可靠性、经济技术指标等不同的要求，分别采用放射式、树干式或环式供电方式。

杜 子 藤

电工班新来了一个学徒，他的名字叫杜子藤。上班了，值班主任正在清点人数。

“杜子藤，杜子藤呢？”

有人回答：“他肚子疼，刚上厕所去了！”

全体大笑……



3.3 二次回路图——控制监测与保护

二次回路较复杂，电路原理表清楚。
回路原理展开图，原理动作可互补。
屏面安装有困难，布置接线图辅助。
识图有个小技巧，一次二次分清楚。
看完交流看直流，触头对应线圈数。
上下左右顺序看，屏外设备依次数。

3.3.1 二次回路的分类
——二次设备较分散，交直回路最常见

为了保证一次设备运行的可靠性和安全性，需要许多辅助电气设备为它服务，这些对一次设备进行控制、调节、保护和监测的设备称为二次设备。二次设备通过电压互感器和电流互感器与一次设备取得电的联系。

二次设备按照一定的规则连接起来以实现某种技术要求的电气回路称为二次回路。表明二次设备相互连接关系的电路称为二次接线。

二次回路一般包括发电厂和变电所一次设备的控制回路、调节回路、继电保护和自动装置回路、测量回路、信号回路和操作电源系统等。图 3-33 为某二次回路图。

二次回路应用广泛，其分类一般采用以下两种方法。按二次回路电源的性质分为交流回路和直流回路。交流回路是由互感器和低压电源供电。直流回路由直流电源的正极到负极，包括控制、信号等全部回路。按用途分为测量仪表、保护和自动装置、控制和信号回路、操作电源及电气闭锁回路等。

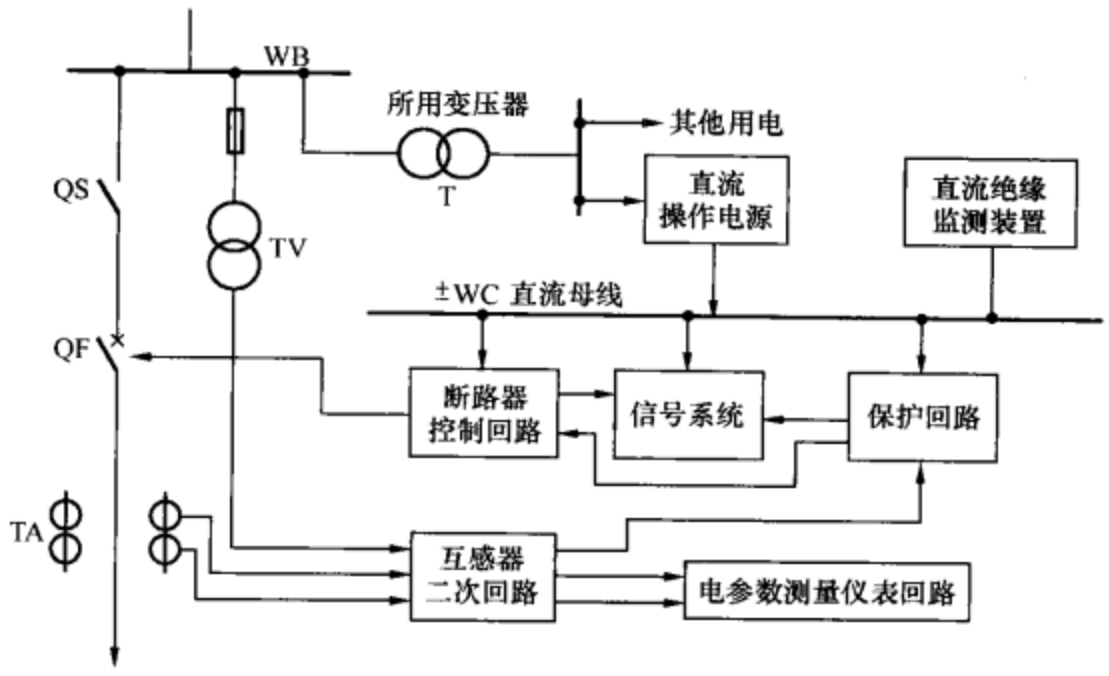


图 3-33 二次回路组成示例

二次回路虽然有不同种类，但一般情况下往往结合在一起使用，下面对部分回路予以介绍。

1. 控制回路

控制回路也称为操作回路或控制电路，由控制开关和控制对象（断路器、隔离开关）的传递机构及执行（或操动）机构组成，其作用是实现对一次开关设备的有效控制，如设备的启动/停止，电气线路的“跳”、“合”闸以及其他要求的运行状态的改变。

（1）控制回路的种类

控制回路的种类很多，其分类方法见表 3-1。

表 3-1 控制回路的分类方法

分类标准	种类
按自动化程度分	手动控制回路和自动控制回路
按控制距离分	就地控制回路和距离控制回路
按控制方式分	分散控制回路和集中控制回路两种（分散控制均为“一对一”控制，集中控制有“一对一”和“一对 N”的选线控制）
按操作电源性质分	直流控制回路和交流控制回路
按操作电源电压和电流的大小分	强电控制回路和弱电控制回路

（2）控制回路的元件

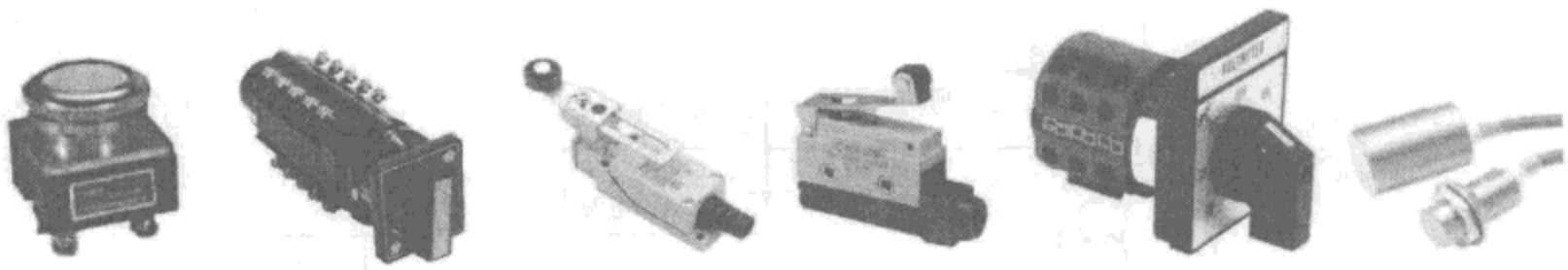
① 发出指令的主令电器：包括各种按钮、转换开关、行程开关、限位开关、万能开关、接近开关等，如图 3-34 所示。注意，用于接通和断开一次电气回路的主令电器不属于电气二次回路的设备。例如直接接在电动机主电路中的凸轮控制器、倒相开关、转换开关都不能称为二次元件。

② 信号元件：例如表示断路器所处位置的信号灯。

③ 扩展功能并构成逻辑动作关系的控制元件：例如中间继电器、时间继电器等。

④ 执行元件：即断路器的跳闸线圈、合闸线圈和合闸接触器，交流接触器的线圈，液压和空气动力系统中控制设备（电气控制阀，简称为电控阀）上的电磁铁等。

⑤ 断路器、接触器的辅助触点等。



（a）按钮　（b）转换开关　（c）行程开关　（d）限位开关　（e）万能开关　（f）接近开关

图 3-34　常见主令电器

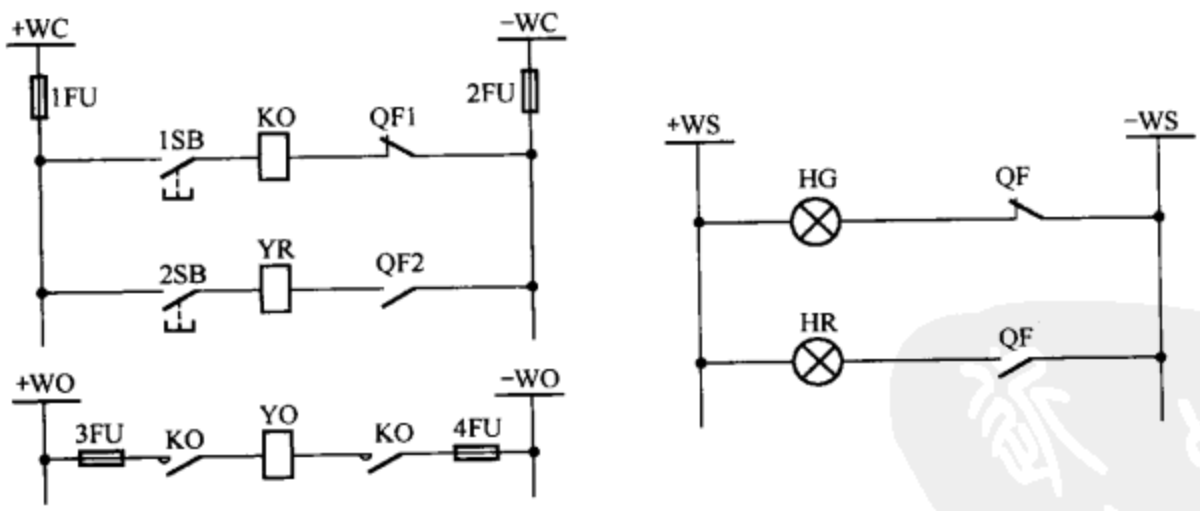
（3）与主电路分离的独立控制电路

与主电路分离的独立控制电路是指完全不受主电路（也就是电力网）运行状况影响的控制回路，所以它与主电路既无电的联系也无磁的联系。

电力系统的发、供、输、配电设备和大中型工矿企业电气系统的主要配电设备以及高压电动机的操作回路都采用与主电路分离的独立控制电路。这些发电机、变压器、高压配电线路和高压电动机主电路（即一次系统）的接通和断开，一般都采用高压断路器或高压接触器来控制。而这些断路器或接触器的接通（即合闸）和断开（即跳闸）则由独立的控制回路来进行控制。另外，电力系统和工矿企业交流 380V 供电系统的主要断路器一般都采用万能式自动空气断路器。在许多情况下，为了实现自动控制，这些空气断路器也都采用独立的控制电路进行控制。

独立的控制电路一般都由独立的控制电源供电，并且该电源是不受主电路运行方式的影响的，特别是在主电路即电力网或主设备发生短路、接地等故障造成电网电压下降时，该电源要保证控制回路仍然能可靠工作，并执行必要的动作程序，例如跳开故障设备的断路器。为了保证在交流系统故障引起电压下降时能可靠工作，控制回路一般采用蓄电池作为直流电源，也可以采用其他方式的控制电源（例如交流控制电源），但基本要求仍然是要保证在一次系统故障时控制电源必须能可靠工作。

图 3-35 是一台高压断路器简化后的控制回路图（图中未画出主电路），它是与主电路分离的独立控制电路，共有 3 个独立的回路，即接在直流控制电源 + WC、- WC 上的回路，接在另一个直流电源 + WO、- WO 之间的回路，以及接在 + WS、- WS 上的信号指示灯回路。



（a）合跳闸回路　（b）信号指示灯回路

+WC、- WC—直流操作电源小母线；1SB—合闸按钮；2SB—跳闸按钮；KO—合闸接触器；YR—跳闸线圈；QF1、QF2、QF—断路器辅助触点；+WO、- WO—合闸直流电源母线；1FU～4FU—熔断器；YO—合闸线圈；HG—跳闸位置指示灯（绿灯）；HR—合闸位置指示灯（红灯）

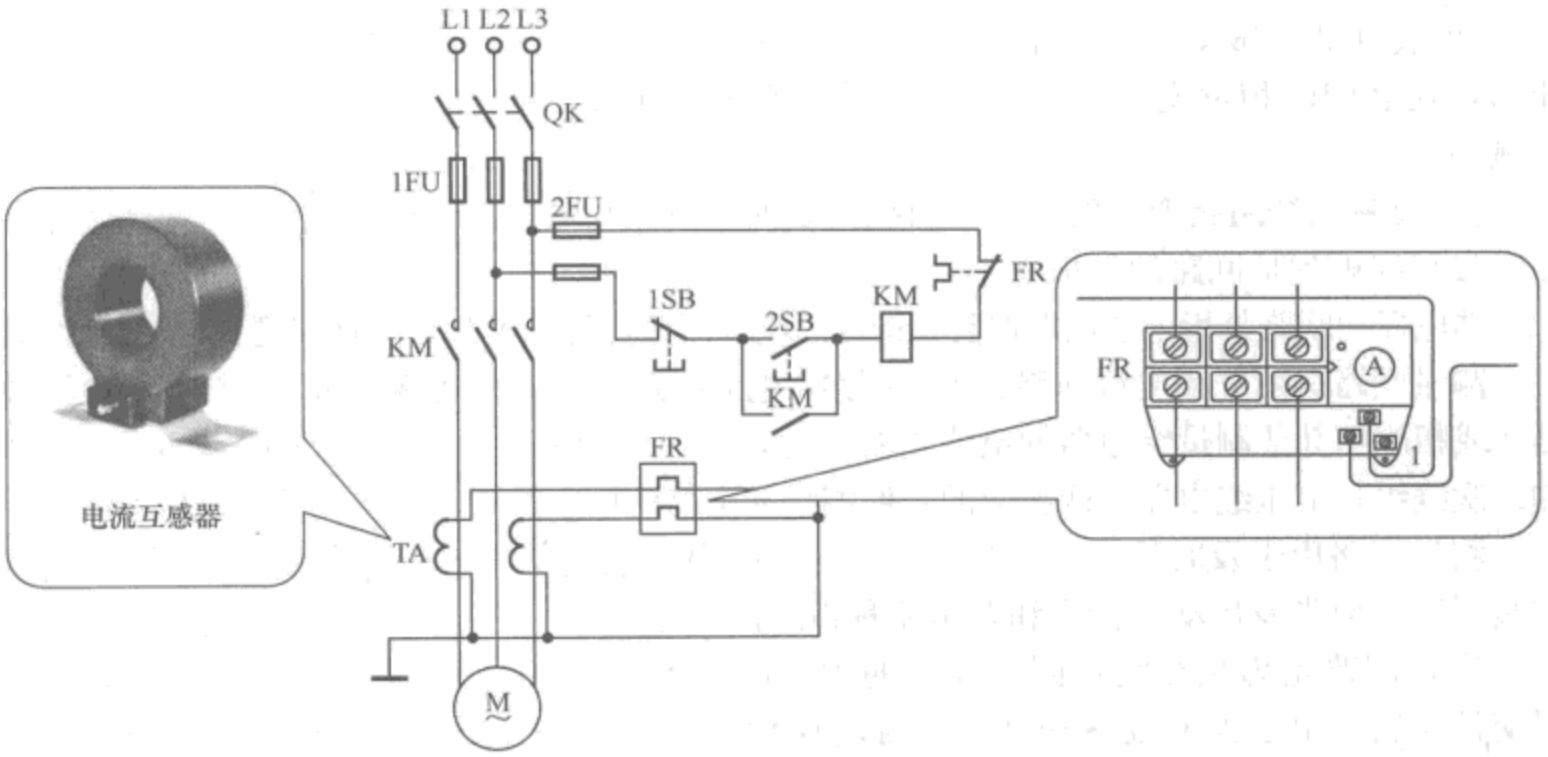
图 3-35　简化的高压断路器的控制回路

（4）与主电路连接且有联系的控制电路

与主电路连接且有联系的控制电路是指某一电气设备的控制电路的电源，它与该设备主回路的电源属于同一个电源系统。控制电路可以直接连接到主电路上，或经熔断器连接到主电路上，也可以经变压器变换后连接到主电路上，有的还可以直接从主设备的供电母线上取得控制电源，这些都属于与主电路连接的控制电路。

与主电路连接的控制电路能否正确工作受主设备所连接的电力网影响很大，如果电力网或主设备发生故障使电网电源降低，该控制电路也将同样失去电源而无法工作。当主电源回路发生故障时，把故障设备从电源上切除是靠其他方式实现的，并不依靠控制回路。因此，这类控制电路只能用于在电力网和主设备故障时控制回路不工作也不会造成严重后果的设备上，例如在一般机电设备自动控制系统上应用。此时控制回路不能工作也不会影响电网的安全和造成机电设备损坏。但对于失去控制电源虽不会影响电网安全却可能造成设备损坏或引起其他不安全后果的（例如危及人身安全），则必须采取其他措施。

图 3-36 所示为与主电路直接连接的控制电路。



QK—刀开关；1FU—主熔断器；2FU—控制电路熔断器；TA—电流互感器；
M—交流电动机；KM—交流接触器；FR—热继电器；1SB—停止按钮；2SB—启动按钮

图 3-36 与主电路直接连接的控制电路

启动电动机时，按下合闸按钮 2SB，接触器 KM 的线圈得电，铁芯吸合，其主触点闭合，电动机启动。放开按钮 2SB 后，由于与 2SB 并联的接触器的辅助触点已闭合，接触器 KM 的线圈继续带电，所以电动机仍保持运行状态。要使电动机停止运行，可按下停止按钮 1SB，此时接触器线圈断电，其主触点断开，电动机因无电源而停止运行。当运行中的电动机因过载等原因引起电流增大至热继电器 FR 的整定值时，热继电器的动断触点断开，接触器 KM 的线圈失电，电动机停止运行。当主电源消失或电动机故障造成电压下降时，控制回路的电压也同时降低或消失，失去操作功能，但交流接触器 KM 会因失电而释放，电动机自动断电。

2. 继电保护回路

继电保护是指采用继电保护技术或由各种继电保护装置单元组成的继电保护系统，是一种能反映电力系统故障和不正常运行状态并及时作用于断路器跳闸或发出信号的自动化设备。在现代电力系统中，继电保护装置是保证电力系统安全运行的重要工具。

在电气系统中，只有采用各种测量继电器构成二次回路的保护装置才属于继电保护。直接连接在一次电气系统上的继电器构成的保护不能称为继电保护，例如采用热继电器（也叫热元件）保护交流电动机或串联在直流电动机电路中的过电流继电器等都不能称为继电保护装置。

（1）继电保护装置的种类

按照被测的电气量来划分，常用的继电保护有以下四大类。

① 反映电流量数值变化的保护：包括各种正负序电流量的增大或减小，例如各种电气设备上都装设的过电流保护装置是采用得最多的保护。

② 反映电压量数值变化的保护：包括各种正负序电压量的降低或升高，例如低电压保护。

③ 反映两个或多个电气量之间相位变化的保护：包括电流与电压之间的相位变化、电流与电流之间的相位变化、电压与电压之间的相位变化，例如方向保护、差动保护、同期检测等。

④ 反映系统阻抗变化的保护：阻抗反映的是电流与电压之间的关系，例如距离保护。

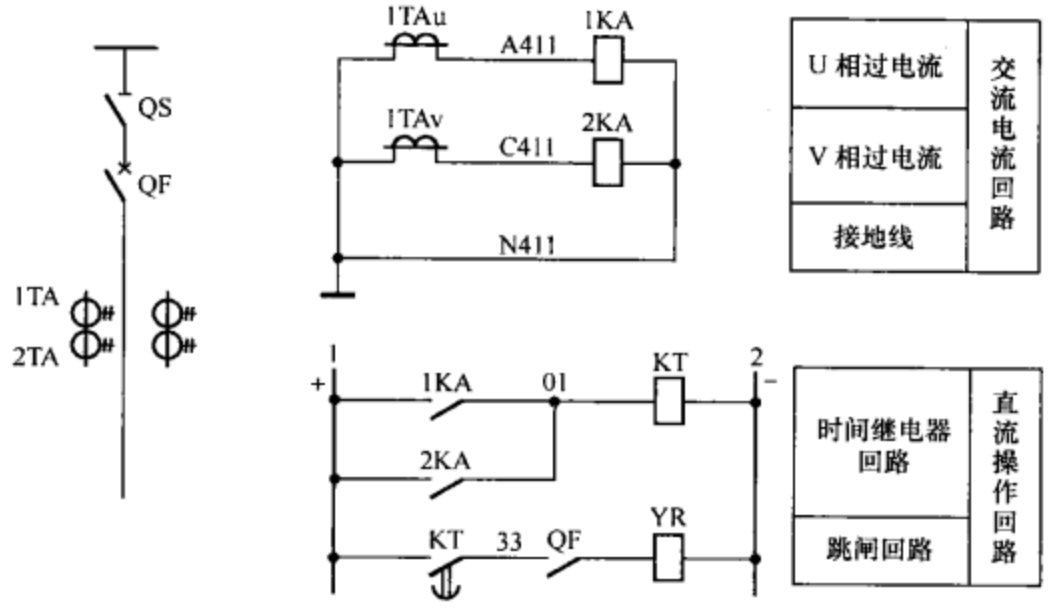
（2）继电保护回路的构成

继电保护回路是指由继电保护装置构成的电气回路，可分为测量回路和逻辑回路两大部分。测量回路又可分为电流回路和电压回路。电流回路是指电流互感器的二次绕组与电流继电器（或相应的其他测量继电器的电流线圈、电流元件）构成的回路。电压回路是指电压互感器的二次绕组与电压继电器（或相应的其他测量继电器的电压线圈、电压元件）构成的回路。

测量回路用于及时反映（即测量）运行中的电力系统和电气设备的参数变化，以确定保护装置是否应当发出动作指令和发出哪种性质的指令。

逻辑回路是为执行测量回路发出的指令而设置的。逻辑回路可采用直流电源，也可采用交流电源。由于大型设备和高压系统的保护都很重要且构成复杂，所以它们的逻辑回路都采用直流电源。电压等级相对低一些且不很复杂的设备的逻辑回路才采用交流电源。继电保护的逻辑回路的元件主要有中间继电器、时间继电器、信号继电器和断路器的跳闸线圈等。

图 3-37 是 6～10kV 供电线路采用的带时限过电流保护的电路展开图。在该电路中，当被保护的线路发生短路故障而引起线路电流增大时，串联在主电路中的电流互感器一次绕组中的电流增大，由其二次绕组和过电流继电器构成的保护测量回路中的电流也相应增大，过电流继电器 1KA 或 2KA 动作（故障类型不同，1KA、2KA 可能同时动作，也可能是其中某一个动作），1KA 或 2KA 在逻辑回路（即直流回路）中的触点闭合，时间继电器 KT 被接通电源而启动。经过一定的延时后，KT 的触点闭合，断路器的跳闸线圈接通电源而作用于断路器跳闸。该保护装置的逻辑回路采用的是直流电源，所以该逻辑回路又称为保护的直流回路。这种形式的保护逻辑回路也有采用交流电源的，但不能称其为直流回路。



QS—高压隔离开关；QF—高压断路器；1TA—保护用电流互感器；
2TA—测量仪表用电流互感器；1KA、2KA—过电流继电器；
KT—时间继电器；YR—断路器的跳闸线圈

图 3-37 带时限过电流保护的电路展开图

3. 调节回路

调节回路是指调节型自动装置，它由测量机构、传送机构、调节器和执行机构组成。调节回路的作用是根据一次设备运行参数的变化，实时在线调节一次设备的工作状态，以满足运行要求。

4. 仪表测量回路

电气设备的测量回路和测量表计用于对运行中的电气设备进行参数监测和数据计算。直接连接在主电路中的测量表计不属于二次回路的范围。只有通过电流互感器与电流表或表计的电流元件连接的回路以及通过电压互感器与电压表或表计的电压元件连接的回路才属于测量仪表二次回路。仪表测量回路由各种测量仪表及相关回路组成。

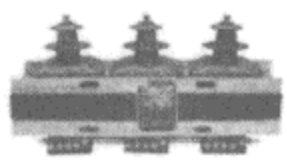
电压互感器的标准输出电压为 100V，电流互感器的标准输出电流为 5A。将所测量的电压和电流送给控制回路就可进行控制、保护，送给信号回路则可进行指示、显示或报警。然而，随着电子技术和计算机技术的发展，100V 和 5A 的电量是不能直接送往计算机的，因此现代的测量回路还应该包含信号转换电路等。此外，二次回路所需测量的量不只是电压、电流，通常还需要检测频率、功率因数等。

采用电压互感器和电流互感器测量时，常常可用两个电压互感器或两个电流互感器测量三相交流电压或三相交流电流。此时要求两个电压互感器或电流互感器的极性应该正确连接，才能得到正确的测量结果，因此读图时应该加以注意。

经过转换电路转换后送往计算机的信号，其电压一般在 5V 左右。这么低的电压如果不采取必要的有效措施，在变电所这样的强电磁环境中，将会被其产生的电磁干扰信号淹没。因此，读图时应该特别注意传输线路线缆的型号、屏蔽要求、接地要求等。只有这样才能保证所测量信号的精确度。总之，识读测量回路图时，除了要求了解测量元件的数量、用途外，还应该特别注意与测量精确度有关的信息。

测量回路的主要特点是：精确度高，误差小；消耗功率小；绝缘强度、耐压和短时过载能力好；结构坚固，使用、维护方便。

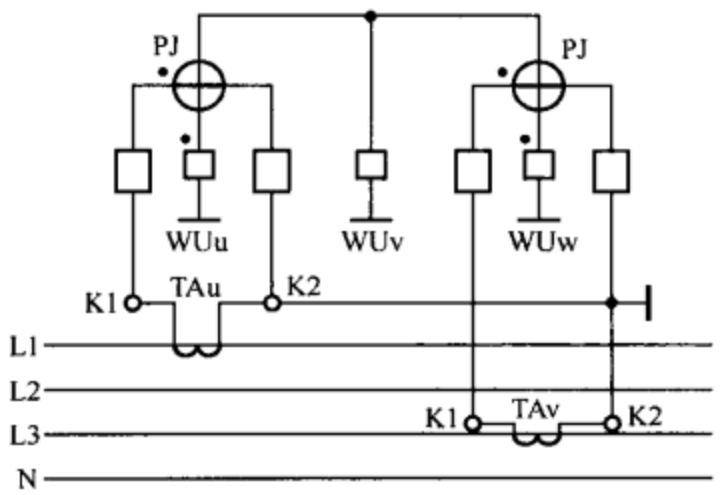
典型的电气测量仪表二次回路的接线是电流和电压都经过互感器接入表计的电路，如图 3-38 所示。



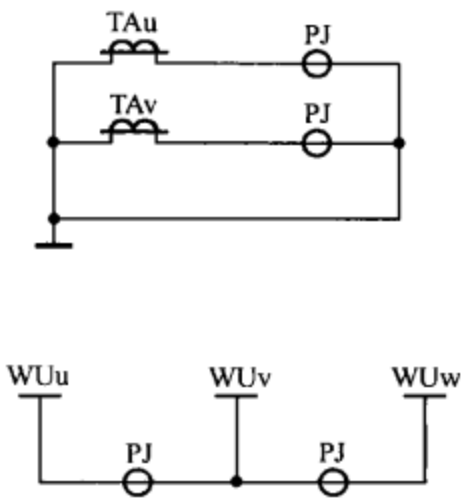
电压互感器



电流互感器



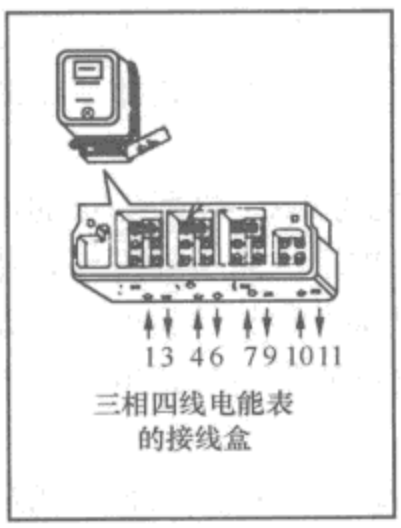
（a）接线图

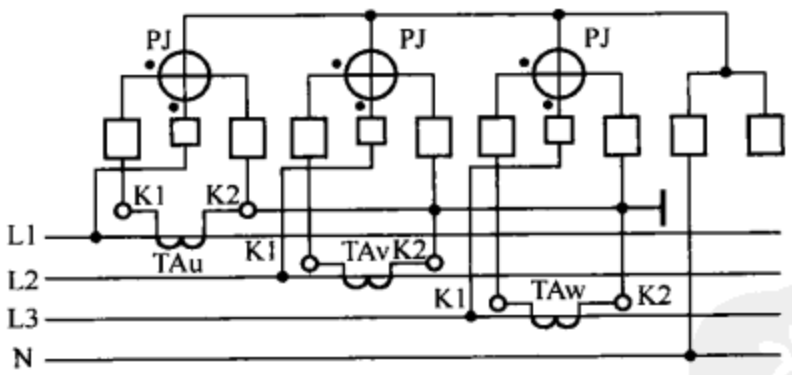


（b）展开图

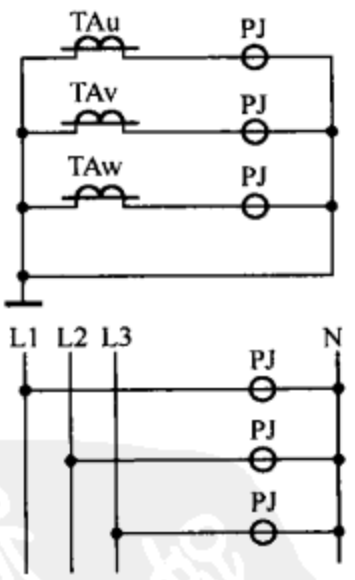
图 3-38　经互感器接入仪表的电路

在交流 380/220V 电力系统中，对于需要同时接入电流量和电压量的仪表（例如电能表、功率表或功率因数表），还有一种比较常见的接线方式，就是仪表的电压线圈不经电压互感器而直接连接在供电的 380V 母线上。图 3-39 为三相四线电能表的接线图。这种接线虽然电压回路不是典型的电气二次回路，但也属于电气二次专业的工作范围。但必须注意，这种接线方式只能用于交流 380V 及以下电压等级的系统中。电压高于 380V 的系统必须采用经电压互感器接入的方式。





（a）接线图

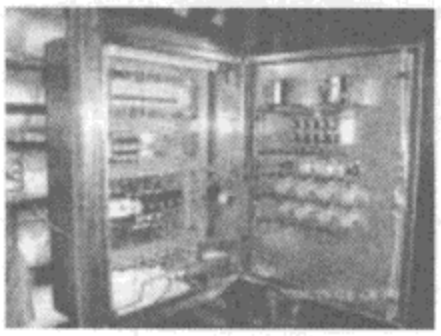


（b）展开图

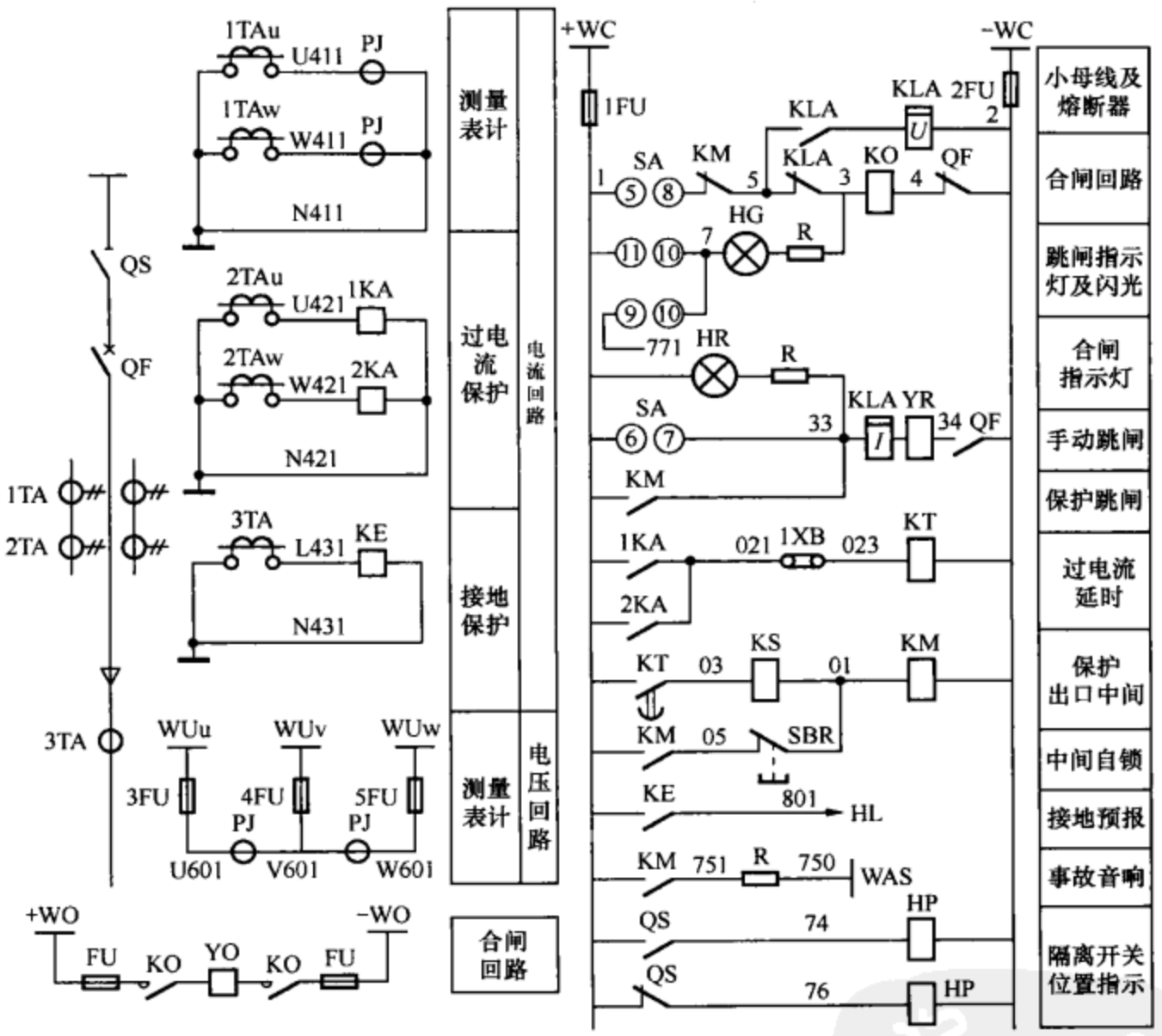
图 3-39　电压回路未经互感器接入仪表示例

配电柜上的仪表一般安装在面板上，因此这类仪表又叫开关板表，其作用是指示或记录一次设备的运行参数，以便运行人员掌握一次设备的运行情况。它是分析电能质量、计算经济指标、了解系统主设备运行工况的主要依据。

高压线路上安装有专用的仪表互感器，电压的监测一般由接在母线电压互感器二次侧的电压表完成。图 3-40 为 6～10kV 线路的二次回路接线图。



仪表互感器安装示例



（a）交流回路　　（b）直流控制回路

图 3-40　6～10kV 线路的二次回路接线图

知识链接

开关板表的电气符号

常用电气测量仪表的图形符号见表 3-2。

表 3-2　　常用电气测量仪表的图形符号

名　称	符　号	说　明
指示仪表及示例（电压表）	* V	图中的“*”可由被测对象计量单位的文字符号、化学分子式、图形符号之一代替
记录仪表及示例（记录式功率表）	* W	
积算仪表及示例（电能表）	* Wh	

5. 信号回路

信号回路是为了使运行人员及时了解设备状态而设置的，相当于人机对话系统的一个部分。信号回路有与控制回路共用一组熔断器的，此时电路统称为控制电路，也有采用独立熔断器的，采用独立熔断器的回路就可称为信号回路。信号回路的分类见表 3-3。

表 3-3　　信号回路的分类

分类标准	种　类
按信号性质分	事故信号回路、预告信号回路、指挥信号回路和位置信号回路
按信号的显示方式分	灯光信号回路和音响信号回路
按信号的复归方式分	手动复归回路和自动复归回路
按工作方式分	正常运行显示信号设备、事故信号设备、指挥信号设备

下面简要介绍常用电气信号的主要功能。

① 事故信号。当电气系统发生严重影响安全运行的故障时发出的强烈报告信号称为事故信号，例如运行中的线路断路器自动跳闸时发出的信号。有事故信号出现，往往表示在装置（保护装置和断路器）安装处近距离内的电力网络存在威胁系统安全稳定运行的相间短路、接地短路或电气设备损坏等严重故障，也有可能是保护和控制回路发生某些故障，例如保护或控制回路误动作，这些都会造成断路器跳闸并中止正常供电。事故信号都是瞬时信号，即得到信息后立即发出的信号。

事故信号设备包括事故预告信号设备和事故已发生信号设备（简称事故信号设备）。事故信号在某些情况下又称为中央信号。当电气设备或系统出现了某些事故预兆或某些不正常情况（如绝缘不良、中性点不接地、三相系统中的一相接地、轻度过负荷、设备温升偏高等），但尚未达到设备或系统即刻就不能运行的严重程度，这时所发出的信号称为事故预告信号。事故预告信号和事故信号一般由灯光信号和音响信号两部分组成。音响信号可唤起值班人员和操作人员注意。灯光信号可提示事故类别以及事故发生地点等。为了区分事故信号和事故预告信号，可采用不同的音响信号设备，如事故信号采用蜂鸣器、电笛、电喇叭等，事故预告信号采用电铃。

② 预告信号。当电气系统发生异常情况有可能引发事故时，应及早预先发出信号，以便运行人员采取适当措施消除不安全因素，例如反映变压器内部存在轻微气体的轻瓦斯信号。

考虑到有的异常情况是暂时出现的，有的不正常情况可通过运行人员调整而消失，所以预告信号是有延时的信号，即得到信息后要经过一定延时后才发出信号。

③ 提示信号。提醒运行人员需要做工作的信号称为提示信号，例如告知设备需要加油的信号。

④ 指挥信号。指挥信号是指运行人员之间下达命令或相互传递信息的信号，主要用于不同地点（如控制室和操作间）之间的信号联络与信号指挥，多采用光字牌、音响等。

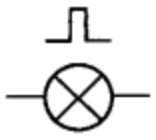
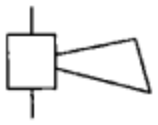
⑤ 位置信号。这里指反映电气设备处于什么位置的信号，例如断路器的合跳闸位置指示灯、隔离开关的位置指示器以及表示保护装置和控制回路有电的指示灯信号。

知识链接

常用信号设备的电气符号

常用信号设备的图形符号和文字符号见表 3-4。

表 3-4　　常用信号设备的图形符号和文字符号

名　称	图形符号	文字符号	说　明
信号灯		H、HL	一般符号。如果要求指示颜色，则在靠近符号处标出下列字母，如 RD（红）、YE（黄）、GN（绿）、BL（蓝）、WH（白）。如果要求指出灯的类型，则在靠近符号处标出下列字母，如 Ne（氖）、IN（白炽）、FL（荧光）、LED（发光二极管）
闪光信号灯		HL	事故指示，注意
电喇叭		HA	事故信号
电铃		HA	事故预告信号
电笛		HA	事故信号、报警信号
蜂鸣器		HA	事故信号

6. 操作电源系统

操作电源系统由电源设备和供电网络组成，它包括直流和交流电源系统，其作用是供给上述各回路工作电源。发电厂和变电所的操作电源多采用直流电源系统，简称直流系统。小型变电所也有采用交流电源或整流电源的。

直流操作电源主要有蓄电池和硅整流直流操作电源两种。硅整流直流电源在工厂变配电所应用较广，按断路器操动机构的要求分有电容储能（电磁操动）和电动机储能（弹簧操动）等类型。图 3-41 为硅整流电容储能直流系统原理图。

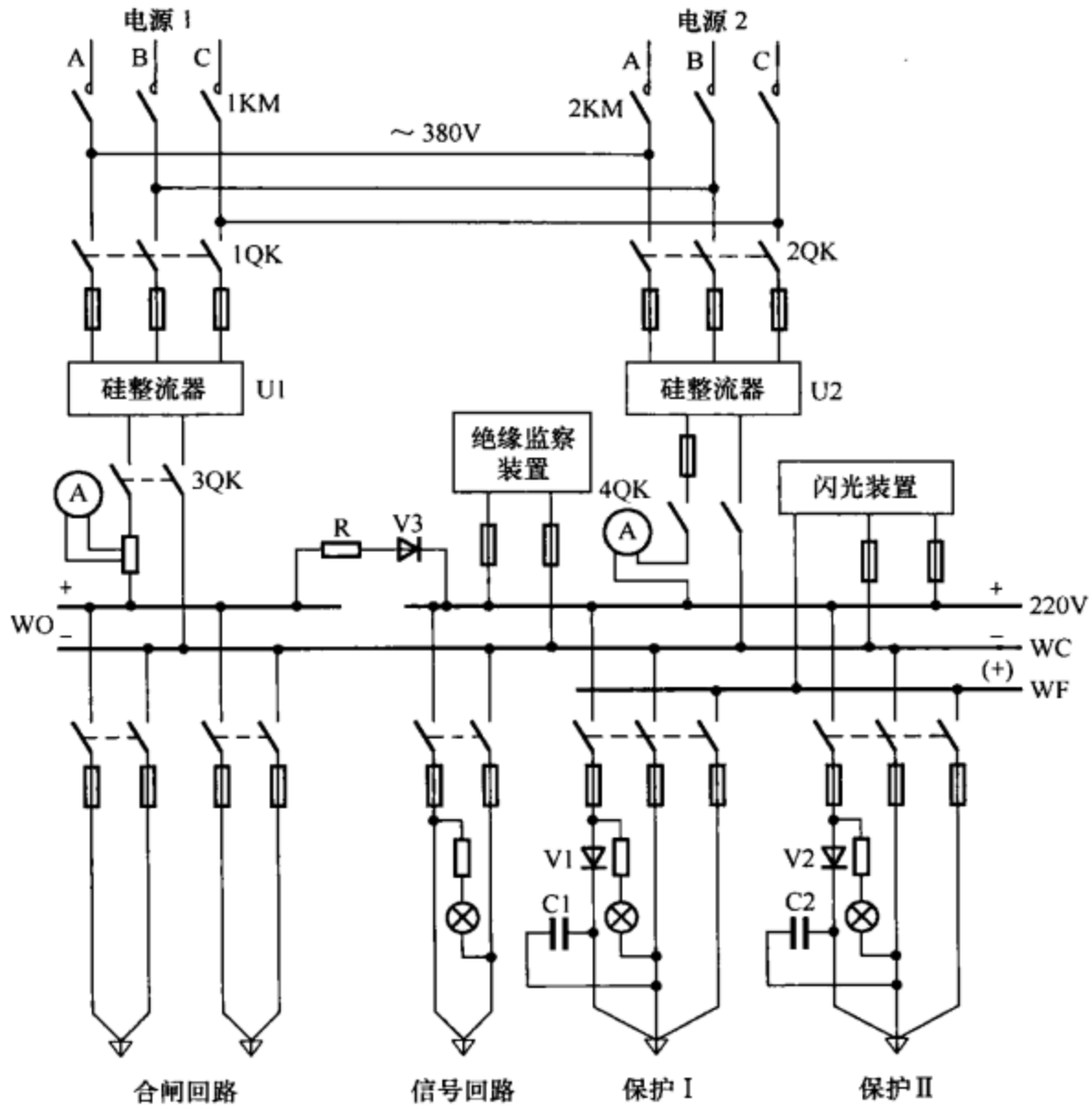


图 3-41　硅整流电容储能直流系统原理图



想一想　　二次回路是如何分类的？

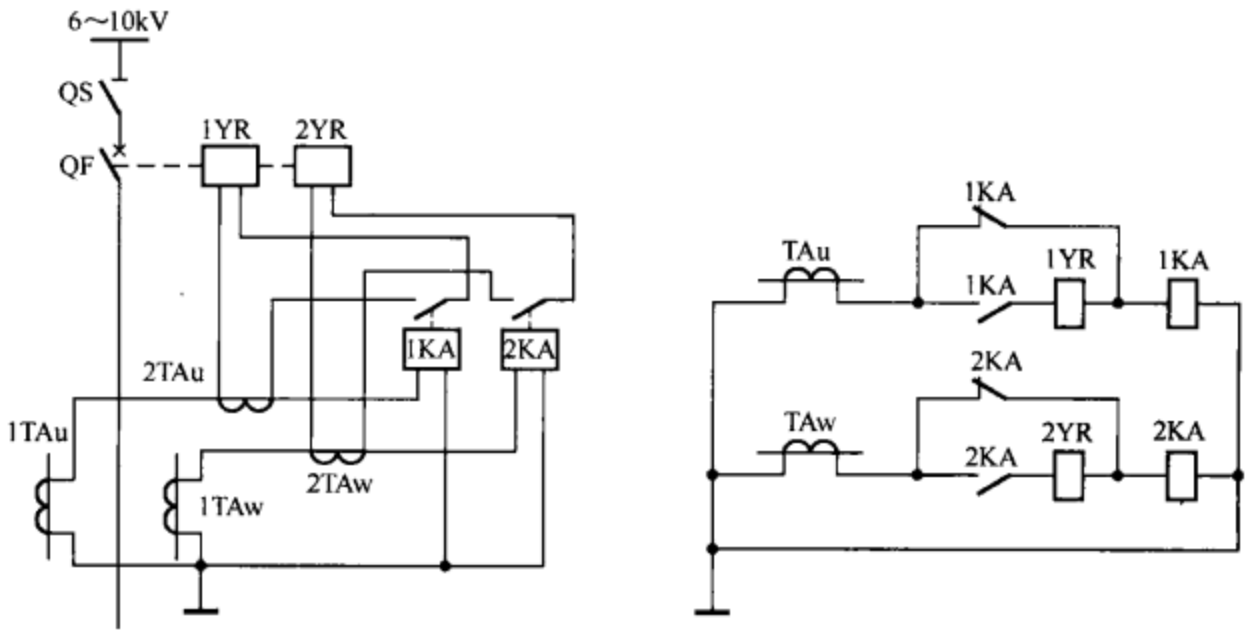
3.3.2 二次回路常用电路
——控制回路有多种，保护电路容易懂

1. 故障电流跳闸控制电路

图 3-42 所示是利用故障电流跳闸的两种形式。图 3-42（a）采用了中间电流互感器 2TA，它具有饱和倍数低的特点，所以也称为速饱和电流互感器。在其一次绕组中的电流成倍增大时，二次绕组中的电流并不按比例增大，而是只增长一个不大的数值（例如只能达到正常电流的 1.5 倍）。由于这个特点，它的二次绕组是允许开路的。所以，它的二次绕组经保护继电器 1KA、2KA 的动合触点与断路器的跳闸线圈 1YR、2YR 连接，当本线路发生短路故障、电流增大、过电流保护动作后，电流继电器的触点接通，跳闸线圈利用故障电流吸起铁芯而

顶开机构使断路器跳闸。采用这种接线方式的电流互感器的二次绕组不会开路，但要注意电流互感器 1TA 的二次负荷不得超过规定值。

图 3-42（b）所示是电流互感器的二次电流直接跳闸的接线。正常运行时，电流互感器 TA 的二次绕组是经过过电流继电器 1KA、2KA 的动断触点和线圈构成闭合回路的，而且跳闸线圈 1YR、2YR 被过电流继电器 1KA、2KA 的动断触点短接，所以正常运行时虽回路中流过线路的二次工作电流，但不会跳闸。线路故障时，过电流继电器动作，其动合触点先闭合，动断触点后打开，跳闸线圈中通过电流而使断路器跳开。采用此种接线时要注意过电流继电器必须是动合触点先闭合，动断触点后打开，否则会造成电流互感器二次回路开路的危险。



（a）采用速饱和电流互感器　　（b）故障电流直接跳闸

图 3-42　利用故障电流跳闸的两种形式

2. 断路器控制回路

变电所的控制主要是断路器控制，其回路是二次回路中最常见也是最主要的回路。变电所对断路器的控制可分为集中控制和就地控制，前者是指在控制室内进行的控制，后者则是在断路器安装地点进行的控制。在控制室内对高压配电装置中的断路器进行的控制又称为距离控制。

常见的断路器控制主要包括手动合闸、手动跳闸、自动合闸和自动跳闸控制。手动合闸和跳闸是根据需要通过人为操作控制开关等使断路器接通或断开。自动合闸和跳闸则是利用自动控制系统或装置提供的信号，根据人们事先设定的要求使断路器自动接通或断开。

变电所二次回路中的控制回路主要是控制断路器通断的。断路器触点的通断控制与接触器的通断控制不同。接触器触点的通断控制只要控制一个线圈即可，线圈通电，衔铁动作，动合触点闭合；线圈断电，衔铁释放，动合触点断开。而断路器通断控制一般采用两个线圈分开控制，给合闸线圈短时通电，断路器合闸，主触点闭合接通；给跳闸线圈短时通电，断路器跳闸，主触点断开。合闸线圈和跳闸线圈都是短时通电工作制的，通电完成断路器分、合闸任务后，断路器的辅助触点将使合闸线圈或跳闸线圈断电。一般而言，断路器合闸线圈的电流很大，跳闸线圈的电流则较小。

3. 变压器差动保护电路

差动保护一般装设于 10 000kVA 以上的变压器上，保护变压器各侧电流互感器装设地点

范围内的短路故障，所以可保护变压器内部绕组和外部的引线套管等故障，是变压器的主保护。装设差动保护的一般不再装设电流速断保护。

差动保护是利用变压器高低压侧的电流平衡原理实现的。以单电源双绕组变压器为例，其保护工作原理如图 3-43（a）所示。

（1）正常运行时

在正常运行状态下，不考虑变比时，高压侧一次电流与低压侧一次电流是相同的，电流互感器的二次电流也是相同的（即平衡的）。通过把高低压侧电流互感器的二次回路连接在一起的接线方式，就能实现正常时电流只在互感器二次绕组之间流通，而不流过继电器。例如某台 6/0.4kV 的变压器高压侧的额定电流为 100A，低压侧的额定电流为 1 500A，则高压侧选用 100/5A 的电流互感器，低压侧选用 1 500/5A 的电流互感器。可见，两个互感器的二次电流必定是相同的。

（2）单电源时保护区内故障

如果变压器是单电源，即只有高压侧是电源，当保护范围内有故障时，电源（高压侧）向故障点输送故障电流，而负荷侧无故障电流流过，破坏了平衡状态，继电器中流过电流而动作跳闸切断故障设备。

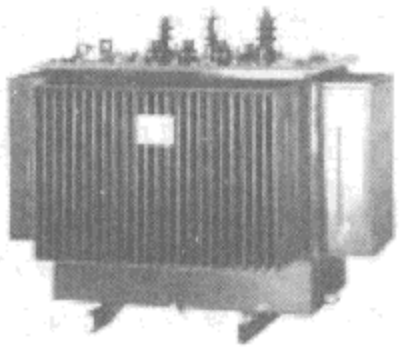
（3）双电源时保护区内故障

如果变压器是双电源，即高低压侧都有电源，当保护范围内有故障时，高压侧和低压侧都向故障点输送故障电流，差动继电器中的电流为两侧电流之和，保护动作。

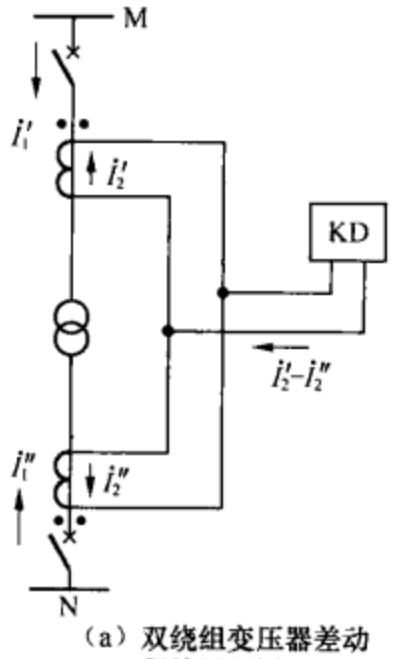
（4）保护区外故障

当保护范围外发生故障时，虽然电流大大增加，但两侧互感器中流过的电流一样大，仍然是平衡的，所以继电器中仍然无电流流过，保护不会动作。

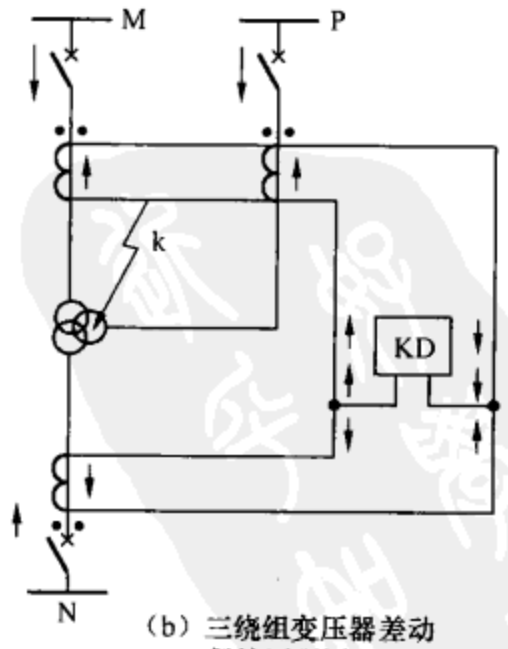
通常的变压器都为双绕组变压器，图 3-43（a）是双绕组变压器差动保护原理图，图 3-43（b）是三绕组变压器差动保护原理图，图 3-43（c）是变压器差动保护测量回路的实际接线图。它们的接线特点是变压器的主绕组采用△/Y 接线，所以主绕组为 Y 形接线的电流互感器二次绕组接成△形，而主绕组为△形接线的电流互感器的二次绕组接成 Y 形接线，以便让两个二次绕组中的电流相位一致。



双绕组变压器

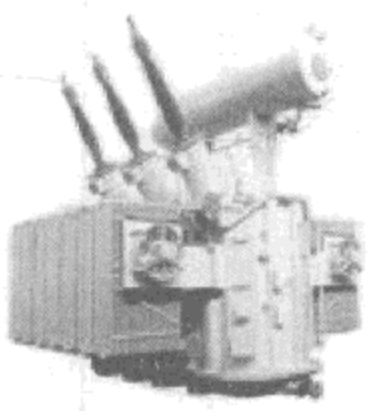


（a）双绕组变压器差动保护原理图

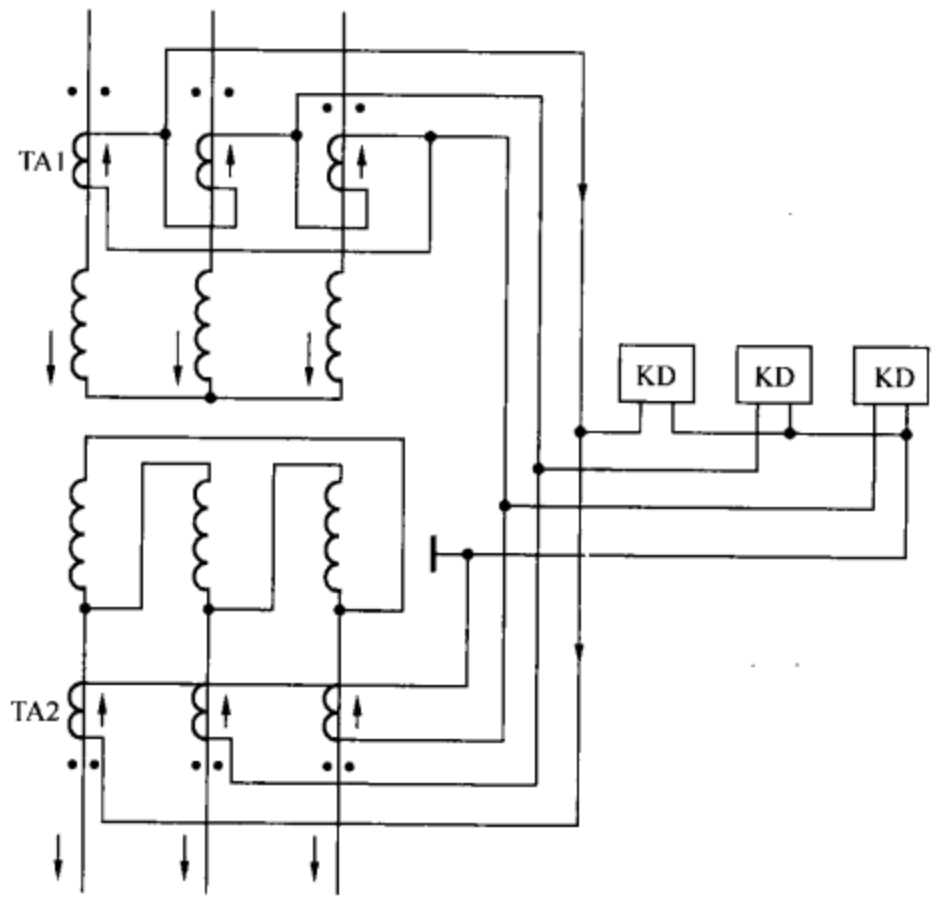


（b）三绕组变压器差动保护原理图

图 3-43　变压器差动保护原理图和接线图



三绕组变压器

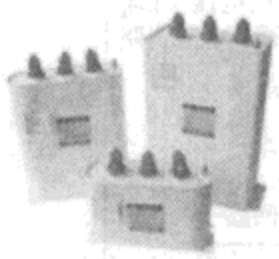


（c）差动保护测量回路接线图

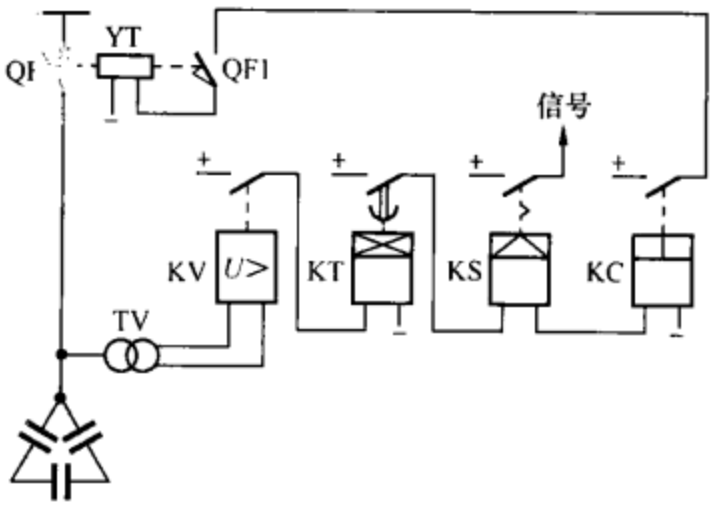
图 3-43　变压器差动保护原理图和接线图（续）

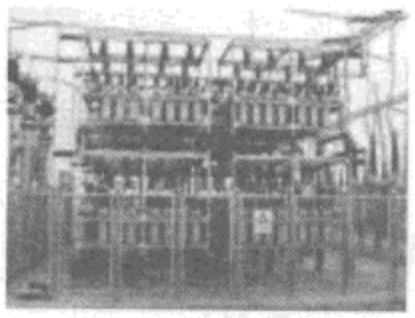
4. 电力电容器过压保护电路

图 3-44 为电力电容器的过电压保护原理接线图。当电容器组有专用的电压互感器时，过电压继电器 KV 接于专用电压互感器的二次侧；如无专用电压互感器时，则将电压继电器接于母线上电压互感器的二次侧。



电力电容器





补偿电容器组

图 3-44　电力电容器组过电压保护原理接线图

正常运行时，电压互感器二次侧输出额定电压，过电压继电器 KV 不动作；当电容器上的电压升高而超过动作电压整定值时，过电压继电器 KV 动作，经过时间继电器 KT 延时后作用于断路器跳闸。

5. 高压电动机低压保护装置

图 3-45 为电动机低电压保护原理接线图。图中低电压继电器 1KV、2KV、3KV 及时间继电器 1KT、信号继电器 1KS、中间继电器 3KC 构成次要电动机的低电压保护，以 0.5s 时

限跳闸。低电压继电器 4KV、时间继电器 2KT、信号继电器 2KS 及中间继电器 4KC 构成不允许“长期”失电后再自启动的重要电动机的低电压保护。1KV～4KV 都接在线电压上，3KV～4KV 采用的熔断器 4FU、5FU 的额定电流比 1FU～3FU 的额定电流大两级，电压互感器高压侧隔离开关 QS、低压侧刀开关 QK 的辅助触点控制着低电压保护的直流回路。

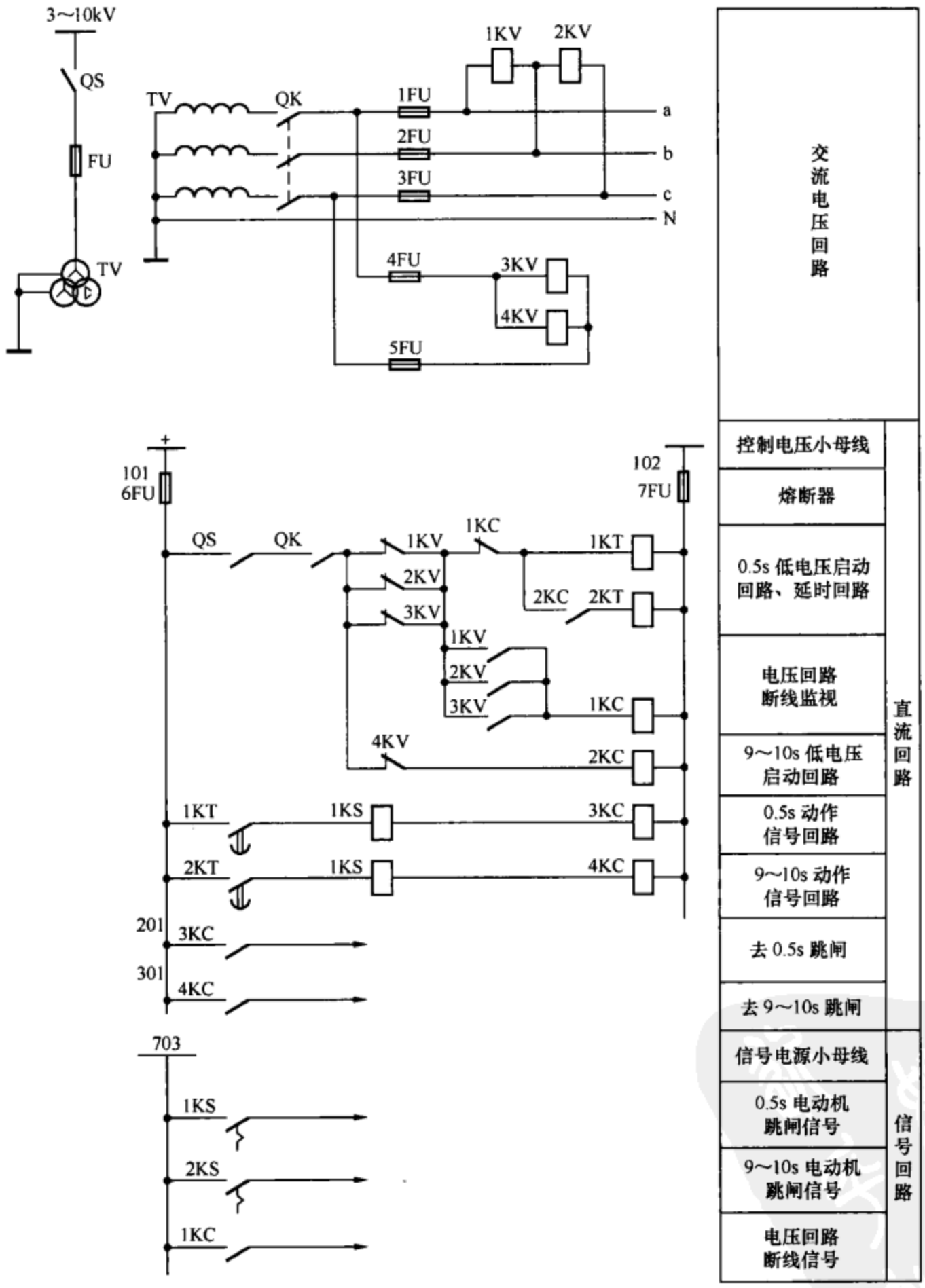


图 3-45　高压电动机低电压保护原理接线图

保护装置的动作过程如下。

① 正常运行时，低电压继电器 1KV～4KV 的动断触点全部断开，低电压保护不会动作。

② 当母线电压消失或对称下降到（0.6～0.7）$U_{N.M}$时，低电压继电器 1KV、2KV 和 3KV 均动作，其动断触点闭合，通过中间继电器 1KC 的动断触点（此时因 1KV、2KV、3KV 的动合触点断开，1KC 线圈未通电）启动时间继电器 1KT，1KT 的动合触点延时 0.5s 后闭合，接通中间继电器 3KC 的线圈，3KC 的动合触点闭合，把次要的电动机切除。若母线电压仍未恢复，当继续下降到（0.4～0.5）$U_{N.M}$时，低电压继电器 4KV 动作，其动断触点闭合，启动时间继电器 2KT，2KT 的动合触点延时 9～10s 后闭合，把不允许“长期”自启动的重要电动机切除。

③ 当电压互感器回路一次侧或二次侧断线，甚至二次侧熔断器 1FU～3FU 同时熔断时，至少有一个低电压继电器因仍处在正常相间电压下而不动作，其动合触点闭合，从而启动 1KC 线圈，1KC 的动断触点断开，切断时间继电器 1KT、2KT 的线圈回路，将低电压保护闭锁，避免了保护误动作。同时，1KC 的动合触点闭合，接通预告信号回路，发出“电压回路断线”信号。

④ 当电压互感器一次侧隔离开关 QS 或二次侧刀开关 QK 因误操作而断开时，其在直流回路中的辅助触点 QS 或 QK 也将断开，切断保护的直流电源，从而防止了保护误动作。



想一想　你还知道哪些电动机低电压保护电路？

3.3.3 二次回路图的绘制
——设备编号要标明，位置编号应注清

1．接线图的绘制

二次回路接线图是用来表示屏（成套装置）内或设备中各元器件之间连接关系的一种图形，它是安装施工和运行维护时的重要参考图纸。

（1）项目代号

项目代号的名称及前缀符号见表 3-5。

表 3-5　　项目代号的名称和前缀符号

段　别	名　称	前缀符号	示　例
第一段	高层代号	=	=S1
第二段	位置代号	+	+3
第三段	种类代号	−	−K1
第四段	端子代号	:	:2

① 高层代号：指系统或设备中较高层次的项目，用前缀“=”加字母代码和数字表示，如“=S1”表示较高层次的装置 S。

② 位置代号：以项目的实际位置（如区、室等）编号表示，用前缀“+”加数字或字母表示，可以由多项组成，如+3+A+5 表示 3 号室内 A 列第 5 号屏。

③ 种类代号：一个电气装置一般由多种类型的电气元件组成，如继电器、熔断器、端板等。为明确识别这些器件（项目）所属种类，设置了种类代号，用前缀“−”加种类代号和数字表示，如“−K1”表示顺序编号为 1 的继电器。项目种类字母代号见表 3-6。

表 3-6　　项目种类字母代号

项 目 种 类	字母代码（单字母）	项 目 种 类	字母代码（单字母）
开关柜	A	测量设备（仪表）	P
电容器	C	开关器件	Q
保护器件，如避雷器、熔断器等	F	电阻	R
指示灯	H	变压器、互感器	T
继电器、接触器	K	导线、电线、母线	W
电动机	M	端子、接线柱、插头等	X
电烙铁（线圈）	Y		

④ 端子代号：用来识别电器、器件连接端子的代号。用前缀“：”加端子代号字母和端子数字编号表示，如“－Q1：2”表示开关（隔离）Q1 的第二个端子，“X1：2”则表示端子排 X1 的第二个端子。

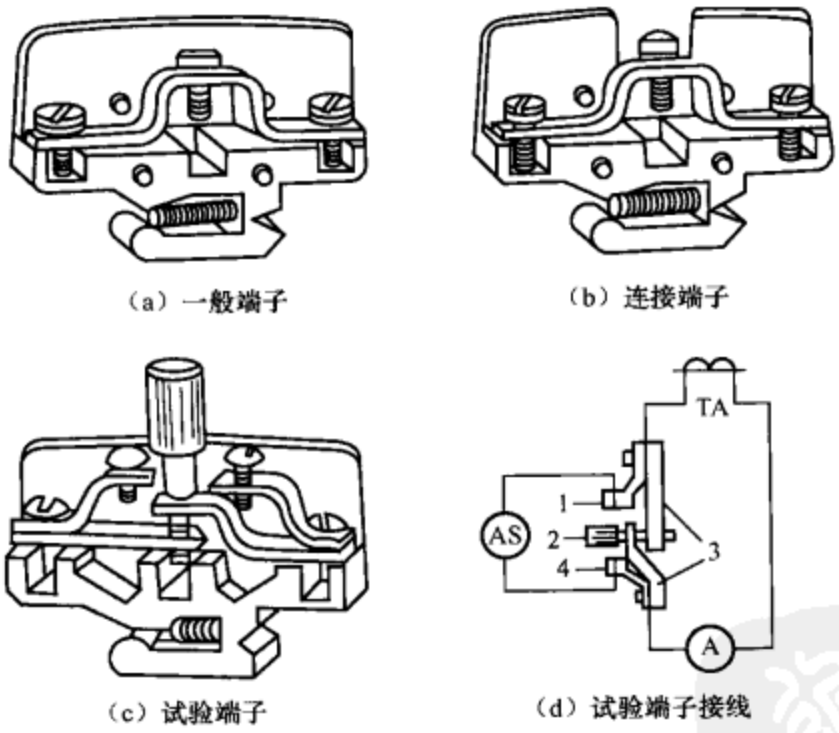
（2）安装单位和屏内设备

为了区分同一屏中两个以上分别属于不同一次回路的二次设备，设备上必须标以安装单位的编号。

（3）接线端子（排）

在屏内与屏外二次回路设备之间、屏内不同安装单位设备之间以及屏内与屏顶设备之间都是通过端子排来连接的。若干个接线端子组合在一起构成端子排，端子排通常垂直布置在屏后两侧。

如图 3-46 所示，接线端子按用途可分为一般端子、连接端子和试验端子。



（a）一般端子　（b）连接端子　（c）试验端子　（d）试验端子接线

图 3-46　接线端子

① 一般端子：适用于屏内外导线或电缆的连接。

② 连接端子：与一般端子的外形基本一样，不同的是中间有一缺口，通过缺口可以将相邻的连接端子或一般端子用连接片连为一体，提供较多的接点供接线使用。

③ 试验端子：用于需要接入试验仪器的电流回路中，通过它来校验电流回路中仪表和继电器的准确度。

端子排的排列方式有交流电流回路、交流电压回路、信号回路、控制回路、转接回路及其他回路等，绘图时可根据实际需要选择。

（4）二次回路接线表示方式

① 连续线：在图中表示设备之间的连接时用连续的图线画出。当图形复杂时，图线的交叉点太多，显得很乱。

② 中断线：又叫相对编号法，就是甲、乙两个设备需要连接时，在设备的接线柱上画一条中断线并标明接线的去向，没有标号的接线柱表示空着不用。

二次回路接线图示例如图 3-47 所示。

2. 屏面布置图的绘制

（1）控制屏屏面布置原则

① 控制屏屏面布置应满足监视和操作调节方便、模拟接线清晰的要求。对于相同的安装单位，其屏面布置应一致。

② 测量仪表应尽量与模拟接线对应，A、B、C 相按纵向排列，同类安装单位中功能相同的仪表一般布置在相对应的位置。

③ 每列控制屏的各屏间，其光字牌的高度应一致。光字牌宜放在屏的上方，要求上部对齐；也可放在中间，要求下部对齐。

④ 操作设备宜与其安装单位的模拟接线相对应。功能相同的操作设备应布置在相对应的位置上，操作方向全变电所必须一致。

⑤ 操作设备（中心线）离地面一般不得低于 600mm，经常操作的设备宜布置在离地面 800～1 500mm 处。

（2）继电保护屏屏面布置

① 继电保护屏屏面布置应在满足试验、检修、运行、监视方便的条件下适当紧凑。

② 相同安装单位的屏面布置宜对应一致，不同安装单位的继电器装在一块屏上时宜按纵向划分，其布置宜对应一致。

③ 各屏上设备的装设高度横向应整齐一致，避免在屏后装设继电器。

④ 调整、检查工作较少的继电器布置在屏的上部，调整、检查工作较多的继电器布置在中部。一般按如下次序由上至下排列：电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器等布置在屏的上部，方向继电器、差动继电器、重合闸继电器等布置在屏的中部。

⑤ 各屏上的信号继电器宜集中布置，水平安装高度应一致。信号继电器在屏面上的安装中心线离地面不宜低于 600mm。

⑥ 试验部件与连接片的安装中心线离地面宜不低于 300mm。

⑦ 继电器屏下面离地 250mm 处宜设有孔洞，供试验时穿线用。

（3）信号屏屏面布置

① 信号屏屏面布置应便于值班人员监视。

② 中央事故信号装置与中央预告信号装置一般集中布置在一块屏上，但信号指示元件及操作设备应尽量划分清楚。

③ 信号指示元件（信号灯、光字牌、信号继电器）一般布置在屏正面的上半部，操作设备（控制开关、按钮）则布置在它们的下方。

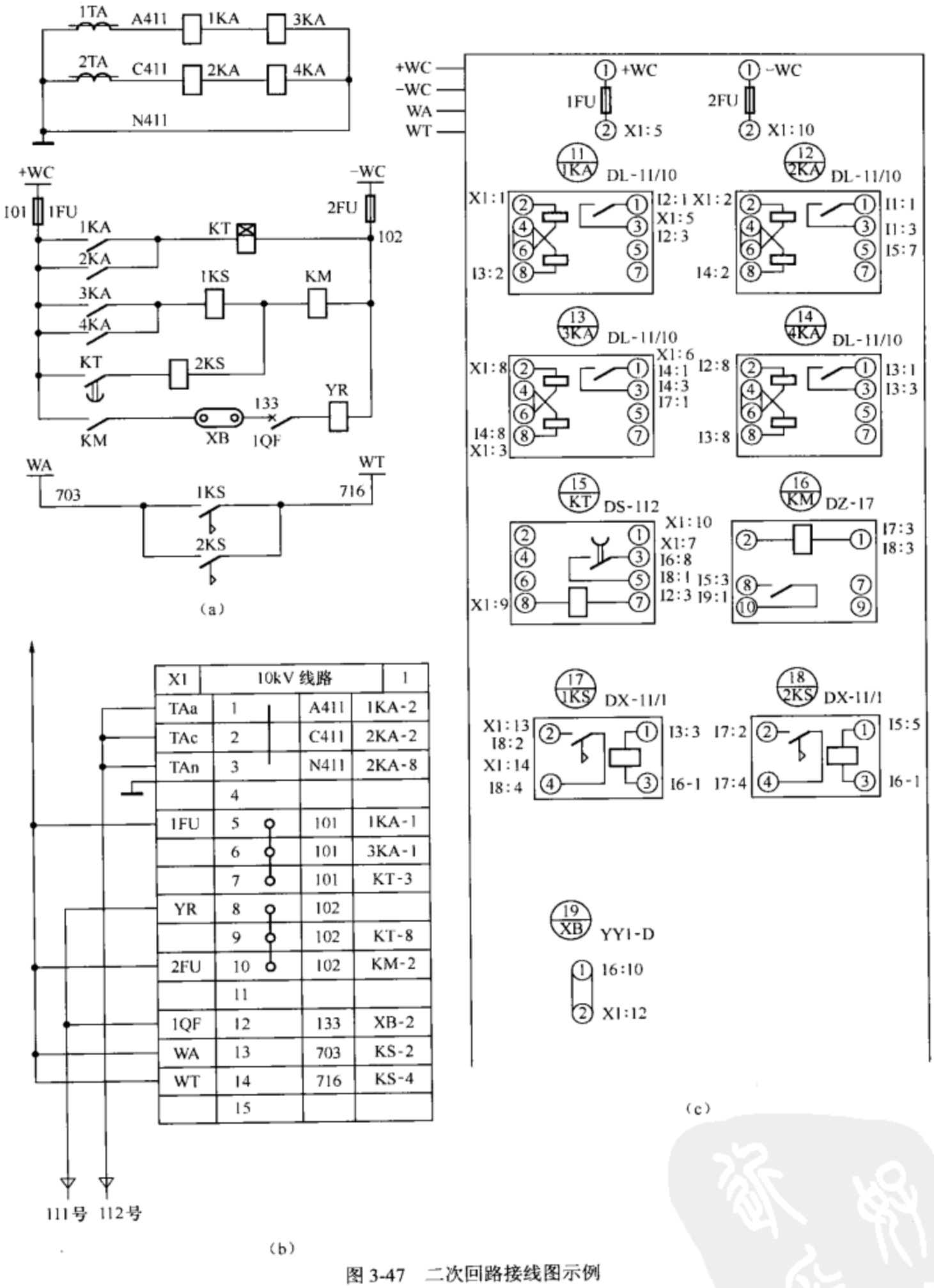
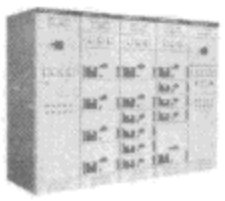


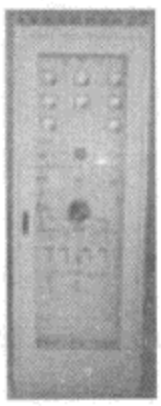
图 3-47　二次回路接线图示例

④ 为了保持屏面的整齐美观，一般将中央信号装置的冲击继电器（相对于传统继电器，因启动电流小而得名）、中间继电器等布置在屏后上部（这些继电器应采用屏前接线方式），中央信号装置的音响器（电笛、电铃）一般装于屏内侧的上方。

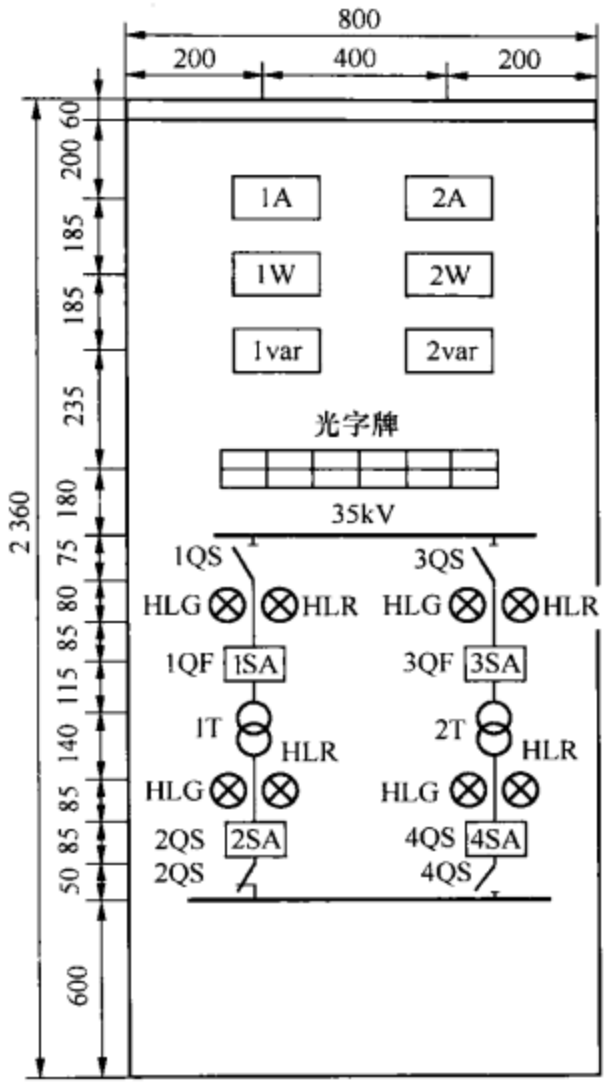
按照上述方法绘制的屏面布置图如图 3-48 所示。



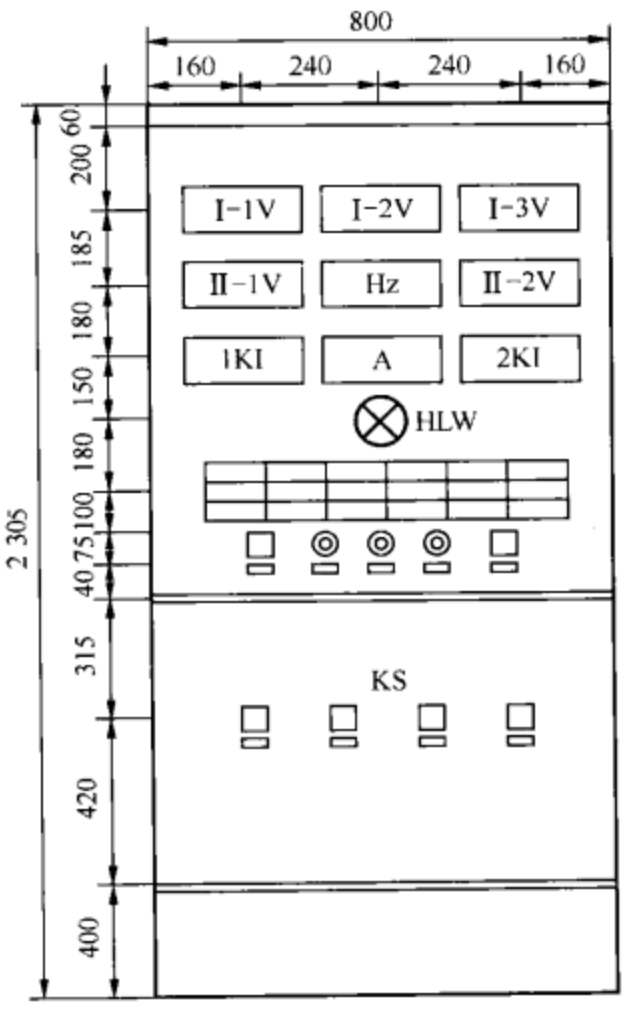
控制屏



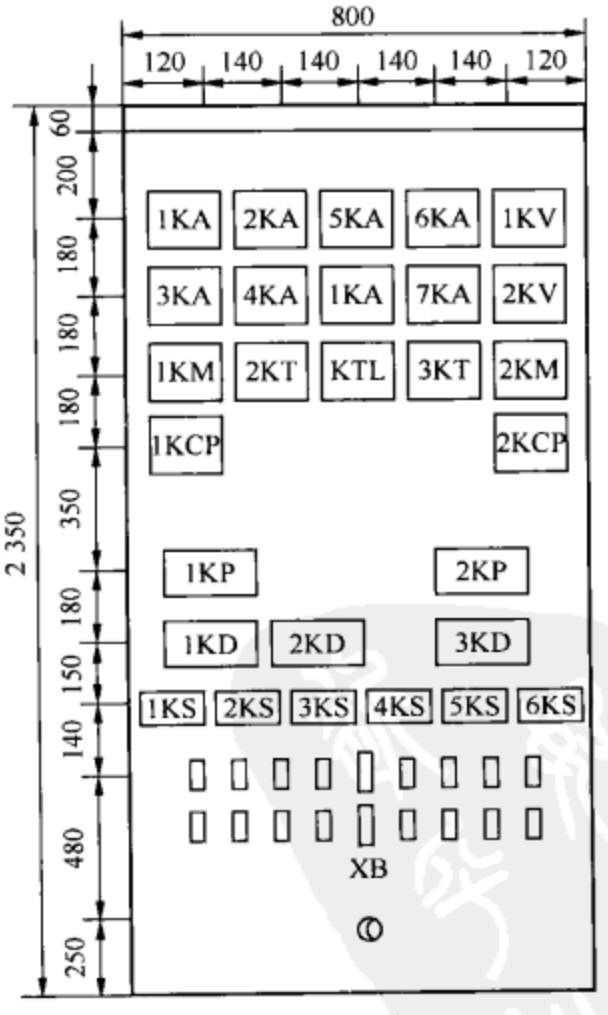
继电保护屏



（a）35kV主变压器



（b）信号屏



（c）继电保护屏

图 3-48　屏面布置图示例

知识链接

展开图和安装接线图

展开式原理接线图简称展开图，以分散的形式表示二次设备之间的电气连接。在展开图中，设备的触点和线圈分散布置，按它们动作的顺序相互串联，从电源的正极到负极或从电源的一相到另一相算作一条“支路”，然后依次从上到下排列成若干行（当水平布置时）或从左到右排列成若干列（当垂直布置时）。同时，展开图是按交流电压回路、交流电流回路和直流回路分别绘制的。

展开图在电工装置中用得非常普遍，一般用来表示回路的某一部分或整个装置的工作原理，例如发电机的控制、保护、监测回路展开图，中央信号展开图等。

安装接线图用来作为设备制造、现场安装的实用二次接线图，也是运行、调试、检修等的主要参考图。在这种图上设备和器具均按实际情况布置。设备、器具的端子和导线、电缆的走向均用符号、标号加以标志。对于两端连接不同端子的导线，为了便于查找其走向，采用专门的“对面原则”标号方法。

安装接线图包括：屏面布置图（它表示设备和器具在屏面上的安装位置，屏和屏上的设备、器具及其布置均按比例绘制）、屏后接线图（它表示屏内的设备、器具和与屏外设备之间的电气连接）、端子排图（用于表示连接屏内外各设备和器具的各种端子排的布置及电气连接）。



想一想　怎么样绘制屏面布置图？

3.3.4 识读二次回路图的基本途径
——各个击破细分析，触点动作讲逻辑

1. 识图的基本方法

由于通过展开图最易于了解电路的整个动作过程，所以看电气二次图时应先看其展开图，然后再看该设备的其他图就容易了。

看电气二次回路图的基本方法是：把一个整体二次电路按功能和层次分为几个环节（相当于几个小回路或支路）和几个层次，先逐一对各个环节分别进行分析，然后再综合起来看全图。例如在控制电路中按功能可分为合闸回路、跳闸回路，再进一步划分为手动合闸、自动合闸回路及手动跳闸、保护跳闸等回路。

2. 识图顺序

① 先弄清该二次系统所控制的设备是哪种类型的一次设备。二次回路都是为一次系统和被控制的设备服务的，不同的设备有其基本的控制要求和控制方式。被控制设备的基本类型有发电机、电动机（指单负荷电动机，如风机、水泵）、变压器、电力线路、整组电动机拖动的机电设备（包括机床、成型机械设备、运输起吊设备等）、其他动力（例如液压动力与空气动力）的机械设备等，其二次回路都有各自基本的控制方式和回路形式。

② 看图时应先搞清主设备（主系统、一次系统）电路，然后看再二次系统电路；先搞清基本控制方式，再看具体电路。如果先看或只看局部电路，就有可能出现误判断的情况。

③ 看机电设备的电气控制图时，很重要的一条就是要搞清机械本身的工作过程和各工作流程之间的关系以及各相关部位（例如装限位开关的部位）的动作情况，然后再看电路图。

④ 许多二次回路都有一些关键环节，有的二次回路中还有特殊环节，看图时找出图中的特殊环节和关键环节，先搞清这些环节的动作过程，再全面看电路图。例如，在由电容器充放电使继电器动作的电路中，应先把这部分电路如何动作看明白，再进一步往下看。

⑤ 二次回路图的种类很多，掌握各类图的互换与绘制方法是阅读二次回路图的一个十分重要的方法。对于某一个具体的设备、装置和系统，这些图则是从不同的角度及不同的侧面对同一对象采用的不同描述手段。显然，这些图之间存在着内部的联系，因此，读各种二次回路图应将各种图联系起来阅读。

3. 识图要领

二次回路图的逻辑性很强，在绘制时遵循着一定的规律，看图时若能抓住此规律就很容易看懂。看图的要领如下。

（1）先交流，后直流

一般来说，交流回路比较简单，容易看懂，因此在识图时，先看二次接线图的交流回路，把交流回路看完弄懂后，根据交流回路的电气量以及在系统中发生故障时这些电气量的变化特点，向直流逻辑回路推断，再看直流回路。

（2）交流看电源，直流找线圈

看交流回路要从电源入手。交流回路有交流电流回路和电压回路两部分，先找出电源来自哪组电流互感器或哪组电压互感器，在两种互感器中传输的电流量或电压量起什么作用，与直流回路有何关系，这些电气量是由哪些继电器反映出来的，找出它们的符号和相应的触点回路，看它们用在什么回路中，与什么回路有关，在心中形成一个基本轮廓。

（3）抓住触点，逐个查清

继电器线圈找到后，再找出与之对应的触点。根据触点的闭合或断开引起回路变化的情况再进一步分析，直至弄清整个逻辑回路的动作过程。

（4）先上后下，先左后右，屏外设备一个也不漏

这个识图要领主要是针对端子排图和屏后安装图而言的。展开图上凡屏内与屏外有联系的回路均在端子排图上用同一个回路标号。单纯看端子排图是不易看懂的。端子排图是一系列的数字和文字符号的集合，把它与展开图结合起来看就能弄清楚它的连接回路。



例 3-3 识读 DW 型断路器电磁合闸二次回路图。

图 3-49 是 DW 型断路器的电磁合闸二次回路图。该电路由合闸线圈 YO、合闸接触器 KO、时间继电器 KT 等组成。要使断路器合闸，必须先使 YO 线圈得电；要使 YO 线圈得电，必须使 KO 动合触点闭合，即必须使 KO 接触器线圈得电。要使 KO 线圈得电，必须满足以下条件：按钮 SB 闭合，同时 QF 的动断触点不断开，或 KO 的动合触点闭合（必须是 KO 线圈先得电后才能闭合，

起自保作用）且时间继电器的动断触点不断开。

当按下按钮 SB 时，合闸接触器 KO、时间继电器 KT 得电，KO 的动合触点闭合后，合闸电磁铁线圈 YO 得电，断路器合闸。KO 的另一个辅助触点 KO（1-2）自保。时间继电器 KT 延时结束之后，其动断触点断开，使 KO 线圈失电，其动合触点断开，切断合闸回路，使合闸线圈的通电时间为 KT 的延时时间。

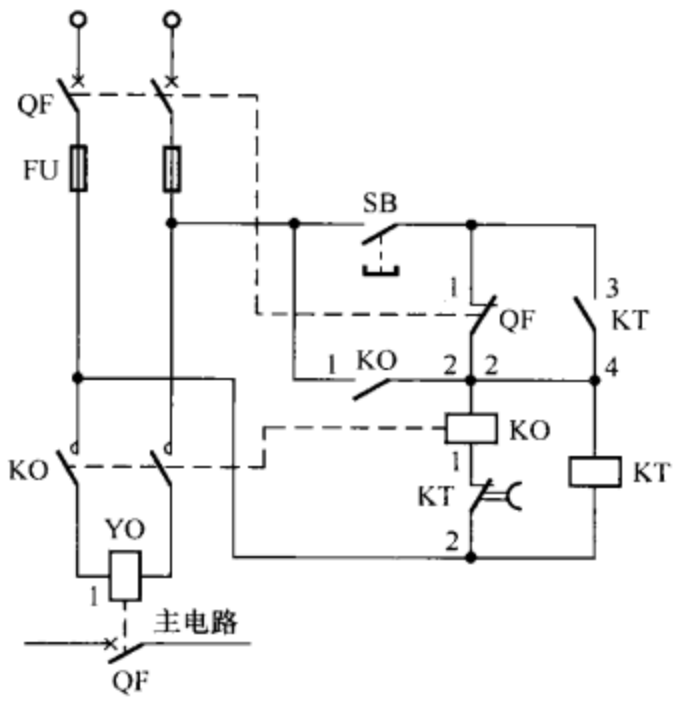


图 3-49　DW 型断路器电磁合闸二次回路图

KT 动合触点的“防跳”过程为：当合闸按钮 SB 按下不返回或被粘住，而断路器 QF 所在的电路存在着永久性短路时，则继电保护装置就会使断路器 QF 跳闸，这时断路器的动断触头 QF（1-2）闭合。若没有时间继电器 KT 及其动断触点 KT（1-2）和动合触点 KT（3-4），则合闸接触器 KO 将再次自动通电动作，使合闸线圈 YO 再次通电，断路器 QF 再次自动合闸。由于是永久性短路，继电保护装置又要动作，使断路器再次跳闸。这时 QF 的动断触点又闭合，又要使 QF 再一次合闸。如此反复地在短路状态下跳闸、合闸（称之为“跳动”现象），将会使断路器的触头烧毁而熔焊在一起，使短路故障范围扩大。因此，增加时间继电器 KT 后，在 SB 不返回或被粘住时，时间继电器 KT 瞬时闭合的动合触点 KT（3-4）闭合，保持了 KT 有电。这样 KT 的动断触点 KT（1-2）打开，不会在 QF 跳闸之后再次使 KO 通电，断路器再次合闸，从而达到了“防跳”的目的。

例 3-4　识读备用电源自动投入二次回路接线图。

图 3-50 为某备用电源自动投入的二次回路接线图，该二次回路由交流电流、电压测量部分和直流逻辑回路组成。

（1）电压测量回路

电压测量回路由分别测量两段母线电压的低电压继电器 1KV1、1KV2 和 2KV1、2KV2 构成，其作用是当母线失电时触点闭合，启动逻辑回路，跳开原来工作的断路器 1QF 或 2QF。这是启动逻辑回路的主要条件之一。

（2）电流闭锁回路

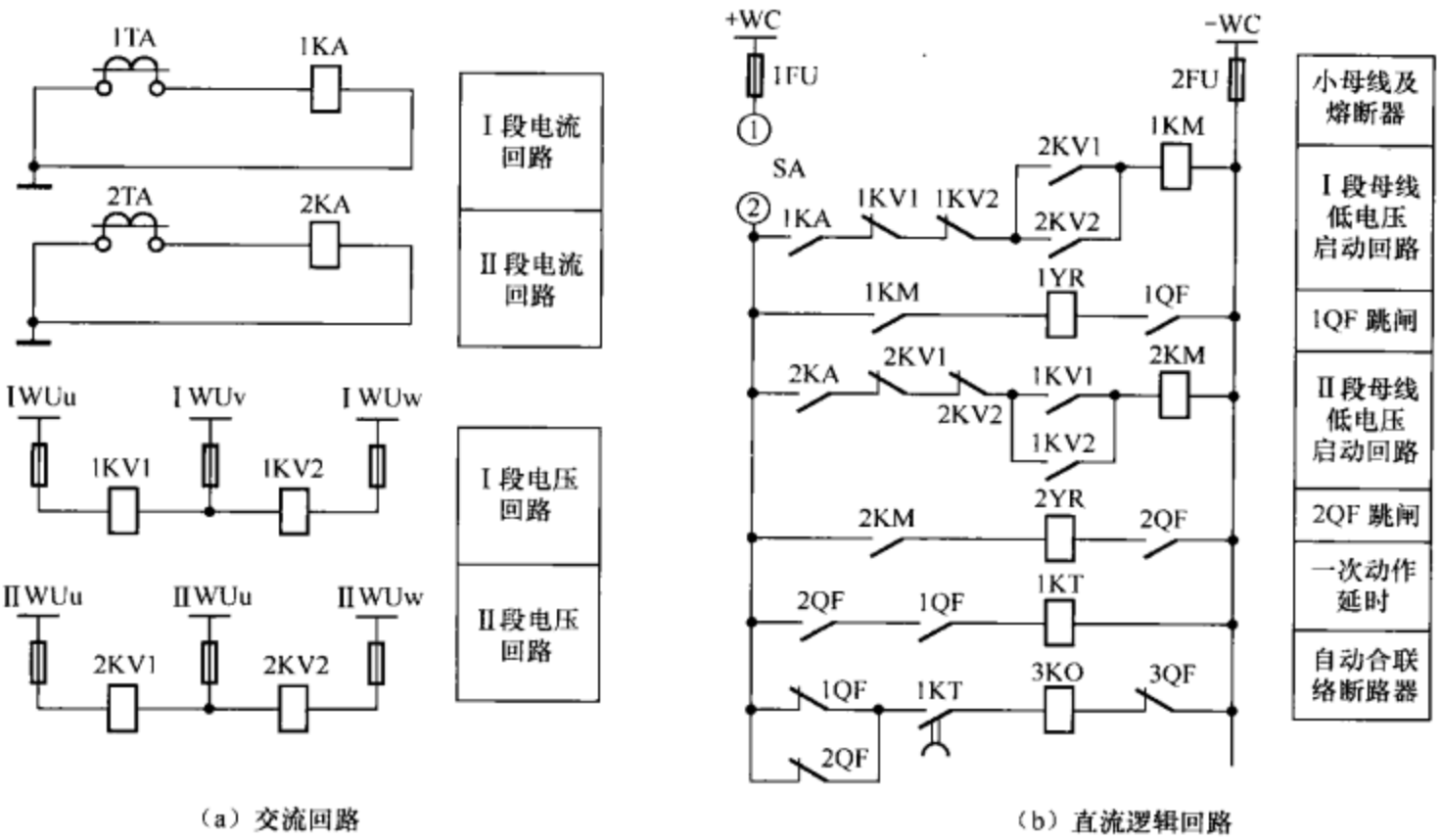
测量线路中Ⅰ段电流回路中的电流继电器 1KA 和Ⅱ段电流回路中的电流继电器 2KA 组成电流闭锁回路，其作用是只有该线路电流增大且该段母线电压 降低时，逻辑电路中的中间继电器 1KM 或 2KM 才能动作去跳开 1QF 或 2QF。

（3）合闸逻辑回路

① 在逻辑回路中接有一个延时返回的时间继电器 1KT，该继电器受主电路工作断路器 1QF 和 2QF 的动合辅助触点控制。在主电路的工作断路器 1QF、2QF 都处于合闸位置时，继电器 KT 带电吸合；在主电路的工作断路器 1QF 和 2QF 中的任何一个跳闸后，KT 因断路器的动合辅助触点断开而失电，开始其延时释放的过程。时间继电器 1KT 的动合触点串接在备用断路器 3QF 的合闸回路中，其延时时间（也就是动合触点在线圈失电后继续保持接通的时间，一般为 0.5～0.8s）应能保证备用断路器可靠合闸一次。

② 只有当备用电源有电时（由电压继电器 1KV1、1KV2 和 2KV1、2KV2 测量，有电时动

合触点闭合）才允许接通工作断路器的跳闸回路，即允许 1KM 或 2KM 动作。



（a）交流回路　　（b）直流逻辑回路

图 3-50　备用电源自动投入二次回路接线图

③ 在工作断路器跳闸后，备用断路器 3QF 的合闸元件 KO 在工作断路器的动断辅助触点（1QF 或 2QF）闭合而时间继电器 KT 的动合触点尚未返回（即打开）的这段时间内动作，将备用断路器 3QF 合闸投入。

④ 备用断路器 3QF 在合闸一次后，由于时间继电器 KT 的动合触点因延时时间已到而打开，所以备用断路器 3QF 可在故障母线保护动作时将其跳开，不会引起再次合闸。这就保证装置只能合闸一次。

⑤ SA 是装置投入和退出的转换开关。

喜欢为哪种人做手术

几个外科医生围坐在一起，谈论他们喜欢为哪种人做手术。

第一个医生说："我最喜欢为图书管理员做手术。当你打开他们的身体时，里面的一切东西都是按字母顺序排列的。"

第二个医生说："我最喜欢为会计做手术。当你打开他们的身体时，一切都是按数字顺序排列的。"

第三个医生说："我最喜欢为电工做手术。当你找开他们的身体时，一切都是用颜色作为代号的。"



第4章

建筑电气图

——强弱电不相往来

建筑电气工程图是建筑工程的重要组成部分，它提供了建筑内电气设备的安装位置、安装接线、安装方法及设备的有关参数。建筑物的功能不同，电气图也有所侧重，一般有建筑安装平面图、动力与照明内线工程图和弱电工程图等电气图。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

① 了解建筑电气安装平面图的特点。
② 了解识读建筑电气工程图的注意事项。
③ 理解动力配电系统图和照明配电系统图的区别。
④ 了解综合布线工程系统图的两种标注方式。
⑤ 了解闭路监控电视系统、建筑电话通信系统、火灾自动报警系统和防盗保安系统的基本组成。
⑥ 了解综合布线的概念。

能力目标

① 按照正确的步骤和方法阅读建筑电气工程图。
② 正确识读动力与照明配电系统图和平面图。
③ 识读闭路监控电视系统图、建筑电话通信系统图、火灾自动报警系统图和防盗保安系统图。
④ 识读综合布线工程系统图和平面图。

4.1 建筑电气工程识图常识——重点读懂平面图

建筑工程周期长，电气安装贯始终。
多个工种齐上阵，团结协作又分工。
电气图样种类多，一张一张要看懂。
电气原理要理解，识图程序记心中。
重点读懂平面图，技术参数有异同。
系统层次搞清楚，熟能生巧好电工。

建筑工程的施工包括土建、装修、给排水、暖通、电气安装等。在工程项目开工前，电气工程技术人员应首先熟悉电气施工图纸，并会同土建施工技术人员共同查对土建施工图与电气施工图，列出哪些部分有交叉施工，根据土建施工进度计划，对有关基础型钢预埋、支吊架预埋和线路保护管预埋等列出配合交叉施工计划，确定准确配合时间，以防遗漏和发生差错。在建筑基础施工阶段，建筑电气安装应做好接地装置及接地引线、防雷装置引下线等工作。在建筑主体施工阶段，应做好配管、配线、预留、预埋工作。在建筑装修阶段，应做好电器安装、调试等工作。所有这些工作都得按照设计图纸进行。

4.1.1 图样的分类及特点
——总图分图有特色，专用符号须记得

建筑电气安装平面图包括建筑电气总平面图和电气设备平面图。

建筑电气总平面图是在建筑总平面图上表示电源及电力负荷分布的图样，主要表示各建筑物的名称或用途、线路走向及变配电装置的位置、容量和电源进户的方向等。通过电气总平面图可了解该工程的概况，掌握电气负荷的分布及电源装置等。一般大型工程都有电气总平面图，中小型工程则由动力平面图或照明平面图代替。

电气设备平面图是在建筑物的平面图上标出电气设备、元件、管线实际布置情况的图样，主要表示其安装位置、安装方式、规格型号、数量及接地网等。通过平面图可以知道每幢建筑物及其各个不同的标高上装设的电气设备、元件及其管线等。

建筑电气安装平面图不同于一般的机械图、建筑图和原理图，它具有以下特点。

① 电路中的电气设备、元件等彼此之间都是通过导线连接起来构成一个整体。

② 建筑电气安装平面图中各种电气设备的图形符号与电路原理图中的符号不尽相同。其图形符号只用于电力、照明和电信设备、线路设施的平面布置图或规划图样，一般不用于概略图、电路图等功能图中。当这些设备或设施按其实际形状投影绘制时，也不采用这些图形符号。例如，在建筑电气安装平面图中，开关的一般符号为“ ”，带指示灯的开关的图形符号为“ ”，这与开关在电路原理图中的图形符号有较大的区别。

③ 设备和线路通常不标注项目代号，但一般都标注了设备的编号、型号、规格、安装和

敷设方式等。

④ 在建筑电气平面图上通常要画出某些建筑构件、构筑物、地形地貌等的图形和位置，例如墙体、材料、门窗、楼梯、房间、必要的采暖通风和给排水管路、建筑物轴线及道路、河流、桥梁、水域、森林、山脉等。

⑤ 建筑平面图上存在着建筑平面图图线和电气平面图图线两种图线。为了不混淆两种图线，同时突出电气布置，通常电气图图线比建筑图图线的宽度大 1～2 个等级。

⑥ 图上元件、设备的位置及图线等都与建筑平面图协调一致。

知识链接

常用的建筑电气工程图

① 说明性文件：图纸目录、设计说明（施工说明）、图例、设备材料明细表（零件表）。

② 系统图：系统图是表现电气工程的供电方式，电力输送、分配、控制和设备运行情况的图纸，如变配电系统图、动力系统图、照明系统图、弱电系统图等。

③ 平面图：平面图是表示电气设备、装置与线路平面布置的图纸，是进行电气安装的主要依据。常用的电气平面图有变配电所平面图、室外供电线路平面图、动力平面图、照明平面图、防雷平面图、接地平面图及弱电平面图等。

④ 布置图：布置图是表现各种电气设备和器件的平面与空间的位置、安装方式及其相互关系的图纸。

⑤ 接线图：安装接线图在现场常被称为安装配线图，主要用来表示电气设备、电气元件和线路的安装位置、配线方式、接线方法、配线场所的特征。

⑥ 电路图：现场常称作电气原理图，主要是用来表现某一电气设备或系统的工作原理的图纸，它是按照各个部分的动作原理图采用分开表示法展开绘制的。

⑦ 详图：详图是表现电气工程中设备的某一部分的具体安装要求和做法的图纸。

4.1.2 识图程序方法及要点
——先读说明再看图，看罢总图看分图

阅读建筑电气工程图，除应了解建筑电气工程图的特点外，还应该按照一定顺序进行阅读，才能比较迅速全面地读懂图纸，以完全实现读图的意图和目的。

1. 识图程序和方法

识读建筑电气工程图的程序一般按设计总说明、电气总平面图、电气系统图、电气设备平面图、控制原理图、二次接线图、电缆设备清册、大样图、设备材料表和图例并进的程序进行，如图 4-1 所示。

一套建筑电气工程图所包括的内容比较多，图纸往往有很多张，一般应按表 4-1 所示的顺序依次阅读和进行必要的相互对照阅读。

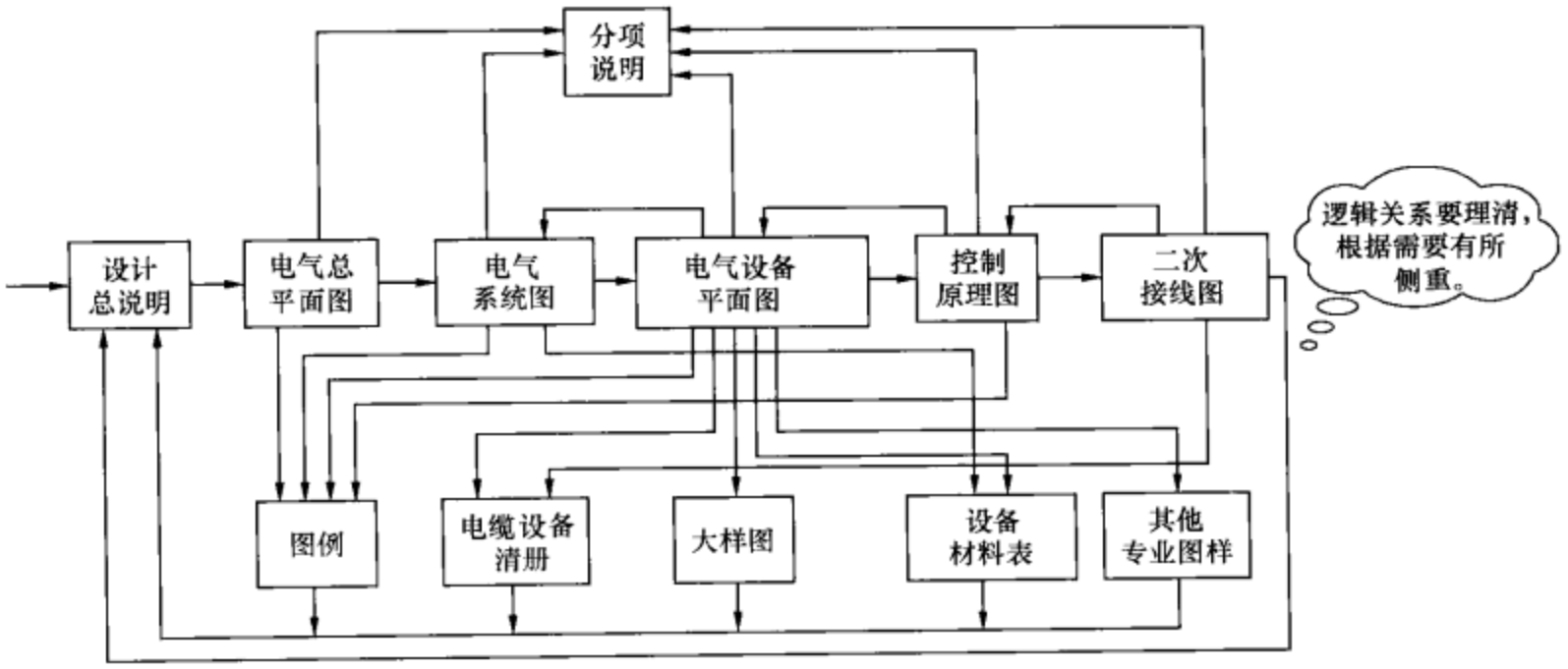


图 4-1 识图程序框图

表 4-1 建筑电气工程图阅读顺序及要点

序　号	图　样	识图目的及要点
1	看标题栏及图纸目录	了解工程名称、项目内容、设计日期及图纸数量和内容等
2	总说明	了解工程总体概况及设计依据，了解图纸中未能表达清楚的各有关事项，如供电电源的来源、电压等级、线路敷设方法、设备安装高度及安装方式、补充使用的非国家标准图形符号、施工时应注意的事项等。有些分项局部问题是在各分项工程的图纸上说明的，看分项工程图纸时还要先看设计说明
3	系统图	各分项工程的图纸中都包含有系统图，如变配电工程的供电系统图、电力工程的电力系统图、照明工程的照明系统图以及有线电视系统图等。看系统图的目的是了解系统的基本组成，主要电气设备、元件等的连接关系及它们的规格、型号、参数等，掌握该系统的基本情况
4	平面布置图	平面布置图是建筑电气工程图纸中的重要图纸之一，如变配电所电气设备安装平面图、电力平面图、照明平面图、防雷接地平面图等都是用来表示设备安装位置、线路敷设方法及所用导线型号、规格、数量的。通过阅读系统图，了解了系统组成概况之后，就可依据平面图编制工程预算和施工方案，具体组织施工了。所以，对平面图必须熟读。对于初学者，有必要在阅读平面图时，选择阅读相应内容的安装大样图
5	电路图和接线图	了解各系统中用电设备的电气自动控制原理，用来指导设备的安装和控制系统的调试工作。因电路图多是采用功能布局法绘制的，看图时应依据功能关系从上至上或从左至右一个回路一个回路地阅读。若能熟悉电路中各电器的性能和特点，对读懂图纸将是一个极大的帮助。在进行控制系统的配线和调试工作中，还可配合阅读接线图和端子图进行

续表

序　号	图　样	识图目的及要点
6	安装大样图	安装大样图是按照机械制图方法绘制的用来详细表示设备安装方法的图纸，也是用来指导安装施工和编制工程材料计划的重要依据，特别是对于初学者更加重要，甚至可以说是不可缺少的。安装大样图一般采用全国通用电气装置标准图集绘制
7	设备材料表	设备材料表给我们提供了该工程使用的设备、材料的型号、规格和数量，是我们编制购置主要设备、材料计划的重要依据之一

说明：阅读图纸的顺序没有统一的规定，可以根据需要自己灵活掌握，并应有所侧重。

2. 识图要点及注意事项

阅读建筑电气工程图的根本目的是为工程施工服务，更好地利用图纸指导施工，使安装质量符合要求。阅读图纸时，还应配合阅读有关施工及检验规范、质量检验评定标准以及全国通用电气装置标准图集，以详细了解安装技术要求及具体安装方法等。

① 看总说明，检查图例是否齐全、清楚。例如，图例中设备（电箱、电灯、强电插座等）的安装高度是否合理，文字说明有无错漏，有无用文字不能表达清楚而需要补图的项目。

② 图纸是否齐全。

③ 看配电系统图，检查开关、电线、配管选择是否合理，开关与电线是否匹配，上下级开关是否匹配，电线电缆敷设方式是否合理，有无不符合规范的问题，各相负荷是否平衡，各系统图之间有无矛盾，电能计量设置是否齐全、合理。

④ 看接地系统图，检查重复接地、防雷接地、弱电接地的图纸是否完善，说明有无错漏，检查防浪涌保护器的规格及其连接线。

⑤ 看平面图，检查电线电缆布置是否合理、清楚；电线根数是否正确；线管敷设是否影响建筑外观；线管敷设是否影响结构；插座、灯具的数量、规格是否合理；插座、灯具、开关、电话、电视、对讲机、门铃、集抄线有无错漏，安装位置是否合理，是否符合建筑布置要求；配电箱安装位置是否合理，配电箱安装位置的墙厚是否满足要求。

⑥ 看弱电图，检查弱电箱的安装位置、尺寸，对讲机的安装位置，入户线走向，电话、电视分配器的数量和布置情况，电能表、水表、煤气表等的集抄线，管井的尺寸、布置情况，管、线选择，弱电系统电源的设置，弱电系统的防浪涌保护器。

⑦ 看主接线图，检查变压器的容量、规格，备用发电机的容量，开关、电线的选择，上下级开关的匹配，高压柜的选择，开关的连锁关系，发电机自动投入。

⑧ 看总平面图，检查是否与各回路数量一致，是否有遗留；各回路进户位置是否合理，是否与建筑图一致，有无建筑物妨碍线管安装问题；各强、弱电管线与其他管线之间的距离是否符合规范；管线的敷设方式是否合理。



练一练

结合自己的实际，归纳整理出阅读建筑电气工程图的方法和步骤，然后按照你归纳的方法找几张图纸读一读。

知识链接

识读施工图的重点内容

认真阅读每一张电气施工图时，必须对以下内容了如指掌。

① 每台设备和元件的安装位置及要求。

② 每条管线的走向、布置及敷设要求。

③ 所有线缆连接部位及接线要求。

④ 所有控制、调节、信号、报警系统的工作原理及参数。

⑤ 系统图、平面图及关联图样的标注应一致，无差错。

⑥ 系统层次清楚，关联部位或复杂部位清楚。

⑦ 土建、设备、采暖、通风等其他专业分工协作明确。

看图实践

例 4-1 识读某学校电气工程施工图（见图 4-2）。

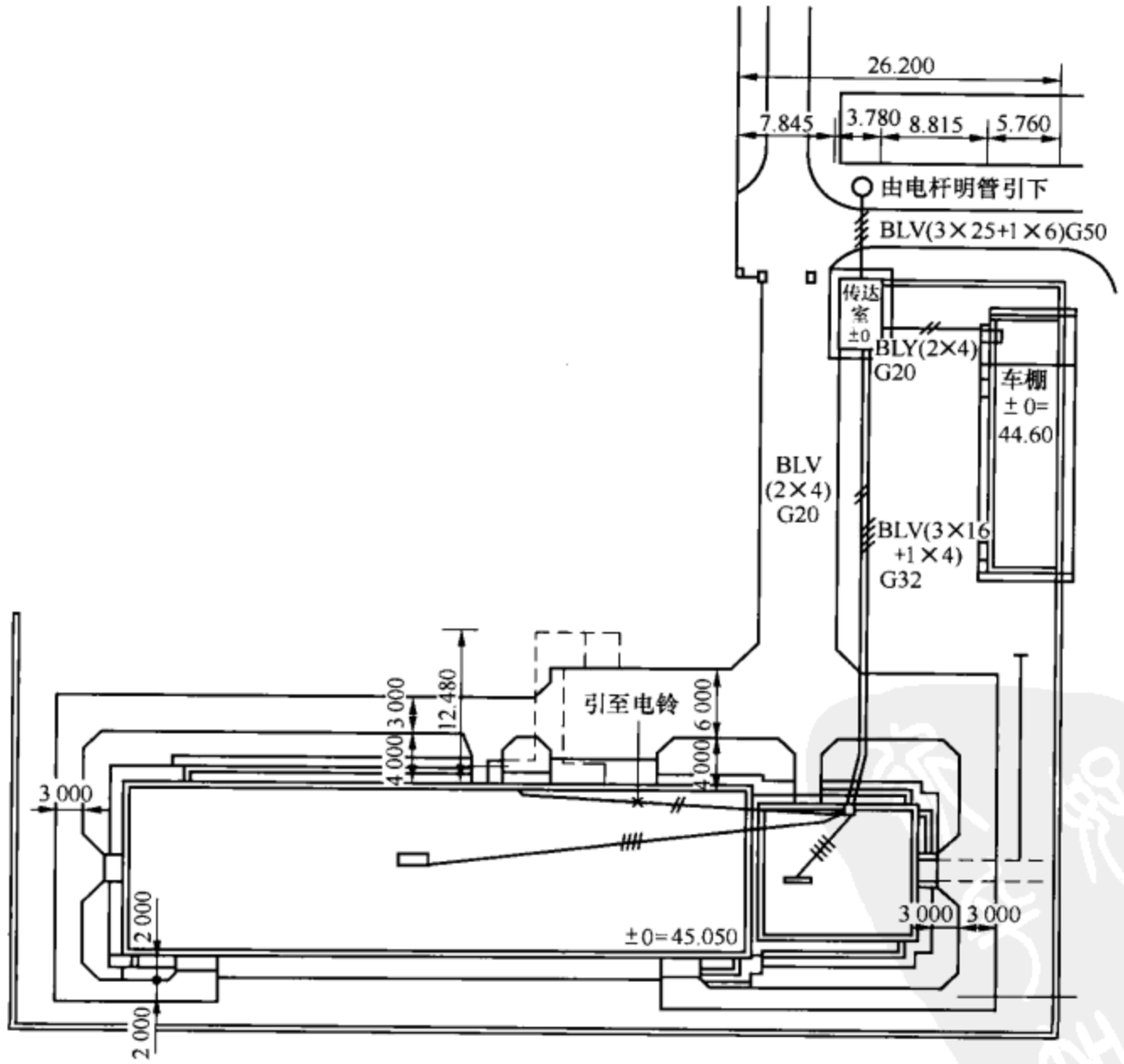


图 4-2 某学校电气施工平面图

根据本节介绍的识图程序及方法，可按照以下步骤识图。

（1）阅读施工说明

该电气施工平面图的施工说明中有如下内容。

① 土建概况。本工程为 4 层混合结构，砖墙承重，预制圆孔混凝土楼板，附抗震现制混凝土构造柱，每层均有圈梁，外墙为清水砖墙，室内墙面抹灰，走廊有水泥墙裙，水泥地面厚度为 5cm，教师办公室部分屋顶为预应力长短向圆孔板，内外高差为 450mm，层高为 3.6m。

② 设计内容。由引入线起包括全部照明、动力、电铃、广播线路及配电箱、灯具、插座、扬声器等固定设备，其中扩声设备及电铃由校方自理。

③ 电源引入。由供电局架空外线引入 380/220V 三相四线制电源到传达室内，装照明及动力电能表各 1 组，其中动力部分包括锅炉房、物理实验室及校办工厂用电，电能表的前后均用 BX-500V 橡皮铜线。传达室高 3.45m，架空线引入时须高于 3.55m，进出线横担选用 M1-1 式，教学楼进户线弯头设在首层楼顶下皮，横担距防水弯头 300mm 以上。

④ 线路敷设。教学楼内水平干管采用硬塑料管，敷设于首层楼板缝现制混凝土圈梁内，立管用硬塑料管砌于墙中，管内穿 BLX-500V 橡皮铝线。支路线均为暗线采用聚乙烯硫体管暗敷于圈梁内、圈梁上楼板接头缝中或立管预埋墙中。导线顺板洞直接穿于圆孔楼板洞内，均用 BLV-500V 铝塑料线，不能用橡皮线。接头用铝管压接，包扎塑料绝缘带。利用圆孔板洞为接线盒时，需加强绝缘包扎。暗插座盒及立管预砌在砖墙中，广播线立管暗砌在墙内，穿白色 HBV 型 $2\times1mm^2$ 铜芯塑料线，分 6 路，即 4 层教学楼每层 1 路、教职工办公室 1 路、户外操场 1 路，电铃管线敷设要求同照明线路。

⑤ 器具安装。传达室总表箱为明装木配电箱，箱底距地 1.6m，将长度为 500mm、规格为 30mm × 30mm 的角钢预砌在墙中，做成托架子，用于支撑明配电箱底角两边。教学楼内为暗装木配电箱，箱底距地 1.4m，做法见 M1-202、M1-203、M1-204。办公室采用单相三眼插座，教室采用一个单相二眼插座和一个单相三眼插座，暗插座距地面 1.8m，实验室暗装插座距地面 2m。电铃暗装插座距地面 3.2m，附挂钩见 M1-15。电铃在教学楼内明装，距地面 3m，户外用防雨式明木箱，距地面 4.2m，附防水弯头。每个电铃附一个 5A 瓷插式保险装置，电铃由传达室统一控制。广播控制盘为暗箱，箱底距地面 1.2m，室内广播扬声器距地面 3m，由土建安装。

⑥ 接地。本工程采用接地保护。锅炉房烟囱、屋顶旗杆均焊接避雷针，引下线接地极电阻要求小于 4Ω。做法均按《电气安装工程施工图册》施工。所有圈梁及构造柱主钢筋均焊接整体接地装置。

⑦ 选用本图时须了解外线情况，并根据具体工程平面布局进行施工。

看了以上图例中的施工说明以后，对该项工程规模概况、总体要求、采用的标准规范、供电要求、电压等级、电源进户方式等有了全面的了解，这对电气施工将起到很重要的指导作用。

（2）参考电气系统图

通过电气系统图可以知道该系统的回路个数及主要用电设备的容量、控制方式等。图 4-3 为某学校电气系统图。

在建筑电气工程中系统图用得较多，例如动力、照明、变配电、通信、广播、电视、火灾报警、防盗保安、微机监控、自动化仪表等都要用到系统图。

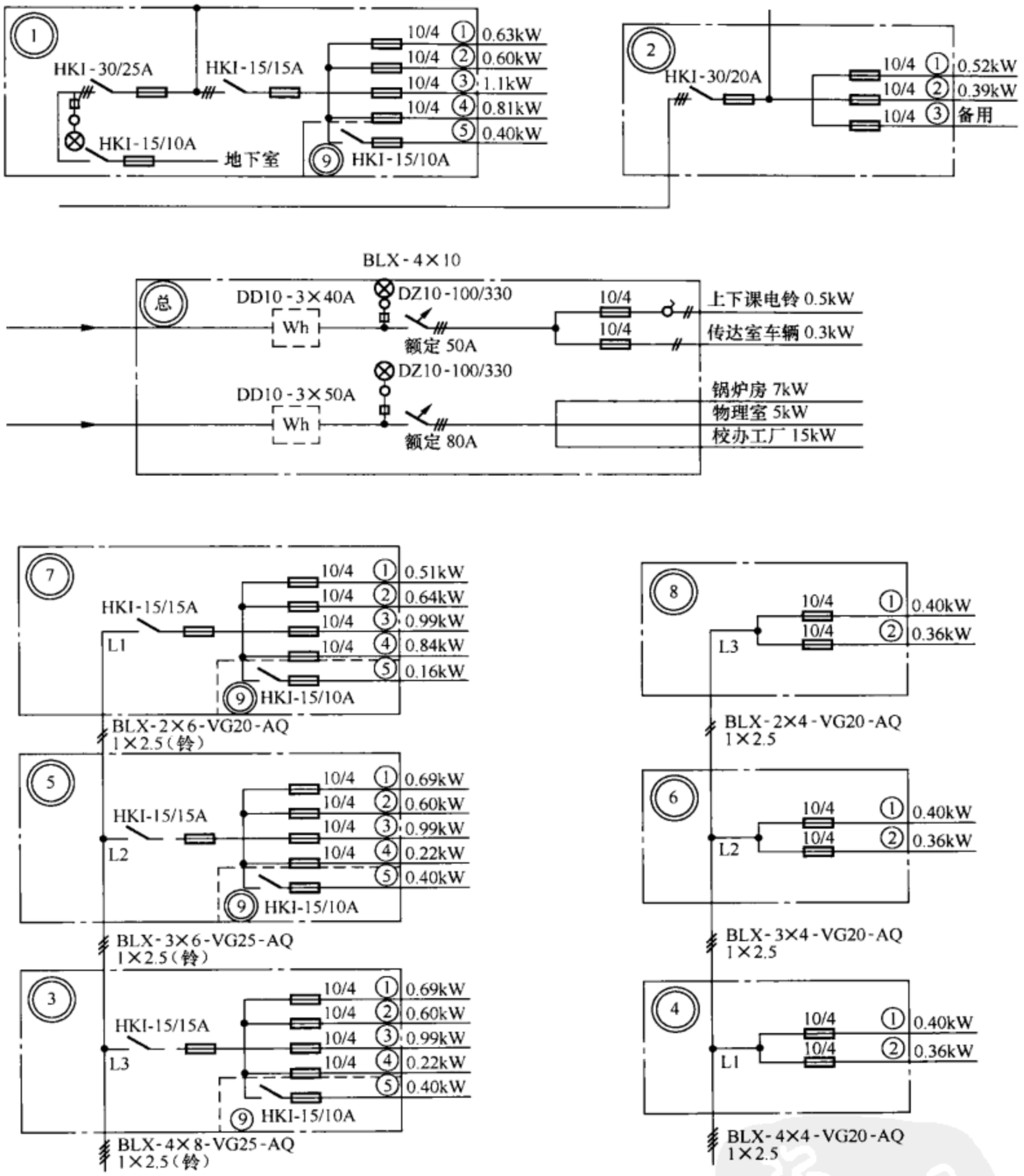


图 4-3　某学校电气系统图

（3）了解电气施工图中建筑物的结构

在施工中应首先看清图中建筑物的结构，再看电路的敷设路径和电气设备的安装位置，并了解相关的安装方法和要求。在图 4-4 中，上部左侧为卫生间，上部右侧是是洗手间，照明采用两盏白炽灯，其功率分别是 40W 和 25W，吸顶安装；卫生间门口楼道灯为 40W 白炽灯，吸顶安装，电源由 F 处引来。图中下部左侧为楼梯，楼梯间照明灯的电源由右侧房间引来。

图中下部右侧为办公室，北侧是门，南侧是窗户，进门左侧有单极开关两个，室内有暗装单相两眼插座 1 个、40W 单管日光灯 2 盏，在距地面 2.5m 处吊装。

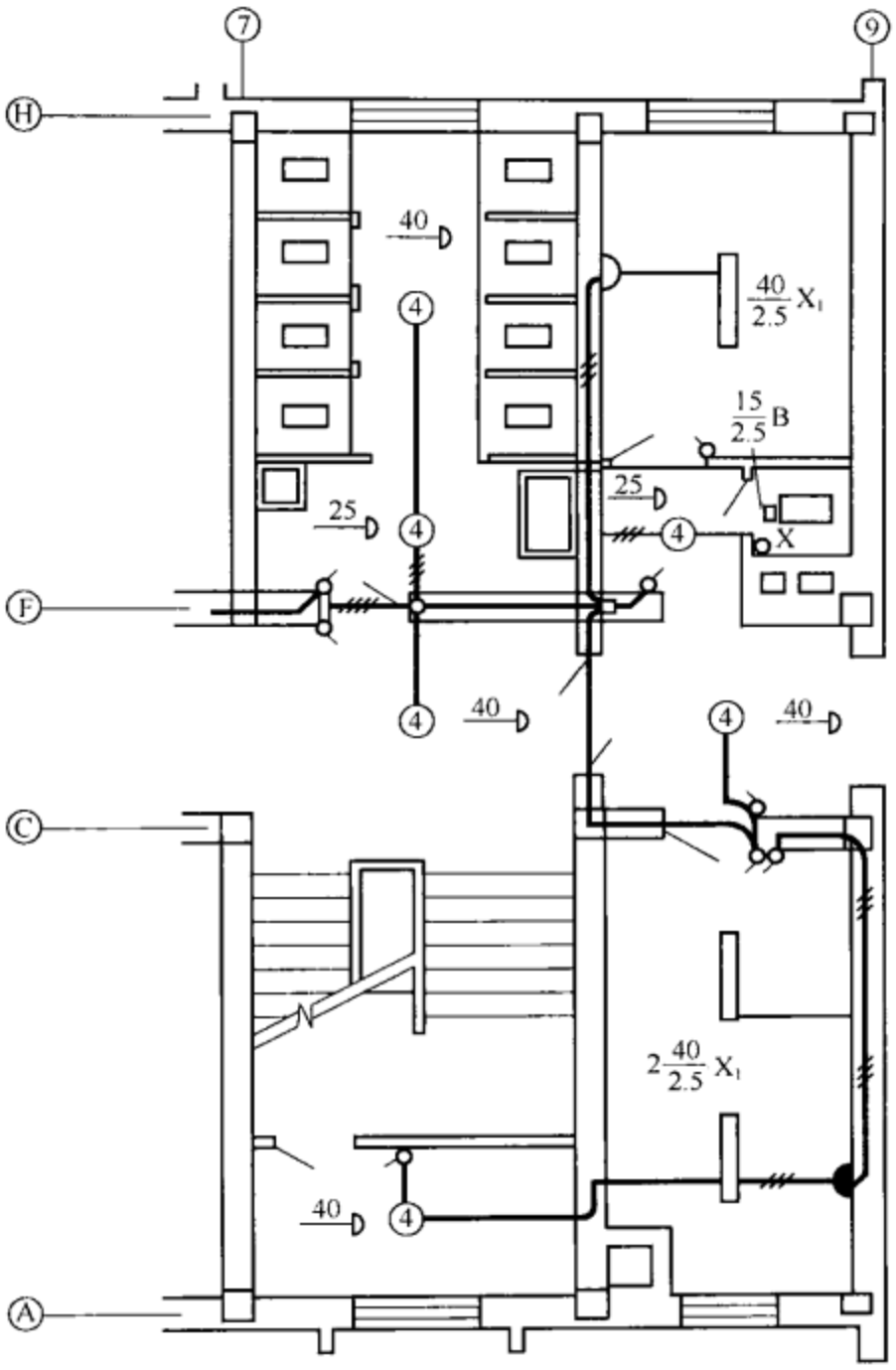


图 4-4　教学楼楼梯间平面图

（4）看主电路和分支线路的敷设路径

在图 4-2 中，由传达室总配电箱到室外架空线路的一段主电路，一般由供电部门负责安装，由总配电箱到楼内的全部电路由施工单位负责安装。图中主干线使用 BLV(3 × 25+1 × 6)G50，即采用 3 根 25mm^2 和 1 根 6mm^2 塑料绝缘铝线用直径为 50mm 的钢管进行敷设。主干线引到楼内接线盒上，再由接线盒引到 1 号和 2 号控制箱。电铃线则用 BLY(2 × 4)G20，即采用两根 4mm^2 塑料绝缘铝线用直径为 20mm 的钢管进行敷设。

分支线路有分支干线和分支线之分。在图 4-3 所示的电气系统图中，由总配电箱到控制箱之间为主干线，各熔断器以下为分支干线，各用电器具到分支干线之间为分支线。一般分支干线均有导线条数和线径标志，而分支线则没有。这就需要施工人员根据电气设备要求和线路安装标准确定导线的条数和线径。

（5）看电气施工中的技术要求

在电气施工图中，电气符号可以说明电气设备的安装位置和安装方式，如明装、暗装，器具的安装高度等。例如，40/2.5L 表示灯具的功率是 40W，安装高度是 2.5m，安装方式是吊链吊装。但是在电气施工图纸上，不可能将所有的电气设备的安装标准一一标明。这就需要电气施工人员必须掌握相应的电气安装标准，才能正确合理地进行电气施工。如暗装配电箱底距地面不应低于 1.2m，明装插座距地面不应低于 1.8m，暗装距地不应低于 0.3m，室内照明灯具距地面不应低于 2m 等。

电气施工人员应根据所施工内容查阅相关资料，以便指导施工。

4.2 照明和动力配电图——动力照明两相宜

配电线路图表达，动力照明两相宜。
电能输送关系清，受电设备标注齐。
根据符号理关系，逐级分解细分析。
平面图纸助施工，系统图纸不能离。
多层建筑照明图，标准一层多学习。

由于动力配电线路和照明配电线路通常是分开装设的，因此按图纸表达的对象，动力与照明配电工程图可分为电气照明图和电气动力工程图，它们是现代建筑工程中最基本的电气工程图。动力与照明工程图一般包括系统图、平面图、配电箱(柜)安装接线图等。

4.2.1 动力与照明配电系统图
——布局层次分解看，供配电况可计算

系统图是按功能布局法布置的，可在不同的层次上布置。工程对象可逐级分解划分层次，较高层次的图反映工程的概况，较低层次的图则将工程对象表达得较为详细，在每一层次上可独立绘成一幅（份）图。

动力与照明配电系统图是用来表示建筑物内外的动力、照明（其中包括插座和其他日用电器等）供电与配电基本情况的图纸。动力与照明配电系统图集中反映动力及照明的安装容量、计算容量、计算电流、配电方式、电缆与电线的型号和截面积、电线与电缆的基本敷设方法和穿管管径、开关与熔断器的型号规格等。系统图上还标注有整个系统中电路的电压损失和受电设备的型号、功率、名称及编号等。

1. 动力配电系统图

在动力配电系统图中，一般按电能输送关系画出电源进线及母线、配电电路、启动控制设备、受电设备等主要部分。在电路中标注导线的型号规格、敷设方式及穿线管的规格，对开关、熔断器等控制保护设备标注设备的型号规格、熔体的额定电流等，对受电设备标注设备的型号、功率、名称，必要时还应有编号。

看图实践

例 4-2 识读锅炉房动力配电系统图。

图 4-5 为某锅炉房动力配电系统图，共有 5 个配电箱。其中 AP1～AP3 三台配电箱内部安装有接触器，称为控制配电箱；另外两个配电箱 ANX1 和 ANX2 内部安装有操作按钮，称为按钮箱。

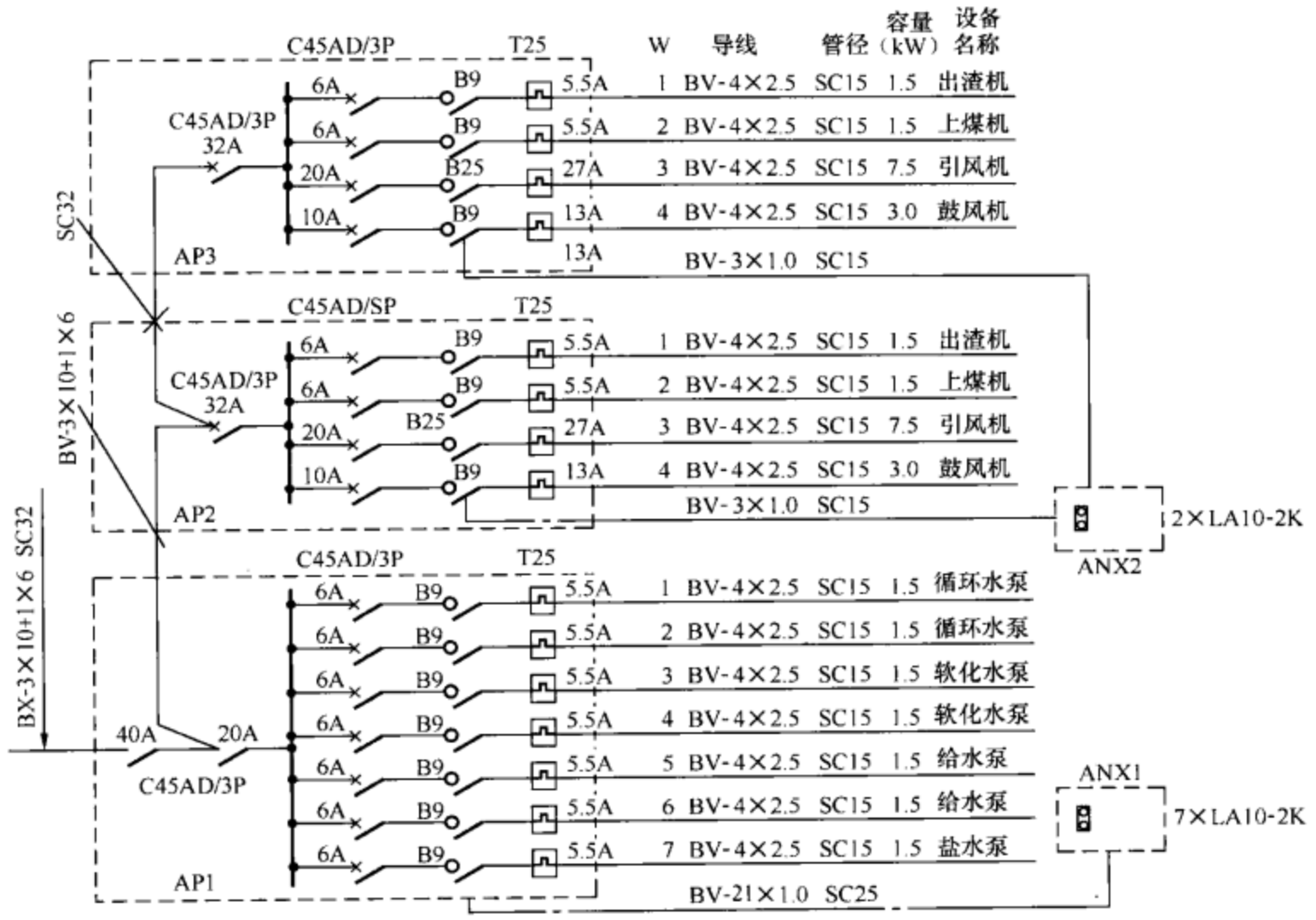


图 4-5 某锅炉房动力配电系统图

电源从 AP1 箱左端引入，使用 3 根截面积为 10mm² 和 1 根截面积为 6mm² 的 BX 型橡胶绝缘铜芯导线，穿直径为 32mm 的焊接钢管。电源进入配电箱后接主开关，开关型号为 C45AD/3P（容量为 40A，D 表示短路动作电流为 10～14 倍额定电流）。主开关之后是本箱主开关，使用 C45A 型断路器（容量为 20A）。AP1 箱共有 7 条输出支路，分别控制 7 台水泵。每条支路均使用容量为 6A 的 C45A 型断路器。之后接 B9 型交流接触器，进行电动机控制；热继电器为 T25 型，动作电流为 5.5A，用于电动机过载保护；操作按钮装在按钮箱 ANX1 中，箱内安装有 7 只 LA10-2K 型双联按钮。控制线为 21 根截面积为 1.0mm² 的塑料绝缘铜芯导线，穿直径为 25mm 的焊接钢管。从配电箱到各台水泵的线路均为 4 根截面积为 2.5mm² 的塑料绝缘铜芯导线，穿直径为 15mm 的焊接钢管。4 根导线中 3 根为相线，1 根为保护零线。各台水泵功率均为 1.5kW。

AP2 与 AP3 为两个相同的配电箱，分别控制两台锅炉的风机（鼓风机、引风机）和煤机（上煤机、出渣机）。到 AP2 箱的电源从 AP1 箱的 40A 开关右侧引出，接在 AP2 箱 32A 断路器的左侧，使用 3 根截面积为 10mm² 和 1 根截面积为 6mm² 的塑料绝缘铜芯导线，穿直径为 32mm 的焊接钢管。从 AP2 箱主开关左侧引出 AP3 箱的电源线，与接入 AP2 箱的导线相同。每台配

电箱内有 4 条输出回路，其中 2 条回路上装有容量为 6A 的断路器，1 条回路上装有容量为 20A 的断路器，1 条回路上装有容量为 10A 的断路器。20A 回路的接触器为 B25 型，其余回路为 B9 型。热继电器为 T25 型，动作电流分别为 5.5A、5.5A、27A 和 13A。导线均采用 4 根截面积为 2.5mm^2 的塑料绝缘铜芯导线，穿直径为 15mm 的焊接钢管。出渣机和上煤机的功率均为 1.5kW，引风机功率为 7.5kW，鼓风机功率为 3.0kW。

两台鼓风机的控制按钮装在按钮箱 ANX2 内，其他设备的操作按钮装在配电箱门上。按钮的接线采用 3 根 1.0mm^2 塑料绝缘铜芯导线，穿直径为 15mm 的焊接钢管。

2. 照明配电系统图

照明配电系统由照明配电箱、熔丝、漏电保护器和小型断路器组成。

照明配电箱分为立柜式配电箱、明装配电箱和暗装配电箱 3 种。配电箱的规格有一定的要求。立柜式配电箱一般用于小区主配电系统，为整个小区的供电枢纽，因用电负载很大，设计安置时要有一定的散热空间。明装配电箱一般安装在不宜改动位置的墙体上，如高层住宅的凝土墙面上。暗装配电箱一般适用于办公室和居民家庭，不占用房屋地面空间，并且较为美观，是一种比较理想的家庭经常选用的产品。

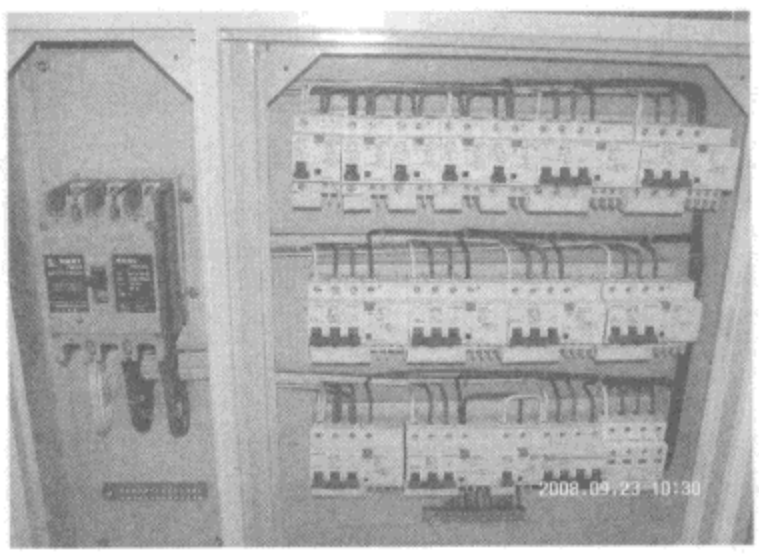
漏电保护器有电子式和电磁式两种保护形式，安装形式有直接安装在墙面配电板上和安装在导轨模块式的面板上两种。

小型断路器适用于交流 50Hz、额定电压为 400V 及以下、额定电流为 63A 及以下的电路中，用于线路过载和短路保护，也可以在正常情况下用于线路的不频繁操作转换。

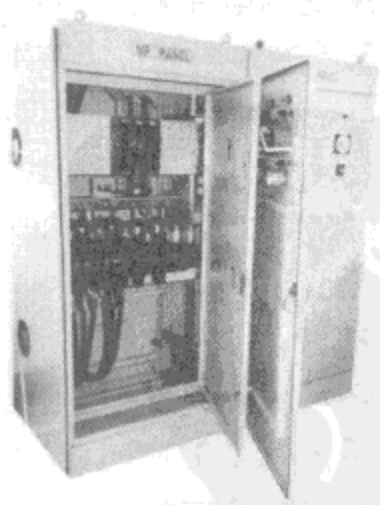
知识链接

配 电 箱

动力配电和照明配电系统的主要控制、保护器件一般都集中安装在配电箱或配电柜中，见图 4-6。电能通过它的分配、保护传送到各个使用点，使得整个系统运转得到安全的保证。动力、照明配电控制箱多为封闭式垂直安装，因使用场合不同，其外壳防护等级也不同。它们主要作为工矿企业生产现场的配电装置。



（a）照明配电箱



（b）动力配电箱

图 4-6 配电箱示例

看图实践

例 4-3 识读某住宅楼照明系统图。

图 4-7 为某住宅楼照明系统图。这是 6 层楼房的低压配电系统图，图中的设备和电路标明了项目代号，省略了前缀符号，并采用了简单的围框画法。电源进线至各住户配电板的电路，六层楼的配电方式除相序外均相同。用户插座系统配上了漏电开关，每个用户安装有独立的电能计量表。

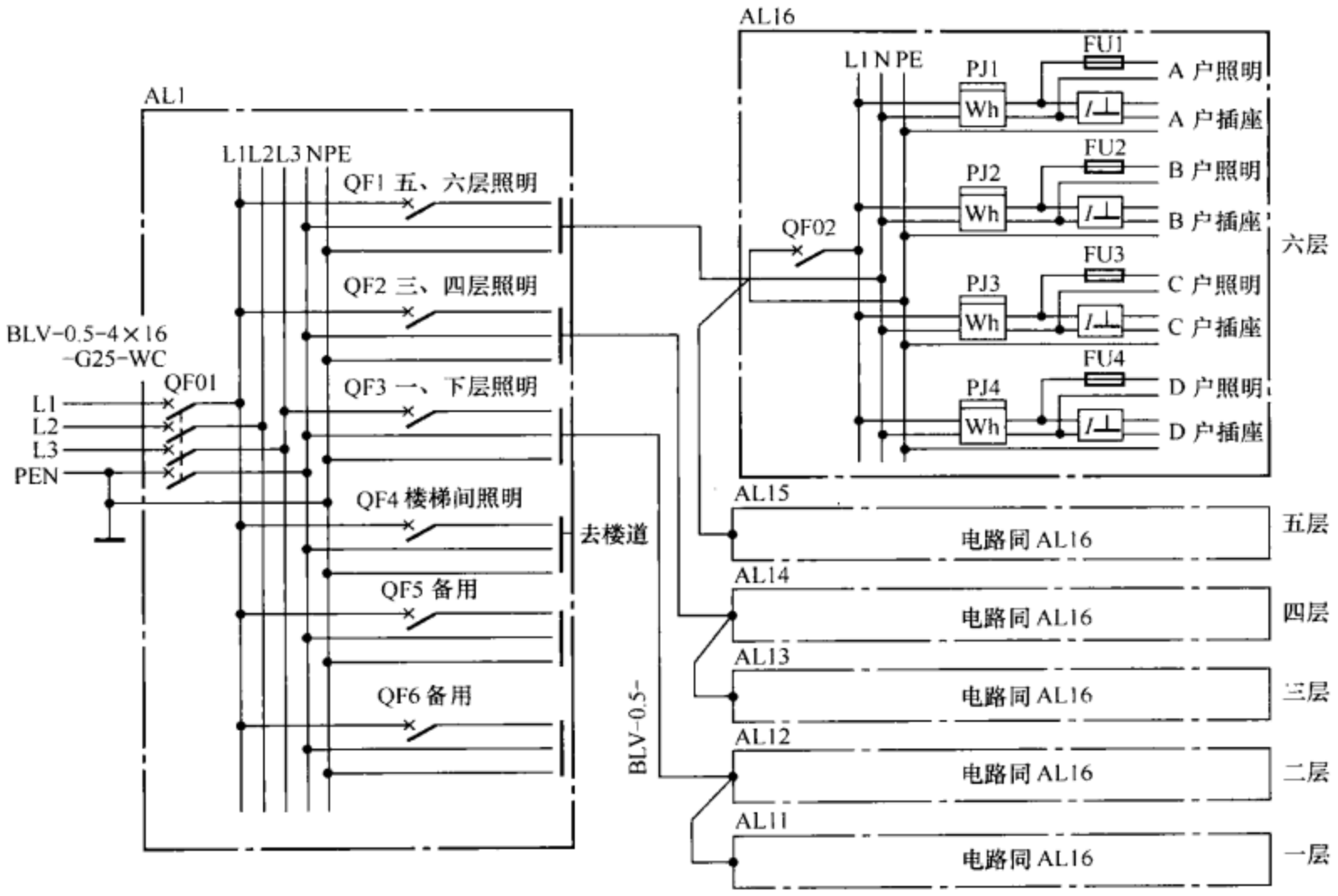


图 4-7 某住宅楼照明系统图

该照明系统的电源采用三相四线制，为保证三相供电的质量，要求三相负荷应尽量对称。因此，三相电源的 3 根相线应该平均分配给六层楼。例如，L1 相分配给五、六楼和楼梯间照明。

下面介绍该住宅楼的接地保护方式。进入住宅楼的电源为 TN-C 系统时，在电源引入线处 PEN 线应重复接地，然后使 N 线与 PE 线分开进入 AL1 全楼总配电箱。住宅内部电路为 TN-S 系统，此时配电箱外壳、穿线钢管、插座接地线均与 PE 线相接。若采用 TT 系统，各单元的 PE 线经 AL1 配电箱的 PE 端子排汇集后，直接引出户外接地，不与 N 线连接，住宅内部的电路为 TT 系统。

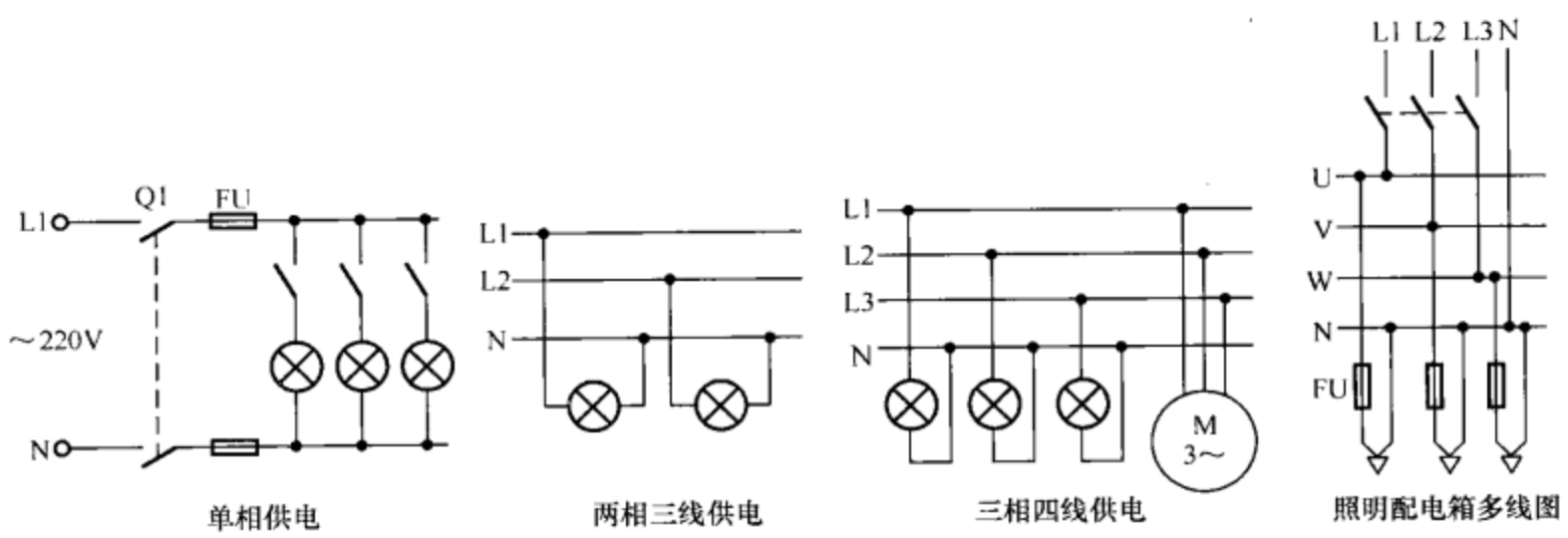
从图中还可看到有关电源电缆的信息。AL11～AL16 为分层用户配电箱，除进户线及其到楼层干线采用 BLV-0.5 型线缆穿钢管暗敷外，其余电路全部采用 BLVV 塑料护套明敷设或用单股铜芯线穿 PVC 管暗敷设。

1～5 层楼的配电情况与第六层楼完全相同。

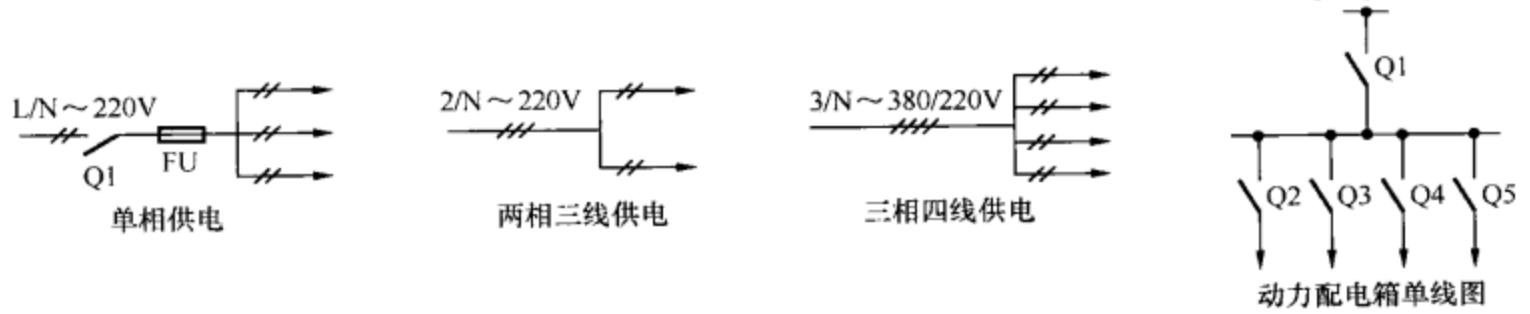
知识链接

动力与照明配电电路图的画法

动力与照明配电电路图用于详细表示电路、设备或成套装置的组成、连接关系和工作原理，为调整、安装和维修提供依据，为编制接线图和接线表等接线文件提供信息。这种配线原理接线图按用电设备的实际连接次序绘制，不反映平面布置，通常有两种画法：一种是多线画法，例如电路如为 4 根线就画 4 根线；另一种画法是单线图，例如单相、三相都用单线表示。一个回路的线如用单线表示时，则在线上加短斜线表示线数，加 3 条短斜线就表示 3 根线，2 条短斜线表示 2 根线。对线数多的也可画 1 条短斜线并加注数字来表示，如图 4-8 所示。



（a）多线图



（b）单线图

图 4-8　动力与照明配电电路图的画法

4.2.2 动力与照明配电平面图
——线路设备好分辨，安装维修都方便

1. 照明配电平面图

照明配电平面图是建筑设计单位提供给施工、使用单位用于电气照明安装和维护管理的电气图，它是利用图形符号在建筑平面图上绘制而成的，它描述了该建筑层次的电气照明电路和照明设备布置情况。

照明配电平面图主要反映建筑物中各种电气设备的安装（敷设）位置和方式，设备的规

格、型号、数量及房间的设计照度值等，还应标出照明进户电路、照明干线、支线的导线型号、规格、根数及敷设方式等。

多层建筑照明有标准层时一般可只绘制出标准层平面布置图，对于较复杂的照明工程应绘制出局部平面图。

照明配电平面图描述的主要对象是照明电气电路和照明设备，通常包括以下主要内容。

① 电源进线和电源配电箱及各分配电箱的形式、安装位置，以及电源配电箱内的电气系统。

② 照明电路中导线的根数、型号、规格（截面积）、电路走向、敷设位置、配线方式、连接方式等。

③ 照明电光源的类型、照明灯具的类型、灯泡和灯管的功率、灯具的安装方式和安装位置等。

④ 照明开关的类型、安装位置及接线方式等。

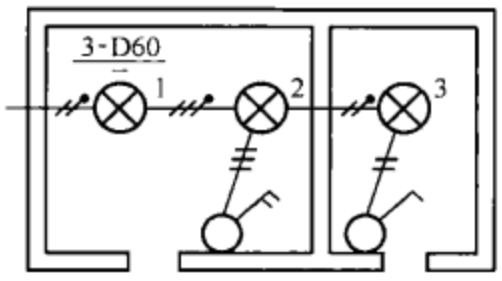
⑤ 插座及其他日用电器的类型、容量、安装位置及接线方式等。

⑥ 照明房间的名称及照度等。

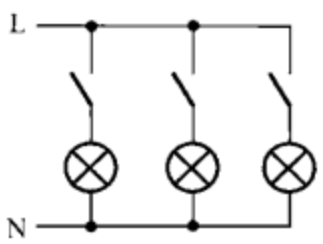
看图实践

例 4-4 识读房间照明平面图。

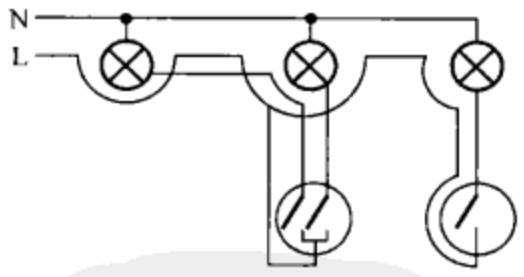
图 4-9 为两个房间的照明平面图，有 3 盏灯、1 个单极开关和 1 个双极开关，采用共头接线法。图 4-9（a）为平面图，在平面图上可以看出灯具、开关和电路的布置情况。1 根相线和 1 根中性线进入房间后，中性线全部接于 3 盏灯的灯座上，相线经过灯座盒 2 进入左侧房间墙上的开关盒。此开关为双极开关，可以控制两盏灯。从开关盒出来两根相线接灯座盒 2 和 1。相线经过灯座盒 2 同时进入右侧房间，通过灯座盒 3 返回一极相线进入开关盒，再由开关盒出来进入灯座盒 3。因此，在两盏灯之间出现了 3 根线，在灯座 2 与开关之间也是 3 根线，其余是 2 根线。由灯的图形符号和文字代号可以知道，这 3 盏灯为一般灯具，灯泡功率为 60W，吸顶安装，开关为翘板开关，暗装。图 4-9（b）为电路图，图 4-9（c）为透视图。从图中可以看出接线头放在灯座盒或开关盒内，因为采用共头接线方式，导线中间不允许有接头。



（a）平面图



（b）电路图



（c）透视图

图 4-9 两个房间的照明平面图

说明：由于电气照明平面图上的导线较多，在图面上不可能逐一表示清楚。为了使人容易读懂电气照明平面图，可以画出灯具、开关、插座的电路图或透视图。弄懂平面图、电路图、透视图的共同点和区别，再看复杂的照明电气平面图就容易多了。

例 4-5 识读某建筑局部照明及部分插座电气平面图和系统图。

某建筑局部照明及部分插座电气平面图如图 4-10（a）所示。照明光源除卫生间外都采用直管型荧光灯，卫生间采用防水防尘灯具。此外，还设置了应急照明灯。

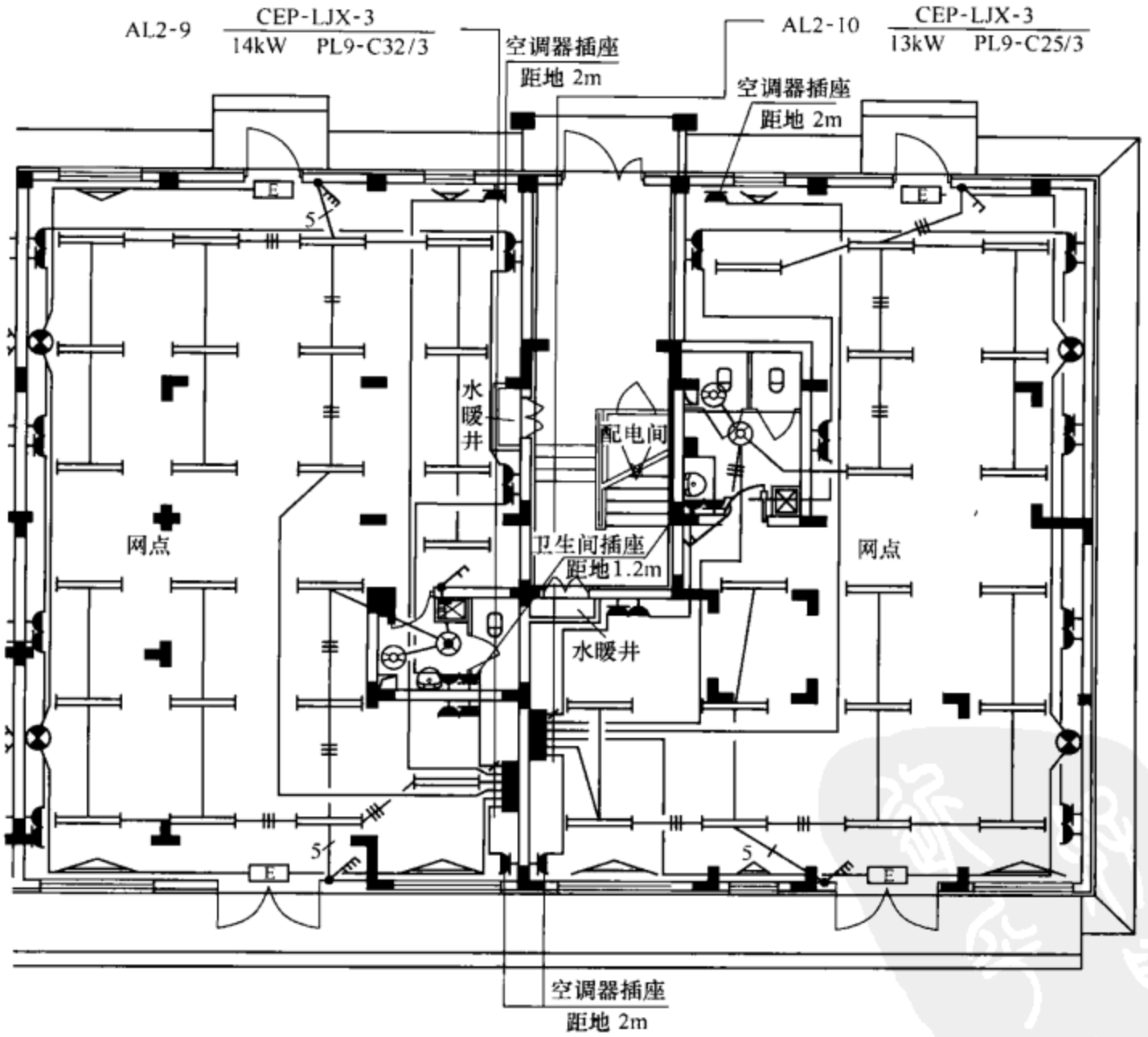
左侧房间电气照明控制线路：上下两个四极开关分别控制上面和下面 4 列直管型荧光灯。电源由配电箱 AL2-9 引出。配电箱 AL2-9、AL2-10 中分别有 1 路主开关和 6 路分开关，其配电箱系统图见图 4-10（b）、（c）。

左侧房间上下的照明控制开关均为四极，因此开关的线路为 5 根线，相线进 1 出 4。其他各路控制导线根数的判断方法与本书前面所述方法一致。卫生间有一盏照明灯和一个排风扇，因此采用一个两极开关，与前面照明共用一路电源。

各路所采用的开关有 PL91-C16 和 PL91-C20，具有短路过载保护的普通断路器有 PLD9-20/1N/C/003，其保护漏电电流为 30mA。

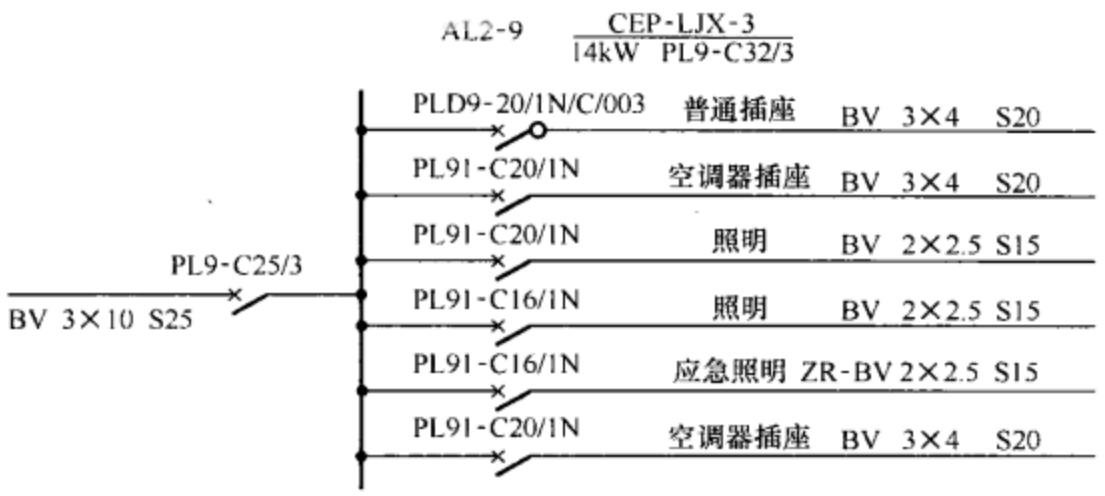
各线路的敷设方式为：AL2-9 照明配电箱线路，分别为 3 根 4mm^2 聚氯乙烯绝缘铜线，穿直径为 20mm 的钢管敷设（BV 3×4 S20）；2 根 2.5mm^2 聚氯乙烯绝缘铜线，穿直径为 15mm 的钢管敷设（BV 2×2.5 S15）；2 根 2.5mm^2 阻燃型聚氯乙烯绝缘铜线，穿直径为 15mm 的钢管敷设（ZR-BV 2×2.5 S15）。

右侧房间的控制线路与左侧相似，只是上面的开关只控制两路照明光源，为两极开关，卫生间采用两极开关控制照明灯和排风扇。

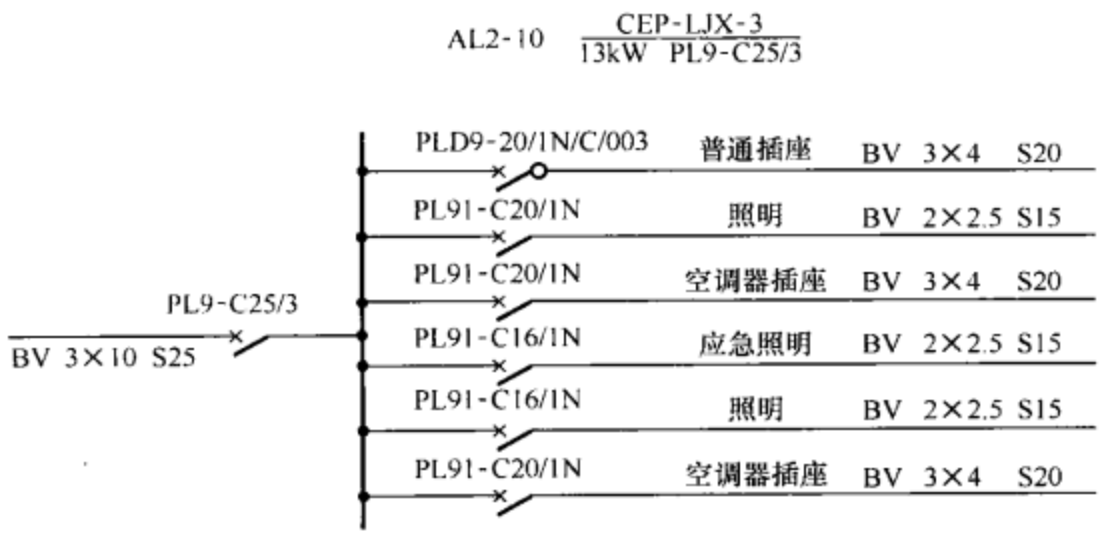


（a）局部照明及部分插座电气平面图

图 4-10 某建筑局部照明及部分插座电气平面图和系统图



（b）配电箱 AL2-9 系统图



（c）配电箱 AL2-10 系统图

图 4-10　某建筑局部照明及部分插座电气平面图和系统图（续）

例 4-6　识读某楼宇照明平面图。

图 4-11（a）为某楼宇中两个单元层的电气照明平面图。图中用实线绘制出了建筑物墙体、门窗、楼梯、承重梁、柱的平面结构，并用定位轴线表示其尺寸关系，沿水平面方向轴线编号为 1～8，垂直方向用 A、B、C、D、D/A 轴线表示。插座均采用 3 根线，以便于确定灯具、线路和插座的具体位置。

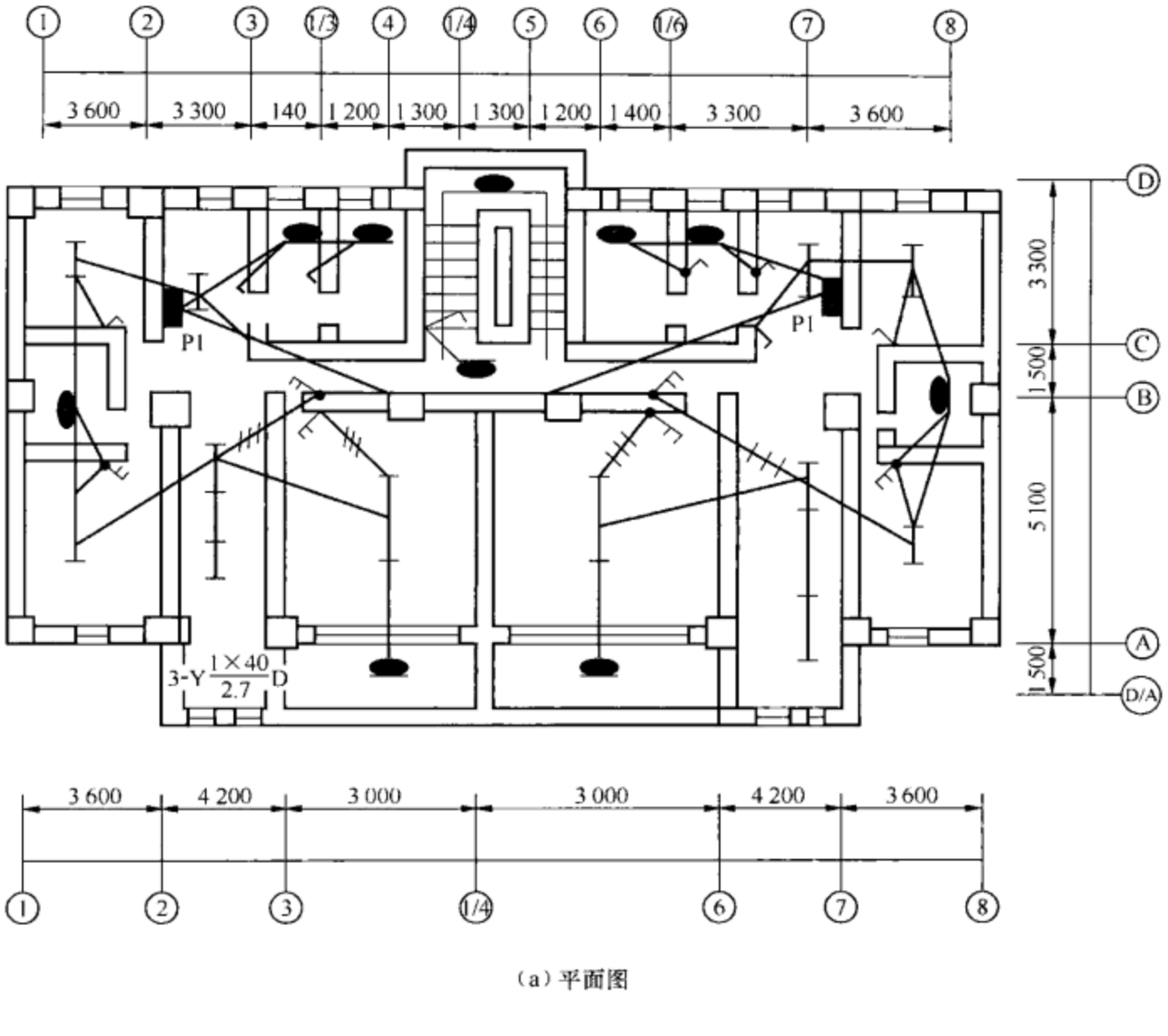
图 4-11（b）是其中一个单元的供电系统图，电源引线由配电箱中的电能表箱引入，进入总开关（C45N-2/3P-40A），再由各负载分开关分支出去。照明线路采用型号为 BV-500、截面积为 1.5mm^2 的两根线管沿墙和沿地敷设，采用共头接线法。对于用电量比较大的插座，分别由配电箱直接分配，如电热水器的插座。对于一般小负荷的电插座，则共用一条支线。

2. 动力配电平面图

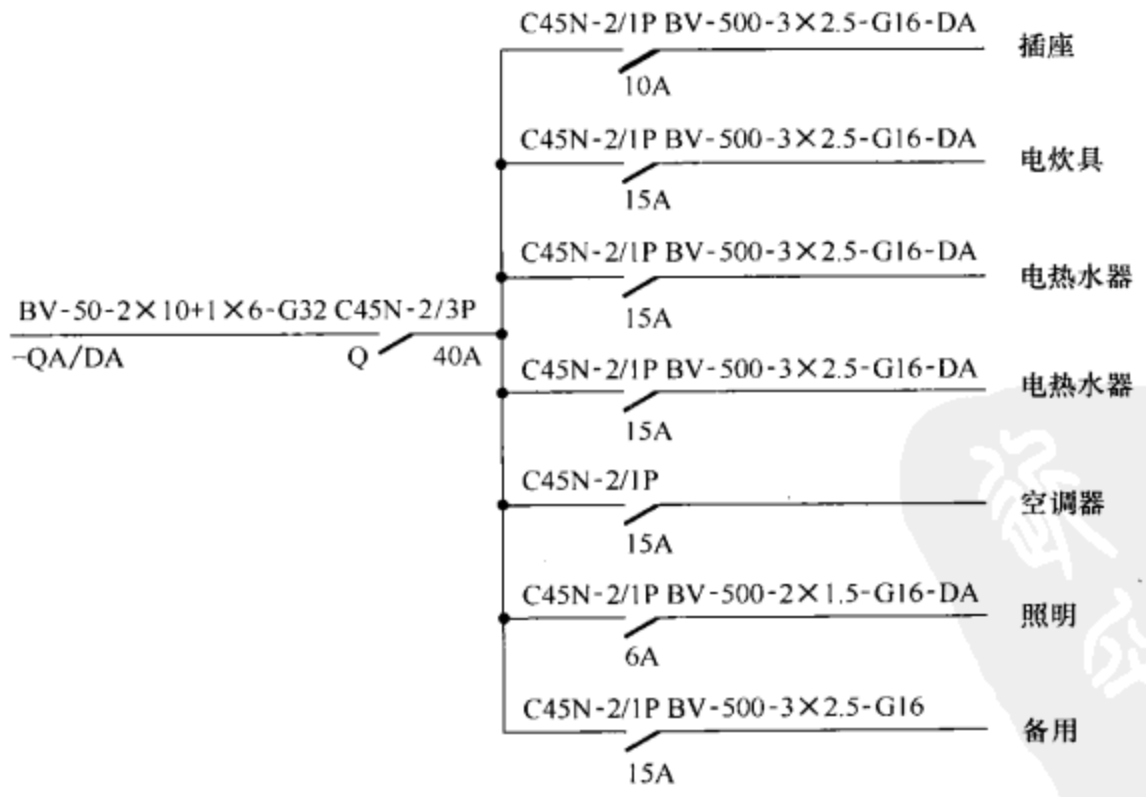
建筑物内动力平面图是在总平面图、建筑物平面图上用 GB/T 4728 中规定的图形符号详细表示各种电气成套装置、设备、组件和元件的实际位置的图种。用表示导线的连接线把它们连接起来，以示出它们之间的供用电关系。

动力配电平面图是假设经过建筑物门窗沿水平方向将建筑物切开，移去上面部分，人再站在高处往下看，根据所看见的建筑物平面形状、大小、墙柱的位置、厚度、门窗的类型，

绘出建筑平面的墙体、门窗、吊车梁、工艺设备等的外形轮廓，用中实线绘出电气部分。



（a）平面图



（b）系统图

图 4-11　某楼宇照明平面图

动力配电平面图的土建平面是完全按比例绘制的，电气部分的导线和设备的形状及外形尺寸则不完全按比例画出。导线和设备的垂直距离和空间位置一般也不另用立面图表示，而是采用文字标注安装标高或附加必要的施工说明的办法来说明。它既是系统图和电路图上项目的实际位置的体现以及施工安装的依据，也是运行、维修的依据。

看图实践

例 4-7 识读某车间动力线路平面图。

图 4-12 为某车间动力线路平面图。

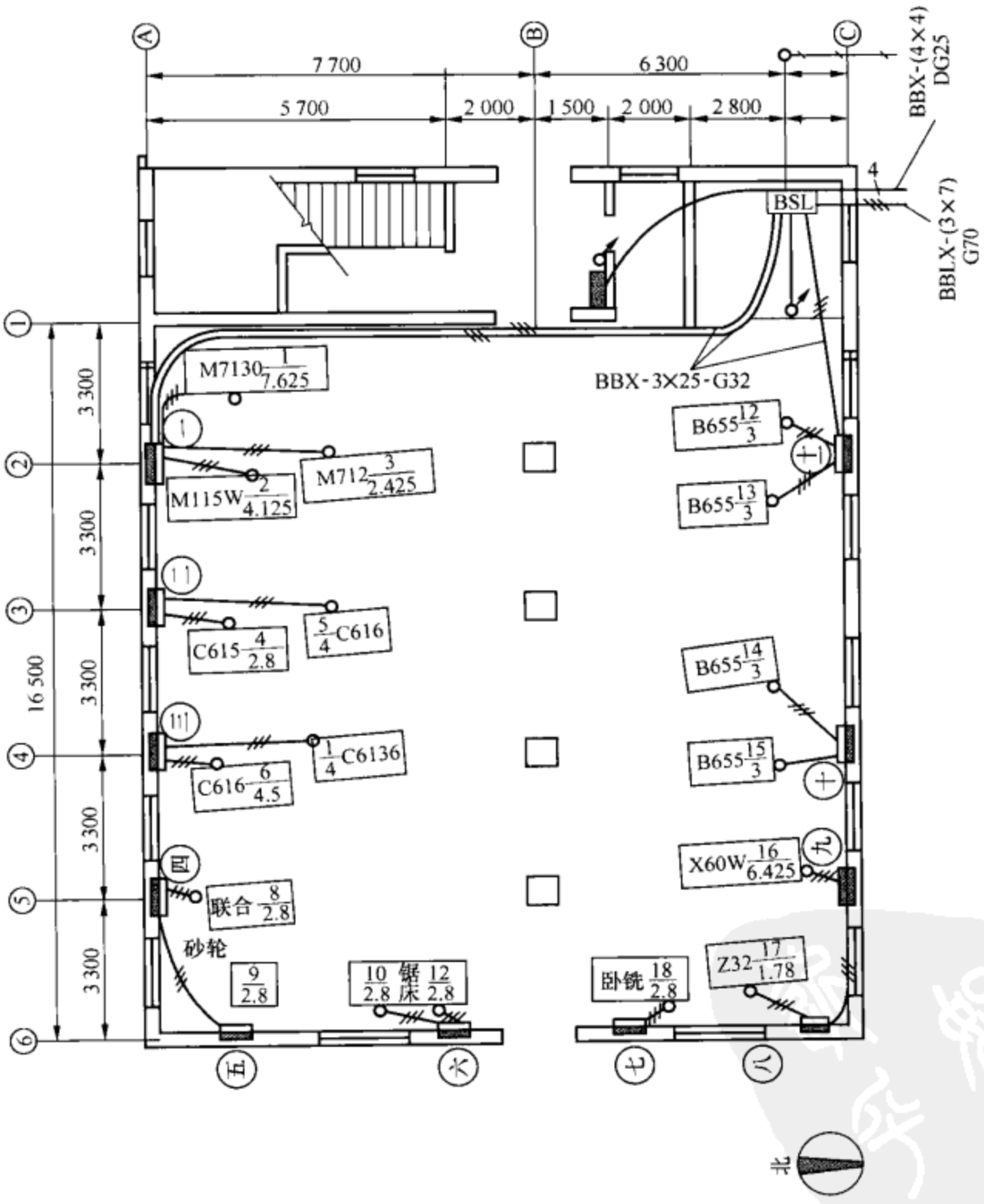


图 4-12 某车间动力线路平面图

（1）看电源电路

照明配电箱（柜）的电源从车间西北角采用 BBX-（4×4）DG25 导线引入，即用 4mm² 棉纱编织橡皮绝缘铜导线 4 根，穿直径为 25mm 的金属管引入到照明配电箱（柜），并由此处再将电源引向楼上。电源进户方式需看图样说明。

动力配电屏 BSL 的电源采用 BBLX-（3×70）G70 导线引入，即用 70mm² 棉纱编织橡皮绝缘铝导线 3 根，穿直径为 70mm 的金属管引入到动力配电屏。电源进户方式需看图样说明。动力配电屏 BSL 一般由专业厂家生产，施工人员所做工作是对配电屏进行固定、接地、接入电源和引出负荷线路。

（2）看控制箱和配电屏

本车间内共有设备控制箱 11 个，暗装于墙上，距地面高度应不小于 1.4m。一号控制箱为一路，分别控制 M7130、M115W、M712 三台设备。二～六号控制箱为一路，七～十一号控制箱为一路。控制箱内的配线安装可参阅相关的系统图。

从动力配电屏 BSL 处引出供电线路 4 条。其中本车间敷设 3 条线路，另一条线路由配电室引到楼上，供给楼上的设备使用。本车间内的 3 条线路使用直径为 32mm 的金属管进行敷设，内穿 BBX-3×25 导线，即 3 根 25mm² 棉纱编织橡皮绝缘铜导线，分别引至车间内各控制箱。

（3）看线路

本车间的接地装置安装在车间外西北角 C 轴处。接地线穿墙引入到动力配电屏 BSL 处。安装接地装置时，它距建筑物的水平距离不应小于 3m，接地体的埋设深度不应小于 0.6m，接地极不应少于 3 根，长度不应小于 2.5m。地面以下接地干线应使用截面积不小于 48mm² 的镀锌扁钢，地面以上的接地干线应使用截面积不小于 6mm² 的绝缘铜软导线。

从控制箱到设备之间的电气线路的敷设应在土建地面未曾抹灰之前进行，这样可以尽量减少金属管弯曲次数，以利于穿线施工。金属管的管径大小应视设备所需导线的截面积而定，但应注意穿管导线的最小截面积要求为铜导线截面积不应小于 1mm²，铝导线截面积不应小于 2.5mm²。这一点是安装标准中明确规定的，本图中并未标出。

金属管在设备一端出地面的高度和位置，应依相关设备的资料而定。具体做法是金属管引出地面后，在金属管口套丝并装设防水帽，再将导线通过金属软管或塑料软管（俗称蛇皮管）引入到设备的接线盒。注意此段线路不可过长。

按照本图进行线路施工时，要注意金属管连接时焊跨接线，以保证金属管能够良好接地。金属管在引入和引出控制箱时，应用锁母拧紧并在金属管口处装设塑料护口，以防穿线施工时刮伤导线。控制箱的箱体应与金属管进行电气上的连接，以利于接地。

（4）看设备

关于车间内各种机器设备的安放位置，应查阅相关资料，根据本图中的符号不能确定其准确位置。另一方面不同机器设备电源接线盒的位置也不相同，在施工中如果电源线从地面引出的位置不对，将会给施工带来很多不便。

图中机器设备符号的含义如下：分数前面的符号是设备的型号，如 $M712\frac{3}{2.425}$ 等；分式中的分子为设备编号，分母为设备的总功率，单位为 kW。如 $C616\frac{6}{4.5}$ 即 6 号设备，总功率为 4.5kW。施工中可根据设备的功率计算其工作电流并决定选用导线的规格。

说明：理清电源的来龙去脉是看懂本图的关键。本图中的电源涉及照明配电箱（柜）的电源和动力配电屏 BSL 的电源两大部分。此外，本图涉及的设备控制箱有 11 个，线路连接情况比较复杂。在看图时，可按照看电源→看控制箱和配电屏→看线路→看设备的顺序进行。

4.3 弱电工程图——楼宇智能化标志

弱电工程图纸多，图中布线要规范。
图形符号细区分，系统组成记熟练。
分部阅读好方法，理清回路是关键。
信号传递理方向，分支分配线路变。
线路终端安设备，识图使用都方便。

建筑中的弱电工程是相对动力、照明电气工程而言的，一般指直流电路或音频线路、视频线路、网络线路、电话线路。家用电气工程中的电话、计算机、电视机的信号输入线路以及音响设备的输出线路等均为弱电线路。弱电工程的作用是进行信息传递。弱电信号的电压低、电流小、功率小。打个形象化的比喻："建筑物"本身就像一个有躯体的人，"装饰、装修"像给她穿上了华贵的外衣，而"弱电工程"则像给她装上了智慧的大脑。建筑智能化弱电系统的组成如图 4-13 所示。

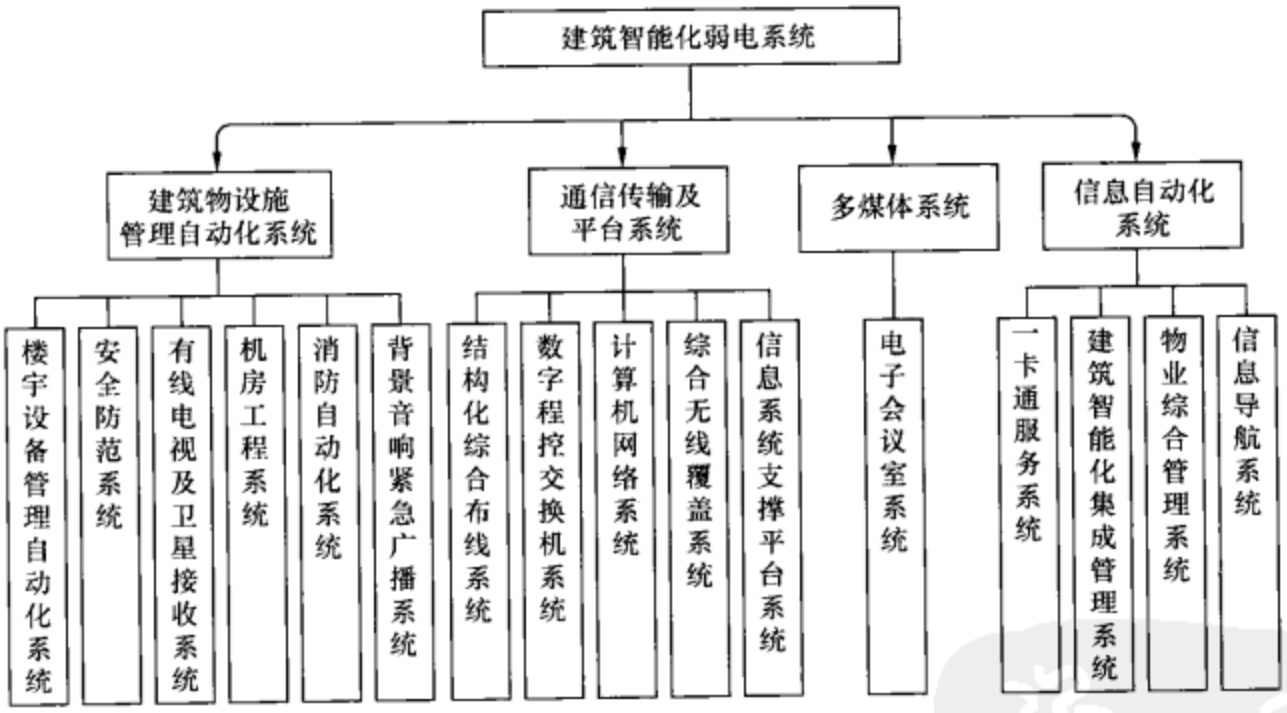


图 4-13　建筑智能化弱电系统的组成

弱电工程涉及的项目很多，本书主要介绍与电视工程、通信工程和综合布线相关的工程图。

4.3.1 闭路监控电视系统工程图——看懂图例及说明，控制方式要弄清

目前，国内城市住宅以高层公寓居多，新型小区中统一安装"门禁"安防设备的比例大。

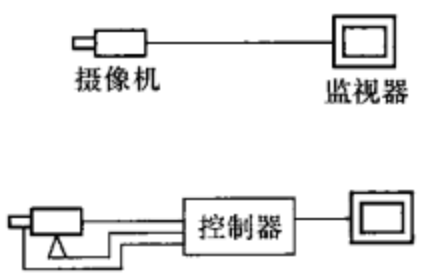
闭路监控电视系统属于安防工程的一部分，它是一种计算机控制的图像矩阵交换系统。利用系统控制台，操作人员可以选取各种摄像机，将其图像显示在所用的图像监视器上。早期的闭路监控系统是一对一监控系统，有多少个摄像机就有多少个监视器。在20世纪90年代，基本上采用外挂多媒体监控系统，利用计算机显示器的高解析度，将视频信号传输进来，通过视频捕捉卡采集到计算机中进行显示。近年来出现了数字媒体监控管理系统，它完全基于计算机，运用最新的数字视频技术、现场总线技术及网络通信技术，建立起一套软硬件相互结合、崭新、完整的安防体系，这是未来监控系统发展的方向。

1. 基本组成方式

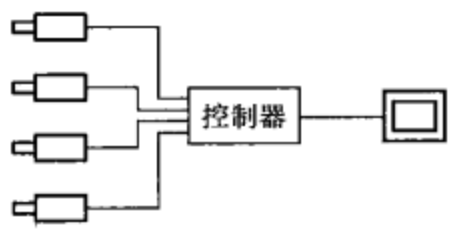
为适合于不同场合、不同要求和不同规模的需要，闭路监控电视系统有单头单尾、单头多尾、多头单尾和多头多尾4种基本组成方式，如图4-14所示。


摄像头

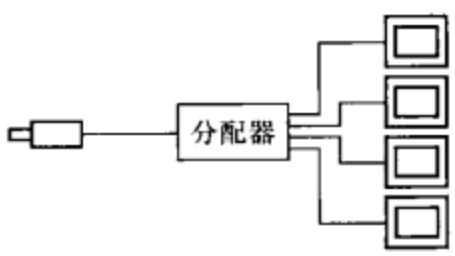
监视器



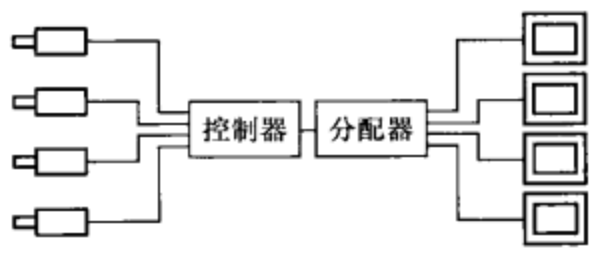
（a）单头单尾方式



（b）多头单尾方式



（c）单头多尾方式



（d）多头多尾方式

图4-14 闭路监控电视系统的基本组成方式

① 单头单尾系统是最简单的小系统，适合于在一处连续监视一个固定目标。

② 单头多尾方式适合于在多处监视同一个目标。

③ 多头单尾方式适合于在一处集中监视多个分散目标。

④ 多头多尾系统是比较复杂的系统，适合于在多处监视多个目标。

2. 基本结构

闭路监控电视系统一般均由前端设备、传输分配系统和终端设备组成。

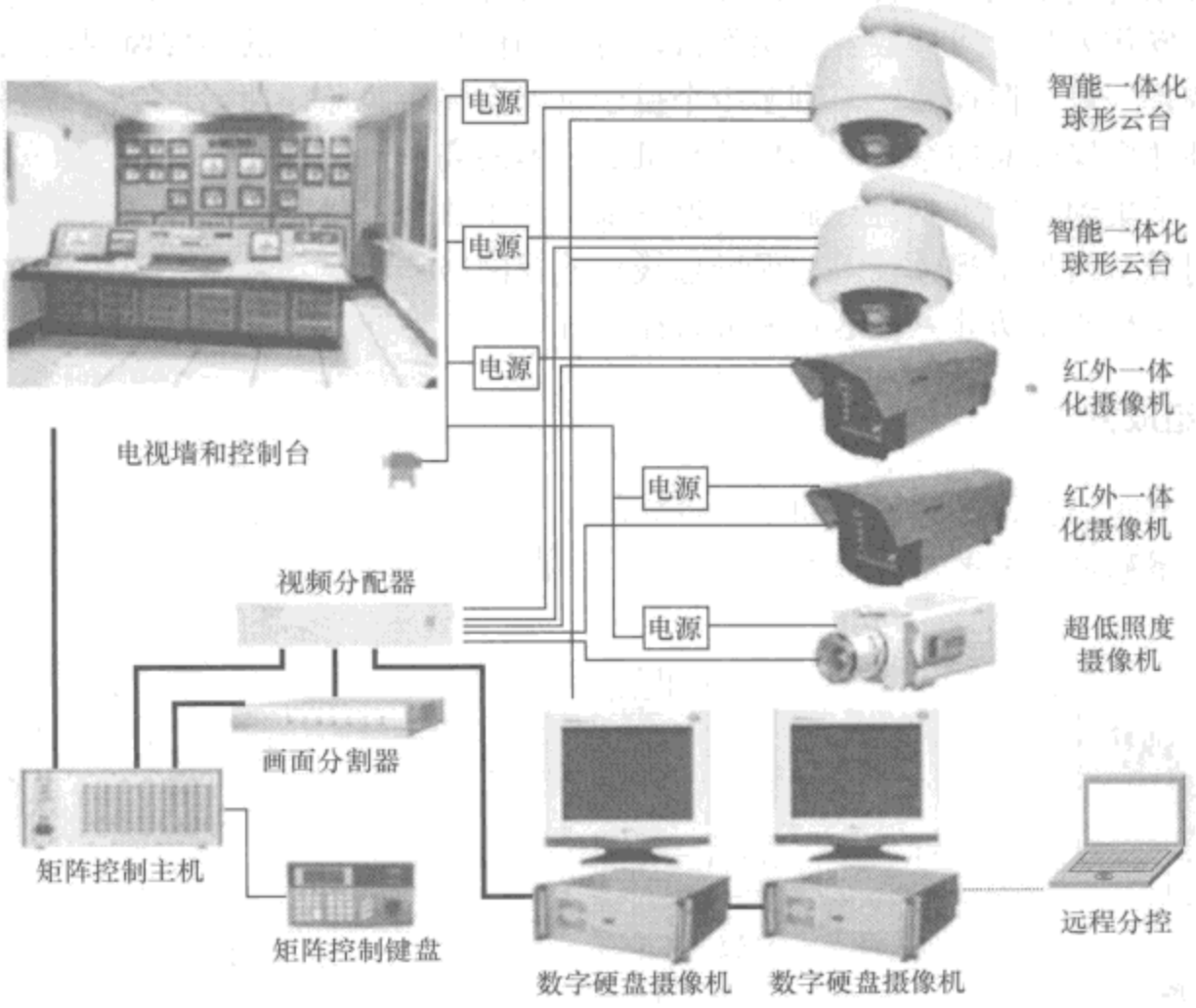
① 前端设备：包括摄像机、镜头、外罩和云台等。

② 传输分配部分：包括馈线、视频分配器、视频电缆补偿器和视频放大器等。

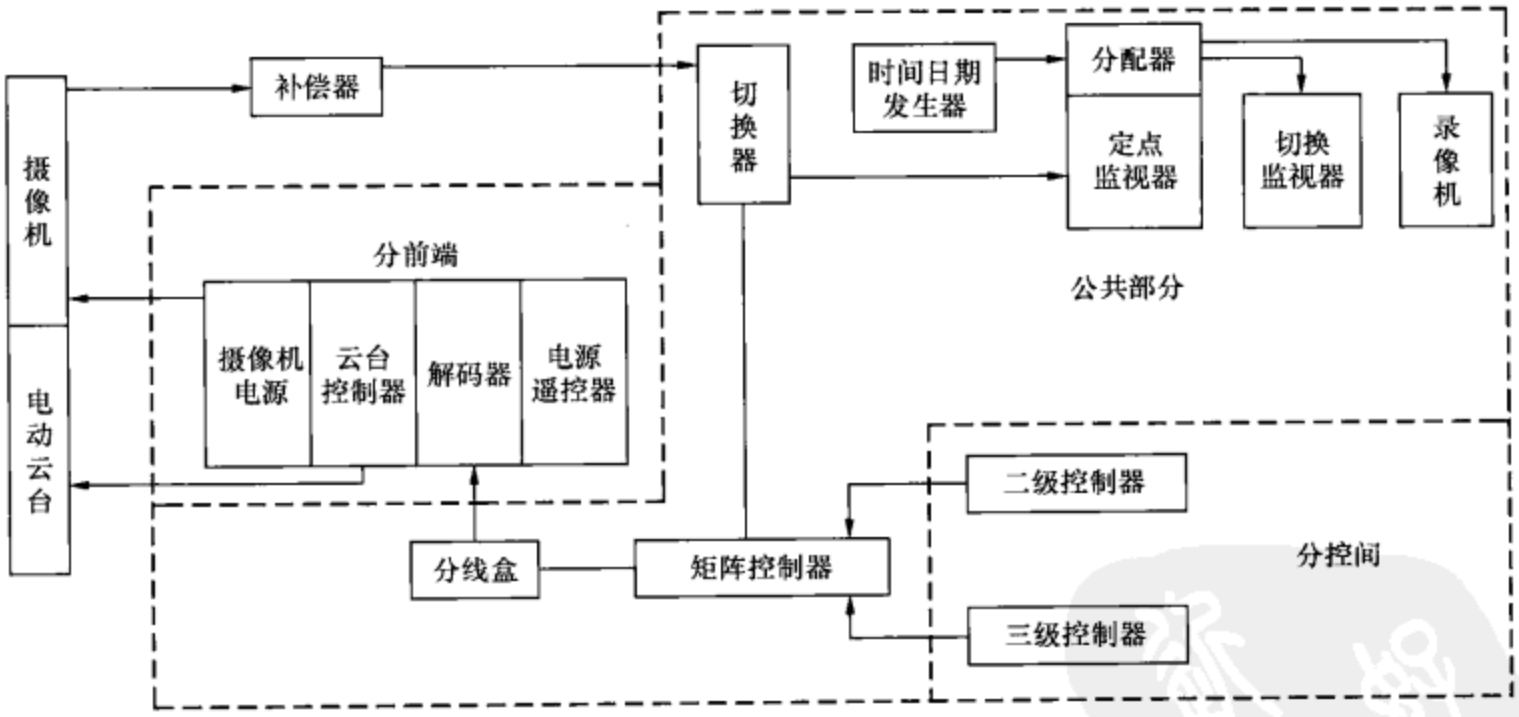
③ 终端设备部分：包括控制器、云台控制器、图像处理与显示部分（含视频切换器、监视器和录像机等）。

前端设备与控制装置的信号传输和执行功能通过解码器来实现。

闭路监控电视系统的基本结构如图4-15所示。



（a）组成示意图



（b）结构框图

图 4-15　闭路监控电视系统的基本结构

3．闭路监控电视系统图

图 4-16 为某饭店闭路监控电视系统图，图中所示的设备见表 4-2，图例及说明见表 4-3。

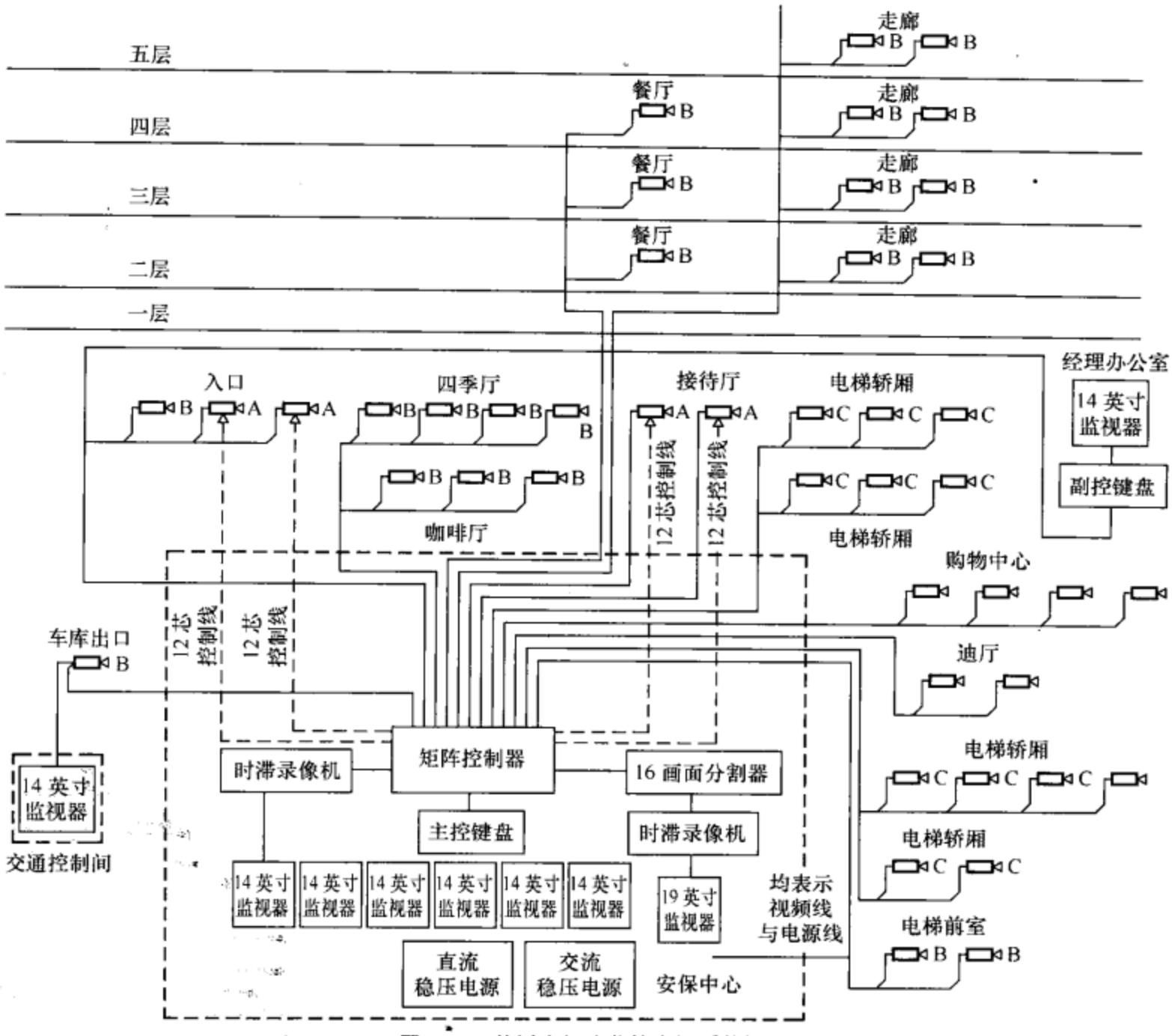


图 4-16 某饭店闭路监控电视系统图

表 4-2 设备表

序号	名称	型号	规格	单位	数量
1	半球形全方位摄像机	BC350	黑白	台	4
2	半球形定焦摄像机	BL350	黑白	台	46
3	针孔摄像机	CCD-600PH	黑白	台	12
4	矩阵控制器	V80X81CP		台	1
5	时滞录像机	TLRC-960	960h	台	2
6	16 画面分割器	V816DC		台	1
7	14 英寸监视器		黑白	台	8
8	19 英寸监视器		黑白	台	1
9	主控键盘	V1300C-RVC		台	1
10	副控键盘	V1300C-RVC		台	1
11	直流稳压电源	4NICC78H		台	6
12	交流稳压电源	4NIC-B5		台	2

表 4-3　　图例及说明

图形符号	说　明	图形符号	说　明
	摄像机	A	半球形全方位摄像机
	带云台的摄像机	B	半球形定焦摄像机
SW	切换控制器	C	针孔摄像机

这个系统使用了 62 台摄像机，摄像机直接由矩阵切换器控制，矩阵切换器使用主控键盘操作。图中只画出了 5 个楼层设备的配置情况，五层以上部分没有画出。

该系统使用的摄像机大多数为半球形定焦摄像机，电梯轿厢内为针孔摄像机。图中实线所示均为视频电缆和电源线。在入口处和接待处设 4 台半球形全方位摄像机，所需要的云台及摄像机控制线均使用 12 芯屏蔽控制电缆。图中虚线所示为控制电缆。

在安保中心主控制室内有 6 台 14 英寸黑白监视器，另有 1 台 19 英寸黑白监视器，使用 1 台 16 画面分割器显示 16 个信号画面，同时使用两台时滞录像机进行录像。在交通控制间内单设一台 14 英寸显监视器，供车库管理人员使用。另外，在经理办公室内有一台 14 英寸监视器及副控键盘，供经理随时查看各处情况。整个系统的直流电源由主控制室内的直流稳压电源提供。为了保证设备电源的稳定，用交流稳压电源提供主控制室内所有设备的交流电源。

知识链接

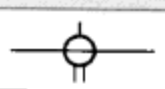
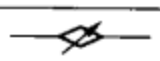
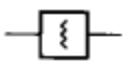
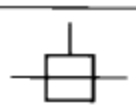
闭路监控电视系统常用图形符号

闭路监控电视系统图中的常用图形符号见表 4-4。

表 4-4　　闭路监控电视系统图中的常用图形符号

名　称	图形符号	说　明
放大器		放大器的一般符号
		桥接放大器（示出 3 路支线或分支线输出），其中标有黑点的一端输出的电平较高
		干线桥接放大器（示出 3 路支线输出）
混合器或分配器		混合器
		有源混合器（示出 5 路输入）
		分路器（示出 5 路输出）
分支器		分支器的一般符号
		二分支器

续表

名　称	图形符号	说明
分支器		三分支器
		四分支器
均衡器		固定均衡器
		可变均衡器
衰减器		固定衰减器
		可变衰减器
调制器		电视调制器
供电装置		线路供电器（示出交流型）
		电源插入器
摄像机		彩色电视摄像机
		云台摄像机
录像机		录像机

4.3.2 电话系统工程图
——终端传输与交换，系统平面图要看

尽管现在手机（移动电话）很普及，但为了用户能够很方便地使用电话及上网，在建筑工程施工时，通常把电话管线敷设到建筑结构内部。由于电话系统是一对一的，两部电话机要想通话，就必须拥有唯一的一条电话线。因此，电话系统中导线的数量非常多，有一部电话机就必须有一条电话线。如果建筑物内没有电话交换机，那么进入建筑物的就是直接连接各部电话机的线路，楼内有多少部电话机，就需要有多少条线路引入。

建筑电话通信系统工程图由系统图和平面图组成，是指导具体安装的依据。建筑电话通信系统通常通过总配线架和市话网连接。在建筑物内部一般根据建筑层数、每层所需电话门数以及这些电话的布局，决定每层设几个分接线箱。自总配线箱分别引出电缆，以放射式的布线形式引向每层的分接线箱，由总配线箱与分接线箱依次交接连接。也可以由总配线架引出一路大对数电缆，进入一层交接箱，除供本层电话用户使用外，再由一层交接箱引出几路具有一定芯线的电缆，分别进入上面几层交接箱。

1．电话通信系统的组成

建筑电话通信系统的基本目标是实现某一地区内任意两个终端用户之间的通话，因此电话通信系统必须具备 3 个基本要素：发送和接收语音信号，传输语音信号，语音信号的交换。

这 3 个要素分别由用户终端设备、传输设备和电话交换设备来实现。一个完整的电话通信系统由终端设备、传输设备和交换设备三大部分组成，如图 4-17 所示。

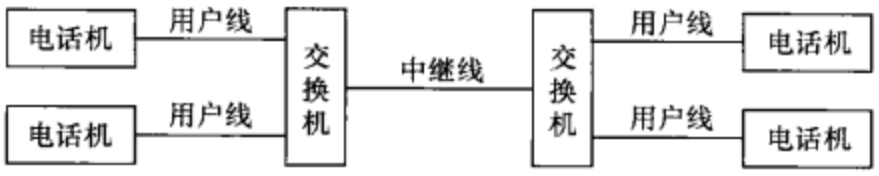


图 4-17　电话通信系统示意图

（1）用户终端设备

常见的用户终端设备有电话机、传真机等，随着通信技术与交换技术的发展，又出现了各种新的终端设备，如数字电话机、计算机终端等。

（2）电话传输系统

在电话通信网中，传输线路主要是指用户线和中继线。在图 4-18 所示的电话网中，A、B、C 为其中的 3 个电话交换局，电话交换局内装有交换机。交换可能在一个交换局的两个用户之间进行，也可能在不同的交换局的两个用户之间进行，两个交换局用户之间的通信有时还需要经过第三个交换局进行转接。

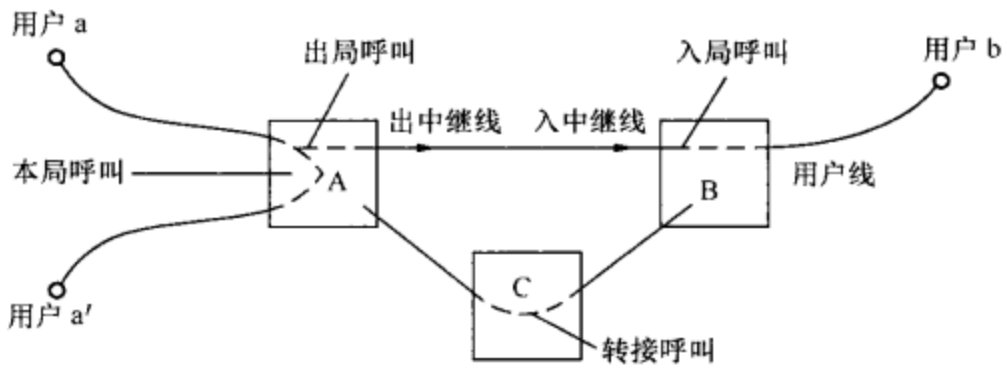


图 4-18　电话传输示意图

常见的电话传输媒体有市话电线电缆、双绞线和光缆。为了提高传输线路的利用率，对传输线路常采用多路复用技术。

（3）电话交换设备

电话通信最初是在两点之间通过原始的受话器和导线的连接由电的传导来进行，如果仅需要在两部电话之间进行通话，只要用一对导线将两部电话机连接起来就可以实现。但如果成千上万部电话机之间需要互相通话，则不可能采用个个相连的办法。这就需要有电话交换设备，即电话交换机，将每一部电话机（用户终端）连接到电话交换机上，通过线路在交换机上的接续转换，就可以实现任意两部电话机之间的通话。

目前主要使用的电话交换设备是程控交换机。程控是指控制方式，即存储程序控制（Stored Program Control，SPC）。它是把电子计算机的存储程序控制技术引入到电话交换设备中来。这种控制方式预先把电话交换功能编制成相应的程序（或称软件），并把这些程序和相关的数据都存入到存储器内。当用户呼叫时，由处理机根据程序所发出的指令来控制交换机的操作，以完成接续功能。

在现代建筑大厦中的程控用户交换机除了基本的线路接续功能之外，还可以完成建筑物内部用户与用户之间的信息交换，以及内部用户通过公用电话网或专用数据网与外部用户之间的语音及图文数据传输。程控用户交换机通过控制机配备的各种不同功能的模块化接口，可组成

通信能力强大的综合数据业务网（ISDN）。程控用户交换机的一般性系统结构如图 4-19 所示。

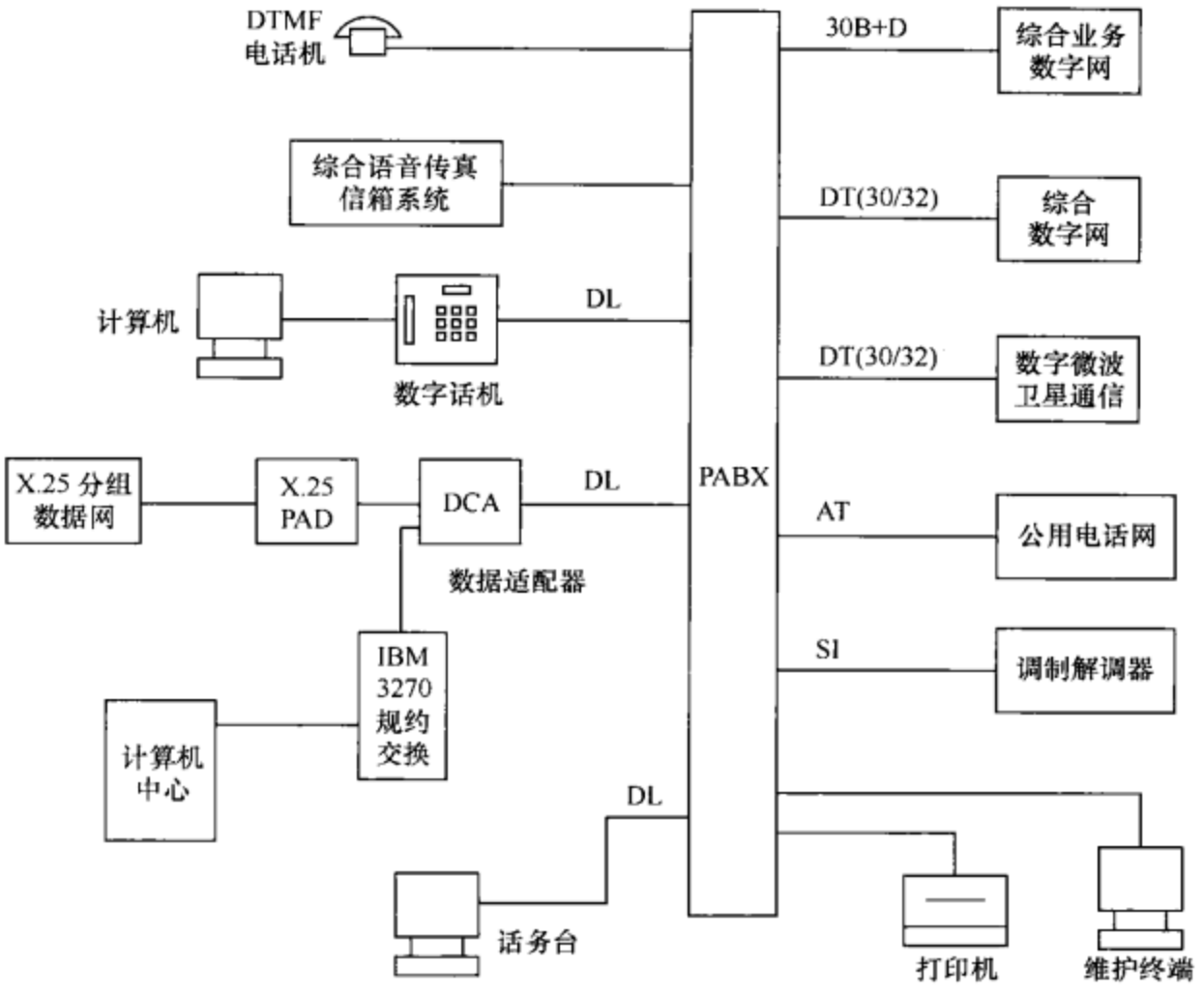


图 4-19　程控用户交换机的一般性系统结构

2. 电话工程图中使用的图形符号

电话工程图中的图形符号见表 4-5。

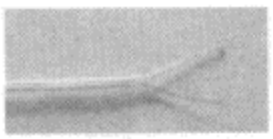
表 4-5　　电话工程图中的图形符号

名　称	图形符号	备　注
总配线架		
中间配线架		
架空交接箱		
落地交接箱		
壁龛交接箱		
在地面安装的电话插座	TP	
直通电话插座	PS	
室内分线盒		可加注 $\frac{A-B}{C}D$，其中 A 表示编号，B 表示容量，C 表示线号，D 表示用户数
室外分线盒		
电话机		

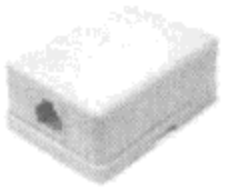
3. 住宅楼电话工程图

图 4-20 为某住宅楼电话工程系统图。


配线箱


电话线


水晶头线和插座


接线盒

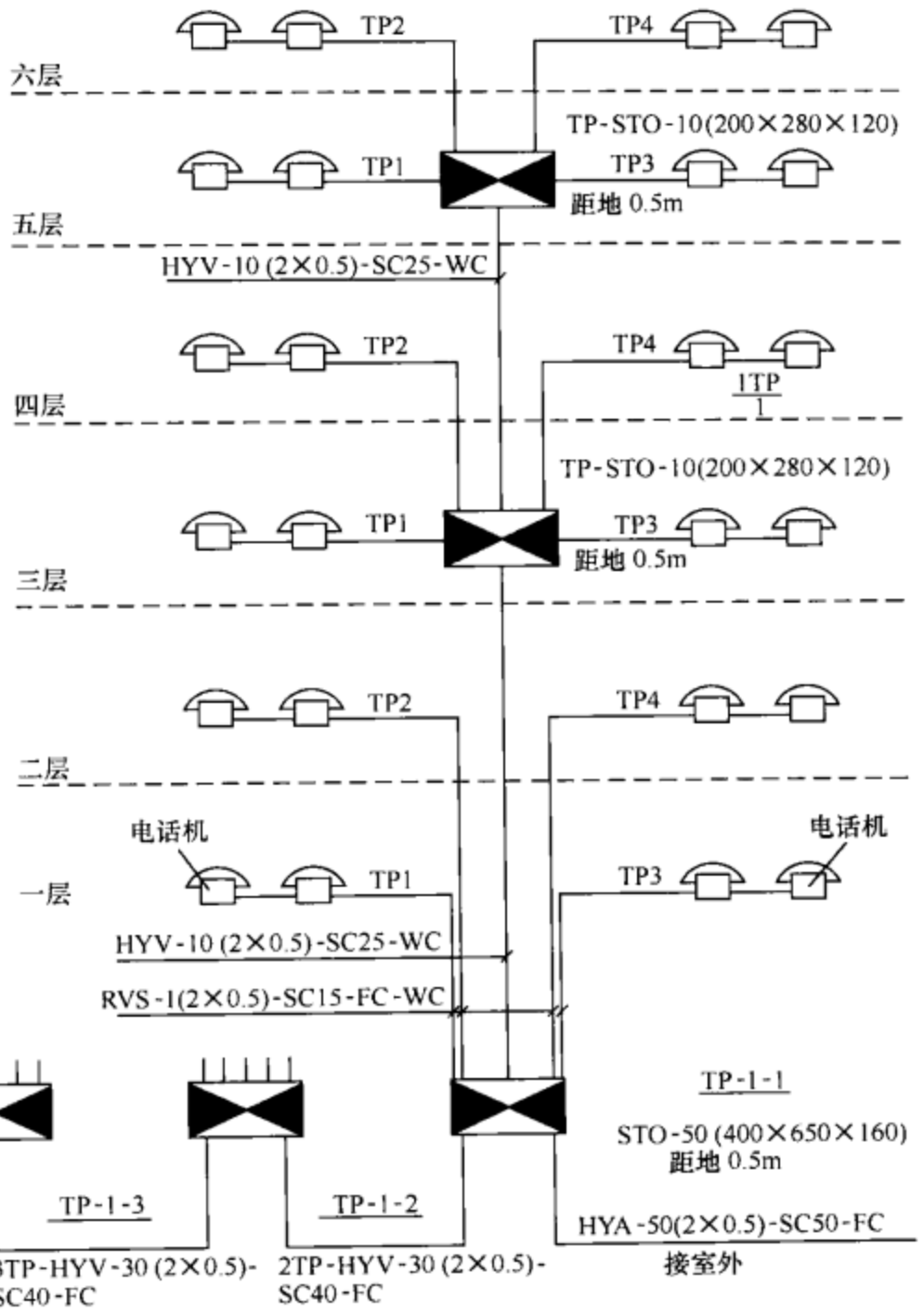


图 4-20　某住宅楼电话工程系统图

从图中可以看到，进户使用 HYA-50(2 × 0.5) 型电话电缆，电缆为 50 对线，每根线芯的直径为 0.5mm，穿直径为 50mm 的焊接钢管埋地敷设。TP-1-1 为一只 50 对线电话组线箱，型号为 STO-50，箱体尺寸为 400mm × 650mm × 160mm，安装位置距地面 0.5m。进线电缆在箱内与本单元分户线和分户电缆及到下一单元的干线电缆连接。下一单元的干线电缆为 HYV-30(2 × 0.5)型电话电缆，电缆为 30 对线，每根线的直径为 0.5mm，穿直径为 40mm 的焊接钢管埋地敷设。

一、二层用户线从电话组线箱 TP-1-1 引出，各用户线使用 RVS 型双绞线，每条的直径为 0.5mm，穿直径为 15mm 的焊接钢管埋地、沿墙暗敷设（SC15-FC，WC）。从 TP-1-1 到三层电话组线箱用一根 10 对线电缆连接，电缆线型号为 HYV-10(2 × 0.5)，穿直径为 25mm 的焊接钢管沿墙暗敷设。在三层和五层各设一只电话组线箱，型号为 STO-10，箱体尺寸为

200mm × 280mm × 120mm，均为 10 对线电话组线箱，安装位置距地面 0.5m。三层到五层也使用一根 10 对线电缆。三层和五层电话组线箱分别连接上下层四户的用户电话出线口，均使用 RVS 型双绞线，每条直径为 0.5mm。每户内有两个电话出线口。

图 4-21 为与图 4-20 对应的单元电话平面图。图中，从一层的组线箱 TP-1-1 引出一层 B 户电话线 TP2，向下到起居室电话出线口，隔墙是卧室的电话出线口；一层 A 户电话线 TP1 向左下到起居室电话出线口，隔墙是主卧室的电话出线口。每户的两个电话出线口为并联关系，两只电话机并接在一条电话线上。二层用户电话线从 TP-1-1 直接引入二层户内，位置与一层对应。一层线路沿一层地面内敷设，二层线路沿一层顶板内敷设。

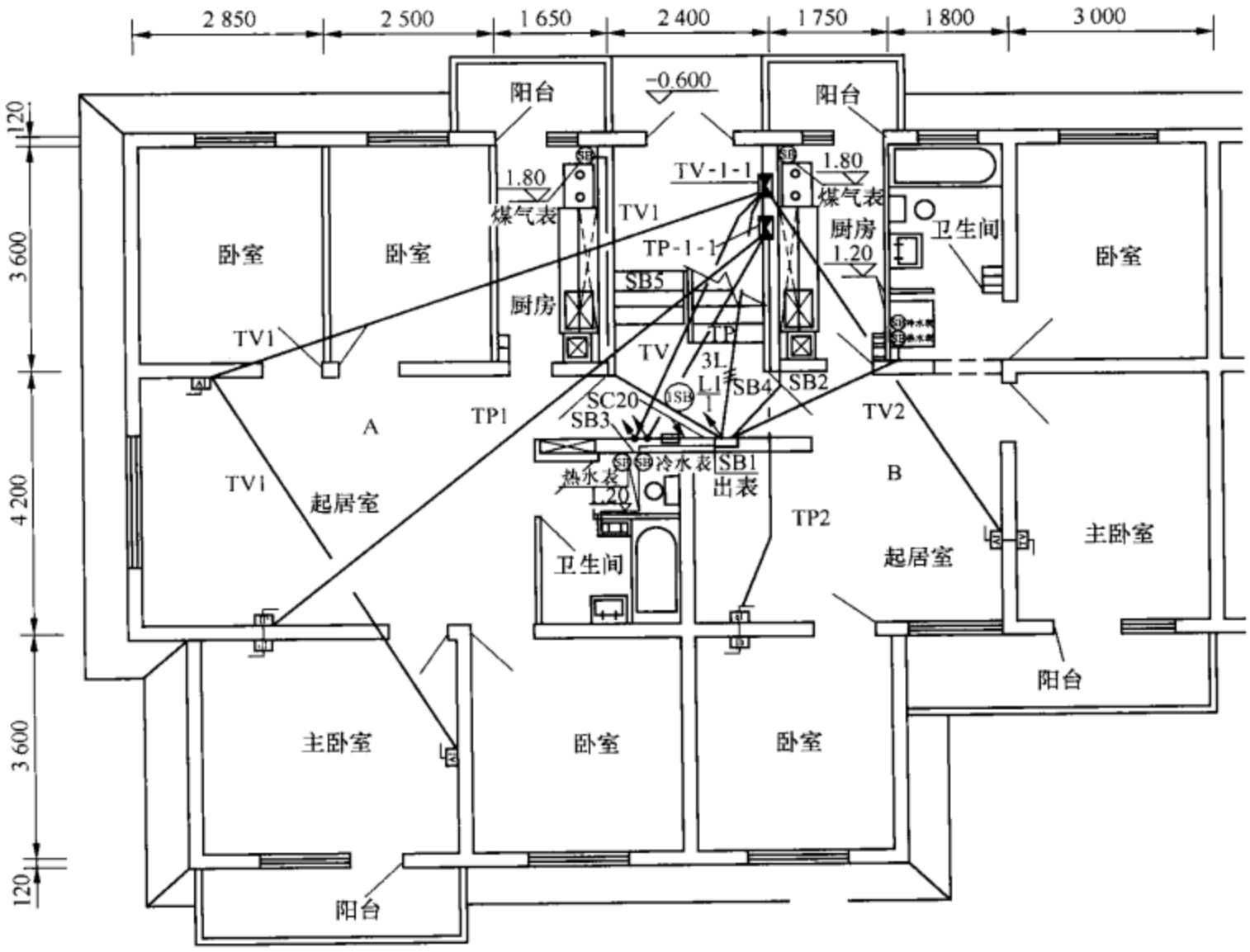


图 4-21 某住宅楼一单元电话平面图

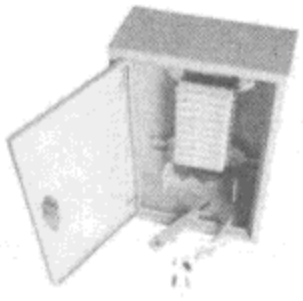
单元干线电缆 TP 从 TP-1-1 箱向左下到楼梯对面墙，干线电缆沿墙从一楼向上到五楼，三层和五层装有电话组线箱，从各层的电话组线箱引出本层和上一层的用户电话线。

4. 综合楼电话工程图

图 4-22 为某综合楼电话工程图。本楼电话系统没有画出电缆进线，首层设有 30 对线电话组线箱（STO-30）F-1，箱体尺寸为 400mm × 650mm × 160mm。首层有 3 个电话出线口，箱左边线管内穿一对电话线，而箱右边线管内穿两对电话线，到第一个电话出线口分出一对线，再向右边线管内穿剩下的一对电话线。



电缆线



电话组线箱

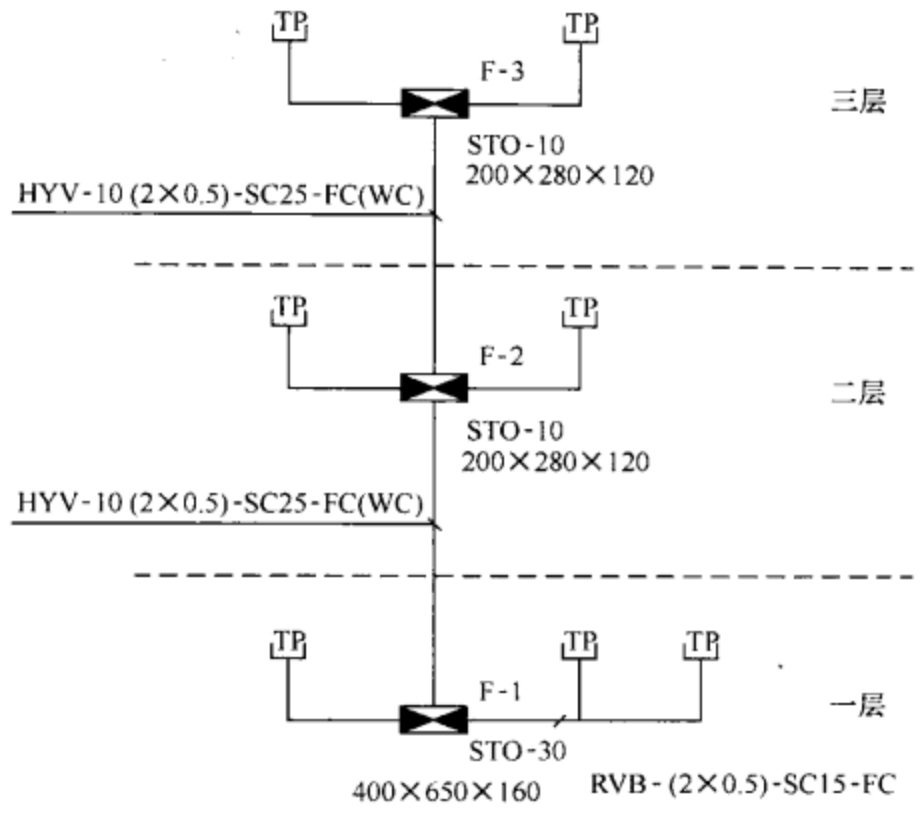


图 4-22　某综合楼电话工程图

二、三层分别设有 10 对线电话组线箱（STO-10）F-2、F-3，箱体尺寸为 200mm × 280mm × 120mm。每层有两个电话出线口。电话组线箱之间使用 10 对线电话电缆，电缆线型号为 HYV-10 (2 × 0.5)，穿直径为 25mm 的焊接钢管埋地、沿墙暗敷设（SC25-FC，WC）。到电话出线口的电话线均为 RVB 型并行线[RVB-(2 × X0.5)-SC15-FC]，穿直径为 15mm 的焊接钢管埋地敷设。

图 4-23 为某综合楼电话工程平面图。电话组线箱 F-1 位于 1 轴线、B 轴线处楼道墙上。电话线 H1 从 F-1 向右上到 3 轴线侧休息室内，墙上装电话出线口 TP。电话线 H2 从 F-1 向右下到 2 轴线侧办公室内，墙上装电话出线口 TP。H1 表示一条电话线，H2 表示两条电话线。到二层的电话干线自 F-1 箱向上到 C 轴线，从这里沿墙向上到二层电话组线箱 F-2。

看图实践

例 4-8　读多层住宅电话配线系统图。

图 4-24 为某多层住宅电话配线系统图，该图中有 4 套设计方案。在这 4 套设计方案中，小区市话电缆从室外引入楼内的方式相同，只是由室外电缆引入处电话分线箱至各住户电话插座线路的路径不同。

第一套设计方案（如图 4-24 中第一列所示）：在各单元的各层均设置电话分线箱，室外电缆引入处设置一个 100 对电话分线箱，其他单元的一层设置一个 30 对电话分线箱，所有单元二层各设置一个 30 对电话分线箱，三层、四层各设置一个 20 对电话分线箱，五层、六层各设置一个 10 对电话分线箱。从室外电缆引入处电话分线箱引至每个单元一层电话分线箱一根 30 对电话电缆，一层电话分线箱引至二层电话分线箱一根 25 对电话电缆，二层电话分线箱引至三层电话分线箱一根 20 对电话电缆，三层电话分线箱引至四层电话分线箱一根 15 对电话电缆，四层电话分线箱引至五层电话分线箱一根 10 对电话电缆，五层电话分线箱引至六层电话分线箱一根 5 对电话电缆。再经各层电话分线箱将电话线分配至各住户的电话插座。

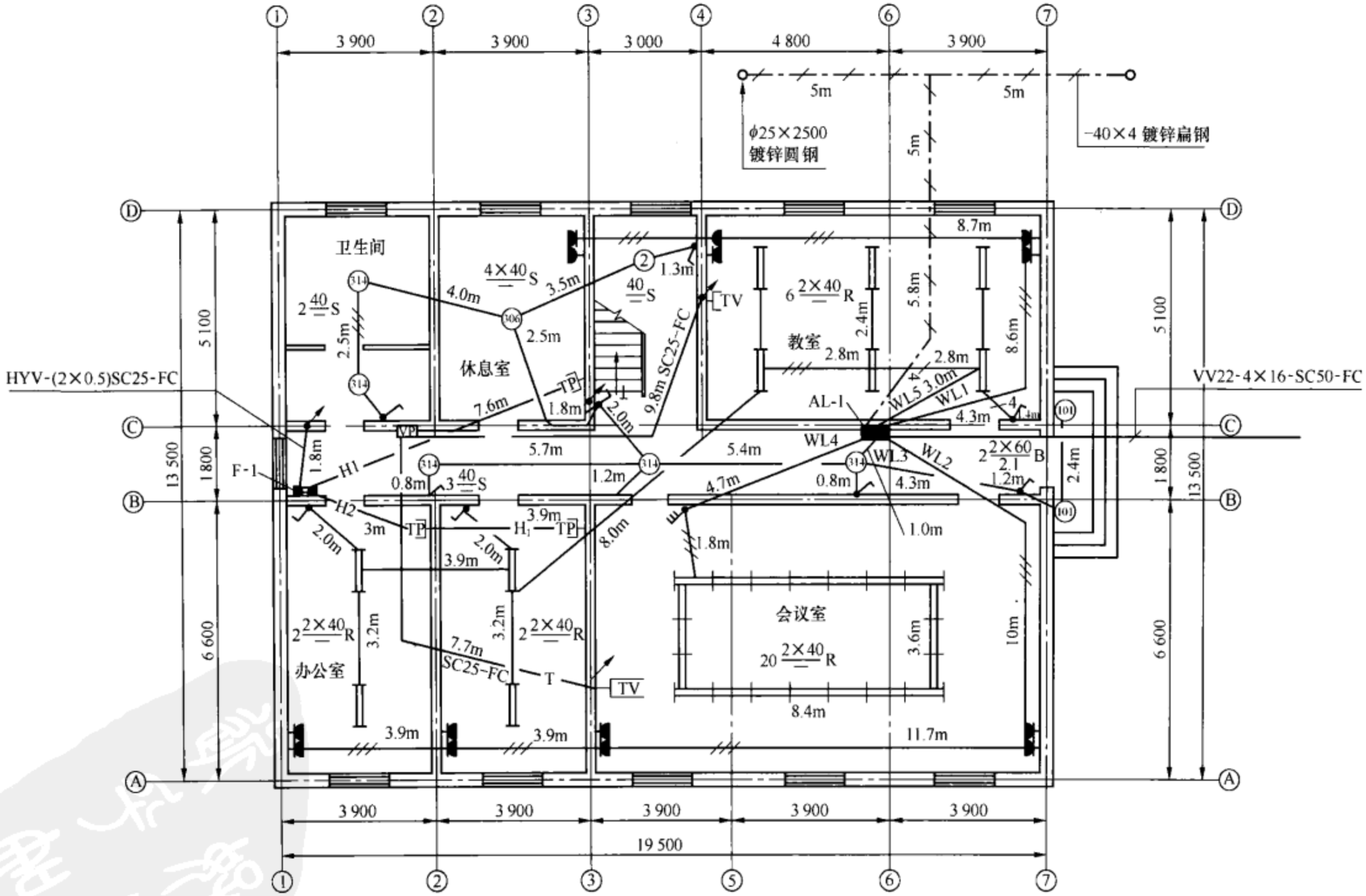


图 4-23　某综合楼电话工程平面图

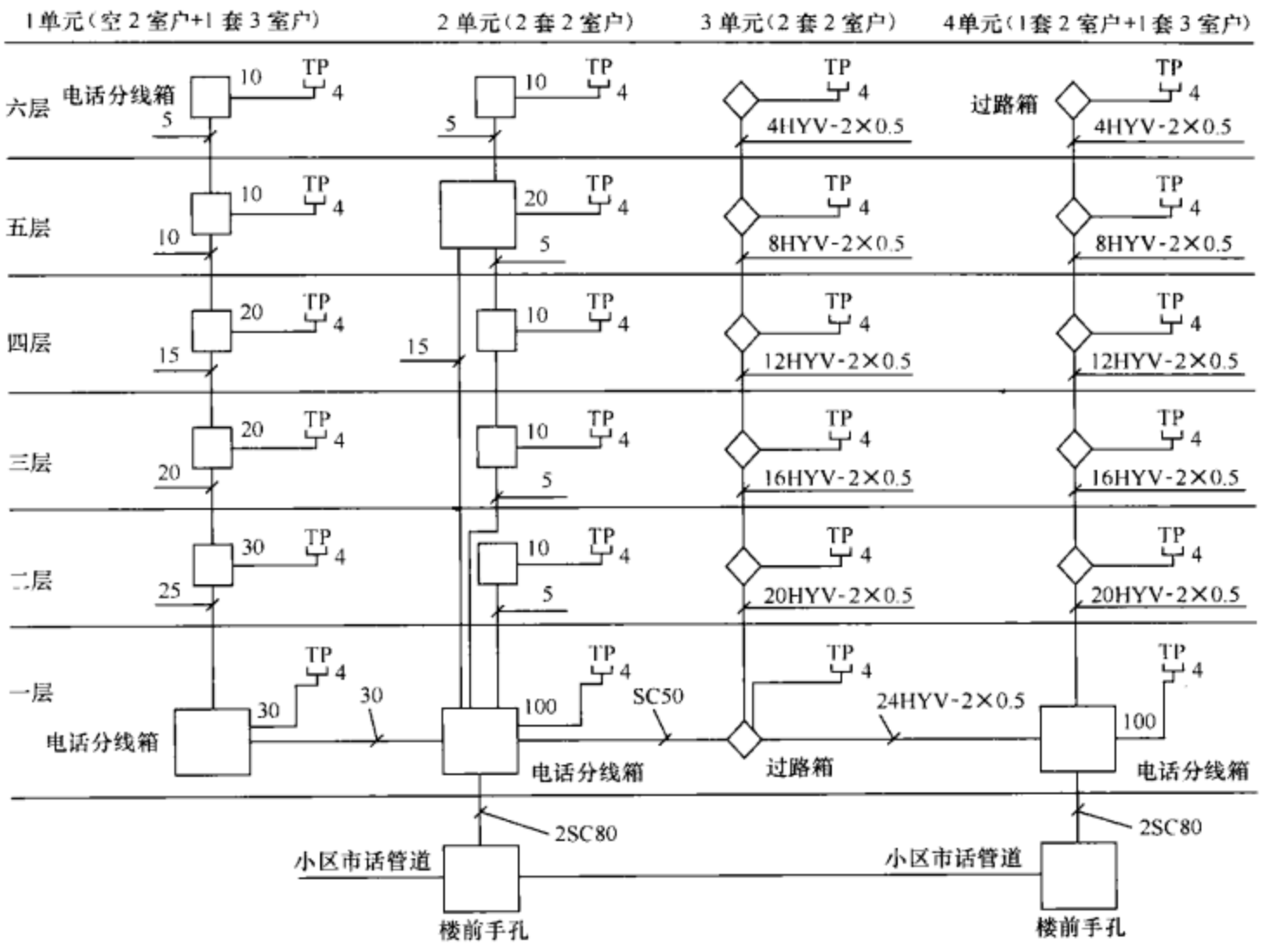


图 4-24　多层住宅电话配线系统图

第二套设计方案（如图 4-24 中第二列所示）：在各单元的各层均设置电话分钱箱，室外电缆引入处设置一个 100 对电话分线箱，在其他单元的一层设置一个 30 对电话分线箱，所有单元的五层各设置一个 20 对电话分线箱，其他层各设置一个 10 对电话分线箱。从室外电缆引入处电话分线箱引至每个单元一层电话分线箱一根 30 对电话电缆，从各单元一层的电话分线箱引至五层电话分线箱一根 15 对电话电缆，从各单元一层的电话分线箱和五层的电话分线箱引至其他层的电话分线箱各一根 5 对电话电缆。再经各电话分线箱将电话线分配至各住户的电话插座上。

第三套设计方案（如图 4-24 中第三列所示）：除在室外电缆引入处设置一个 100 对电话分线箱外，其他各单元各楼层均不设置电话分线箱。从室外电缆引入处电话分线箱将电话线直接引至各住户的电话插座上。

第四套设计方案（如图 4-24 中第四列所示）：在室外电缆引入处设置一个 100 对电话分线箱，其他单元的一层设置一个 30 对电话分线箱。从室外电缆引入处电话分线箱引至其他单元一层电话分线箱各一根 30 对电话电缆，经过各单元一层电话分线箱将电话线分配到各个住户的电话插座上。

4.3.3　消防工程电气图
——元件设备环节多，逐条回路去诉说

1. 火灾自动报警系统的构成

火灾自动报警系统是通报火灾发生的全套设备，由触发装置、报警装置、警报装置及电

源 4 部分组成，如图 4-25 所示。

触发装置是自动或手动产生火灾报警信号的器件，包括各种火灾探测器、水流指示器、压力开关、手动报警按钮等。常见的火灾探测器如图 4-26 所示。

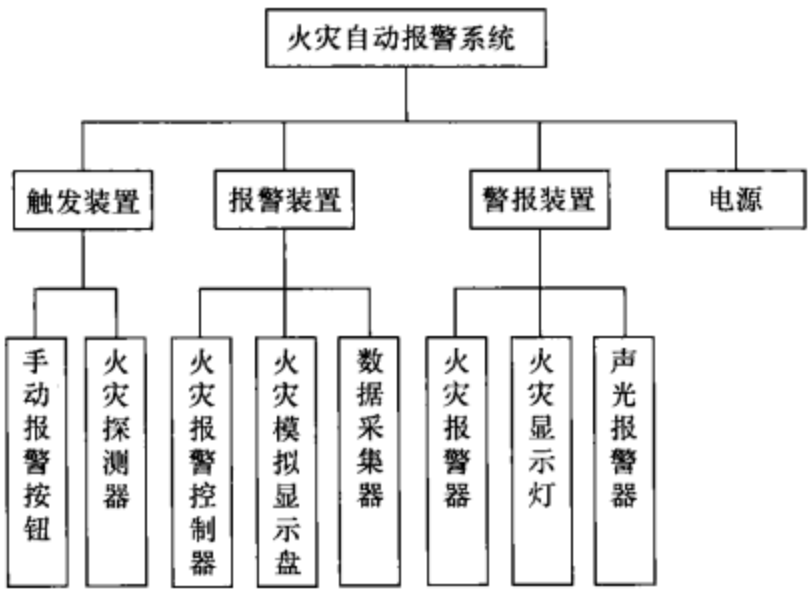


图 4-25　火灾自动报警系统的组成

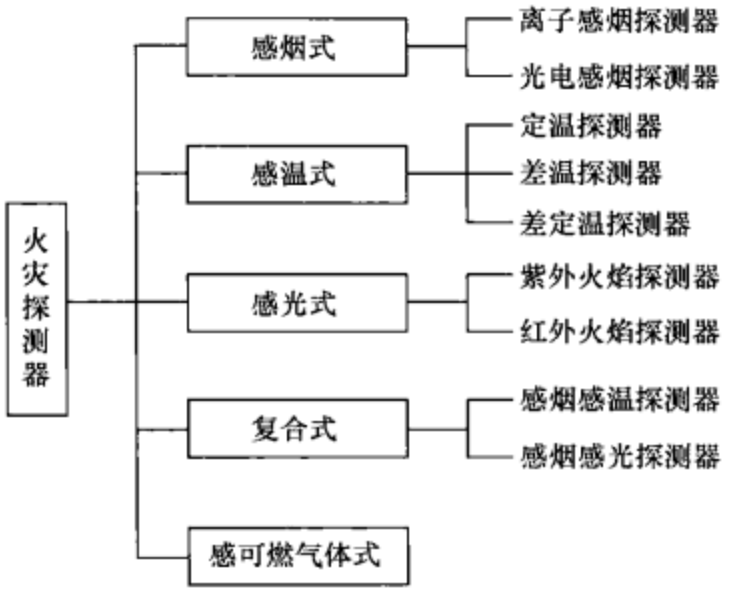


图 4-26　火灾探测器的分类

火灾报警装置接收触发装置的报警信号，发出声、光报警信号，指示火灾发生的具体部位，使值班人员迅速采取有效措施，扑灭火灾。

火灾警报装置是在确认火灾后，由报警装置自动或手动向外界通报火灾发生的一种设备。火灾警报装置可以是警铃、警笛、高音喇叭等音响设备，也可以是警灯、闪灯等光指示设备，或是两者的组合，供疏散人群、向消防队报警等用。

电源是向触发装置、报警装置和警报装置提供电能的设备。火灾自动报警系统中的电源应由消防电源供电，还要有直流备用电源。

知识链接

火灾自动报警及联动灭火系统的形式

① 自动报警、人工灭火。当发生火灾时，火灾报警器发出报警信号，消防人员根据火灾发生的情况，采取人工直接灭火或人工操作固定式灭火设备灭火等措施。

② 自动报警、联动灭火。发生火灾时，火灾报警器发出报警信号，开动火警广播，组织人员疏散，报警联动信号驱动自动灭火控制柜工作，封闭火灾区域，自动喷洒水或灭火剂灭火。

2. 消防系统电气图的特点

图 4-27 为具有集中报警和联动控制功能的消防系统图。该火灾报警控制器采用数字控制总线方式，每路控制线为两根阻燃型塑料绝缘铜芯导线（ZR-BV），导线截面积不小于 $1mm^2$。在消防中心控制室内设置有低压电源箱，为火灾探测器和模块提供直流电源。

在系统中还设置有对讲电话设备和火灾广播设备。直流电源使用阻燃型塑料绝缘铜芯导线，电话和广播线使用双绞线。图中火灾报警控制器上示出了 6 条输出回路。

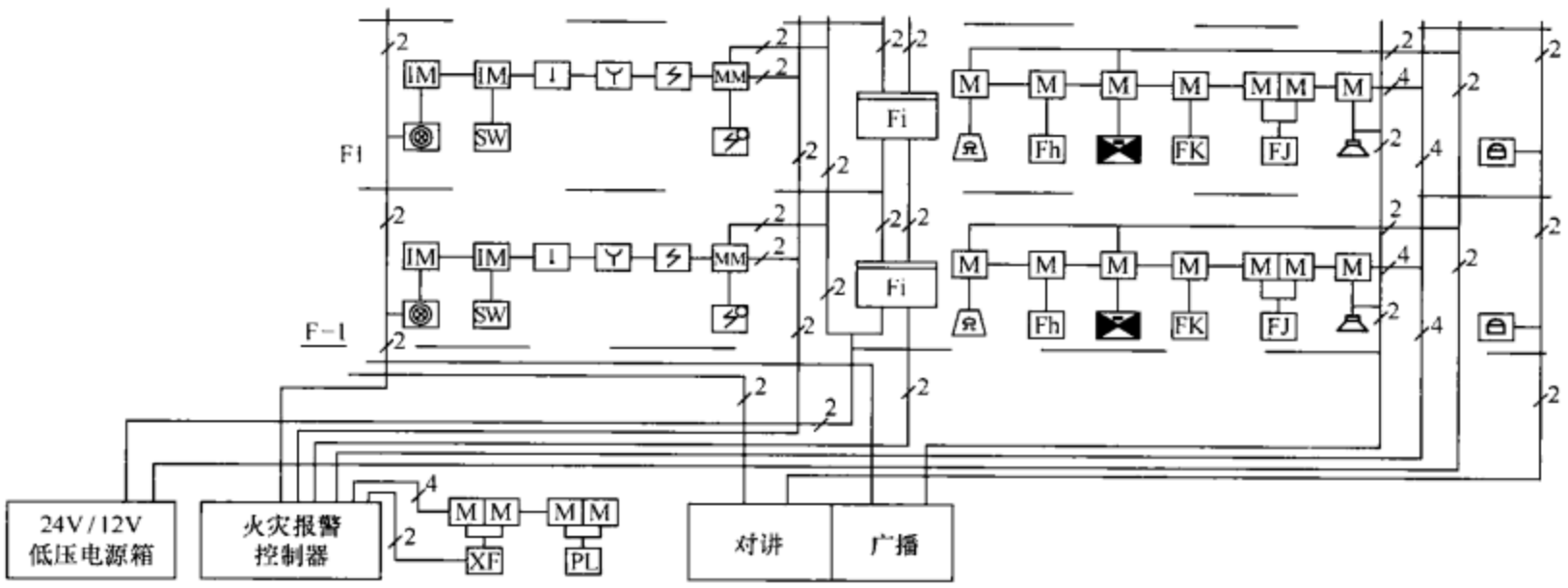


图 4-27　消防系统图

第一条回路接各个消火栓按钮，这些按钮并联在一起，用于手动报警和手动控制消防水泵。消火栓按钮上接有输入模块 IM，操作按钮时会同时发出报警信号并显示报警位置。

第二条回路接各个火灾探测器和输入模块，向火灾报警控制器输入报警信号并显示报警位置。图中有水流信号开关 SW、输入模块 IM、电子感温探测器、地址编码手动报警按钮、地址编码离子感烟探测器、非地址编码离子感烟探测器（接主模块 MM）。

第三条回路接楼层区域显示器 Fi，在每个楼层显示报警位置。

第四条回路接各个控制模块，通过火灾报警控制器输出控制信号，控制各个设备动作。这些设备有警铃、非消防电源 Ph、防火排烟阀、空调机 PK、防火卷帘 FJ 及广播扬声器等。

第五条回路接控制模块，自动控制消防泵 XF 和喷淋泵 PL。

第六条回路是手动启动消防泵的消火栓按钮控制线。

综上所述，一套完整的消防安全系统电气图通常具备以下特点。

① 具有完整的消防安全系统组成示意图或框图。这种图主要从整体上说明某一建筑物内火灾探测、报警、消防设施等的构成与相互关系。由于这一系统的构成大多涉及电气方面，所以这一系统图或框图是构成消防系统电气工程图的重要组成部分，主要包括火灾探测系统、火灾判断系统、通报与疏散诱导系统、灭火装置及监控系统、排烟装置及监控系统等。

② 具有翔实的火灾探测器平面布置图。火灾探测器平面布置图通常是将建筑物某一平面划分为若干探测区域后按此区域布置的平面图。所谓探测区域是指在有热气流或烟雾能充满的区域。在建筑物各个场所安装的火灾探测器及其连接线是很多的，因此，必须有一份关于火灾探测器、导线、分接线盒等的布局的平面布置图。这种图类似于电气照明平面布置图。

3. 消防系统电气图的识读方法

① 现代高级消防安全系统都采用微机控制，消防安全微机控制系统与其他微机控制系统的工作过程一样。将火灾探测器接入微机检测通道的输入接口，微机按用户程序对检测量进行处理，当检测到危险或着火信号时，就给显示通道和控制通道发出信号，使其显示火灾区域，启动声光报警装置和自动灭火装置。因此，看这种图时要抓住微机控制系统的基本环节。

② 阅读消防安全系统成套电气图，首先必须读懂安全系统的组成示意图或框图。

③ 由于消防安全系统的电气部分广泛使用了电子元件、装置和线路，因此将安全系统电气图归类于弱电电气工程图，而其中的强电部分则可分别归类于电力电气图和电气控制电气图，阅读时可以分类进行。

④ 阅读消防电气图时，尤其要注意消防泵控制系统、感烟系统、事故照明系统等几个重要环节，以避免发生火灾事故时不知所措。

看图实践

例 4-9 识读某建筑物消防安全系统图。

图 4-28 是某建筑物消防安全系统图。

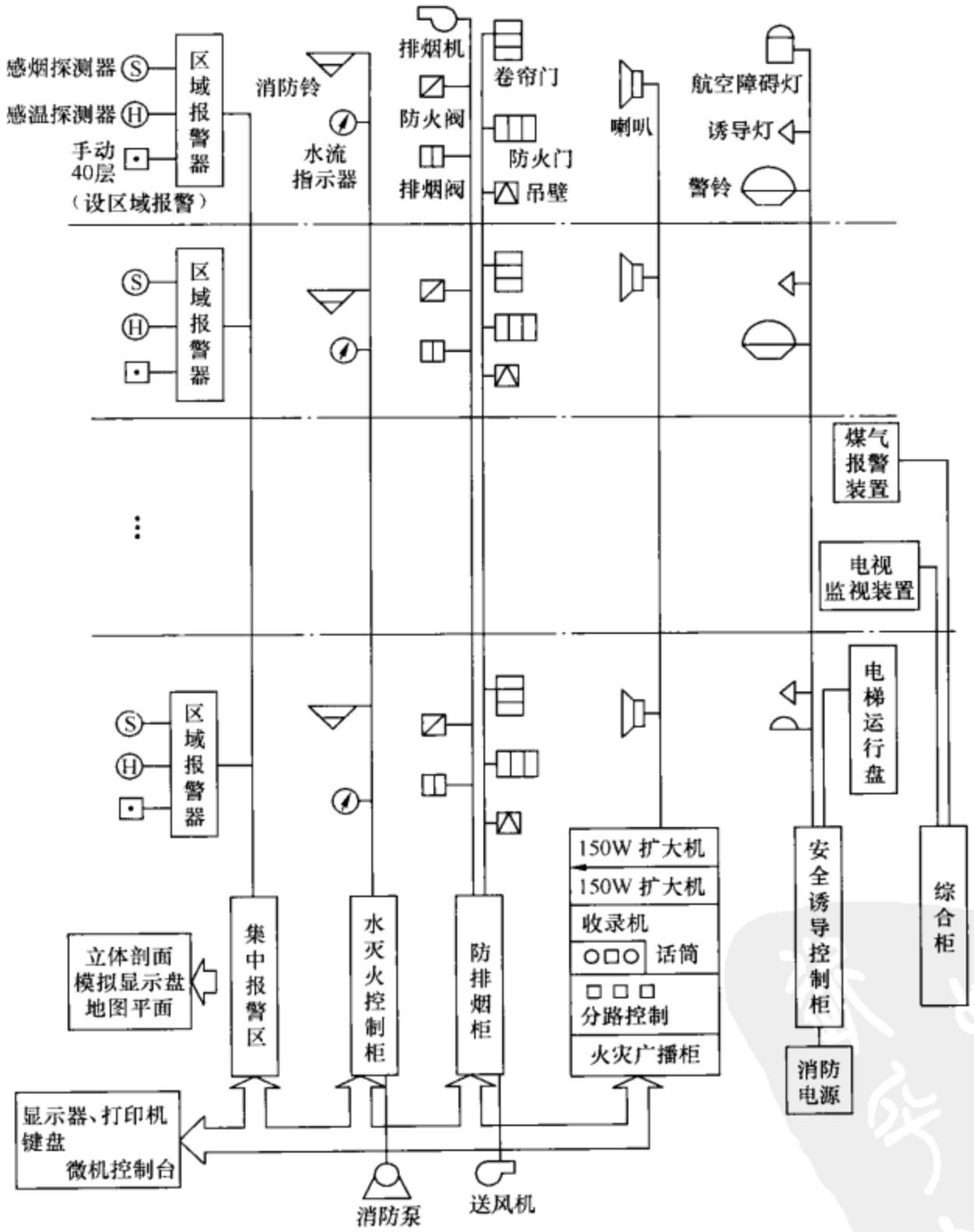


图 4-28 某建筑物消防安全系统图

该建筑物的消防安全系统主要由以下 5 部分组成。

① 火灾探测系统：主要由分布在 1～40 层各个区域的多个探测器网络构成。图中，S 为感烟探测器，H 为感温探测器，手动装置主要供调试和平时检查试验时使用。

② 火灾判断系统：主要由各楼层区域报警器和大楼集中报警器组成。

③ 通报与疏散诱导系统：由消防广播系统、诱导灯等组成。当楼中人员听到火灾报警之后，可根据诱导灯的指示方向撤离现场。

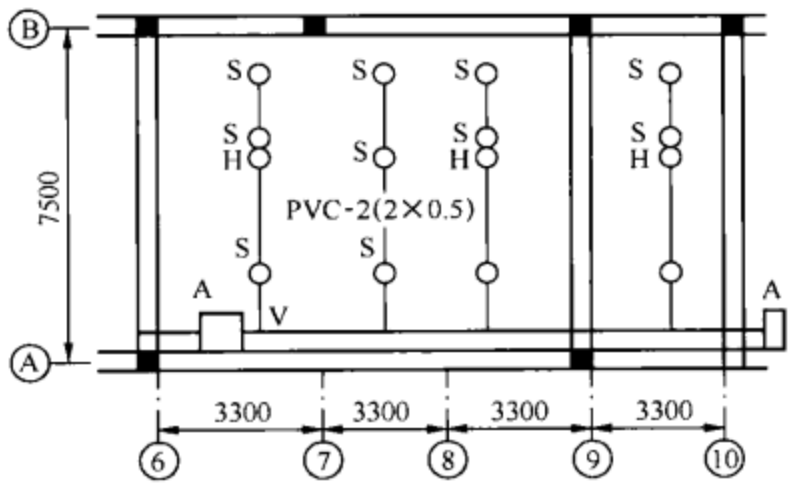
④ 灭火设施：由自动喷淋系统组成。当火灾广播之后，延时一段时间，总监控台就启动消防泵，建立水压，并打开着火区域消防水管的控制装置，使消防水进入喷淋管路进行喷淋灭火。

⑤ 排烟装置及监控系统：由排烟阀、排烟机、防排烟柜等组成。

图 4-29（b）是火灾探测器平面布置图。由该图可知，该建筑物一层平面有 4 个探测区域，火灾探测器分布位置如图中所示。



（a）光电感烟火灾探测器



（b）平面布置图

图 4-29　火灾探测器及其平面布置图

图中，在⑥～⑨间隔内，由于有突出的梁隔开，故划分为 3 个探测区域。在每个探测区域内各装了一个感温探测器，每个探测区域内各装有 3 个感烟探测器。

例 4-10　识读某建筑物消防工程平面图。

图 4-30 为某建筑物消防工程平面图。图中控制设备为模块控制箱，装在配电室的墙上。可从控制箱右边起依次看每一个回路的设备配置情况。

第 1 条回路：接消防栓，沿外墙共有 5 个消防栓。

第 2 条回路：接手动报警按钮和对讲电话，沿墙共有 4 个手动报警按钮和 3 个对讲电话。

第 3 条回路：接广播扬声器，扬声器分 3 组共有 10 只，分布在整个大厅里。

第 4 条回路：输出到室外的电源线。

第 5 条回路：非编码感烟探测器，沿图上外墙内共有 5 只，这些探测器在控制箱上将显示同一地址。

第 6 条回路：排烟防火阀，共有 3 个。

第 7 条回路：球道上的非编码感烟探测器，共有 12 只，这些探测器在控制箱上将显示同一地址。

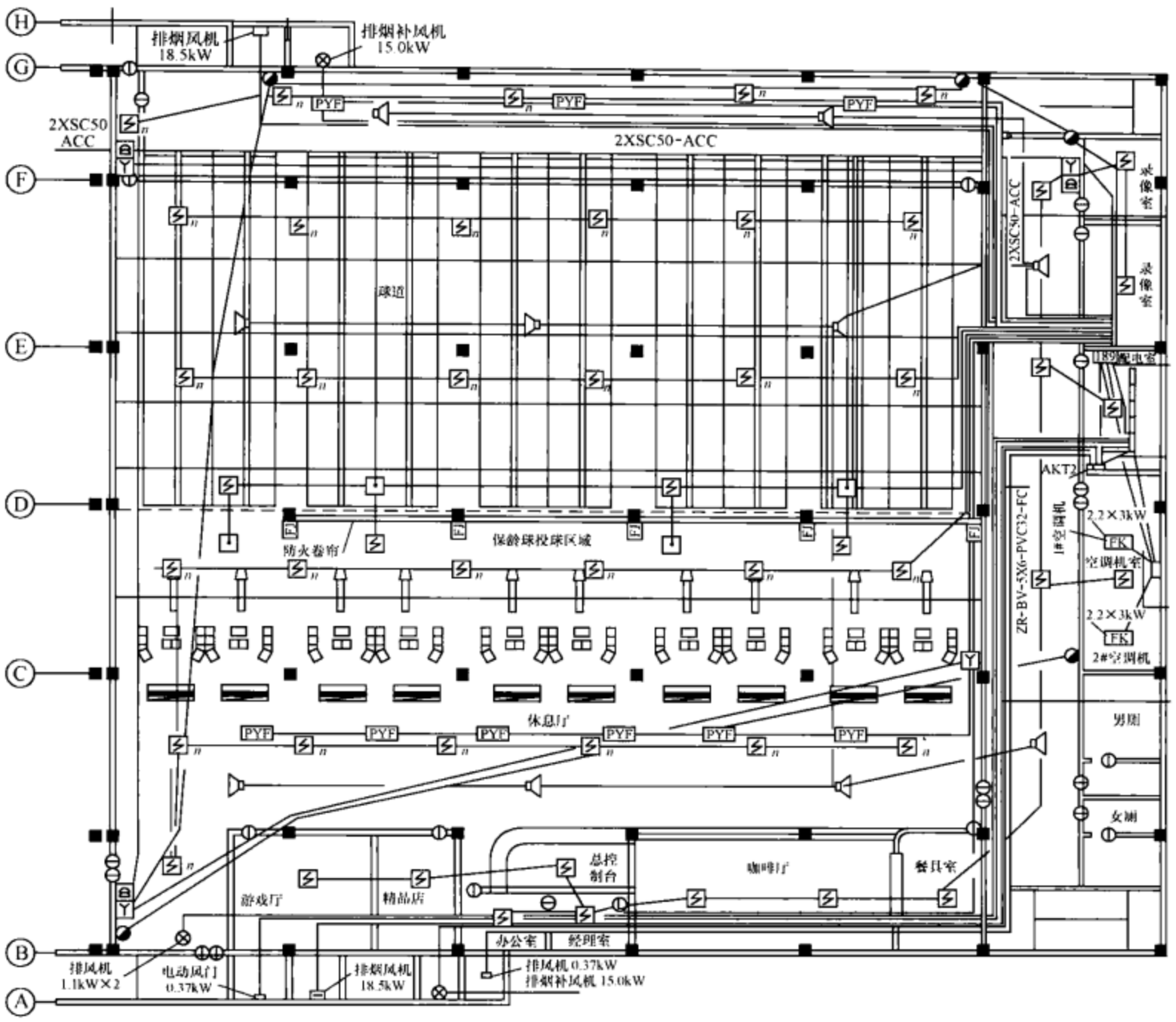


图 4-30 某建筑物消防工程平面图

第 8 条回路：编码探测器，有 4 只感烟探测器和 4 只感温探测器，位于保龄球投球区域上方。

第 9 条回路：非编码感烟探测器，共有 13 只，这些探测器位于休息厅上方和保龄球投球区域上方。

第 10 条回路：另一组排烟防火阀，共有 6 个，位于休息厅上方。

第 11 条回路：编码感烟探测器，共有 15 只，这些探测器分布于走廊和各个独立的房间内。

4.3.4 防盗保安工程电气图
——分清区域与接线，设备分布细查看

1. 防盗保安系统

防盗保安系统是指为了防止坏人非法侵入建筑物而对人员和设施进行安全防护的系统，

它主要由报警探测器、电磁门锁、摄像机、监视器等部分组成。

报警探测器的种类很多，根据探头传感原理的不同，可分为震动型、红外线型、超声波型和微波型等。它们的基本结构相同，区别在于探头的工作原理不同。

图 4-31 为某小区防盗报警系统图。

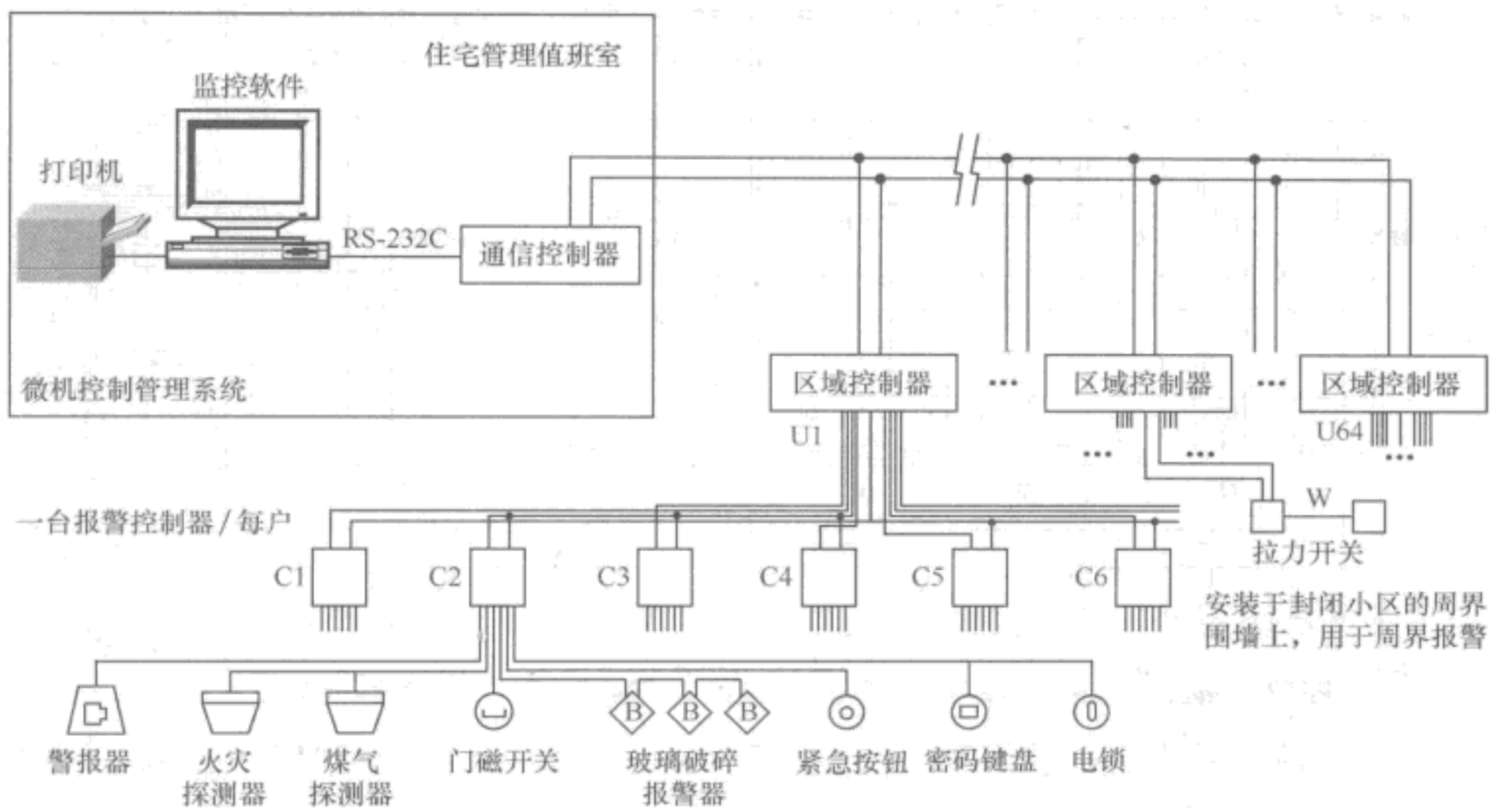


图 4-31　某小区防盗报警系统图

住宅管理值班室内有微机控制管理系统，经通信控制器连接报警装置。每栋建筑装一台区域控制器，每户装一台报警控制器。报警控制器连接户内的多种报警探测器（包括门磁开关、玻璃破碎报警器、紧急按钮、火灾探测器、煤气探测器等）以及电锁、密码键盘等。

此外，小区周边还安装了拉力开关，作为周界报警器。向公安机关报警中心报警的方式有无线报警和有线报警两种。

2．访客对讲系统

访客对讲系统是指在来访客人与住户之间提供双向通话或可视通话，并由住户遥控防盗门的开关及向保安管理中心进行紧急报警的一种安全防范系统。它适用于单元式公寓、高层住宅楼和居住小区等。图 4-32 所示为一访客对讲系统，它由对讲系统、控制系统和电控防盗安全门组成。

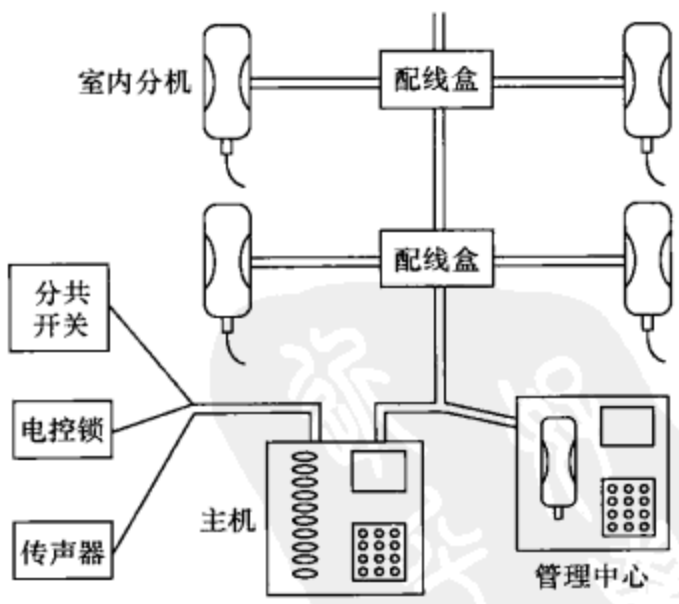


图 4-32　某住宅楼访客对讲系统图

（1）对讲系统

对讲系统主要由传声器、语言放大器及振铃电路等组成，要求对讲语言清晰、信噪比高、失真度低。

（2）控制系统

一般采用总线制传输、数字编码解码方式控制，只要访客按下户主的代码，对应的户主

摘机就可以与访客通话，并决定是否打开防盗安全门。而户主则可以凭电磁钥匙出入该单元大门。

（3）电控安全防盗门

对讲系统用的电控安全门是在一般防盗安全门的基础之上加上电控锁、闭门器等构件组成的。

3. 可视对讲系统

可视对讲系统除了对讲功能外，还具有视频信号传输功能，使户主在通话时可同时观察到来访者的情况。因此，系统增加了一部微型摄像机（安装在大门入口处附近），用户终端设一部监视器。可视对讲系统如图 4-33 所示。

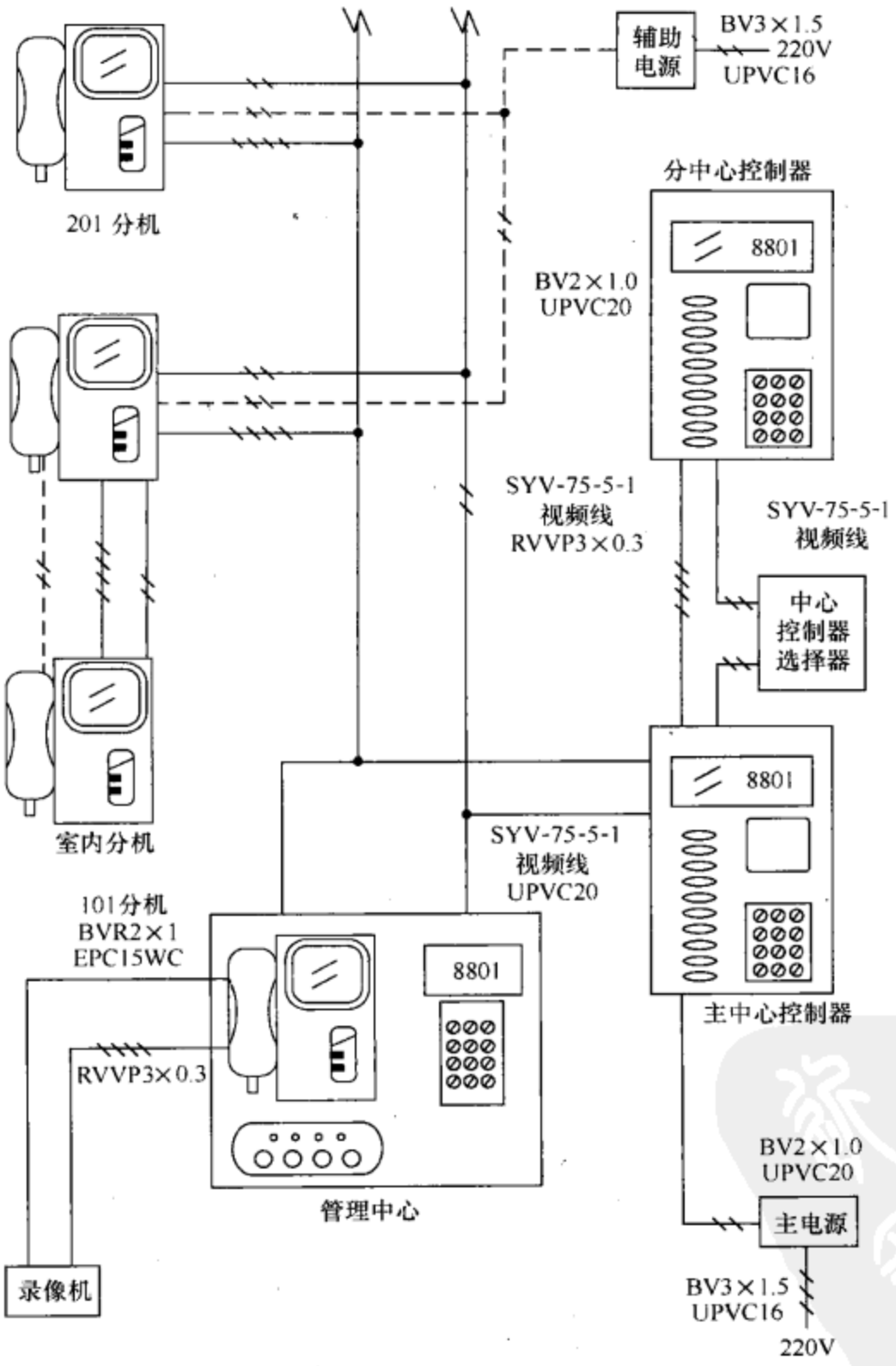


图 4-33　可视对讲系统图

可视对讲系统主要具有以下功能。

① 通过观察监视器上来访者的影像，可以将不希望的来访者拒之门外。

② 按下呼出键，即使没人拿起听筒，屋里的人也可以听到来客的声音。

③ 按下电子门锁打开按钮，门锁可以自动打开。

④ 按下监视按钮，即使不拿起听筒，也可以监听和监看来访者长达 30s，而来访者却听不到屋里的任何声音；再按一次，解除监视状态。

对于高层建筑，由于用户多，一般在各楼层设置中继器。高层多用户对讲系统如图 4-34 所示。

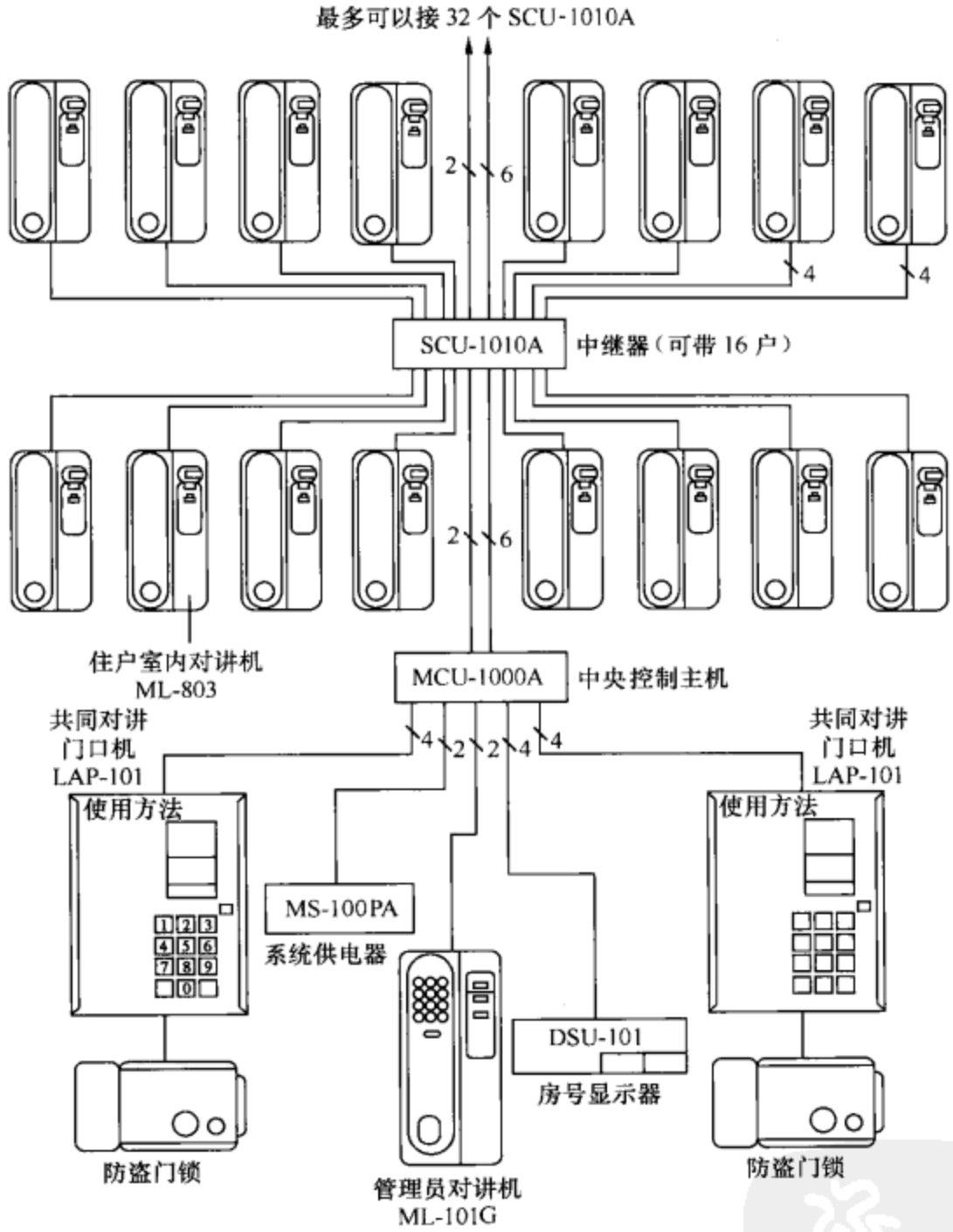


图 4-34　高层多用户对讲系统图

该系统干线有 8 根，其中 2 根为电源线，6 根为信号线。在中继器（楼层分配器）处接各用户室内机，中继器内部有解码器进行信号分配。

在大型住宅楼系统中，一般都有管理人员值班，因此，除了室内机外，还要设置管理员机和公共机，管理员可以通过管理员机了解人员的来访情况和出入情况，也可以呼叫住户。住户也可以呼叫管理员。公共机设在大厅内，供门卫人员或大厅内人员使用，可以与住户和管理中心通话。智能型对讲系统如图 4-35 所示。

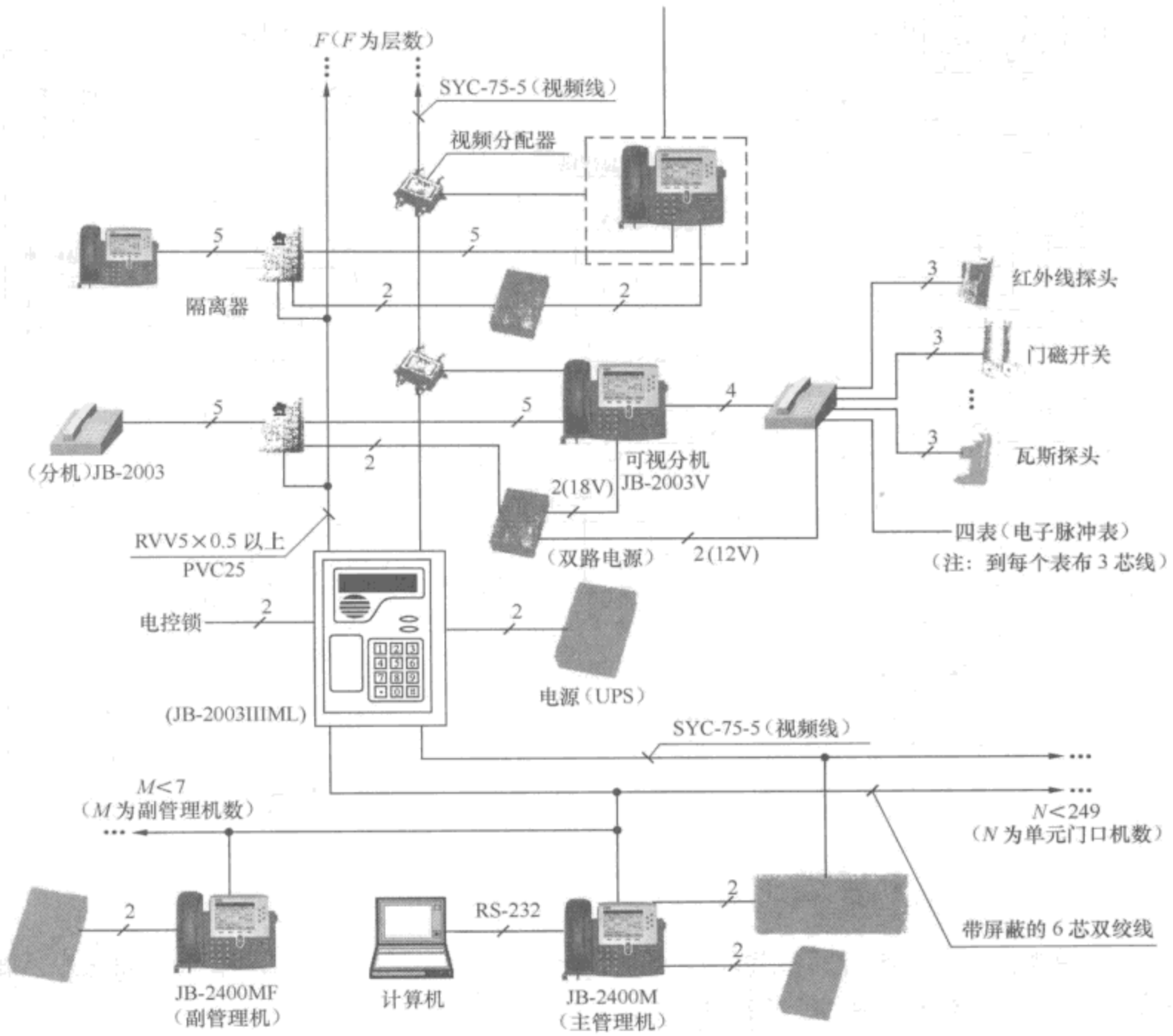


图 4-35 智能型对讲系统图

4. 防盗保安系统电气图识读方法

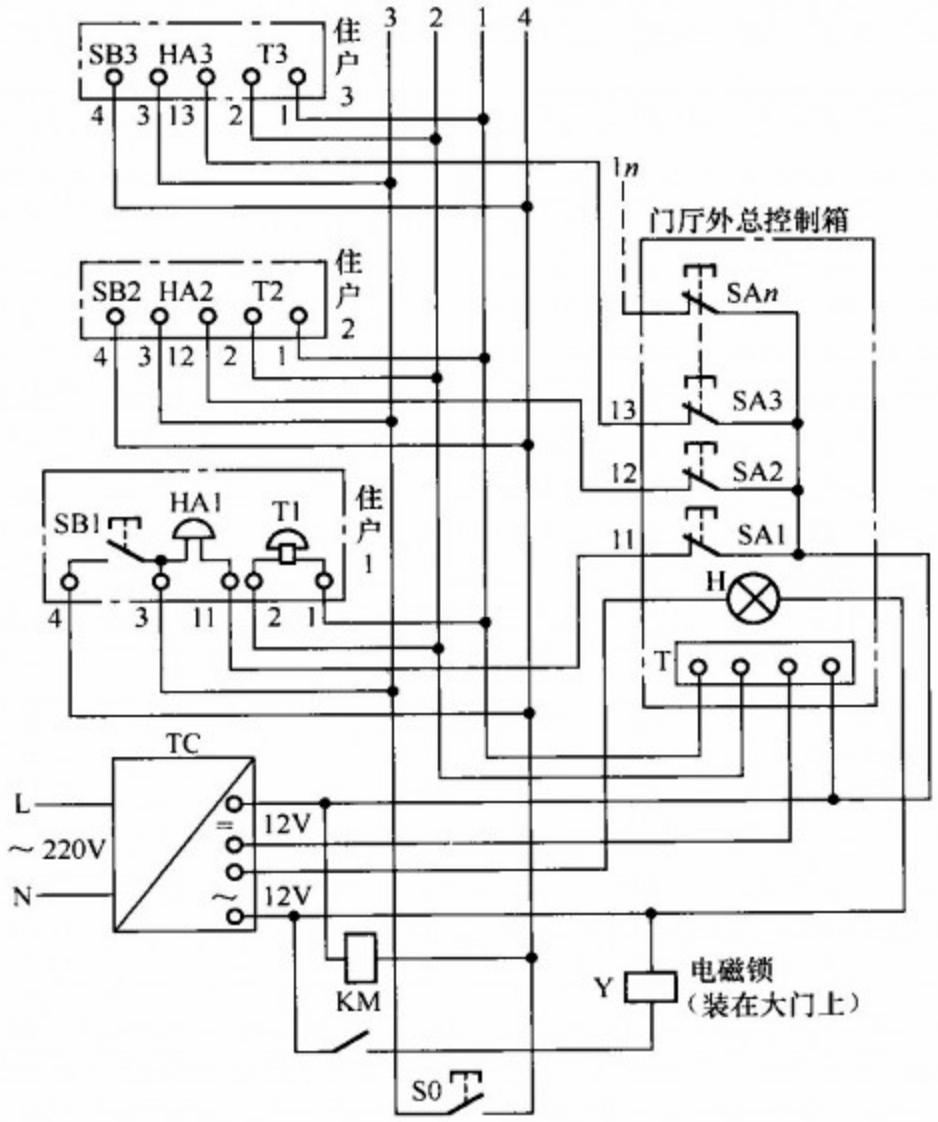
电路图通常采用整体式布置方式，且运用了公用小母线的表达方式，因此不易看清楚，阅读时一般将图划分为几个部分来阅读。

为了表达清楚各接线箱、按钮箱等的具体位置以及电缆的走向，通常还应有一平面布置图，这样才能进行安装接线。由于这一布置图所要表达的内容不多，一般将此合并到其他图样中去，例如在电气照明平面布置图中。

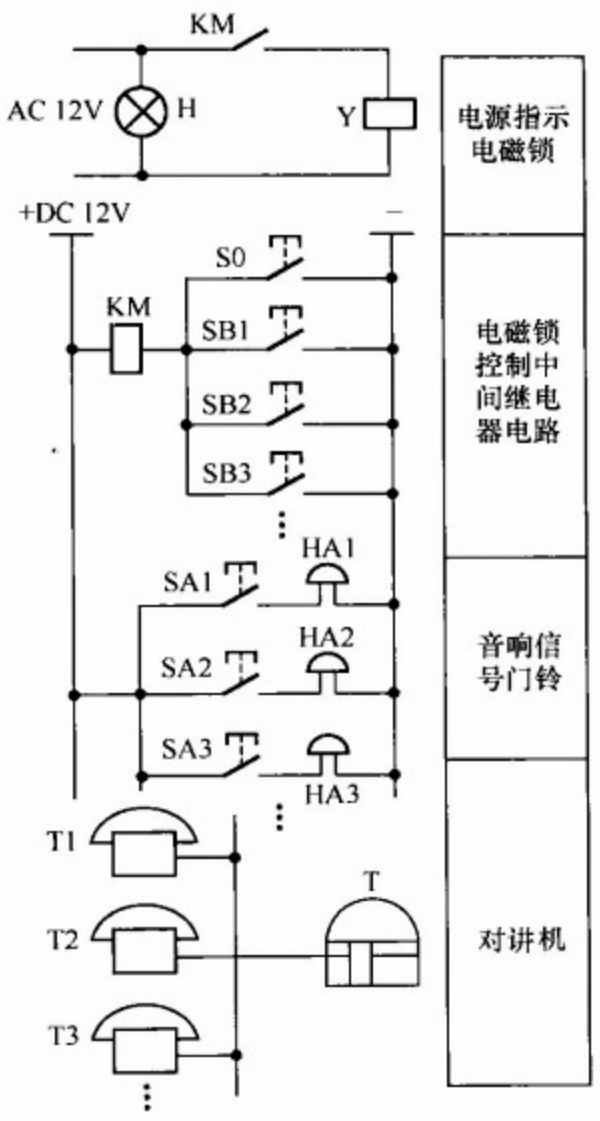
看图实践

例 4-11 识读某楼宇不可视对讲防盗门锁装置电气图。

图 4-36 是某楼宇不可视对讲防盗门锁装置的电气图。该系统由电源部分、电磁锁电路、门铃电路和话机电路 4 个部分组成。



（a）系统图



（b）电路图

图 4-36　某楼宇不可视对讲防盗门锁装置电气图

① 电源部分：其输入为 AC 220V；输出两种电源，其中 AC 12V 电压供给电磁锁和电源指示灯，DC 12V 电压供给门铃和对讲机。

② 电磁锁电路：电磁锁 Y 由中间继电器 KM 控制，而中间继电器由各单元门户的按钮 SB1、SB2、SB3……和锁上按钮 S0 控制。

③ 门铃电路：各门户的门铃 HA1、HA2……由门外控制箱上的按钮 SA1、SA2……控制。若防盗门采用单片机控制，就要由键盘输入房门号码，例如访问 203 房间时就得依次按下 2、0、3 号键，单片机就输出一个高电位给 203 房门铃电路，使该门铃工作，发出响声。

④ 话机电路：门外的控制箱或按钮箱上的话机 T 与各房间的话机 T1、T2……构成回路，按下被访房间号码之后，被访房间的话机与门外的话机就接通，实现了被访者与来访者的对话。

例 4-12　识读某高层住宅楼对讲系统图。

图 4-37 为某高层住宅楼对讲系统图。通过识读该对讲系统图可以知道该楼宇对讲系统为联网型可视对讲系统。每个用户室内设置一台可视电话分机，单元楼梯口设一台带门禁的编码式可视梯口机，住户可以通过智能卡和密码开启单元门。来访者可通过门口主机实现在楼梯口与住户的呼叫对讲。

楼梯间设备采用就近供电方式，由单元配电箱引一路 220V 电源至梯间箱，实现对每楼层的楼宇对讲 2 分配器及室内可视分机的供电。

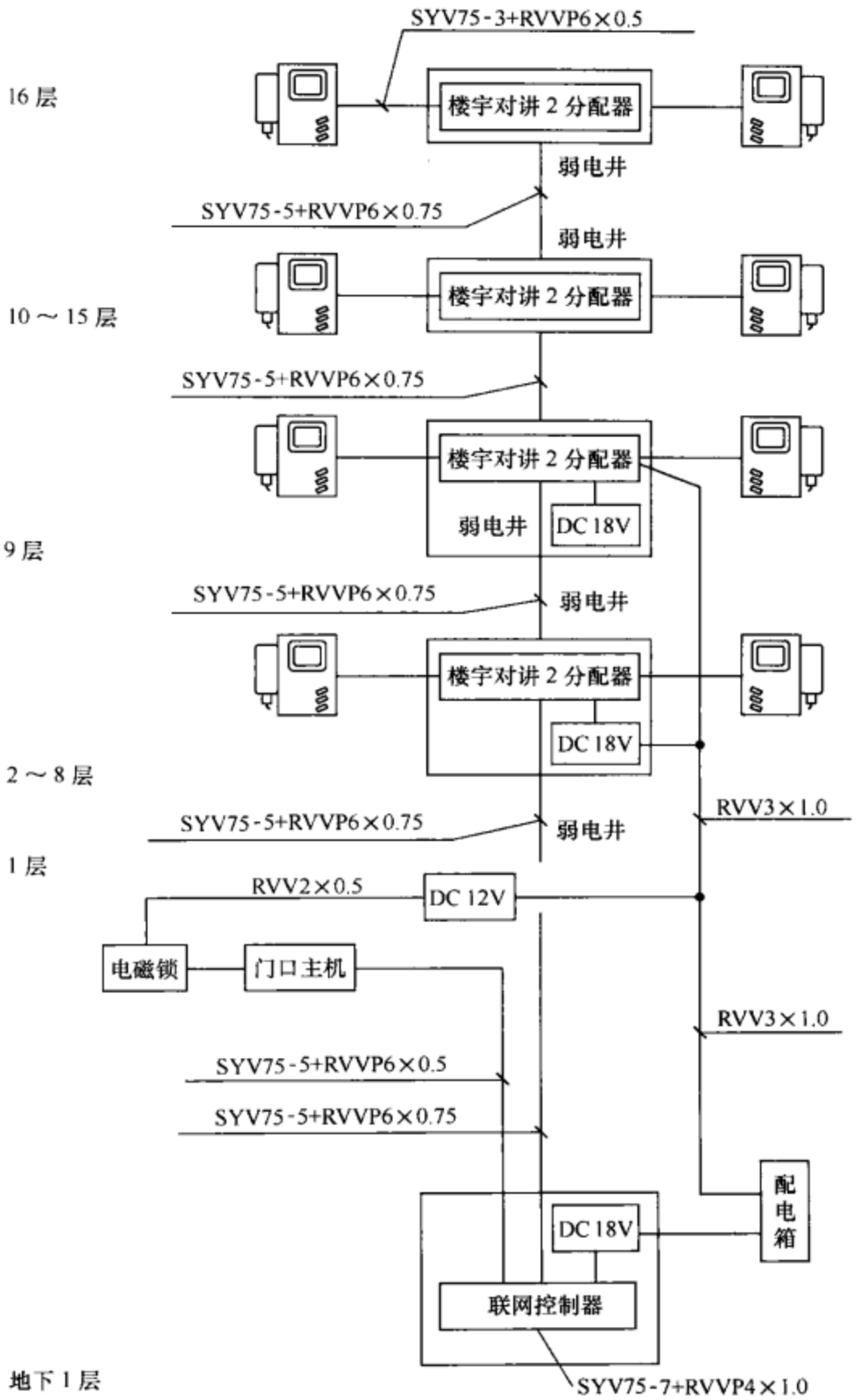


图 4-37 某高层住宅楼可视对讲系统图

从图中还可得知，视频信号线型号分别为 SYV75-5+RWP6 × 0.75 和 SYV75-5+ RWP6 × 0.5，楼梯间电源线型号分别为 RW3 × 1.0 和 RW2 × 0.5。

4.3.5 综合布线工程图
——标注区分各弱电，设备位置重点看

所谓综合布线就是在建筑物需要布线的位置预留好标准线路和标准信息插口，待建筑物

启用后，根据使用要求在配线间进行适当连线，就可以满足建筑物内用户的相关需求。

通过家庭综合布线可组建家庭音/视频网络、家庭通信网络、家庭监控网络等多种系统，以实现各种各样的应用功能。系统在可能需要使用设备的地方预留接口，这样当在变更设备位置和增加设备时，只要轻松一插就能将设备连接好。

1. 综合布线系统的结构

图 4-38 为某大楼综合布线系统的结构图，它由 6 个子系统组成。

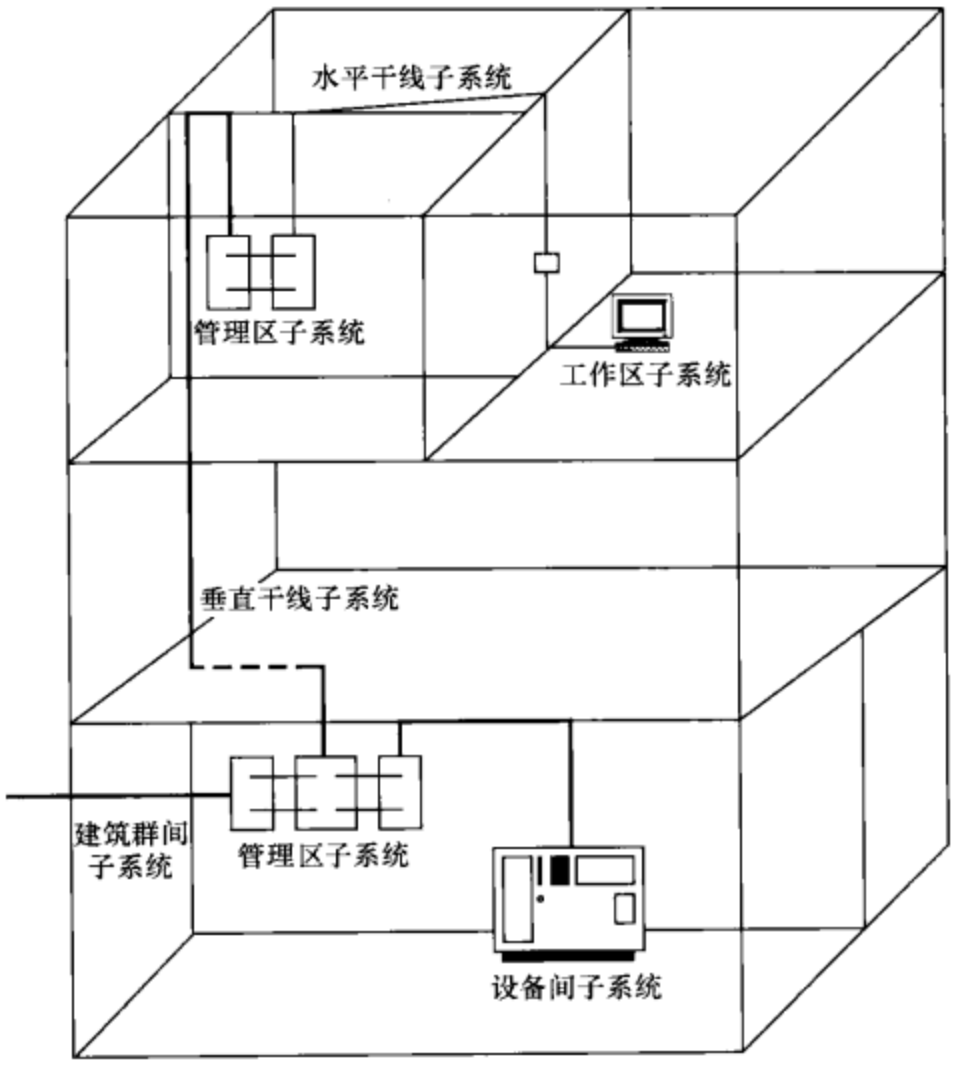


图 4-38　某大楼综合布线系统结构图

① 工作区子系统：由终端设备到信息插座的连线组成，包括信息插座、连接线、适配器等。

② 水平干线子系统：由信息插座到楼层配线架之间的布线等组成。

③ 管理区子系统：由交接间的配线架及跳线等组成。

④ 垂直干线子系统：由设备间子系统与管理区子系统的引入口之间的布线组成，是建筑物的主干布线系统。

⑤ 设备间子系统：由建筑物进线设备、各种主机配线设备及配线保护设备组成。

⑥ 建筑群间子系统：由建筑群配线架到各建筑物配线架之间的主干布线系统。



想一想　什么是综合布线？采用综合布线有什么优点？

2. 综合布线工程图中常用的图形符号

综合布线工程图中常用的图形符号见表 4-6。

表 4-6　　综合布线工程图中常用的图形符号

图形符号	说明	图形符号	说明
MDF	总配线架	nTO	信息插座（n 为信息孔数）
ODF	光纤配线架	nTO	信息插座（n 为信息孔数）
FD	楼层配线架	TP	电话出线口
FD	楼层配线架	TV	电视出线口
	楼层配线架（FD 或 FST）	PABX	程控用户交换机
	楼层配线架（FD 或 FST）	LANX	局域网交换机
BD	建筑物配线架（BD）		计算机主机
	建筑物配线架（BD）	HUB	集线器
CD	建筑群配线架（CD）		计算机
	建筑群配线架（CD）		电视机
ADO DD	家居配线装置		电话机
CP	集合点		电话机（简化形）
DP	分界点		光纤或光缆的一般表示
TO	信息插座（一般表示）	~ =	整流器
	信息插座		

3. 综合布线工程系统图

综合布线工程系统图有以下两种标注方式。第一种标注方式如图 4-39 所示。图中所示的电话线由户外公网引入，接至主配线间或用户交换机房，机房内有 4 台 110PB2-900FT 型 900

线配线架和 1 台用户交换机（PABX）。图中所示的其他信息由主机房中的计算机进行处理，主机房中有服务器、网络交换机、900 线配线架和 120 芯光纤总配线架。

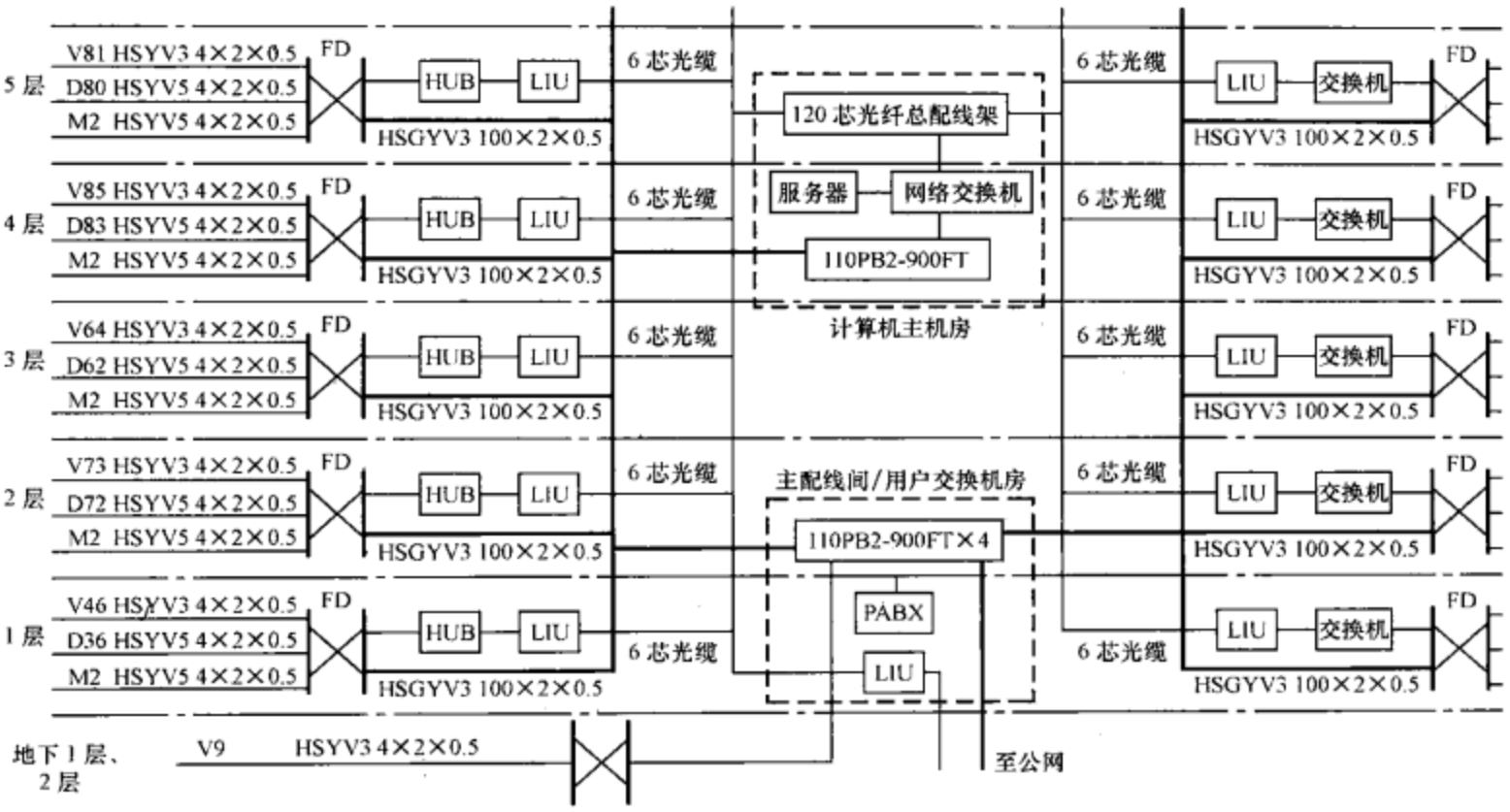


图 4-39 综合布线工程系统图（一）

每个楼层的电话与信息输出线各使用一根 100 对干线 3 类大对数电缆（HSGYV3 100 × 2 × 0.5），此外每个楼层还使用一根 6 芯光缆。每个楼层设一个楼层配线架（FD），大对数电缆要接入配线架，用户使用 3、5 类 8 芯电缆（HSYV5 4 × 2 × 0.5）。光缆先接入光纤配线架（LIU），光信号转换成电信号后再经集线器（HUB）或交换机分路接入楼层配线架（FD）。

图中左侧的“V46”表示本层有 46 个语音出线口，“D36”表示本层有 36 个数据出线口，“M2”表示本层有两个视像监控口。

第二种标注方式如图 4-40 所示。图中的信息引入点为：程控交换机引入外网电话，集线器（Switch HUB）引入计算机数据信息。电话语音信息使用 10 条 3 类 50 对非屏蔽双绞线电缆（1010050UTP × 10），1010 是电缆型号。计算机数据信息使用 5 条 5 类 4 对非屏蔽双绞线电缆（1061004UTP × 5），1061 是电缆型号。主电缆引入各楼层配线架（FDFX），每层 1 条 5 类 4 对电缆、2 条 3 类 50 对电缆。配线架型号为 110PB2-300FT，是 300 对线 110P 型配线架，3EA 表示 3 个配线架。188D3 是 300 对线配线架背板，用来安装配线架。从配线架输出到各信息插座使用 5 类 4 对非屏蔽双绞线电缆，按信息插座数量确定电缆条数，1 层有 73 个信息插座，所以有 73 条电缆。M100BH-246 是模块信息插座型号，M12A-246 是模块信息插座面板型号，面板为双插座型。

4. 综合布线工程平面图

一个典型的家用综合布线系统包括分布装置、各种线缆以及各个信息出口的标准接插件的集成，各部件采用模块化设计和分层星形拓扑结构，各个功能模块和线路相对独立，单个家电设备或线路出现故障时不会影响其他家电设备的使用。家用综合布线管理系统的分布装置主要由监控模块、计算机模块、电话模块、电视模块、影音模块及扩展接口等组成，功能

主要有接入、分配、转接和维护管理。根据用户的实际需求，可以灵活组合、使用，从而支持电话/传真、上网、有线电视、家庭影院、音乐欣赏、视频点播、消防报警、安全防盗、空调自控、照明控制、煤气泄漏报警和水/电/煤气三表自动抄送（后两项功能需要社区能提供相应的服务）等各种应用。

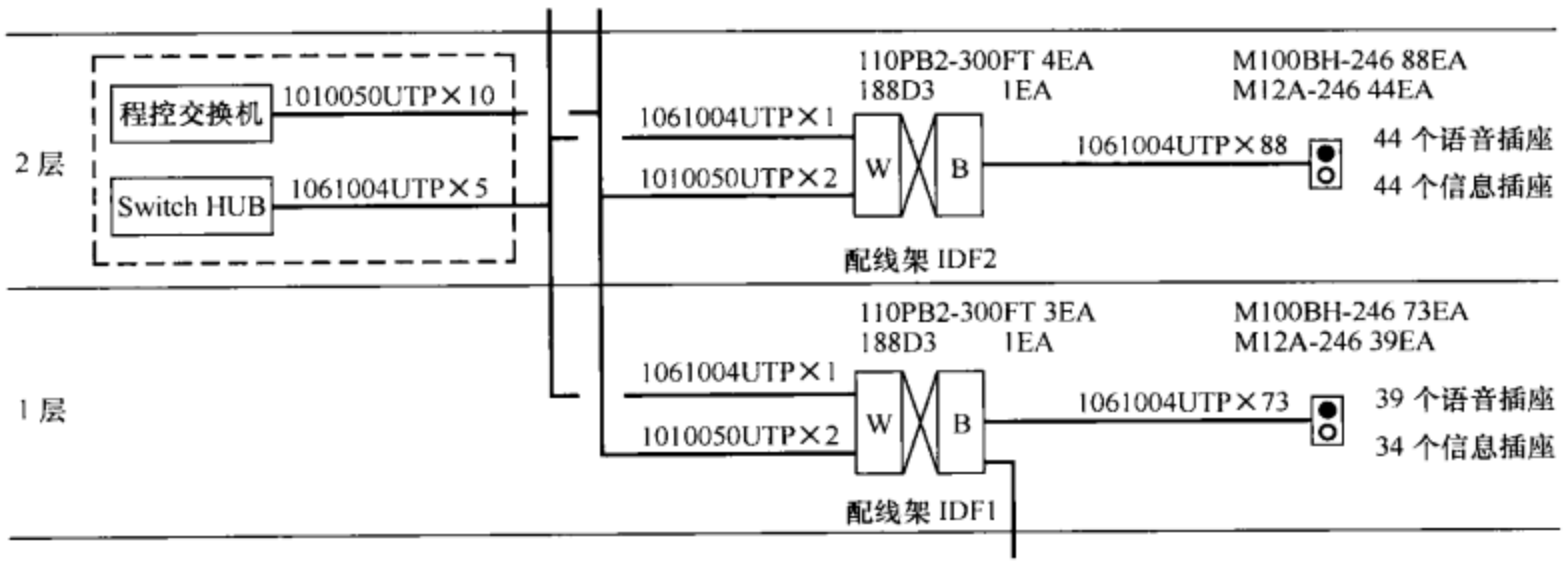


图 4-40 综合布线工程系统图（二）

家用综合布线的方案很多，可根据自己的实际情况进行选择。图 4-41 所示的方案比较适合目前大多数家庭。

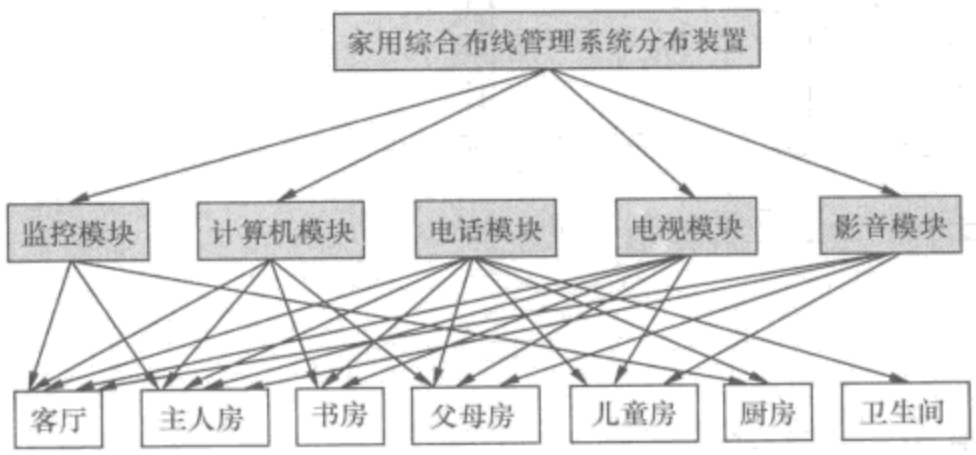


图 4-41 家用综合布线方案示例

客厅、主人房、书房、父母房和儿童房均安装有线电视接口，可以单独观看有线电视节目。凡有 AV 出口的地方可以同时共享一台影碟机（录像机/VCD/DVD）。这样，可减少影碟机的购置费用，从而降低影碟机更新换代的成本；可减少影碟机的放置空间，也不用频繁移动影碟机；还有一个优点是家长还可控制节目源，防止未成年儿童在房内看不健康内容，其播发内容受父母控制；另外，可通过该音视频系统向所有房间播放卫星电视节目。

可通过主卧、书房、父母房和儿童房的遥控接收装置控制客厅内的音响、影碟机、电动窗帘等可遥控设备。如可在主卧室内用遥控器控制客厅内影碟机的播放菜单。

图 4-42 为某住宅楼综合布线工程平面图。在图 4-42 中，信息线由楼道内配电箱引入室内，使用 4 根 5 类 4 对非屏蔽双绞线电缆（UTP）和 2 根同轴电缆，穿ϕ30mm PVC 管在墙体内暗敷。每户室内有一只家居配线箱，配线箱内有双绞线电缆分接端子和电视分配器，本户为 3 分配器。户内每个房间都有电话插座（TP），起居室和书房内有数据信息插座（TO），每个插座用 1 根 5 类 UTP 电缆与家居配线箱连接。户内各居室都有电视插座（TV），用 3 根

同轴电缆与家居配线箱内的分配器连接，墙两侧安装的电视插座用二分支器分配电视信号。户内电缆穿ϕ20mm PVC 管在墙体内暗敷。

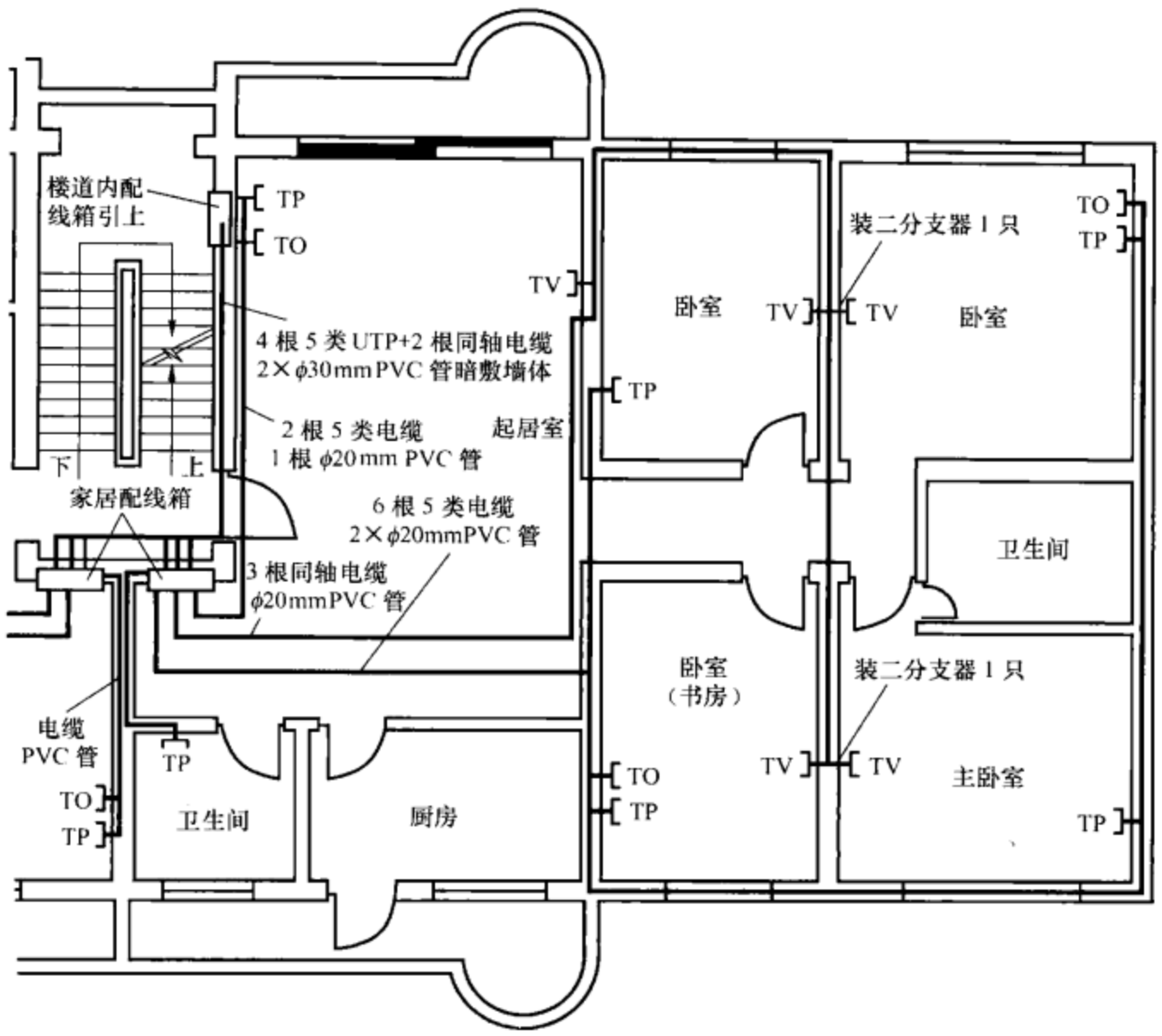


图 4-42　某住宅楼综合布线工程平面图

大家一起玩个编故事游戏

这个游戏许多人在读书时都玩过，就是每人只说一句话，串起来是一个故事。例如，第一个人说班里同学们正在上课，第二个人说突然停电了，第三个人说电工把电路修好了，第四个人说老师发现人全没了……依此类推，直到第 50 个人，故事结束。

我先开始说："一个台风来临前的晚上。"

……





第5章

电力拖动系统电气图

——电机运行随人愿

以电动机作为原动机来拖动机械设备运行（转动或移动）的拖动方式称为电力拖动。一个电力拖动系统一般由3部分组成：电动机及其电源、控制线路和生产机械及传动机构。按电动机供电电流制式的不同，电力拖动系统又可分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统。不论是直流还是交流电力拖动系统，当电动机接通电源后便可产生电磁转矩，使电动机旋转起来，同时带动转轴拖动的机械负载。采用电力拖动不但可以把人们从繁重的体力劳动中解放出来，还可以把人们从繁杂的信息处理事务中解脱出来，并能改善机械设备的控制性能，提高产品质量和劳动生产率。电气控制电路的功能和作用不同，电路的形式也各不相同。由各种电气元件和线路构成的，对电动机和生产机械进行控制，表示其工作原理、电气接线、安装方法等的图样叫电气控制图。主要表示其工作原理的称为控制电路图，主要表示电气接线关系的叫电气接线图。识读电力拖动系统电气原理图是进行电气安装、运行和维修所必须具备的技能。电动机控制系统电气图常见的类型有控制电路图、安装接线图、展开接线图，平面布置图和剖面图，其中以控制电路图、安装接线图和平面布置图最为常用。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

① 理解电动机控制电路的基本环节。
② 了解电力拖动控制电路图的特点。
③ 掌握识读主电路图和控制电路图的基本步骤和方法。
④ 掌握识读电气控制接线图的方法。
⑤ 了解查线识图法的基本步骤。
⑥ 理解小型起重设备的电路特点。

能力目标

① 正确识读电动机常见控制电路图和接线图。
② 正确识读常用机床控制电路图。
③ 正确识读常用起重设备电气图。
④ 识读比较简单的给排水电气控制电路图。

5.1 电动机基本控制电路图——基本环节要弄清

电机控制环节多，基本环节要弄清。
诸多器件及功用，工作原理应区分。
典型线路应熟记，灵活应用才顺心。
电气识图抓要领，图样说明先搞清。
电气控制分三部，电源电路主辅分。
主辅电路有区别，交流直流要分清。
读图程序应遵循，先主后辅思路清。
细细解读主电路，设备电源先查清。
组成控制与保护，来龙去脉细区分。
辅助电路较复杂，控制方式先看清。
控制电路大回路，各条回路须理清。
元件之间有联系，功能作用应弄清。
控制关系讲条件，动作顺序看得清。
接线图样从原理，分析接线要用心。
综合分析与归纳，一个图样识得清。

目前，电动机已广泛应用于工农业生产和其他领域，其控制电路多种多样。无论多么复杂的电动机控制电路都是建立在基本控制电路基础之上的。初学者首先应掌握继电器—接触器式电动机基本控制电路原理图和接线图的识读方法，经过一段时间的反复练习后，就可得心应手地看一些常用机械设备的电气控制电路。

5.1.1 电动机控制电路的基本环节和常用元件
——十个环节及器件，熟悉原理把图看

1. 电动机控制电路的基本环节

在一个控制电路中，能实现某项功能的若干电气元件的组合称为一个控制环节，整个控制电路就是由这些控制环节有机组合而成的。控制电路一般包括电源、启动、保护、运行、停止、制动、连锁、信号、手动和点动等基本环节，见表 5-1。

表 5-1　　电动机控制电路的基本环节

基本环节	说　明
电源环节	包括主电路供电电源和辅助电路工作电源，由电源开关、电源变压器、整流装置、稳压装置、控制变压器、照明变压器等组成
启动环节	包括直接启动和减压启动，由接触器和各种开关组成

续表

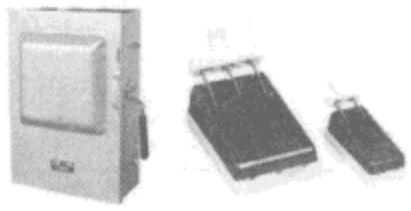
基本环节	说明
保护环节	由对设备和线路进行保护的装置组成，如短路保护由熔断器完成，过载保护由热继电器完成，失压、欠压保护由失压线圈（接触器）完成。有时还使用各种保护继电器来完成各种专门的保护功能
运行环节	运行环节是电路的最基本环节，其作用是使电路在需要的状态下运行，包括电动机的正反转、调速等
停止环节	由控制按钮、开关等组成，其作用是切断控制电路供电电源，使设备由运转变为停止
制动环节	一般由制动电磁铁、耗能电阻等组成，其作用是使电动机在切断电源以后迅速停止运转
连锁环节	实际上也是一种保护环节。由工艺过程所决定的设备工作程序不能同时或颠倒执行，可通过连锁环节限制设备运行的先后顺序。连锁环节一般通过继电器触点和辅助开关的逻辑组合来完成
手动环节	电气控制电路一般都能实现自动控制，但为了扩大电路工作的应用范围，适应设备安装完毕及事故处理后试车的需要，在控制电路中往往还设有手动工作环节。手动工作环节一般由转换开关和组合开关等组成
点动环节	是控制电动机瞬时启动或停止的环节，通过控制按钮完成
信号环节	是显示设备和线路工作状态是否正常的环节，一般由蜂鸣器、信号灯、音响设备等组成

上述控制环节并不是每一种控制线路都应完全具备，复杂控制电路的基本环节多一些。这 10 个环节中最基本的是电源、保护、启动、运行、连锁和停止。

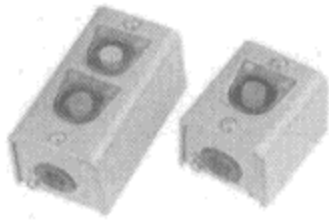
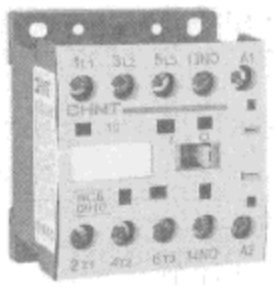
2. 电动机控制电路的常用元件

在电动机控制电路中，为满足不同控制功能的需要，使用的电气元件很多。表 5-2 列出了比较常用的控制元件的功能或作用，以帮助读者识图。关于这些元件的详细介绍，请读者阅读本丛书中的《轻轻松松学电工——器件篇》。

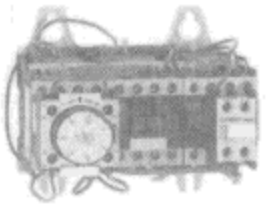
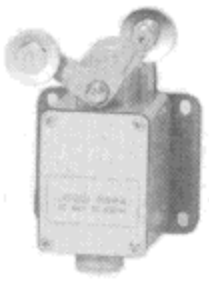
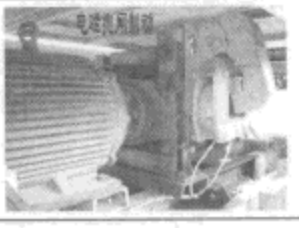
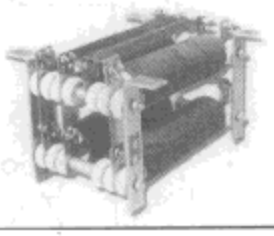
表 5-2 电动机控制电路的常用元件

元件名称	功能或作用	实物图
负荷开关	负荷开关是以手动方式直接启动所用设备的控制电器，分为开启式负荷开关（胶盖刀闸开关）和封闭式负荷开关（铁壳开关）	
组合开关	组合开关又称转换开关，可用作电源引入开关或作为 5.5kW 以下电动机的直接启动、停止、正反转和变速等的控制开关。在机床设备上用它来作为电源总开关	
倒顺开关	倒顺开关又称万能转换开关，是一种专用的组合开关。这种开关经常用于小型三相异步电动机的正反转控制	

续表

元件名称	功能或作用	实物图
按钮	按钮是一种短时接通或断开小电流电路的电器，它不直接控制主电路的通断，而是在控制电路中发出“指令”控制接触器，再由接触器控制主电路，所以又叫做主令电器	
接触器	接触器是用来接通或断开主电路的控制电器，是自动控制电路的核心器件，控制电路各个环节的工作大多数是通过接触器的通断实现的。其优点是动作迅速，操作方便，便于远程控制；其不足之处是噪声大，寿命较短。由于它只能接通和分断电流，不具备短路保护功能，故必须与熔断器、热继电器等保护元件配合使用。交流接触器的主触点为 3 对动合触点，用于控制三相主电路；辅助触点为 2 对动合触点和两对动断触点，用于完成必要的控制环节。小型接触器辅助触点的容量为 5A	
热继电器	热继电器是对电动机和其他用电设备进行过载保护的控制元件。与熔断器相比，它的动作更快，保护功能更为可靠	
中间继电器	中间继电器属于电磁继电器的一种，它通常用于控制各种电磁线圈，使有关信号放大，也可将信号同时传送给几个元件，使它们互相配合起自动控制作用	
时间继电器	时间继电器是利用电磁原理或机械动作原理实现触点延时闭合或延时断开的自动控制电器，常用的有空气阻尼式、电磁式、电动式及晶体管式等几种	
速度继电器	速度继电器与电动机轴装在一起，当转速降低到一定程度时，继电器内的触点就会断开，切断电动机电源，电动机停止转动	
磁力启动器	磁力启动器是一种全压启动控制电器，又叫电磁开关。它由交流接触器、热继电器和按钮组成，封装在铁质壳体内。装在壳上的按钮控制交流接触器线圈回路的通断，并通过交流接触器的通断控制电动机的启动和停止。不可逆磁力启动器用于控制电动机的单向运转，可逆磁力启动器用于控制电动机的正反转	

续表

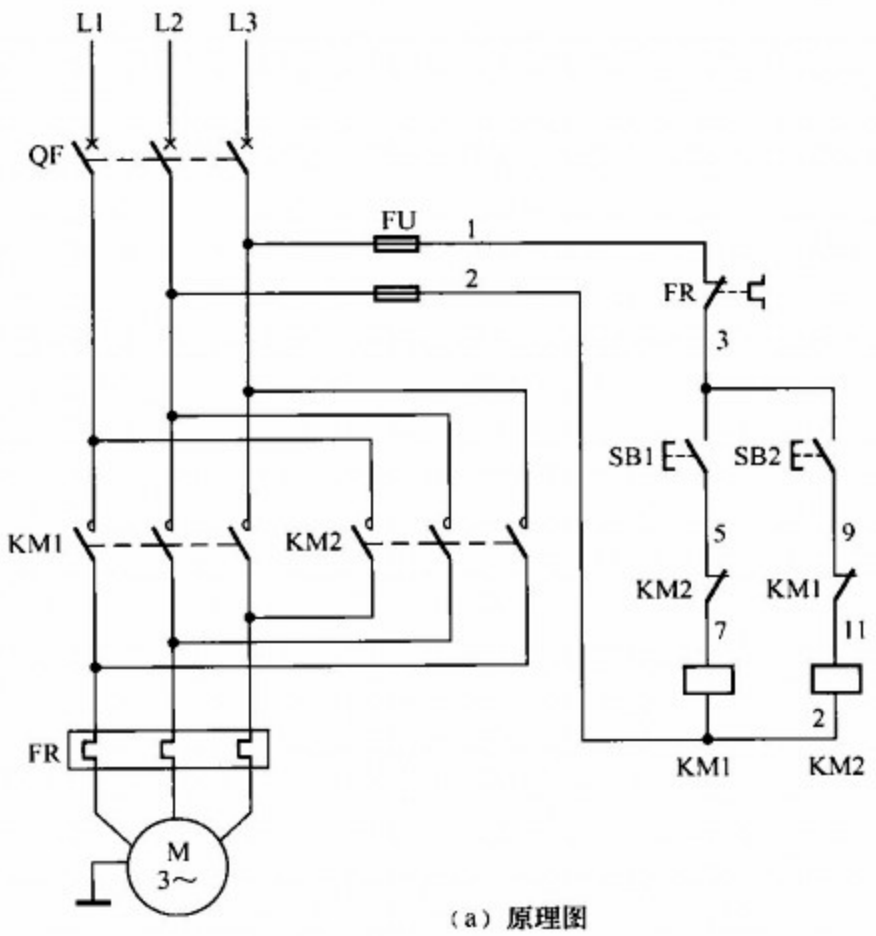
元件名称	功能或作用	实物图
星一三角启动器	星一三角启动器是电动机降压启动设备之一，适用于定子绕组接成三角形的鼠笼式电动机的降压启动。它有手动式和自动式两种。手动式星一三角启动器未带保护装置，必须与其他保护电器配合使用。自动式星一三角启动器有过载和失压保护功能	
自耦补偿启动器	自耦补偿启动器又叫补偿器，是鼠笼式电动机的另一种常用降压启动设备，主要用于较大容量的鼠笼式电动机的启动。它的控制方式也分为手动式和自动式两种	
行程开关	行程开关又叫限位开关或位置开关，属于主令电器的另一种类型，其作用与按钮相同，都是向继电器、接触器发出电信号指令，实现对生产机械的控制。不同的按钮靠手动操作，行程开关则靠生产机械的某些运动部件与它的传动部位发生碰撞，令其内部触点动作，分断或切换电路，从而限制生产机械的行程、位置或改变其运动状态，控制生产机械停车、反转或变速等	
控制器	控制器主要用于电力传动的控制设备中，通过变换主回路、励磁回路的接法或者变换电路中电阻的接法，控制电动机的启动、换向、制动及调整。它在起重、运输、冶金、造纸、机械制造等部门中的应用是相当普遍的。控制器可分为平面控制器（KP 型）、鼓形控制器（KG 型）和凸轮控制器（KT 型）3 种类型	
电磁抱闸	电磁抱闸是电动机制动装置。电动机启动时，电磁抱闸上的电磁铁通电，电磁铁的衔铁克服弹簧的作用力，拉开抱闸闸瓦，电动机开始运转。电磁铁不通电时，在弹簧作用下，闸瓦紧紧抱住电动机轴上的闸轮，电动机停止运转	
启动电阻器	启动电阻器串接在绕线式电动机的转子回路中，在启动时用来减小启动电流。启动电阻器有两种，即铸铁电阻器和频敏变阻器	

5.1.2 电气控制电路图
——电气控制分三部，电源电路及主辅

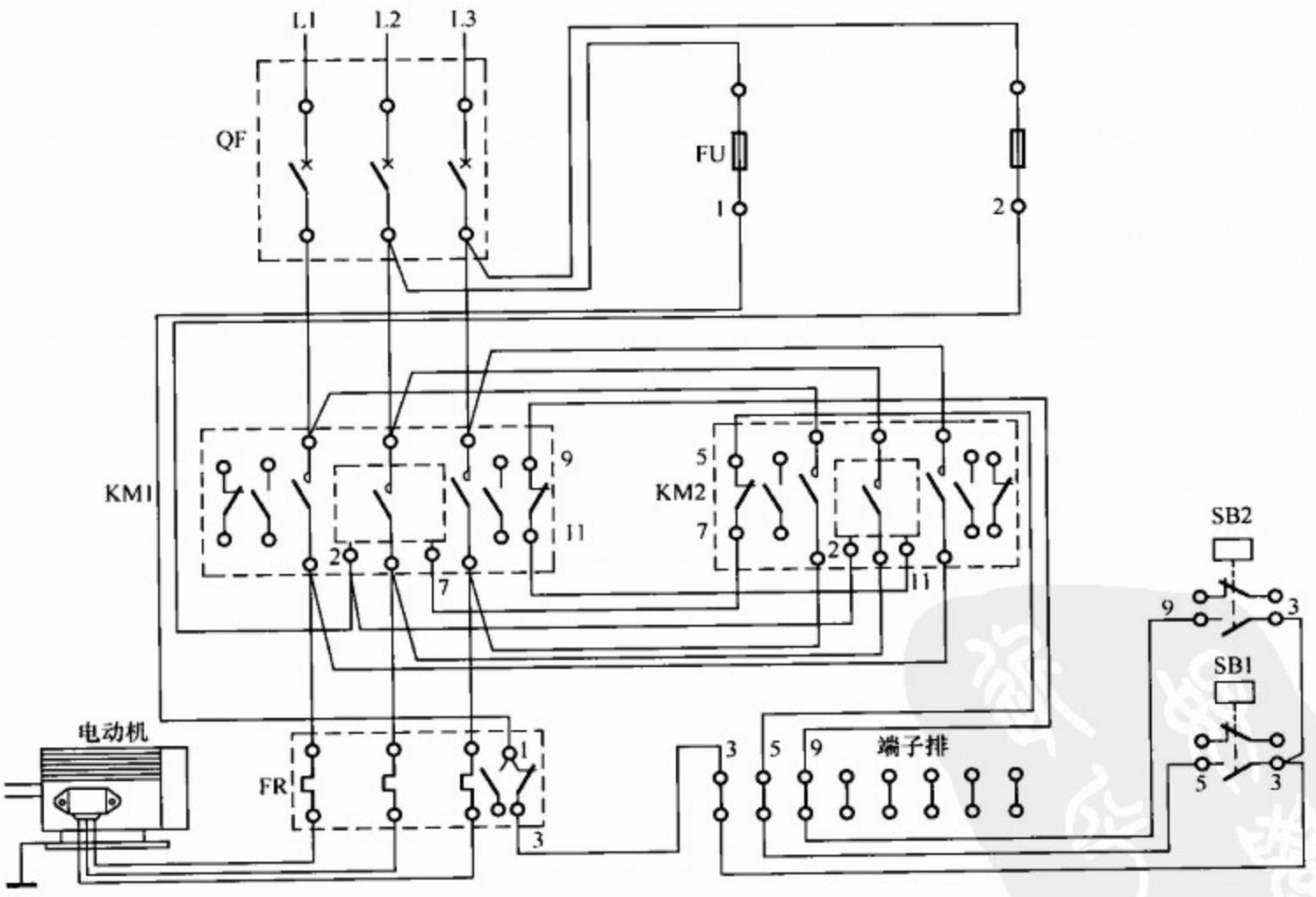
用图形符号表示控制装置的各种电气元件，并按其工作顺序排列，详细表示控制装置、电路的基本构成和连接关系的图称为电气控制电路图，简称电路图。电路图是电气线路安装、调试和维修的依据，它能充分表达电气元件和电气设备的用途、作用及工作原理，但它不能表示电气设备和电气元件的实际位置。

正反转切换控制电路在电动机械设备中得到了广泛应用，如建筑工地机械、农业自动化机电设备、工厂的电动机械等。下面以图 5-1（a）所示的三相异步电动机正反转控制电路为

例，介绍电动机电气控制电路图的特点和识图步骤及方法。



（a）原理图



（b）安装接线图

图 5-1　三相异步电动机正反转控制电路图

1. 电气控制电路图的特点

① 电源电路、主电路、控制电路（也称为辅助电路）和信号电路分开绘制。图 5-1（a）所示电路由电源电路、主电路和控制电路 3 部分组成，没有信号电路。

主电路中流过的是供电动机工作的大电流，实际接线时用粗导线，电路图中用粗实线表示。控制电路中流过的是供接触器线圈工作的小电流，实际接线时用细导线，电路图中用中实线表示。

主电路和控制电路是相辅相成的，对于不太复杂的电路，主电路和控制电路通常绘制在一张图纸上，控制电路画在电路的右端。但有些控制电路很复杂，需要把主电路和各控制电路分别画在几张图纸上。

② 电路图通常水平绘制或垂直绘制。水平绘制时，电源线垂直画，其他线路水平画。图 5-1 采用的是水平绘制法。

③ 对于复杂的电气元件和设备，通常采用集中表示法、半集中表示法和分开表示法。同一电气元件的各个部分一般不画在一起，而是按其在电路中所起的作用分别画在不同电路中。同一电器上的各个部件都标注相同的文字符号。例如图 5-1 中的接触器 KM1，线圈和辅助触点画在控制电路中，主触点画在主电路中，但文字符号统一用 KM1 标注。相同元件较多时，通常在文字符号后面加上数字，如 KM1、KM2 等。

④ 图中所示各种电气元件（如接触器、继电器、开关、按钮等）的触点均为吸引线圈未通电、手柄置于零位、没有受到外力作用或工作机械处于原始位置时的状态，即常态。例如，在图 5-1 中开关 QF 是断开的，接触器 KM1、KM2 的线圈未通电，按钮 SB1、SB2 未按下，热继电器 FR 的动断触点是闭合的。也就是说，图中表示的是不带电的停止状态。

⑤ 一个电路为了达到控制电动机处于不同的运行状态，必须具有多种相应的工作状态。为了更好地理解图纸，有时需要画出其中一种工作状态的分析图。阅读控制电气图，尤其是较复杂的图时，画出状态分析图显得更为重要。

⑥ 电动机和电器的各个接线端子都有回路标号。为了安装接线及维修的方便，电路图中元件的接线端子通常都应标号，图中的连接线通常也应编号。控制电路的编号方法以接触器线圈、电磁铁线圈、继电器线圈、信号灯、电阻等元件作为分界点，两侧分别按奇数和偶数序列编号。同一电位的各条分支线只编一个号。

⑦ 有连接关系的交叉点用小黑点“.”表示，无连接关系的交叉点不画小黑点。

⑧ 凡是导线走向相同的一般合并画成单线。控制板内和板外各元件之间的电气连接是通过接线端子来进行的。

⑨ 电路图是绘制安装接线图的依据。依据图 5-1（a）可画出其安装接线图，如图 5-1（b）所示。

2. 读图的基本步骤和方法

读图的基本步骤为：先看主电路，后看控制电路；根据控制电路各分回路中控制元件的动作情况，研究控制电路如何对主电路进行控制。

（1）看主电路的步骤和方法

① 看图时首先要看清楚主电路中有几个用电器，了解它们的类别、用途、接线方式以及一些不同的要求等。图 5-1（a）所示的主电路由接触器 KM1 和 KM2 的主触点、热继电器 FR 的热元

件和电动机 M 等组成。

② 分析主电路中的用电器与控制元件的对应关系。看清楚主电路中的用电器是采用什么控制元件进行控制的，用了几个控制元件。在实际电路中用电器的控制方式有多种，有的用电器只用开关控制，有的用电器用启动器控制，有的用电器用接触器或其他继电器控制，有的用电器用程序控制器控制，而有的用电器直接用功率放大集成电路控制。图 5-1 中的主电路受电源主开关 QF 控制，同时受 KM1、KM2 的主触点和热继电器 FR 的热元件控制。

③ 看主电路中除用电器以外的其他元件，了解这些元件所起的作用。图 5-1 中的主电路中除电动机 M 以外，还有熔断器 FU、接触器 KM1 和 KM2 的主触点和热继电器 FR 的热元件。KM1、KM2 的主触点用于控制电动机的转向；热继电器 FR 的热元件用于电动机过载电流的检测，同时兼作异步电动机缺相保护；熔断器 FU 是电动机线圈的短路保护元件。

④ 看电源。了解电源的种类和电压等级，是直流电源还是交流电源。直流电源的等级有 660V、220V、110V、24V、12V 等；交流电源的等级有 380V、220V、110V、36V、24V 等，频率为 50Hz。图 5-1（a）所示主电路使用的 380V 交流电源。

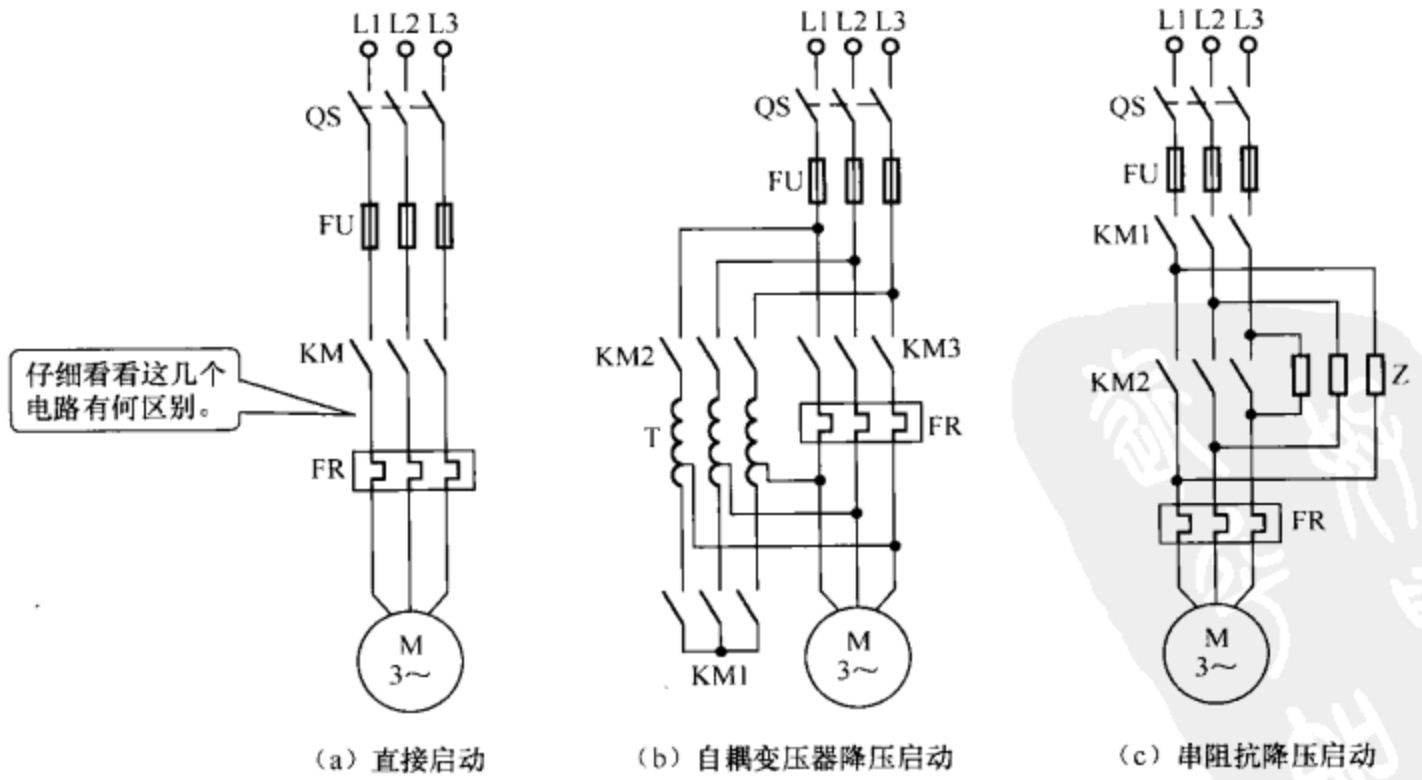


想一想　在电动机控制接线中，主电路中装有熔断器，为什么还要加装热继电器？它们各起何作用，能否互相代替？而在电热及照明线路中，为什么只装熔断器而不装热继电器？

看图实践

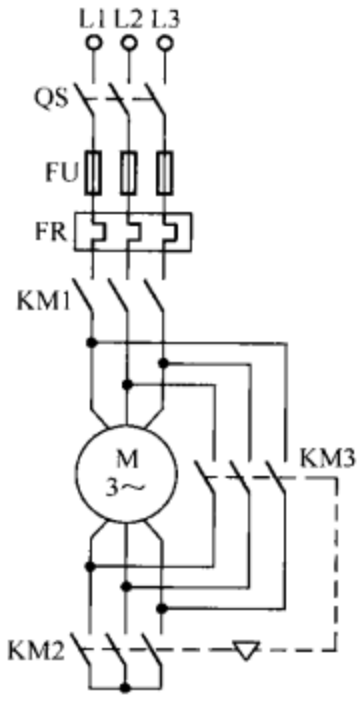
例 5-1　识读鼠笼式异步电动机控制电路的主电路。

图 5-2（a）所示为直接启动（又称为全电压直接启动）的主电路，图 5-2（b）~（d）所示分别是采用自耦变压器降压启动、串阻抗降压启动和 Y-△降压启动的主电路。图 5-2（e）所示是可正转也可反转的直接启动主电路。此外，还有延边三角形降压启动主电路，反接制动、能耗制动主电路，多速电动机（变极调速）主电路和绕线式异步电动机主电路等。

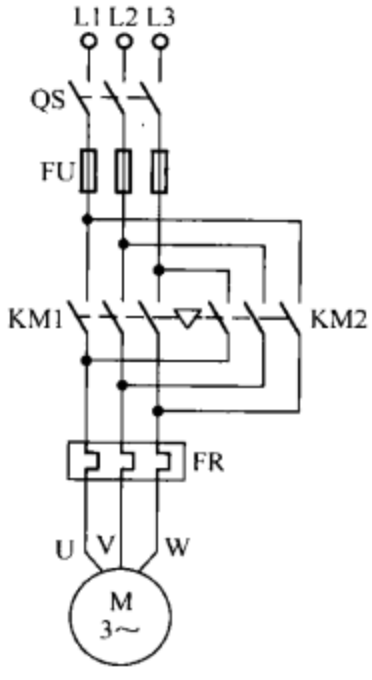


（a）直接启动　（b）自耦变压器降压启动　（c）串阻抗降压启动

图 5-2　鼠笼式异步电动机控制电路的主电路



（d）Y-△降压启动



（e）正反转控制

图 5-2　鼠笼式异步电动机控制电路的主电路（续）

图 5-2（a）所示的异步电动机直接启动主电路是最简单也是最常用的主电路形式之一，图中的主要元件有三相鼠笼异步电动机 M、热继电器 FR 的热元件、主接触器 KM、熔断器 FU 及电源开关 QS。电源由 L1、12 和 L3 引入，将电源开关 QS 合上，三相交流电就到达接触器 KM 主触点的上方。当控制线路使接触器的主触点闭合时，三相交流电经过热继电器 FR 的热元件后到达三相交流异步电动机，使电动机通电启动运行。若控制电路使接触器的主触点断开，则异步电动机断电，停止运转。

在图 5-2（a）中，主要的保护元件有熔断器 FU、热继电器 FR 的发热元件及接触器 KM 的主触点。熔断器 FU 主要起短路保护作用。当主电路（包括异步电动机）发生短路时，主电路将出现很大的短路电流，使熔断器 FU 的熔丝瞬间熔断。异步电动机失去三相交流电源将很快减速并停止运转。热继电器 FR 的发热元件起过载检测作用。若异步电动机过载（或缺相运行），主电路的电流将超过额定电流值。过载电流将引起电动机发热量增加，电动机的温升加大，达到一定数值后若不及时切断电动机的电源，电动机的绝缘性能将下降，很快被烧毁。采用热继电器保护时，过载电流也通过其发热元件，达到一定温度后，热继电器动作，其动断辅助触点将断开接触器的线圈，使接触器 KM 复位。KM 的主触点断开，切断电动机的电源，达到过载保护的目的。

所谓缺相是指异步电动机三相电源由于某种原因少了一相（如熔断器 FU 烧断一个，接触器 KM 的主触点有一对未闭合或者三相线路出现一相断线故障等），此时根据电动机工作原理，带半载或半载以上负载运行的异步电动机中通过的电流将超过额定电流。热继电器的热元件将检测到这一电流，并最终动作保护。如果热元件只采用一个，万一缺相发生在装有热元件的相，则热元件不能检测到另外两相线路的大电流，不能实现保护。因此，应该采用至少两个热元件来检测，现在一般串接 3 个热元件。

此外，在图 5-2（a）中，接触器 KM 还具有失压和欠压保护功能。

所谓降压启动是指降低电动机启动时的电压，从而减小电动机的启动电流，以避免其对电网电压造成较大的影响。当电动机启动后转速较高时，再使加在电动机上的电压达到额定电压（即进行二次启动）。降压启动的方法常用的有自耦变压器降压启动、串阻抗降压启动、Y-△降压启动，它们分别对应图 5-2（b）～（d）所示的电路。应该指出的是，电动机采用降压启动，

其启动转矩也相应减小。为了满足启动转矩的要求，应该合理选择电动机启动时降压的幅度。

与图 5-2（a）比较，图 5-2（b）所示的主电路多了自耦变压器 T 和两个接触器，其他元器件的作用与图 5-2（a）一样。启动时在控制电路的控制下，首先使接触器 KM1 动作，将自耦变压器 T 接成 Y 形，然后使接触器 KM2 动作，异步电动机经过自耦变压器 T 降压后启动。经过一定的延时时间，电动机的转速升高到一定的数值后，控制电路使 KM1 和 KM2 断电复位（动合触点断开），同时使 KM3 动作闭合，异步电动机端部接额定电压，进行二次启动，直到转速上升到稳定转速为止。

与图 5-2（a）比较，图 5-2（c）所示的电路仅多了三相阻抗 Z 和一个接触器。启动时，控制电路首先使接触器 KM1 动作，三相交流电源经过阻抗 Z 分压后加到电动机的端部，电动机串阻抗 Z 降压启动。当转速升高到一定的数值后，控制电路使 KM2 动作，其主触点闭合，短接三相阻抗 Z，异步电动机端部接额定电压，进行二次启动，直到转速上升一定值并稳定为止。

图 5-2（d）所示的电路为 Y-△降压启动电路。KM1 和 KM2 闭合时，异步电动机为 Y 连接，电动机一相绕组承受的电压为额定电压（线电压）的 $1/\sqrt{3}$；当 KM2 断开，KM1 和 KM3 闭合时，异步电动机为△连接，电动机一相绕组承受的电压为额定电压（线电压）。启动时，控制电路首先使接触器 KM1 和 KM2 动作，电动机为 Y 连接，进行降压启动。经过一定的延时，电动机的转速升高到一定的数值后，控制电路使 KM2 断开，同时使 KM3 闭合，电动机为△连接，异步电动机接额定电压进行二次启动，直到转速上升到稳定转速为止。注意，KM2 和 KM3 之间有虚线连接，虚线上还有一个倒三角符号“▽”，表示 KM2 和 KM3 之间存在“互锁关系”，即 KM2 和 KM3 不能同时闭合，否则三相电源将出现短路。

图 5-2（e）所示的主电路是实现异步电动机正转和反转的主电路。当控制电路使 KM1 动作后，电动机的 3 条进线 U、V 和 W 分别与电源的 3 条相线 L1、L12 和 L3 连接，电动机启动运行，此时电动机正转。当 KM1 断开时，控制电路使 KM2 动作后，则 U、V、W 分别与 L3、L2 和 L1 连接，电动机将反向启动并运转。值得注意的是，接触器 KM1 和 KM2 之间也有虚线连接和“▽”符号，也表示互锁关系。若 KM1 和 KM2 动作，其主触点同时闭合，电源 L1 和 L3 将经过主触点 KM1 和 KM2 的连接形成短路。

总之，识读电力拖动电气图的主电路图时，主要应该读懂三点，即组成、控制和保护原理。对于其他各种形式的主电路图，若能抓住这三点，也就基本掌握了主电路图要求掌握的内容了。

（2）看控制电路的步骤和方法

阅读控制电路时，一般先根据主电路接触器主触点的文字符号，到控制电路中去找与之对应的吸引线圈，进一步弄清楚电动机的控制方式。这样可将整个电路图划分为若干部分，每一部分控制一台电动机。另外控制电路一般是依照生产工艺要求，按动作的先后顺序，自上而下、从左到右并联排列。因此，读图时也应当自上而下、从左到右，一个环节一个环节地进行分析。

① 看控制电路的电源。分清控制电路电源的种类和电压等级。控制电路的电源也有直流和交流两类。控制电路所用交流电源电压一般为 380V 或 220V，频率为 50Hz。控制电路的电源若引自三相电源的两根相线，电压为 380V；若引自三相电源的一根相线和一根中性线，则电压为 220V。控制电路常用直流电源的等级有 110V、24V 和 12V 三种。图 5-1 所示控制电路的电源由 L1、L2 引入，为交流 380V。

② 弄清控制电路中每个控制元件的作用以及各控制元件对主电路用电器的控制关系，是

看懂电路图的关键。控制电路是一个大回路，而在大回路中经常包含着若干个小回路，在每个小回路中有一个或多个控制元件。一般情况下，主电路中的用电器越多，则控制电路的小回路和控制元件也就越多。

图 5-1 所示的控制电路由按钮 SB1、SB2，接触器 KM1、KM2 的工作线圈、辅助触点，热继电器 FR 的动断触点等构成，上述元件的作用请读者自己分析。为避免两个接触器 KM1 和 KM2 同时得电动作，在正反转控制电路中分别串接了对方接触器的一对动断辅助触点。这样，当一个接触器得电动作时，通过其动断辅助触点断开对方的接触器线圈，使另一个接触器不能得电动作，接触器间这种相互制约的作用称为接触器连锁（或互锁）。实现连锁作用的动断辅助触点称为连锁触点（或互锁触点）。

按下 SB1，KM1 的线圈得电，KM1 的主触点闭合，同时 KM1 的自锁触点闭合，KM1 的连锁触点断开，对 KM2 连锁，电动机 M 启动连续正转。

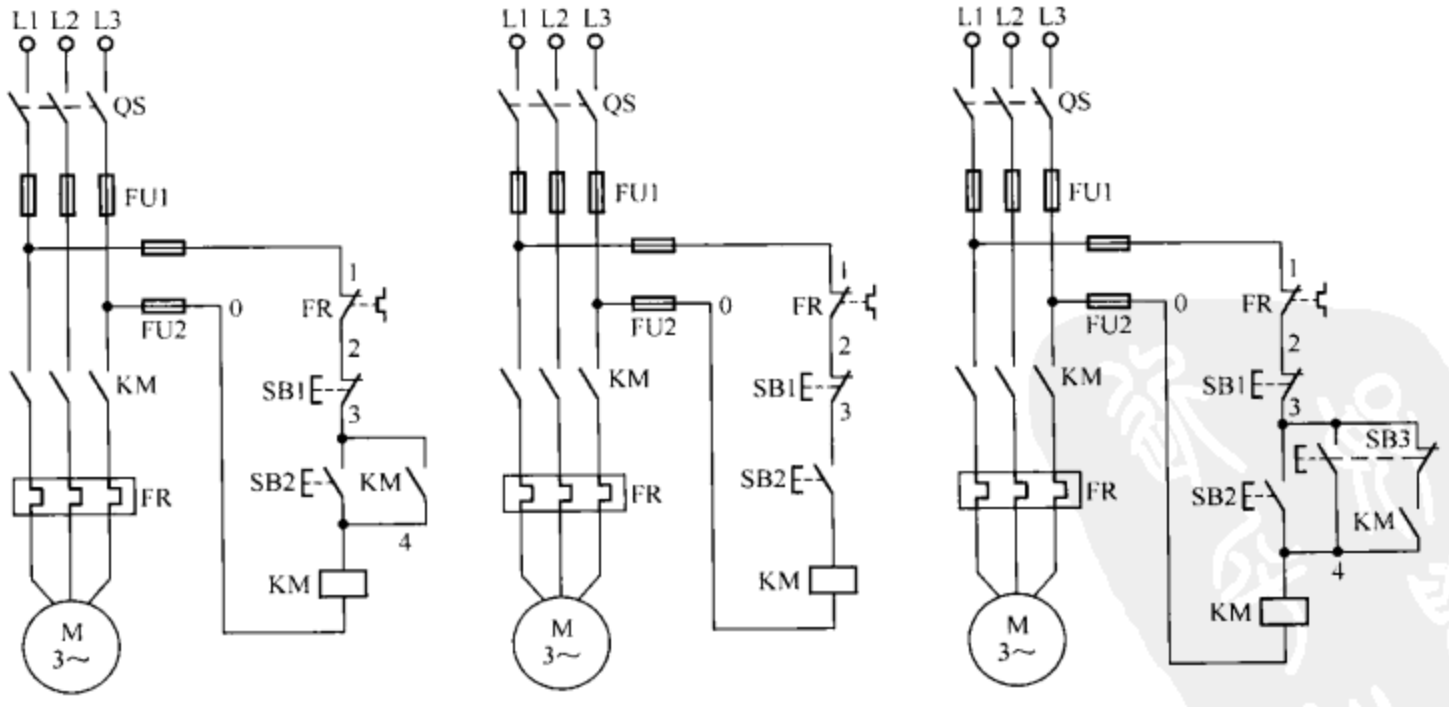
再按下 SB2，KM2 的线圈得电，KM2 的主触点闭合，同时 KM2 的自锁触点闭合，KM2 的连锁触点断开，对 KM1 连锁，电动机 M 启动连续反转。

3. 识读异步电动机控制电路图

异步电动机主电路中接触器的主触点是由控制电路控制的，也就是说控制电路的主要任务之一是控制接触器线圈的通电或断电。主电路不同，控制电路的结构和复杂程度也会相差很大；即使主电路完全相同，由于使用场合、控制要求等不同，控制电路也将有很大的差异。因此，异步电动机的控制电路很难用简单的几种形式概括完。下面以几个常见的典型电路为例分析控制电路的基本控制原理。

（1）自锁控制和点动控制

自锁控制也称为连续控制，如图 5-3（a）所示为自锁功能电路，图的左边就是图 5-2（a）所示的异步电动机直接启动主电路，图的右边是带自锁功能的控制电路。自锁控制电路的组成元件有熔断器 FU2、热继电器 FR 的动断触点、停止按钮 SB1、启动按钮 SB2、接触器 KM 的线圈和动合辅助触点。



（a）自锁控制　　（b）点动控制　　（c）点动和自锁控制

图 5-3　自锁控制与点动控制

如前面所述，分析控制电路的工作原理（或动作过程）之前，应该先分析主电路，然后再自上而下、从左向右分析控制电路。在分析完主电路后，可以从主电路中寻找接触器主触点的文字符号，并在控制电路中找到相对应的控制环节，从而对控制电路进行分析。

图 5-3（a）所示的主电路在对图 5-2（a）的分析中已经介绍过，这里不再重复。分析控制电路的任务主要就是分析接触器 KM 的线圈何时通电，何时断电。当按压控制电路中的启动按钮 SB2 后，SB2 的动合触点闭合，控制电路使 KM 线圈与电源接通。电源的一端通过 FU2、FR、SB1 和 SB2 到达接触器线圈的一端，电源的另一端则直接接到接触器线圈的另一端。

接触器 KM 的触点有两部分，一部分为主电路中连接的 3 对主触点，另外一部分是与启动按钮 SB2 并联的一对动合辅助触点。当按下 SB2 后，接触器 KM 的线圈通电，主电路的 3 对主触点闭合，异步电动机接通三相交流电源，启动并运转。同时，与 SB2 并联的动合触点闭合，保证在 SB2 断开后 KM 线圈能够继续维持通电状态。因此，与 SB2 并联的 KM 的动合触点称为自锁触点，该控制电路称为自锁控制电路。松开后按钮 SB2 断开，但由于自锁触点此时处于闭合状态，KM 线圈继续保持通电，电动机继续运转。若要使电动机停止运转，可以按压停止按钮 SB1。

按压 SB1（断开），KM 线圈失电，其主触点断开，电动机停止运转；与 SB2 并联的自锁触点恢复常态断开，解除自锁。当松开后，SB1 重新闭合，由于自锁触点已经断开，KM 的线圈不会重新得电动作，电动机即可停止运转。

自锁控制又称为连续控制，它是相对点动控制而言的。所谓点动控制是指操作人员“点”一下按钮，电动机就“动”一下；控制按钮松开，电动机就停止转动。

将图 5-3（a）中与启动按钮并联的 KM 的动合触点去掉，该电路就变成了点动控制电路，如图 5-3（b）所示。按下 SB2，KM 的线圈通电，3 对主触点闭合，异步电动机启动。松开后按钮 SB2 断开，KM 的线圈失电，3 对主触点恢复常态（断开），电动机的三相电源断开，停止运转，从而实现点动控制。点动控制的特点是电动机启动、运转和停止都需要操作人员参与，主要用于需要对生产机械进行调节的场合，如通过点动按钮使电动机稍微转动，使生产机械作微小移动，实现对生产机械位置的微调等。

比较图 5-3（a）和图 5-3（b），点动控制仅比自锁控制少了一个自锁触点。自锁控制之所以可实现连续运转，是由于有自锁触点在起作用。

自锁触点不仅可以实现连续运行，还可与接触器 KM 的线圈（电压线圈）配合，实现“欠压”或“失压”保护功能。所谓失压是指电动机正在运行时，如果电源电压由于某种原因消失，那么在电源电压恢复时，若电动机自行启动，这就可能造成生产设备损坏，甚至造成人身事故。对电网来说，同时有许多电动机及其他用电设备自行启动会引起不允许的过电流及瞬间网络电压下降。为了防止电源恢复时电动机启动的保护叫零压或失电压保护。所谓欠压是指电动机正常运转时，电源电压大幅度降低会引起电动机转速下降甚至停转。因此，需要在电源电压降到某一允许值以下时将电源切断，这就是欠压保护。

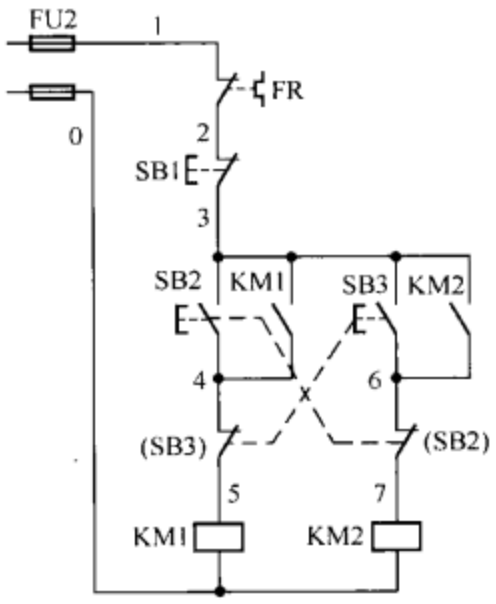
利用按钮的自动恢复作用和接触器的自锁作用，不必加设零压或欠压保护。在图 5-3（b）中，当电源电压过低或断电时，接触器 KM 释放，此时接触器 KM 的主触点和辅助触点同时打开，使电动机电源切断并失去自锁。但电源电压恢复正常时，操作人员必须重新按下启动按钮 SB1，才能使电动机启动。因此，这种带有自锁环节的电路本身已兼备了零压、欠压保护功能。

自锁控制电路可以使设备实现连续运行和失压、欠压保护功能，点动控制则可用于对设备进行调试。有时设备要求既能实现自锁控制，又可在需要时实现点动控制，可采用图 5-3（c）

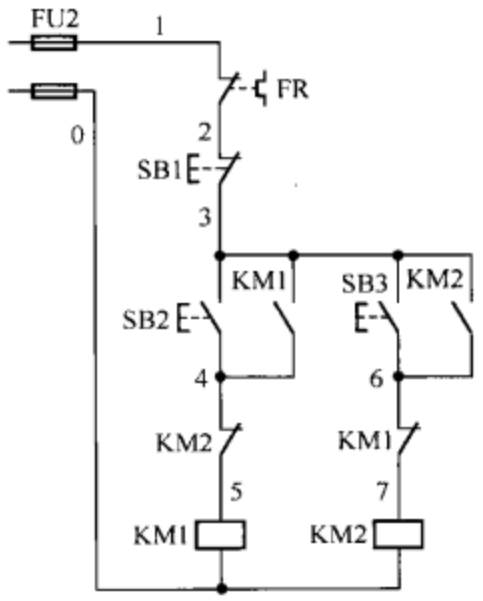
所示的电路进行控制。

（2）互锁控制

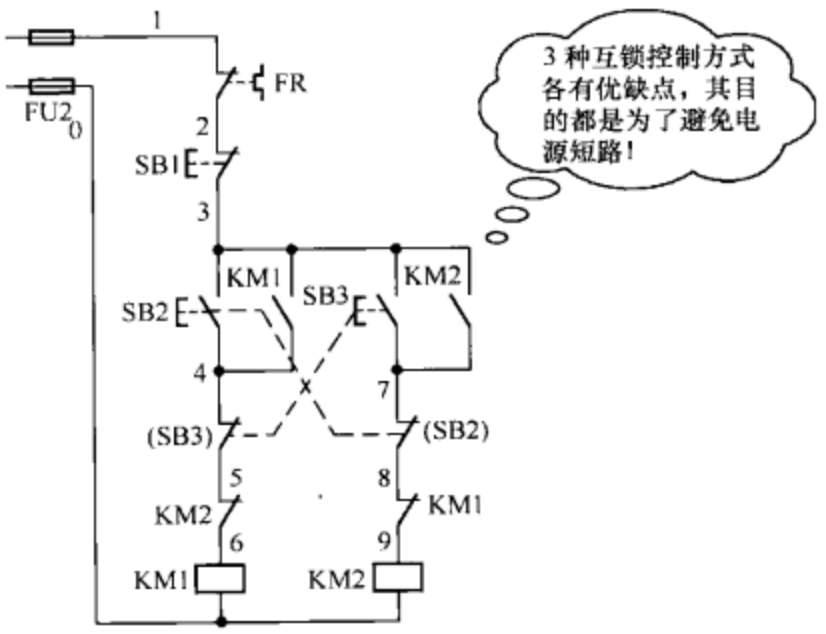
大家知道，在电动机正反转控制电路中，正转接触器 KM1 和反转接触器 KM2 不能同时动作，否则会造成电源短路。实现正反转功能的控制电路应该采用互锁控制，常用的互锁控制方式有机械互锁、接触器互锁和双重互锁 3 种，如图 5-4 所示。



（a）机械互锁



（b）接触器互锁



（c）双重互锁

图 5-4　3 种互锁控制方式

图 5-4（a）所示为机械互锁控制电路，它其实就是将正转启动按钮的动断触点串接到反转启动控制接触器的线圈回路中作为互锁触点，故称为按钮互锁。当按压正转启动按钮 SB2 时，其在 KM1 线圈回路中的动合触点闭合，在 KM2 线圈回路中的动断触点断开。不论电动机和接触器原来的状态如何，按压按钮 SB2 后，接触器 KM1 的线圈通电，KM2 的线圈断电。图 5-2（e）中所示的 KM1 主触点闭合，同时 KM2 的主触点断开，电动机正转启动。

按钮互锁线路的优点是可直接实现反转。但若某个接触器（如设 KM1）的主触点熔焊在一起，当按压另一转向的启动按钮（SB3）后，虽然该转向的接触器（KM1）线圈失电，但由于主触点熔焊，该转向的主触点不能断开，另一转向的接触器（KM2）主触点闭合时，将

会造成电源短路。因此，机械互锁控制电路的缺点是存在安全隐患。

图 5-4（b）所示为采用接触器互锁方式的控制电路。一个启动接触器的动断辅助触点串接到另一个启动控制接触器的线圈回路中作为互锁触点，称为接触器互锁，也称为电气互锁。接触器互锁的最大缺点是不能直接进行反转控制。要使电动机反转，则首先应该按压停止按钮（SB1），使 KM1 线圈断电，自锁触点解除自锁，然后再按压 SB3，才能实现反转控制。

如果同样出现接触器的主触点熔焊，由于接触器的主触点与辅助触点的联动关系，KM1 的动断辅助触点不能闭合，从而保证正、反向控制接触器不同时通电，因此有较高的可靠性。

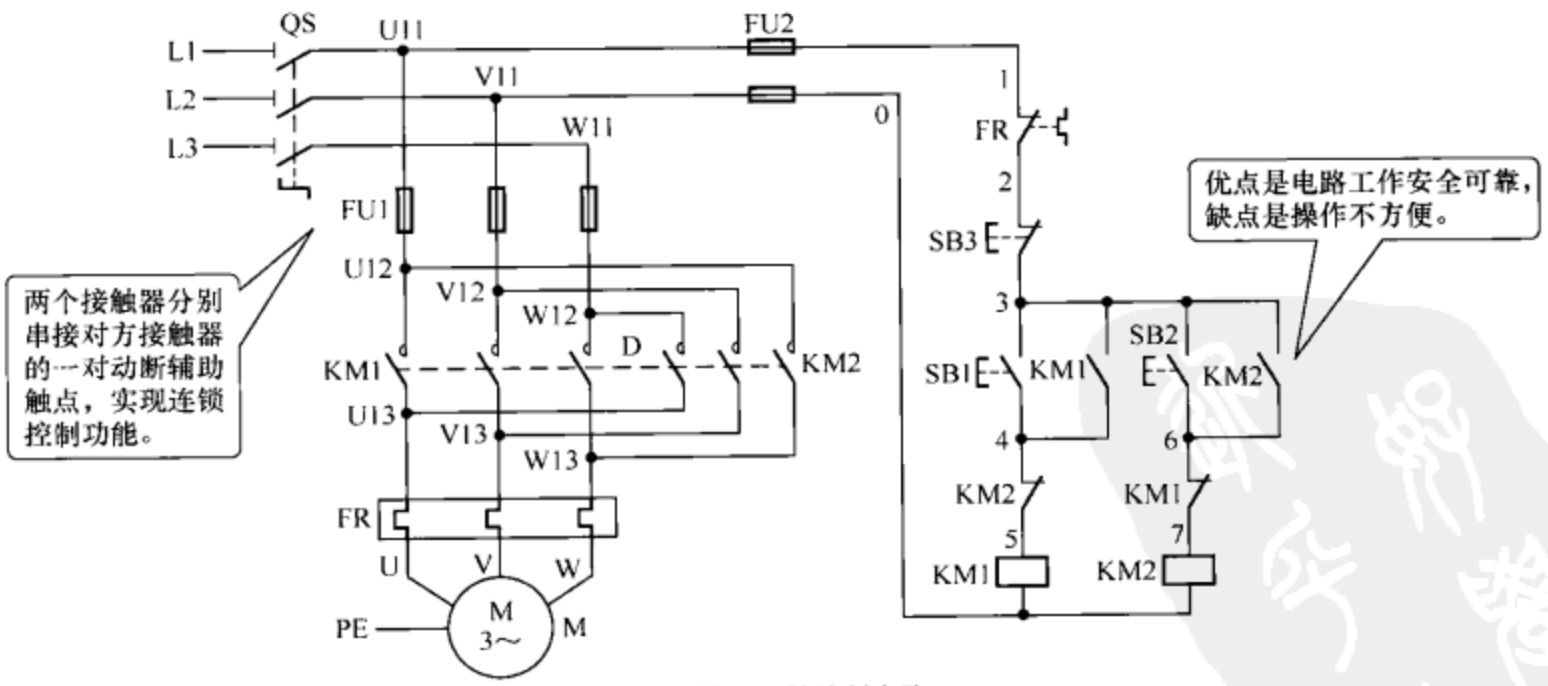
为了克服电气互锁的操作麻烦和避免机械互锁可靠性存在的隐患，通常可采用“重复互锁”，其方法是在一个电路中同时采用机械（按钮）互锁和电气（接触器触点）互锁，如图 5-4（c）所示。在正向接触器 KM1 的线圈回路中不仅串接有反向启动按钮 SB3 的动断触点，还串接有反向接触器 KM2 的动断辅助触点。若设该电路此时工作在反向运行状态下，接触器 KM2 的线圈闭合，其动合触点闭合，动断触点断开。按压正向启动按钮 SB2 时，串接在 KM2 线圈回路中的动断触点首先使 KM2 线圈失电，KM2 的主触点断开电动机主回路，串接在 KM1 线圈回路中的动断辅助触点闭合（解除电气互锁）。此时 SB2 的动合触点闭合，KM1 的线圈通电，KM1 的主触点接通电动机主回路，使电动机正转。此时，KM2 的线圈不能通电。该电路工作在反向运行状态下时，KM1 的线圈不能得电，从而避免了电源短路。

该电路的自锁功能、失压保护功能等与前面介绍的自锁控制电路相似，这里不重复介绍。

（3）连锁控制

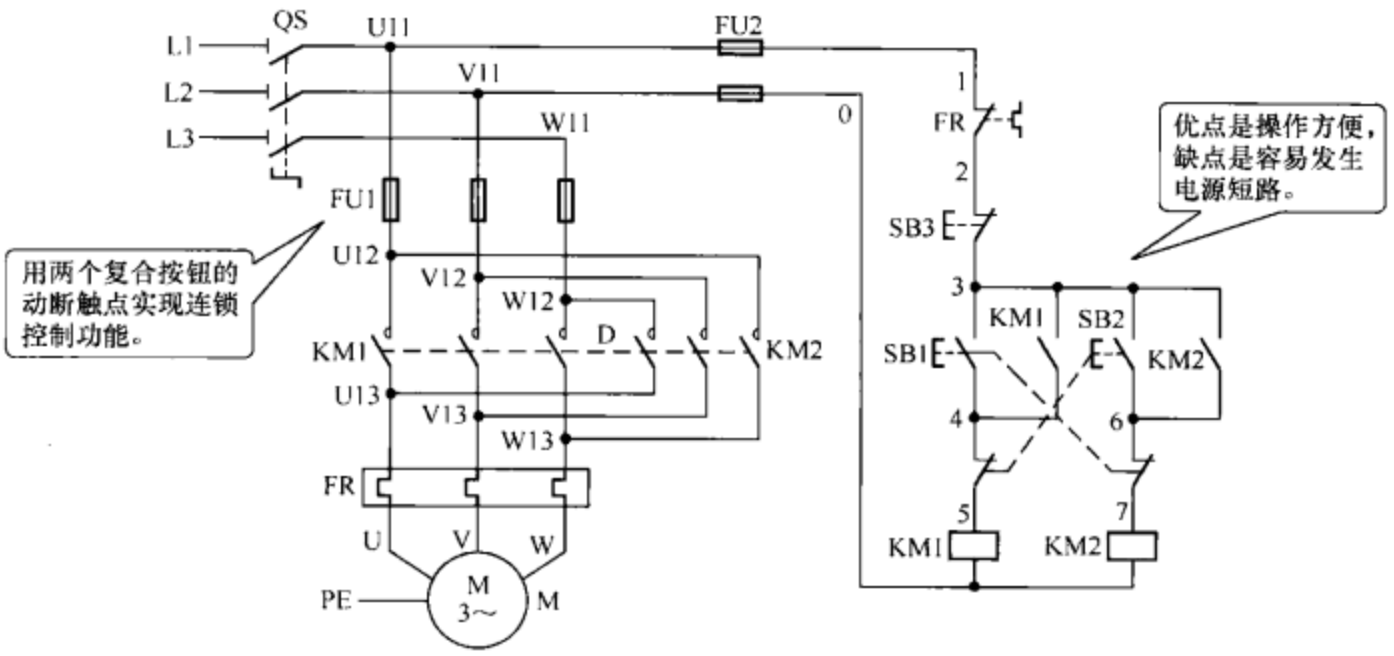
连锁控制即顺序控制，是对两个及以上接触器线圈通电动作或断电复位先后顺序的控制，常用于动作顺序有先后要求的控制领域。常见的连锁控制方式有：先后启动，同时停止；先后启动，顺序停止（先启动的先停止，后启动的后停止）；先后启动，逆序停止（后启动的先停止，先启动的后停止）等几种形式。但不管哪种形式都是通过接触器的辅助触点与线圈的连接来实现的，而且还存在特定的连接规律。

常用的连锁控制电路有：接触器连锁正反转控制电路、按钮连锁正反转控制电路和双重连锁正反转控制电路，如图 5-5 所示。

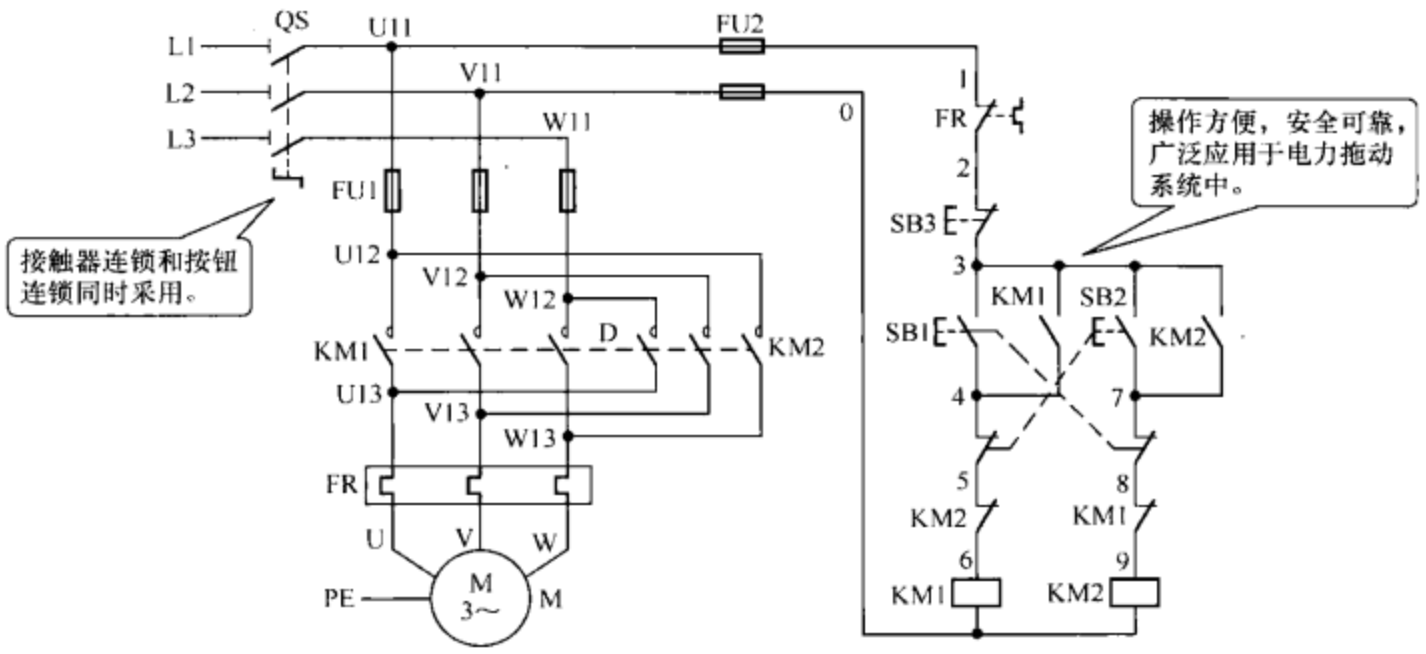


（a）接触器连锁正反转控制电路

图 5-5　连锁控制电路



（b）按钮连锁正反转控制电路



（c）双重连锁正反转控制电路

图 5-5 连锁控制电路（续）

在分析连锁控制时，主要应注意两个方面的问题：一是启动时接触器线圈通电，其动合触点闭合，动断触点断开；二是停止时接触器线圈断电，其动合触点断开，动断触点闭合。这样就能全面分析控制电路的连锁控制。例如，在分析图 5-5（a）所示的接触器连锁正反转控制电路时，其正转控制过程为：按下 SB1→KM1 的线圈得电→KM1 的主触点闭合（同时 KM1 的自锁触头闭合；KM1 的连锁触头断开，对 KM2 连锁）→电动机 M 启动连续正转。反转控制过程为：先按下 SB3→KM1 的线圈失电→KM1 的主触点断开（同时 KM1 的自锁触点断开接触点自锁电路；KM1 连锁触点闭合，解除对 KM2 的连锁）→电动机 M 失电停转。再按下 SB2→KM2 的线圈得电→KM2 的主触点闭合（同时 KM2 的自锁触点闭合；KM2 的连锁触点断开，对 KM1 连锁）→电动机 M 启动连续反转。



想一想

在电动机控制电路中已装有接触器，为什么还要装电源开关？它们的作用有何不同？

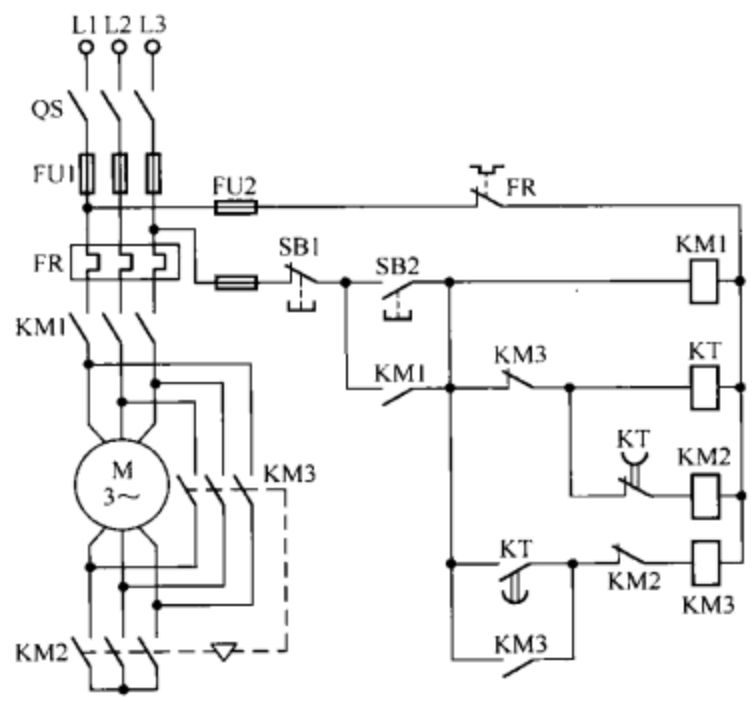
知识链接

自锁、互锁和连锁的区别

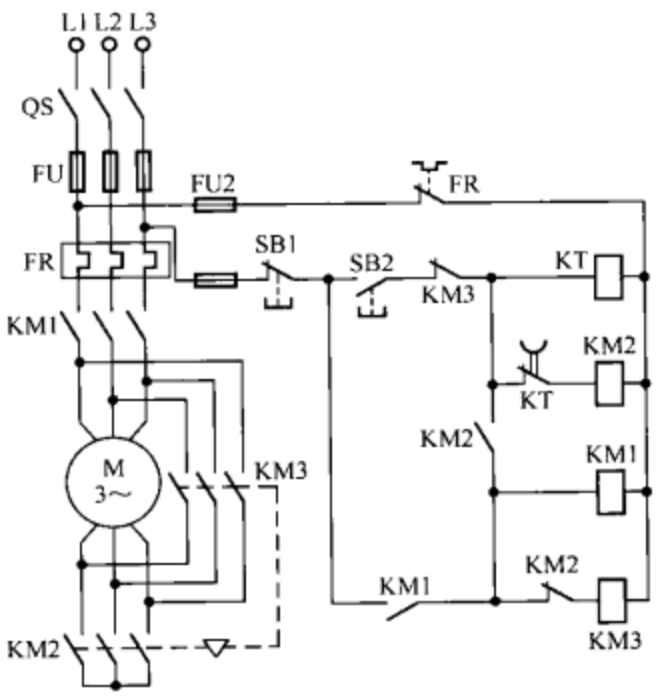
自锁控制是自己保持的控制；互锁控制则是相互制约的控制，即不能同时呈现为工作状态的控制；连锁控制则可以理解为联合动作，其实质是按一定顺序动作的控制。初学者要注意理解这里“锁”的含义，应该加以区分。

（4）异步电动机降压启动电路

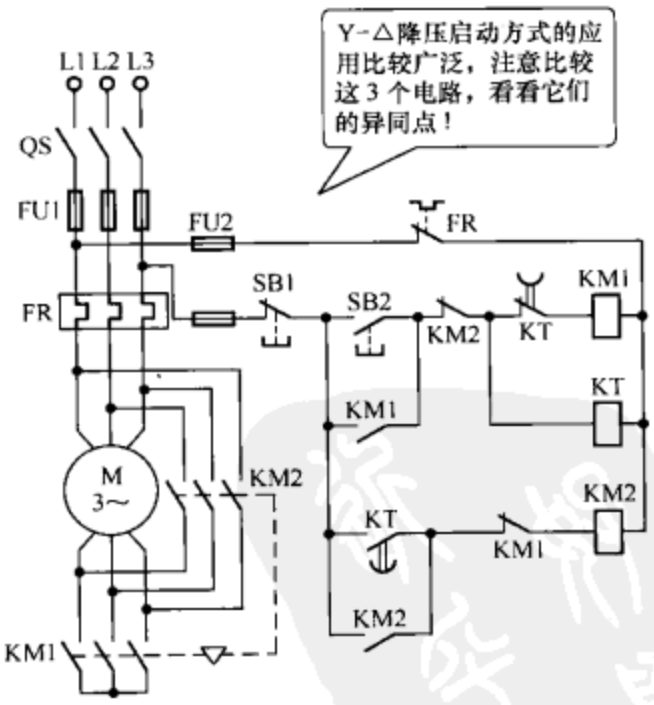
Y-△降压启动是异步电动机常用的启动方法，常见的控制电路有 3 个，如图 5-6 所示。图 5-6（a）和图 5-6（b）所示的主电路与图 5-2（d）所示的主电路完全一样，都采用 3 个接



（a）控制电路一



（b）控制电路二



（c）两个接触器的控制电路

图 5-6　异步电动机 Y-△降压启动电路

触器进行控制。而图 5-6（c）所示电路则少了一个接触器，即只用两个接触器进行控制。下

面分别分析它们的启动过程，并对每个线路的主要特点进行分析。

在图 5-6（a）所示电路中，电动机 M 的三相定子的 6 个接线端子分别接 KM1、KM2 和 KM3 的连接点。启动时，合上电源开关 QS，接触器 KM1 主触点上方的电路得电，控制电路也得电。按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 和 KM2 的线圈同时得电（KM2 是通过时间继电器 KT 的动断触点和 KM3 的动断触点带电工作的），此时异步电动机处于 Y 形接线的启动状态，开始启动；由于 KM2 与 KM3 串联的动断辅助触点（互锁触点）断开，所以接触器 KM3 此时不通电。

KM1 动作后，时间继电器 KT 的线圈通电后开始延时，在 KT 经过整定的延时时间里，异步电动机启动、加速。时间继电器 KT 的延时时间到达后，KT 的所有触点改变状态，KM2 的线圈断电，主触点断开，使 Y 形连接的异步电动机的中心点断开；KM2 的线圈断电后，串接在 KM3 线圈回路中的 KM2 的动断辅助触点闭合，解除互锁。这时接触器 KM3 的线圈回路接通，KM3 动作，其所有触点改变状态。KM3 的线圈通电后，其主触点闭合，此时电动机自动转换为△形连接方式运行，进行二次启动；与 KT 的动合触点并联的 KM3 的动合触点闭合自锁；与 KT 和 KM2 线圈串联的 KM3 的动断辅助触点（互锁触点）断开，时间继电器 KT 和接触器 KM2 的线圈断电，启动过程结束。

在图 5-6（a）所示的 Y-△降压启动电路中，由于 KM2 的主触点是带额定电压闭合的，要求触点的容量较大，而异步电动机正常运行时 KM2 却不工作，会造成一定的浪费。同时，若接触器 KM3 的主触点由于某种原因而熔焊，启动时异步电动机将不经过 Y 形连接的降压启动阶段，而直接接成△形启动，降压启动功能将丧失。因此，相对而言图 5-6（a）所示的电路工作不够可靠。如果在 KT 和 KM3 之间增加一个重动继电器（其实质上也属于中间继电器，其作用是扩充接点和增加接点容量），回路就会更加可靠。

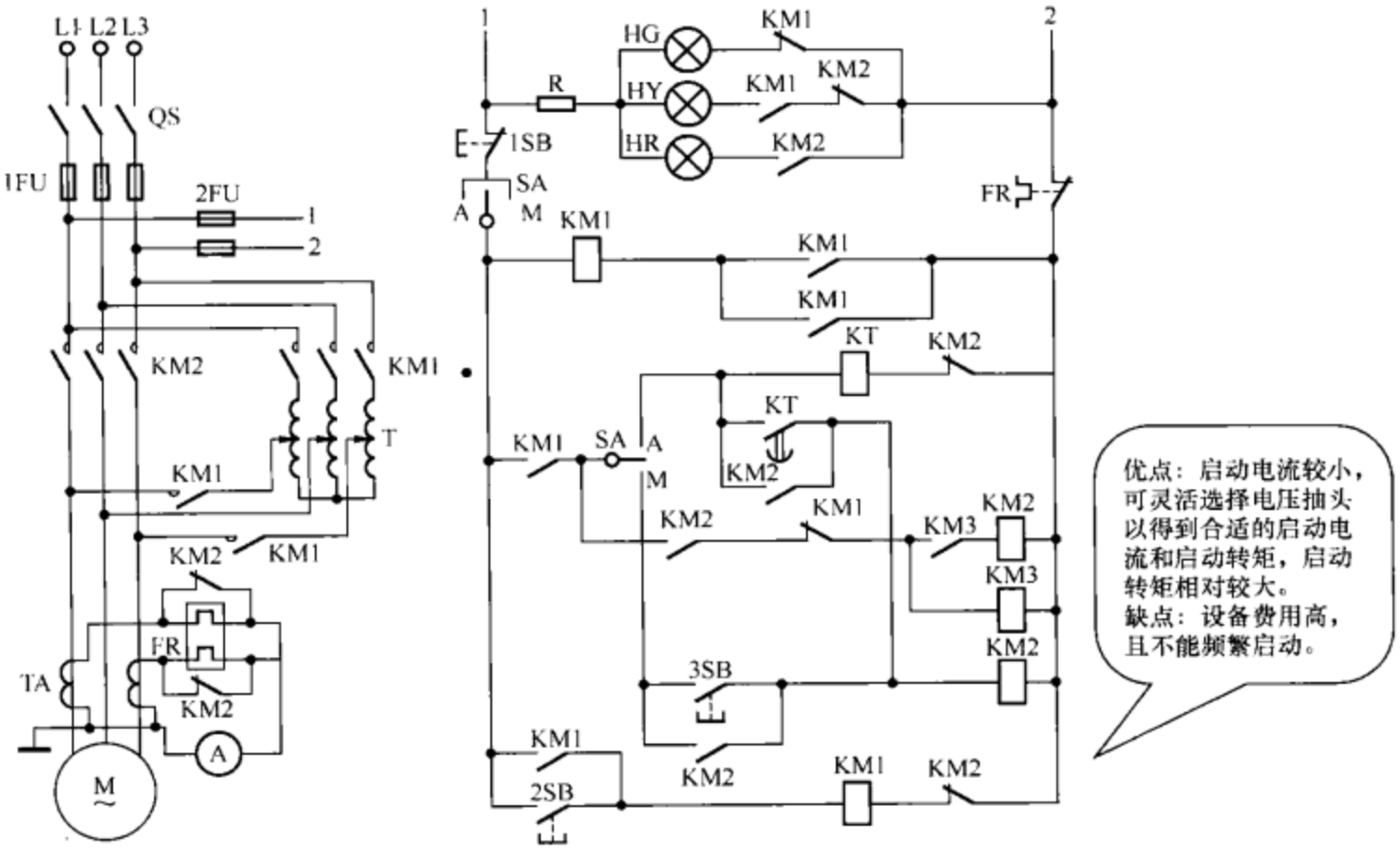
比较而言，图 5-6（b）所示控制电路的可靠性较高。只有 KM3 的动断触点闭合（没有熔焊故障存在），按下启动按钮 SB2 后，时间继电器 KT 和接触器 KM2 的线圈才能通电。KT 的线圈通电后开始延时。KM2 的线圈通电后所有触点改变状态。主触点在没有承受电压作用的状态下将异步电动机接成 Y 形连接；KM2 的动合辅助触点闭合，使接触器 KM1 的线圈通电；与 KM3 线圈串联的 KM2 的动断辅助触点（互锁触点）断开。KM1 的线圈通电后，其主触点闭合，接通主电路，由于此时电动机已经接成 Y 形连接，电动机通电启动；KM1 的动合辅助触点（自锁触点）闭合，与停止按钮 SB1 连接，形成自锁。

KT 整定的延时时间到达后，其动断辅助触点断开，KM2 的线圈失电，其主触点将 Y 形连接的异步电动机的中心点断开，为△连接做准备；与 KM3 线圈串联的动断辅助触点（互锁触点）复位闭合，使接触器 KM3 的线圈通电。KM3 通电后，异步电动机接成△形连接，进行二次启动，同时与启动按钮 SB2 串联的互锁触点断开，启动过程结束。由于 KM2 的主触点是在不带电的情况下闭合的，因此，KM2 经常可以选择触点容量相对较小的接触器。但从实际使用效果看，若触点容量过小，当时间继电器的延时整定也较短，容易造成 KM2 的主触点被拉出毛刺或损坏，这是在实际使用时应该注意的问题。

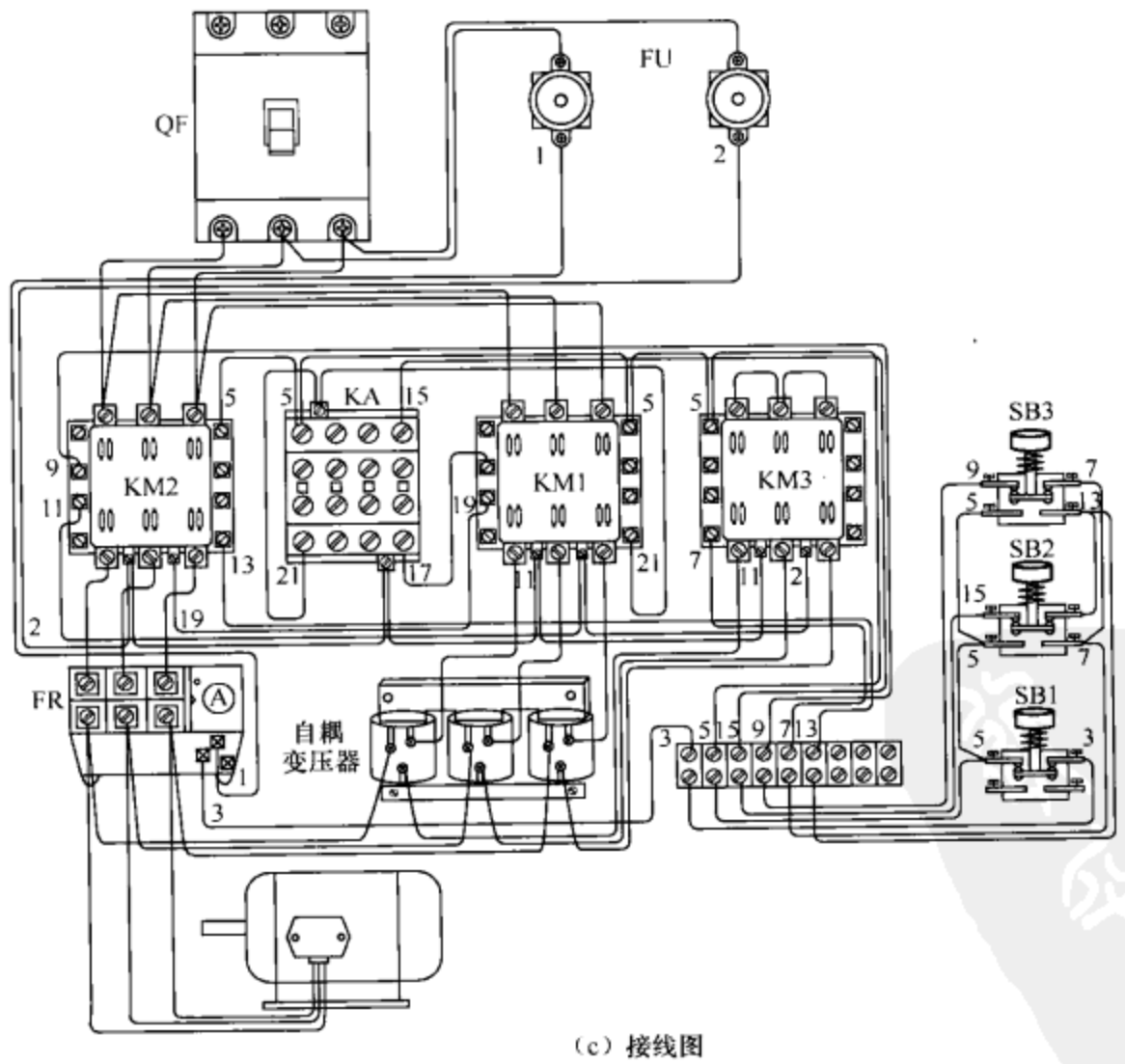
图 5-6（c）所示的控制电路只用了两个接触器，实际上是由图 5-6（a）所示电路去掉 KM1 后重新对接触器进行编号而得到的。该电路适用于控制要求相对不高、异步电动机容量相对较小的场合。

自耦变压器降压启动控制也是比较常用的启动方法，如图 5-7 所示。电动机的主电路中接有自耦变压器 T，启动时接触器 KM1 闭合，电动机经自耦变压器供电降压启动，启动完毕

后 KM1 的主触点断开，接触器 KM2 合上，电动机全电压运行。这是一套可自动和手动控制的启动器电路，其动作过程如下。



（a）主电路　　（b）控制电路



（c）接线图

图 5-7　自耦变压器降压启动控制电路

自动启动时，将切换开关 SA 置于位置 A，按下启动按钮 2SB，接触器 KM1 带电并自保持，其主触点闭合，三相电源经自耦变压器加到电动机上，电动机开始降压启动。同时，KM1 的一个动合辅助触点闭合，中间继电器 KM1 启动并自保持。KM1 的一个动合触点闭合后，经转换开关 SA 的触点启动时间继电器 KT，经一定延时后 KT 的延时触点闭合，中间继电器 KM2 启动并自保持。KM2 的动断触点断开，使接触器 KM1 的线圈失电释放，KM1 的主触点断开，自耦变压器脱离电源。KM1 释放后其动断触点闭合，使中间继电器 KM3 动作，KM3 的动合触点接通接触器 KM2 的电源，KM2 动作，其主触点闭合，使电动机直接与电源连接而进入全电压运行状态。KM2 动作后其动断触点打开，切断时间继电器 KT 线圈的电源，使 KT 释放。

该电路的特点是增加了 KM2 和 KM3 两个重动中间继电器。由于被控制的电动机容量大，为了防止 KM1 和 KM2 在切换时主触点造成弧光短路，增加了中间环节以保证在 KM1 可靠灭弧后 KM2 才动作。

手动启动时，将切换开关 SA 置于位置 M，时间继电器 KT 不会再动作，按下启动按钮 2SB，接触器 KM1 带电并自保持，电动机开始降压启动。当电流表指示的电流衰减到接近额定电流时，按下按钮 3SB，中间继电器 KM2 启动并自保持，使 KM1 失电释放，KM3 和 KM2 动作，电动机进入正常运行状态。

（5）异步电动机双速控制电路

异步电动机双速控制电路如图 5-8 所示。

① 合上空气开关 QF，引入三相电源。

② 按下启动按钮 SB2，交流接触器 KM1 的线圈回路通电并自锁，KM1 的主触点闭合，为电动机引进三相电源。L1 接 U1，L2 接 V1，L3 接 W1，U2、V2、W2 悬空。电动机在△接法下运行，此时电动机低速运转。

③ 按下按钮 SB3，其动断触点断开，接触器 KM1 的线圈断电，其主触点断开，使 U1、V1、W1 与三相电源 L1、L2、L3 脱离。KM1 的动断辅助触点恢复闭合状态，为 KM2 线圈回路通电做好准备。同时接触器 KM2 的线圈回路通电并自锁，其动合触点闭合，将定子绕组的 3 个首端 U1、V1、W1 连在一起，并把三相电源 L1、L2、L3 引入 U2、V2、W2，此时电动机在 YY 接法下运行。这时电动机高速运转。KM2 的动合辅助触点断开，防止 KM1 误动作。

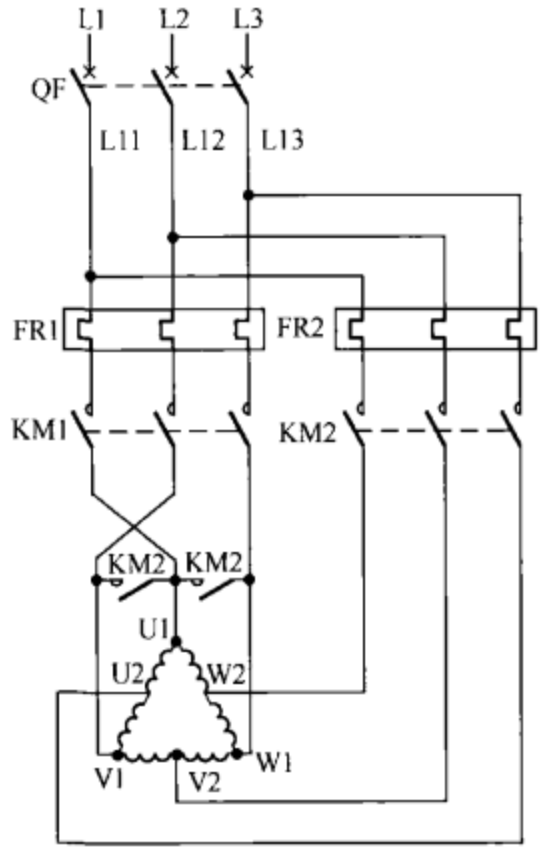
④ FR1、FR2 分别为电动机△运行和 YY 运行的过载保护元件。

⑤ 这个控制回路中 SB2 的动合触点与 KM1 线圈串联，SB2 的动断触点与 KM2 线圈串联，同样按钮 SB3 的动断触点与 KM1 线圈串联，SB3 的动合触点与 KM2 线圈串联。这种控制就是按钮的互锁控制，可保证△与 YY 两种接法不可能同时出现。同时 KM2 的动断辅助触点接入 KM1 的线圈回路，KM1 的动断辅助触点接入 KM2 的线圈回路，也形成互锁控制。

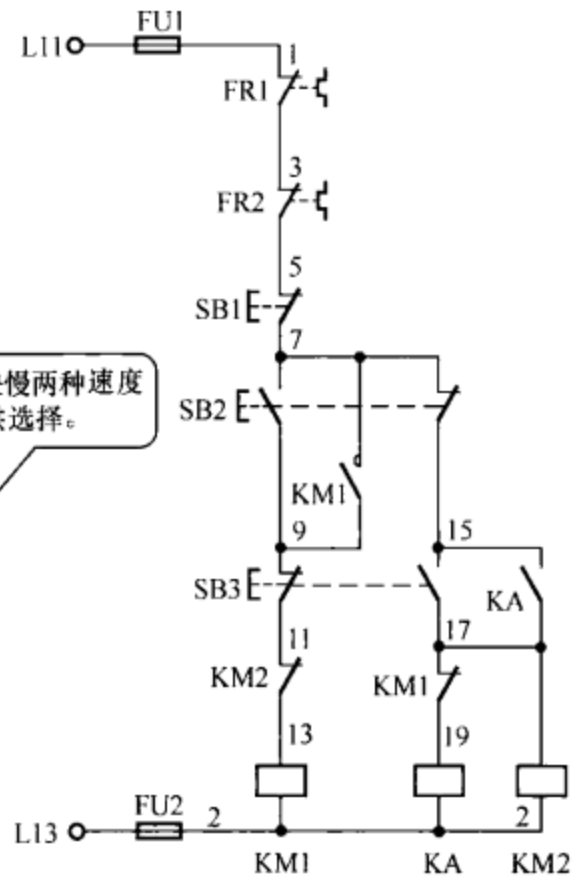
（6）电动机电气制动控制电路

由于机械惯性，三相异步电动机从切除电源到停止转动需经过一段减速时间，不能满足电动机快速停车的效率要求，因此需要对电动机制动。制动方法分为机械制动和电气制动两大类。机械制动采用机械抱闸、液压制动器等机械装置来实现。电气制动实质上是在电动机切断电源时产生一个与转子运转方向相反的制动转矩，迫使电动机迅速减速。

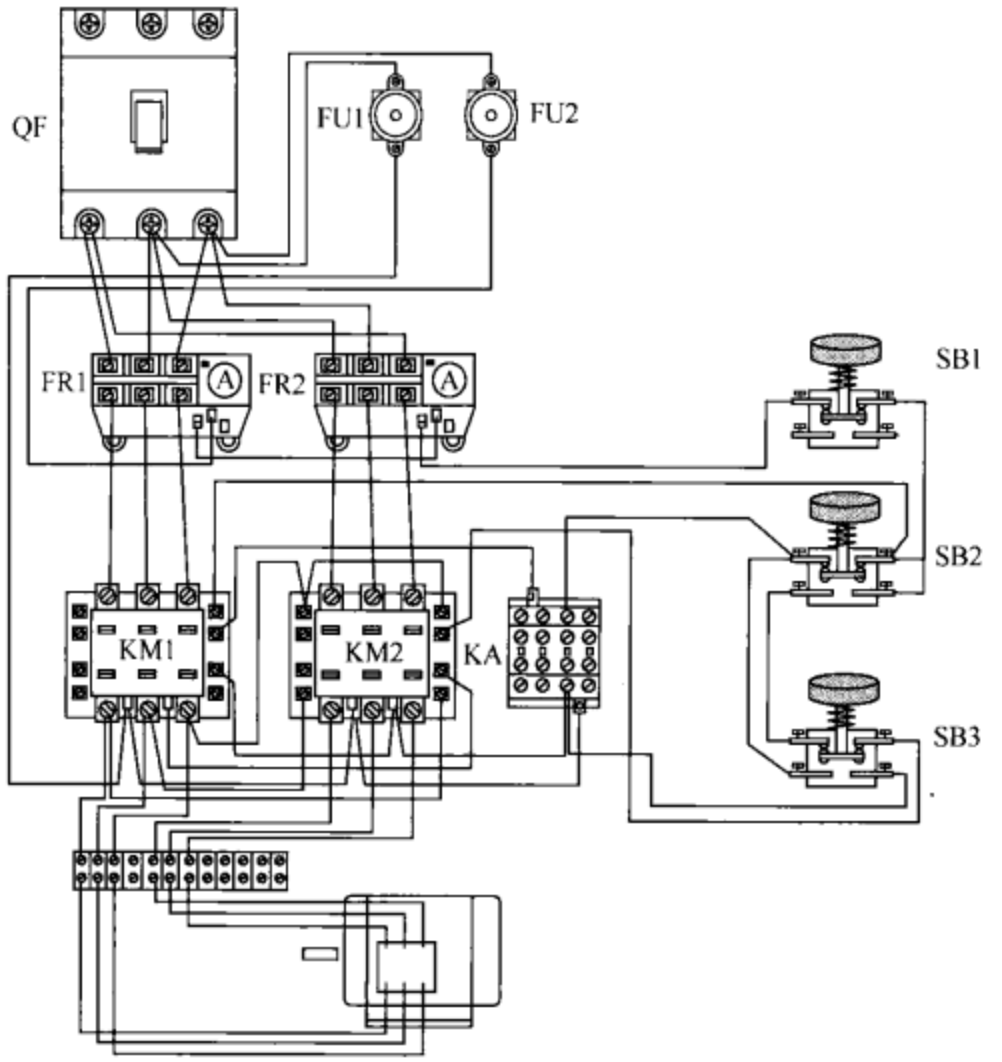
通过改变异步电动机定子绕组中三相电源的相序，从而产生一个与转子惯性转动方向相反的制动转矩，实现制动。常用的电动机电气制动控制电路有反接制动控制和能耗制动两种。



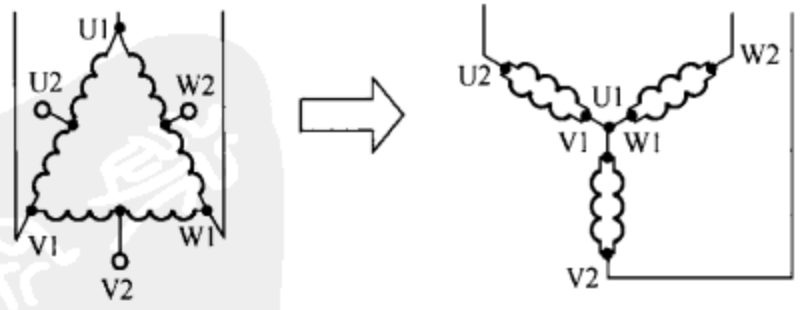
（a）主电路



（b）控制电路



（d）安装接线图



低速时绕组的接法　　高速时绕组的接法

（c）定子接线图

图 5-8　双速电动机调速控制电路

图 5-9 所示是单向反接制动控制电路。这个电路的主电路和正反转控制电路大致相同，只是在反接制动时增加了 3 个限流电阻 R1～R3。电路中 KM1 为正转运行接触器，KM2 为反接制动接触器，KS 为速度继电器，其轴与电动机的轴相连。

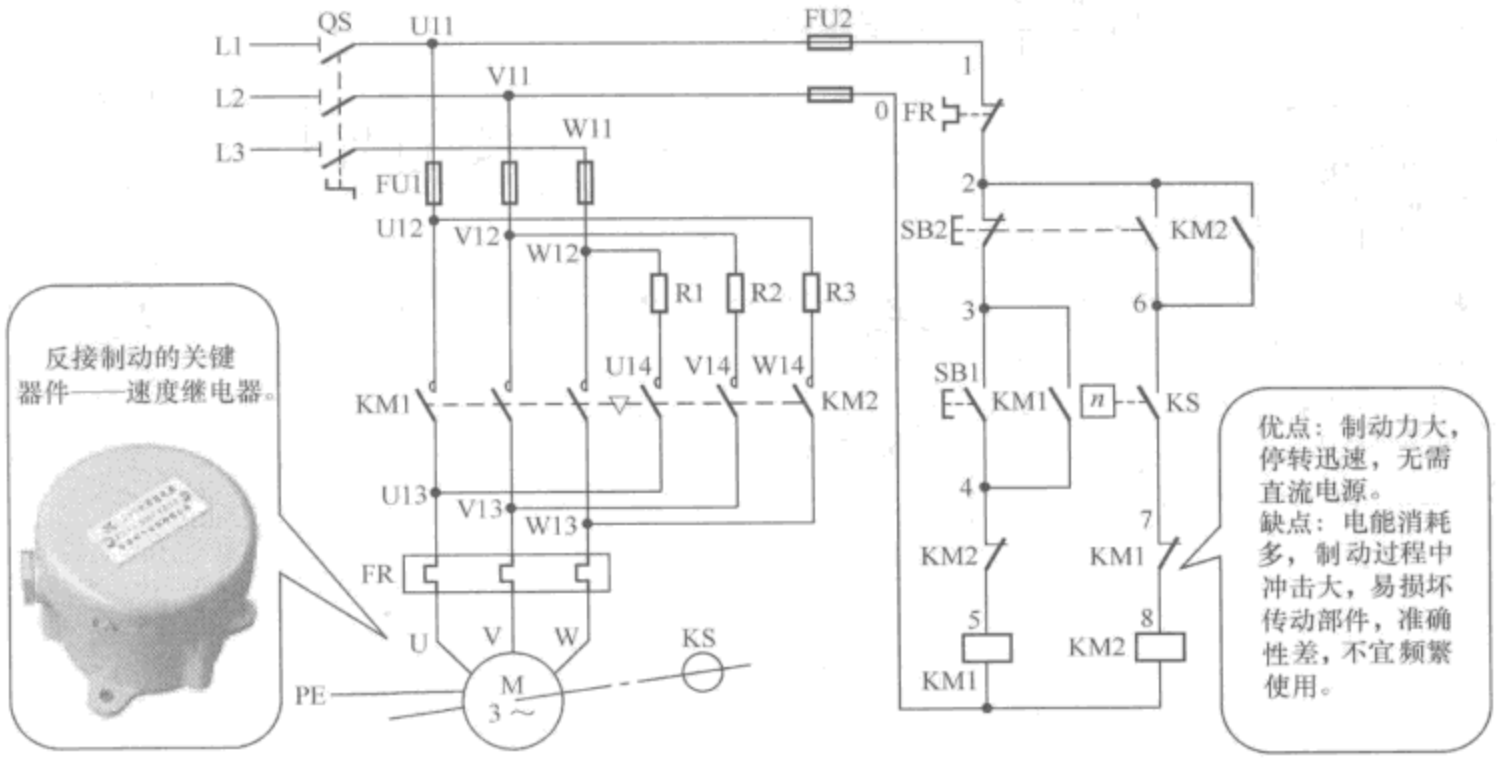


图 5-9　单向反接制动控制电路

单向启动时，按下 SB1，KM1 的线圈通电，并通过 KM1 的动合辅助触点自锁，KM1 的主触点闭合，KM1 的连锁触点分断，对 KM2 连锁，电动机正转启动并加速。当加速至接近速度继电器 KS 的额定动作速度时，控制电路中 KS 的辅助触点闭合，为制动做好准备。

反接制动时，按下 SB2，KM1 的主触点断开，电动机 M 暂时失电，KM2 的线圈得电，KM2 的主触点闭合，电动机串接 R1～R3 反接制动。因为此时 L1、L3 中的电流已经反接至 W、U 两相定子绕组中，改变了定子绕组中三相电源的相序，从而产生出一个与电动正向转动惯性矩相反的制动转矩，使电动机快速减速。

当电动机转子转速接近零时，KM2 的线圈因所在支路中 KS 的辅助触点断开而断电，惯性转矩消失，电动机停转。

所谓能耗制动是指当电动机切断交流电源后，立即在定子绕组中通入直流电，迫使电动机停转的方法。能耗制动比反接制动消耗的能量少，其制动电流也比反接制动电流小得多，但能耗制动的制动效果不及反接制动明显，同时需要一个直流电源，控制电路相对比较复杂。通常能耗制动适用于电动机容量较大、启动和制动频繁的场合。

图 5-10 所示为电动机能耗制动控制电路。按下停止按钮 SB2，KM1 失电释放，同时 SB2 的动合触点闭合，使 KM2、KT 得电动作，将经过桥式整流后的直流电接入电动机定子绕组，开始制动。达到整定时间后，KT 的动断触点延时断开，KM2 失电，完成制动过程。其详细工作过程请读者自己分析。



想一想　能耗制动时，时间继电器的整定时间能不能调得太长？

提示：在实际使用时，时间继电器 KT 的整定时间不要调得太长，否则制动时间过长容易引起定子绕组发热。

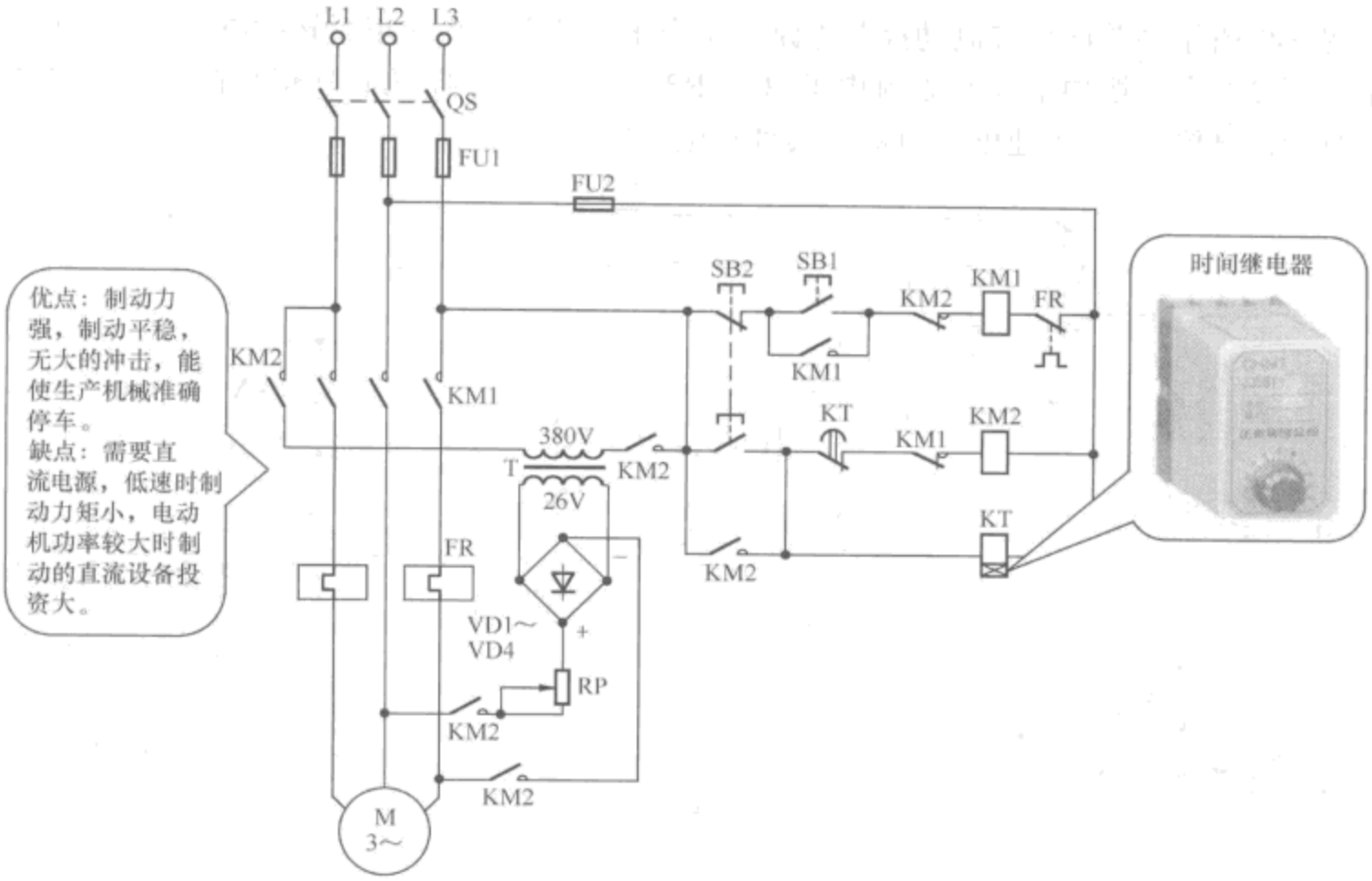


图 5-10　电动机能耗制动控制电路

5.1.3 电气控制接线图

——器件线路对号坐，安装维修防出错

为了便于安装和维修，还要配合电气控制电路图绘制电气控制接线图。电气控制接线图是按电气元件在控制屏上的安装位置排列的，表示各器件间实际接线的图纸。各个器件在图纸上以一个整体形象出现，用虚线框表示。

接线图上所表示的电气连接一般并不表示实际走线的路径，在配线时由电工师傅根据经验选择最佳路径。接线图在配线、检查、维修中可起到电路图所起不到的作用，例如在生产现场可依据控制接线图将器件、线路的位置“对号入座”。

1．控制接线图的画法

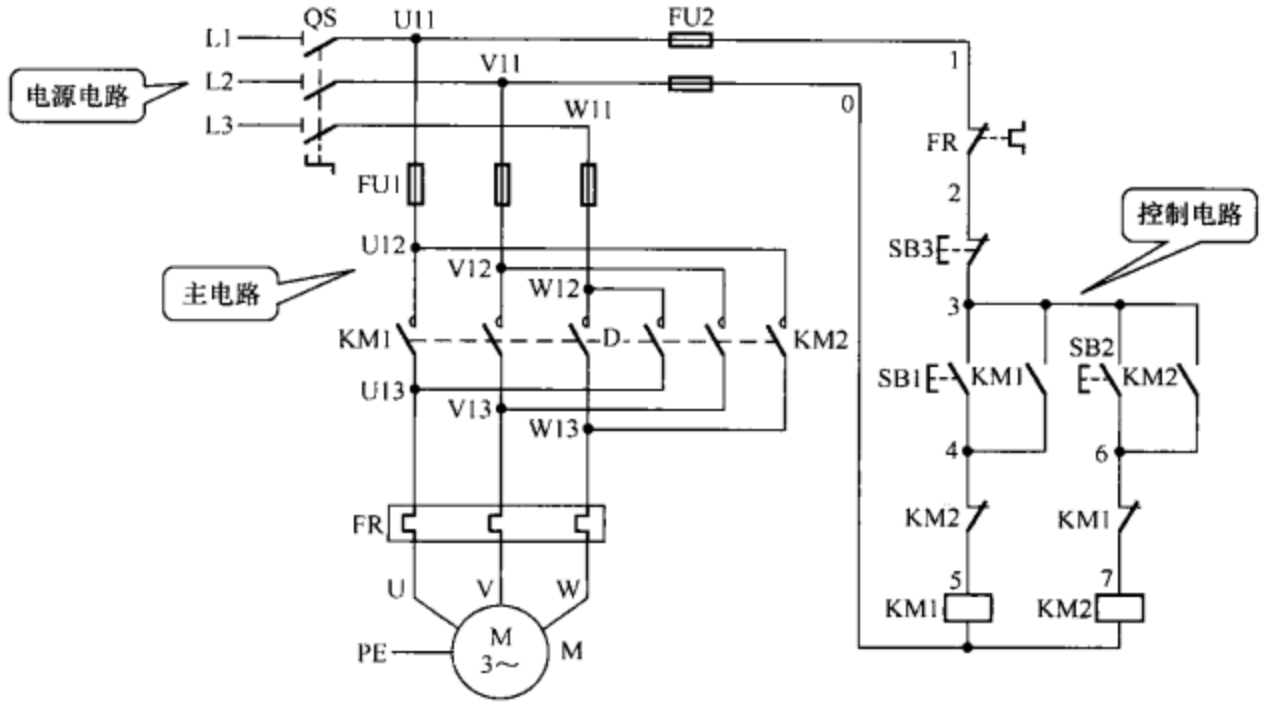
由于控制电路的复杂程度不同，控制接线图有 3 种画法：单线法、多线法和中断线法。

（1）单线法（线束法）

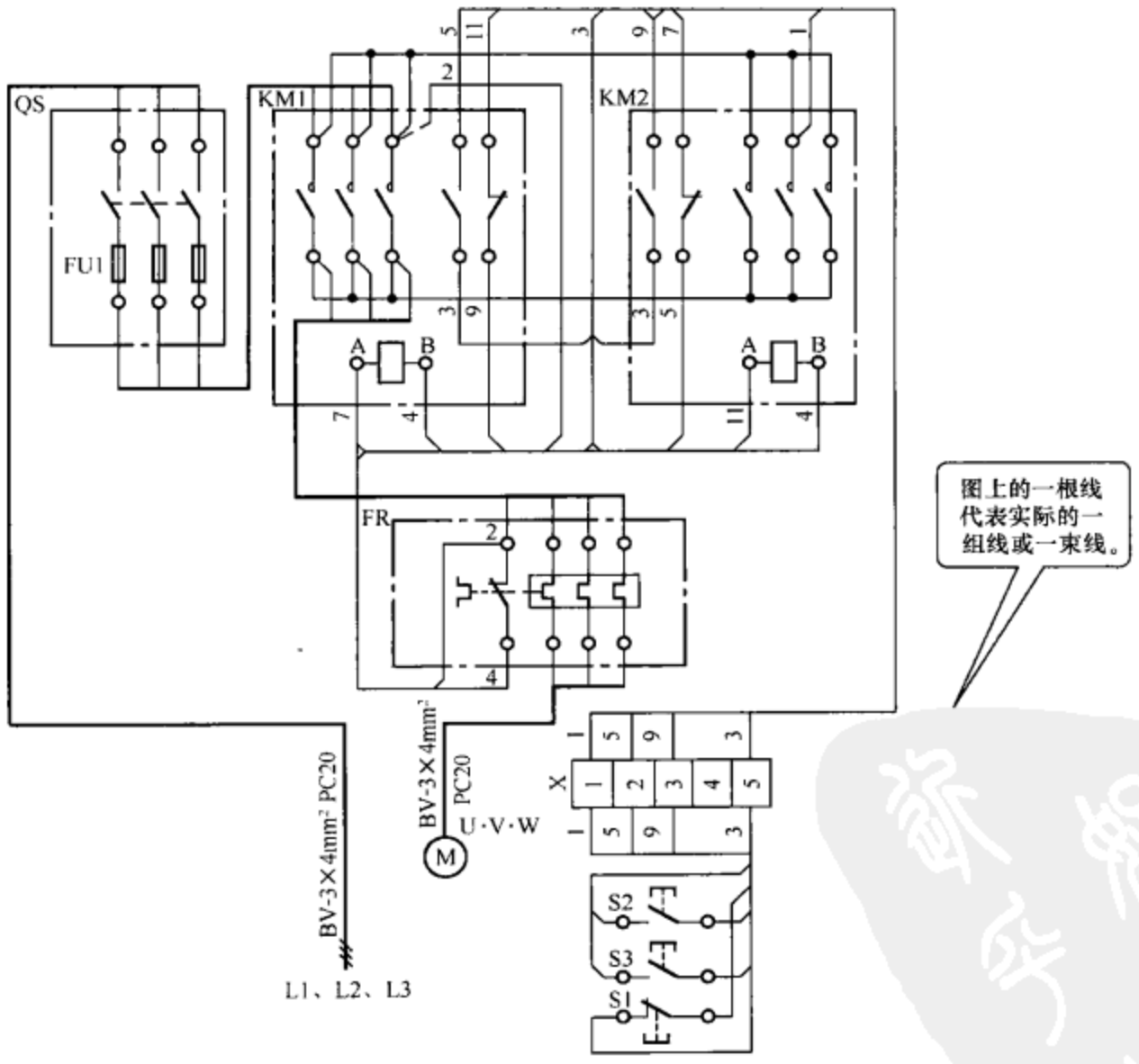
在电气控制装置中，走向相同的各元件之间的连接线用一根图线表示，即图上的一根线代表实际的一组线或一束线。这种形式的接线图称为单线法表示的电气控制接线图，或称为线束法表示的电气控制接线图。

图 5-11（b）是用单线法表示的电动机正反转接线图，它画出了设备、元件、端子排之间的相对位置。这些器件之间的连接导线不是每一根都画出来，而是把走向相同的导线合并成一根线。导线有从中途汇合进来的，也有从中途分出去的，用斜角线表示导线走向变化，最终各自到达所连元件的接线端子。在用单线法表示的安装接线图中，主电路和控制电路是

严格分开的，它们即使走向相同也必须分别表示。在图中一根线代表几根导线，从直观上可以分辨清楚，从导线旁标注的数字也可以看出。



（a）电动机正反转控制电路原理图



（b）用单线法表示的接线图

图 5-11　电动机正反转控制电路原理图和接线图

该接线图是在图 5-11（a）的基础上绘制出来的，阅读接线图时必须参考电路原理图。下面分析电动机正反转控制装置是怎样进行实际接线的。

首先看主电路，电源引入线 L1、L2、L3 采用 3 根 BV 型塑料绝缘铜芯导线，截面积为 $4mm^2$，穿直径为 20mm 的塑料管，接至开关 QS 上口，经熔断器 FU 接至三相交流接触器 KM1 和 KM2，经 KM1、KM2 换相后接至热继电器 FR 的热元件，穿直径为 20mm 的塑料管，接至电动机 M 的 U、V、W 端子。

再看辅助电路的接线。按钮 S1、S2、S3 不是安装在设备配电箱内，它们与 KM1、KM2 和 FR 之间通过端子板 X 进行连接，其连接关系举例说明如下。电源 1 号接线从接触器 KM2 的电源进线端引出，接端子板 X 的 1 号端子，再从 1 号端子的另一侧接至按钮 S1，经 S1 变为 3 号线；3 号线经端子板 X 的 5 号端子引出，接至 KM1 和 KM2 的辅助动合触点的一端，经 KM1 后变为 5 号线；5 号线接端子板 X 的 2 号端子和 KM2 的辅助动断触点，2 号端子的另一侧接至按钮 S2，经 S2 接 3 号线。KM2 的辅助动断触点的另一侧为 7 号线，接至 KM1 的线圈，变为 4 号线，再经热继电器 FR 的动断触点变为 2 号线，接至接触器 KM1 的电源端。端子板 X 的 3 号端子两侧为 9 号线，分别接接触器 KM1 的辅助动断触点、接触器 KM2 的辅助动合触点和按钮 S3。

这种控制接线图一般用于表示较复杂的控制柜的接线，如电梯控制柜接线。

（2）多线法（散线法）

在用多线法表示的图中，每一根电气连接线各用一条线表示，如图 5-12 所示。图 5-12 中只画出了图 5-11（a）中部分元件之间的连接关系。主电路的 3 根导线 L1、L2、L3 分别接 KM1 的 3 对主触点，并与 KM2 的 3 对主触点并联，经换相连接后分别接端子板 X1 的 U、V、W 端子，然后去接电动机。

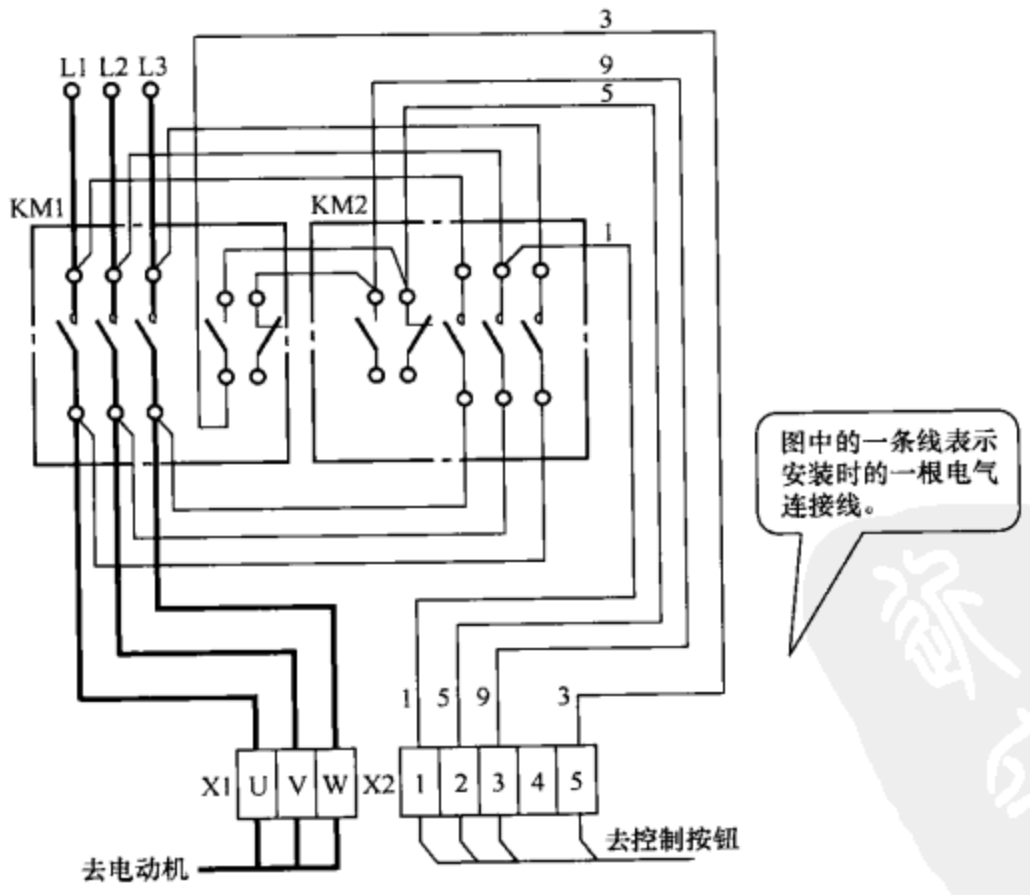


图 5-12　用多线法表示的电气控制接线图

辅助回路画出了 1、3、5、9 四条线，一端分别与 KM1、KM2 的主触点或辅助触点相接，

另一端分别与端子板 X2 的 1、5、2、3 端子相接。

在用多线法表示的图中，各种连接线比较直观，但当连接线很多时采用这种表示方式是比较困难的。这种表示法主要用于较简单电路的接线图。

（3）中断线法（相对标号法）

在用中断线法表示的接线图中，只画出元件的布置情况，不画连接线，元件的连接关系用符号表示，通常采用相对远端标记法表示连接线的去向。图 5-13 为用中断线法表示的电气控制接线图。

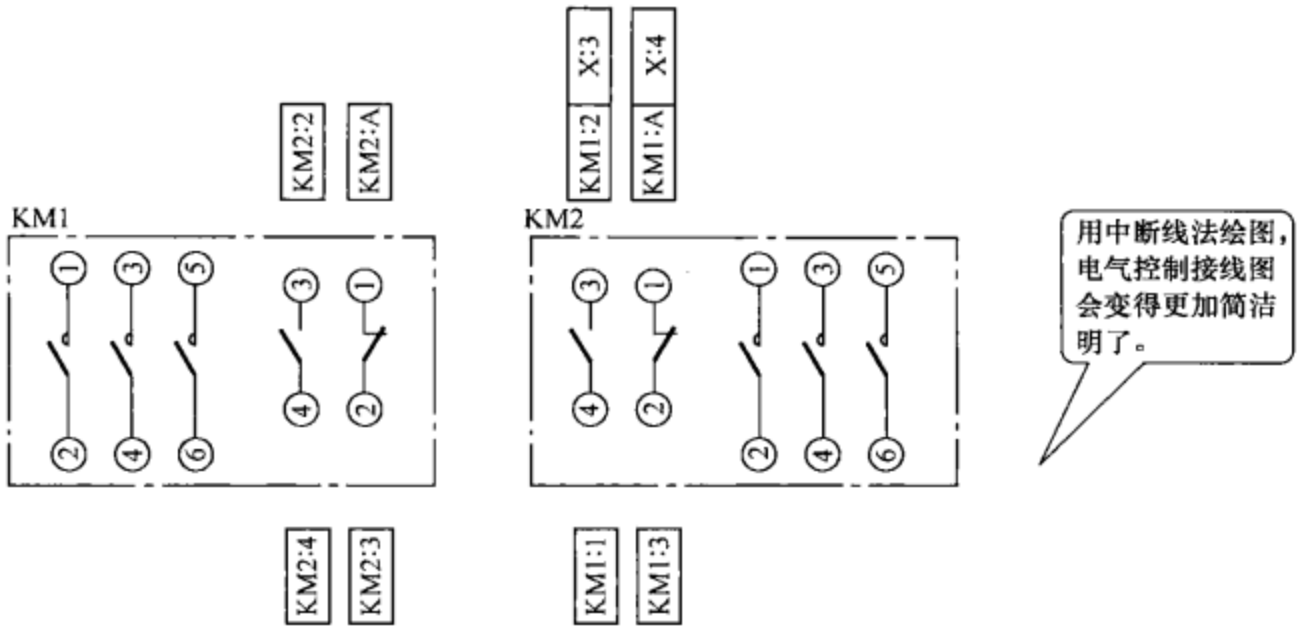


图 5-13　用中断线法表示的电气控制接线图

图 5-13 中 KM1、KM2 辅助触点之间的连接关系用相对远端标记法表示。例如，KM1 的动合触点 3 号端子与 KM2 的动断触点 2 号端子相连，则在 3 号端子处标记有“KM2：2”，表示从 3 号端子引出的导线要接到 KM2 的动断触点 2 号端子上；在 2 号端子处标记有“KM1：3”，表示从 2 号端子引出的导线要接到 KM1 的动合触点 3 号端子上。“KM1：A”表示接触器 KM1 的线圈 A 端，“KM2：A”表示接触器 KM2 的线圈 A 端。

用中断线法表示的电气控制接线图一般适用于大型系统。



想一想

在检修时如果没有电路原理图，能不能通过对照实物分析画出接线草图？

提示：如果没有电路图，最好自己对照实物画出接线草图，这将给检修工作带来很大方便。

2. 识读电气控制接线图的方法

电气控制接线图是实际接线的依据和维修时不可缺少的技术文件。根据表达对象和用途的不同，接线图有单元接线图、互连接线图和端子接线图等。它们都是在电路图的基础上编制的，且符合装配、施工要求，按各个电气元件和设备的相对安装敷设位置来绘制。国家标准 GB/T 6988—1997《电气制图、接线图和接线表》详细规定了接线图的编制规则，其主要内容如下。

① 接线图中各电气元件的图形符号、文字符号以及它们之间的连线编号均应以电路图为准，并保持一致。

② 在接线图中，一般都应标出项目的相对位置、项目代号、端子间的电气连接关系、端子号、导线号、导线类型及截面积等。

③ 同一控制箱或控制屏上的各电气元件可直接相连，而箱（或屏）内元件与外部电气元件连接时必须经接线端子排。

④ 互连接线图中的互连关系可用连续线、中断线或线束表示。

看安装接线图时，首先要读懂电路图。结合电路图看安装接线图是看懂安装接线图的最好方法。具体来说，识读电气控制接线图可按照以下步骤和方法进行。

① 分析工作原理，从电路图中理清元件之间的电气关系，弄清楚每个元件的动作原理，特别是控制电路中控制元件之间的关系，弄清楚控制电路中有哪些控制元件与主电路有关系。

② 逐一查找电路图和接线图中元件的对应关系。由于电路图是根据电路工作原理绘制的，接线图是按电路实际接线绘制的，所以就造成了同一元件在两种图中的绘制方法可能有所区别。特别是接触器、继电器、热继电器、时间继电器等控制元件，在控制电路图中是将它们的线圈和触点画在不同位置（不同支路中），在安装接线图中是将同一继电器的线圈和触点画在一起的。

③ 认真研究连接导线的根数和所用导线的具体规格。通过对接线图进行细致观察，可得出所需导线的准确根数和所用导线的具体规格（如导线信号、长短、截面积等）。

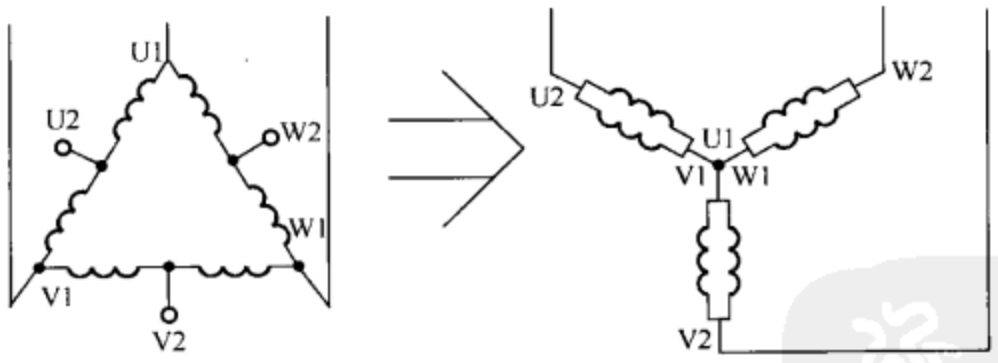
④ 根据线号分析主电路的线路走向。分析主电路的线路走向可从电源引入线开始，依次找出接主电路用电器所经过的元件。

⑤ 根据线号分析辅助电路的线路走向。分析辅助电路的线路走向可从辅助电路的电源引入端开始，依次分析每条分支线路的走向。

看图实践

例 5-2 识读双速电动机定子绕组接线图。

图 5-14 是双速电动机定子绕组接线图。在图 5-14（a）中，定子绕组接线端 U1、V1、W1 接电源，U2、V2、W2 悬空，则电动机定子绕组接成三角形，此时电动机的磁极数为 4（两对磁极），电动机低速运行。这时，每相绕组中的两个线圈串联。



（a）三角形连接　　（b）双星形连接

图 5-14　4/2 极双速电动机定子绕组变极调速接线图

在图 5-14（b）中，将接线端 U1、V1、W1 连接在一起，U2、V2、W2 接电源，则电动机定子绕组接成双星形，此时电动机的磁极数为 2（一对磁极），电动机高速运行。这时，每相绕组中的两个线圈并联。

由原来 4 极电动机改为 2 极电动机，如电源频率为 50Hz，则同步转速由 1 500r/min 变为 3 000r/min。

注意，电动机转速从低速转为高速时，为保证电动机旋转方向不变，应改变电源相序。这种定子绕组接线方法适用于车床、铣床、镗床等的主轴调速。

例 5-3 识读两地控制同一电动机启动/停止的原理图。

两地控制同一电动机启动/停止的电路如图5-15所示。由于主电路与本节前面介绍的主电路一样，这里就不再分析，仅对控制电路稍作分析。

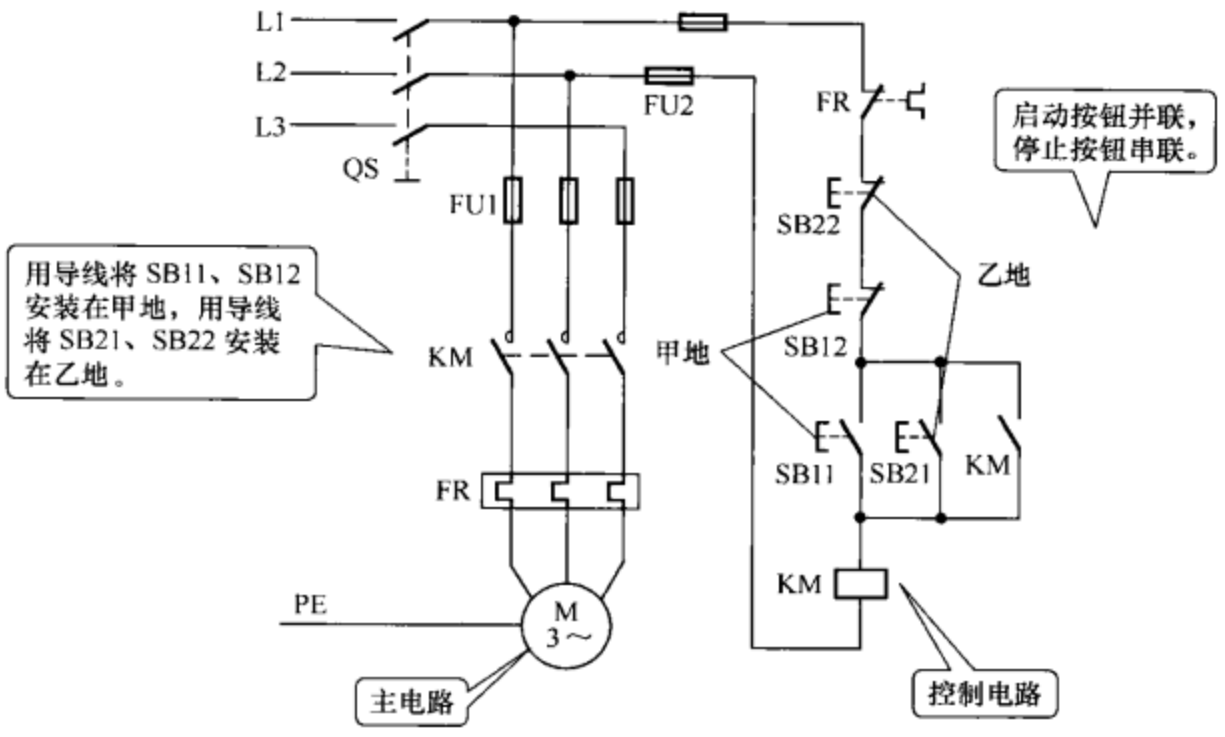


图 5-15 两地控制同一电动机启动/停止电路的电气原理图

图中的 SB11、SB12 分别为安装在甲地的启动按钮和停止按钮，SB21、SB22 分别为安装在乙地的启动按钮和停止按钮。

该电路的特点是甲乙两地的启动按钮 SB11、SB21 并联在一起，停止按钮 SB12、SB22 串联在一起。在实际现场施工时，一般通过穿线管或者线槽将标好线号的导线从电动机引到控制地点，这样就可以在甲乙两地控制同一台电动机启动、停止，达到操作方便的目的。

对于两地以上的多地控制，只要把各地的启动按钮并联、停止按钮串联就可以了。

例 5-4 识读抽水机电气原理图。

图 5-16 是农村中常用抽水机的电气原理图，它由主电路和控制电路两部分组成。

① 阅读主电路。主电路上有一台鼠笼式异步电动机，它是带动水泵的电动机，由接触器 KM1、KM2 的主触点控制。当 KM1 的主触点闭合时，通过电阻 R1～R3 把电动机与电源接通；当 KM2 的主触点闭合时，电动机直接与电源接通。至于 KM1 和 KM2 究竟在什么条件下动作，则应看控制电路。电动机的短路保护由熔断器 FU1 完成，过载保护由热继电器 FR 完成，失压和欠压保护由接触器 KM1 完成。

② 阅读控制电路。控制电路有接触器 KM1、KM2 和时间继电器 KT 三条回路。接触器 KM1 和时间继电器 KT 由按钮 SB1 控制，接触器 KM2 则由时间继电器 KT 的延时闭合动合触点控制。当合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB2 时，接触器 KM1 的线圈通电，其主触点闭合，电流经电阻 R1～R3 流向电动机，使电动机启动，KM1 的辅助触点自锁，同时时间继电器的线圈通电。经一定时间延时后，KT 的动合触点闭合，使接触器 KM2 的线圈通电并自锁，KM2 的主触点闭合，将电阻 R1～R3 短接，让电动机直接接入电源；同时 KM2 的动断触点切断 KM1 的线

圈回路，KM1 的主触点和自锁触点断开，于是时间继电器 KT 也断电释放。

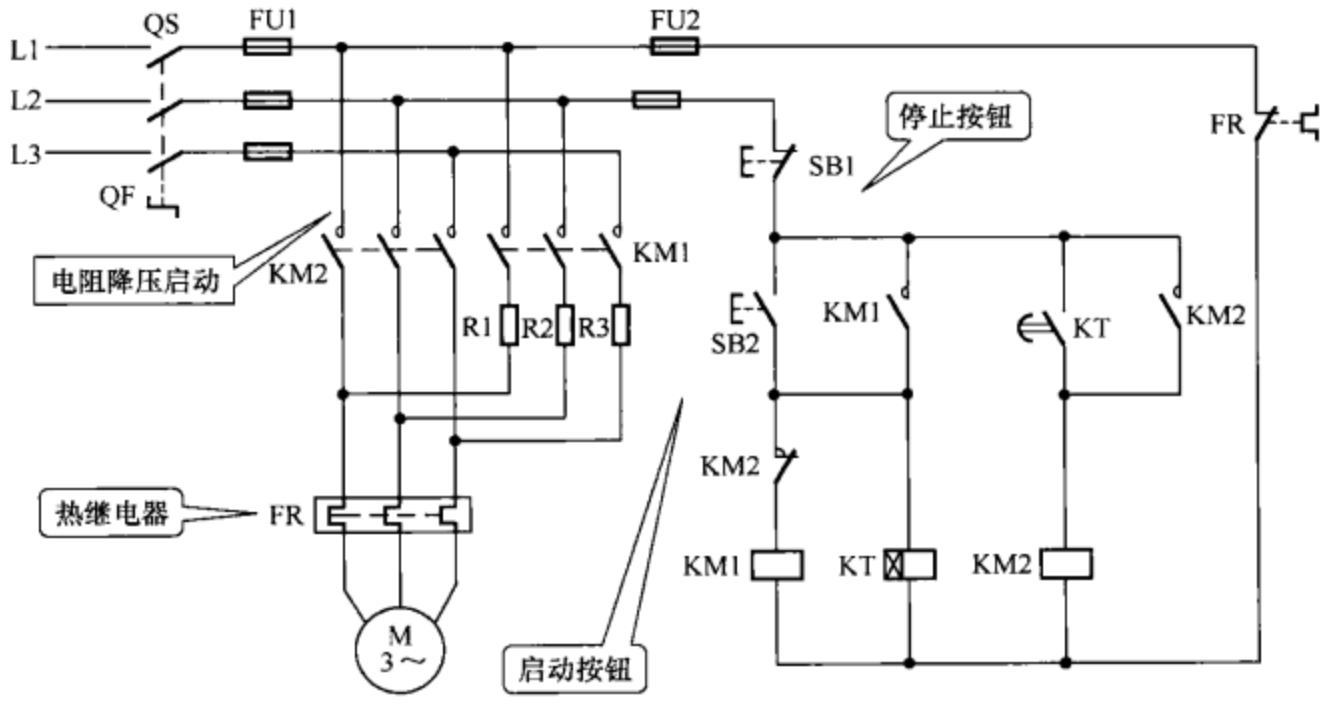


图 5-16　农用抽水机电气原理图

通过以上对电路的分析可知水泵的工作情况：首先是 KM1 通电，电动机串入电阻 R1～R3 启动，这时 R1～R3 上有一定的电压降，使加到定子绕组端的电压降低，从而限制启动电流，使之在允许范围内（此过程称为降压启动过程）。经过一定时间后，KM2 通电，再将电动机直接与电源接通，使电动机在额定电压下正常运转。电动机正常运转后，KM1 和 KT 都不起作用了，故让它们断电释放，以节约用电。这是一种简单的降压启动方法，缺点是启动时电阻 R1～R3 要消耗一定电能，所以常用于不经常启动、停止的场合。

5.2 典型机床控制电气图——流水作业程序

电气识图抓要领，先看机床大结构；
性能用途搞清楚，连带关系不能漏。
首先阅读主电路，关键设备理解透；
电路分析要深入，电机数量胸中有。
其次阅读控制图，化整为零寻入口；
单元回路分步看，启动单元先入手。
查线读图逐个看，动作流程分析够；
粗读之后再细读，边读边画记得熟。
对照实物更方便，直至读懂才放手；
经常练习多交流，工作起来心有数。

机床是我国目前工业生产中应用最广泛、最基本的电气设备。机床电气控制电路因机床的种类、功能及加工工艺不同而不同，除了各种切削运动及其辅助运动需电气控制外，还有

照明、冷却等许多电气控制内容。一般来说，机床电气控制图相对复杂，对电工初学者来说，首先要学会看懂机床电气控制系统图（包括电气原理图和电气安装图），并初步分析其工作原理，具备一定的基础后，在安装、调试、检测工作中就可以方便地与技术人员进行交流，逐步提高自己的识图能力和工作能力。

5.2.1 机床控制电气图的特点
——控制过程较复杂，分区绘制便观察

在机床设备中，电气控制系统不可或缺，可根据生产要求的不同，使生产机械处于各种运行状态。不同机械设备的工作方式、工艺要求不尽相同，因此它们的电气控制系统也有不同的特点。机床的种类很多，有车床、铣床、刨床、镗床等，主要表现在不同种类、不同型号的机床具有不同的电气控制电路图。

① 从电路结构上看，机床电路有多种，有的简单，有的复杂，其共同点是电气系统与机械系统的联系非常密切，且相互影响，相互制约。

② 有些机床，如龙门刨床、万能铣床的工作台要求在一定距离内能自动往返移动，实现对工件的连续加工，因此，常采用行程开关控制的电动机正、反转自动循环控制电路。

③ 为了使电动机的正、反转控制与工作台的前进、后退运动相配合，控制电路中常设置行程开关，并按要求安装在固定的位置上。当工作台运动到预定位置时，行程开关动作，自动切换电动机正、反转控制电路，通过机械传动机构使工作台自动往返移动。

④ 机床控制电气图一般幅面较大，内容较复杂，为了确定图中元件的位置及其用途，应对电气图进行分区。在垂直布置的电气原理图中，上方一般按主电路及各功能控制环节自左至右进行文字说明分区，并在各分区方框内加注文字说明，有利于人们对机床电气原理图的理解；下方一般按“支路居中”原则从左至右进行数字标注分区，并在各分区方框内加注数字，以方便人们对继电器、接触器等的触点位置的查阅。对于水平布置的电气原理图，则左右分区，左方自上而下进行文字说明分区，右方自上而下进行数字标注分区。

⑤ 在幅面较大的复杂电气原理图中，为了检索方便，就需在电磁线圈图形符号下方标注电磁线圈的触点索引代号，如图 5-17 所示。接触器触点索引代号分为左中右 3 栏，左栏数字表示主触点所在的数字分区号，中栏数字表示动合辅助触点所在的数字分区号，右栏则表示动断辅助触点所在的数字分区号。继电器触点索引代号分为左右两栏，左栏表示动合触点所在的数字分区号，右栏表示动断触点所在的数字分区号。

机床电气控制电路的组成仍然可分为主电路和控制电路（包括辅助电路）。看图的一般方法是采用查线识图法，即先看主电路，再看控制电路，并用控制电路的各个支路去研究主电路的控制程序，“化整为零”，对若干个局部控制电路“各个击破”。

一般来说，机床电气控制电路都比较复杂。识图前，首先应阅读说明书，从说明书上了解或分析机械设备对电力拖动有哪些要求，了解这台机床设备有什么特殊的功能。看机床设备的工作运行简图及动作流程图，如果说明书上没有这些内容，也可从设备的操作规程或方法中去了解，然后自己画出一张动作流程图。此图未必一定要画得十分准确，在细读时可再作修改。

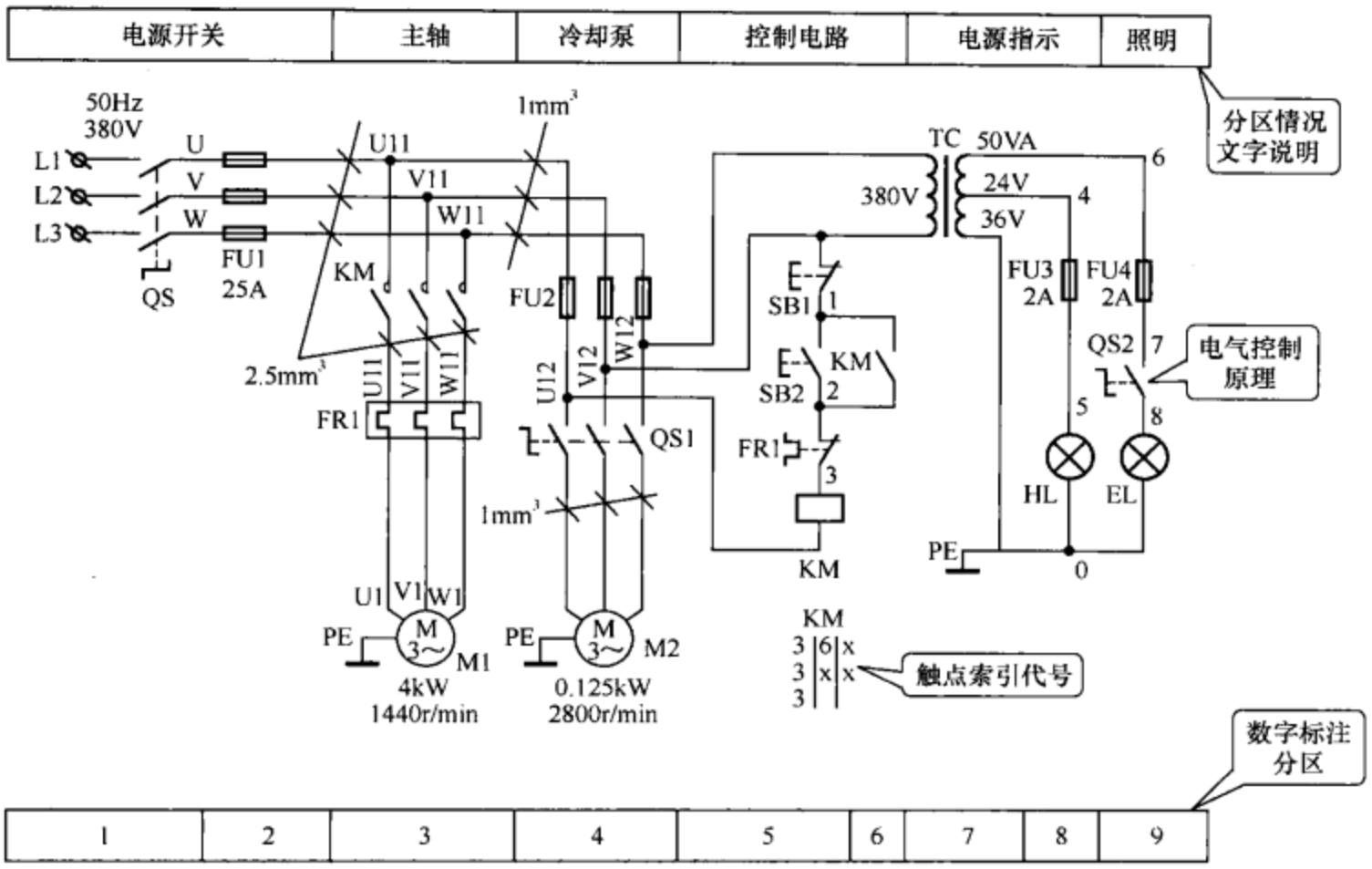


图 5-17　机床电气原理图示例

查线识图法的要点如下。

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，分析各电动机和执行电器的控制内容，包括本章前面已经介绍了的电动机启动、转向控制、调速和制动等基本控制电路。

① 看电源，分清电源电压的等级是 220V 还是 380V。一般生产机械所用的电源均是 380V、50Hz 的三相交流电源，需采用直流电源的设备往往采用直流发电机或整流装置供电。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。

② 注意分清电动机的接线。有的电动机采用 Y 形接线或 YY（双星）形接线，有的电动机采用△形接线，有的电动机采用 Y-△形接线。

③ 注意电动机的运行要求。有的电动机要求始终以一个速度运转，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（顺向做功，反向走空车等）。

④ 弄清楚用电设备是用什么电气元件控制的。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。

⑤ 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气元件，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，如断路器中的电磁脱扣器及热过载脱扣器、熔断器、热继电器、过电流继电器等。

2. 分析控制电路

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，用本章中前面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电源还是直流电源，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。

② 了解控制电路中所采用的各种继电器和接触器的用途。如果电路中采用了一些特殊结构的继电器，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 结合主电路的要求，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垂直线之间的，因此，也就可以从左到右或从上到下进行分析。

复杂的控制电路在电路中构成一个大支路，这个大支路又分成几个独立的小支路，每条小支路控制一个用电器或一个动作。当某个小支路形成的闭合回路中有电流流过时，支路中的电气元件（接触器或继电器）便动作，把用电设备接入或切除电源。在控制电路中，一般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功能等。

④ 分析电气元件之间的相互关系。电路中的一切电气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个支路中，有时表现在几个支路中。

⑤ 分析其他电气设备和电气元件（如整流设备、照明灯等）。

3. 分析辅助电路中的执行元件

在信号、显示与照明等辅助电路中，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器件来控制的，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措施。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，可灵活运用所学过的电子技术、变

流技术、自控技术、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，特别是要从整体角度去进一步检查和了解各控制环节之间的联系，以便清楚地理解电路图中每一个电气元件的作用、工作过程及主要参数。

上面所介绍的读图方法和步骤只是一般的通用方法，需通过对具体电路的分析逐步掌握，只有不断总结才能提高识图能力。

思路点拨

机床电气控制电路的分析步骤

① 了解机床的主要结构、运动方式以及各部分对电气控制的要求。

② 分析主电路。了解各电动机的用途、传动方案、控制方法及其工作状态。

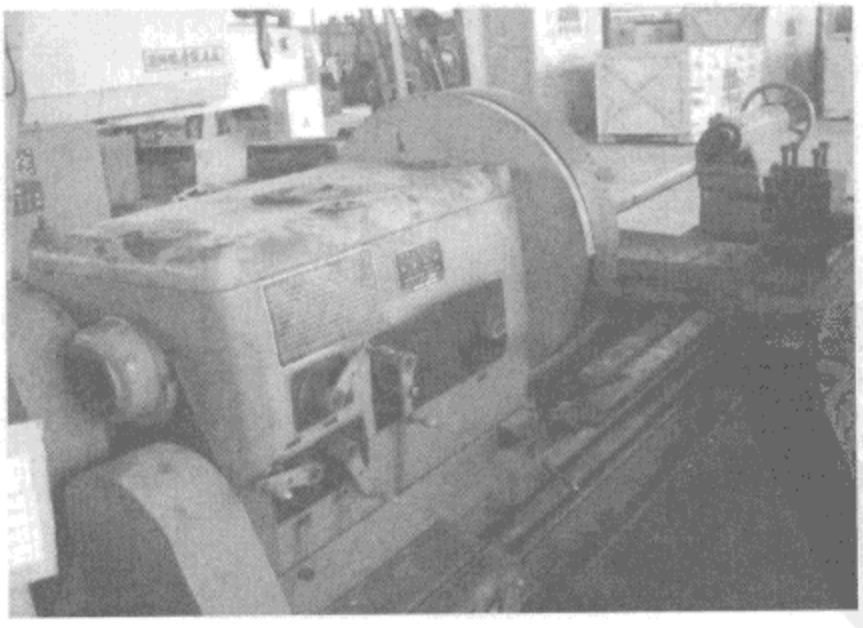
③ 分析控制电路和执行电路，将其拆分成基本环节来分析各主令电器（如操作手柄、开关、按钮）在电路中的功能。

④ 分析电路中所能实现的保护、连锁及信号和照明电路的控制。

5.2.2 识读常用机床控制电路图
——典型电路先熟悉，特殊功能慢分析

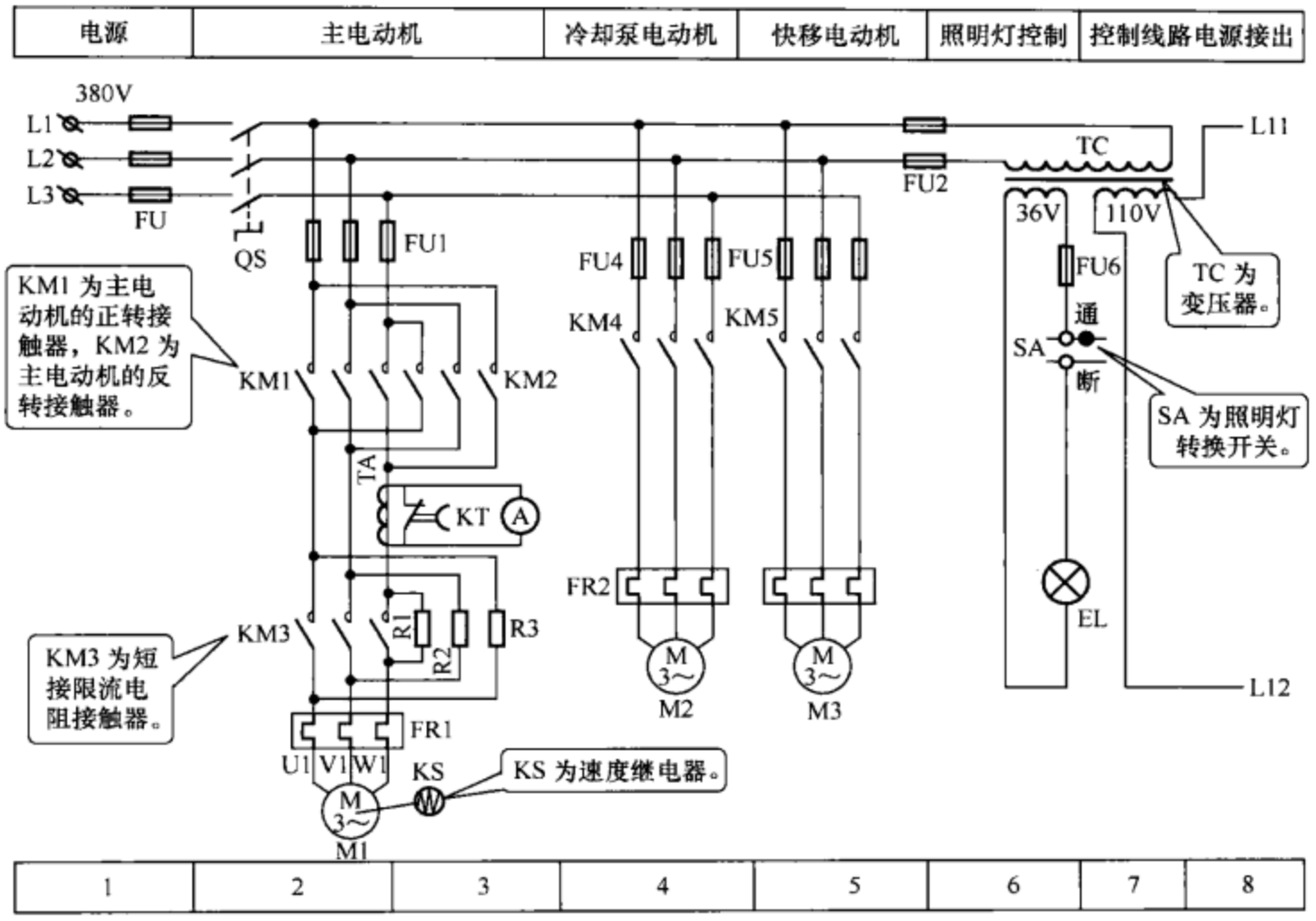
1. 识读 C650 型卧式车床电气控制电路图

图 5-18（b）、（c）为 C650 型卧式车床电气控制电路图。

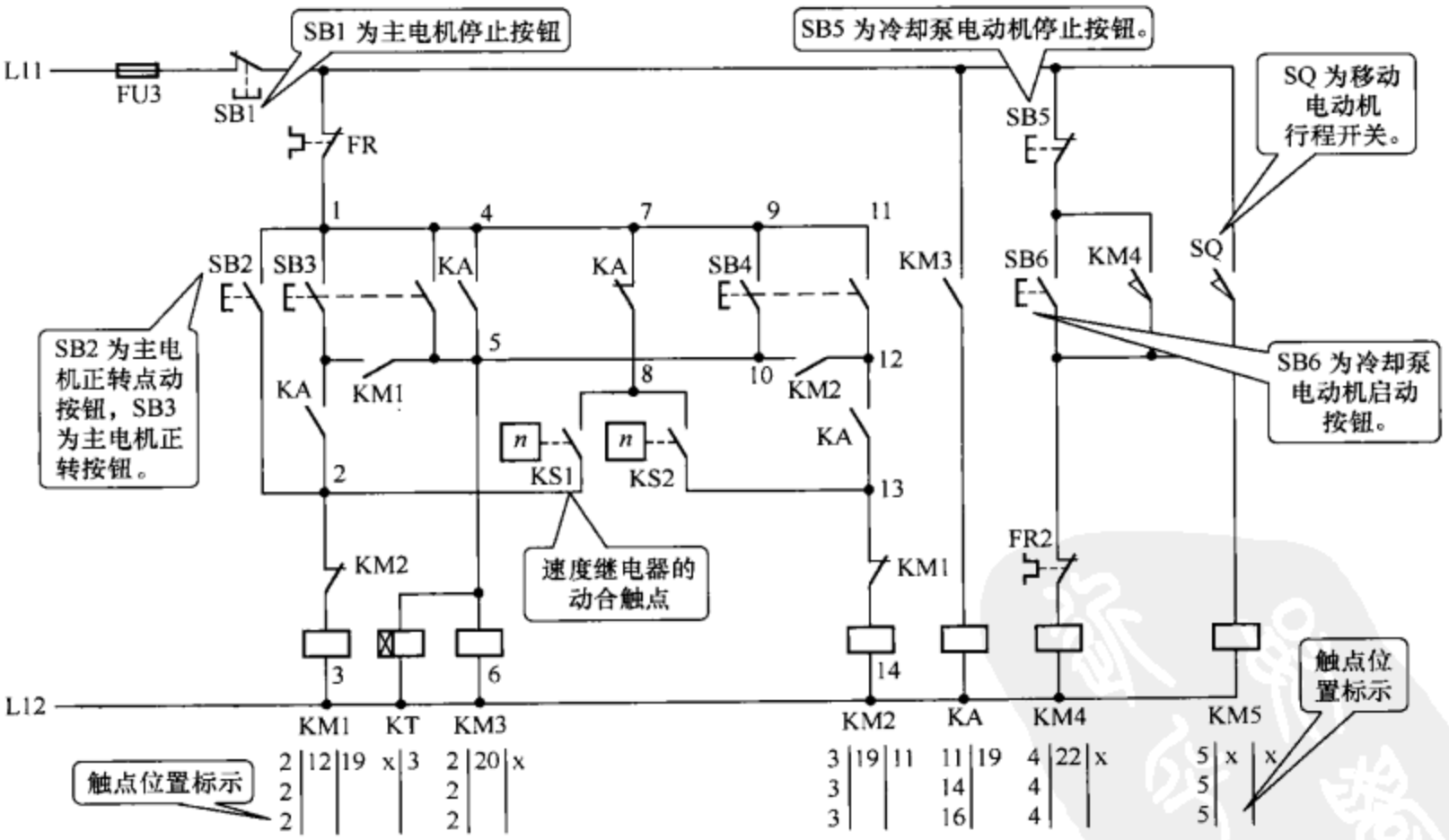


（a）C650 型卧式车床

图 5-18　C650 型卧式车床电气控制电路图



（b）电路图一



（c）电路图二

图 5-18　C650 型卧式车床电气控制电路图（续）

（1）识读主电路

该车床主电路中有 3 台电动机的驱动电路，三相电源由隔离开关 QS 引入。

主电动机 M1 的接线分为 3 个部分：一是由 KM1 和 KM2 的两组主触点构成电动机的正反转接线；二是电流表 A 经电流互感器 TA 接在主电动机 M1 的动力回路上，用于监视电动机绕组工作时的电流变化；三是限流电阻，该电阻用于在进行点动调整时防止连续的启动电流造成电动机过载，保证电气设备正常工作。

速度继电器 KS 的速度检测部分与电动机的主轴同轴相连，当主电动机转速为零时，KS 的动合触点可将控制电路中反接制动的相应电路切断，完成停车制动。

交流接触器 KM4 的主触点控制电动机 M2 的动力电路的接通与断开。电动机 M3 由交流接触器 KM5 控制。

主电路中设置有熔断器的短路保护环节和热继电器的过载保护环节，以保证主电路的正常运行。

（2）识读控制电路

控制电路可划分为主电动机 M1 的控制电路和电动机 M2 与 M3 的控制电路两部分。

① M1 的正反转启动与点动控制电路。

图 5-19 所示为主电动机 M1 的正反转启动与点动控制电路。SB3 为正转启动按钮，按下 SB3 时，交流接触器 KM3 和时间继电器 KT 的线圈得电，KT 的动断触点在主电路[见图 5-18（b）] 中短接电流表 A，经延时断开后，电流表 A 接入电路正常工作。KM3 的主触点将主电路中的限流电阻 R1～R3 短接，KM3 的辅助动合触点同时将中间继电器 KA 的线圈回路接通，KA 的动断触点将停车制动的基本电路切除，其动合触点与 SB3 的动合触点均处于闭合状态，KM1 的线圈回路得电工作，其主触点闭合，电动机正向直接启动。反向直接启动控制过程与此相同，启动按钮为 SB4。

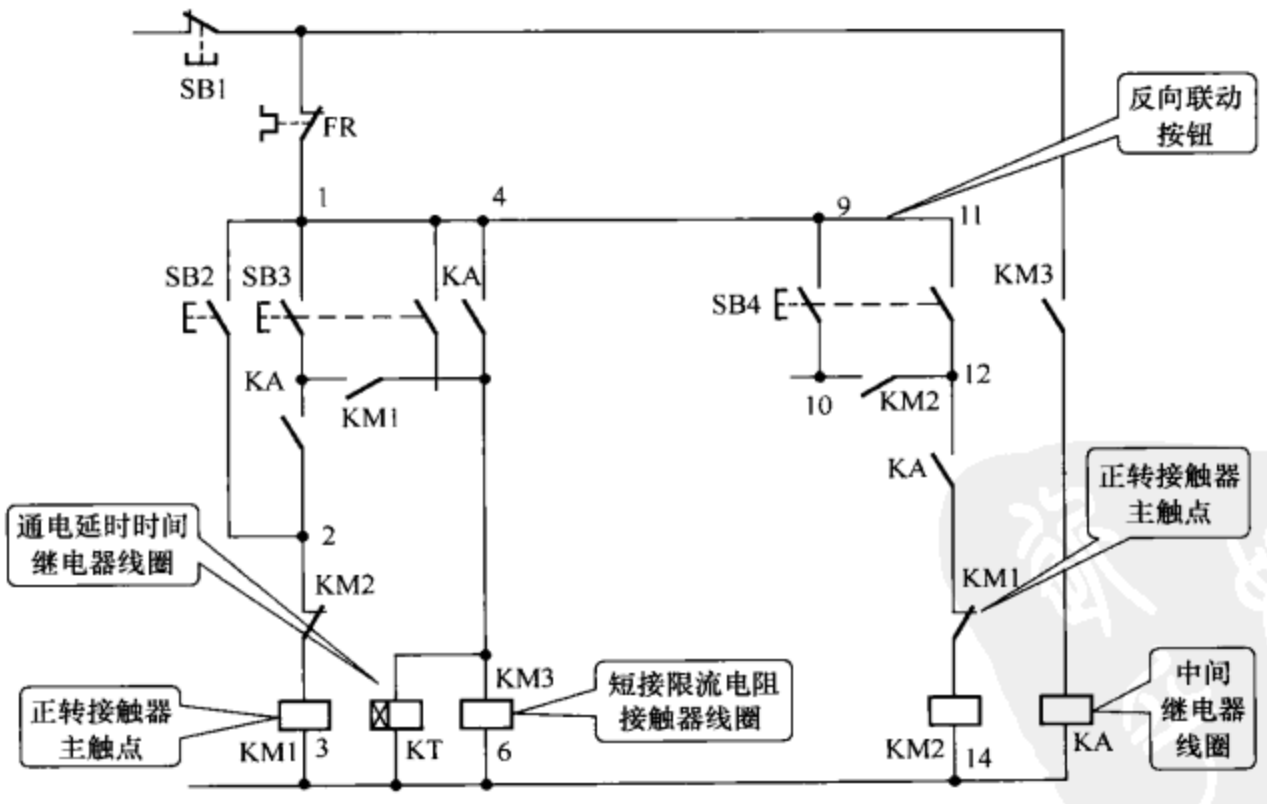


图 5-19　主电机启动与点动控制电路

SB2 为点动控制按钮，按下 SB2 时，M1 正向直接启动。这时 KM3 的线圈回路并没接通，

因此其主触点不闭合，限流电阻 R1～R3 接入主电路进行限流，KM3 的辅助动合触点不闭合，KA 的线圈不能得电工作，从而使 KM1 的线圈不能持续通电。松开按钮 SB2 后，M1 停转，实现对主电动机的点动控制。

② M1 反接制动控制电路。

图 5-20 所示为主电动机 M1 的反接制动控制电路。电动机正向转动时，速度继电器 KS2 的动合触点闭合，制动电路处于准备状态。按下停车按钮 SB1 后，KM1、KM3 和 KA 的线圈均失电，此时 KA 的动断触点闭合，与 KS2 触点一起将 KM2 的线圈回路接通，M1 反向启动。反向启动转矩将平衡正向惯性转动转矩，强迫电动机迅速停转。当电动机转速趋近于零时，速度继电器 KS2 的触点复位打开，切断 KM2 的线圈回路，完成正转的反接制动。M1 反转时的反接制动过程与此类似，读者可自己分析。

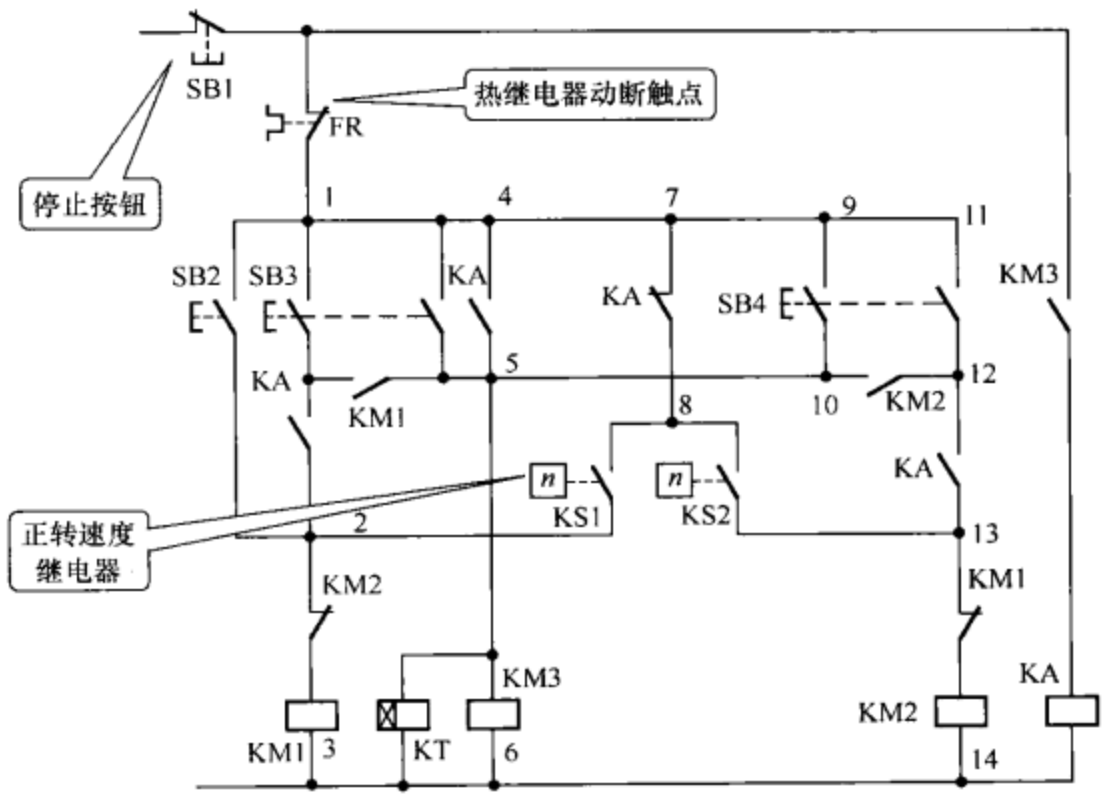


图 5-20　主电机反接制动控制电路

③ 刀架快速移动和冷却泵电动机的控制电路。

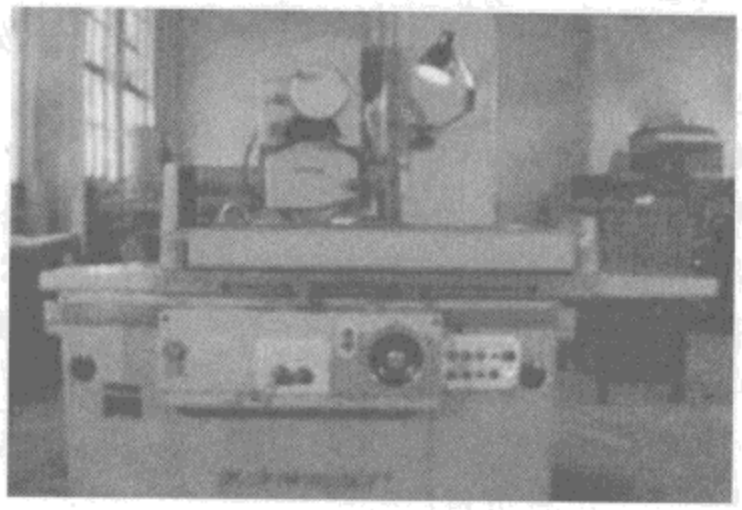
转动刀架手柄压动位置开关 SQ，接通快速移动电动机 M3 的控制接触器 KM5 的线圈回路，KM5 的主触点闭合，电动机 M3 启动，经传动系统驱动溜板箱带动刀架快速移动。

冷却泵电动机 M2 由启动按钮 SB6、停止按钮 SB5 控制接触器 KM4 的线圈回路的通断来进行控制。

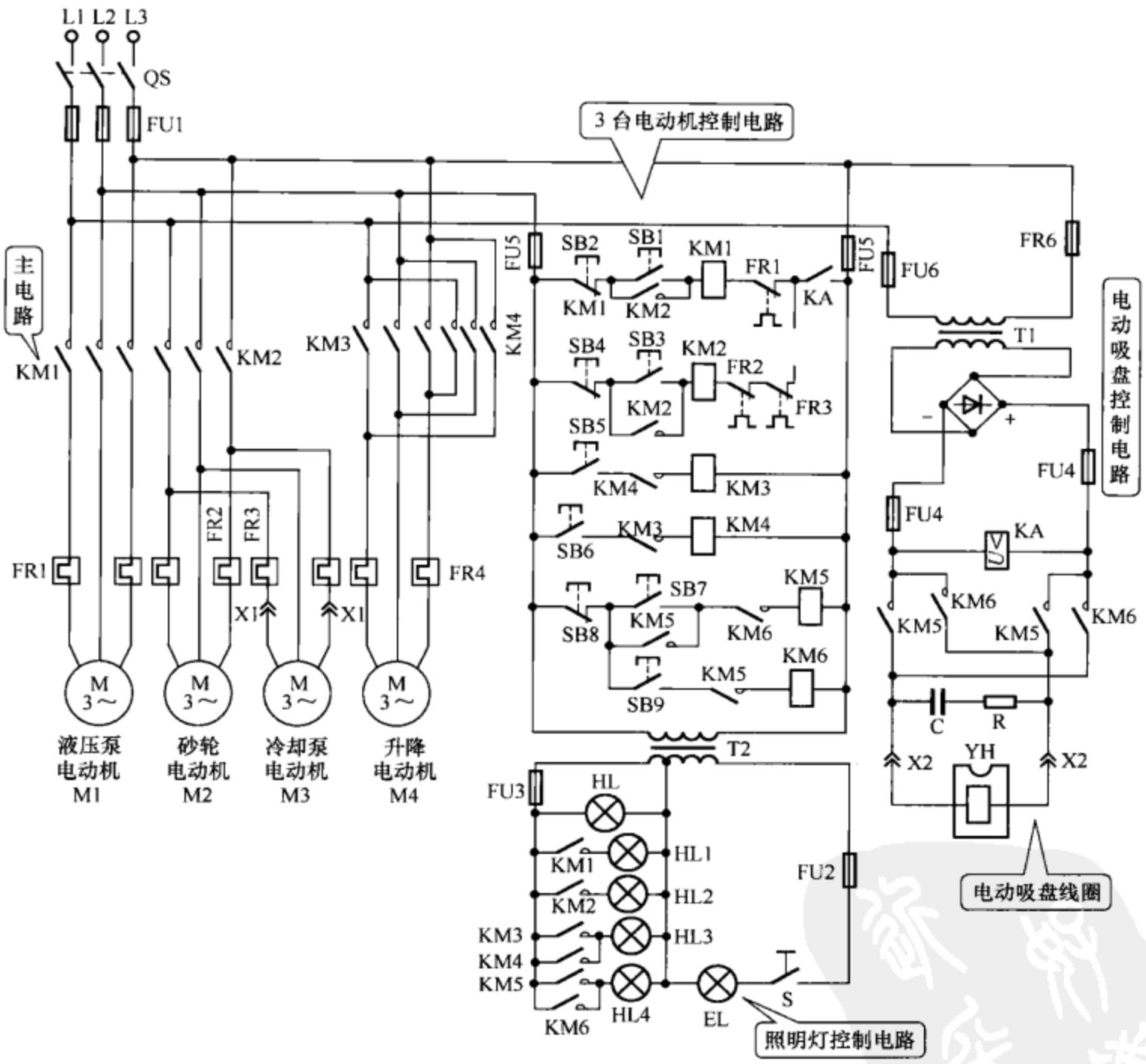
2．识读 M7120 型平面磨床电气控制电路图

M7120 型平面磨床电气控制电路主要由主电路、控制电路、照明和指示灯电路及电磁工作台电路等组成，如图 5-21（b）所示。

需要砂轮电动机 M2 以及冷却泵电动机 M3 工作时，按下按钮 SB3 后，接触器 KM2 便得电吸合，此时砂轮电动机和冷却泵电动机可同时工作，正向运转。停车时，只需按下停止按钮 SB4，就可让这两台电动机停止工作。



（a）M7120 型平面磨床



（b）M7120 型平面磨床电气控制电路图

图 5-21　M7120 型平面磨床及其电气控制电路图

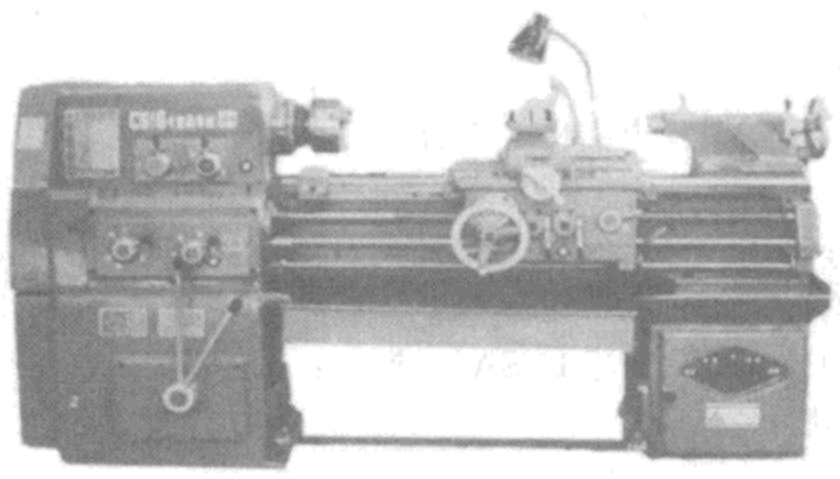
如果需要操作升降电动机作升降运动，按下点动按钮 SB5 或 SB6 即可升降；停止升降运

动时，只要松开按钮即可。

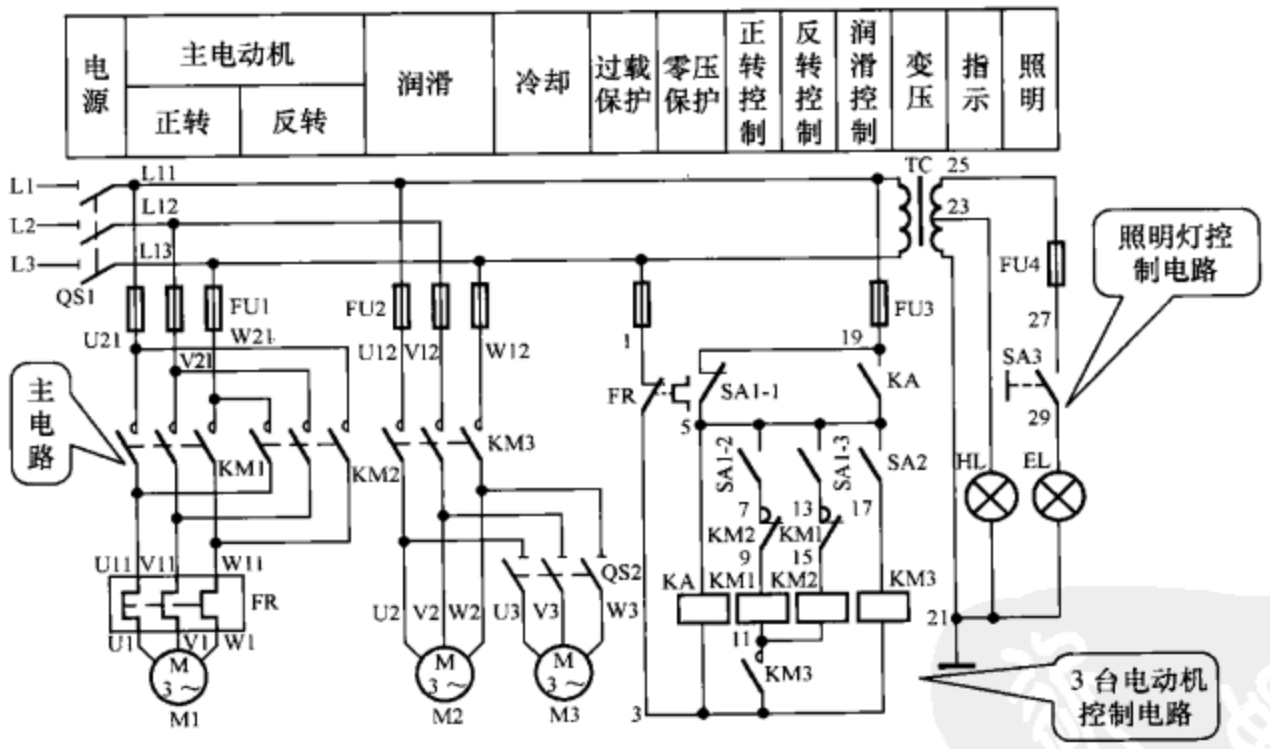
若需要操纵电磁工作台，可把工件放在工作台上，按下按钮 SB7，接触器 KM1 吸合，把直流 110V 电压接入工作台内部线圈中，让产生的磁通与工件形成封闭回路，这样就把工件牢牢地吸住，以便对工件进行加工操作。按下 SB8，电磁工作台便失去吸力。有时工件本身存在剩磁，为了去磁，可按下按钮 SB9，让接触器 KM6 得电吸合，此时工作台通入反向直流电，可进行退磁。待退磁完成后，松开按钮 SB9，即可将工件取下。

3. 识读 C616 型车床电气控制电路图

图 5-22（b）为 C616 型车床电气控制电路图。



（a）C616 型车床



（b）C616 型车床电气控制电路图

图 5-22　C616 型车床及其电气控制电路图

该电路由 3 部分组成：从电源到 3 台电动机的电路称作主电路，这部分电路中通过的电流大；由接触器、继电器等组成的电路称作控制电路，采用 380V 电源供电；第三部分是照明及指示电路，由变压器 TC 的次级供电，其中指示灯 HL 的电压为 6.3V，照明灯 EL 的电

压为 36V 安全电压。

该车床一共使用了 3 台电动机。其中，M1 为主电动机，通过 KM1 和 KM2 的控制可实现正、反转，并设有过载保护、短路保护和零压保护环节；M2 为润滑电动机，由接触器 KM3 控制；M3 为冷却泵电动机，它除了受 KM3 控制外，还可根据实际需要由转换开关 QS2 进行控制。

① 启动准备：合上电源开关 QS1，接通电源，变压器 TC 的次级有电，指示灯 HL 点亮。合上 SA3，照明灯 EL 点亮。

由于 SA1-1 为动断触点，故 L13→1→3→5→19→–L11 的电路接通，中间继电器 KA 得电吸合，它的动合触点（5-19）接通，为开车做好准备。

② 润滑泵、冷却泵启动：在启动主电动机之前，先合上 SA2，接触器 KM3 吸合。一方面，KM3 的主触点闭合，使润滑泵电动机 M2 启动运转；另一方面，KM3 的动合辅助触点（3-11）接通，为 KM1、KM2 吸合准备了电路。这就保证了先启动润滑泵，使车床润滑良好后才能启动主电动机。在润滑泵电动机 M2 启动后，可合上转换开关 QS2，使冷却泵电动机 M3 启动运转。

③ 主电动机启动：SA1 为鼓形转换开关，它有一对动断触点 SA1-1，两对动合触点 SA1-2 及 SA1-3。当启动手柄置于“零位”时，SA1-1 闭合，两对动合触点均断开；当启动手柄置于“正转”位置时，SA1-2 闭合，SA1-1、SA1-3 断开；当启动手柄置于“反转”位置时，SA1-3 闭合，SA1-1、SA1-2 断开。

主电动机的工作过程如下：当启动手柄置于“正转”位置时，SA1-2 接通，电流经 L13→1→3→11→9→7→5→19→L11 形成回路，接触器 KM1 得电吸合，其主触点闭合，使主电动机 M1 启动正转。同时，KM1 的动断辅助触点（13-15）断开，它与反转接触器 KM2 连锁。

若需主电动机反转，只要将启动手柄置于“反转”位置，这时 SA1-3 接通，SA1-2 断开，接触器 KM1 释放，正转停止，并解除了对 KM2 的连锁，接触器 KM2 吸合使 M1 反转。

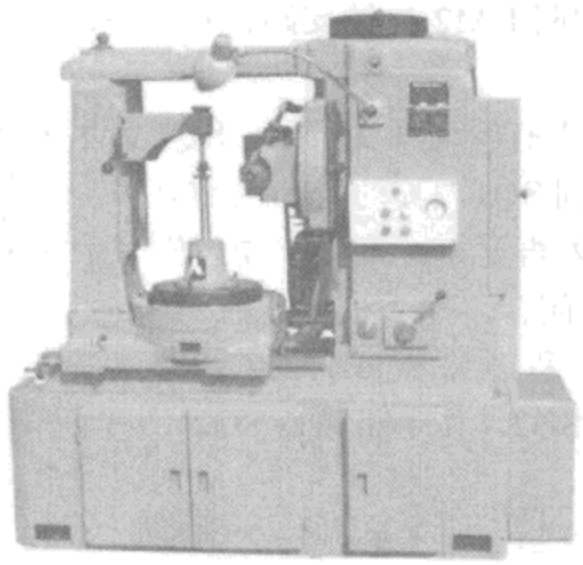
主电动机 M1 需要停转时，只要将 SA1 置于“零位”，这时 SA1-2 及 SA1-3 均断开，主电动机的正转或反转均停止，并为下次启动做好准备。

④ 零压保护：零压保护又称为失压保护，它是电动机在正常工作过程中因外界原因断电时电动机停止运转，而恢复供电以后确保电路不会自行接通，电动机不会自行启动运转的一种保护措施。本电路的零压保护是通过中间继电器 KA 实现的。当启动手柄不在“零位”，即电动机 M1 在正转或反转工作状态下断电时，中间继电器 KA 断电释放，其动合触点（5-19）断开。恢复供电后，由于手柄不在“零位”，SA1-1 断开，KA 不会吸合，它的动合触点（5-19）不会自行接通，电动机 M1 不会自行启动，因而起到了零压保护的作用。

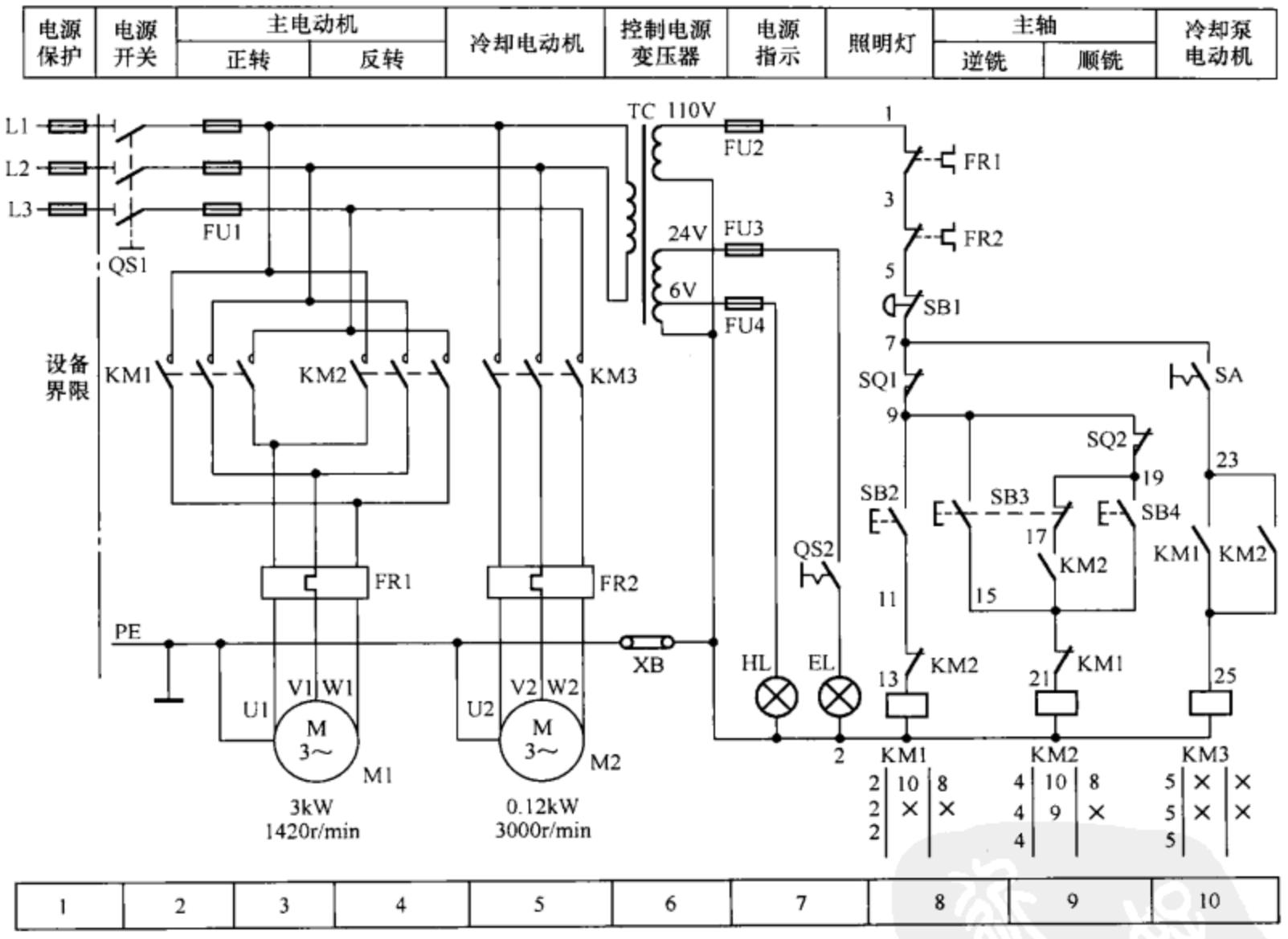
4. 识读 Y3150 型齿轮机床的电气控制电路图

Y3150 型齿轮机床的电气控制电路如图 5-23（b）所示。该机床主电路中有两台电动机，其中 M1 是主轴电动机，由接触器 KM1、KM2 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；M2 为冷却泵电动机，由接触器 KM3 控制其单向运行，为切削工件时输送冷却液。

FU1 用于 M1 和 M2 的短路保护，热继电器 FR1、FR2 分别用于 M1、M2 的长期过载保护。



（a）Y3150 型齿轮机床



（b）Y3150 型齿轮机床的电气控制电路图

图 5-23　Y3150 型齿轮机床及其电气控制电路图

根据电动机 M1 主电路中控制电器主触点的文字符号 KM1，在图区 8 中可找到 KM1 线圈回路，该电路为点动控制电路，SB2 为点动按钮。根据电动机 M1 主电路中控制电器主触点的文字符号 KM2，在图区 9 中找到 KM2 线圈回路，它为点动与连续运行控制电路。SB3 为点动按钮，按下 SB3，其动合触点（9-15）闭合，使 KM2 得电吸合，但 SB3

的动断触点（19-17）断开，切断 KM2 自锁支路；松开 SB3，KM1 失电释放。SB4 为启动按钮。

在 KM1 和 KM2 线圈回路中有行程开关 SQ1。SQ1 为滚刀架工作行程的极限开关，当滚刀架超出工作行程时，撞铁撞到 SQ1，其动断触点 SQ1（7-9）断开，切断 KM1、KM2 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 SQ1，让 SQ1（7-9）复位闭合，然后机床才能工作。

在 KM2 线圈回路中还有行程开关 SQ2。SQ2 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 SQ2，其动断触点 SQ2（9-19）断开，使 KM2 失电释放，电动机 M1 自动停车。

根据电动机 M2 主电路中控制电器主触点的文字符号 KM3，在图区 10 中找到 KM3 的线圈回路，该电路由接触器 KM1、KM2 及转换开关 SA 控制。

① 主轴电动机 M1 的控制。按下启动按钮 SB4，KM2 得电吸合并自锁，其主触点闭合，电动机 M1 启动运转。按下停止按钮 SB1，KM2 失电释放，M1 停转。按下点动按钮 SB2，KM11 得电吸合，电动机 M1 反转，使刀架快速向下移动。松开 SB2，KM1 失电释放，M1 停转。按下点动按钮 SB3，其动合触点 SB3（9-15）闭合，使 KM2 得电吸合，其主触点闭合，电动机 M1 正转，使刀架快速向上移动，SB3 的动断触点 SB3（19-17）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。当主轴电动机 M1 启动后，闭合转换开关 SA，使 KM3 得电吸合，其主触点闭合，电动机 M2 再启动，供给冷却液。

想一想

常见机床控制电路的主电路主要由哪些元件组成？其电路结构有什么特点？

知识链接

巧读机床电气图

① 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，而只有触点，这些触点的动作是依靠外力或其他因素实现的，需要找到其所依靠的外力。

② 当某一个接触器、继电器得电或失电后，其所有触点都要动作，但其中有的触点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，而其中有些触点动作后并不立即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点，把所有触点所带动的前后级电气元件的状态改变全部找出来。有多少副触点就有多少条支路，不得遗漏。

③ 根据各种电气元件（如速度继电器、时间继电器、电流继电器、压力继电器及温度继电器等）在电路中的作用进行分析。例如，若电动机主轴上连接有速度继电器，则表明该电动机采用按速度控制原则组成的制动停车电路；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。

5.3 识读起重设备电气图——正反转操控特例

起重电机受操控，间歇工作为特点。
供电电压三百八，一般采用软电缆。
控制电路支路多，逐个分析关键点。
工作过程是基础，电路分析看触点。
电气连锁作保证，保护失控有危险。
用途不同电路异，知晓功能和特点。
化整为零识读法，识图还得抓重点。

起重机是一种起吊和移动大型重物的机械设备。它对于减轻工人劳动强度、提高生产率、促使生产过程实现机械化起着重要的作用，是现代化生产不可缺少的工具之一。起重机的形式很多，常用的有塔式、桥式和门式等大型起重设备和电动葫芦、卷扬机、建筑用电梯等起重设备。

起重机的工作特点是作间歇性运动，即在一个工作循环中进行取料、运移、卸载等动作的相应机构是交替工作的。换句话说，起重机各机构经常处于启动、制动和正反方向运转的工作状态，时开时停，有时轻载，有时重载，工作很不稳定。因此，电动机需要频繁启动、制动、调速、反转，同时承受大的过载和机械冲击。起重设备对电力拖动的要求是，要有较大的调速范围，启动和制动平稳、迅速。

起重机的操作方式很多，既可在司机室内操纵，也可在地面上用按钮操纵，还可以采用有线或无线远距离控制方式。当要完成固定程序的作业时，可以采用程序控制的方法自动完成多种动作。因此，起重机的控制电路也比较复杂。

5.3.1 电路特点和识图方法
——控制作为突破口，读图分析好入手

小型起重设备一般只有一个升降机构，它只能使重物作单一的升降运动。桥式起重机可以使挂在吊钩或其他取物装置上的重物在一定的立体空间内实现垂直升降或水平运动。尽管起重设备的种类很多，但其电气系统备一般由三大部分组成：供配电与保护系统，各主要机构、辅助机构的电力拖动与控制系统，照明、信号、采暖降温等设施。

1. 电路特点

不同形式起重设备的应用场合不同，控制电路也各有特点，其主要特点如下。

① 供电电源为交流 380V，由公共的交流电源供给。由于起重机在工作时经常移动，一般采用可移动的电源设备供电。

② 一般采用软电缆供电，软电缆可随大、小车的移动而伸展和叠卷，多用于小型起重机；

也常采用滑触线和集电刷供电，3 根主滑触线沿着平行于大车轨道的方向敷设在车间厂房的一侧。三相交流电源经由 3 根主滑触线与滑动的集电刷加到起重机驾驶室内的保护控制柜上，再从保护控制柜引出两相电源至凸轮控制器。另一相称为电源的公用相，它直接从保护控制柜接到各电动机的定子接线端上。

③ 由于起重机工作环境大多比较恶劣，而且经常进行重载下频繁启动、制动、反转、变速等操作，因此，要求电动机具有较高的机械强度和较大的过载能力，同时要求启动转矩大、启动电流小，所以多选用绕线式异步电动机。

④ 电路设计时较多地考虑了调速性能。普通起重机调速范围一般为 3∶1，要求较高的地方可以达到 5∶1～10∶1。提升开始或重物下降至预定位置附近时都需要低速，所以在 30%额定速度内分成几挡，以便于操作。

⑤ 提升的第一级作为预备级，是为了消除传动间隙和张紧钢丝绳，以避免过大的机械冲击，因此启动转矩不能大，一般限制在额定转矩的一半以下。当下放负载时，根据负载大小，电动机的运行状态可以自动转换为电动状态、倒拉反接状态或再生发电制动状态。

⑥ 电气线路的复杂程度与起重机械的吨位、控制与保护要求及安装环境等有关，但一般都有比较完善可靠的电气保护环节和十分安全可靠的制动装置（电气的或机械的）。

2. 识图方法

① 熟悉起重设备电气系统的组成。如轻型、小型起重机和桥式起重机的电气系统就有所不同，识图时一定要结合电气系统的特点去分析。

② 了解起重设备的功能和自动控制技术的特点。例如起重机有无装配其他设备，有无特殊吊具（如起重机电磁铁、电动或液压抓斗、旋转吊钩等）。

③ 熟悉起重设备对电气控制的基本要求，例如调速性能、调速方法、制动方式及各种安全保护和连锁环节。

④ 根据各个部分的组成及相互之间的关系，把电气与机械结合起来分析，并查阅有关的技术资料，将电路划分成若干单元电路。然后按工作流程图从起始状态对应的功能单元电路开始，采用查线读图法逐一分析。

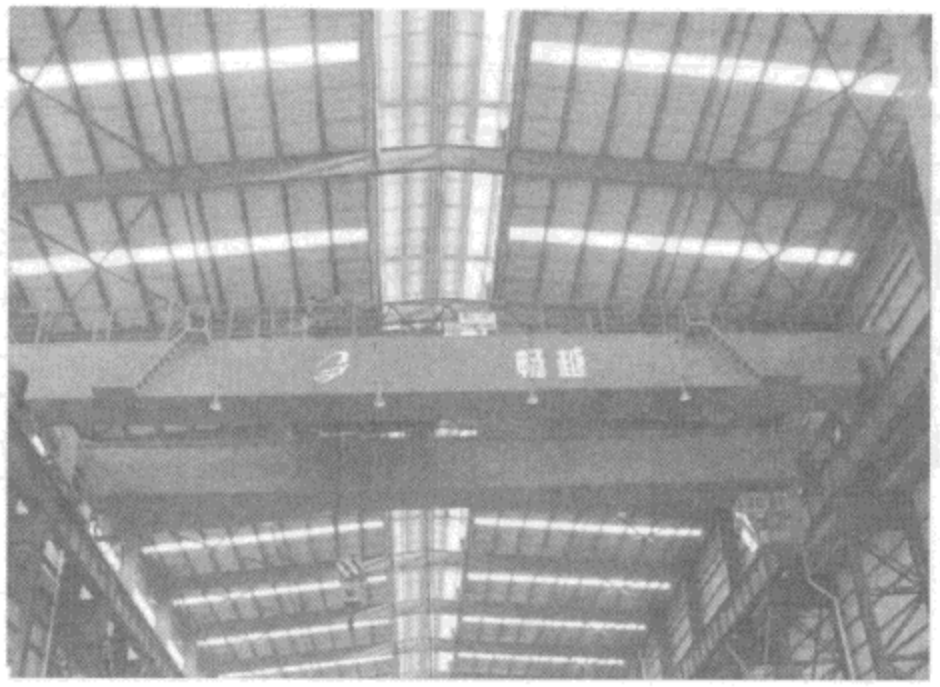


想一想　起重机控制电路的特点是什么？

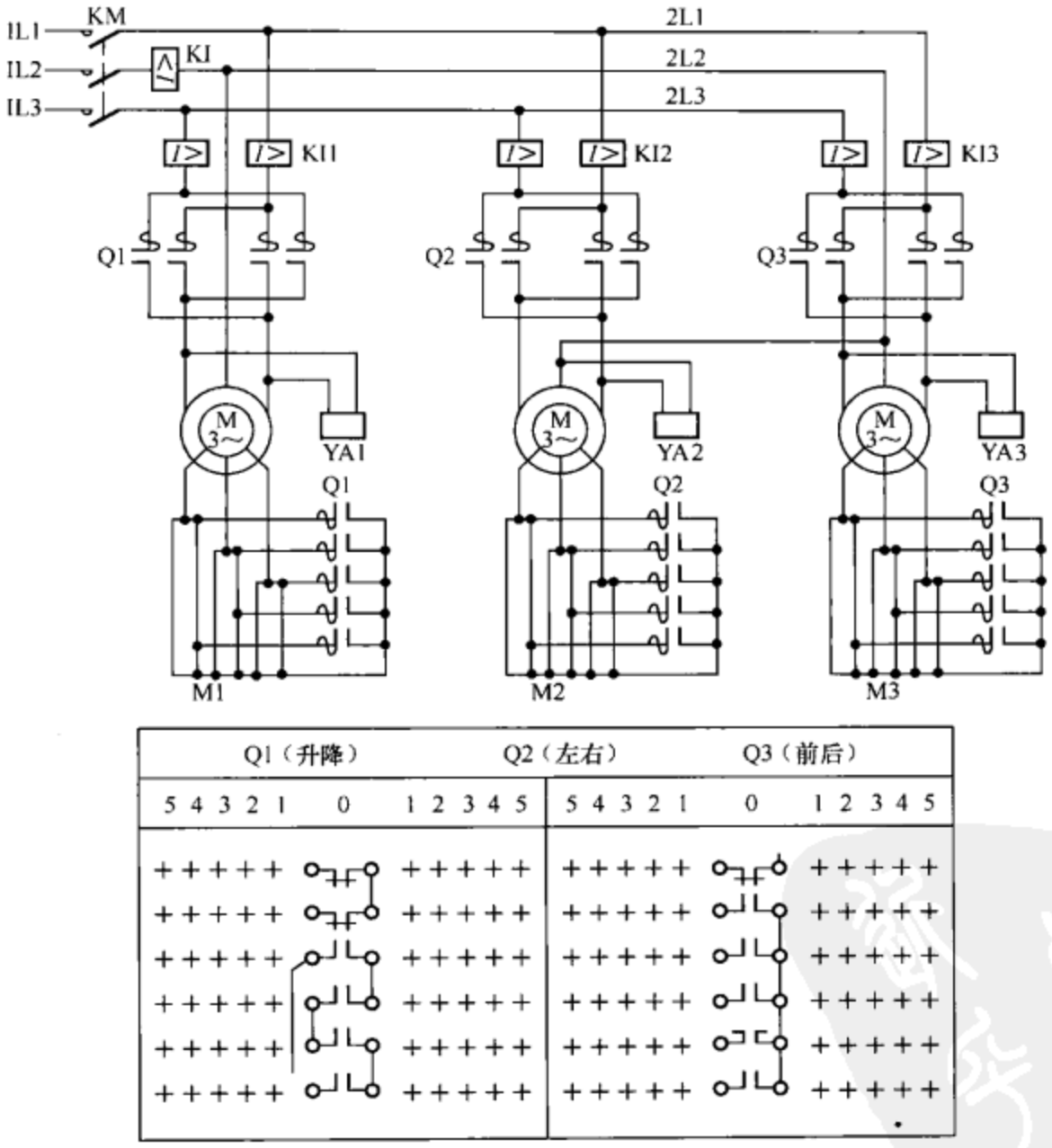
5.3.2 识读常用起重设备控制电路图
——肩负重任听召唤，主辅电路联系看

1. 识读 5t 交流桥式起重机电气控制电路图

图 5-24（b）为 5t 交流桥式起重机电气控制电路图。

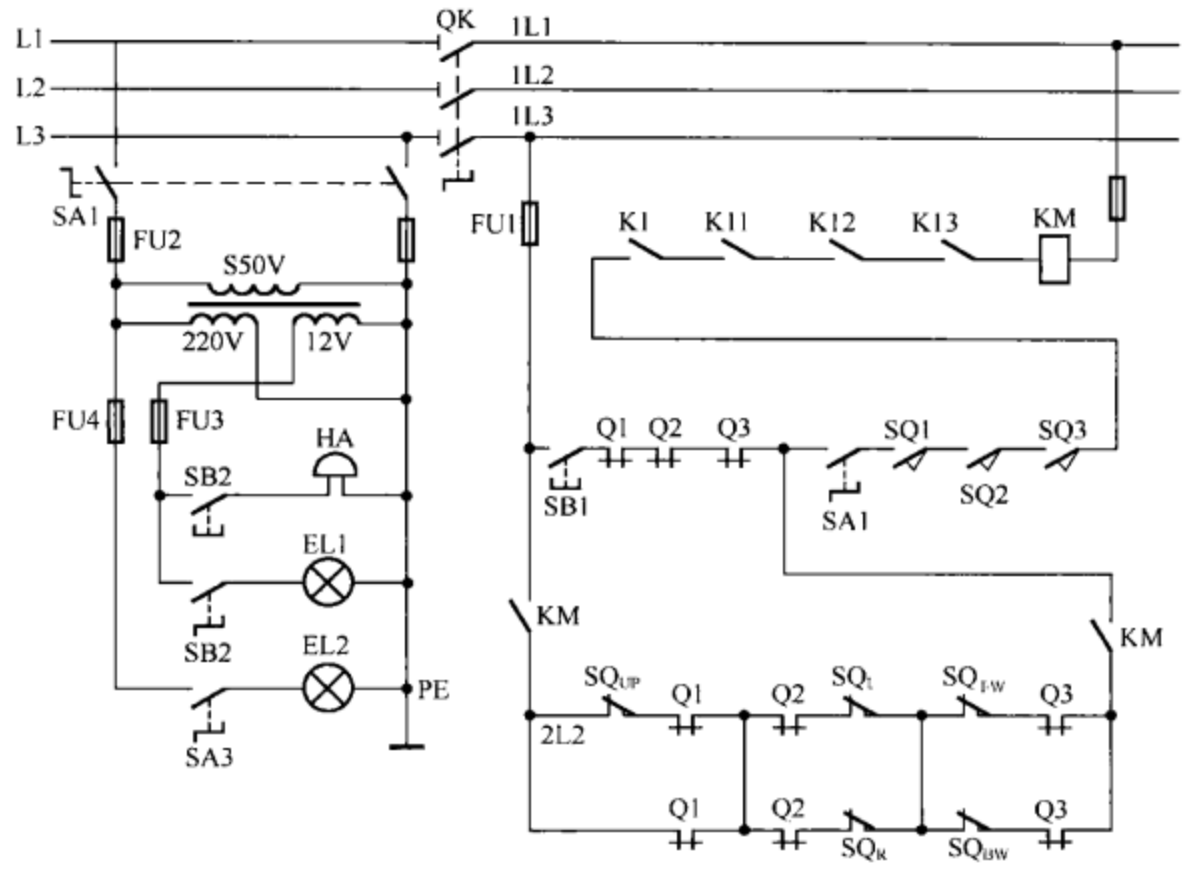


（a）桥式起重机



（b）起重机电气控制电路图

图 5-24　5t 交流桥式起重机及其电气控制电路图



（b）起重机电气控制电路图（续）

图 5-24　5t 交流桥式起重机及其电气控制电路图（续）

（1）电气设备和保护装置

5t 交流桥式起重机由吊钩、大车和小车 3 部分组成，采用三相绕线转子异步电动机拖动，电动机的启动、停止、调速、反转、保证由零位最低速开始启动及正反转的连锁功能均由凸轮控制器完成。起重机的保护配电柜设在驾驶室内，主要设有控制电器和保护电器，起安全保护和配电作用。

桥式起重机是高空作业设备，当运行中停车时，分别由相应运行机构中的制动器（YA1、YA2、YA3）进行制动，以免发生事故。

起重机各运动机构均设有极限位置行程开关，例如 SQ_{UP}（吊钩上升）、SQ_{FW} 和 SQ_{BW}（小车前后移动）、SQ_L 和 SQ_R（大车左右移动），它们都起限位保护作用。

总电源和各驱动电动机的控制电路均采用具有一定延时的电流继电器进行过电流保护。在主接触器自保回路中串接有安全保护开关 SA1（紧急停止）、SQ1～SQ3（驾驶室门及顶盖等出入口保护）等，以保证桥架上工作人员的安全。

起重机道轨必须接地或重复接地。各凸轮控制器均设有零位启动保护环节，其零位保护触点和启动按钮相串联。整个起重机电路和各控制电路均用熔断器进行短路保护。

（2）电源馈电

桥式起重机一般沿厂房纵向移动，而吊钩与小车一起又在桥架上横向移动，因此，交流起重机是用滑动接触方式供电，如图 5-25 所示。这种滑动接触供电系统通常由角钢和铸铁滑块组成。电源由 3 根主滑触线（平行于大车轨道方向敷设在厂房一侧）通过滑块引入驾驶室内的保护配电柜上。吊钩、小车上的电动机、电磁抱闸的电源由架设在大车桥架上的辅助滑触线供给。转子电缆设在桥架上，通过辅助滑触线与电动机连接。

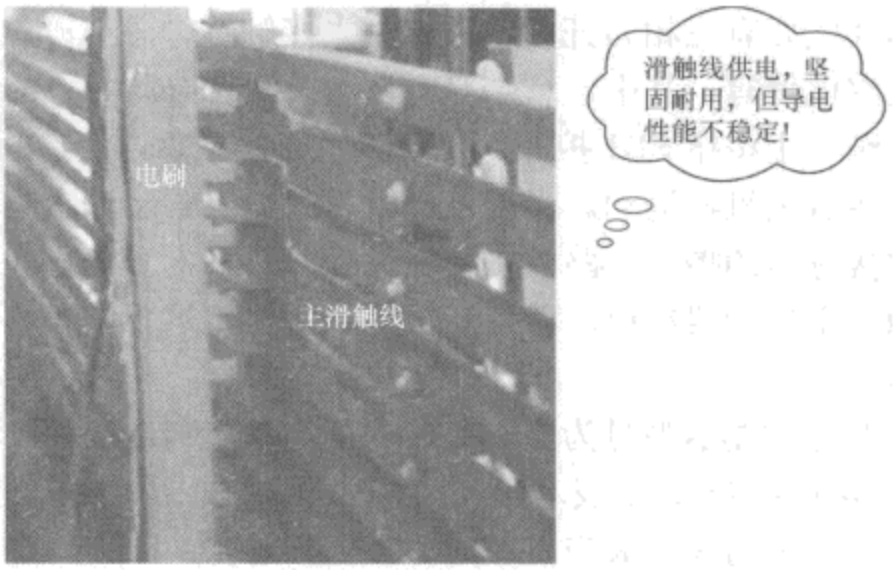


图 5-25 滑触线供电

在车间长度不太大、起重吨位不太大时，起重机电源也可用软电缆供电。

（3）保护配电柜

5t 普通桥式起重机一般配 XQB_1-150-3 型保护配电柜，其电路如图 5-26 所示，虚线框中的元件不包括在保护柜内。

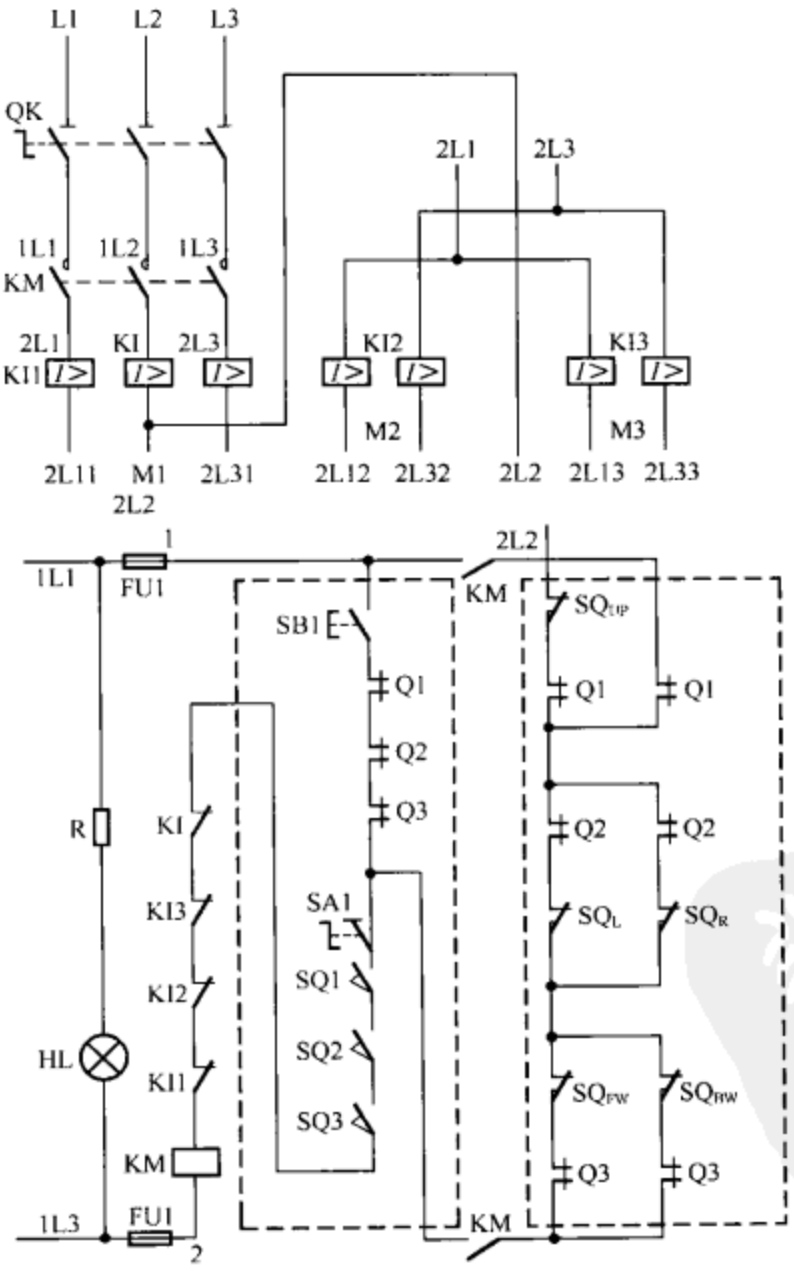


图 5-26 XQB_1-150-3 型保护配电柜简化电路原理图

保护柜中的元器件主要有三相刀开关、供电用主接触器、总电源过电流继电器和各传动电动机保护用过电流继电器等。其中，总闸 QK 是为控制总电源而设的，主接触器 KM 用来控制起重机的工作电源，由按钮 SB1 控制。当主接触器吸合后，起重机处于准备工作状态，操作凸轮控制器可使各有关机构运动。当主接触器释放后，各运动机构的电动机全部失去电源而停止工作。在主接触器的控制回路中接入有关保护元件，当任一保护元件烧毁时就会断开主接触器线圈电源，主接触器释放，各运动机构立即停止运转。

（4）凸轮控制器

5t 起重机选用的凸轮控制器型号为 KT12-25J/1。其中，KT 表示凸轮控制器，12 表示设计序号，25 表示额定电流为 25A，J 表示交流，1 表示控制一台绕线转子式三相异步电动机。普通 5 吨桥式起重机通常采用 3 台 KT12-25J/1（或 K10-25J/1、KT14-25J/1）分别控制大车、小车及吊钩电动机，其控制电路如图 5-27 所示。

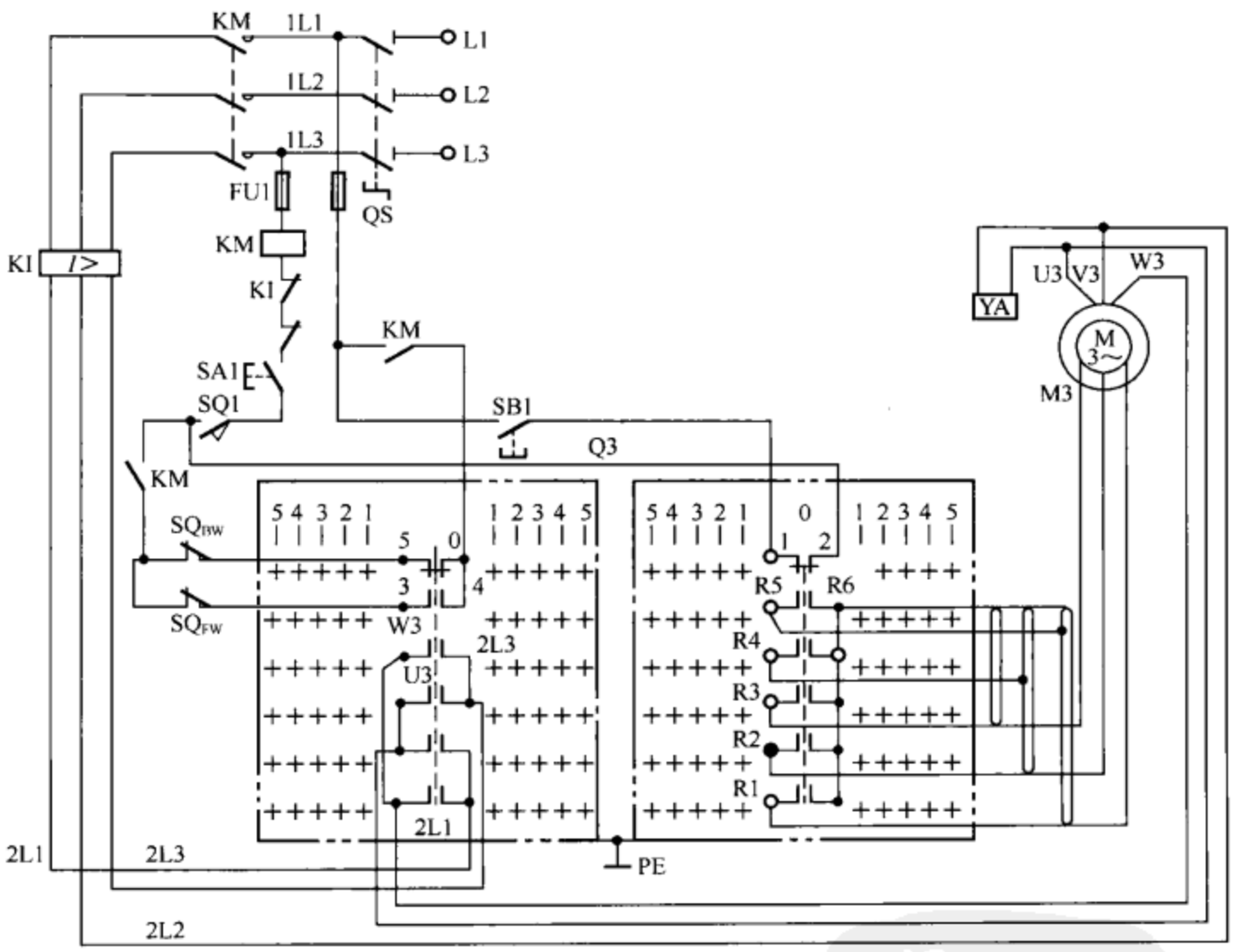


图 5-27　KT12-25J/1 凸轮控制器控制电路图

KT12-25J/1 凸轮控制器有 12 对触点，其控制功能分为如下几部分：有 4 对用于电源控制，5 对用于切换转子回路电阻，另有 2 对用于限位，还有 1 对用于零位控制，起安全保护作用。

① 电源控制。凸轮控制器的电源控制触点由电源 2L1、2L3 供电，这两路电源线从保护柜中控制该电动机的过电流继电器的输出端引来。控制器输出端分别引到该电动机（如小车电动机 M3）定子接线的 U3、W3 端，而 V3 则直接由配电柜上总过电流继电器 KI 的输出端供电，不通过控制器。其余两台电动机的第三根电源线（2L2）均由此输入（如图 5-26 所示）。

电源相序的变换受凸轮控制器控制。控制器分 5 挡，在控制器的电路中，凡带有黑点“.”的表示触点接通，无黑点的表示触点断开。控制器电源部分的 4 对触点交叉连接而使电源相序发生改变。当控制器手柄扳向左方时，转轴带动凸轮转动，控制电动机正转（人为规定这时电动机的转向为正转，起重机小车向后运动），触点 2L3 与 W 接通，2L1 与 U 接通，向电动机供电，再加上直接引入的 2L2 电源，这时电动机正转运行。如果将控制器扳向右方，2L3 与 U 接通，2L1 与 W 接通，2L3 与 U 接通，电动机电源相序发生改变，电动机反转（起重机小车向前运动）。由此可知，这 4 对触点起控制电动机启动、停止和正反转的作用。

② 调速控制。凸轮控制器用 5 对触点来切换电阻器，控制电阻值。这 5 对触点的通断状况受控制器不同挡位的控制。当控制器手柄由“0”位向左（或右）扳到“1”位时，5 对触点均处于断开状态，电动机转子回路中串入全部外接电阻，电动机开始启动。较大的电阻值限制了电动机的启动电流，并获得较大的启动转矩，电动机处于最低速的运行状态。将手柄从“1”位扳向“2”位时，电阻 R5、R6 被短接，电动机转子回路中所串电阻的阻值减小，电动机转速上升。

如需继续升速，则将控制器手柄再由“2”位扳到“3”位，这时 R4～R6 被触点短接，电动机转速又升高一挡。依此类推，电阻器逐段短接，直到最后全部被短接，电动机转子外接电阻为零，电动机处于最高速运转状态。

③ 保护控制。凸轮控制器的保护控制是指极限位置（终端）限位保护和零位启动保护两个方面。

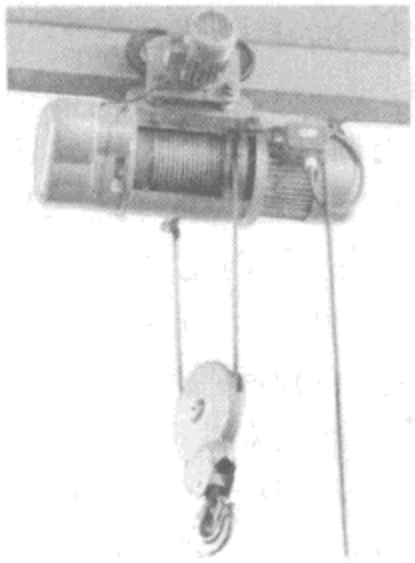
由图 5-27 可以看到，控制器的 4、5 和 3、4 两对触点分别与小车前后行程开关 SQ_{BW} 和 SQ_{FW} 的两对动断触点串联。在零位准备状态时，行程开关的两对动断触点均闭合，控制器手柄向左或向右均能正常启动电动机。但当手柄向左，即小车向后运动到极限位置而撞开向后的行程开关 SQ_{BW} 时，保护柜的总电源接触器因失电而掉闸，起重机停止运动。在控制器手柄回到零位后，启动主接触器可向反方向扳动手柄，小车反向脱离极限位置。

零位启动保护由控制器的 1、2 号触点来控制，其触点只有当控制器在零位时才闭合，在其余任何挡位时，在两个方向上都是断开的。这对触点串入保护配电柜的启停控制电路，在零位时保护柜才允许启动，并由接触器自保。在其他各挡，1、2 号触点虽然断开，因电源控制接触器的自保作用而不会掉闸。有了零位保护后，起重机就只能在 3 个凸轮控制器都处在零位时才能启动主接触器，使起重机处于准备工作状态。如果没有这种零位保护，在正常运行情况下突然停电或起重机处于全部停止状态时操作者离岗，却因人为误操作而使凸轮控制器的手柄没有扳回零位，而处在任一方向的任一挡位时，若电源恢复送电或操作者上岗使起重机处于准备工作状态（即启动主接触器），起重机就会自行启动而造成事故。

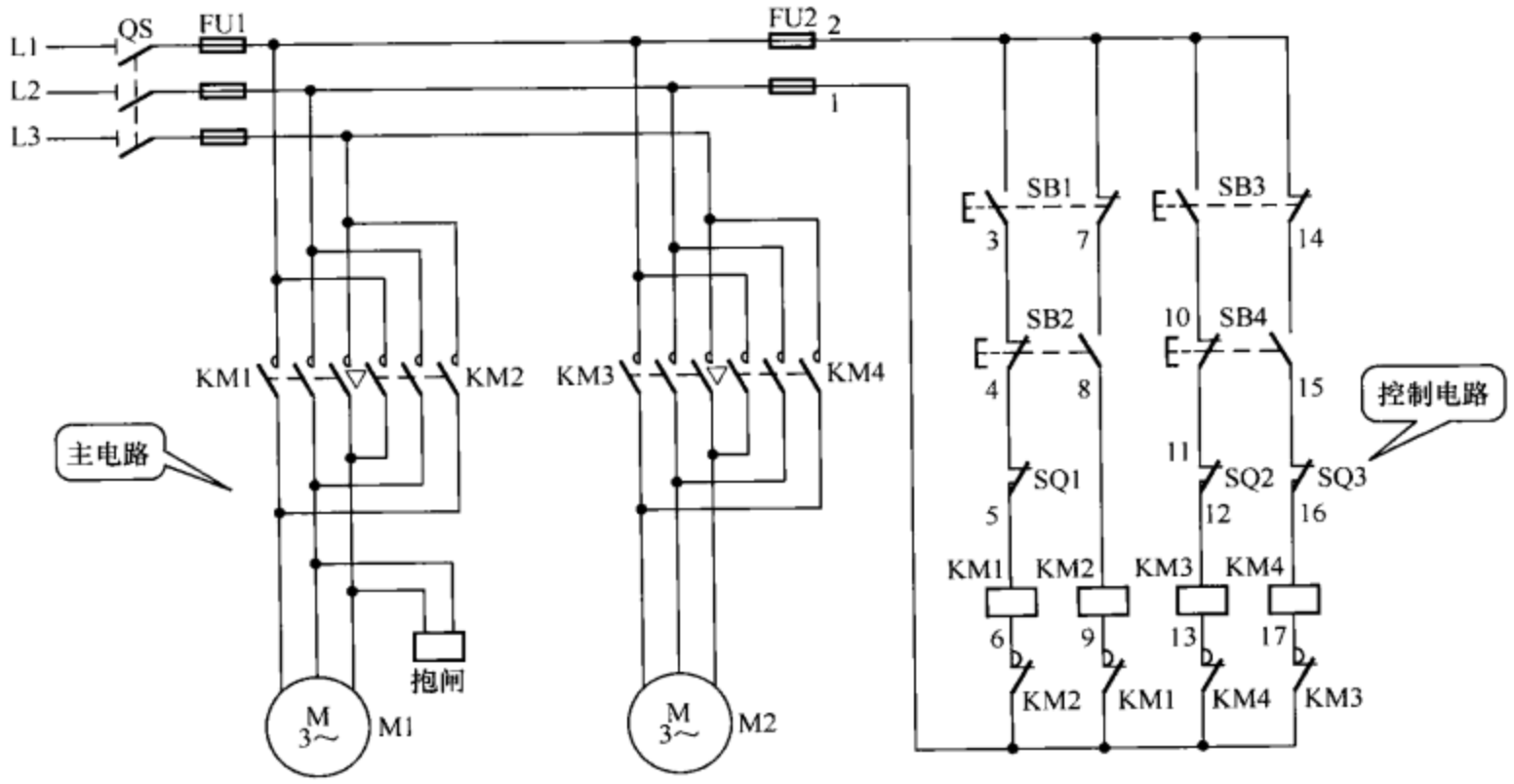
④ 制动。当运行中停止时，分别由相应运行机构中的制动器进行制动，保证准确停位和避免发生事故。常用的制动器为三相 MS1 系列及单相 MZD1 系列制动器，均是由磁铁和 TJ2 系列制动器组合而成的。制动电磁铁在无电情况下，由弹簧使制动闸瓦抱住装在电动机转轴上的制动轮而制动（刹车）。电磁铁通电时，松开制动闸瓦而让电动机自由运转，故其电源接线是各自接在所要制动的电动机定子电源端子上。

2. 识读电动葫芦电气控制电路图

电动葫芦电气控制电路如图 5-28（b）所示。



（a）电动葫芦



（b）电气控制电路图

图 5-28　电动葫芦及其电气控制电路图

（1）看主电路

三相电源通过开关 QS、熔断器 FU1 后分成两个支路。

① 通过接触器 KM1 和 KM2 的主触点到笼型电动机 M1，再从其中的电源分出 380V 电压控制电磁抱闸，完成吊钩悬挂重物时的升降、制动等动作。

② 通过接触器 KM3 和 KM4 的主触点到笼型电动机 M2，完成行车在水平面内沿导轨的前后移动。

（2）看控制电路

控制电路由两相电源引出，组成 4 条并联支路。

① 以 KM1、KM2 线圈为主体的左边两条支路用于控制吊钩升降环节。

② 以 KM3、KM4 线圈为主体的右边两条支路用于控制行车的前后移动环节。

上述两个环节分别控制两台电动机的正、反转，并用 4 个复合按钮进行点动控制。这样，当操作人员离开现场时，电动葫芦不能工作，以免发生事故。

控制电路中还装设了 3 个行程开关，限制电动葫芦上升、前进、后退的 3 个极限位置。

（3）工作过程分析

① 升降机构动作。

上升过程：按下上升按钮 SB1→接触器 KM1 的线圈得电→KM1 的主触点闭合→接通电动机 M1 和电磁抱闸电源→电磁抱闸松开闸瓦→M1 通电后正转以提升重物。同时，SB1 的动断触点（2-7）分断，KM1 的动断辅助触点（9-1）分断，将控制吊钩下降的 KM2 控制电路锁住。

上升制动过程：当重物被提升到指定高度时，松开 SBl→KM1 断电释放→主电路断开 M1 且电磁抱闸断电→闸瓦合拢，对电动机 M1 制动而使其迅速停止转动。

下降过程：按下按钮 SB2→接通接触器 KM2→KM2 得电后其主触点闭合→松开电磁抱闸且电动机 M1 反转→吊钩下降。

下降制动过程：当重物下降到要求高度时，松开 SB2→KM2 断电释放→主电路断开 M1 且电磁抱闸因断电而对电动机制动→下降动作迅速停止。

② 移动机构动作。

前进过程：按下前进按钮 SB3→接触器 KM3 的线圈得电动作→KM3 的主触点闭合→电动机 M2 通电后正转→电动葫芦前进。

前进停止过程：松开 SB3→KM3 断电释放→电动机 M2 的断电→移动机构停止运行。

后退过程：按下 SB4→接触器 KM4 得电动作→接通电动机 M2 的反转电路→M2 反转→电动葫芦后退。

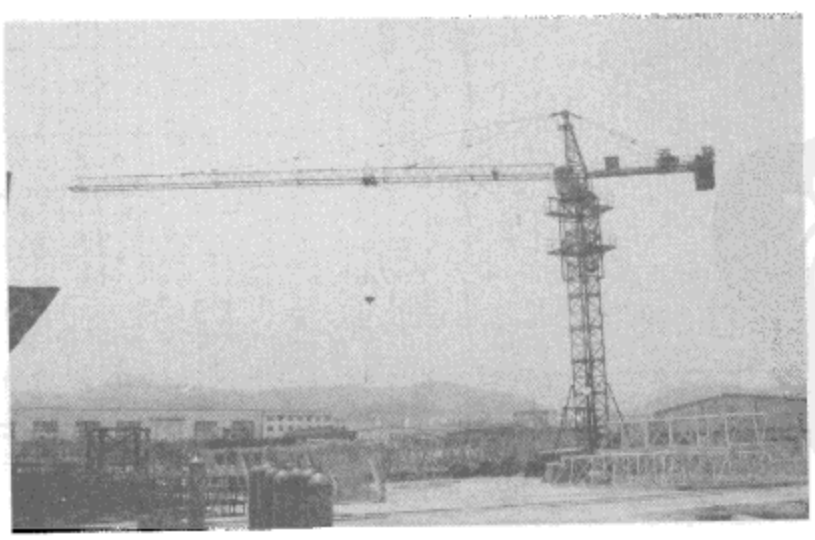
后退停止过程：松开 SB4→接触器 KM4 断电→M2 停止转动→电动葫芦停止后退。

③ 安全保护机构动作。

在 KM3 线圈供电线路上串接了 SB4 和 KM4 的动断触点，在 KM4 线圈的供电线路上串接了 SB3 和 KM3 的动断触点，它们对电动葫芦的前进、后退构成了复合连锁。行程开关 SQ2、SQ3 分别安装在前、后行程终点位置，一旦移动机构运动到该点，其撞块碰触行程开关滚轮，使串入控制电路中的动断触点断开，分断控制电路，电动机 M2 停止转动，避免电动葫芦超越行程而造成事故。

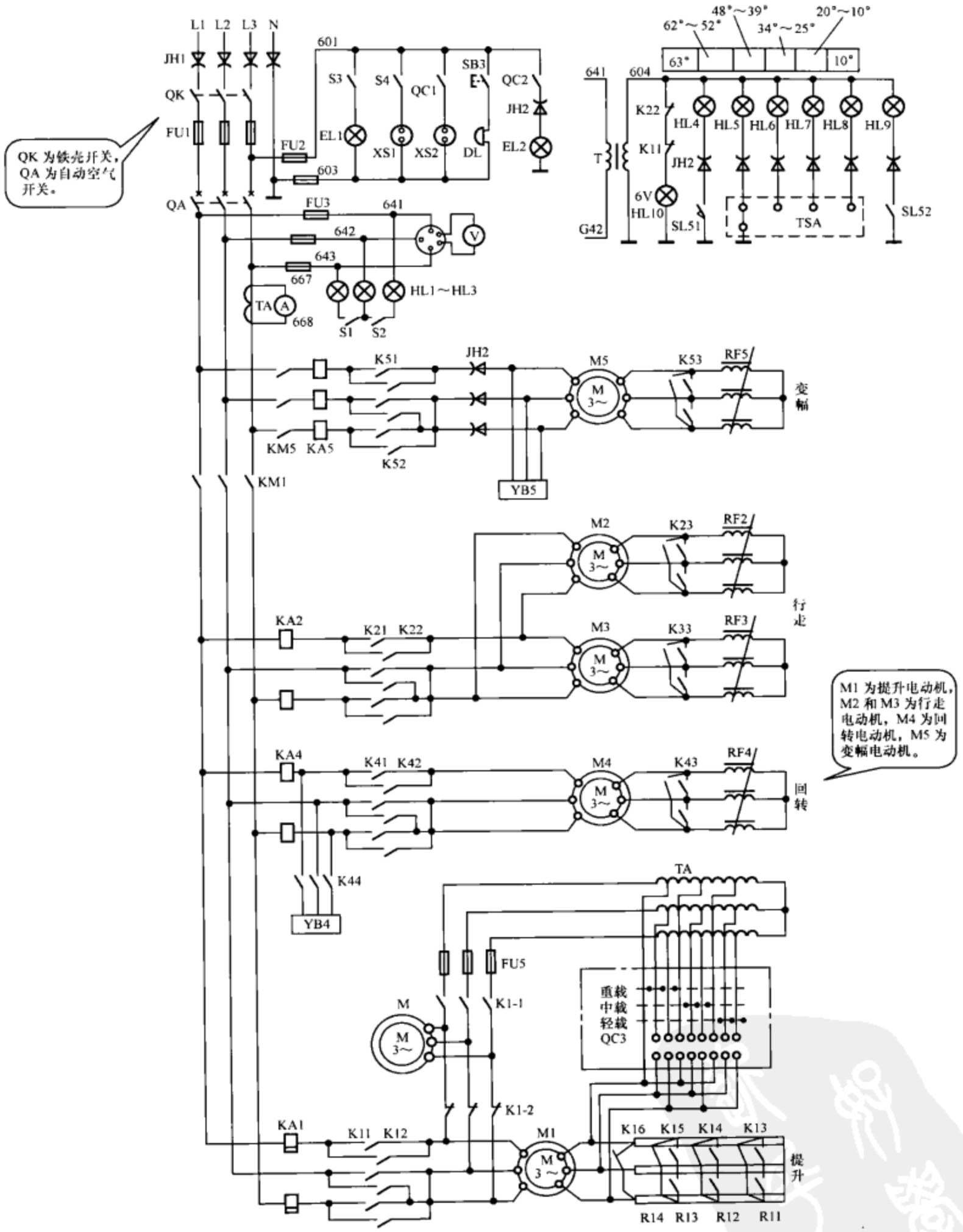
3. 识读塔式起重机控制电路图

图 5-29（b）所示为塔式起重机主电路，图 5-26（c）所示为控制电路。



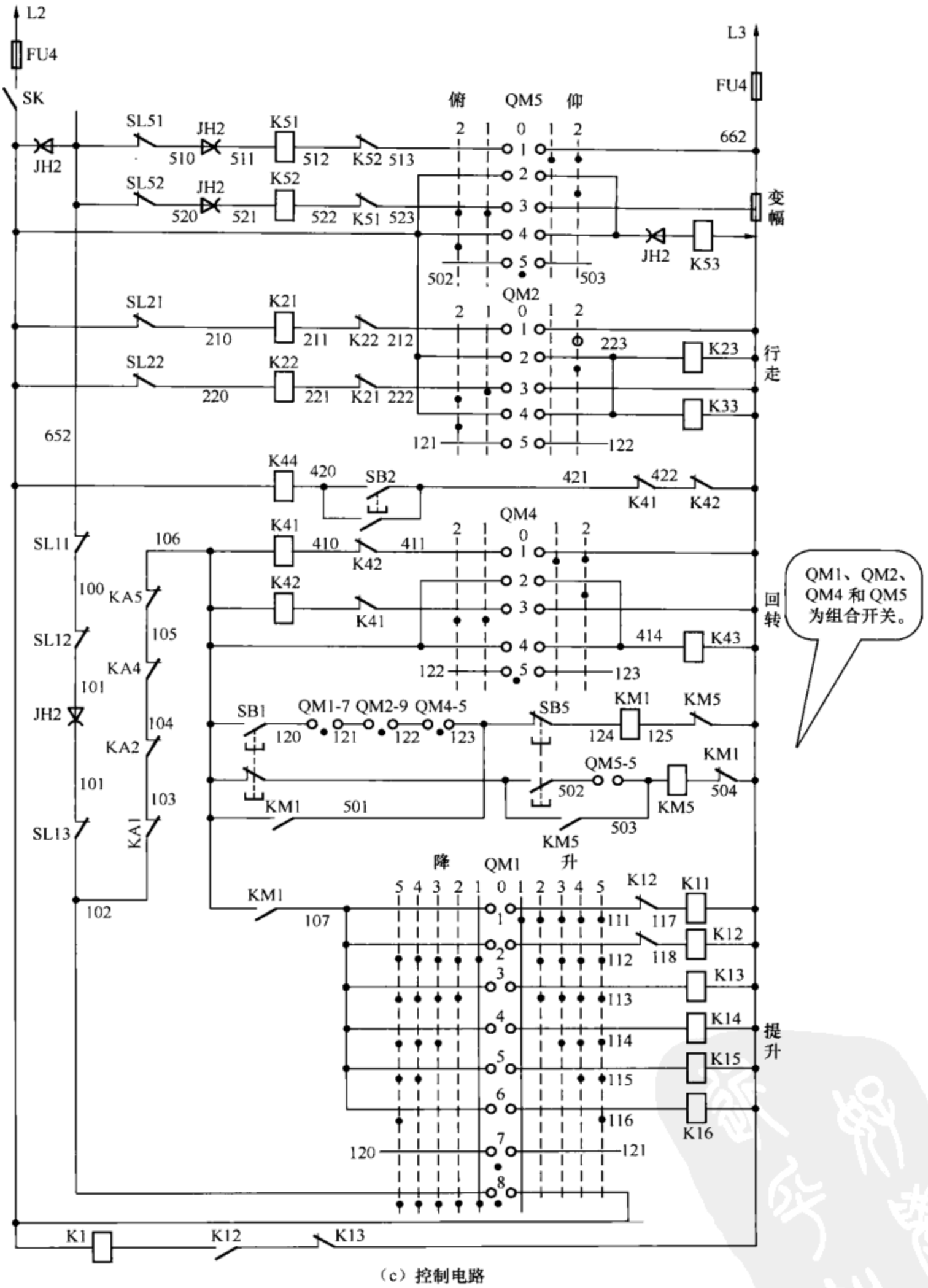
（a）塔式起重机

图 5-29　塔式起重机及其控制电路图



（b）主电路

图 5-29　塔式起重机及其控制电路图（续）



QM1、QM2、QM4 和 QM5 为组合开关。

（c）控制电路

图 5-29 塔式起重机及其控制电路图（续）

（1）看主电路

如图 5-29（b）所示，该塔式起重机共有 5 台绕线式电动机。M1 为提升电动机，M2 和 M3 为行走电动机，M4 为回转电动机，M5 为变幅电动机。在这 5 台绕线式电动机中，提升电动机 M1 采用转子串联启动电阻器启动方式，其余 4 台电动机均为转子串频敏变阻器启动。电动机的工作状态由主令控制器 QM1～QM5 控制接触器来完成转换。主令控制器是一种组合开关。

M 为鼠笼式电动机，它是电力液压推杆制动器上的电动机，接在提升电动机 M1 的电路中，在提升电动机 M1 制动时使用。JH1 和 JH2 是集电环，JH1 在起重机电缆卷筒上，JH2 在起重机塔顶。

主电路最上部是单相电器回路，包括司机室照明灯 EL1、开关翅、单相插座 XS1 和 XS2、开关 S4、电铃 DL、按钮 SB3、探照灯 EL2、开关 QC1 和 QC2。单相电器回路采用熔断器 FU2 进行短路保护。图中 N 线用接地符号表示。

单相电器的下面是塔机电源监视回路，包括电压表 V、电压表转换开关、电流表 A、电流互感器 TA、电源指示灯 HL1～HL3、开关 S1 和 S2。该回路由熔断器 FU3 进行短路保护。

单相电器回路右侧是信号灯回路，信号灯电压为 6V，由控制变压器 T 提供。HL4～HL9 是变幅幅度指示信号灯。其中，HL5～HL8 由变幅开关 TSA 控制；HL4 由位置开关 SL51 控制，是最高幅度限位信号灯；HL9 由位置开关 SL52 控制，是最低幅度限位信号灯。HL10 是提升指示灯，在提升电动机不转时点亮，由接触器 K11、K22 的动断触点控制。

从上向下的 4 台绕线式电动机为变幅、行走、回转电动机，其中两台行走电动机要同时动作，因此用一对接触器控制。每台电动机回路中都有 3 个接触器，其中编号为 K×1、K×2 的是正反转控制接触器，编号为 K×3 的是频敏变阻器控制接触器。启动完成后接触器 K×3 通电闭合，将频敏变阻器短路。每台电动机回路中都有两个过流继电器 KA× 进行过流保护。回转电动机和变幅电动机上装有制动抱闸 YB4 和 YB5。其中，YB5 在变幅电动机 M5 停转后抱死；YB4 在回转电动机 M4 停转后，用接触器 K44 控制通电抱死。

提升电动机 M1 的定子电路上也使用两个接触器进行正反转控制，使用两个过流继电器进行过载保护。不同之处在于制动装置，制动电动机 M 上端接自耦变压器 TA，自耦变压器经组合开关 QC3 接在转子电路上。在不同转速情况下，自耦变压器上的电压不同，电动机 M 的转速也不同；M 转速高，制动器就刹得松些；M 转速低，制动器刹得紧些。可以根据起重量用 QC3 选择 M 上的电压，这种制动方式只有在重物下降时使用。在提升时 M 下端接在 M1 电源上，M1 停转，制动器立刻刹车。M 的接线由中间继电器 K1 的触点控制。提升电动机转子回路串联启动电阻器，由接触器 K13～K16 分段短接切除。

（2）看控制电路

如图 5-29（c）所示，控制电路接在电源 L2、L3 两相上，用熔断器 FU4 进行短路保护。电路中使用了 4 只组合开关 QM1、QM2、QM4 和 QM5 来代替按钮控制接触器线圈是否通电。其中 QM2、QM4、QM5 为五层五位开关，在 1 位是串频敏变阻器启动状态，2 位是短接变阻器后电动机正常运转状态。QM1 为七层十一位开关，分段短接切除启动电阻器。在变幅、行走回路中都有接触器互锁，并加入位置开关 SL，对行走和变幅进行限位控制。

回转电动机和提升电动机的控制回路接在各个过流继电器的动断触点后面，任何一个电

动机过载，塔吊都不能做回转和提升操作。同时，在这一回路中还串入了超高限位开关 SL11、脱槽保护开关 SL12、超重保护开关 SL13，当出现超高、超重、脱槽情况时，塔吊也不能进行回转和提升操作。

在主电路中有接触器 KM1 和 KM5 的主触点，KM5 在变幅电动机回路中，KM1 在另外 4 个电动机回路中，当出现超高、超重、脱槽情况时，KM1 和 KM5 线圈断电，所有电动机停转。

塔吊总电源由铁壳开关 QK 和自动空气开关 QA 控制，开机时合上 QK、QA 及控制电路事故开关 SK（出现事故时扳动此开关，整个电路停止工作）。组合开关 QM1、QM2、QM4 处于 0 位断开状态，按下按钮 SB1，接触器 KM1 吸合，可以进行提升、回转、行走操作，但此时不能变幅。要变幅时按下按钮 SB5，切断 KM1 线圈回路，KM1 释放，KM5 吸合，进行变幅。按塔吊操作要求，变幅与其他操作不能同时进行。为此，电路中采用按钮 SB1 和 SB5 连锁，KM1 和 KM5 动断触点连锁，以保证不会出现误操作。

图中所示控制电路的最下面一行是提升电动机的制动电动机 M 的控制回路，提升电动机反转、重物下降时，接触器 K12 闭合。组合开关 QM1 转到低速位置 1 时，接触器 K13 断电，动断触点闭合，接触器 K1 通电闭合，接通制动电动机 M 的电源，制动电动机工作。



想一想

为保证使用安全，在塔式起重机电路上采取了哪些措施？

带“电”字的歇后语

鼻子下面挂电灯——闻名（明）
电灯照雪——明明白白
电话局的话务员——耳听八方
头上安电风扇——大出风头
电子显微镜——明察秋毫
电线杆上挂邮箱——高兴（信）
电影里放电视——戏中有戏
电灯泡点香烟——其实不然（燃）
地上栽电杆——正直



5.4 给排水电气控制电路图——两台水泵巧配合

高层建筑给水难，二次给水可解决。
两个水泵电路同，一泵备用是上策。
中间继电器动作，水位高低来检测。
信号回路传指令，手动自动可选择。
自动控制平时用，手动调试水能得。
工泵故障不用急，备泵自投能解决。
排水电路也相似，污水提升泵清洁。

目前对于城市高层建筑，绝大多数采用分区给水方式，即低楼层部分由城市给水管网供水，高楼层部分由水泵加压给水，一般称为二次给水。高层楼宇二次给水的方式较多，常见的有高位水箱给水方式、气压罐给水方式。排水是建筑工程必须解决的关键问题。有的建筑物内部排水系统出户管标高比较低，不能直接进入城市排水管网，需要设置污水提升泵。本节就如何识读常用给水、排水系统的电气控制电路图进行介绍。

5.4.1 给水控制电路图
——两泵控制电路图，备泵投入靠自动

1. 高位水箱给水控制电路

（1）给水系统对水泵的要求

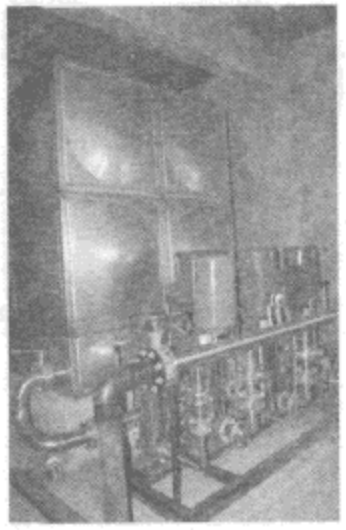
① 在高位水箱中设置水位信号器，由水位信号器控制水泵的自动运行。当高位水箱水位达到低水位时，生活水泵启动，向高位水箱注水；当水箱中的水位升至高水位时，自动关闭水泵。

② 为了保障供水的可靠性，生活水泵分为工作泵和备用泵；当工作泵发生故障时，备用泵应能自动投入，即备泵自投。

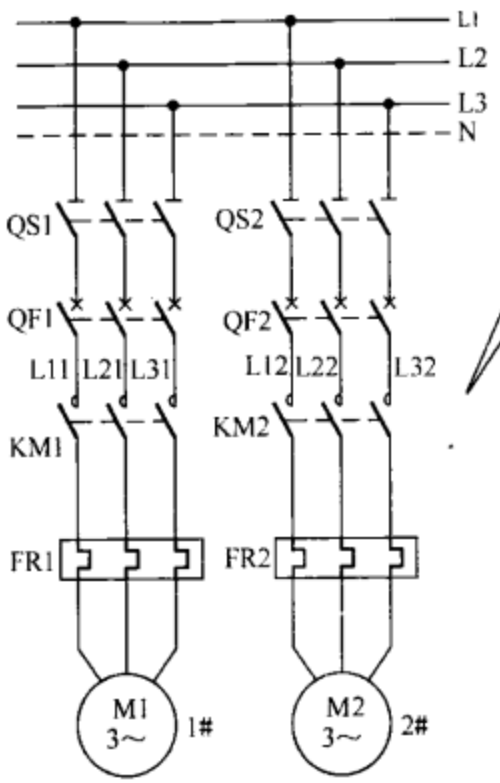
③ 要求有水泵电动机运行指示及自动、手动控制的切换装置和备用泵自动投入控制指示。

（2）控制电路图

图 5-30 为某生活水泵供水电气控制原理图。该给水系统设置地下水池和高位水箱，地下水池设于大厦底层，高位水箱设于大厦顶层。图 5-30（a）所示为水泵电动机主电路，电源为交流 380/220V；图 5-30（b）所示为水位控制电路，图 5-30（c）、（d）所示为 1#、2#电动机控制回路。



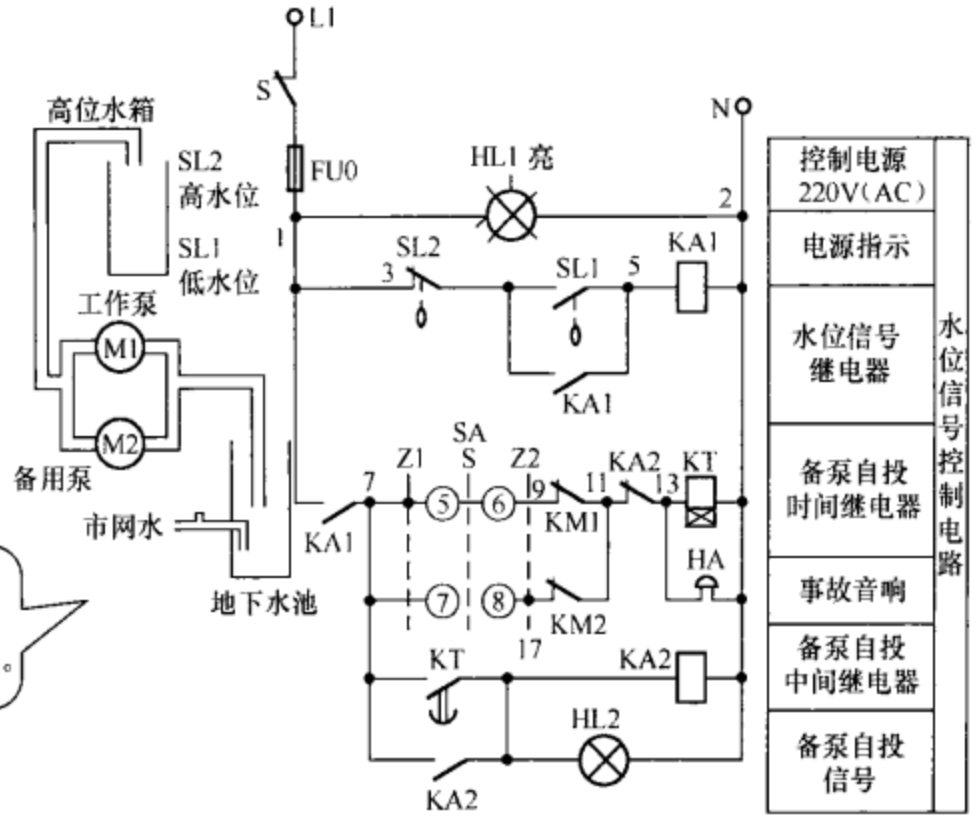
水箱式给水设备



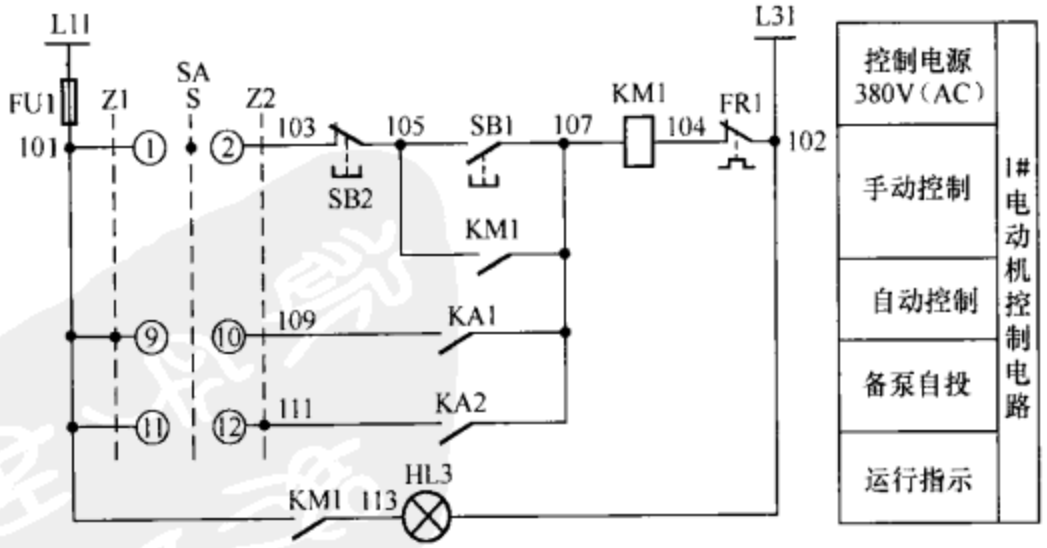
（a）主电路

两台电动机主电路完全相同，与三相电源并联。

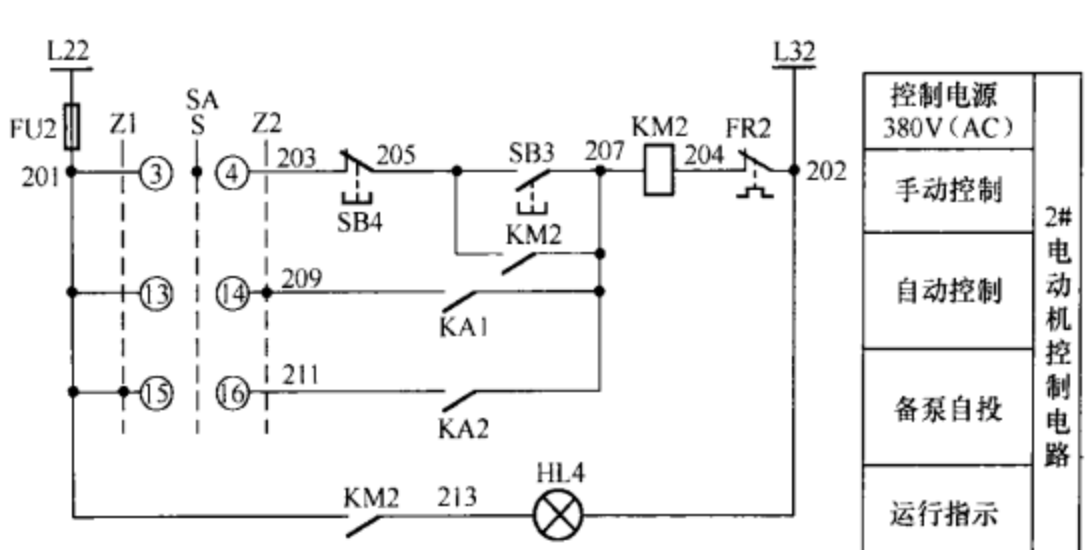
水位高低决定着继电器的工作状态。



（b）水位信号控制电路



（c）1# 电动机控制电路



（d）2# 电动机控制电路

图 5-30　生活水泵供水电气控制原理图

SA 是万能转换开关（LW5 系列）。万能转换开关的操作手柄一般是多挡位的，触点数量也较多。其触点的闭合或断开在电路中采用展开图来表示，即操作手柄的位置用虚线表示，虚线上的黑圆点表示操作手柄转到此位置时该对触点闭合；如无黑圆点，表示该对触点断开。转换开关触点的闭合情况见表 5-3，表中用“*”表示触点闭合，无此标记表示触点断开。

表 5-3　　转换开关触点闭合表

定位特性 / 触点编号	1#水泵用，2#水泵备 Z1 45°	手动 S0°	2#水泵用，1#水泵备 Z2 45°
1-2		*	
3-4		*	
5-6	*		
7-8			*
9-10	*		
11-12			*
13-14			*
15-16	*		

① 自动控制。

将转换开关 SA 转至“Z1”位置，其触点（5-6）、（9-10）、（15-16）接通，其他触点断开，控制过程如下。

在正常工作时，若高位水箱为低水位，干簧式水位信号器的触点 SL1 闭合，回路 1-3-5-2 接通，水位继电器 KA1 的线圈得电并自锁，其动合触点闭合，即图 5-30（b）中的触点（1-7）接通，图 5-30（c）中的触点（109-107）接通，图 5-30（d）中的触点（209-207）接通，则图 5-30（c）中的回路 101-109-107-104-102 接通，使接触器 KM1 的线圈得电，KM1 的主触点闭合，此时 1 号泵电动机 M1 启动运转。当高位水箱中的水位到达高水位时，水位信号器 SL2 的动断触点断开，KA1 线圈失电，其动合触点恢复断开，图 5-30（c）中的触点（109-107）断开，KM1 的线圈失电，KM1 的主触点断开，使 1 号泵电动机 M1 脱离电源停止工作。

在故障状态下，即使发出高位水箱的低水位信号，水位继电器 KA1 的线圈得电，其动合触点闭合，但如果 KM1 机械卡住触点不动作，或电动机 M1 运行中保护电器动作而导致电动机停车，KM1 的动断触点复位闭合，即图 5-30（b）中的触点（9-11）接通，所以图 5-30（b）中的回路 1-7-9-11-13-2 接通，警铃 HA 发出事故音响信号，同时时间继电器 KT 的线圈得电，经预先整定的时间延时后，备用继电器 KA2 的线圈通电，图 5-30（d）中的动合触点（211-207）接通，故图 5-30（d）中的回路 201-211-207-204-202 接通，使 KM2 的线圈通电，其主触点闭合，备用的 2 号泵 M2 自动投入。

从图中可看出，电动机 M1 和 M2 的电路具有对称性，当万能转换开关 SA 的手柄转至“Z2”位置时，M2 为工作泵，M1 为备用泵，其工作原理与 SA 位于“Z1”挡时类似，读者可自己分析。

② 手动控制。

将转换开关 SA 转至“S”挡，其触点（1-2）、（3-4）接通，其他触点断开，接通 M1 和 M2 的控制电路。此时水泵启停不受水位信号控制。当按下启动按钮 SB1 或 SB3 时，KM1 或 KM2 得电吸合并自锁，可任意启动 M1 或 M2。

手动控制操作主要用于在安装或维修时进行调试。

③ 信号显示。

信号灯采用不同的颜色，可以直观地显示电气控制系统的不同状态。

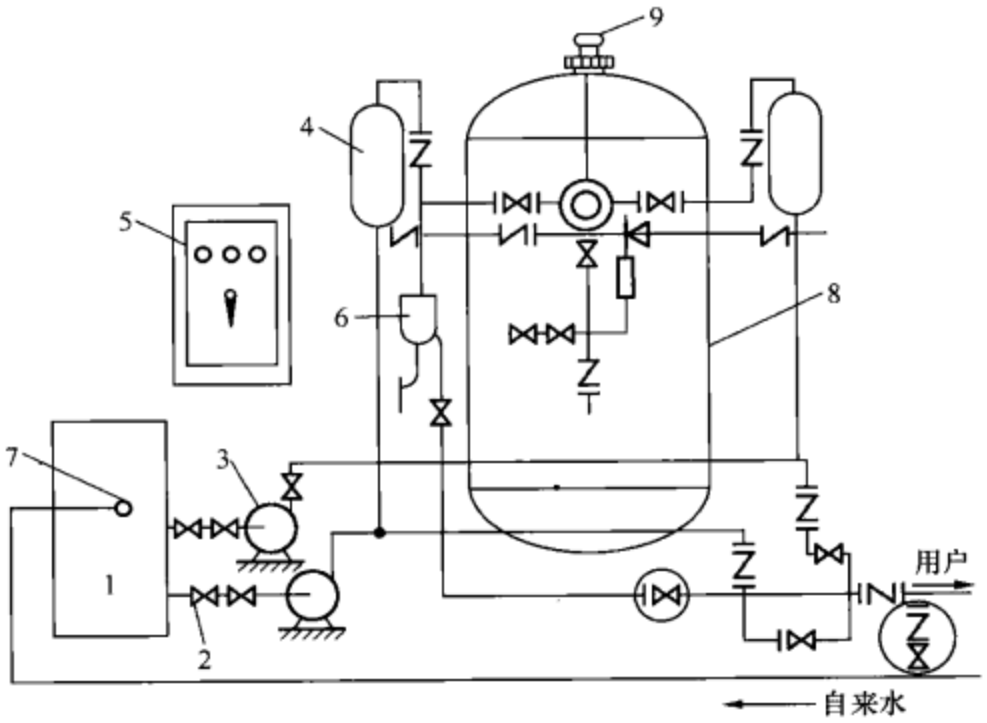
合上开关 S，图 5-30（b）中的绿色信号灯 HL1 亮，表示电源已接通，水位控制信号回路投入工作。电动机 M1 启动时，图 5-30（c）中的红色信号灯 HL3 亮；M2 启动时，图 5-30（d）中的红色信号灯 HL4 亮；当备用泵投入时，图 5-30（b）中的黄色事故信号灯 HL2 亮。

2. 气压给水系统自动控制电路

利用气压给水罐调节流量和控制水泵运行，适用于允许水压有一定波动、不宜设置高位水箱（水塔）的多层和高层建筑，供水可靠且卫生，但水泵平均效率低，能源消耗大，受气压罐调节容积的限制。目前，气压给水设备已形成补气式和隔膜式两大系列。在变压式给水设备的基础上，定压式气压给水设备研制成功，并在水压有恒定要求的场所得到应用。

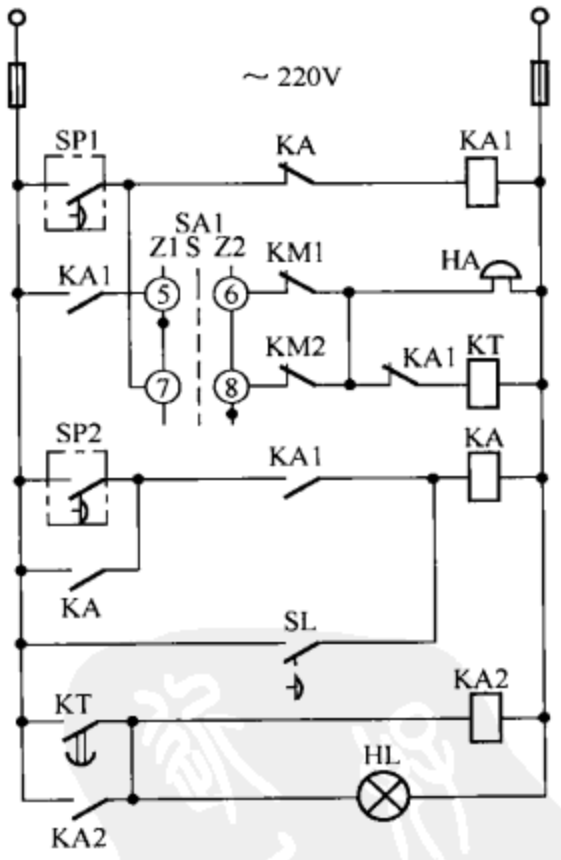
气压给水设备是一种局部升压设备，以密闭的气压水罐取代高位水箱，节省投资。对不宜设置高位水箱（水塔）的多层和高层建筑，可以视具体情况将其置于任何方便的位置，供水可靠且卫生，从而在一定程度上降低了水箱的架设高度，给安装施工及维修带来很大方便，目前在建筑供水系统中得到了广泛的应用。

如图 5-31（a）所示，气压给水设备主要由气压罐、补气罐、管路阀门系统、加压系统和电控系统所组成。该系统选用 YX-150 型电接点压力表作为水位传感器，并选用浮球式传感器作为高水位超限保护水位开关。



1—水池；2—闸阀；3—水泵；4—补气罐；
5—电控箱；6—呼吸阀；7—液位报警器；
8—气压罐；9—压力控制器

（a）结构示意图



（b）水位信号电路

图 5-31 气压给水系统自动控制电路

（1）工作原理

气压给水系统利用密闭的钢罐，由水泵将水压入罐内，靠罐内被压缩的空气压力将储存

的水送入给水管网。但随着水量的减少，水位下降，罐内的空气比容增大，压力逐渐减小。当压力下降到设定的最小工作压力时，水泵便在压力继电器作用下启动，将水压入罐内。当罐内压力上升到设定的最大工作压力时，水泵停止供水。

（2）控制电路的工作过程

该系统的水位信号电路如图 5-31（b）所示，水泵电动机 M1、M2 一用一备，电动机控制电路如图 5-30（a）、（c）、（d）所示。

正常工作时，若将万能转换开关 SA 的手柄转至“Z1”位置，则 M1 为工作泵，M2 为备用泵，当水位低于低水位时，气压罐内的压力低于设定的最低压力值。电接点压力表下限接点 SPl 闭合，低水位继电器 KA1 的线圈得电并自锁，使接触器 KM1 的线圈得电，1#泵电动机 M1 启动运转，向罐内压水。当罐内水位上升到高水位时，压力达到最大设定压力，电接点压力表上限接点 SP2 闭合，高水位继电器 KA 的线圈得电，其动断触点断开，使 KAl 线圈断电，KAl 的动合触点断开，于是交流接触器 KM1 失电释放，1#泵电动机停转。这样始终保持罐内有足够的压力，以保证用户用水。

SL 为浮球继电器触头，当水位高于高水位时，SL 触点闭合，继电器 KA 的线圈通电，使 1#泵电动机停转，可以防止气压罐因压力过高而爆炸。

当 1#泵电动机 M1 发生故障时，报警电铃 HA 发出报警声，同时延时继电器 KT 的线圈得电，其延时闭合的动合触点使继电器 KA2 得电，交流接触器 KM2 的线圈得电，使 2#泵电动机 M2 启动运转。此过程如前面所述，请读者自行分析。



想一想

备用泵在什么情况下才自动投入运行？请分析其工作原理。

3. 热水循环泵控制电路图

热水循环泵一般安装在热水系统的管道上，两台泵中的一台工作，另一台备用。热水循环泵是由安在回水管上的同一个电接点温度计 ST 控制，或由楼宇自动化（BAS）系统、空调自控系统控制，如图 5-32 所示。

当控制温度低于给定值时，ST 的触点 ST（5-7）闭合。当温度上升到限定值时，ST 的触点（5-11）闭合。当开关 SM 的触点（1-5）闭合时，中间继电器 KA1、KA2 由电接点温度计 ST 控制。SM 的触头 SM（1-3）闭合时，中间继电器 KA1、KA2 不是由 ST 控制，而由楼宇自动化系统 BAS 或计算机系统控制。转换开关 SA 可以使水泵处于自动、零位或手动工作方式。

（1）手动控制

合上自动开关 QF、QF1、QF2，将转换开关 SA 转至“手动”位置，其触点（1-2）及（7-8）闭合。按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 的线圈通电，其主触点闭合，KM1 的动合辅助触点（19-21）闭合自锁，电动机 M1 启动。按下停止按钮 SB1，接触器 KM1 的线圈失电，其主触点断开，电动机 M1 停转。

2#泵电动机由启动按钮 SB4 和停止按钮 SB3 进行手动控制，原理与 1#泵电动机类似。

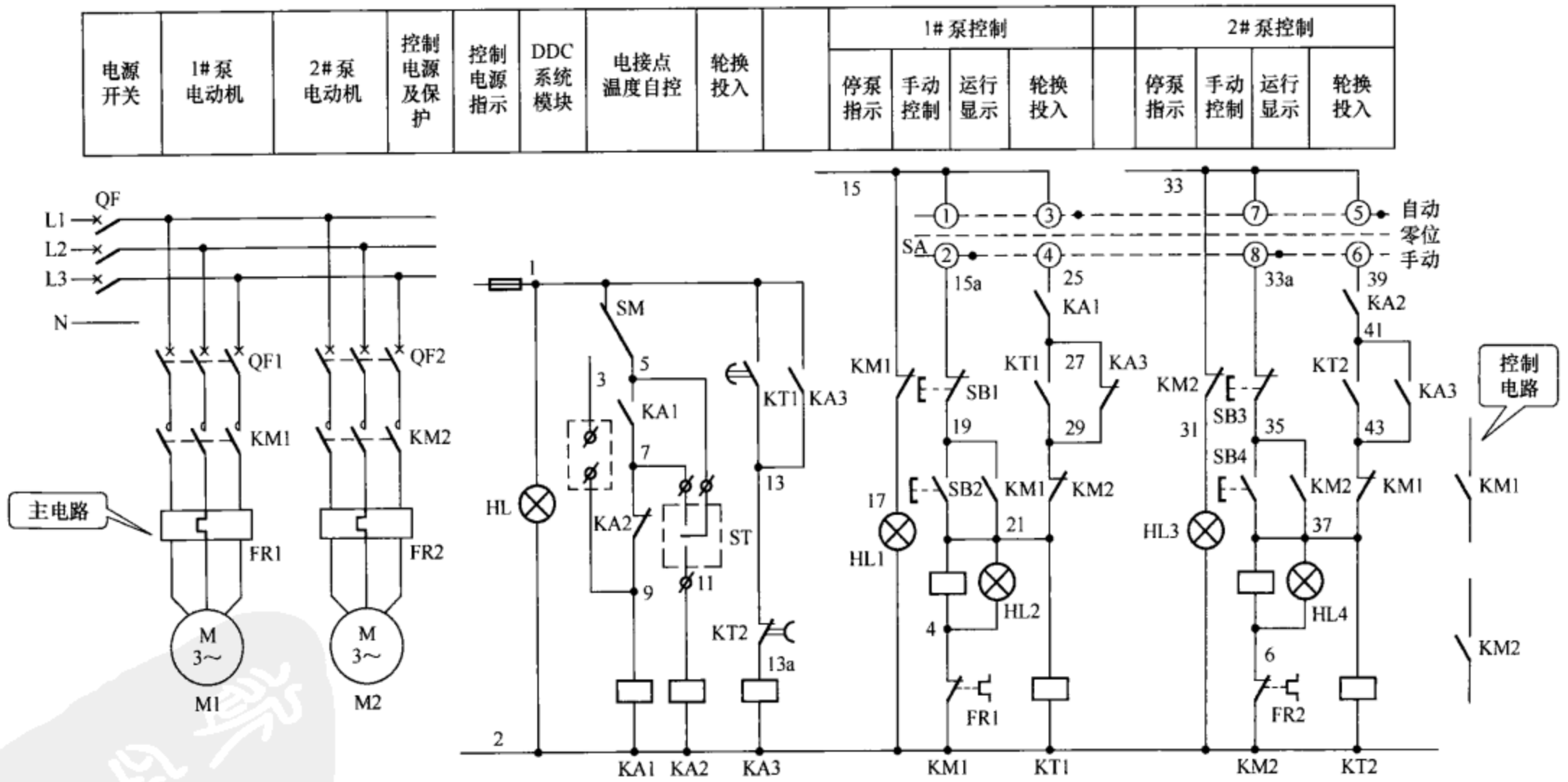


图 5-32　两台热水循环泵自动控制电路图

（2）自动控制

合上自动开关 QF、QF1、QF2，将转换开关 SA 转至“自动”位置，其触点（3-4）及（5-6）闭合。当温度低于给定值时，ST 的触点（5-7）闭合，使 KA1 的线圈得电，KA1 的动合触点（5-7）、（25-27）均闭合，接触器 KM1 和时间继电器 KT1 得电吸合，KM1 的主触点闭合，KM1 的动断辅助触点（43-37）断开，对 KM2 和 KT2 连锁，1#泵电动机启动。时间继电器 KT1 的动合触点（27-29）闭合，经过预定的时间后，KTl 的动合触点（1-13）延时闭合，使 KA3 得电吸合自锁，KA3 的动合触点（41-43）闭合，为启动 2#泵电动机做好准备。

当温度上升到限定值时，ST 的触点（5-11）闭合，使 KA2 线圈得电，KA2 的动断触点（7-9）断开，使 KA1 线圈失电，KA1 的动合触点（25-27）复位断开，接触器 KM1 和时间继电器 KT1 失电释放，KM1 的主触点断开，1#泵电动机停机。KA2 的动合触点（39-41）闭合，接触器 KM2 和时间继电器 KT2 得电吸合，KM2 的主触点闭合，KM2 的动断辅助触点（29-21）断开，与 KM1 和 KT1 形成连锁，2#泵电动机启动运转。时间继电器 KT2 的动合触点（41-43a）闭合，经过预定的时间后，KT2 的动断触点（13-13a）延时断开，使 KA3 失电释放，KA3 的动合触点（41-43）复位断开，KA3 的动断触点（27-29）复位闭合，为再启动 1#泵电动机做好准备。这样就完成了第一次循环。

（3）信号显示

合上电源开关，绿色信号灯 HL 亮，表示电源已接通。电动机 M1 启动时，红色开泵信号灯 HL2 亮，停泵信号灯 HL1 熄灭；M2 启动时，红色开泵信号灯 HL4 亮，停泵信号灯 HL3 熄灭。



想一想 在图 5-27 所示的生活水泵供水电气控制原理图中，SA 是什么电器？它的作用是什么？当 SA 的手柄转至“Z2”位时，请说明线路正常工作时的工作原理。

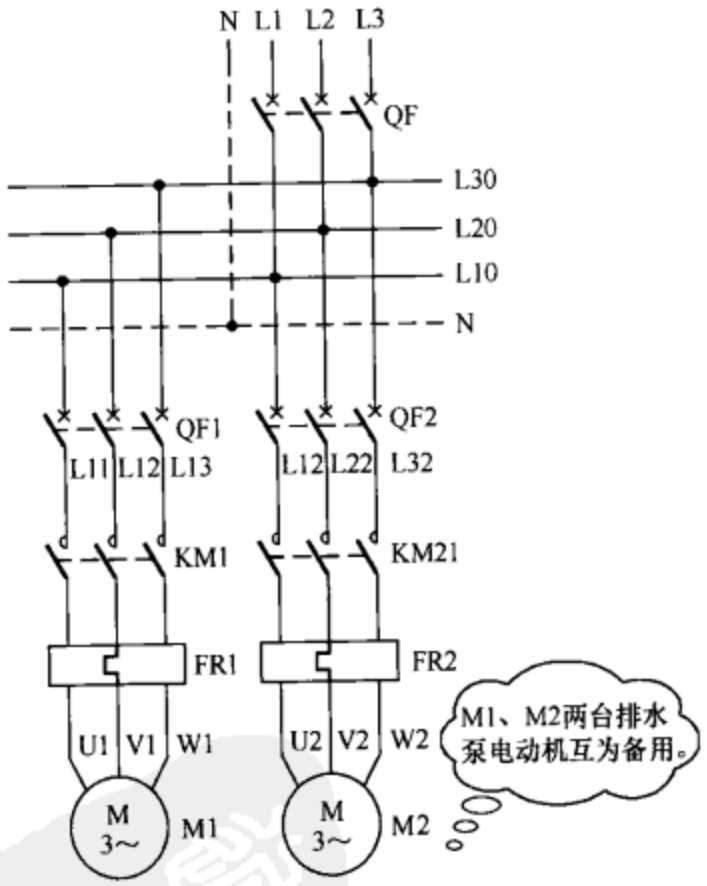
5.4.2 排水控制电路图
——控制电路往下看，开关转换方式变

楼宇排水主要是排除生活污水、溢水、漏水和消防废水等。一般采用两台泵的排水方案，一台泵工作，一台泵备用，两台泵可互为备用。

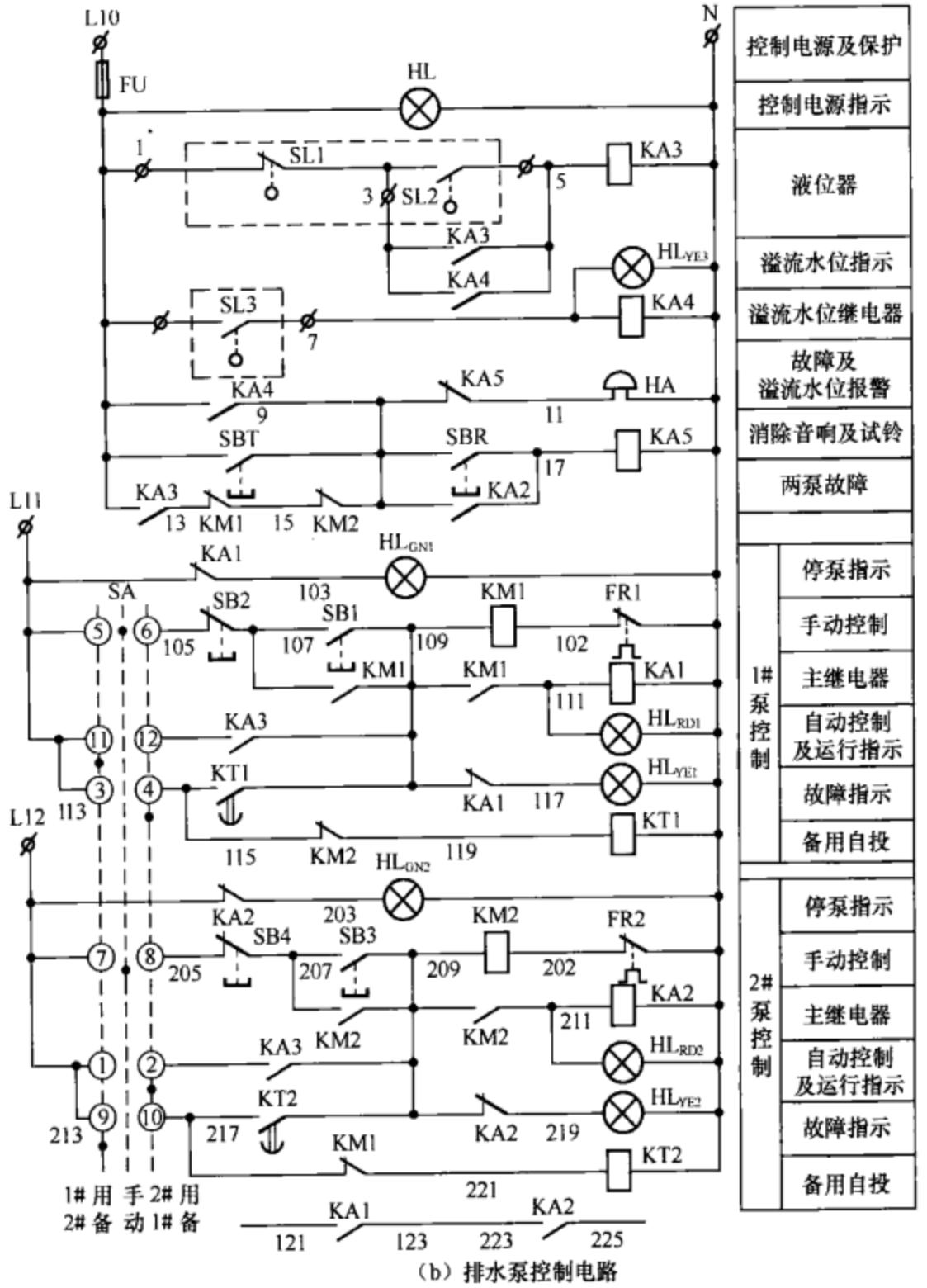
如图 5-33 所示，排水泵控制电路由水位信号回路、水泵机组的主回路和控制回路构成。该电路采用转换开关 SA，两台排水泵互为备用，控制具有较大的灵活性。

（1）自动控制过程

① 正常工作时，合上自动开关 QF、QF1、QF2，将转换开关 SA 转至“1#用，2#备”位置，其触点（9-10）、（11-12）闭合。当污水集水池内的水位升高，达到需要排水的位置时，水位信号器 SL2 的触点闭合，中间继电器 KA3 的线圈得电并自锁，其动合触点闭合，接触器 KM1 的线圈通电，KM1 的主触点闭合，1#泵电动机 M1 启动排污。KM1 的动合辅助触点闭合，接通触点（109-111），中间继电器 KAl 的线圈得电，同时红色信号灯 HL_{RD1} 点亮，表明 1#泵电动机 M1 处于运行状态，黄色故障信号灯 HL_{YE1} 和绿色停泵信号灯 HL_{GN1} 熄灭。



（a）主电路



（b）排水泵控制电路

图 5-33　两台排水泵控制电路

② 当污水集水池内的污水排完时，低水位信号器 SL1 的触点断开，中间继电器 KA3 的线圈失电释放，其动合辅助触点复位断开，接触器 KM1 的线圈失电，KM1 的主触点断开，1#泵电动机 M1 停转。

③ 在故障状态下，当污水集水池内的水位达到需要排水的位置时，水位信号器 SL2 接通，使 KA3 线圈得电，其动合触点闭合，接通触点（1-13），但如果接触器 KM1 卡住触点不动作，则电铃 HA 响，发出故障报警。此时，KT2 线圈得电，KT2 的延时闭合动合触点延时闭合，使 KM2 线圈通电，KM2 的主触点闭合，2#泵电动机 M2 启动排污。KM2 的动合辅助触点闭合，接通触点（209-211），使 KA2 线圈得电，同时 2#泵电动机 M2 运行，红色信号灯 HL_{RD2} 亮，黄色故障信号灯 HL_{YE2} 和绿色停泵信号灯 HL_{GN2} 熄灭，检修人员可以检修 1#泵电动机 M1。

（2）手动控制

如果两台水泵同时发生故障，虽然污水集水池内的水位升高，水位继电器 KA3 的线圈得电，其动合触点闭合，接通触点（1-13），但接触器 KM1、KM2 的触点都不动作，接通 1-13-15-9-11 回路，则电铃 HA 响，发出故障报警。检修人员听到报警后，略停片刻，当超过备用泵的投入时间时警铃 HA 仍继续响，则表明两台水泵同时发生故障，应将转换开关 SA 转至“手动”位置，其触点（5-6）、（7-8）接通，检修人员进行检修。操作 SB1～SB4，使两台泵试运行，并按下解除按钮 SBR，使继电器 KA5 的线圈得电自锁，其动断辅助触点（9-11）断开，切断警铃 HA 的回路。

（3）溢流水位自动报警

当污水集水池内的水位升高，达到需要排水的位置时，水位信号器 SL2 的触点本来应该闭合却因故障而没有闭合，排水泵不能启动，污水不断上升，直到达到溢流水位时；水位信号器 SL3 闭合，使中间继电器 KA4 得电，KA4 的动合辅助触点闭合，接通触点（3-5）、（1-9），警铃 HA 响，通知检修人员，同时 KA3 线圈得电，启动排污泵电动机排污。

“电”字开头的歇后语

电钻钻孔——不通也要通
电饭锅煮饭——不要火
电视上的画面——说变就变
电话拜年——两头方便
电风扇的脑袋——专吹凉风（比喻打击别人的热情，专门散布冷言冷语）
电线杆子挂暖壶——水平（瓶）高
电线杆当筷子——没法下嘴
电线上的风筝——缠上了
电线杆上晒衣服——好大的架子
电线杆子剔牙——太粗



第6章

PLC 梯形图

——似曾相识好编程

PLC（可编程控制器）是在继电器控制和计算机控制的基础上开发出来的，并逐渐成为以微处理器为核心，把自动控制技术、计算机技术和通信技术融为一体的新型工业自动控制装置，目前已成为工业自动化领域中最重要、应用最多的控制装置。PLC 包括硬件和软件两大部分，其软件部分常用的编程语言有梯形图、指令表、顺序功能表和功能块图等，比较复杂。本章主要介绍 PLC 梯形图的识读方法。其实，梯形图和本书前面介绍的电工二次原理图差不多，但有一些特殊的区别。初学者只要弄明白控制检测用的输入点和驱动用的输出点的功能，多读几次，还是容易理解的。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

① 了解梯形图与继电器控制电路图的主要差异。
② 了解梯形图的格式。
③ 掌握梯形图的基本编制方法。
④ 掌握将继电器控制线路转换为 PLC 电路的基本步骤和方法。
⑤ 掌握阅读 PLC 控制系统电路图的基本方法。

能力目标

① 识读常用基本电路的梯形图。
② 绘制简单控制电路的梯形图。
③ 阅读比较简单的 PLC 控制系统电路图。

6.1 常用基本电路梯形图及编写——电机基本控制程序

基本电路梯形图，梯形图样有特点。
软继电器来控制，程序清楚无触点。
“触点”特殊多次用，因此取名软接点。
左右母线各一方，图形格式很明显。
基本电路梯形图，掌握原理抓重点。
看懂此图应在先，欲学绘图可缓缓。

梯形图是一种以图形符号及图形符号在图中的相互关系表示控制关系的编程语言，是从继电器电路图演变过来的。在绘制梯形图时，可将 PLC 中参与逻辑组合的元件看成和继电器一样，具有动合、动断触点及线圈，且线圈的得电、失电将导致触点相应动作；再用母线代替电源线，用能量流概念来代替继电器电路中的电流概念；采用与绘制继电器电路图类似的思路绘出梯形图。

6.1.1 梯形图与继电器控制电路图的差异
——控制功能均未变，主要差异有五点

图 6-1 为继电器控制电路图与 PLC 梯形图，它们的控制功能相同，都能实现三相异步电动机的自锁正转控制。梯形图中所绘的图形符号和继电器电路图中的符号和结构都十分相似。这两个图相似的原因非常简单，一是梯形图是为熟悉继电器电路图的工程技术人员设计的，二是两种图所表达的逻辑含义是一样的。

通过观察图 6-1 所示的梯形图与继电器控制电路图，可看出它们之间存在许多差异。

① 梯形图中继电器元件的物理结构不同于电气元件。

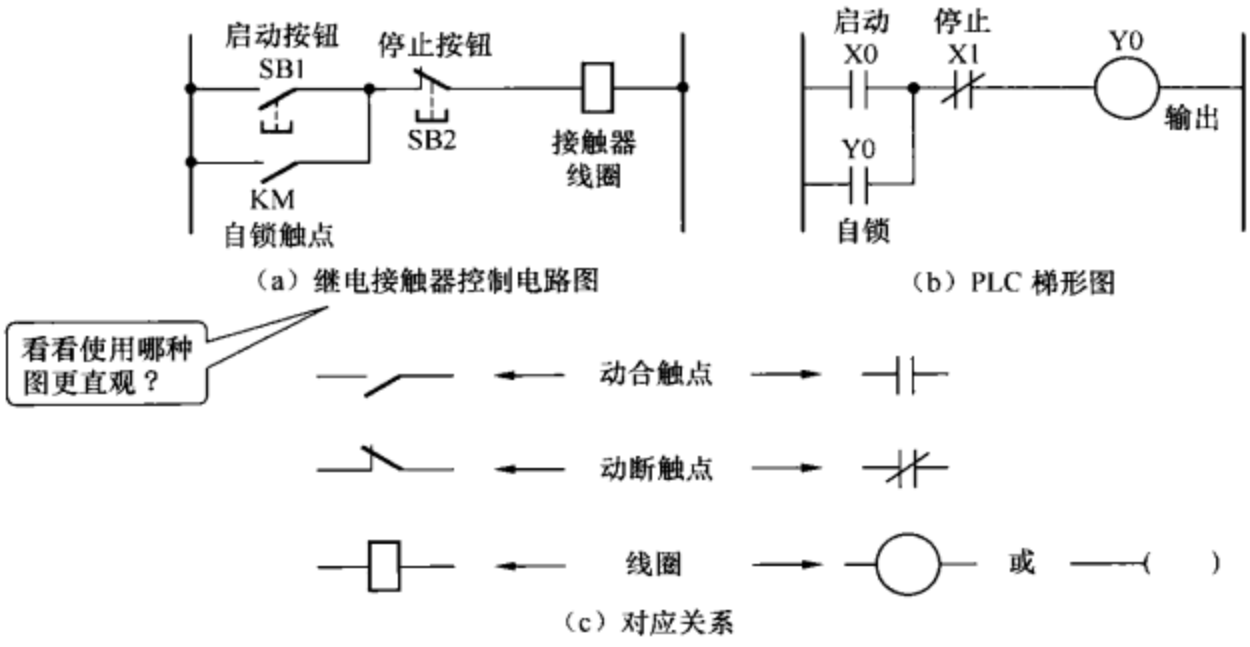
PLC 梯形图中的线圈、触点只是在功能上与电气元件的线圈、触点等效。梯形图中的线圈、触点在物理意义上只是输入、输出存储器中的一个存储位，与电气元件的物理结构不同。

因为梯形图是在原电气控制系统中采用的继电器、接触器电路图的基础上演变而来的，PLC 的输入部分采集输入信号，输出部分就是系统的执行部分，这两部分与继电器控制系统相同。PLC 内部控制电路是由编程实现的逻辑电路，用软件编程代替继电器的功能。对于使用者来说，在编制程序时可把 PLC 看成内部由许多“软继电器”组成的控制器，用近似继电器控制电路的编程语言进行编程。从功能上讲，可以把 PLC 的控制部分看作由许多“软继电器”组成的等效电路，如图 6-2 所示。

② 梯形图中继电器元件的通断状态不同于电气元件。

梯形图中继电器元件的通断状态与相应存储位上保存的数据相关，如果该存储位的数据为“1”，则该元件处于“通”状态；如果该位的数据为“0”，则表示处于“断”状态。这与电气元件实际的通断状态不同，因为梯形图中流过的“电流”不是物理电流而是“能量流”，

它只能从左到右、从上至下流动。“能量流”不允许倒流。“能量流”到，表示线圈接通。“能量流”流向的规定表示 PLC 的扫描是自左向右、自上而下地进行，而继电器控制系统中的电流是不受方向限制的，导线连接到哪里，电流就可以流到哪里。



（a）继电接触器控制电路图　　（b）PLC 梯形图

（c）对应关系

图 6-1　继电器控制电路图与 PLC 梯形图比较

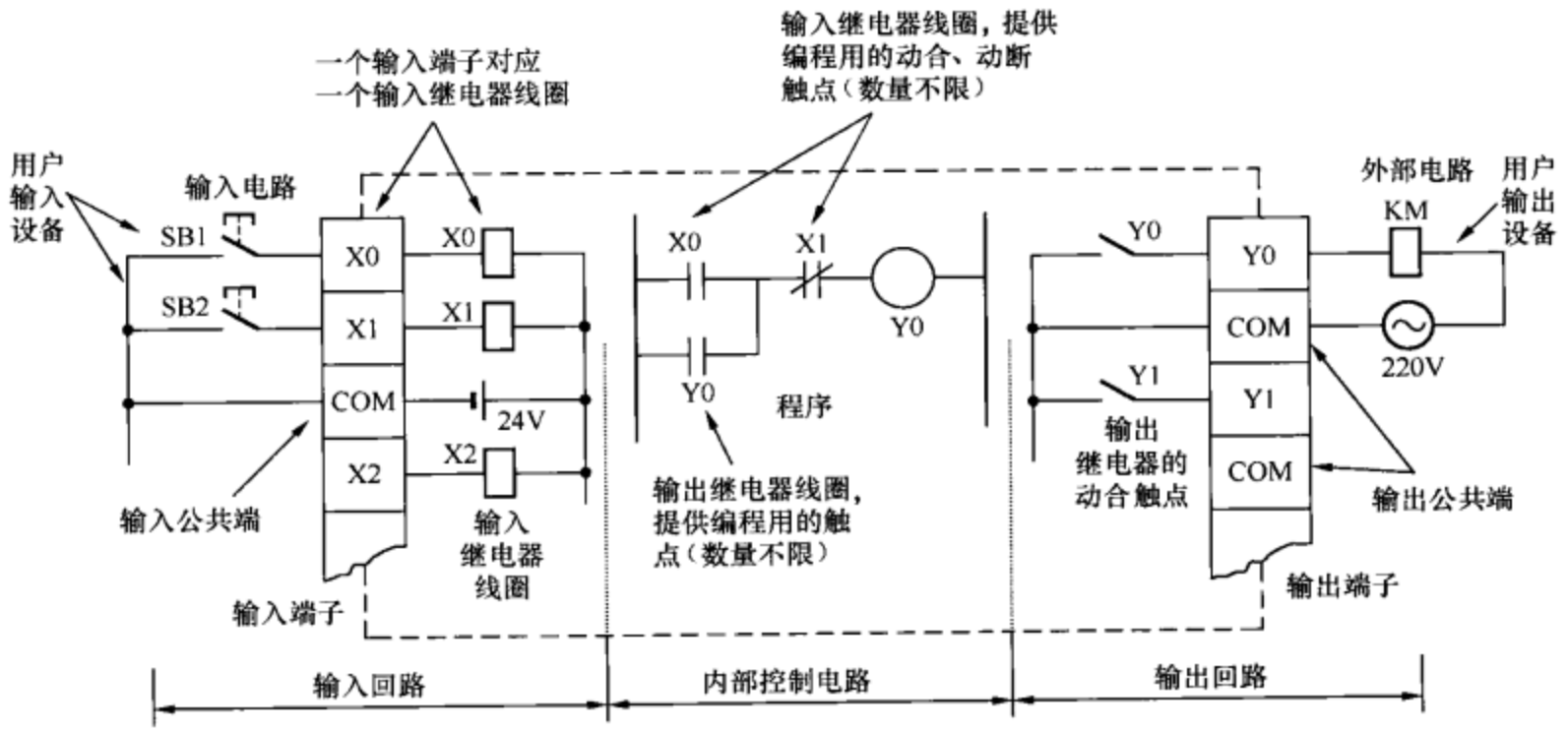


图 6-2　PLC 的等效电路

③ 梯形图中继电器元件的状态切换过程不同于电气元件。

梯形图中继电器元件的状态切换只是 PLC 对存储位的状态数据的操作，如果 PLC 将与动合触点等效的存储位数据赋值为“1”，就完成动合操作过程；同样，如将与动断触点等效的存储位数据赋值为“0”，就可完成动断操作过程，其切换操作过程没有时间延迟。而电气元件线圈、触点进行动合或动断切换时，必定有时间延迟，且一般要经过先断开后闭合的操作过程。

换言之，梯形图中的动合、动断触点不是现场物理开关的触点，它们对应于输入映像寄存器、输出映像寄存器或数据寄存器中相应位的状态，而不是现场物理开关的触点状态。认为动合触点是取位操作，动断触点应理解为位取反操作。因此，在梯形图中同一元件的一对动合、动断触点的切换没有时间的延迟，动合、动断触点只是互为相反状态。

④ 梯形图中继电器触点数量与电气元件不同。

如果 PLC 从输入继电器 I0.0 相应的存储位中取出了位数据“0”，将之存入另一个存储器中的一个存储位，被存入的存储位就成了受 I0.0 继电器控制的一个动合触点，被存入的数据为“0”；如在取出位数据“0”之后先进行取反操作，再存入一个存储器的一个存储位，则该位存入的数据为“1”，该存储位就成了受继电器 I0.0 控制的一个动断触点。

只要 PLC 内部的存储器足够多，这种位数据转移操作就可无限止地进行，而每进行一次操作就可产生一个梯形图中的继电器触点。由此可见，梯形图中的继电器触点原则上可以无限止地反复使用。但是 PLC 内部的线圈通常只能引用一次，如需重复使用同一地址编号的线圈，应慎之又慎。与 PLC 不同的是电气元件中触点的数量是有限的。

⑤ 梯形图每一行的画法规则为从左母线开始，经过触点和线圈（或功能方框），终止于右母线。一般并联单元画在每行的左侧，输出线圈则画在右侧，其余串联元件画在中间。

思路点拨

PLC 梯形图的规律

① 与电气操作原理图相对应，具有直观性和对应性。

② 与原有的继电器逻辑控制技术相一致，对于电气技术人员来说，易于掌握和学习。

③ 与继电器逻辑控制技术不同的是，梯形图中的能量流不是实际意义上的电流，梯形图中的内部继电器及其触点也不是实际存在的继电器和触点(通常称之为软继电器和软 接点)。

想一想

梯形图与继电器控制电路图有哪些不同？

6.1.2 编写梯形图
——图形格式先熟悉，常用电路多练习

梯形图作为一种编程语言，在绘制时应当有一定的规则。PLC 的基本指令具有有限的数量，也就是说，只有有限的编程元件的符号组合可以为指令表达，不能为指令表达的梯形图从编程语法上来说就是不正确的。因此，初学者识读梯形图时，首先就要掌握梯形图的格式和编程技巧。

1. 梯形图的格式

① 梯形图中左右两边的垂直线分别称为起始母线（左母线）和终止母线（右母线）。每一逻辑行必须从左母线开始画起，右母线可以省略。

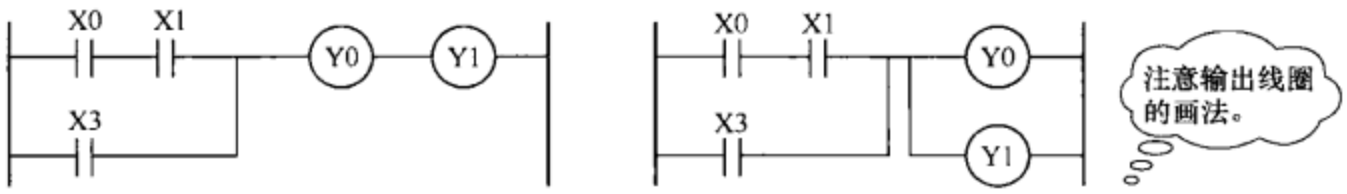
② 梯形图按行从上至下编写，每一行从左至右编写，即梯形图的各种符号要以左母线为起点、右母线为终点（可允许省略右母线）从左向右分行绘出。每一行的开始是触点群组成的工作条件，最右边是线圈表达的工作结果。一行写完，自上而下依次再写下一行。

PLC 程序的执行顺序与梯形图的编写顺序一致。

③ 每个梯形图由多个梯级组成，每个输出元素可构成一个梯级，每个梯级可由多个支路组成，每个梯级必须有一个输出元件。

④ 梯形图的触点有两种，即动合触点和动断触点。触点应画在水平线上，不能画在垂直分支线上。这些触点可以是 PLC 的输入/输出继电器的触点或内部继电器、定时器、计数器的触点，每一个触点都有自己的特殊标记，以示区别。同一标记的触点可以反复使用，次数不限。这是由于每一个触点的状态都存入 PLC 内的存储单元，可以反复读写。

⑤ 梯形图的触点可以任意串、并联，输出线圈只能并联而不能串联，如图 6-3 所示。



（a）错误画法　　（b）正确画法

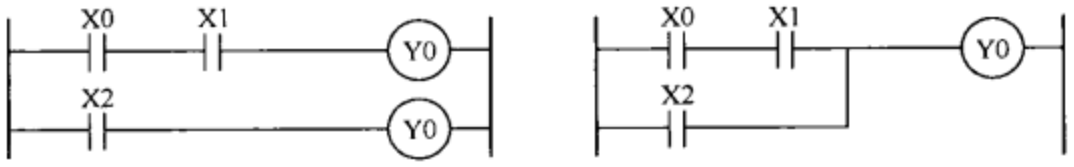
图 6-3　触点和输出线圈的处理

⑥ 一个完整的梯形图程序必须用结束命令“END”结束。

2. 编程技巧及注意事项

① 程序应按自上而下、从左至右的顺序编制。PLC 程序执行顺序与梯形图的编写顺序一致。

② 同一编号的输出元件在一个程序中不能使用两次，否则容易引起误操作。但不同编号的输出元件可以并行输出。也就是说，编程时不允许双线圈输出，必要时可以合并处理，如图 6-4 所示。



（a）错误画法　　（b）正确画法

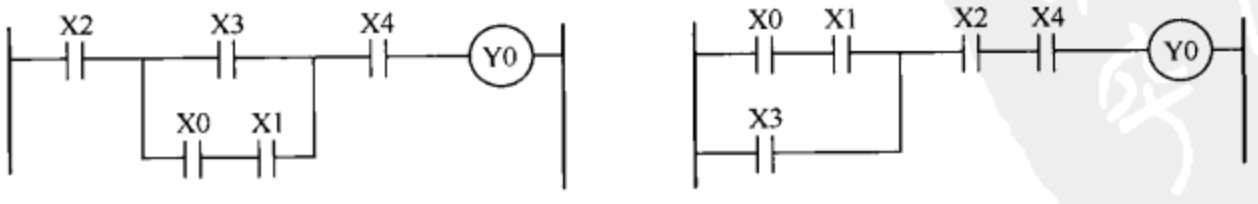
图 6-4　双线圈输出编写方法

③ 梯形图的最右侧必须放置输出线圈或输出指令。输出线圈只对应输出映像器的相应位，不能直接驱动现场设备。该位的状态只有在程序执行结束后，在输出刷新阶段进行输出。刷新后的输出控制信号经 I/O 接口对应的输出模块驱动负载进行工作。

④ 在梯形图中，每个编程元件应按一定的规则加标字母、数字串。不同编程元件常用不同的字母符号和一定的数字串来表示。

注意，不同厂家生产的 PLC 编程元件使用的符号和数字串往往是不一样的。

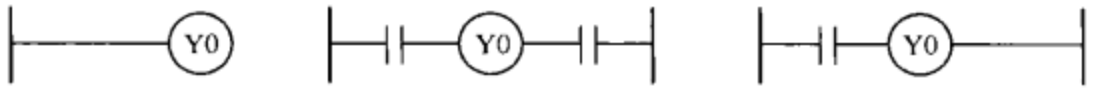
⑤ 串联触点多的分支在上边，并联触点多的分支在左边，如图 6-5 所示。



（a）效果不好　　（b）效果好

图 6-5　程序优化方法

⑥ 输出线圈不能直接接左母线或处于中间，必须在最右侧，如图 6-6 所示。



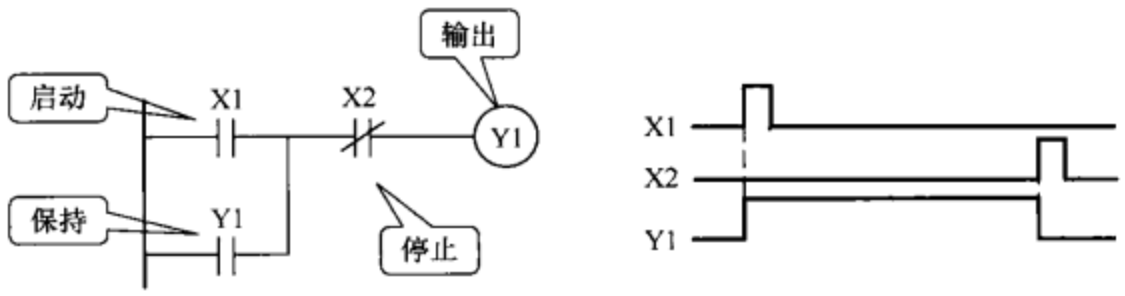
（a）错误　　（b）错误　　（c）正确

图 6-6　输出线圈的位置

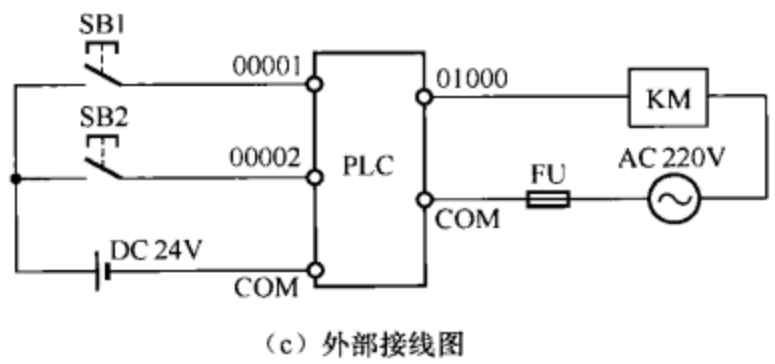
3. 常用基本电路梯形图介绍

（1）启保停电路

启动、保持和停止电路简称为起保停电路，该电路在梯形图中的应用很广泛。设计起保停电路的关键是找出启动条件和停止条件。启保停电路的梯形图、动作时序图和外部接线图如图 6-7 所示。



（a）梯形图　　（b）动作时序图



（c）外部接线图

图 6-7　启保停电路

启保停电路最主要的特点是具有“记忆”功能，即具有自锁或自保持作用。当 X1 = ON，X2 = OFF 时，X2 的动断触点闭合，Y1 的输出状态为 ON 并自锁保持。当 X2 = ON 时，X2 的动断触点断开，Y1 的输出状态变为 OFF。

（2）置位复位电路

PLC 的置位和复位都是为了把电路初始化到一个确定的状态。一般来说，PLC 复位电路的作用是把当前状态初始化到空状态；而在 PLC 内部，复位的时候 PLC 是在一些寄存器以及存储设备中装入厂商预设的一个值。置位可以把它初始化到任意一个状态。复位、置位是指将器件的逻辑值设为特定的值，“复位”一般是指将寄存器的 Q 端输出设为 0，“置位”是指将寄存器的 Q 端输出设为 1。

置位复位电路如图 6-8 所示。当 X1= ON 时，Y1 被 SET 指令置位为 ON 并保持该状态。当 X2 = ON 时，Y1 被 RST 指令复位为 OFF。

（3）延时接通电路

大多数 PLC 的定时器均为接通延时定时器，即定时器线圈通电后开始延时，待定时时间到达时，定时器的常开触点闭合，常闭触点断开。在定时器线圈断电时，定时器的触点立刻

复位。延时接通电路的梯形图和动作时序图如图 6-9 所示。

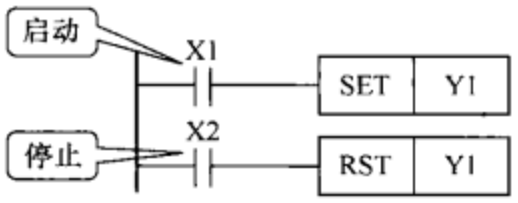
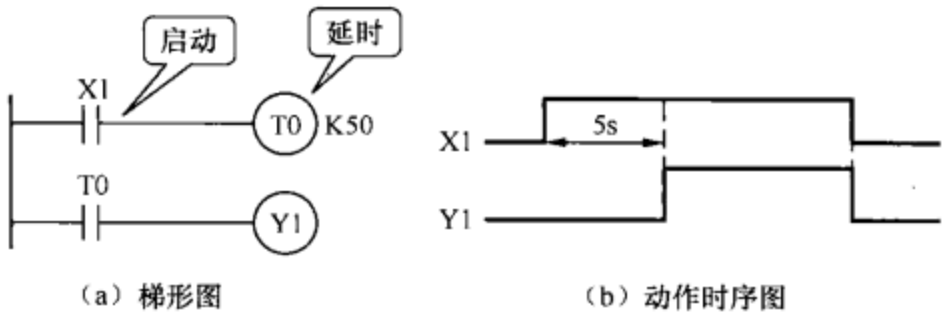


图 6-8　置位复位电路



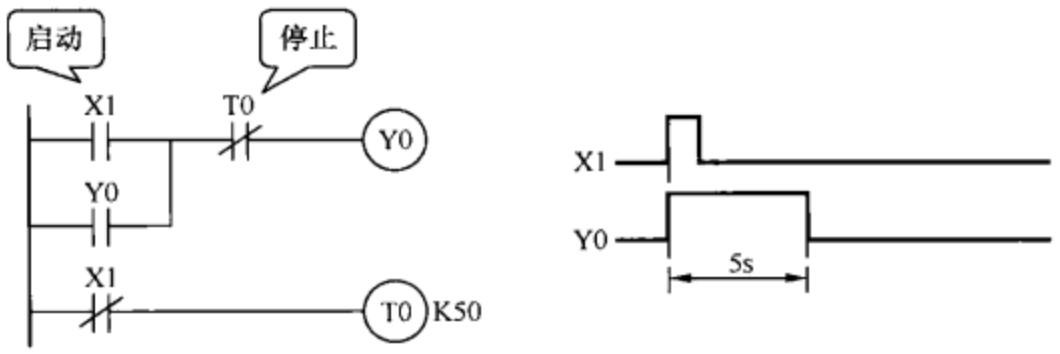
（a）梯形图　　（b）动作时序图

图 6-9　延时接通电路

输入端 X0、X1 接不带自锁的按钮，被控设备接于输出端子 Y1。当 X1=ON 时，T0 开始定时，定时时间（5s）到达时，T0 的动合触点闭合，Y1 的输出状态为 ON。当 X1=OFF 时，T0 复位清零，T0 的动合触点断开，Y1 的输出状态变为 OFF。

（4）延时断开电路

图 6-10 为延时断开电路的梯形图和动作时序图。



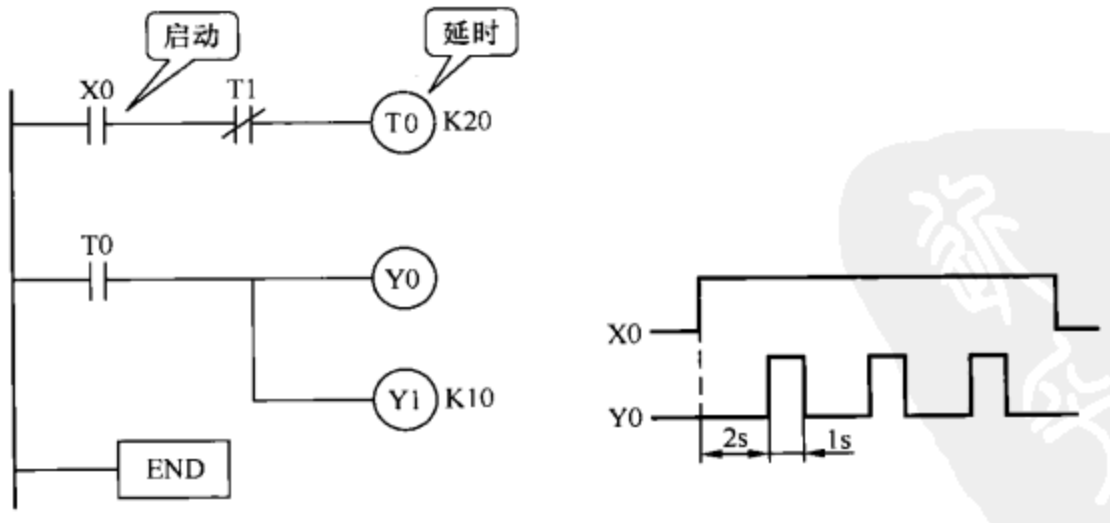
（a）梯形图　　（b）动作时序图

图 6-10　延时断开电路

当 X1 = ON 时，T0 的动断触点闭合，Y0 的输出状态为 ON 并自锁保持；同时 X1 的动断触点断开，TO 处于复位状态。当 X1 = OFF 时，Y0 的输出状态由于自锁保持仍为 ON，X1 的动断触点闭合，T0 开始计时。定时时间（5s）到达时，T0 的动断触点断开，Y0 的输出状态变为 OFF。

（5）闪烁电路

闪烁电路实际上是一个具有正反馈的振荡电路，T1 和 T2 的输出信号通过它们的触点分别控制对方的线圈，形成了正反馈。图 6-11 为闪烁电路的梯形图和动作时序图。



（a）梯形图　　（b）动作时序图

图 6-11　闪烁电路

当 X0 = ON 时，T1 的动断触点闭合，T0 开始计时，定时时间 t_1 到，T0 的动合触点闭合。定时时间 t_2 到时，T1 的动断触点断开，T0 被复位清零，T0 的动合触点断开，Y0 的输出状态变为 OFF，同时 T1 被复位清零，T1 的动断触点闭合……当 X0 = OFF 时，T0 被复位清零，T0 的动合触点断开，Y0 的输出状态为 OFF，同时 T1 也被复位清零。

图 6-12 为闪烁电路的动作示意图。

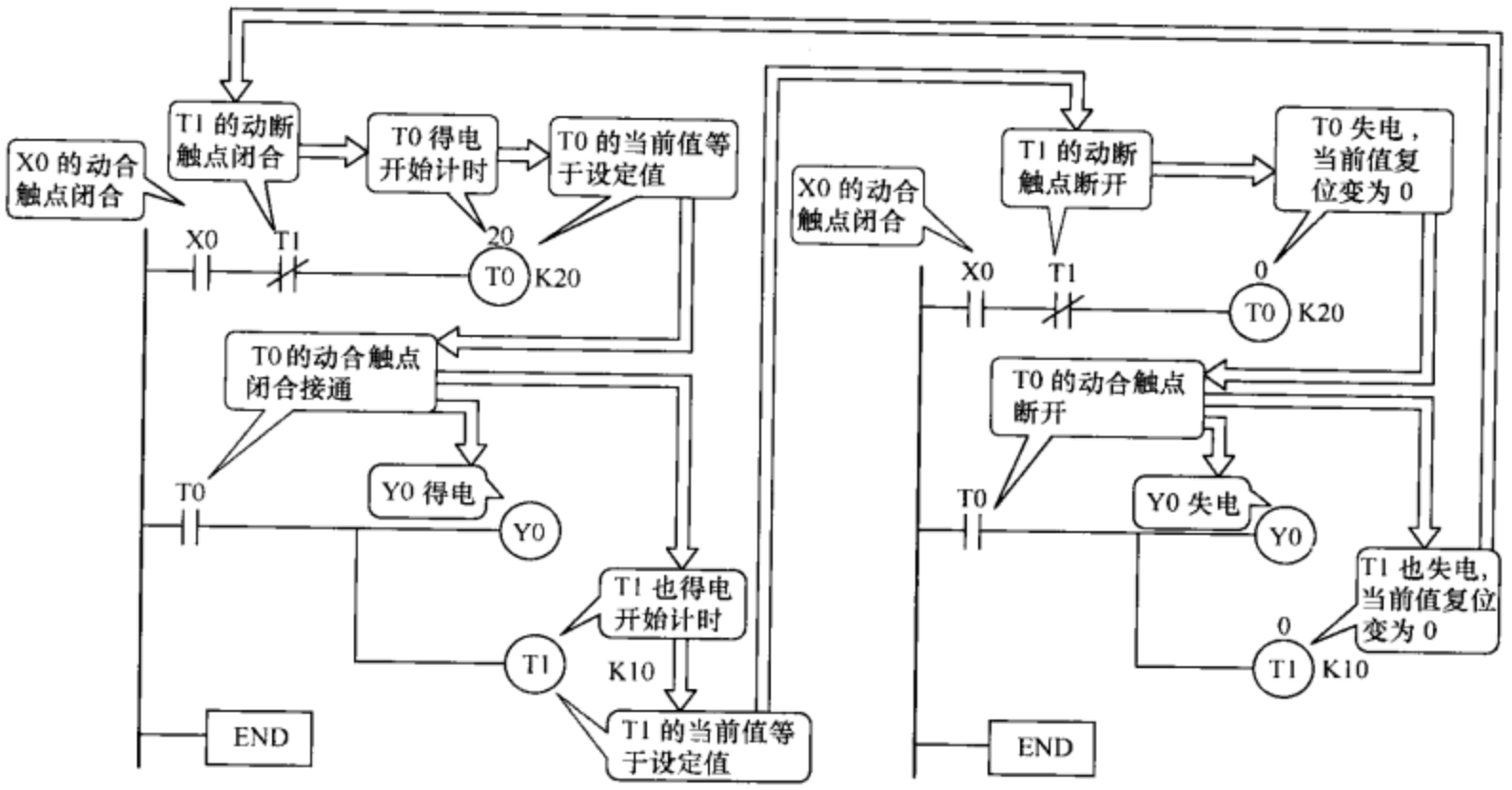


图 6-12　闪烁电路动作示意图



想一想　编写梯形图时应注意哪些问题？

电与闪电

同学甲："电与闪电有什么区别？"

同学乙："一个收电费，一个不收电费。"



6.2 继电器控制电路与 PLC 电路的转换——奔向自动化

传统电路搞技改，PLC 法可实现。
“翻译”电路一变二，梯形图和外接线。
输入输出先确定，I/O 分配编程件。
复杂电路分步画，内部程序不能断。
触点转换是难点，仔细校对不能乱。
编程规则须遵循，专业软件来校验。
老式设备添青春，确保功能不会变。

用 PLC 控制的系统或设备功能完善，可靠性高，维修方便，所以用 PLC 控制取代继电器控制已是大势所趋。有些继电器控制系统或设备经过多年的实践证明其设计是成功的，若欲改用 PLC 控制，可以在原继电器控制电路的基础上进行合理转换，从而设计出具有相同功能的 PLC 控制程序。把继电器控制电路转化成 PLC 控制电路时，要注意转化方法，以确保转换后系统的功能不变。

6.2.1 电路图转换为梯形图的步骤及方法
——语法规定应履行，I/O 分配要可行

PLC 使用与继电器电路图极为相似的梯形图语言。如果用 PLC 改造继电器控制系统，根据继电器电路图来设计梯形图是一条捷径。这是因为原有的继电器控制系统经过长时间的使用和考验，已经被证明能完成系统要求的控制功能，而继电器电路图又与梯形图有很多相似之处，所以可以将继电器电路图“翻译”（或称为“移植”）过来，使之变成为具有相同功能的 PLC 外部硬件接线图和梯形图。这种设计方法一般不需要改动控制面板，保持了系统原有的外部特性，操作人员不用改变长期形成的操作习惯。

继电器—接触器电路图是一个纯粹的硬件电路图，改为 PLC 控制时，需要用 PLC 的外部接线图和梯形图来等效继电器电路图。在这个“一变二”的转换过程中，可以将 PLC 想象成一个继电器控制系统中的控制箱，其外部接线图描述了这个控制箱的外部接线，梯形图是这个控制箱的内部“电路图”，梯形图中的输入继电器和输出继电器是这个控制箱与外部世界联系的“接口继电器”，这样就可以用分析继电器电路图的方法来分析 PLC 控制系统。

在分析梯形图时可以将梯形图中输入继电器的触点想象成对应的外部输入器件的触点或电路，将输出继电器的线圈想象成对应的外部负载的线圈。外部负载的线圈除了受梯形图控制外，还可能受外部触点的控制。

下面介绍将继电器控制电路转换为 PLC 控制电路的基本步骤和方法。

1. 基本步骤

① 首先应了解和掌握被控设备的工作原理、工艺过程和机械的动作情况，重点分析控制

系统的控制要求，如初始状态下输入、输出设备的状态，启动操作过程中各输入、输出设备的状态转换，停止操作时各输入、输出设备的复位情况等。熟悉被控设备的工艺过程和机械动作，根据继电器电路分析和掌握控制系统的工作原理，为设计和调试做到心中有数。

② 设计的第一步是确定 PLC 的输入信号和输出负载，并设定相应的 PLC 编程元件与之对应，在此基础上画出 PLC 的外部接线图。继电器电路图中的交流接触器和电磁阀等执行机构用 PLC 的输出继电器来控制。按钮、操作开关、行程开关、压力继电器等的触点接在 PLC 的输入端。继电器电路图中的中间继电器对应梯形图中的辅助继电器，时间继电器对应梯形图中的定时器。在此基础上，列出 PLC 的 I/O（输入/输出）地址与被控系统中输入、输出设备对应的分配关系表（一般称为 I/O 分配表）。

③ 画出 PLC 的外部接线图（指 PLC 输入、输出接线示意图），同时也确定了 PLC 的各输入信号和输出负载对应的输入继电器和输出继电器的元件号，为梯形图的设计打下基础。

④ 绘制梯形图。中间继电器和时间继电器用 PLC 的内部辅助继电器和定时器代替，并设定对应梯形图中的元件号，然后将继电器电路图转换为梯形图并进行优化。

2. 基本方法

（1）动合、动断按钮的处理

在继电器控制电路中，一般启动用动合按钮，停止用动断按钮。用 PLC 控制时，启动和停止一般都用动合按钮。尽管使用哪种按钮都行，但画出的 PLC 梯形图却不同。

在图 6-13 中，2SB 是启动按钮，1SB 是停止按钮，KM 是交流接触器。在图 6-13（a）中，停止用动合按钮实现，对应梯形图中的 00001 是动断触点；在图 6-13（b）中，停止用动断按钮实现，对应梯形图中的 00001 是动合触点。

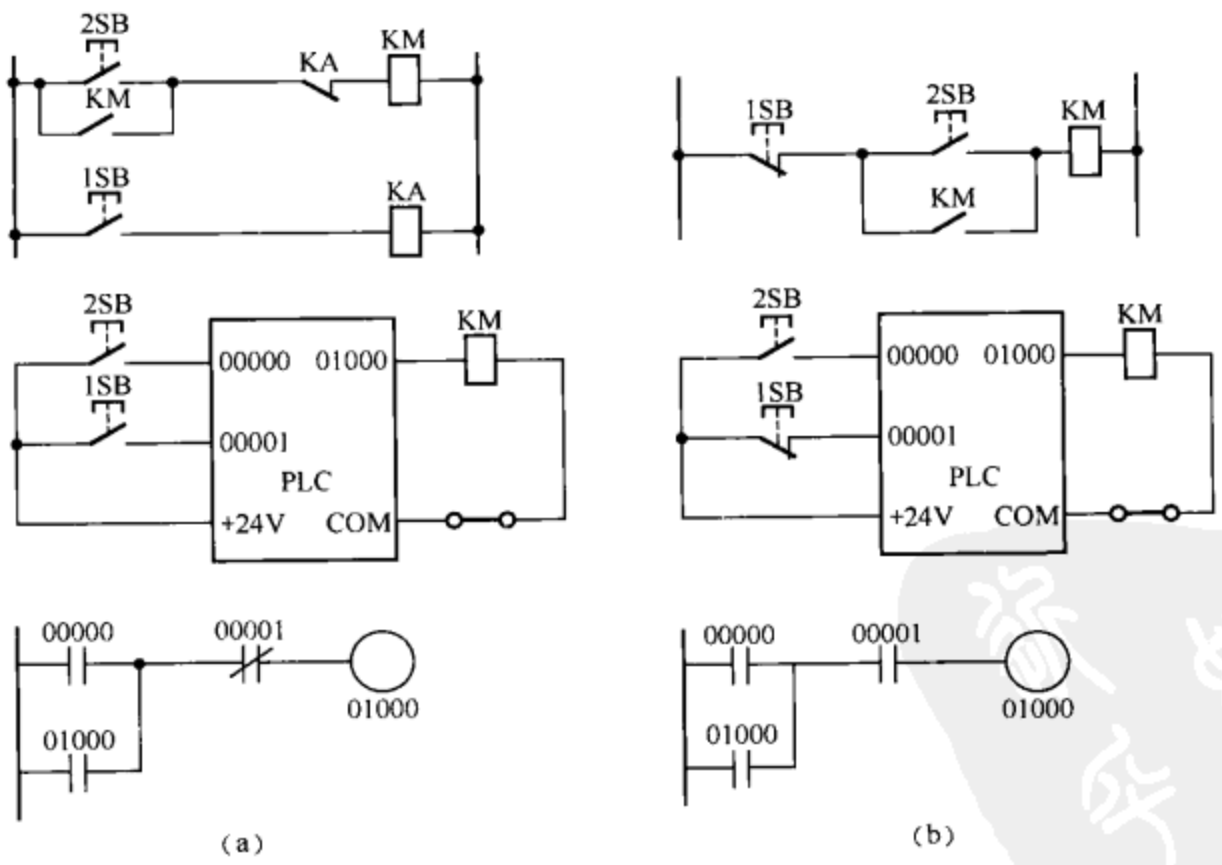


图 6-13　动合、动断按钮的处理

（2）热继电器触点的处理

若 PLC 的输入点较富余，热继电器的动断触点可占用 PLC 的输入点；若 PLC 的输入点

较紧张，热继电器的信号可不输入 PLC 中，而接在 PLC 外部的控制电路中。

（3）时间继电器的处理

物理的时间继电器可分为通电延时型和断电延时型。通电延时型时间继电器，其延时动作的触点有通电延时闭合和通电延时断开两种。断电延时型时间继电器，其延时动作的触点有断电延时闭合和断电延时断开两种。用 PLC 控制时，时间继电器可以用 PLC 的定时器/计数器来代替。PLC 定时器的触点只有接通延时闭合和接通延时断开两种，但通过编程可以设计出满足要求的时间控制程序。

（4）综合处理

可将较复杂的控制电路化整为零，先进行局部转换，最后再综合起来。当控制电路很复杂时，大量的中间继电器、时间继电器、计数器都可以用 PLC 的内部元件取代，复杂的控制逻辑可以用程序实现。这时，用 PLC 取代继电器控制的优越性就显而易见了。由继电器控制电路转换成 PLC 梯形图后，一定要仔细校对、认真调试，以保证其控制功能与原图相符。



想一想　将继电器控制电路转换为 PLC 控制电路的基本步骤和方法是什么？



根据继电器控制电路图设计 PLC 外部接线图和梯形图时的注意事项

① 应遵守梯形图语言中的语法规则。由于工作原理不同，梯形图不能照搬继电器电路中的某些处理方法。例如在继电器电路中，触点可以放在线圈的两侧，但是在梯形图中线圈必须放在电路的最右边。

② 适当分离继电器控制电路图中的某些电路。设计继电器控制电路图时的一个基本原则是尽量减少图中使用的触点的个数，因为这意味着成本的节约，但是这往往会使某些线圈的控制电路交织在一起。在设计梯形图时首要的问题是设计思路要清楚，设计出的梯形图容易阅读和理解，而并不是特别在意是否多用了几个触点，因为这不会增加硬件的成本，只是在输入程序时需要多花一点儿时间。

③ 尽量减少 PLC 的输入和输出点。PLC 的价格与 I/O 点数有关，因此减少输入、输出的点数是降低硬件费用的主要措施。在 PLC 的外部输入电路中，各输入端可以接动合触点或动断触点，也可以接触点组成的串并联电路。这是因为 PLC 不能识别外部电路的结构和触点类型，只能识别外部电路的通断。

3. PLC 设计举例

上面讲述的方法通常称为继电器控制电路移植法。所谓继电器控制电路移植法就是将继电器控制电路直接转换为具有相同功能的 PLC 外部硬件接线图和梯形图。这种方法的特点是：一般不需要更改控制面板，保持系统原有的外部特性，操作人员不用改变长期形成的操作习惯。

图 6-14 为某摇臂钻床的继电器控制电路原理图。下面介绍用继电器控制电路移植法设计

某摇臂钻床的 PLC 外部硬件接线图和梯形图的方法和步骤。

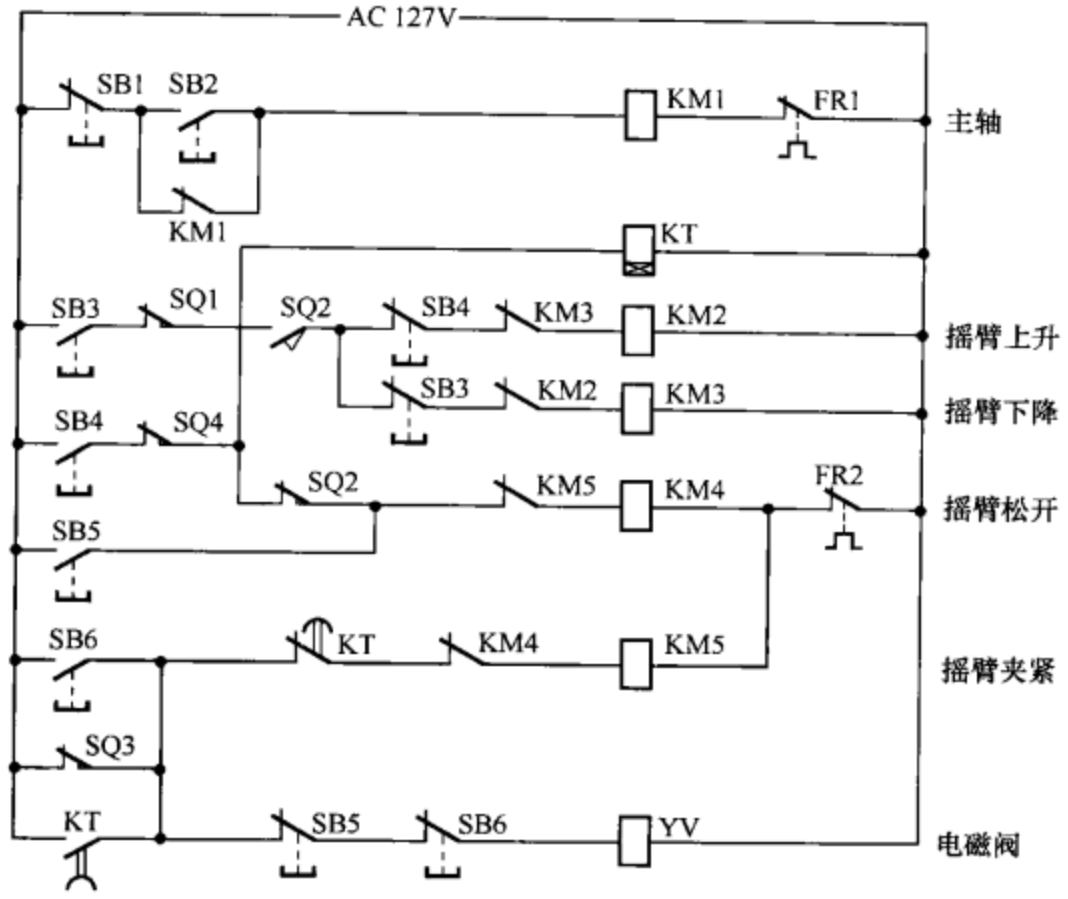


图 6-14　某摇臂钻床继电器控制电路原理图

① 根据继电器电路图分析并掌握控制系统的工作原理。

主轴电动机——接触器 KM1 控制。

摇臂升降电动机——接触器 KM2、KM3 控制。

松开、夹紧（立柱、主轴箱）电动机——KM4、KM5 控制。

② 确定 PLC 的输入信号和输出负载，画出 PLC 的外部接线图，如图 6-15 所示。

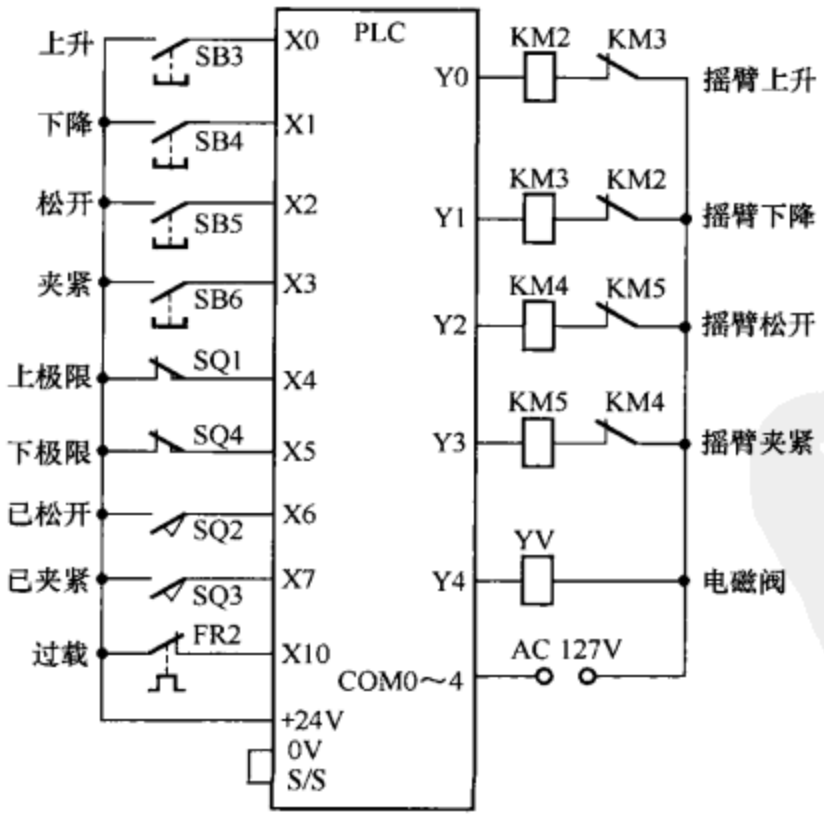
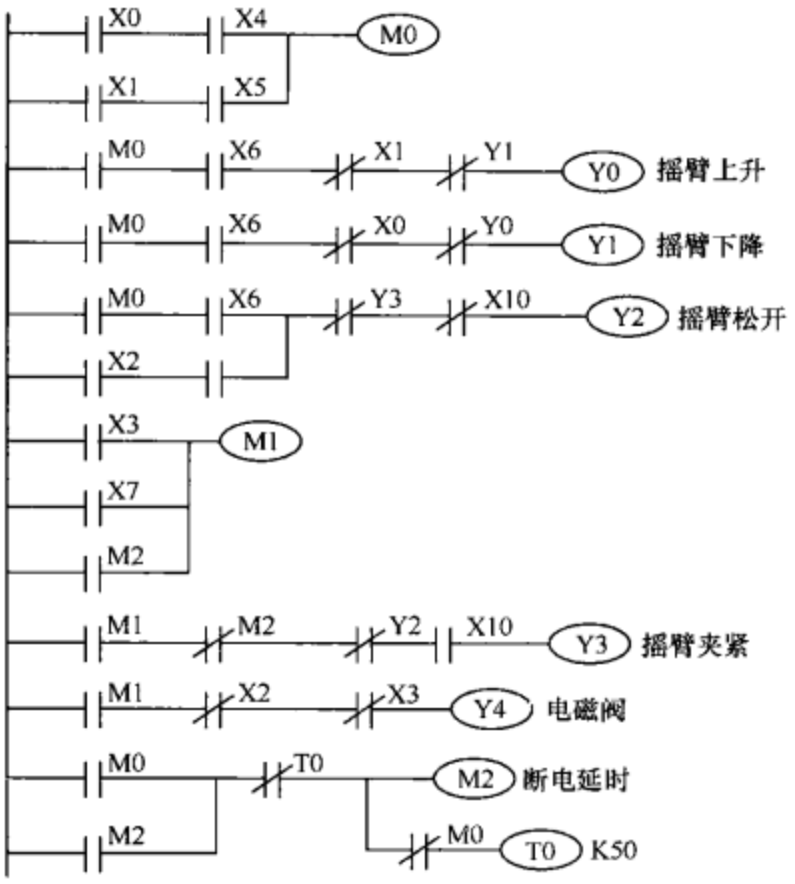


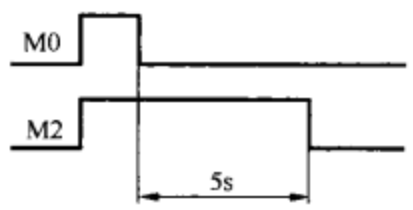
图 6-15　PLC 外部接线图

③ 确定与继电器电路图中的中间继电器和时间继电器对应的梯形图中的辅助继电器和定时器的元件号。

④ 根据上述对应关系画出梯形图，如图 6-16 所示。



（a）梯形图



（b）时序图

图 6-16　梯形图与断电延时时序图

应用举例

例 6-1　将图 6-17 所示的三相异步电动机正反转控制电路图转换为 PLC 外部接线图和梯形图。

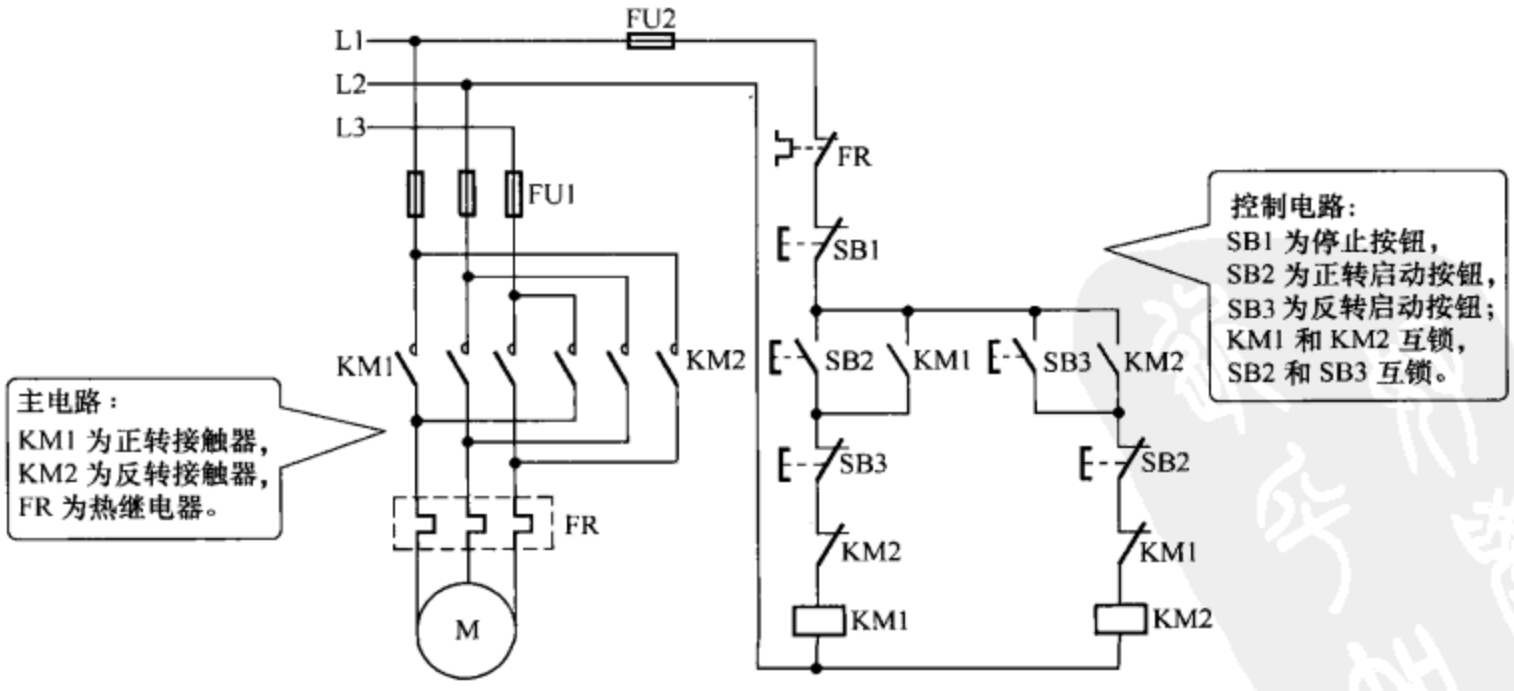


图 6-17　三相异步电动机正反转控制电路图

（1）熟悉电动机正反转控制电路

KM1 为控制电动机正转的交流接触器，KM2 是控制电动机反转运行的交流接触器。SB1 为停止按钮，SB2 为正转启动按钮，SB3 为反转启动按钮。FR 是作过载保护用的热继电器，异步电动机长期严重过载时，经过一定时间的延时，热继电器的动断触点断开，动合触点闭合。其动断触点与接触器的线圈串联，过载时接触器的线圈断电，电动机停止运行，起到保护作用。

（2）PLC I/O 点的确定与分配

SB1、SB2 和 SB3 三个按钮可为 PLC 提供输入信号，PLC 的输出用来控制两个交流接触器的线圈。由此确定电动机正反转控制 PLC 的 I/O 分配表，见表 6-1。

表 6-1　　电动机正反转控制 PLC 的 I/O 分配表

地　址	连接的外部设备	功 能 说 明
X0	SB1	停止命令
X1	SB2	电动机正转命令
X2	SB3	电动机反转命令
X3	FR 动合	电动机过载保护
Y0	KM1	控制电动机正转
Y2	KM2	控制电动机反转

（3）绘制 PLC 外部接线图

根据电动机正反转控制 PLC 的 I/O 分配表，在梯形图中可用两个启保停电路来分别控制电动机的正转和反转。图 6-18 为 PLC 外部接线图。

按下正转启动按钮 SB2，X0 变为 ON，其动合触点接通，Y0 的线圈“得电”并自保持，使 KM1 的线圈通电，电动机开始正转运行。按下停止按钮 SB1，X2 变为 ON，其动断触点断开，使 Y0 的线圈“失电”，电动机停止运行。

由于继电器输出型与双向晶闸管输出型 PLC 的输出模块只能驱动额定电压为 AC 220V 的负载，本电路中原来的交流接触器的线圈电压为 380V，应将线圈换成 220V，或在 PLC 外部设置中间继电器。

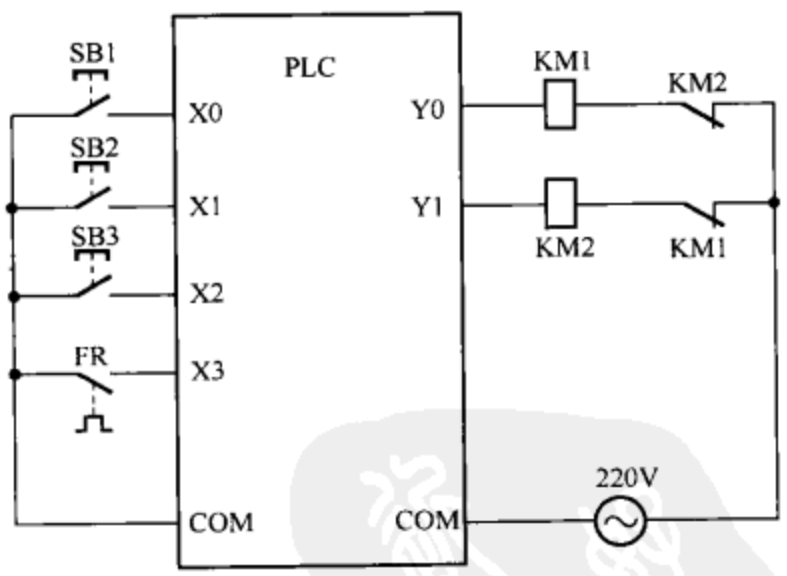


图 6-18　PLC 外部接线图

（4）绘制梯形图

① 如果系统要求电动机不可同时进行正转和反转，可利用互锁电路实现，其梯形图如图 6-19 所示。

② 如果利用正转按钮切断反转的控制电路，利用反转按钮切断正转的控制电路，即增加机械互锁，可用下面的梯形图来完成，见图 6-20。

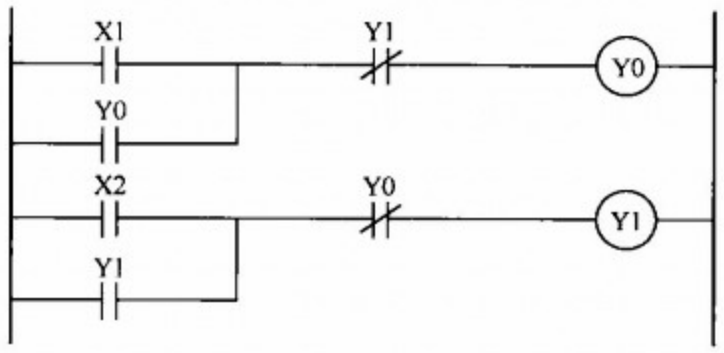


图 6-19 电动机正反转互锁电路的梯形图

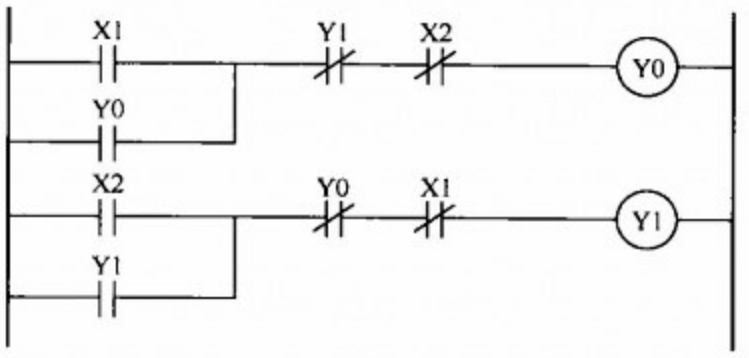


图 6-20 电动机正反转切换电路的梯形图

③ 利用 SB1 来同时控制电动机正转和反转的控制电路可用下面的梯形图来完成，见图 6-21。

④ 考虑到电动机的过载保护，最终的梯形图如图 6-22 所示。

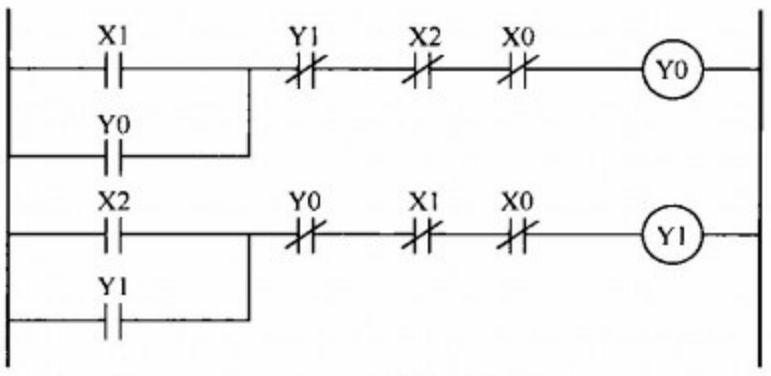


图 6-21 电动机正反转控制梯形图

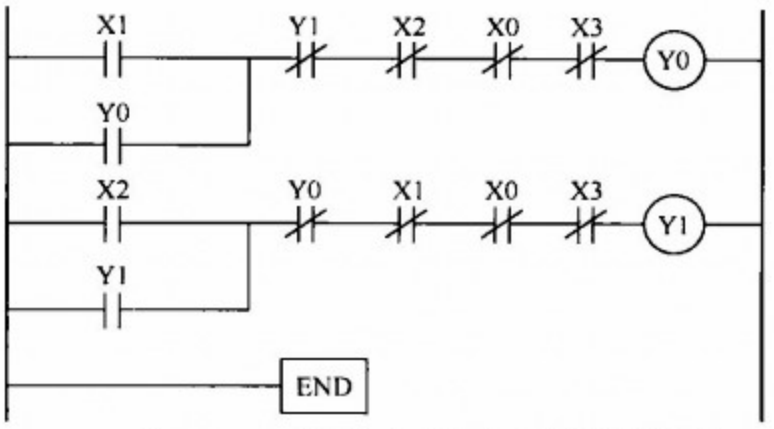


图 6-22 三相异步电动机正反转控制梯形图

利用转换法绘制梯形图比较简单，特别适合于初学者练习。在反复练习的基础上就能够积累一定的经验，下面举例说明如何用经验绘制法画较简单的梯形图。

思路点拨

采用经验法绘制梯形图的基本步骤

熟记编程规则和注意事项，根据控制要求在纸上绘出控制电路梯形图，然后进行排错和优化，最后在软件中绘制梯形图，在软件中测试通过。

应用举例

例 6-2 根据图 6-23 所示的小车控制系统图画出 PLC 的外部接线图和梯形图，要求能够实现：按下启动按钮 SB1，小车右行，到达右限位开关 SQ2 时停止，10s 后小车返回。

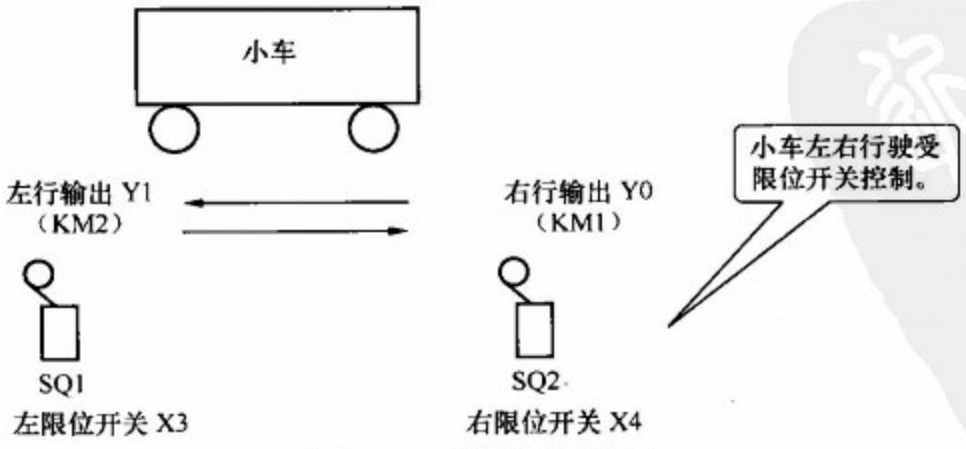


图 6-23 小车控制系统图

（1）绘制 PLC 的外部接线图

首先设定 PLC 外部的 I/O 地址（见表 6-2），然后绘制出 PLC 外部接线图，如图 6-24 所示。

表 6-2　　I/O 地址的设定

输入继电器	外 部 器 件
X0	右行启动按钮 SB1
X1	左行启动按钮 SB2
X2	停止按钮 SB3
X3	左限位开关 SQ1
X4	右限位开关 SQ2
X5	过载保护 PR
Y0	右行输出 KM1
Y1	左行输出 KM2

（2）绘制梯形图

根据小车的工作过程分析，该电路实质上就是一个三相异步电动机的正反转控制电路。按照本节介绍的方法，通过对三相异步电动机正反转控制电路的修改可完成小车控制梯形图的绘制，如图 6-25 所示。其中，热继电器 FR 只能提供动断触点输入，用 X5 的动合触点与 Y0 和 Y1 的线圈输出电路串联。这是因为在没有过载时的正常情况下，FR 的动断触点闭合，X5 的输入一直为 ON 状态，X5 的动合触点闭合，不会影响 Y0 和 Y1 的正常工作。当过载时，X5 为 OFF，其动合触点断开，切断 Y0 和 Y1 的线圈回路，从而起到保护作用。

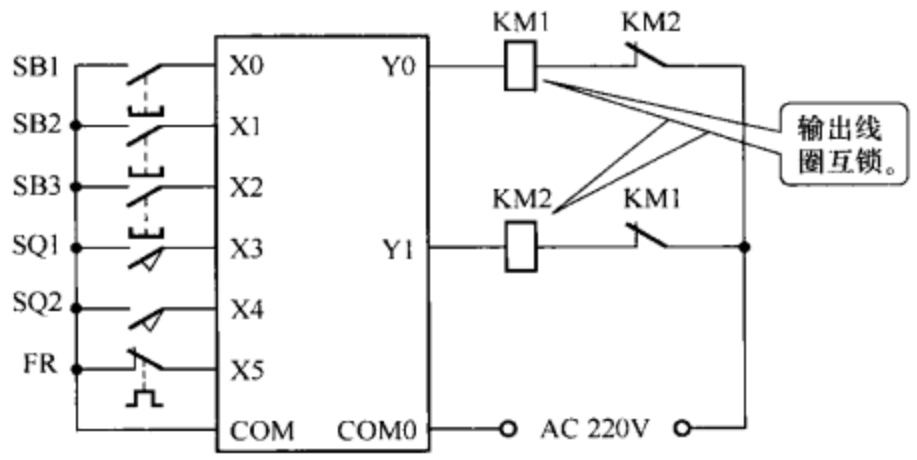


图 6-24　PLC 外部接线图

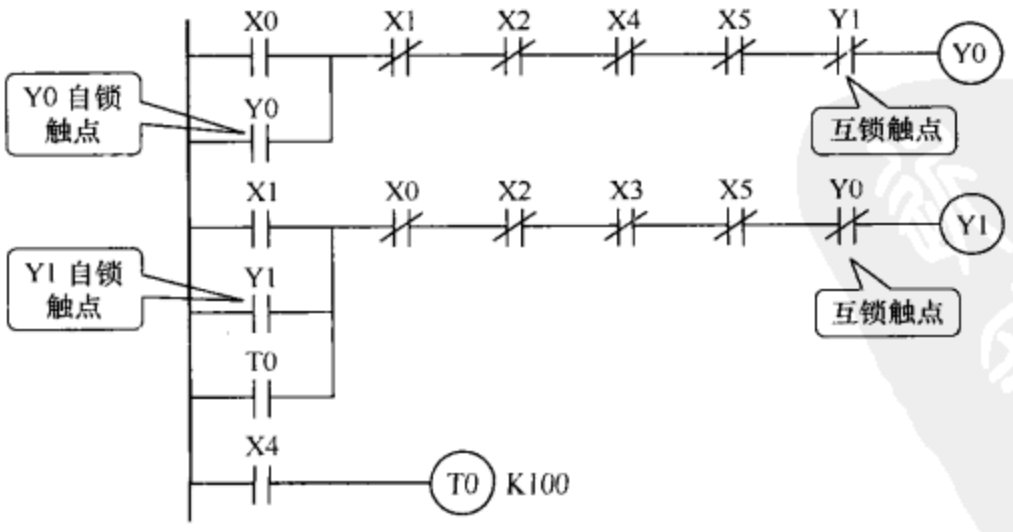


图 6-25　小车控制梯形图

6.2.2 用PLC改造电动机传统控制电路
——主路保留辅路变，虚拟电路能实现

近年来，用PLC控制技术改造电动机传统控制电路已经成为众多企业技术改造的重点，下面通过几个实例介绍这一技术的应用情况，以帮助初学者识读PLC梯形图。

1. 电动机点动控制电路的改造

采用替代设计法进行电路改造的基本思路是：用原有电气控制系统的输入信号及输出信号作为PLC的I/O点，原来由继电器—接触器硬件完成的逻辑控制功能用PLC的软件——梯形图及程序替代。

传统继电器—接触器式电动机单向点动正转控制电路如图6-26所示。这是一个比较简单的电路，按照前面介绍的方法和步骤，把它转换为PLC控制电路的过程如下。

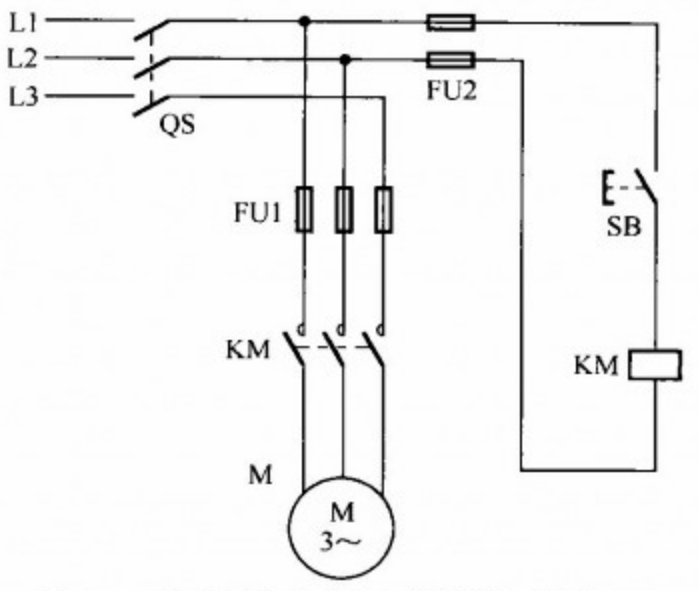


图6-26 电动机单向点动正转控制电路原理图

（1）分配PLC的I/O（输入/输出）地址

图6-26所示电路中的输入设备有点动按钮SB，输出设备有接触器KM的线圈。据此可将PLC的输入/输出继电器地址分配给上述输入/输出设备，见表6-3。

表6-3 电动机单向点动正转控制I/O分配表

输　入		输　出	
元件	地址	元件	地址
点动按钮SB	X0	接触式线圈KM	Y0

（2）画接线图

根据I/O分配表画出PLC控制电动机点动正转电路的外围接线图，如图6-27所示。其基本方法是：老式辅助电路的输入、输出转换为新式辅助电路的输入、输出，老式辅助电路按接线顺序转成PLC的虚拟电路。

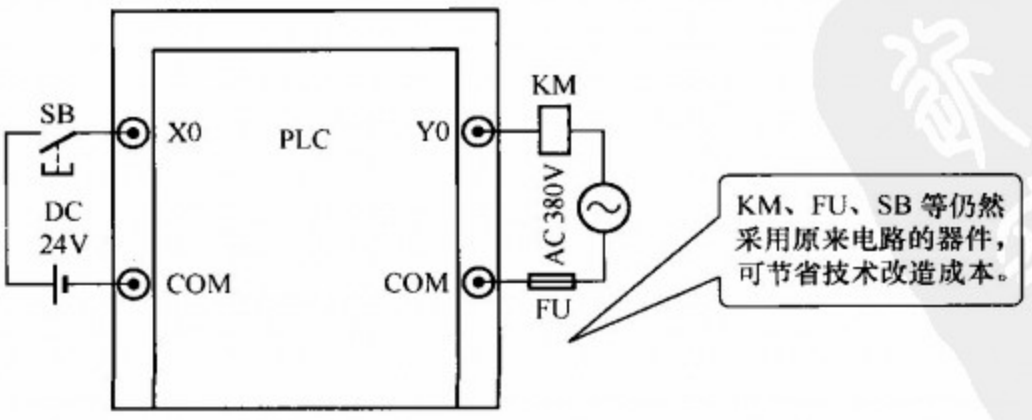


图6-27 PLC控制电动机点动正转控制电路的外围接线图

为了防止在待机状态或无操作命令时 PLC 的输入电路长时间通电，从而使能耗增加，PLC 输入单元电路的寿命缩短，若无特殊要求，一般采用动合触点或与 PLC 的输入端子相连。另外，为了简化外围接线和增加系统的稳定性，输入端所需的 DC 24V 电源可以直接从 PLC 的端子上引入，而输出端的负载交流电源则由用户根据负载容量和耐压值灵活确定。

（3）编制梯形图

编制控制程序时只需对控制电路进行编程，主电路无需处理。为了直观起见，将图 6-26 所示电路的控制电路单独画出来，并按类似梯形图的方式水平放置，然后将 PLC 的 I/O 编号标注在对应器件的旁边，如图 6-28 所示。

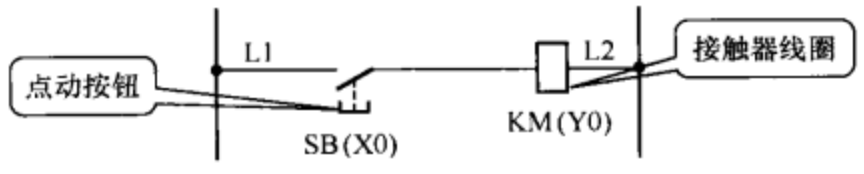


图 6-28　电动机点动正转控制电路图

绘制梯形图时，可以采用“直观替代法”，用 PLC 梯形图中的“左右母线”代替继电器—接触器控制电路中的电源相线“L1”、“L2”，用 PLC 梯形图中的动合触点“ ⊣⊢ ”代替继电器—接触器控制电路中点动按钮 SB 的动合触点“ ⊣ ⊢ ”，用 PLC 梯形图中的线圈“ —◯ ”代替继电器—接触器控制电路中交流接触器 KM 的线圈“ —□— ”，并使这些软元件的编号与图 6-28 中标注在相应物理元件旁边的编号一致，这样即可轻而易举地绘制出上述电路的梯形图，如图 6-29 所示。由此可见，梯形图与电气控制原理图的不同之处就是在梯形图程序中每个完整的程序必须以一条 END（01）指令来结束。

将设计意图修改为电动机点动正转自锁控制，要求如下：按下启动按钮 SB1 后电动机自锁正转，按下停止按钮 SB2 后电动机停转。继电器—接触器控制电路如图 6-30 所示。

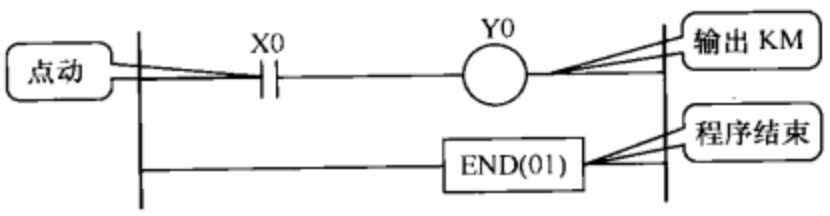


图 6-29　电动机点动正转控制电路的梯形图

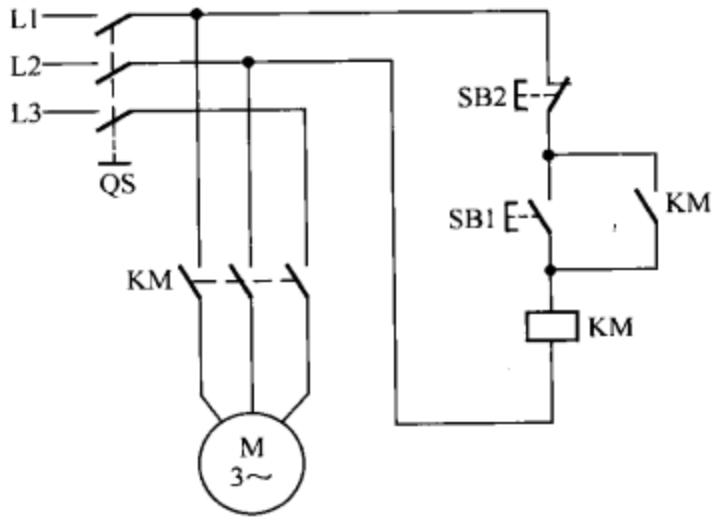


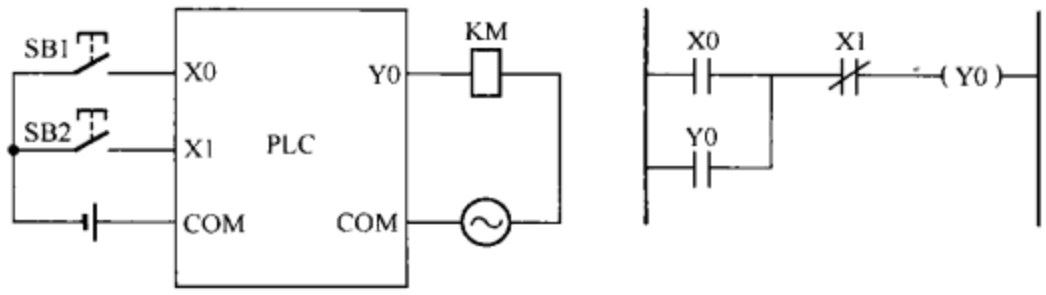
图 6-30　电动机点动正转自锁控制电路

PLC 的 I/O 地址的分配见表 6-4。

表 6-4　　电动机点动正转自锁控制 I/O 分配表

输　入		输　出	
元件	地址	元件	地址
启动按钮 SB1	X0	接触式线圈 KM	Y0
停止按钮 SB2	X1		

图 6-31 为 PLC 的接线图和梯形图。如果再将设计意图修改为电动机正反停控制，则 I/O 地址的分配见表 6-5。



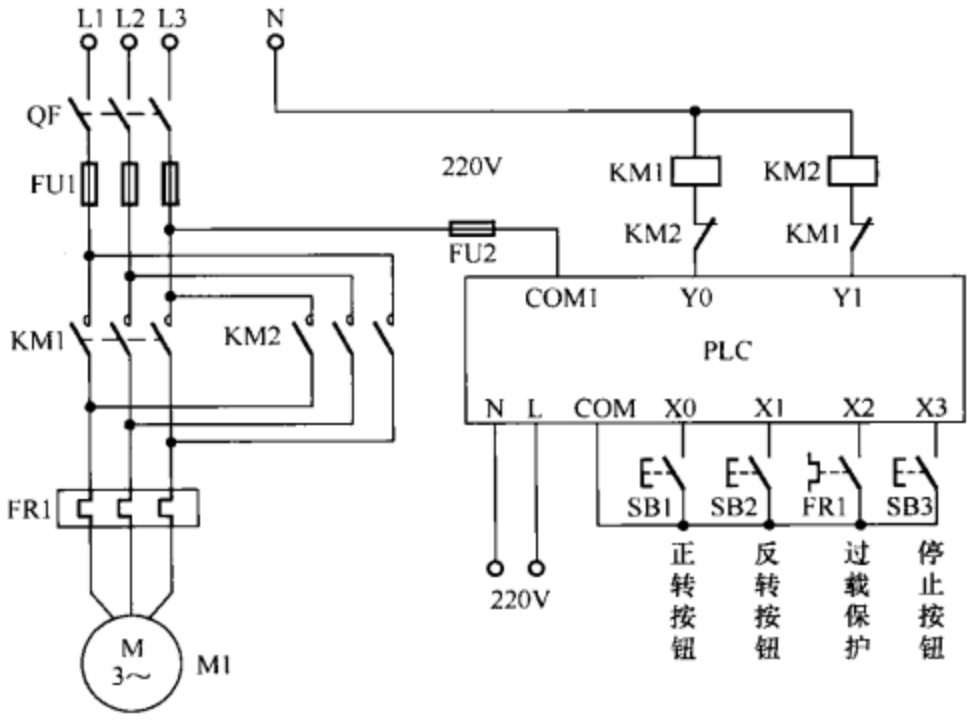
（a）PLC 接线图　　（b）PLC 梯形图

图 6-31　PLC 的接线图和梯形图

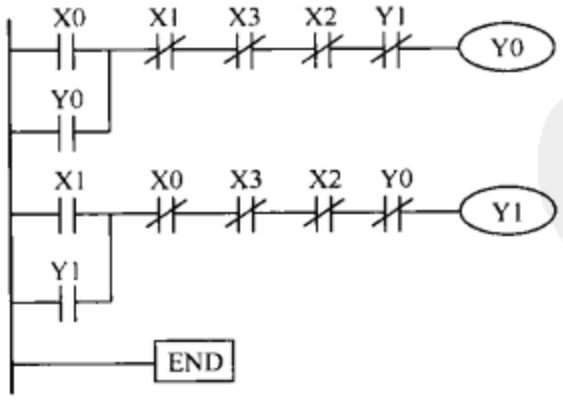
表 6-5　　电动机正反停控制 I/O 分配表

输　入			输　出		
元件	功能	信号地址	元件	功能	信号地址
按钮 SB1	电动机正转	X0	电动机	正转	Y0
按钮 SB2	电动机反转	X1	电动机	反转	Y1
按钮 SB3	电动机停止	X3			
FR1	过载保护	X2			

这时 PLC 的外部接线图和梯形图如图 6-32 所示。



（a）PLC 外部接线图



（b）PLC 梯形图

图 6-32　电动机正反停控制电路中 PLC 的接线图和梯形图

这种方法的优点是程序设计简单，有现成的电气控制电路作为依据，设计周期短。在旧

设备电气控制系统改造中，对于不太复杂的控制系统常采用这种方法。

2. Y-△降压启动控制电路的改造

图 6-33 所示为继电器一接触器式三相异步电动机 Y-△降压启动控制电路，现在把它改造成为功能相同的 PLC 控制系统，具体方法及步骤如下。

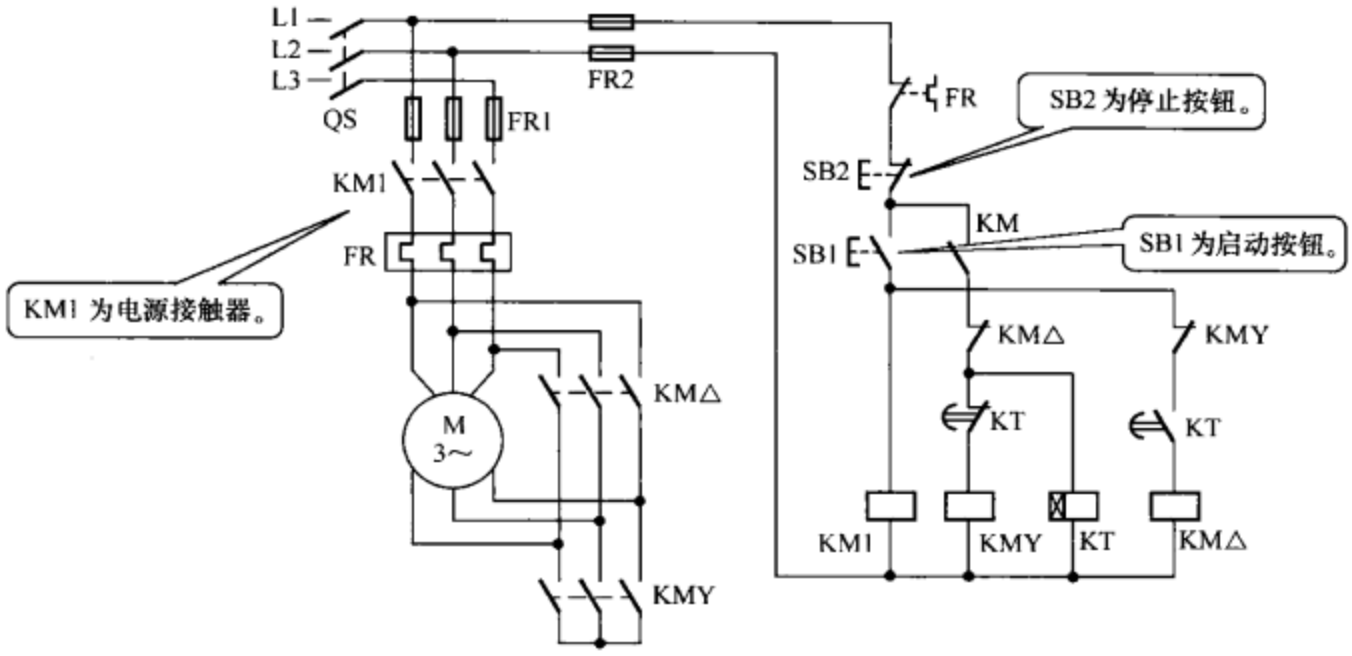


图 6-33　三相异步电动机 Y一△降压启动控制电路

（1）分配 I/O 地址

PLC 的输入信号：启动按钮 SB1、停止按钮 SB2、热继电器 FR。

PLC 的输出信号：电源接触器 KM1、Y 形连接接触器 KM3、△形连接接触器 KM2。

I/O 地址分配见表 6-6。

表 6-6　　I/O 地址分配表

输　入		输　出	
元件	地址	元件	地址
SB1（启动按钮）	X0	KM1（电源接触器）	Y0
SB2（停止按钮）	X1	KM2（△形连接接触器）	Y2
FR（热继电器）	X2	KM3（Y 形连接接触器）	Y1

（2）绘制接线表

根据 I/O 地址的对应关系，可画出 PLC 的外围接线图，如图 6-34 所示。

（3）绘制梯形图

根据三相异步电动机 Y-△降压启动原理，可以画出对应的梯形图，如图 6-35 所示。

（4）电路识读

为防止电动机由 Y 形接法转换为△形接法时发生相间短路，由输出继电器 Y1（Y 形连接）和输出继电器 Y2（△形连接）的动断触点实现软件互锁，而且还在 PLC 输出电路中使用接触器 KM2、KM3 的动断触点进行硬件互锁。

当按下启动按钮 SB1 时，输入继电器 X0 接通，X0 的动合触点闭合，执行主控触点指令 MC，并通过主控触点（M101 的动合触点）自锁，输出继电器 Y1 接通，使接触器 KM3（Y 形连接接触器）得电动作，接着 Y1 的动合触点闭合，使输出继电器 Y0 接通并自锁，接触器 KM1（电源接触器）得电动作，电动机接成 Y 形降压启动。同时定时器 T0 开始计时，6s 后

T0 的动断触点断开，使 Y1 失电，故接触器 KM3（Y 形连接接触器）也失电复位，Y1 的动断触点（互锁作用）恢复闭合，解除互锁，使 Y2 接通，接触器 KM2（△形连接接触器）得电动作，电动机接成△形全压运行。

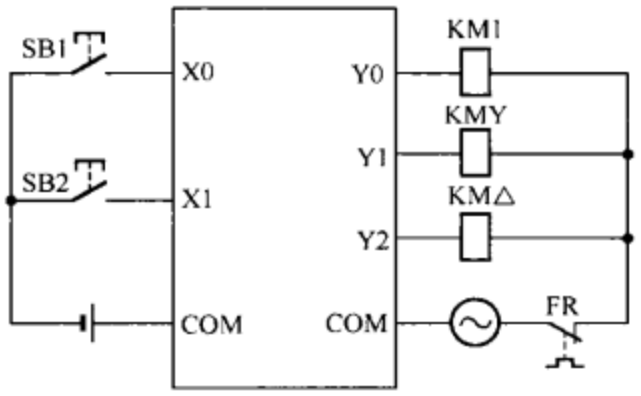


图 6-34　PLC 外部接线图

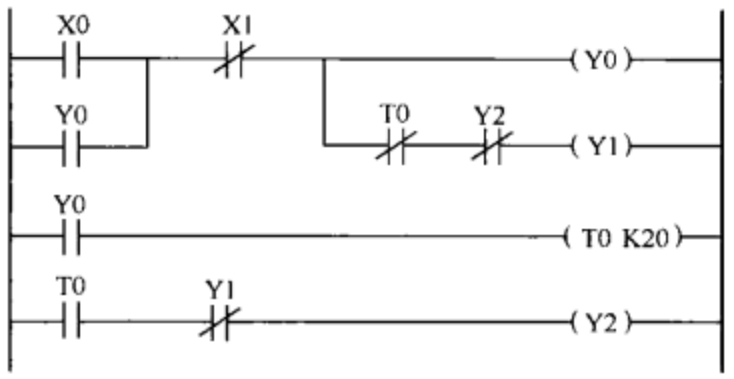


图 6-35　三相异步电动机 Y-△降压启动梯形图

思路点拨

梯形图与继电器—接触器控制电路的相同点和不同点

相同点：继电器—接触器控制系统电路图与梯形图在表示方法和分析方法上有很多相似之处，如 PLC 控制元件也称为继电器，当某个继电器线圈有电时，其动合触点闭合，动断触点断开。

不同点：梯形图是 PLC 程序，是一种软件，继电器—接触器控制电路是由硬件组成的。

注意，这两种控制电路在本质上是不同的。

3. 三相绕线式异步电动机控制电路的改造

图 6-36 所示为三相绕线式异步电动机控制电路。把绕线式异步电动机串电阻启动的继电器—接触器控制电路改造为功能相同的 PLC 控制系统的具体步骤如下。

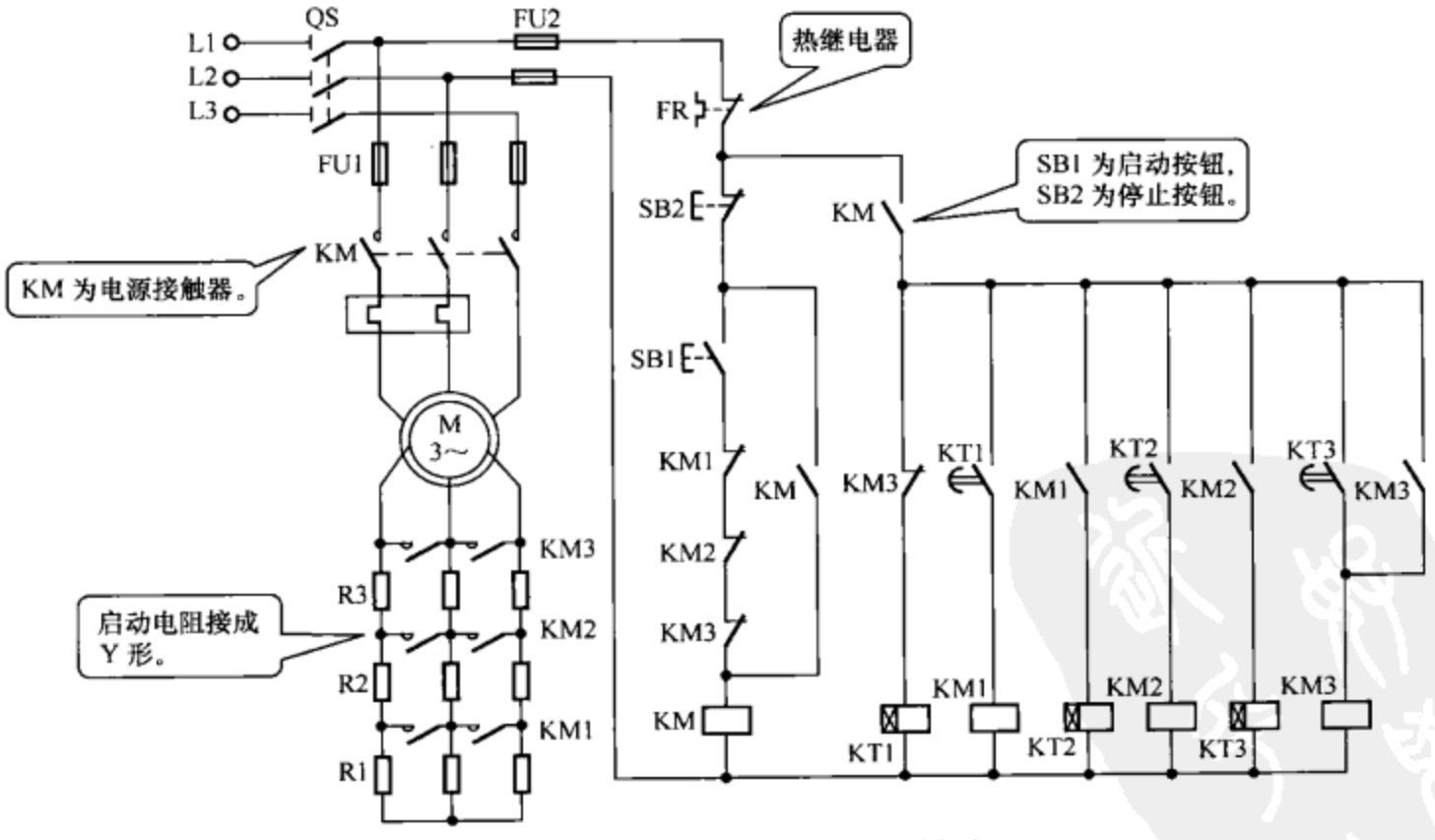


图 6-36　三相绕线式异步电动机控制电路

（1）分配 I/O 信号

PLC 的输入信号：启动按钮 SB1、停止按钮 SB2、热继电器 FR。

PLC 的输出信号：电源接触器 KM、短接 R1 接触器 KM1、短接 R2 接触器 KM2、短接 R3 接触器 KM3。

根据上述设备的电气工作原理，PLC 的 I/O 地址分配见表 6-7。

表 6-7　　PLC 的 I/O 地址分配表

输　入		输　出	
元件	地址	元件	地址
SB1（启动按钮）	X0	KM（电源接触器）	Y4
SB2（停止按钮）	X1	KM1（短接 R1 接触器）	Y5
FR（热继电器）	X2	KM2（短接 R2 接触器）	Y6
		KM3（短接 R3 接触器）	Y7

（2）绘制接线表

根据 I/O 信号的对应关系，可画出 PLC 的外围接线图，如图 6-37 所示。

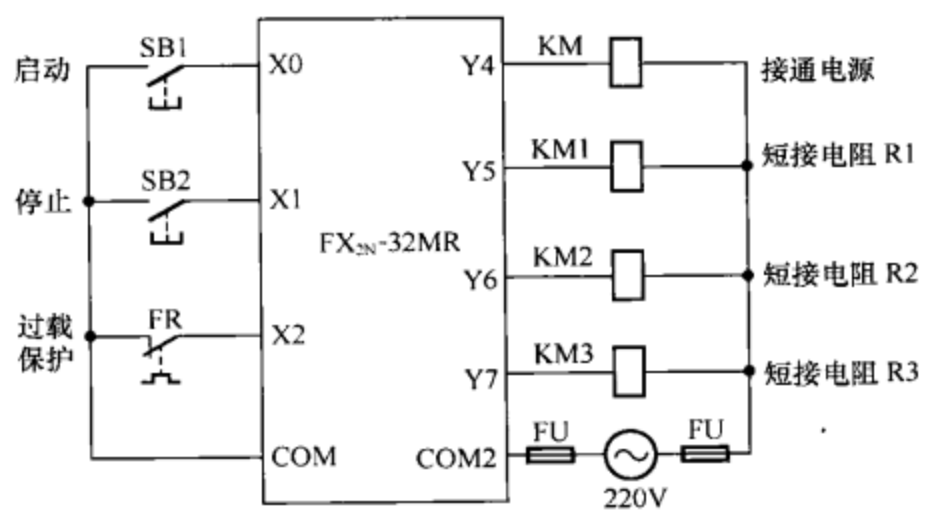


图 6-37　PLC 的外围接线图

（3）绘制梯形图

根据三相绕线式异步电动机串电阻启动工作原理，可以画出对应的梯形图，如图 6-38 所示。该梯形图采用了主控指令 MC 和主控复位指令 MCR，延时短接电阻 R1、R2、R3 的定时器分别为 T1、T2、T3，通过 T1、T2、T3 的动合触点分别启动输出继电器 Y5、Y6、Y7。

（4）识读电路

当按下启动按钮 SB1 时，输入继电器 X0 接通，X0 的动合触点闭合，输出继电器 Y4 接通并自保，使接触器 KM（电源接触器）得电动作，电动机接通电源，转子串接全部电阻启动。与此同时，辅助继电器 M100 的线圈接通，其触点执行主控指令 MC，通过主控触点（M101 的动合触点）接通定时器 T1 并开始计时。延时时间到达设定值时 T1 的动合触点闭合，输出继电器 Y5 的线圈接通，KM1 得电动作，短接第一级启动电阻 R1，使 T2 的线圈接通并开始计时。延时时间到达设定值时，T2 的动合触点闭合，输出继电器 Y6 的线圈接通，KM2 得电动作，短接第二级启动电阻 R2。同时 Y6 的动合触点闭合，使 T3 的线圈接通，开始计时。延时时间到达设定值时，T3 的动合触点闭合，输出继电器 Y7 的线圈接通并自保，使 KM3 的线圈得电动作，短接第三级启动电阻 R3。同时，Y7 的动断触点断开定时器 T1 的线圈，其触点断开后，使 Y5、T2、Y6、T3 的线圈依次断电，KM1、KM2 失电复位，启动完毕。只有 KM、KM3 保持通电状态，电动机才转入稳定运行。

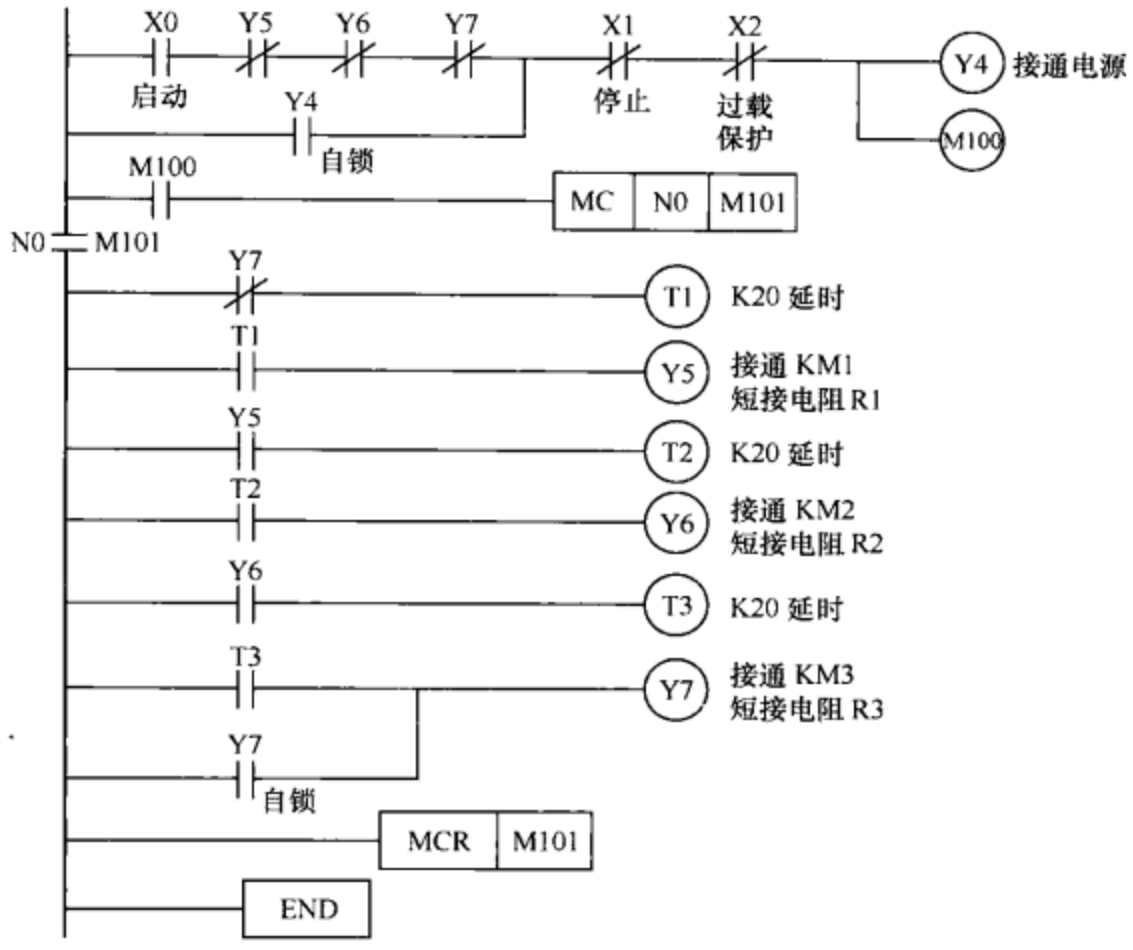


图 6-38　三相绕线式异步电动机控制电路梯形图

按下停止按钮 SB2，输入继电器 X1 接通，X1 的动断触点断开 Y4 和 M100 线圈，接着输出继电器 Y7 的线圈断电，使 KM、KM3 失电复位，电动机停转。当电动机过载时，热继电器 FR 的动合触点闭合，输入继电器 X2 的线圈回路接通，X2 的动断触点断开，与按下停止按钮 SB2 一样，电动机失电停转，从而得到保护。从梯形图可见，只有 Y5、Y6、Y7 的动断触点闭合时，即保证电动机在转子绕组中接入全部外加电阻的条件下才能启动。



练一练　按照本节介绍的方法，设计一个 PLC 控制的电动机正反转电路。

扎　针

某君到医院做健康检查，护士拿了针要替他抽血。某君看着闪闪发亮的针头忍不住问："会不会痛啊？我怕痛！"

护士说："放心好了，我做了二十几年的护士……"

某君说："太好了，我放心了！"

护士一针扎下，只听到某君一声惨叫。护士才缓缓接道："没有一次不痛的。"



6.3 PLC控制系统电气图的识读方法——程序方法最重要

PLC识图较复杂，方法步骤用巧妙；
关键理清梯形图，工作流程很重要。
控制功能先了解，符号指令记得牢；
被控对象应熟悉，对应装置要查到。
I/O信号看分配，因果关系须明了；
内部连接讲逻辑，硬件连接见图表。
读图过程讲方法，状态变换把握好；
初次读图困难多，经常练习方见效。

PLC控制系统与继电器—接触器控制系统有很多相似之处，但两者的工作方式不同，存在本质上的差别。若掌握了正确的方法及要领，识读PLC控制系统电路图也是比较容易的。具体来说，阅读PLC控制系统电路图的基本方法如下。

① 系统分析。依据控制系统所需完成的控制任务，对被控对象的工艺过程、工作特点以及控制系统的控制过程、控制规律、功能和特征进行详细分析，明确输入、输出物理量是开关量还是模拟量，明确划分控制的各个阶段及其特点，阶段之间的转换条件，画出完整的工作流程图和各执行元件的动作节拍表。这与看继电器—接触器控制系统电路图的要求和方法大体相同。

② 看主电路，进一步了解工艺流程和对应的执行装置或元器件。

③ 看PLC控制系统的I/O配置和PLC的I/O接线，了解输入信号和对应输入继电器的配置、输出继电器的配置及其所接的负载。在没有给出输入/输出设备定义和PLC的I/O配置的情况下，应根据PLC的I/O接线图或梯形图和指令语句表，做出输入/输出设备定义和PLC的I/O配置。

④ 通过PLC的I/O接线图了解梯形图。PLC的I/O接线是连接主电路和PLC梯形图的纽带。根据用电器（如电动机、电磁阀、电加热器等）、主电路控制电器（接触器、继电器）主触点的文字符号，在PLC的I/O接线图中找出相应编程元件的线圈，便可得知控制该控制电器的输出继电器，再在梯形图或语句表中找到该输出继电器的程序段，并做出标记和说明。

根据PLC的I/O接线图的输入设备及其相应的输入继电器，在梯形图（或语句表）中找出输入继电器的动合触点、动断触点，并做出相应标记和说明。

⑤ 采用查线法识图。采用查线法时，可以用铅笔做出读图的状态变换图。例如，当某一个输入信号存在时，就可把其对应于输入继电器的触点画成一直线，表示接通。读图过程同PLC扫描用户程序的过程一样，从左到右、自上而下逐线（支路）扫描。

根据主电路中控制电器主触点的文字符号，在PLC的I/O接线图中找出控制该负载的接触器线圈的输出继电器，再在梯形图和指令语句表中找出控制该输出继电器的线圈及其相关

电路，这就是控制该负载的局部电路。

在梯形图和指令语句表中，很容易找到该输出继电器的线圈回路及其得电、失电条件，但与该线圈相关的电路就不容易找到，可采用逆读溯源法去寻找。

- 在输出继电器线圈回路中串、并联的其他编程元件触点的闭合、断开就是该输出继电器得电、失电的条件。
- 由这些触点再找出它们的线圈回路及其相关电路，在这些线圈回路中还会有其他接触器、继电器的触点。
- 如此找下去，直到找到输入继电器（主令电器）为止。

值得注意的是，当某编程元件得电吸合或失电释放后，应该把该编程元件的所有触点所带动的前、后级编程元件的作用状态全部找出，不得遗漏。

找出某编程元件在其他电路中的动合触点和动断触点，这些触点为其他编程元件的得电、失电提供条件或为互锁、连锁提供条件，引起其他电气元件动作，驱动执行电器。

⑥ 在看状态转换流程图时，应结合生产工艺流程加注具体步骤名称。梯形图上的继电器是软继电器，在 PLC 内部并没有继电器的实体，只有寄存器中的触发器。根据计算机对信息的“存—取”原理，可读出触发器的状态或在一定条件下改变它的状态。对软继电器线圈的定义只能有一个，而对其触点状态可无数次地读取（即存在无数个触点），既有动合状态又有动断状态。

⑦ 梯形图上的连线代表各“触点”的逻辑关系，PLC 内部不存在这种连线，而采用逻辑运算来表征逻辑关系。在继电器—接触器控制电路图中，继电器接触器、连线等都是实体，在电路中有电流流动。而在梯形图中，某些“触点”或支路接通，却并不存在电流流动，而是代表该支路的逻辑运算取值或结果为“1”。为理解 PLC 的周期扫描工作原理和信息存储空间的分布规律，在看梯形图时可想象有一个单方向（从左向右、自上而下）的“能量流”在流动，这也是查线法的规则。

⑧ 在分析电路之前，须掌握梯形图符号、时序图及功能说明等基础知识，须牢记梯形图上的 PLC 助记符号和有关指令系统。

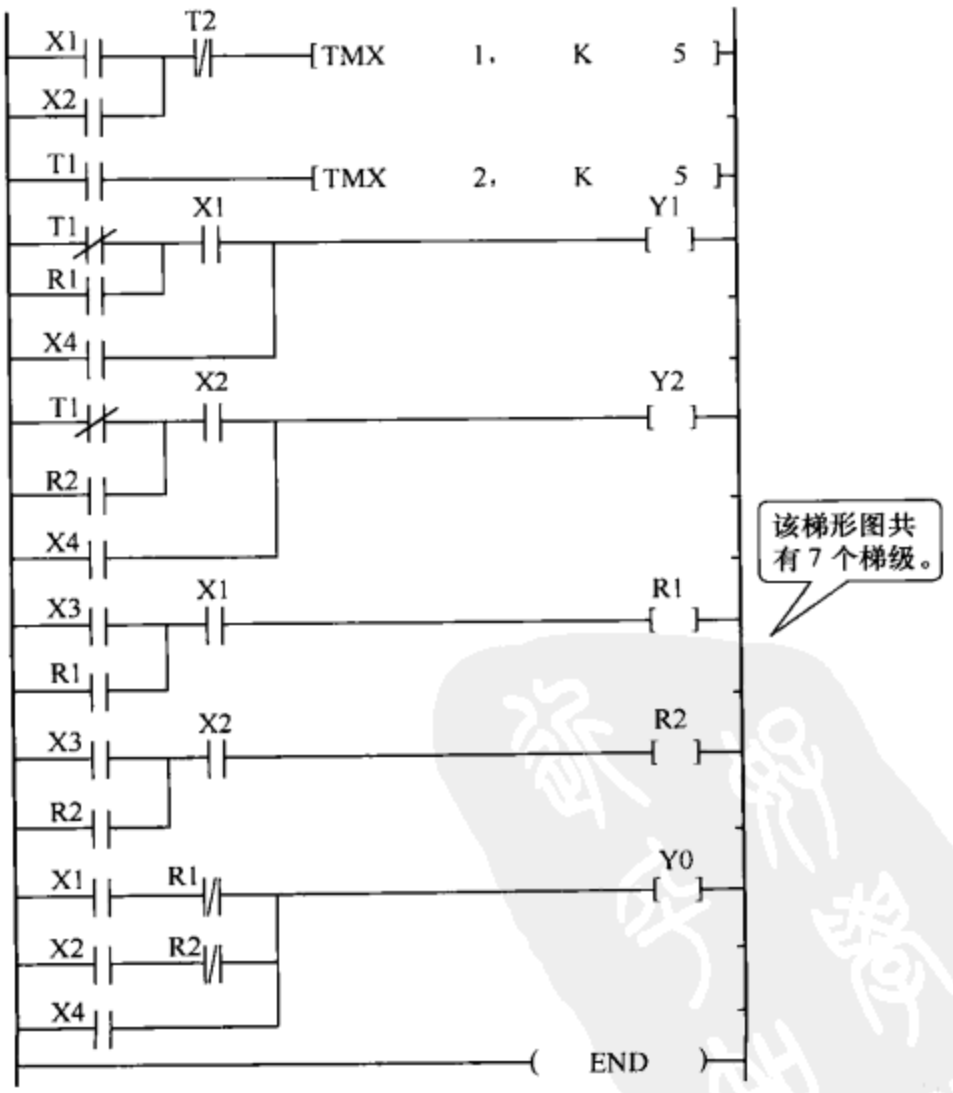


图 6-39 普通闪光信号报警系统的 PLC 梯形图

看图实践

例 6-3 识读普通闪光信号报警系统的 PLC 梯形图。

图 6-39 为普通闪光信号报警系统的梯形图，其 I/O 地址分配见表 6-8。

表 6-8　　I/O 分配表

输　入		输　出	
元件	地址	元件	地址
温度上限传感器	X1	电铃	Y0
压力下限传感器	X2	温度报警指示灯	Y1
确认按钮	X3	压力报警指示灯	Y2
试验按钮	X4		

该梯形图有 7 个梯级，其工作过程如下。

第 1 梯级和第 2 梯级用于产生振荡信号。当过程参数温度或压力超限时，X1 或 X2 接通，计时器 T1 开始计时，0.5s 后 T1 接通。T1 的动合触点接通，计时器 T2 开始计时，0.5s 后 T2 接通。T2 的动断触点断开，使计时器 T1 断开。T1 的动合触点断开，计时器 T2 也断开。T2 的动断触点接通，计时器 T1 又开始计时，如此循环往复。当过程参数恢复正常时，停止振荡。

第 3 梯级是当温度参数超限时，X1 接通，T1 的动断触点接通 0.5s，断开 0.5s，使温度指示灯闪亮。

第 4 梯级是当压力参数超限时，X2 接通，T1 的动断触点接通 0.5s，断开 0.5s，使压力指示灯闪亮。

第 5 梯级是当按下事故确认按钮 X3 时，内部继电器 R1 接通并保持；R1 的动合触点闭合，使温度指示灯变为常亮（只亮不闪），直到温度参数恢复正常，X1 复位，温度指示灯熄灭；按下试验按钮，X4 接通，Y1 接通，温度指示灯应点亮。

第 6 梯级是当按下事故确认按钮 X3，内部继电器 R2 接通并保持；R2 的动合触点闭合，使压力指示灯变为常亮（只亮不闪）；直到压力参数恢复正常，X2 复位，压力指示灯熄灭。按下试验按钮，X4 接通，Y2 接通，压力指示灯应点亮。

第 7 梯级是当温度或压力参数超限时，并未按事故确认按钮，输出继电器 Y0 接通，使电铃发出响声；按下事故确认按钮，R1 或 R2 的动断触点断开，电铃不响；按下试验按钮，X4 接通，Y0 接通，电铃应发出响声。

综合上述分析，普通闪光信号报警系统的功能是一旦过程参数（温度或压力）超限，立即进行报警，一般是灯光闪烁，电铃发出响声，并用不同的灯来区别报警点。按下确认（消音）按钮后，电铃不响，灯变为常亮。只有过程参数恢复正常后灯才熄灭。按下试验按钮，指示灯全亮，电铃发出响声，这是为了便于对信号报警系统进行检查。

例 6-4　识读电动机直接启停控制系统的 PLC 外围接线图，并根据接线图绘制出 PLC 梯形图。

图 6-40 为电动机直接启停控制系统的 PLC 外围接线图。图中只画出了一部分输入和输出端子。00000 和 00001 等是输入端子，01000 和 01001 等是输出端子，输入和输出端子各有自己的公共端 COM。

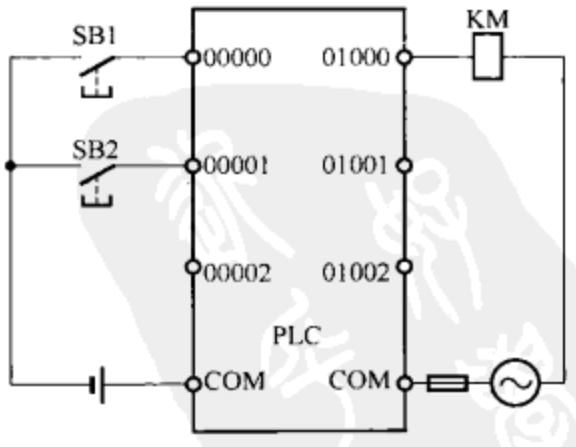


图 6-40　电动机直接启停控制系统的 PLC 外围接线图

按下启动按钮 SB1，00000 输入端子对应的输入继电器线圈通电，其动合触点 00000 闭合。由于没有按动 SB2，所以动断触点 00001 处于闭合状

态。因此，输出继电器 01000 的线圈通电，使 KM 通电。KM 的主触点接在电动机的主电路中，于是电动机启动。释放启动按钮 SB1 后，由于 01000 的线圈通电，其动合触点 01000 闭合，起自锁作用。

在电动机运行过程中按下 SB2，00001 输入端子对应的输入继电器线圈通电，其动断触点 00001 断开；输出继电器 01000 的线圈断电，使 KM 断电，电动机停转。

根据图 6-39 可画出电动机直接启停控制系统的 PLC 梯形图和继电器控制电路图，如图 6-41 所示。

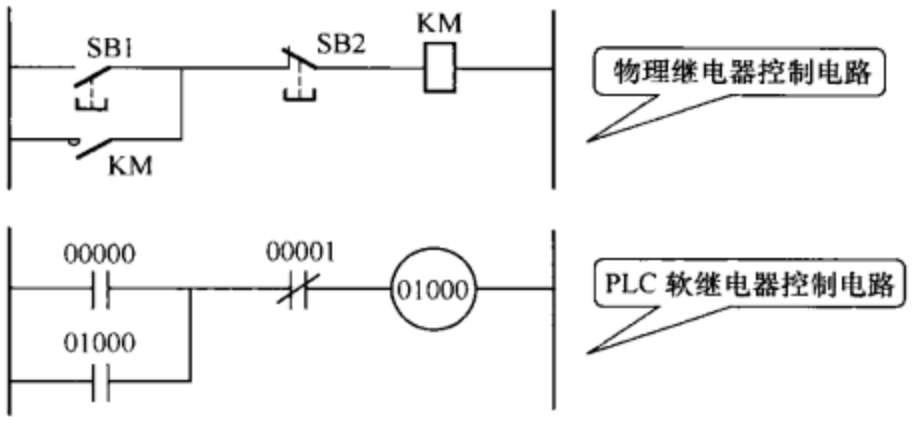


图 6-41　两种继电器控制方式的梯形图

知识链接

PLC 信号的传递过程

图 6-42 描述了 PLC 信号从输入端子到输出端子的传递过程。在 I/O 刷新阶段，CPU 从输入电路的输出端读出各输入点的状态，并将其写入输入映像寄存器中。在紧接着的下一个扫描周期用户程序执行阶段，CPU 从输入映像寄存器和元件映像寄存器中读出各继电器的状态，并根据此状态执行用户程序，再将执行结果写入元件映像寄存器中。在 I/O 刷新阶段，将输出映像寄存器的状态写入输出锁存电路，再经输出电路传递到输出端。

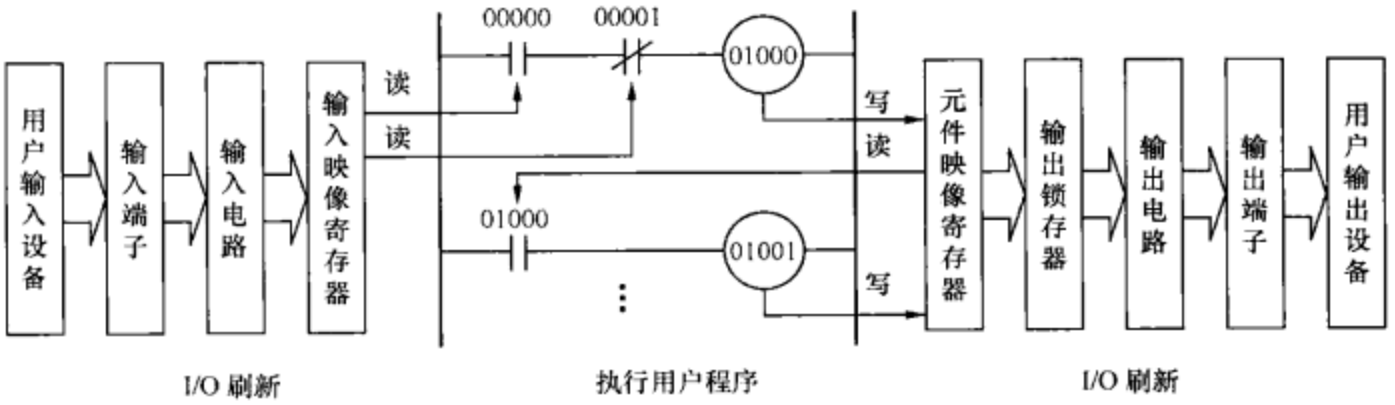


图 6-42　PLC 信号的传递过程

坠　山

两名山友一同去登山，其中一位不慎跌下山谷，另一个喊道："你受伤了吗？"只听见深渊传来回声："不知道呀！我还在往下掉……"



第7章

变频器和软启动器应用图

——电机控制新电路

变频调速技术是利用电动机的同步转速随频率变化的特性，通过改变电动机工作电源的频率进行调速的方法。变频器可与异步电动机构成完整的传动系统，具有节约能源、提高电路控制质量、易于调速等优点。在现代工业传动应用中，这种“一站式”驱动解决方案具有明显的优势。近年来，传统的“电动机+工作机械”的模式逐渐被“电动机+变频器+工作机械”的模式所取代。

软启动器是一种集电机软启动、软停车、轻载节能和多种保护功能于一体的新颖电动机控制装置。它的主要组成部分是串接于电源与被控电动机之间的三相反并联晶闸管及电子控制电路。运用不同的方法，控制三相反并联晶闸管的导通角，使被控电动机的输入电压按不同的要求而变化，就可实现不同的功能。使用软启动器可有效解决三相交流异步电动机直接启动时产生的电流冲击和转矩冲击对电网、电动机本身及机械设备带来不利影响。软启动器主要有变频调速软件启动器及晶闸管调压软启动器两种。其中，变频器调速软启动器常用于控制要求启动转矩较大的中压电动机，晶闸管调压软启动器的应用范围最广，可延长和提高电动机的使用寿命和经济效益。

软启动器和变频器是两种用途完全不同的产品。变频器用于需要调速的地方，其输出不但改变电压，而且同时改变频率。软启动器实际上是一个调压器，用于电动机启动时，输出只改变电压而没有改变频率。变频器具备所有软启动器的功能，但它的价格比软启动器高得多，结构也复杂得多。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

① 了解变频器主电路和控制电路的基本原理。
② 了解变频器的基本配置。
③ 掌握常用变频器接线端子的主要功能。
④ 掌握分析变频器控制电路的一般方法。
⑤ 理解软启动器的基本工作原理。
⑥ 掌握软启动器主要接线端子的主要功能。

能力目标

① 识读变频器工程字装接线图。
② 识读变频器应用电路图。
③ 识读软启动器应用电路图。

7.1 调速与变频器——调速新技术

电机转速要改变，变频技术能实现。
变频组成两部分，交直流电互变换。
变压变频 *U*/*f*，开关电源最方便。
电机配上变频器，调速控制随人愿。
节能高效又连续，运行可靠维护便。
正反切换易实现，启动制动随意愿。
变频配置器件多，细读说明可分辨。

变频器技术是基于控制技术、电力电子技术、微电子技术和计算机技术而发展起来的一门综合性技术。变频器在我国的使用始于20世纪80年代末，这对许多电工尤其是初学者来说还比较陌生，因此要想识读变频器应用电路图，有必要了解变频调速的优势和变频器的工作原理。

7.1.1 变频调速的技术优势
——电机配上变频器，调速如虎又添翼

电动机交流调速技术得到了飞速发展，取代直流调速已成现实，这主要得益于新型电力电子器件的发展、变频技术的发展、交流电动机控制技术的发展、以微型计算机为基础的全数字化控制技术的应用。对于异步电动机的变压变频调速，必须具备能够同时控制电压幅值和频率的交流电源，而电网提供的是恒压恒频的电源，因此应该配置变压变频器（Variable Voltage Variable Frequency, VVVF）。最早的VVVF装置是旋转变频机组，即由直流电动机拖动交流同步发电机，调节直流电动机的转速就能控制交流发电机的输出电压和频率。自从电力电子器件获得广泛应用以后，旋转变频机组已经无例外地让位给静止式的变压变频器了。

变频调速控制系统具有以下优势。

① 利用变频器进行交流电动机调速控制，可以很方便地实现调速。由于变频器可以看作是一个频率可调的交流电源，对于现有的进行恒速运转的异步电动机来说，只需在电网电源和现有的电动机之间接入变频器和相应设备，就可以利用变频器实现调速控制，而无需对电动机和系统本身进行大的设备改造。

② 利用变频器进行交流电动机调速控制，可得到较宽的调速范围和较高的调速精度。一般来说，通用型变频器的调速范围可以达到1:10以上，而高性能的矢量控制变频器的调速范围可以达到1:1 000。

③ 利用变频器进行交流电动机调速控制，很容易实现电动机的正反转切换。

④ 利用变频器进行交流电动机调速控制，可减小电动机的启动电流。在采用变频器的交流调速系统中，由于可以通过改变变频器的输出频率使电动机减速，并在电动机减速至低速

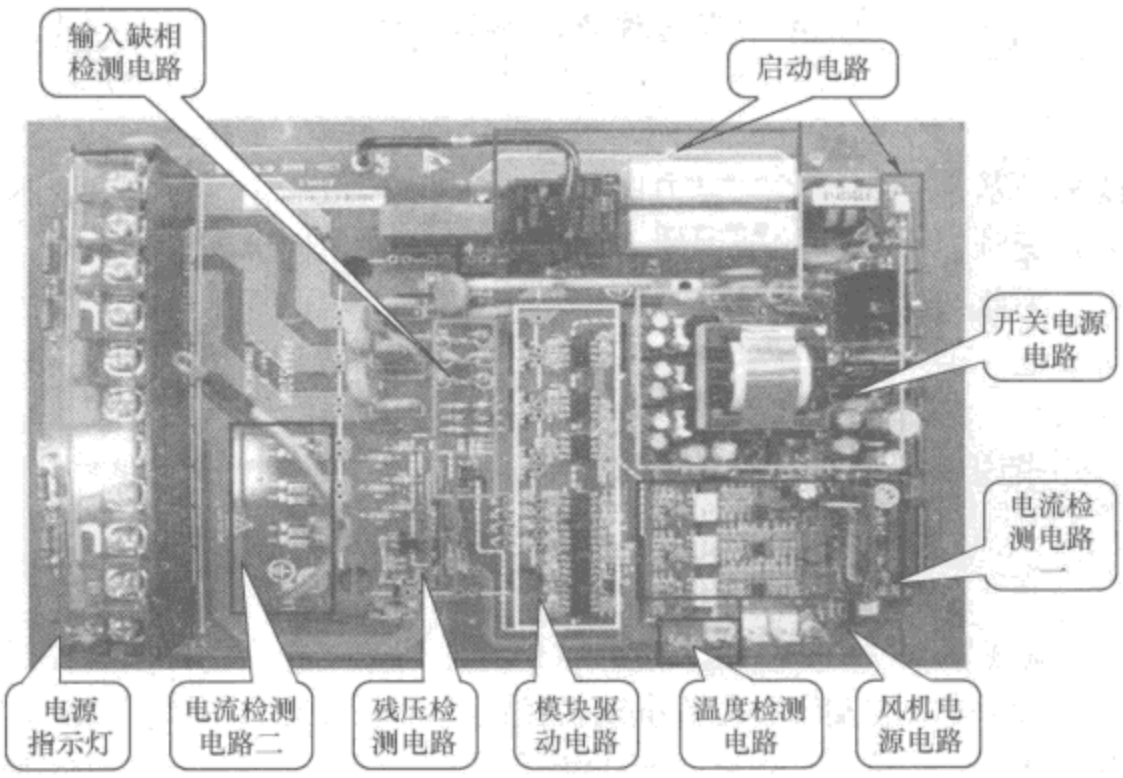
范围后再进行相序切换，进行相序切换时电动机的电流可以很小。同样，在电动机的加速过程中可达到限制加速电流的目的。因此，在利用变频器进行调速控制时更容易和其他设备一起构成自动控制系统。

⑤ 利用变频器进行交流电动机调速控制，可减小电动机的功率损耗。

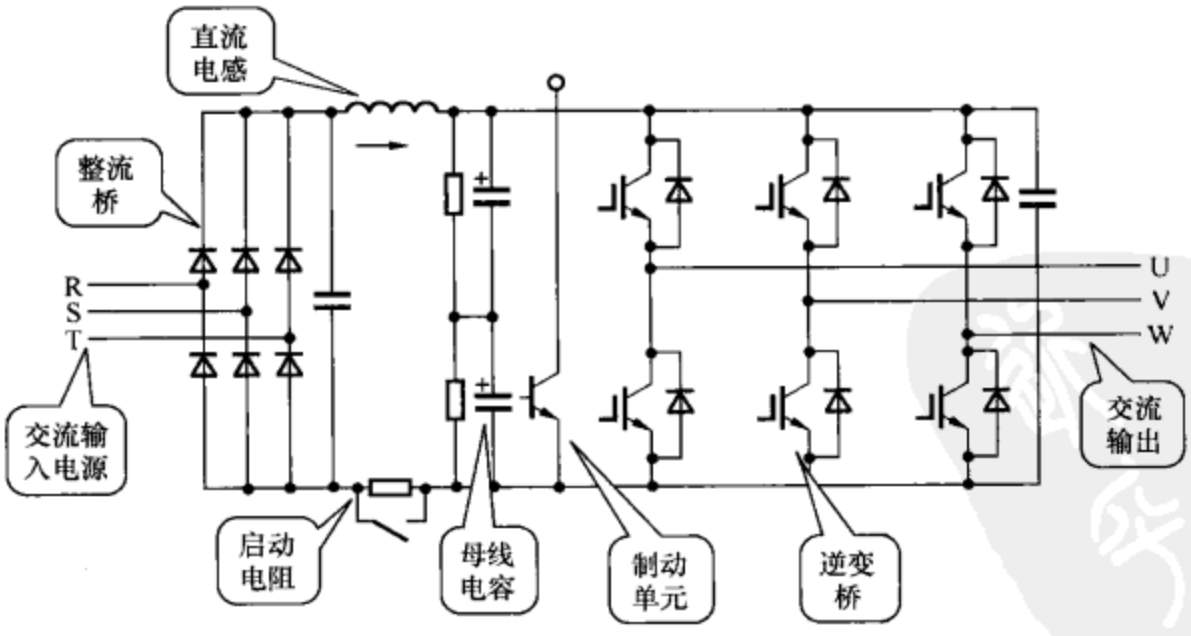
⑥ 利用变频器进行交流电动机调速控制，运行可靠，维护简单。

7.1.2 变频器的工作原理
——交流直流可转换，频率也可连续变

变频器由主电路和控制电路两大部分组成，如图 7-1 所示。

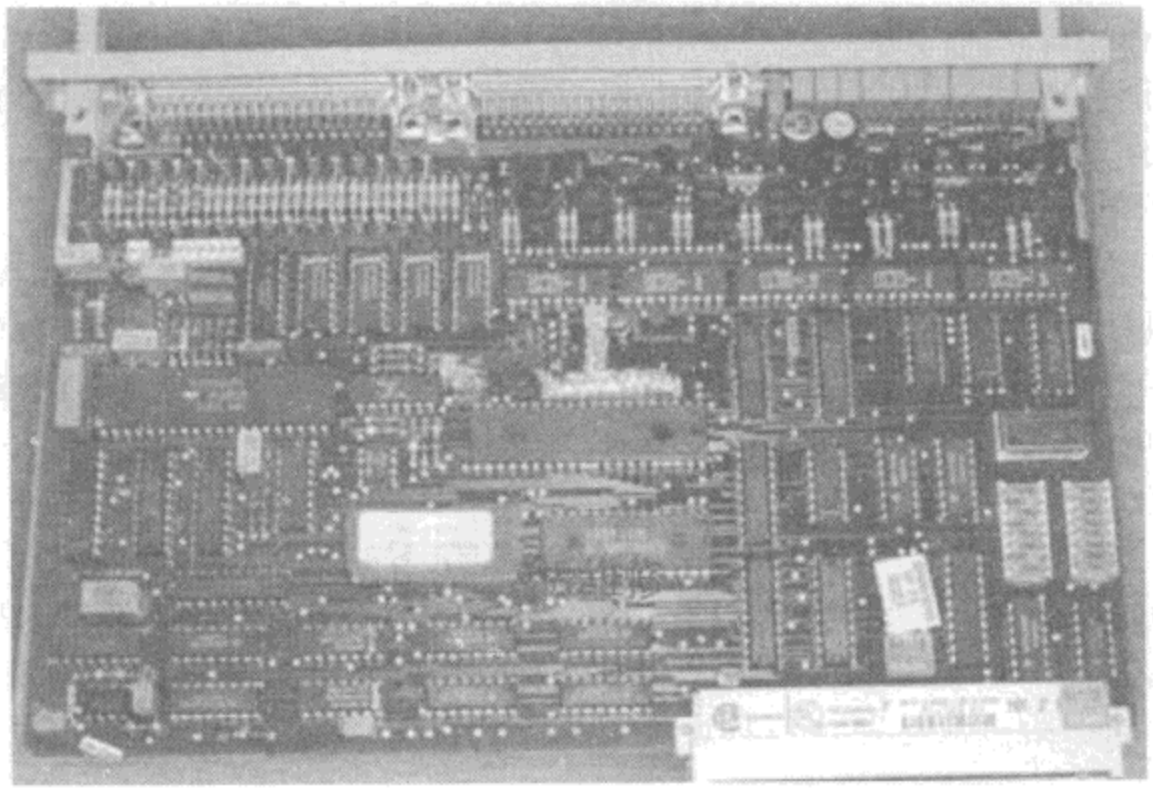


（a）变频器主回路实物图

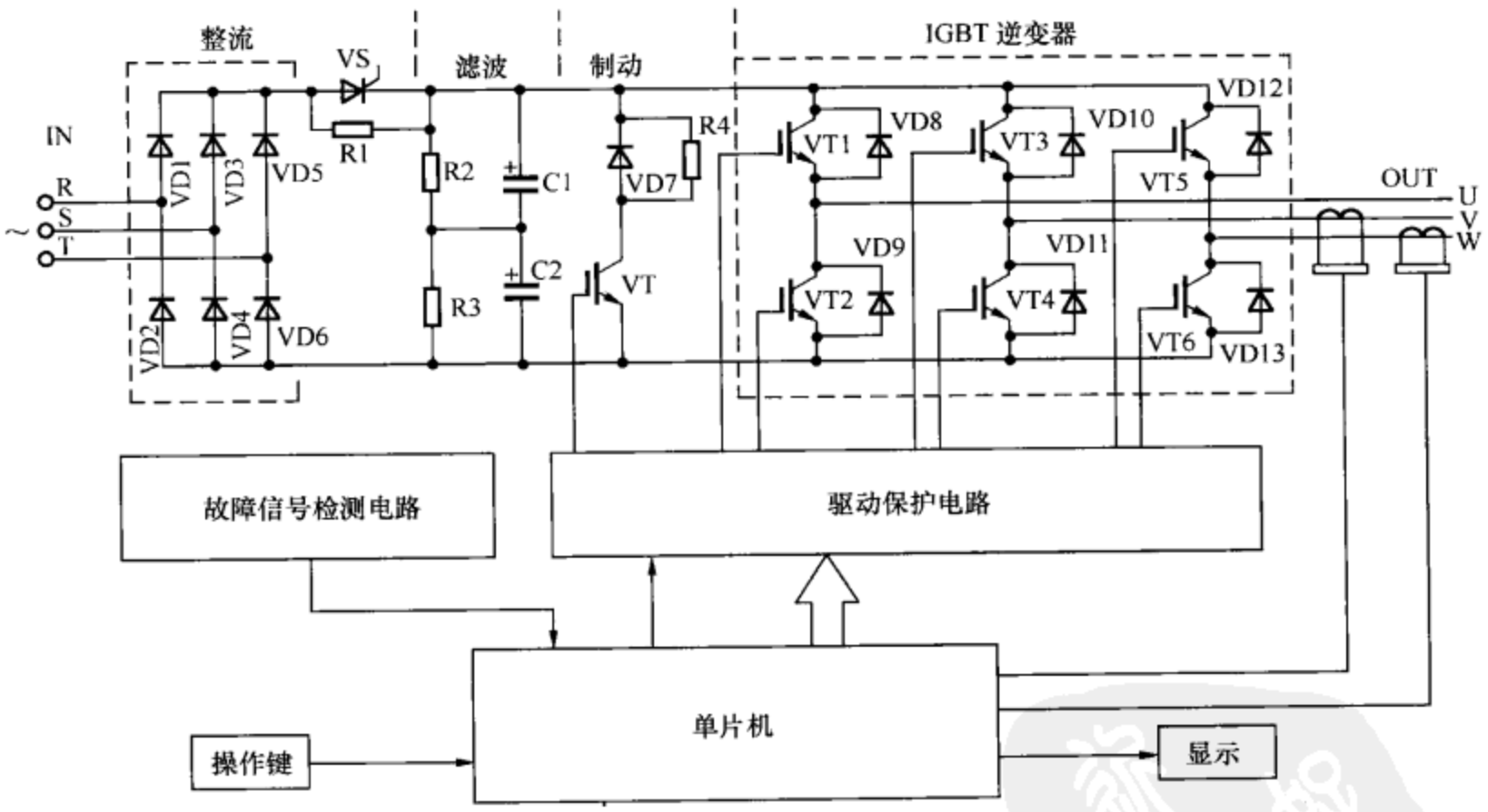


（b）变频器主回路结构图

图 7-1　变频器电路板和电路原理框图



（c）控制电路板



（d）变频器原理框图

图 7-1　变频器电路板和电路原理框图（续）

1. 变频器主电路的基本原理

变频器的主电路一般由整流、逆变和滤波 3 部分组成。整流电路与三相交流电源相连接，

先将固定的交流电整流成脉动的直流电，再将直流电逆变成频率连续可调的交流电，这就是变频器的基本工作原理。

整流电路有两种类型，即由晶闸管组成的可控整流电路和由二极管组成的不可控整流电路。图 7-1（d）所示的整流电路属于不可控整流电路，下面对该电路作简要分析。

（1）交流/直流（AC/DC）变换

在图 7-1（d）中，三相交流电从 R、S、T 端输入，经 VD1～VD6 组成的三相桥式整流电路整流后成为脉动的电信号，再经阻容滤波电路滤波后成为直流电。图中，R1 为限流电阻，它在电容器充电的瞬间发挥作用，将电容器的充电电流限制在允许范围内。当滤波电容器充电到一定量时，电子开关 VS 导通，将 R1 短路，电路继续工作。

（2）直流/交流（DC/AC）变换

VT1～VT6 组成三相逆变桥路，将 VD1～VD6 整流后的直流电再变换成频率可调的交流电（称之为逆变），这是变频器的核心所在。在图 7-1（d）中，VD8～VD13 可为感性负载的无功电流返回直流电源提供通道，还可对电动机频率下降或再生制动所产生的电流进行整流并馈送给直流电路。每只逆变三极管的 c、e 极之间还设有缓冲电路，图中均省略。

（3）制动电路

电动机在工作频率下降的过程中将处于再生制动状态，拖动系统的动能反馈到直流电路中，将使直流电压不断上升，甚至会达到损坏变频器的地步。为此，在电路中设置了制动电阻 R4 和制动单元 VT。制动电阻可以消耗掉多余的能量，使得直流电压保持在允许范围内；制动单元 VT 为放电电流流经 R4 提供通路。

2. 变频器控制电路的基本原理

恒 *U/f* 控制是在改变频率的同时控制变频器的输出电压，使电动机磁通保持一定，在较宽的调速范围内，电动机的转矩、效率、功率因数不下降。因为是控制电压（*U*）和频率（*f*）的比，所以称为 *U/f* 控制。市场上把这类变频器称为 VVVF 变频器，表示变压变频之意。

作为变频器调速控制方式，*U/f* 控制比较简单，在进行电动机调速时通常考虑的一个重要因素是希望保持电动机中每极磁通量为额定值，并保持不变。

电源电路为变频器的控制电路及执行器件提供所需的直流电源。近年开关电源技术得到了广泛应用，它首先将电源电压整流成直流电压，再利用 DC/DC 变换技术将较高电压的直流电变成所需的各个等级的直流电压，如±5V、±15V 等。

图 7-2 为电压型变频器异步电动机调速系统的构成图。图中，ASIC 为专用集成电路，它把控制软件、系统监控软件以及部分逻辑电路全部集成在一个芯片中，使控制电路板更为简洁，并具有保密性能。频率设定信号和系统的电压、电流检测经 A/D 变换后送入控制电路。系统的计算由 32 位 DPS（数字信号处理器）完成，它的计算结果和计算所需的原始数据经过数据总线和 ASIC 中的 CPU 进行变换，把程序和中间数据存放在 ROM 和 RAM 中。系统的设定功能可由遥控器进行远程设置，此外系统配有控制输入、输出接口。

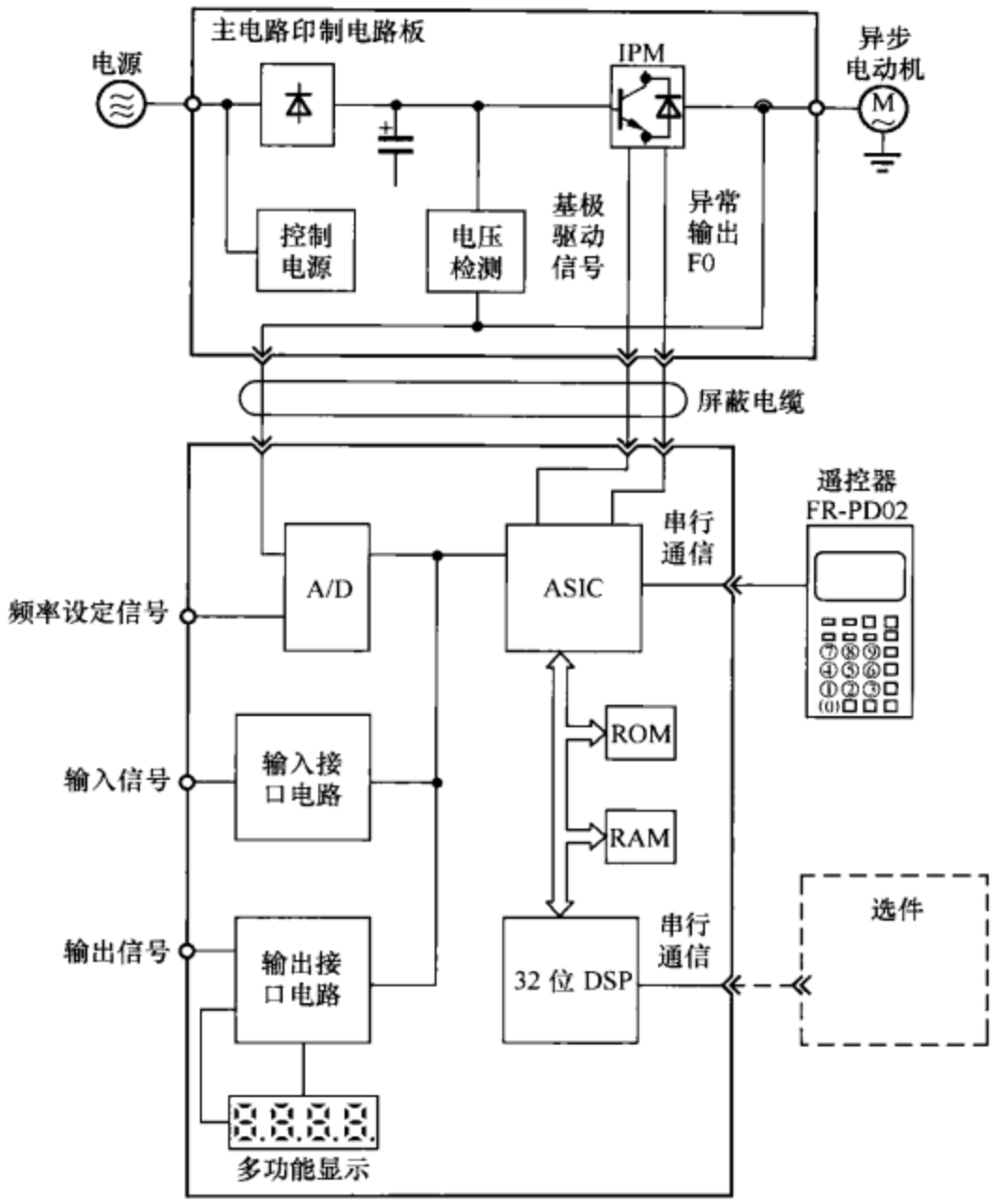


图 7-2　电压型变频器异步电动机调速系统的构成图

7.1.3 变频器外围基本配置
——变频配置器件多，确保主机好工作

近年来，变频器的售价不断下降，而其功能却不断增强，现在已经广泛应用于数百瓦级的家用电器直到数兆瓦级的大型工业传动装置的驱动。采用变频器控制的电动机系统，有着节能效果显著、调节控制方便、维护简单、可网络化集中、远程控制、可与 PLC 组成自动控制系统等优点。变频器的这些特点使其在电气传动、工业自动控制等领域的应用日益广泛。

变频器的正确选用，对于机械设备电控系统的正常运行至关重要。选择变频器时，首先要考虑机械设备的类型、负载转矩特性、调速范围、静态速度精度、启动转矩和使用环境的要求，然后决定选用何种控制方式和防护结构的变频器最合适。所谓合适是指在满足机械设备的实际工艺生产要求和使用场合的前提下实现变频器应用的最佳性价比。

尽管市场上不同型号规格变频器的安装、接线、调试各有特点，但其外围设备的配置情况基本一致。

变频器与供电电源之间应装设带有短路及过载保护的低压断路器、交流接触器，以免变频器发生故障时事故扩大。电控系统的急停控制应使变频器电源侧的交流接触器断开，以便彻底切断变频器的电源供给，保证设备及人身安全。

变频系统的基本配置通常由空气断路器、接触器、快速熔断器、交流电抗器、直流电抗器和变频器本身等组成。

① 空气断路器。电控系统的急停控制应使变频器电源侧的交流接触器开断，彻底切断变频器的电源供给，保证设备及人身安全。空气断路器合上时用于向变频器供电，过电流时断路器能自动脱扣保护，断开时隔绝变频器的供电电源。

② 接触器。它通常与空气断路器结合使用，用于电控分合操作，并用于变频器故障时切断电源。

变频器的输出侧一般不能安装电磁接触器，若必须安装，则一定要注意满足以下条件：若变频器正在运行，严禁切换输出侧的电磁接触器；要切换接触器必须等到变频器停止输出后才可以。因为，如果在变频器正常输出时切换输出侧的接触器，将会在接触器触点断开的瞬间产生很高的过电压而极易损坏变频器中的电力电子器件。因此，要切换变频器输出侧的接触器，一定要等到所控制的电动机完全停止以后再进行。

③ 快速熔断器。它用于在变频器内部或外部故障而变频器不能有效进行保护时切断故障电流，目的是防止变频器的故障范围进一步扩大。

④ 电抗器。把变频器连接在大容量电源变压器（500kVA 以上）电网中，或者在同一电源变压器上连接有晶闸管变流器而未使用换流电抗器，或者同一电网上有功率改善用切换电容器组时，应配置交流电抗器或直流电抗器。它们也有改善变频器电源侧功率因数和减小输入高次谐波电流的效果，从而改善输出电流的波形。

直流电抗器接入变频器内部直流母线，可以改善变频器的输入电流波形，因此可以有效提高输入侧的功率因数。

图 7-3 为安川 CT 型变频器的基本配置示意图，其中的内容几乎适合于所有的变频器。



想一想　变频器附加配置设备有哪些？说说它们各有什么作用？

知识链接

主流变频器品牌

国产变频器品牌（不包括台湾）：依托、乐邦、南昱、吉庆、TE、星河、港蓝、先行、博斯特、高邦、思瑞、烁普、塞普信、鲁都、赛普、韦尔、斑泰科、建业、华为、三慧、安圣、嘉信、吉纳、合康、威科达、裕康、正弦、阳冈、能普、东标、微能、森海。

欧美变频器品牌：ABB、SEW、伦次、CT、科比、欧陆、G.E.、瓦萨、西威、AB、罗宾康、安萨尔多、博世力士乐、罗克韦尔。

日本变频器品牌：东川、东冈、东洋、日立、明电舍、超能士、卡西亚、松下。

中国台湾变频器品牌：欧林、东达、东菱、东炜庭、东力、东元、利佳、宁茂、泓筌、凯奇、盛华、爱德利、士林、三川、富华、隆兴、九德松益、腾龙、创杰。

其他变频器品牌：米高、荣奇、凯奇、时运捷、誉张、天宠、融商通达、LG、现代、大宇、三星。

目的	名称	型号（编号）	详细说明
保护变频器的接线	接线用断路器或漏电断路器	NF□	为保护变频器的接线，在电源侧设置接线断路器或漏电断路器，使用预防高次谐波的漏电保护器
防止烧坏制动电阻器	电磁接触器	HJ-□J	附制动电阻器时，为防止烧坏制动电阻器，应设置电磁接触器，同时必须在线圈上接浪涌吸收器
开关浪涌不传至外部	浪涌吸收器	DCR2-□	浪涌吸收器用于吸收电磁接触器和控制器继电器开关浪涌，因此，在变频器周围的电磁接触器和继电器上务必安装浪涌吸收器
绝缘输出、输入信号	隔离器	DGP□	因绝缘变频器的输出、输入信号，所以能有效减小感应干扰
改善变频器的输入功率	直流电抗器 交流电抗器	UZDA-□ UZDB-□	适用于改善变频器的输入功率，在18.5kW以上的机种里内置直流电抗器（15kW以下为选择件），而且在使用大电源容量（600kVA以上）时，应设置直流电抗器或交流电抗器
降低噪声干扰对无线设备和控制器造成的不良影响	输入侧噪声滤波器	（三相）LNFD-□ FN□	从输入侧接线降低流入变频器输入电源系统的噪声，应尽可能靠近变频器安装
	降低无线电干扰用器件，微调零相电抗器	F6045GB (FIL001098) FI1080GB (FIL001097)	从输入侧接线降低流入变频器输入电源系统的噪声，应尽可能靠近变频器安装，能适用于变频器的输入侧和输出侧
	输出侧噪声滤波器	LP-□	能降低从输出侧接线产生的噪声，应尽可能靠近变频器安装
在设定时间内停止机械运行	制动电阻器	ERF-150WJ□□ (R00□□□□)	使电动机再生的能源在电阻上消耗，能缩短减速时间（使用率3%ED）
	制动电阻器单元	LKEB-□ (75600-K-□□□0)	使电动机再生的能源在电阻上消耗，能缩短减速时间（使用率10%ED）
	制动单元	CDBR-□ (72600-R-□□□0)	想缩短电动机减速时间时，和制动电阻器单元组合使用
从外部控制变频器运行	VS操作器（小型塑料制）	JVOP-95□ (73041-0905 X-□)	VS操作器能从远处（最大50m）用模拟量频率进行频率设定以及运行/停止操作，频率表满刻度规格：60/120Hz，90/180Hz
	VS操作器（标准型钢板制）	JVOP-96□ (73041-0906 X-□)	VS操作器能从远处（最大50m）用模拟量频率进行频率设定以及运行/停止操作。频率表满刻度规格：70Hz、150Hz、220Hz
系统控制变频器	VS系统模块	JGSM-□	对应自动控制系统，通过必要的VS系统模块组合，能构成最合适的系统控制器
确保变频器的瞬时停电补偿时间	瞬时停电补偿单元	P00□0 (73600-P00□0)	用于控制电源瞬时停电补偿（电源保持2s）
从外部设定监视频率、电压	频率表	DCF-6A	
	频率设定器	KV30YN20S(2kΩ)	是从外部设定、监视频率的器件
	频率设定器用旋钮	CM-3S	
	输出电压表	SCF-12NH	是在外部测定输出电压的器件，为PWM变频器专用的电压表
调整频率指令输入和频率表、电流表的满刻度	频率指令用可变电阻基板	2kΩ(ETX003270) 20kΩ(ETX003120)	安装在控制回路端，输入频率指令
	频率表满刻度调整电阻器	(RH000850)	调整频率表、电流表的满刻度

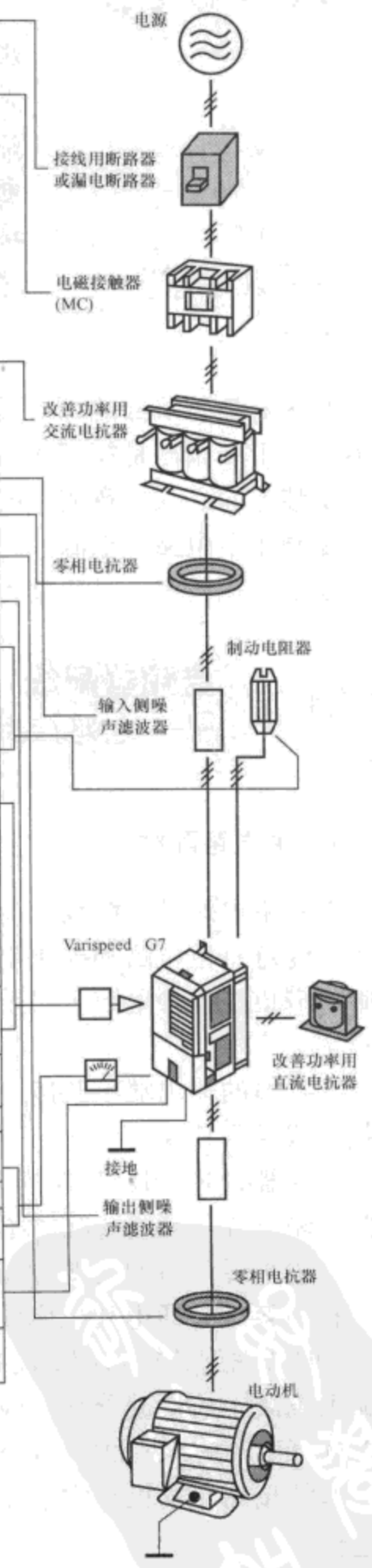


图 7-3 变频器的基本配置图

7.2 识读变频器工程安装图——按图施工

应用电路要识读，主控电路先确认。
先主后控读电路，怎样工作细辨认。
练习安装变频器，正确接线不能混。
电路配线按规定，防止干扰保稳定。
接地线与大地连，串联方式不可信。
端子接线先看图，功能说明助确认。

变频器具有节约能源、提高电路控制质量、易于调速等优点，正在被越来越多的企业所使用。由于变频器是精密的电气装置，为了保证其正常工作，必须与机械设备配套安装，在设置安装方面必须注意周围的环境条件，如环境温度、湿度、震动等。在安装完成以后，还要对变频器主电路、电源、滤波器、电动机及控制电路、PLC 和周边设备进行正确接线。为此，要求工程技术人员应具备识读变频器工程安装接线图的能力。

7.2.1 变频器配线
——电路配线守规定，以免日后并发症

1. 主电路配线

在对主电路进行配线之前，首先应该检查电缆的线径是否符合要求。此外，在进行布线时还应注意将主电路和控制电路的配线分开，并分别走不同的路径。在不得不经过同一接线口时也应该在两种电缆之间设置隔离壁，以防止动力线的噪声侵入控制电路而造成变频器工作异常。

变频器的输出端不要接电力电容器或大容量浪涌吸收器，以免峰值很高的浪涌电压破坏变频器或导致其误动作。

变频器的 R、S、T 端是变频器的输入端，接电源进线，可不分相序。U、V、W 端是变频器的输出端，接线情况如图 7-4 所示。

一般来说，电源与变频器之间导线的选择方法和同容量普通电动机电线的选择方法基本相同，但考虑到其输入侧的功率因数往往较低，再加上电流中的谐波分量有较强的集肤效应，所以选择时应本着宜大不宜小的原则来确定线径，通常按比电动机正常接线的截面积大一级来选择。

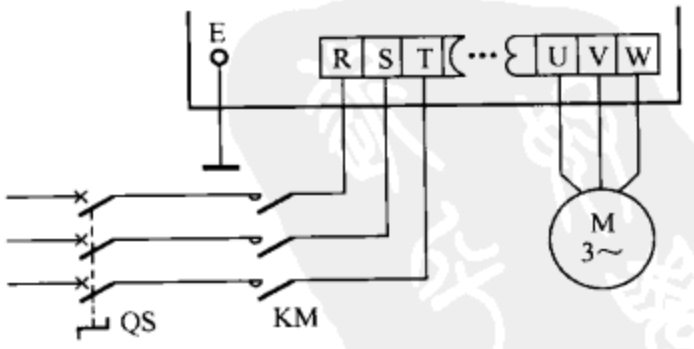


图 7-4 变频器主电路的接线

因变频器与电动机之间的导线铺设长度往往较长，特别是变频器频率下降时，电压也要下

降，在电流相等的条件下，线路电压降 ΔU 占输出电压的比例将增大。相应地，电动机得到电压的比例减小，则有可能导致电动机过热。所以，在确定变频器与电动机之间导线的线径时，需要考虑线路电压降 ΔU 的影响，一般要求：

$$\Delta U \leqslant 3\% U_n$$

式中：U_n 为变频运行时电动机上所加的电压。

2. 接地线配线

由于变频器主电路中的半导体开关器件在工作过程中将进行高速的开闭动作，变频器主电路和变频器单元外壳以及控制柜之间的漏电电流也相对变大，因此，为了防止操作者触电，必须保证变频器的接地端可靠接地。在进行接地线的布线时，应该注意以下事项。

① 在有多台变频器时，设置接地线时要注意将每台变频器的接地端子单独与大地相接，不要将接地端和另一台设备的接地线相接后再接地，不能与电焊机、动力机械、变压器等强电设备共用接地电缆或接地极。此外，接地电缆也应与强电设备的接地电缆分开，如图 7-5 所示。

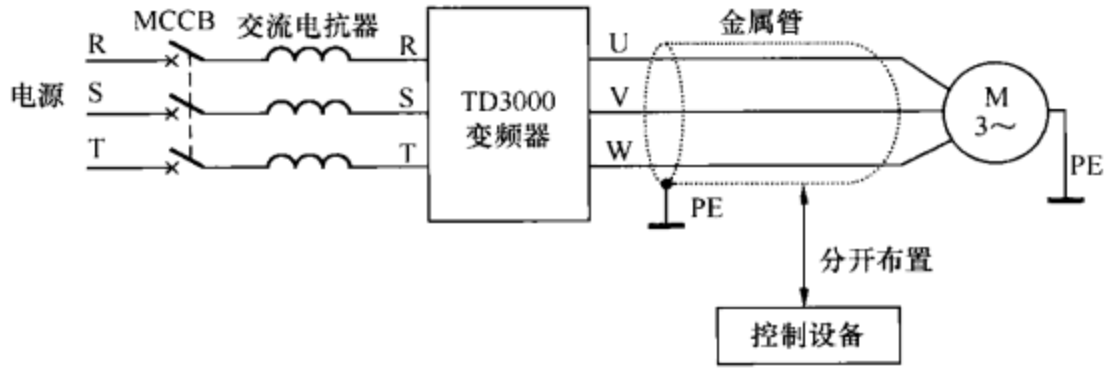


图 7-5　减小变频器输出干扰的方法

② 接地线应尽量短，导线截面积不应小于 $2.5mm^2$。

3. 控制电路布线

为了达到保证变频器正常工作的目的，在控制电路的布线方面应采取各种必要的措施，避免主电路及相关设备中强电信号产生的干扰进入控制电路。一般来说，在控制电路的布线方面应该特别注意以下几点。

① 控制电路的布线应和主电路电线以及其他动力线分开，如图 7-6 所示。

② 因为变频器的故障信号和多功能接点输出信号等有可能同高压交流继电器相连，所以应该将其连线与控制电路的其他端子和接点分开。

③ 对控制电路进行布线时应采用屏蔽线或双绞线。

④ 当布线距离超过 100m 时，使用信号绝缘器或继电器对信号进行放大。

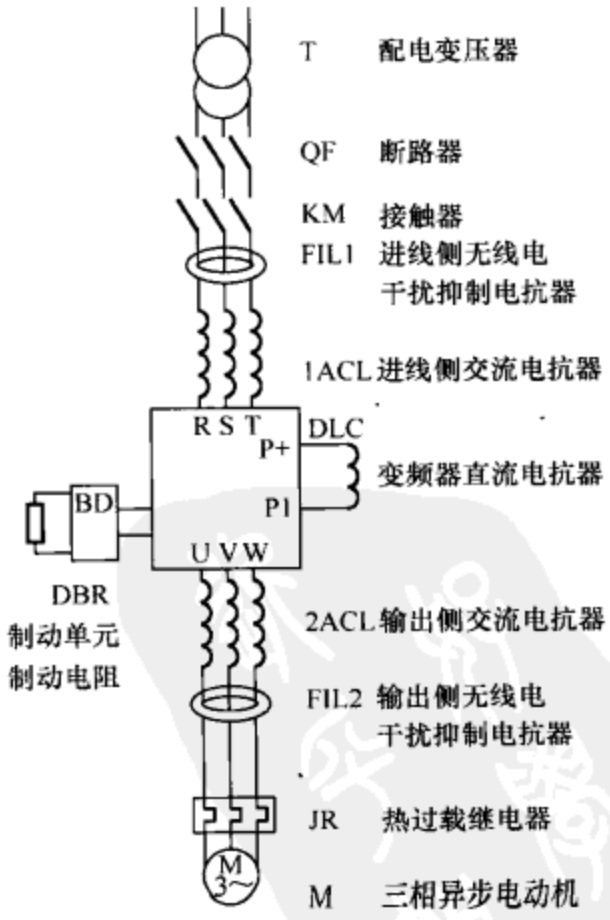


图 7-6　选配件与变频器的连接示例

⑤ 在连线时充分注意模拟信号线的极性。

7.2.2 变频器工程安装接线图
——输入输出不错线，控制端子细分辨

1. 森兰 BT12S 系列变频器

图 7-7 所示为森兰 BT12S 系列变频器的接线方法。

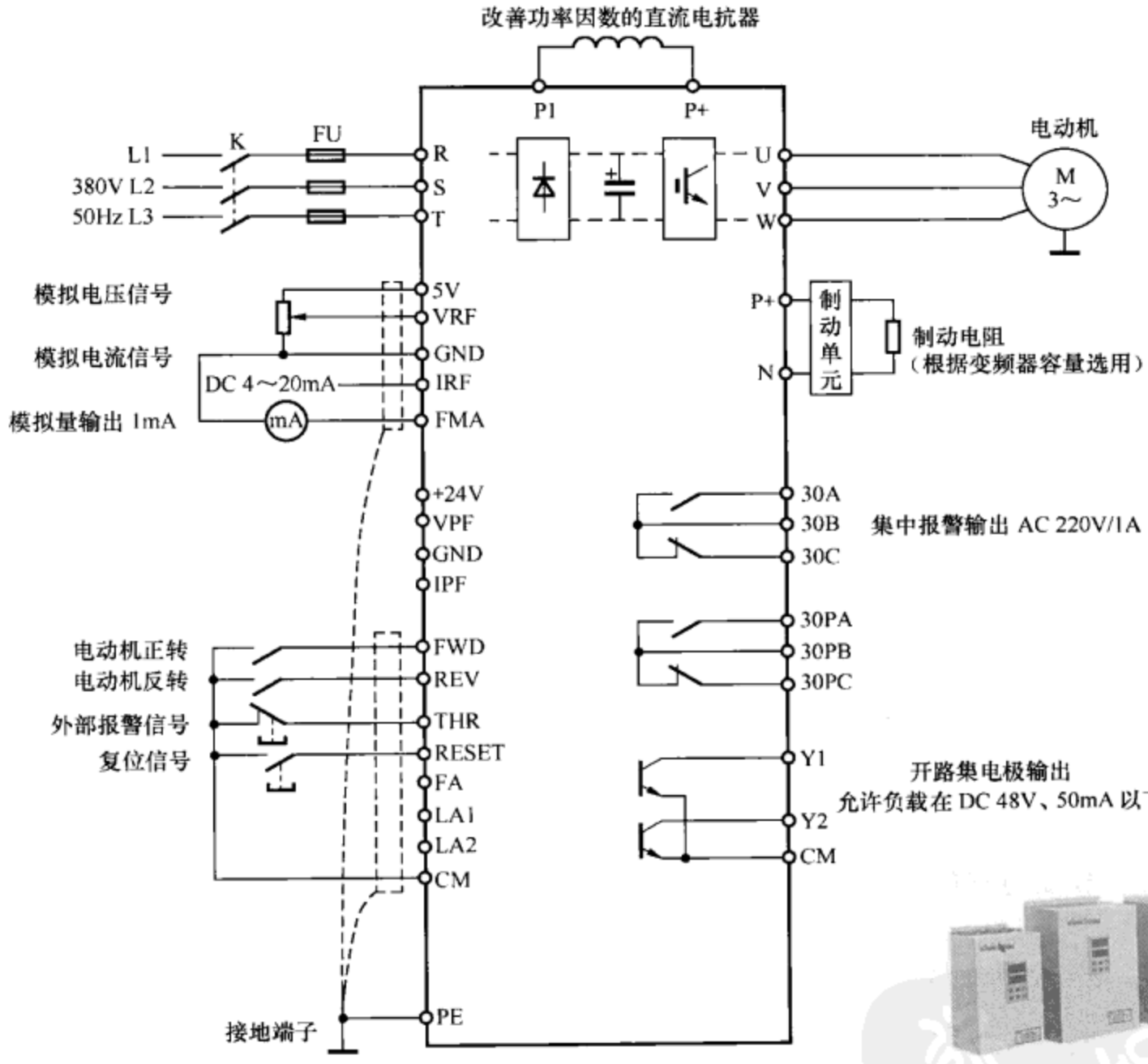


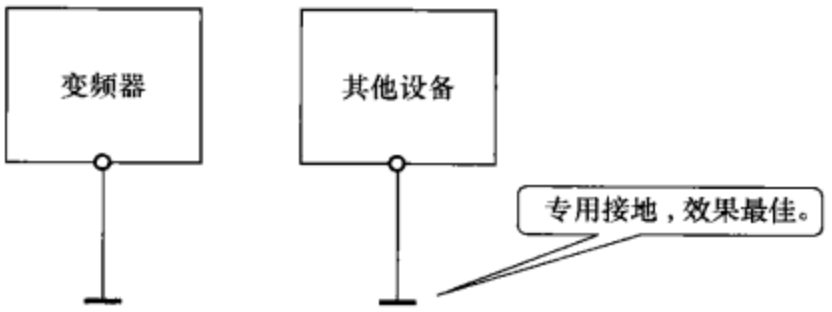
图 7-7 森兰 BT12S 系列变频器通用接线图

（1）接线要求

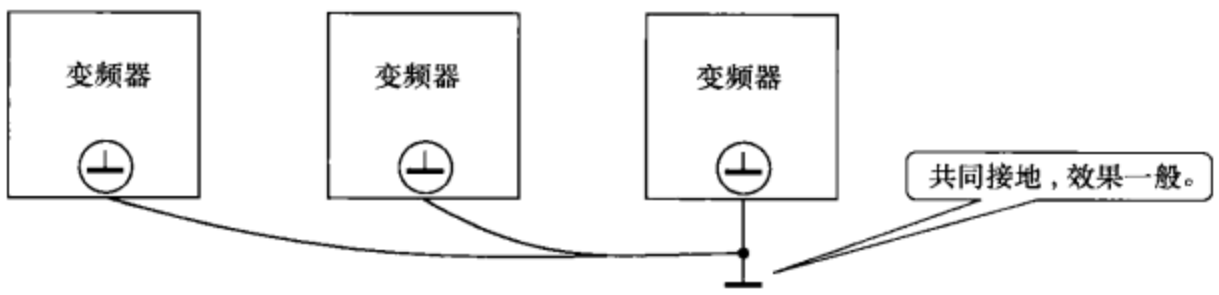
① 输入端的三相电源接到端子 R、S、T 上，若接错，会损坏变频器。

② 变频器必须通过接地端子（PE）与接地线连接，以防止触电、发生火灾和降低噪声。

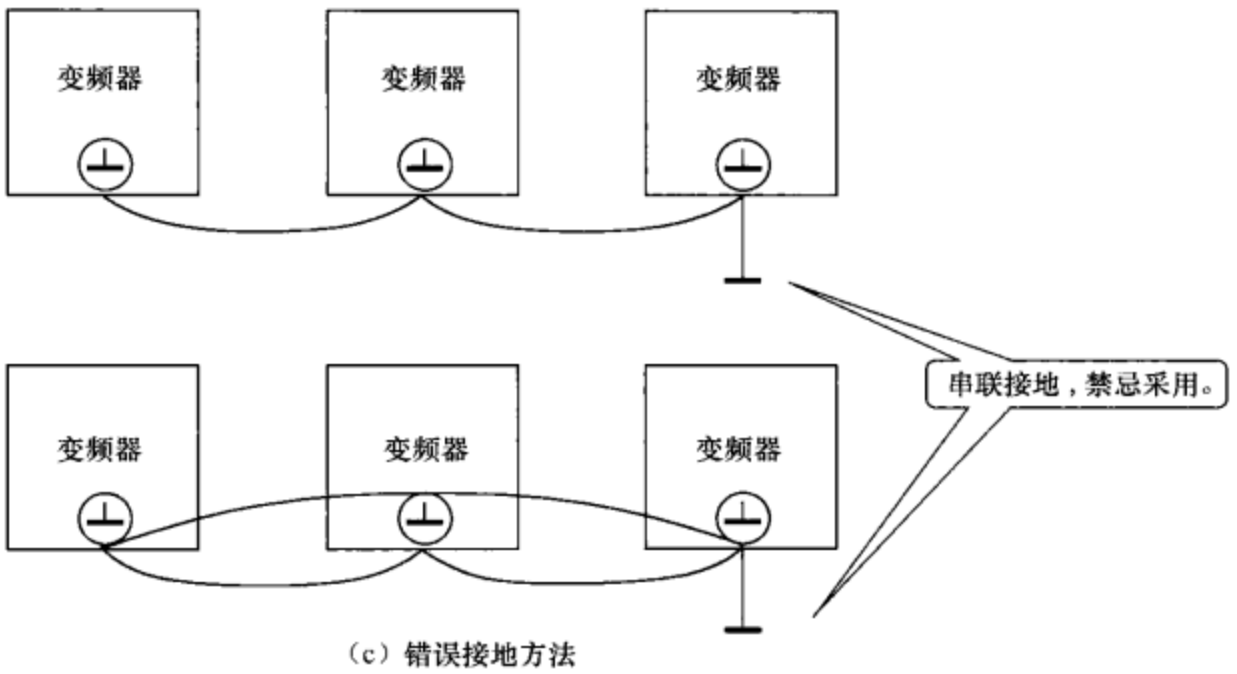
接地方法有专用接地和共同接地两种（如图 7-8 所示），一般采用专用接地方式时效果最佳。对于使用两台以上变频器的场合，请勿将接地线形成回路，如图 7-8（c）所示。



（a）专用接地



（b）共同接地



（c）错误接地方法

图 7-8　变频器的接地方法

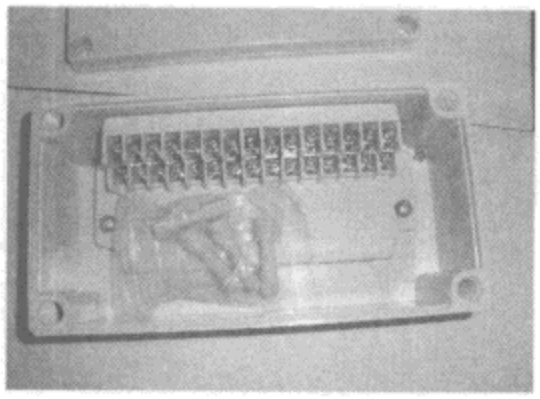
③ 对于端子和导线的连接，必须使用接触性好的压接端子。

④ 配完线后，应再次检查接线是否正确，有无漏接，端子和导线是否短路或接地。

⑤ 通电后需要改接线时，即使已关断电源，由于主电路直流端的滤波电容器放电也需要时间，所以很危险，应等充电指示灯熄灭后，用万用表确认直流电压降到安全电压（DC 36V 以下）后再作业。

（2）主控板和控制电路端子功能说明

BT12S 系列变频器的端子排如图 7-9 所示，其主电路端子功能说明见表 7-1，控制电路端子功能说明见表 7-2。



（a）接线端子实物图

PE R S T P1 DB U V W

0.75～7.5kW

PE R S T P1 P+ DB U V W

11～15kW

R S T U V W

30kW 柜机

U V W N P+ R S T

37～55kW 柜机

PE R S T P1 P+ N U V W

18～30kW

PE R S T P1 P+ N

U V W

37kW 以上

（b）主电路端子

30PA	30PB	30PC	VRF	IRF	VPF	IPF	Y2	REV	FA	RESET	LA2
30A	30B	30C	+5V	GND	FMA	+24V	Y1	FWD	CM	THR	LA1

（c）主控制板端子

7KM2	6KM2	5KM2	4KM2	3KM2	2KM2	1KM2	
7KM1	6KM1	5KM1	4KM1	3KM1	2KM1	1KM1	AC 220V

（d）扩展控制板端子

图 7-9　BT12S 系列变频器主控板和控制电路端子排

表 7-1　　BT12S 系列变频器主电路端子功能说明

符　号	端子功能说明
R、S、T	主电路电源端子，连接三相电源（AC 380V，50/60Hz）
U、V、W	变频器输出端子，连接三相电动机
P1、P+	连接改善功率因数的直流电抗器（选用件）
P+、DB	连接外部制动电阻（选用件）
P+、N	连接外部制动单元
PE	变频器的安全接地端子

表 7-2　　BT12S 系列变频器控制电路端子功能说明

符　号	名　称	端子功能说明
+5V	+5V 电源	作为频率设定器（可调电阻：1～5kΩ）用电源
GND	+5V、+24V 地	作为 VRF、IRF、VPF、IPF、FMA 的公共端
VRF	模拟电压输入	模拟电压信号输入端（DC 0～5V 或 DC 0～10V），输入电阻为 10kΩ
IRF	模拟电流输入	模拟电流信号输入端（DC 4～20mA），输入电阻为 240kΩ
VPF	传感器信号输入	传感器反馈电压信号输入
IPF	传感器信号输入	传感器反馈电流信号输入
FA	消防运转信号	接通 FA 与 CM 时，变频器以第二设定值运行
LA1	低水位信号	接通 LA1 与 CM 时，变频器启动
LA2	高水位信号	接通 LA2 与 CM 时，变频器停止运行

续表

符　号	名　称	端子功能说明
RESET	复位	短接 RESET 与 CM 一次，复位一次
THR	外部报警	断开 THR 与 CM 即产生外部报警信号，变频器将立即关断输出
REV	反转运行端	接通 REV 与 CM，电动机反向运转，断开时则减速直至停转。当 F02 为 1 或 2 时有效
FWD	正转运行端	接通 FWD 与 CM，电动机正向运转，断开时则减速直至停转。当用触摸面板控制运行时 FWD 作控制转向用。短接 FWD 与 CM 为反转，断开为正转。当 F02 为 1 或 2 时有效；REV、FWD 同时接通 CM 时，变频器停止运行
CM	公共端	控制输入端及运行状态输出端的公共地
30A、30B、30C	故障继电器输出	30A、30B 为动合触点，30B、30C 为动断触点，当面板故障代码为 Ouu（过压）、Lou（欠压）、OLE（外部报警）、FL（自保护）、OL（过载）时有效
30PA、30PB、30PC	压力上下限报警输出	当压力反馈信号大于 F64×F48 或小于 F65×F48 时有效；30PA 与 30PB 为动合触点，30PB 与 30PC 为动断触点
Y1、Y2	多功能输出端子	集电极开路输出
+24V	传感器用电源	作为传感器控制电源
FMA	模拟信号输出	频率/电流/负载率模拟 1mA 信号输出
*N*KM1	多台电动机变频控制输出	*N*=1～6，*T*=1～2。1KM1～6KM1 为多台电动机变频运行控制信号输出，1KM2～6KM2 为多台电动机工频运行控制信号输出，7KM1 为附属电动机变频运行控制信号输出，7KM2 为附属电动机工频运行控制信号输出
*N*KM2	多台电动机工频控制输出	
7KMT	附属电动机	
AC220V	控制电源	

2. W500 系列多泵供水专用变频器

W500 系列变频器是高品质、多功能、低噪声专用变频器，是集变频调速、低压控制逻辑、低压配电功能于一体的恒压供水控制系统，如图 7-10 所示。该系列变频器采用先进的空间电压矢量控制算法，内置专用 PID 调节器，可以满足高精度的控制要求。其中，被控水泵的总数可连在接入即时给定。对于固定变频模式，系统最多可控制切换 7 台水泵，并且每台泵的手动、自动控制方式不会影响其他泵的正常工作；而对于循环变频模式，系统最多可控制切换 4 台水泵，通过特殊处理，可避免各泵切换瞬间对阀门的冲击，并且通过逻辑安排使各泵均匀工作。

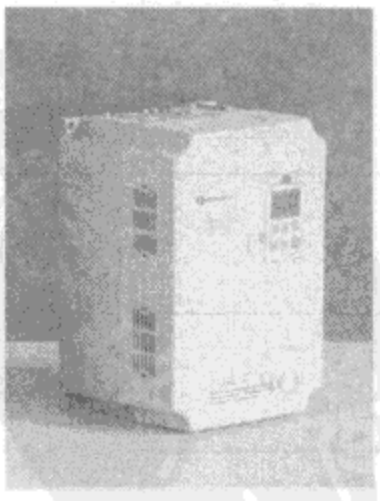
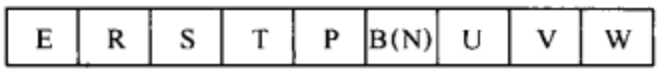


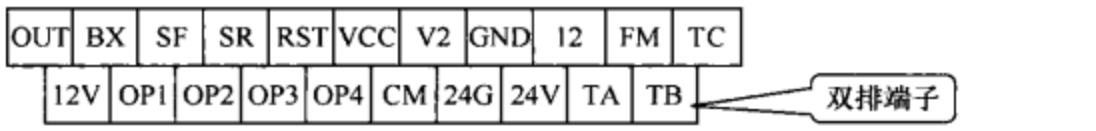
图 7-10　W500 系列多泵供水专用变频器

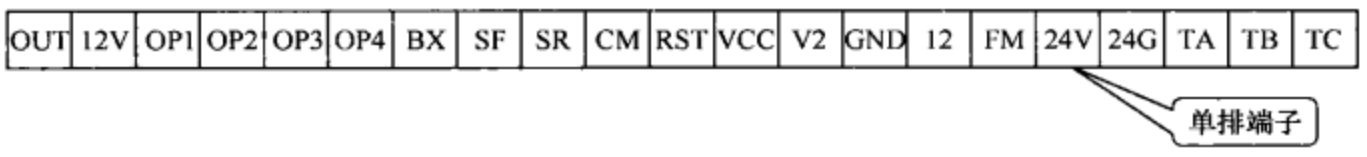
（1）接线端子及功能说明

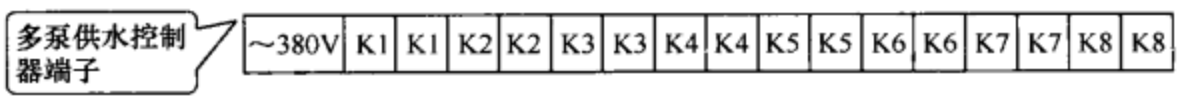
W500 系列变频器的接线端子如图 7-11 所示，主电路端子功能说明见表 7-3，控制端子功能说明见表 7-4。



（a）主电路端子







（b）控制端子

图 7-11　W500 系列变频器的接线端子

表 7-3　　主电路端子功能说明

端子类型	端子号	类别	名称	端子功能说明	
功率端子	R、S、T	输入信号	功率回路输入	输入交流 380V 电压，给变频器供电	
	U、V、W	输入信号	功率回路输出	变频器输出，接电动机	
	E	接地端子		接地线应可靠	
	P	制动端子	制动电阻端子	接制动电阻	外接制动电阻
	B			接制动电阻	
	(P)		制动单元端子	接制动单元输入端子（+）	外接制动单元
	(N)			接制动单元输入端子（−）	

表 7-4　　控制端子功能说明

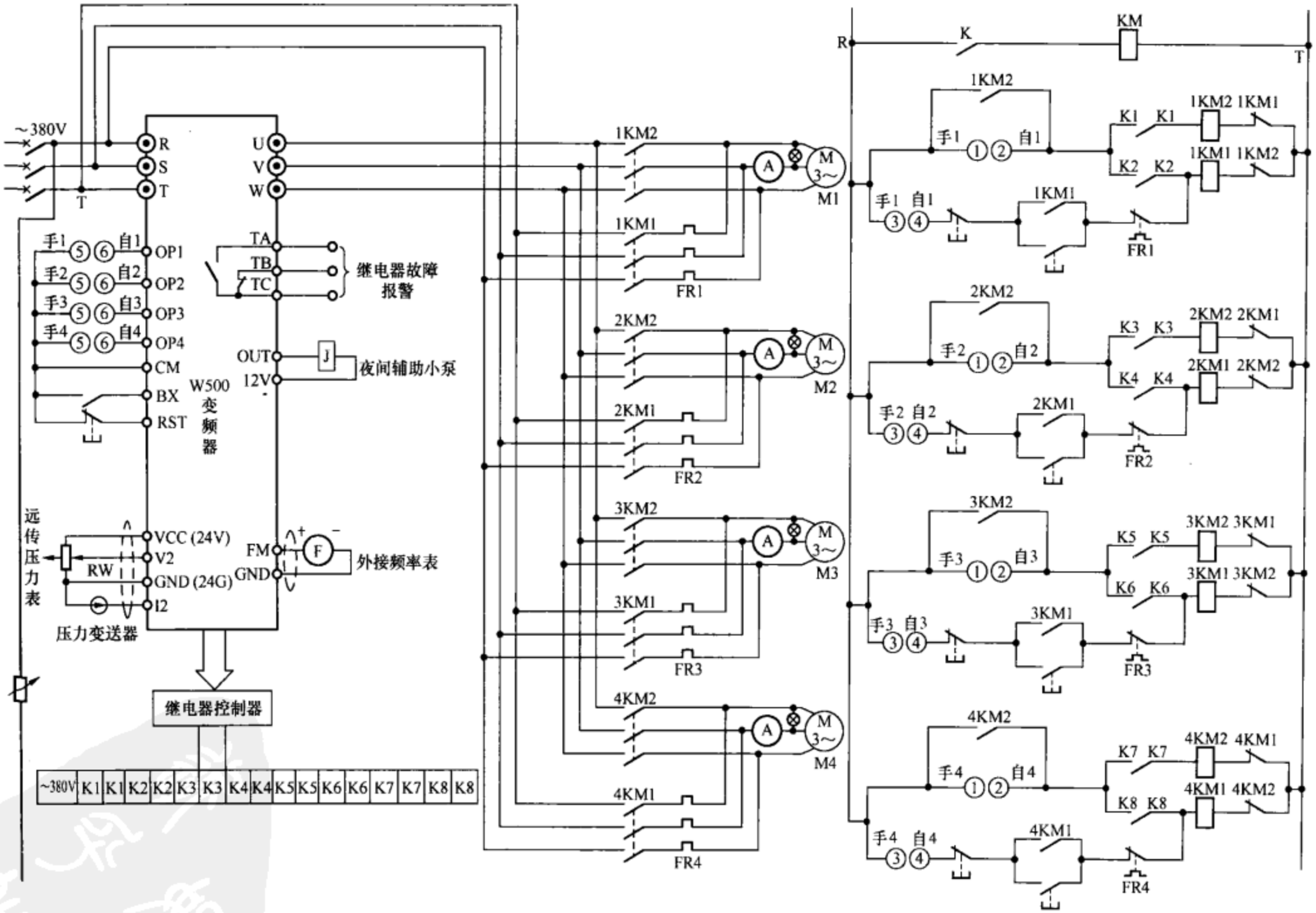
端子号	类别	名称	端子功能说明
OUT	输出信号	运行信号输出	功能码 F47
FM	输出信号	频率模拟输出	接频率表（5V 或 10V），其负极接 GND
BX	功能操作	停车端子	运行中 BX 与 CM 短接可使变频器按选定的方式停车，变频器无输出，所有的泵都断开；当 BX 与 CM 断开时，变频器将根据管网压力情况自动运行。需在停机状态下修改功能参数时，在修改前必须短接 BX 与 CM
OP1	功能操作	水泵投入运行的输入信号	OP1 与 CM 短接时，1 号泵为自动运行方式；OP1 与 CM 断开时，1 号泵为手动运行方式（该端子在两种控制方式下的功能定义完全相同）
OP2	功能操作		OP2 与 CM 短接时，2 号泵为自动运行方式；OP2 与 CM 断开时，2 号泵为手动运行方式（该端子在两种控制方式下的功能定义完全相同）
OP3	功能操作		OP3 与 CM 短接时，3 号泵为自动运行方式；OP3 与 CM 断开时，3 号泵为手动运行方式（该端子在两种控制方式下的功能定义完全相同）

续表

端 子 号	类 别	名 称	端子功能说明
OP4	功能操作	水泵投入运行的输入信号	OP4 与 CM 短接时，4 号泵为自动运行方式；OP4 与 CM 断开时，4 号泵为手动运行方式（该端子在两种控制方式下的功能定义完全相同）
SF	功能操作		SF 与 CM 短接时，5 号泵为自动运行方式；SF 与 CM 断开时，5 号泵为手动运行方式（该功能定义只在变频固定控制方式下使用，在变频循环方式下该端子备用）
SR	功能操作		SR 与 CM 短接时，6 号泵为自动运行方式；SR 与 CM 断开时，6 号泵为手动运行方式（该功能定义只在变频固定控制方式下使用，在变频循环方式下该端子备用）
RST	功能操作		当 F46 = 0 时，短接 RST 与 CM，7 号泵为自动运行方式；断开 RST 与 CM，7 号泵为手动运行方式（该功能定义只在变频固定控制方式下使用）。当 F46 = 1 时，输出第二压力控制的选择信号（功能码为 F46）
VCC	电压控制	5V 电源	变频器内部控制电源（+5V）
V2	电压控制	电压模拟输入	作为远传压力表的采样输入端
GND	电压控制	5V 电源地	变频器内部控制电源（+5V）的地信号
12	电流控制	电流模拟输入	作为压力变送器的 0～20mA 电流信号的输入端，接地端为 GND
12V	电源	控制电源	电源电压为(12±1.5)V，它与 CM 之间有 12V、100mA 电源
CM	电源	控制公用端	12V 电源及其他控制信号的地
24V	电源	24V 电源	内置隔离放大器的电源(24±1.5)V
24G	电源	24V 电源地	内置隔离放大器的地信号
TA	故障输出	继电器触点	报警继电器的输出触点，其中 TC 为公共点，TA 为动合触点，TB 为动断触点
TB	故障输出	继电器触点	
TC	故障输出	继电器触点	
～380V	电源	继电器触点电源	输入交流 380V 电压
K1 K1	控制端子	继电器触点	第 1 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A
K2 K2	控制端子	继电器触点	第 2 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A
K3 K3	控制端子	继电器触点	第 3 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A
K4 K4	控制端子	继电器触点	第 4 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A
K5 K5	控制端子	继电器触点	第 5 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A
K6 K6	控制端子	继电器触点	第 6 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A
K7 K7	控制端子	继电器触点	第 7 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A
K8 K8	控制端子	继电器触点	第 8 号继电器动合触点，触点：～250V，0.5A

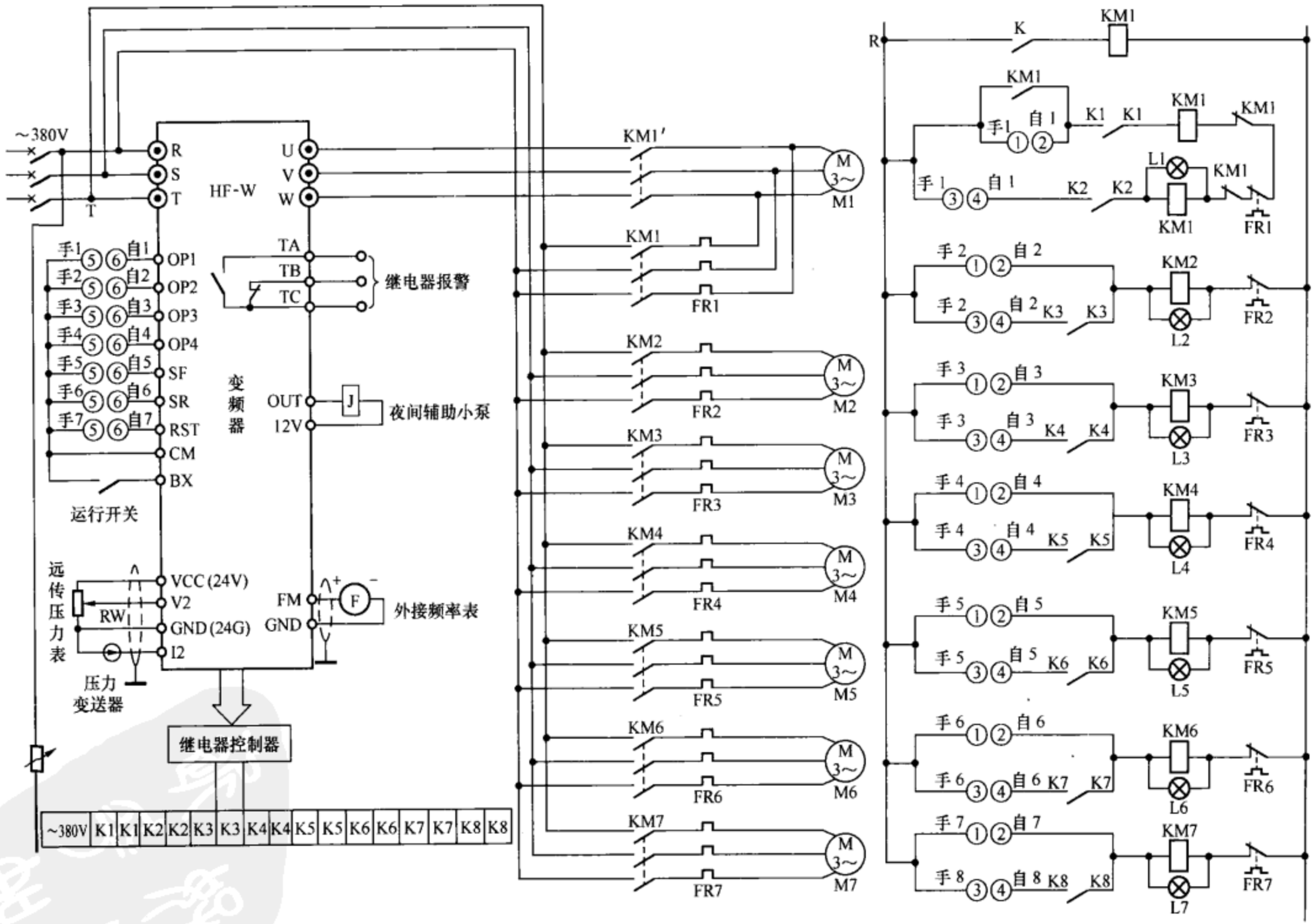
（2）电路图

采用 W500 系列变频器的循环变频泵电路如图 7-12 所示，固定变频泵电路如图 7-13 所示。在图 7-12 和图 7-13 中，◎为主电路输入，○为控制电路输入，⊙为主电路输出，•为控制电路输出。“手 1①②自 1”表示 1 号泵的万能转换开关的 1、2 触点在自动状态下是导通的，在手动状态下是断开的。同理，“手 4③④自 4”表示 4 号泵的万能转换开关的 3、4 触点在手动状态下是导通的，在自动状态下是断开的。



（a）主接线图　　（b）手动—自动控制电路图

图 7-12　采用 W500 系列变频器的循环变频泵电路



（a）主接线图　　（b）手动—自动控制电路图

图 7-13　采用 W500 系列变频器的循环变频泵电路

7.2.3 识读变频器应用电路图
——先主后控识电路，工作过程把握住

与接触器—继电器应用电路一样，变频器应用电路同样由主电路和控制电路两大部分组成。识图时，可先读主电路，看主电路由哪些器件组成；然后再识读控制电路，看控制电路由哪些器件组成，并分析控制电路是如何工作的。

1．用一只交流接触器控制变频电动机正转的电路图

图 7-14 所示为变频调速电动机正转控制电路。

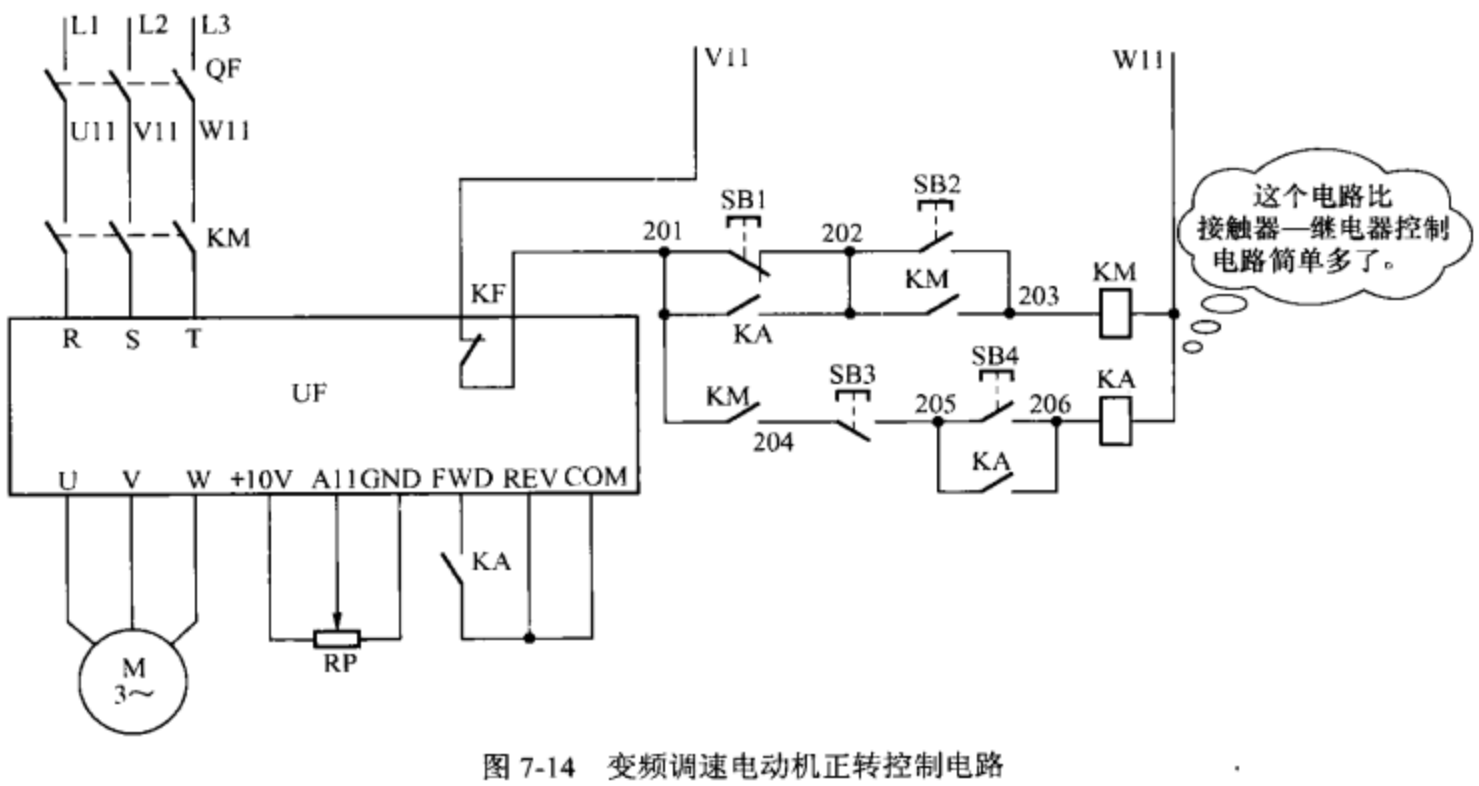


图 7-14　变频调速电动机正转控制电路

（1）看电路组成

该电路由主电路和控制电路两大部分组成。主电路包括自动空气开关 QF、交流接触器 KM 的主触点、变频器内置的交流/直流/交流（AC/DC/AC）变换电路以及三相交流电动机 M 等。控制电路包括控制按钮 SB1～SB4、中间继电器 KA、交流接触器的线圈和辅助触点以及频率给定电路等。

（2）看控制电路

在控制电路中，KF 为变频器的过热保护触点。+10V 电压由变频器提供；RP 为频率给定信号电位器，频率给定信号通过调节其滑动触点得到。

控制电路中的接触器与中间继电器之间有连锁关系：一方面，只有在接触器 KM 动作使变频器接通电源后，中间继电器 KA 才能动作；另一方面，只有在中间继电器 KA 断开，电动机减速并停机时，接触器 KM 才能断开变频器的电源。

在图 7-14 中，SB1、SB2 用于控制接触器 KM 的线圈，从而控制变频器的电源通断。按钮开关 SB4、SB3 用于控制继电器 KA，从而控制电动机的启动和停止。当在电动机工作过程中出现异常而使触点 KF 断开时，KM、KA 的线圈失电，电动机停止运行。

合上电源开关 QF，控制电路得电。按下启动按钮 SB2 后，电流依次经过 V11→KF→

SB1→SB2→KM 线圈→W11，KM 线圈得电动作并自锁；KM 的触点（201-204）闭合，为中间继电器运行作好准备；KM 的主触点闭合，主电路进入热备用状态。

按下开关 SB4 后，电流依次经过 V11→KF→KM 的触点（201-204）→SB3→SB4→KA 线圈→W11，KA 线圈得电动作，其触点（205-206）闭合自锁；KA 的触点（201-202）闭合，防止操作 SB1 时断电；KA 的触点（FWD-COM）闭合，变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路工作，电动机 M 得电运行。

停机时，按下开关 SB3，中间继电器 KA 的线圈失电复位，KA 的触点（FWD-COM）断开，变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路停止工作，电动机 M 失电停机。同时，KA 的触点（201-202）解锁，为 KM 线圈停止工作作好准备。

如果设备暂停使用，就按下开关 SB1，KM 线圈失电复位，其主触点断开，变频器的 R、S、T 端脱离电源。如果设备长时间不用，应断开电源开关 QF。

2．用两只交流接触器控制变频电动机正反转的电路图

普通变频器无正反转功能，只能使电动机沿一个方向转动，这时可采用图 7-15 所示的电路实现电动机可逆运行。

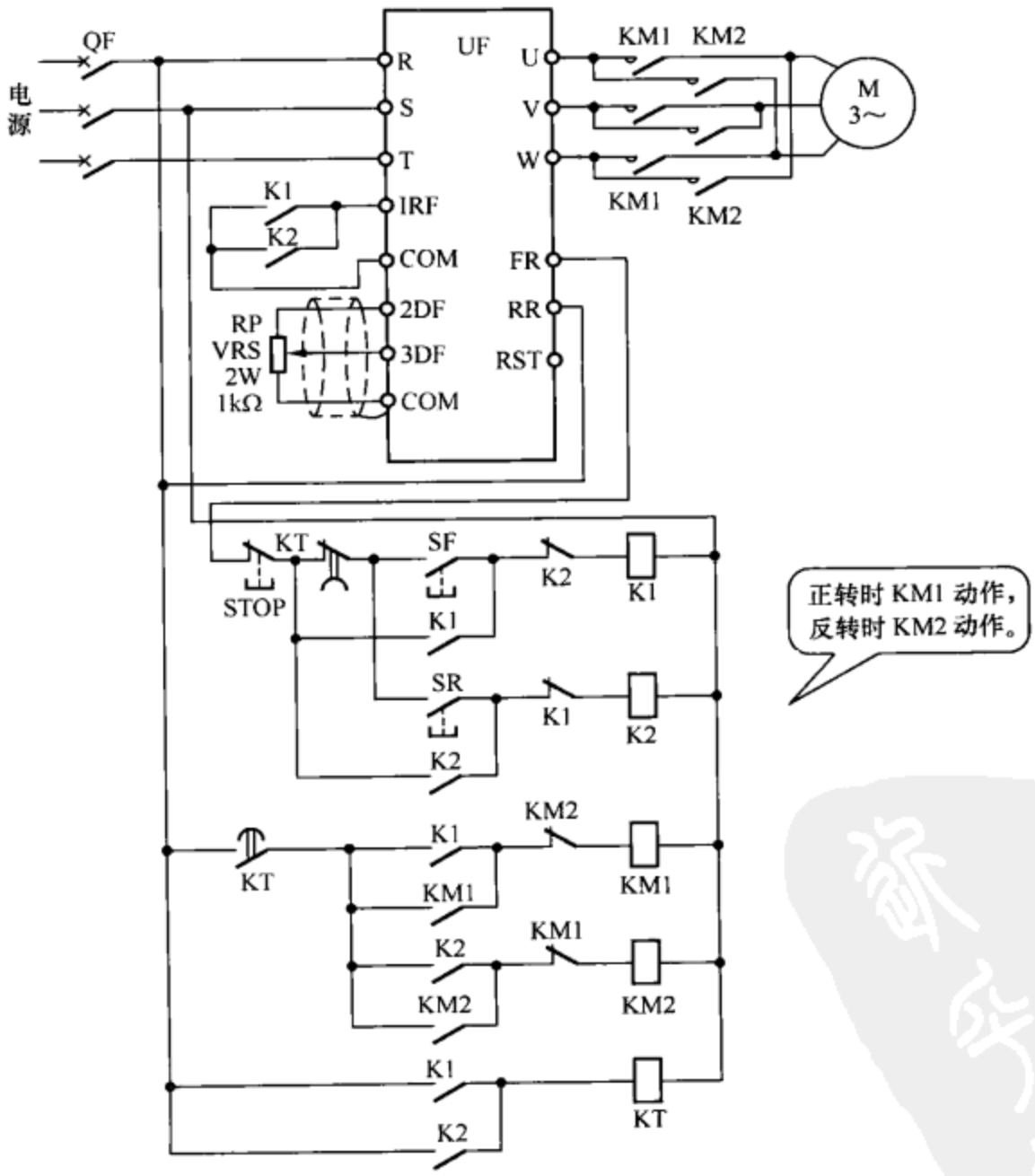


图 7-15　用两只交流接触器控制变频电动机正反转的电路图

图中，KM1、KM2 为两只同型号、同规格的交流接触器；K1、K2 为中间继电器；KT 为时间继电器；STOP 为停车按钮。SF 为正转按钮，SR 为反转按钮。按动按钮 SF，中间继电器 K1 吸合，时间继电器 KT 进入延时工作状态。待延时结束后，KT 的瞬时闭合触点动作，使交流接触器 KM1 动作，电动机正转。与此同时，K1 的另一动合触点动作，接通变频器 UF 的“IRF-COM”端子（有的变频器作“FWD-CM”端子），UF 开始运行，其输出频率按预置的升速时间上升至与给定对应的数值。当按下停止按钮 STOP 时，K1 失电释放，IRF 与 COM 端子断开，变频器输出频率按预置频率下降至零，M 停转。

要使 M 反转，只需按下反转按钮 SR 即可，其过程与上述相似。为了防止误操作，K1、K2 必须互锁。

RP 为频率给定电位器，须用屏蔽线连接，COM 为公共端。时间继电器 KT 的整定时间要超过电动机停止时间或变频器的减速时间。在正转或反转运行中，不可关断接触器 KM1 或 KM2。

3. 变频调速连锁控制电动机正反转电路图

图 7-16 所示为变频调速连锁控制电动机正反转电路。

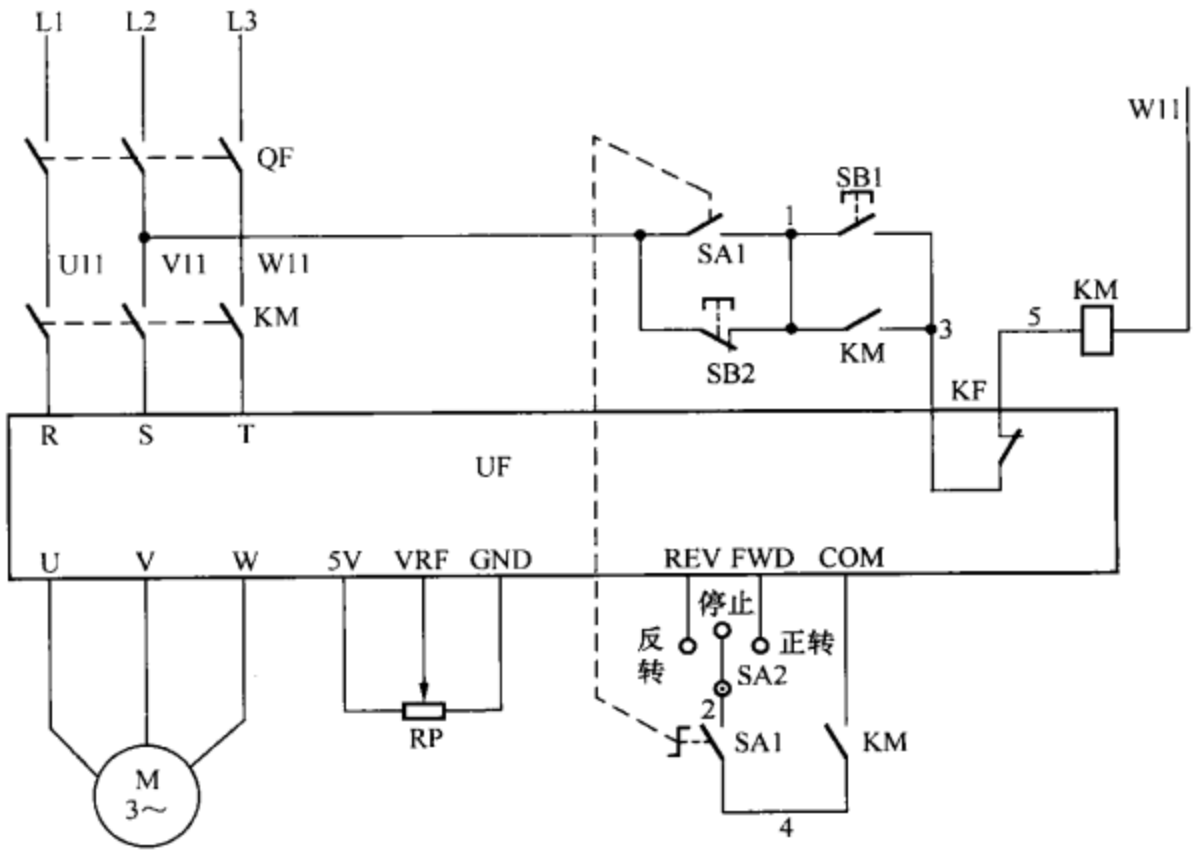


图 7-16　变频调速连锁控制电动机正反转电路图

（1）看电路组成

该电路由以电动机为负载的主电路和以选择开关为转换要素的控制电路两大部分组成。主电路包括三相交流电源开关 QF、交流接触器 KM 的主触点、变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路以及三相交流电动机 M 等。控制电路包括控制按钮开关 SA1、SA2、SB1、SB2，交流接触器 KM 的线圈及其辅助接点，变频器内置的保护接点 KF 以及选频电位器 RP 等。

（2）控制电路分析

图中，SA2 为三位（正转、反转、停止）开关，旋转开关 SA1 为机械连锁开关，接触器 KM 为电气连锁开关。SA1 接通时，SB2 退出；SA1 断开时，SB2 有效。接触器 KM 的辅助

触点（4-COM）接通时，只有 SA1、SA2 都接通才有效；接触器 KM 的触点（4-COM）断开时，SA1、SA2 接通无效。

电动机正向运行：按下按钮开关 SB1，KM 线圈得电动作，其辅助触点（1-3）、（4-COM）同时闭合，变频器的 R、S、T 端得电，进入热备用状态。将 SA1 开关旋转到接通位置时，SB2 不再起作用，然后将 SA2 拨到“正转”位置，变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路开通，电动机启动并正向运行。

电动机反向运行：先将 SA2 拨到“停止”位置，然后再将开关 SA2 转到“反转”位置，电动机就反向运行。

如果一开始就要使电动机反向运行，则先将旋转开关 SA1 转到接通位置（SB2 退出），然后按下 SB1，接触器 KM 的线圈得电动作，其辅助触点（1-3）、（4-COM）同时闭合，变频器的 R、S、T 端得电，进入热备用状态。将 SA2 转到“反转”位置时，变频器内置的电路换相，电动机反向运行。

如果要使电动机在反向运行过程中正向运行，则先将 SA2 拨到“停止”位置，然后将开关 SA2 转到“正转”位置，电动机就会正向运行。

停机操作：将 SA1 转到“停止”位置，断开 SA1 对 SB2 的封锁，作好变频器输入端（R、S、T）脱电准备。按下 SB2，KM 线圈失电复位，切断交流电源与变频器（R、S、T 端）之间的联系。

4．点动、连续运行变频调速电动机控制电路图

图 7-17 为点动、连续运行变频调速电动机控制电路图，该电路的主电路包括电源开关 QF、变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路以及三相交流电动机 M 等。控制电路包括控制按钮 SB1～SB3，继电器 K1、K2，电阻器 R1 以及选频电位器 RP1、RP2 等。

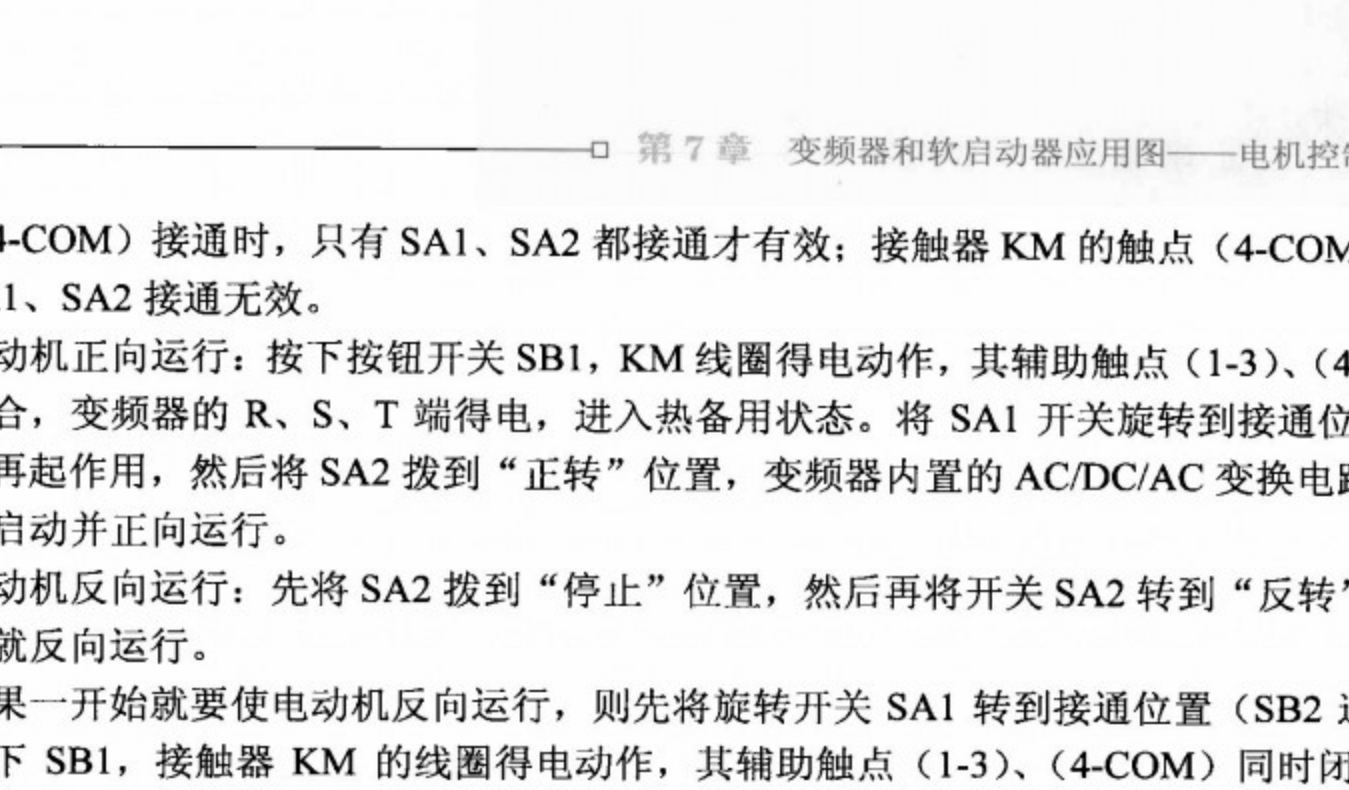


图 7-17　点动、连续运行变频调速电动机控制电路图

（1）点动工作方式

合上电源开关 QF，变频器输入端 R、S、T 得电，控制电路也得电进入热备用状态。按

下按钮开关 SB1，继电器 K2 的线圈得电，K2 在变频器的 3DF 端与电位器 RP1 的可动触点间的触点闭合。同时，K2 在变频器的 FR 端与 COM 端间的接点也闭合，变频器的 U、V、W 端有变频电源输出，电动机得电运行。调节电位器 RP1，可获得电动机点动操作所需要的工作频率。松开按钮开关 SB1 后，继电器 K2 的线圈失电，变频器的 3DF 端与 RP1 的可动触点间的联系中断。同时，K2 在 FR 端与 COM 端间的触点断开，于是变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路停止工作，电动机失电而停机。

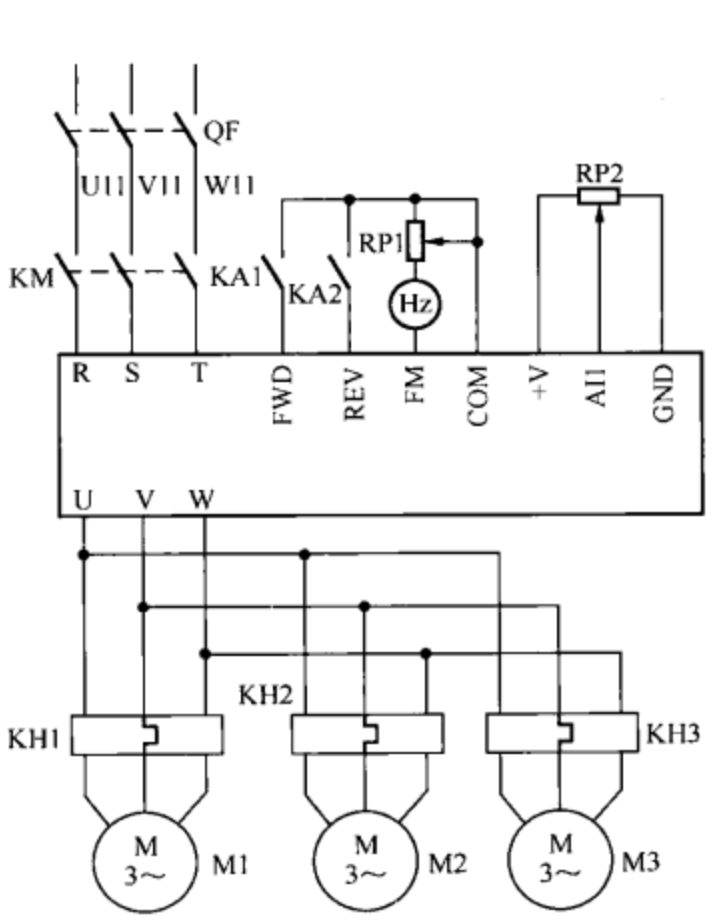
（2）连续运行工作方式

在电路已进入热备用状态后，按下按钮开关 SB3，电流依次经过 V11→KF→SB2→SB3→K2 的触点（204-205）→K1 线圈→W11。K1 线圈得电后动作并自锁，它在变频器的 3DF 端与 RP2 的可动触点间的触点闭合，同时变频器的 FR 端与 COM 端间的触点也闭合，变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路开始工作，电动机得电运行。调节电位器 RP2，可获得电动机连续运行所需要的工作频率。

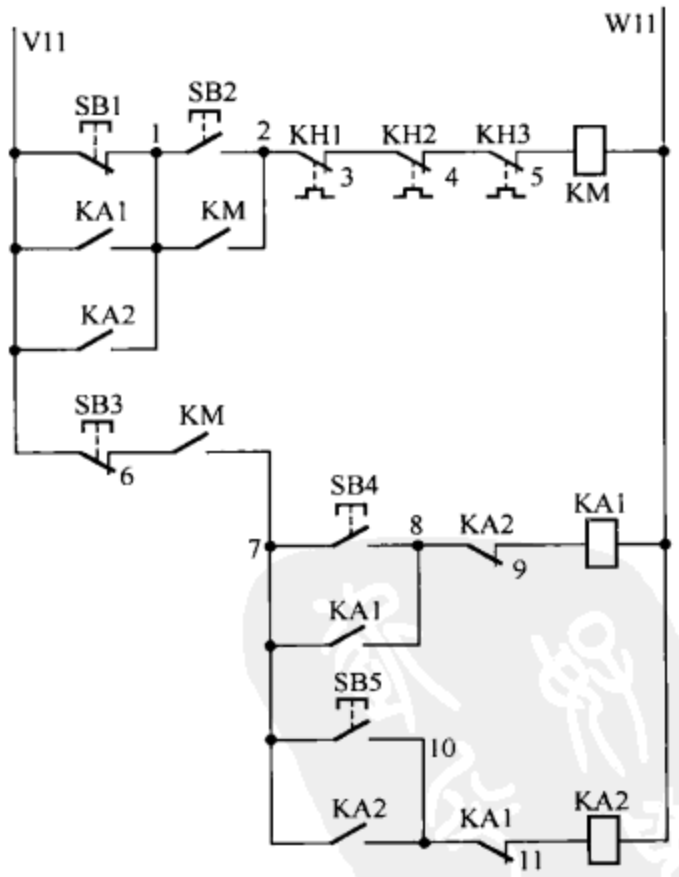
当需要停机时，按下 SB2，K1 线圈失电，于是变频器的 3DF 端与 RP2 的可动触点间的联系被切断。同时，FR 端与 COM 端间的联系也断开，于是变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路退出运行，电动机失电而停止工作。

5. 一台变频器控制多台并联电动机的电路图

图 7-18 所示为一台变频器控制多台并联电动机的电路，该电路由主电路和控制电路两大部分组成。主电路包括电源开关 QF、交流接触器 KM 的主触点、变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路、热继电器 KH1～KH3 以及三相交流电动机 M1～M3 等。控制电路包括按钮开关 SB1～SB5、交流接触器 KM 的线圈以及继电器 KA1、KA2 等。



（a）主电路



（b）控制电路

图 7-18　一台变频器控制多台并联电动机的电路图

合上电源开关 QF 后，控制电路得电。

正向启动运行：按下开关 SB2 后，交流电流依次经过 V11→SB1→SB2→KH1 的触点（2-3）→KH2 的触点（3-4）→KH3 的触点（4-5）→KM 线圈→W11，KM 线圈得电吸合并自锁，其触点（6-7）闭合，为继电器 KA1 或 KA2 工作作好准备。接触器 KM 的主触点闭合，三相交流电压送达变频器的输入端 R、S、T。

按下按钮开关 SB4 后，交流电流依次经过 V11→SB3→KM 的触点（6-7）→SB4→KA2 的触点（8-9）→KA1 线圈→W11，KA1 线圈得电吸合并自锁；KA1 的动断触点（10-11）断开，禁止继电器 KA2 参与工作；继电器 KA1 的动合触点（V11-1）闭合，封锁 SB1 按钮开关的停机功能；变频器上的 KA1 触点（FWD-COM）闭合，变频器内置的 AC/DC/AC 变换器工作，从 U、V、W 端输出正相序三相交流电，电动机 M1～M3 同时正向启动运行。

反向启动运行：先按下按钮开关 SB3，继电器 KA1 的线圈失电复位，变频器处于热备用状态。按下按钮开关 SB5，交流电流依次经过 V11→SB3→KM 的触点（6-7）→SB5→KA1 的触点（10-11）→KA2 线圈→W11，继电器 KA2 的线圈得电吸合并自锁；KA2 的动断触点（8-9）断开，禁止继电器 KA1 的线圈参与工作；KA2 的动合触点（V11-1）闭合，迫使按钮开关 SB1 暂时退出；变频器上的 KA2 触点（REV-COM）闭合，变频器内置的 AC/DC/AC 变换电路工作，从 U、V、W 接线端输出逆相序三相交流电，电动机 M1～M3 同时反向启动运行。

如果需要让电动机正向运行，同样必须先按下按钮 SB3，于是 KA2 线圈失电复位，变频器重新处于热备用状态。如果需要长时间停机，可按下按钮 SB1，接触器 KM 的线圈失电复位，其主触点断开三相交流电源，然后再关断电源开关 QF。

值得注意的是，由于并联使用的单台电动机的功率较小，某台电动机发生过载故障时，不能直接启动变频器的内置过载保护开关，因此，每台电动机必须单设热继电器。只要其中一台电动机过载，就将通过热继电器动断触点的动作将接触器 KM 的线圈的工作条件中断，由交流接触器断开设备的工作电源，从而实现过载保护。

知识链接

变频式空调器的优点

变频式空调器的优点可归纳为以下三点。

① 制冷、制暖强劲迅速。启动时，以最高的功率运转，迅速制冷、制暖，使室内温度快速达到设定温度。所以，无论是寒冷的清晨还是炎热的白天都可以使人迅速享受舒适的室温。

② 高效节能。变频式空调器根据需要来确定输出功率，所以效率高。另外，由于压缩机几乎没有反复的启动/停止，故不消耗多余的电力。所以，电费只是一般空调器的 2/3，可称之为节能模范。

③ 室温控制稳定。变频式空调器可控制压缩机的转速，自如地改变功率的大小，以保持舒适的温度。一般空调器是通过压缩机的反复启动和停止来维持设定温度的，所以室温会产生波动，出现过冷或过热的现象。如使用变频式空调器的话，可以使室内温度始终保持与设定温度很接近。

7.3 识读软启动器应用电气图——循序渐进

电机启动电流大，降压启动可选择。
传统启动多弊端，软启动器是上策。
软启动和软停止，轻载节能有区别。
缺相短路或欠压，保护完备能调节。
运行平稳无冲击，配电容量不会缺。
电路原理多理解，结合框图读明白。
安装使用很方便，技术改造可解决。
电工学会软启动，道路越走越宽阔。

软启动器在功能、性能、负载适应能力及可靠性方面都是传统的星—三角、自耦降压等设备无法比拟的。从先进国家的经验来看，电动机启动设备98%已采用了软启动器，所以这种智能设备最终取代传统的启动方式是必然的。

7.3.1 软启动器的工作原理及特点
——平稳启动无冲击，保护电机没问题

异步电动机以其优良的性能及无需维护的特点在各行各业中得到了广泛的应用，然而由于其启动时要产生较大的冲击电流，同时启动应力较大，负载设备的使用寿命较短。我国有关部门对电机启动早有明确规定，电动机启动时电网电压降不能超过15%。解决办法有两个：一是增大配电容量，二是采用限制电动机启动电流的启动设备。如果仅仅为启动电动机而增大配电容量，从经济角度来说显然不可取。为此，人们往往需要配备限制电动机启动电流的启动设备，过去人们多采用Y/△转换、自耦降压、磁控降压等方式来实现。这些方法虽然可以起到一定的限流作用，但没有从根本上解决问题。

随着电力电子技术的快速发展，智能型软启动器得到了广泛应用，见图7-19。智能型软启动器是一种集软启动、软停车、轻载节能和多功能保护于一体的新型电机控制设备。它不仅可以实现在整个启动过程中无冲击而平滑地启动电动机，而且可根据电动机负载的特性来调节启动过程中的参数，如限流值、启动时间等。此外，它还具有多种电动机保护功能，这就从根本上消除了传统降压启动设备的诸多弊端。

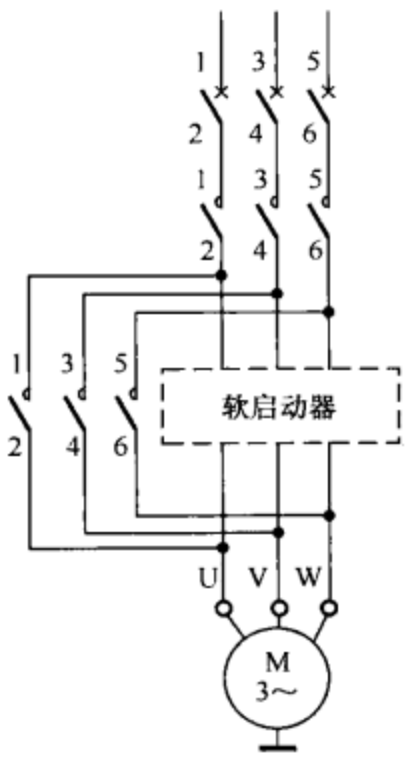
软启动器的工作原理是通过控制串接于电源与被控电动机之间的三相反并联晶闸管的导通角，使电动机的端子电压从预先设定的值上升到额定电压，即使电动机输入电压从零以预设函数关系逐渐上升，直至启动结束，赋予电动机全电压。在软启动过程中，电动机启动转矩逐渐增大，转速也逐渐升高。软启动器主电路如图7-20（a）所示，控制系统框图如图7-20（b）所示。

电动机停机时，传统的控制方式都是通过瞬间停电完成的，但有许多应用场合不允许电动机瞬间关机。例如，高层建筑的水泵系统如果瞬间停机，会产生巨大的“水锤”效应，使

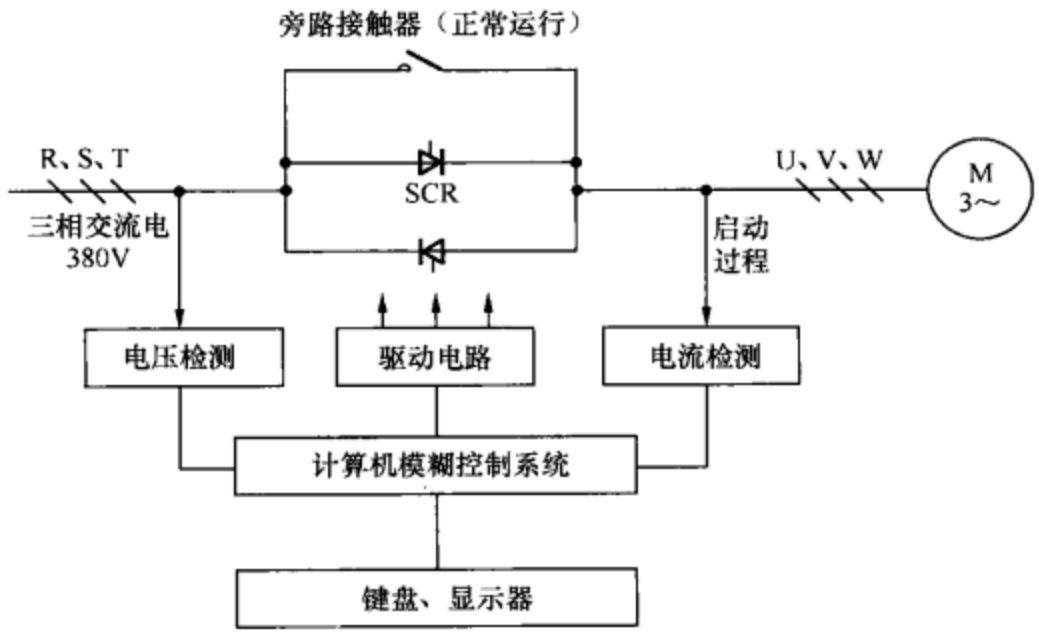
管道甚至水泵遭到损坏。为减少和防止“水锤”效应，需要电动机逐渐停机，即软停车。采用软启动器能满足这一要求，因为软启动器可提供软停车功能。软停车与软启动过程相反，电压逐渐降低，转速逐渐下降到零，避免自由停车引起的转矩冲击。软启动与软停车的电压曲线如图 7-21 所示。



图 7-19　智能型软启动器及应用示例

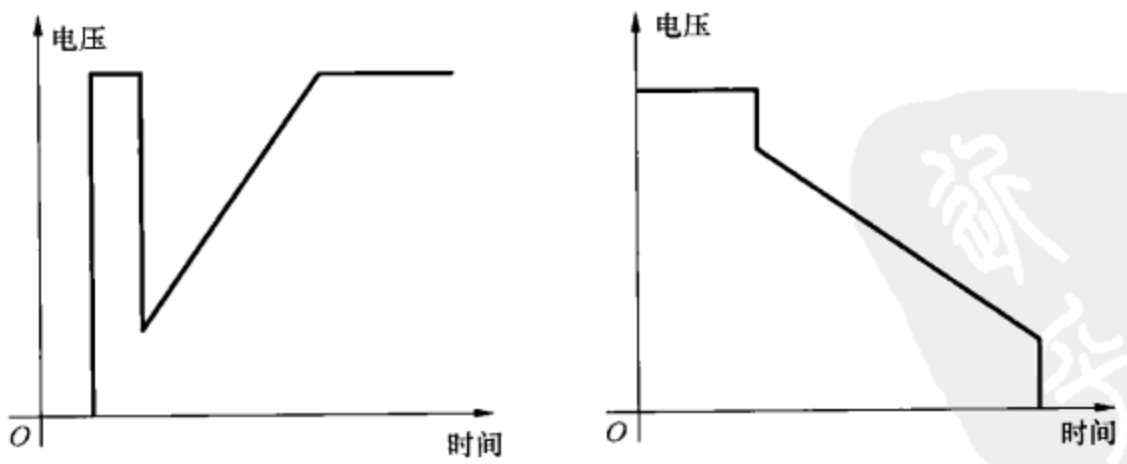


（a）主电路图



（b）控制系统框图

图 7-20　软启动器主电路和控制系统框图



（a）启动时的电压曲线　　（b）停车时的电压曲线

图 7-21　软启动与软停车的电压曲线

软启动器之所以优于星—三角启动器和自耦减压启动器，是由于其具有许多功能，有很高的“智商”，能实现人机“对话”，通过键盘、计算机或人工远距离操作，不仅能实现软启动、软停止，还具有许多保护功能。这些都是新型人性化设备所要求的，所以它备受推崇。

软启动运行具有以下特点。

① 能使电动机启动电压以恒定的斜率平稳上升，启动电流小，对电网无冲击电流，减小了负载所受的机械冲击。

② 启动电压上升斜率可调，保证了启动电压的平滑性，启动电压可依据不同的负载在（30%～70%）U_e（U_e为额定电压）范围内连续可调。

③ 可以根据不同的负载设定启动时间。

④ 为适应现代化生产，减小对电网的冲击和对机械的磨损，减少对启动装置的维护，软启动器还具有可控硅短路过载保护、缺相保护、过热保护和其他保护功能。

过载保护功能——软启动器采用电流控制环可随时跟踪检测电动机电流的变化状况，通过增加过载电流的设定和反时限控制模式，实现了过载保护功能，在电动机过载时关断晶闸管并发出报警信号。

缺相保护功能——工作时，软启动器随时检测三相电流的变化情况，一旦发生断流，即可作出缺相保护反应。

过热保护功能——通过软启动器内部的热继电器检测晶闸管散热器的温度，一旦散热器温度超过允许值就自动关断晶闸管，并发出报警信号。

其他保护功能——通过电子电路的组合，还可在系统中实现其他种种连锁保护。

一般来说，在异步电动机不需要调速的各种应用场合都可使用软启动器，软启动适用于各种泵类负载或风机类负载。对于变负载工况，电动机长期轻载运行，只有短时或瞬间满负荷运行的场合，应用软启动器（不带旁路接触器）则具有轻载节能的效果，如图 7-22 所示。

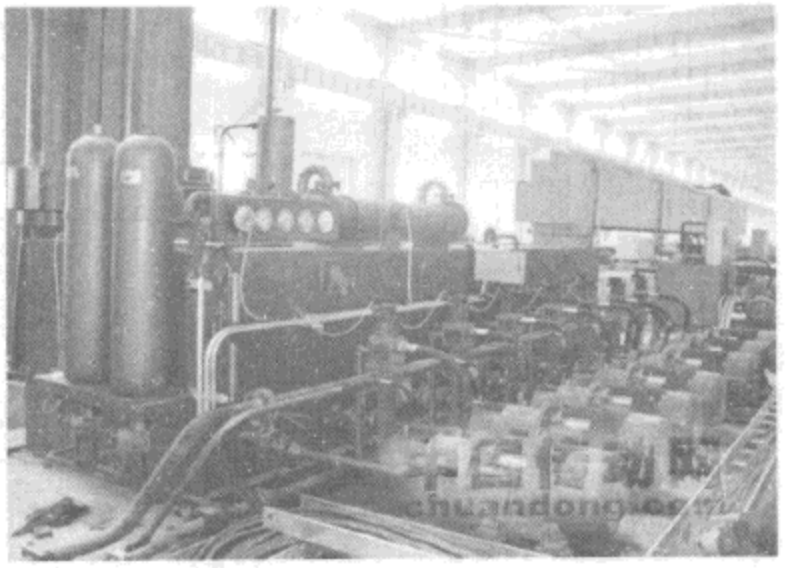


图 7-22　软启动器应用于水压机液压站示例



想一想　电动机采用软启动器有哪些好处？

7.3.2 识读软启动器工作原理图
——启动停车及保护，信号分析把握住

目前，软启动器的品牌及型号很多，下面介绍几种软启动器的工作原理。

1. WJR 系列软启动器

WJR 系列软启动器是齐齐哈尔齐力达电子有限公司生产的新一代三相交流异步电动机专用控制产品。该系列三相电动机软启动器分以下 3 种类型。

① 节电型：在线运行，适用于电动机负载率不高或间歇性负载的拖动系统，如剪板机、压力机、冲压机等，其有功节电率可达 20%～40%。冲压频率越低，则有功节电率越高，若电动机的负载率超过 40%，则节电效果不明显。面板上安装有 LED 显示灯和操作键盘，可显示、修改系统运行参数，方便快捷，接线形式为下进线、下出线。

② 单元型：采用非晶闸管在线运行方式，是三相异步电动机软启动控制最基本的单元；设有旁路信号输出端子，即启动完成后旁路继电器触点闭合，控制接触器旁路运行；由于采用“电子灭弧器”专利技术，接触器在吸合与分断时无电弧产生；备有故障信号输出端子，系统故障时自动停机且故障继电器触点闭合，控制其他连锁设备实现保护。接线形式为上进线、下出线。选用该单元时用户需自配电流闭环取样互感器、旁路接触器、启动和停止按钮才能正常使用。

③ 旁路型：是以单元型为主要控制器件组成的软启动控制设备，其接线方式为下进线、下出线。

WJR 节电型软启动器基于单片机控制技术，通过内置的专用优化控制软件，动态调整电动机运行过程中的电压和电流。在不改变电动机转速的条件下，保证电动机的输出转矩与负荷需求匹配，其空载有功节电率高达 50%以上。它不仅具备完善的软启动和软停车功能，可保证电动机连续平滑启动，避免电动机启动时产生电流和机械冲击；还具有断相、过流、过载、三相不平衡、晶闸管过热、电源逆相等多项保护功能，并有故障状态输出（BK）、运行状态输出（TR）功能，可以用来控制其他连锁的设备。

WJR 节电型软启动器可智能地检测到电动机运行过程中出现的故障，运行状态及故障状态均由面板上的 LED 显示，其工作原理如图 7-23 所示。

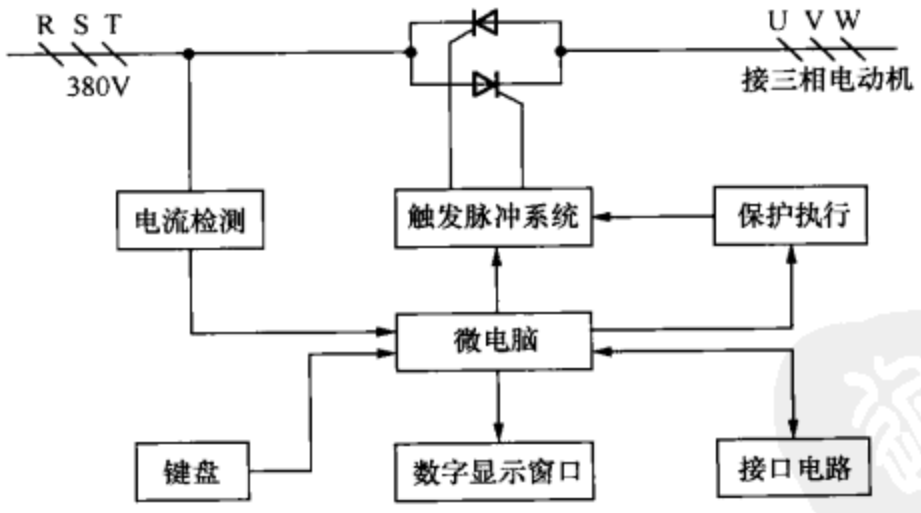


图 7-23　WJR 节电型软启动器工作原理图

WJR 旁路型软启动器具有电源逆相、晶闸管过热、电动机过载、三相不平衡、断相等保护功能，并有故障状态输出功能，可用来控制（保护）其他连锁的设备（输出继电器触点容量为 250V/5A）。内部线路板上有容易识别的故障诊断指示灯，可智能地检测到运行过程中出

现的故障。当软启动完成后，旁路接触器投入正常运行。旁路接触器在闭合和断开时触点无电弧产生，这是采取了电子灭弧器技术而达到的特殊效果。图 7-24 为 WJR 旁路型软启动器的工作原理框图。

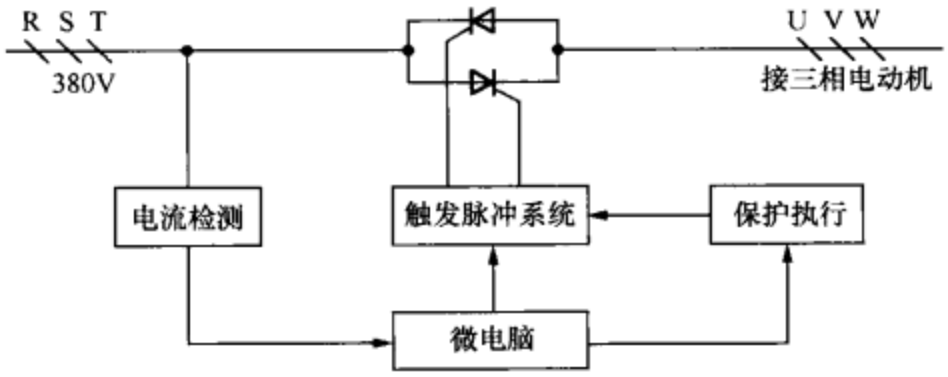


图 7-24　WJR 旁路型软启动器工作原理框图

WJR 系列软启动单元是三相交流异步电动机专用控制产品，启动采用电压时间斜坡方式，并兼有启动电流限制模式。该单元具有软启动、软停止和启动电流限制功能。在启动和运行时，具有故障诊断和故障保护功能，可通过外接无源触点开关进行远距离操作（异地控制）。该单元不需另配电动机保护器或热继电器，运行时需用交流接触器旁路，旁路接触器在吸合和分断时无电弧产生。WJR 系列软启动单元的工作原理如图 7-25 所示。

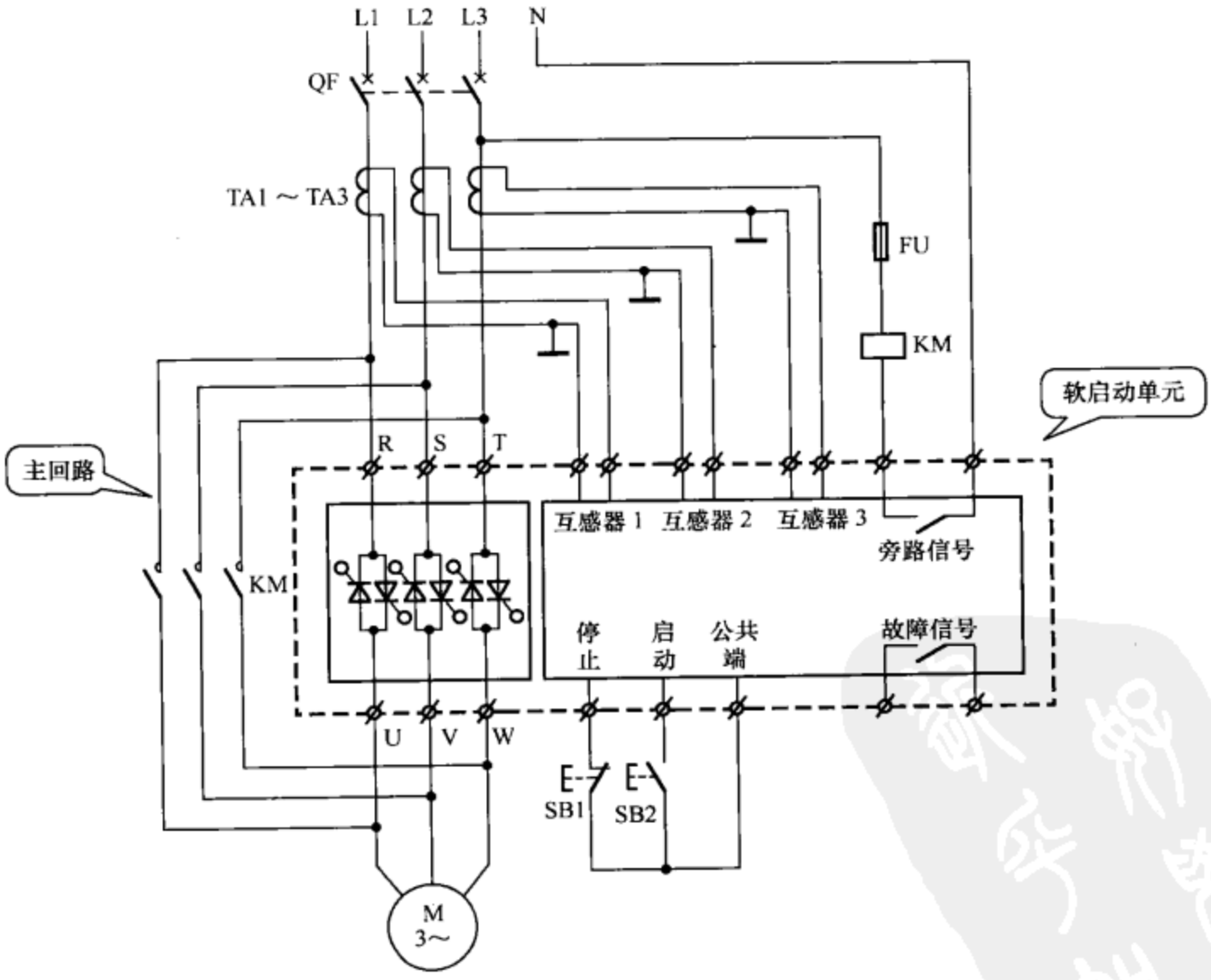


图 7-25　WJR 系列软启动单元工作原理图

当停止端悬空（按钮 SB1 不接）时，按下启动按钮（SB2）后电动机开始启动并运行。抬起启动按钮（SB2），则进入软停止状态（若软停止时间设置为零，则电动机自由停车）。此方式可用于点动或继电器控制。主电路中 3 只电流互感器（TA1、TA2、TA3）的二次电流（0～5A）输出端分别接到软启动单元的“互感器 1”、“互感器 2”、“互感器 3”端子上，无相序及相位要求。电流互感器二次线的公共端应可靠接地。

当外接电源、外接电动机及软启动单元出现故障时，自动停机，故障继电器动作，其“故障信号输出”端子输出无源开关闭合信号，可用此信号控制外部连锁设备。

知识链接

常用启动器比较

启动器是一种用来启动电动机的组合电器，传统上使用的启动器有磁力启动器、星—三角启动器、减压启动器等类型。

① 磁力启动器。这种启动器由交流接触器与热继电器组成，适用于额定电压至 500V、额定电流至 150A 的电力线路中，用于直接控制三相鼠笼式异步电动机的启动、停止及可逆运转。当电压消失时，启动器起失压保护作用，带热继电器的启动器具有热过载保护作用。

② 综合启动器。这种启动器适用于交流电压至 500V 的供电线路中，供远距离直接启动和停止容量为 12.5kW 及以下的三相异步电机使用，具有失压、过载和短路保护的作用。

③ 手动星—三角启动器。这种启动器适合用于控制交流 50Hz、电压至 500V、容量至 30kW 的三相鼠笼式异步电动机的降压启动与停止。这种启动器在启动时将电动机定子绕组接成星形以减小启动电流和提高效率，而运行时又将其改接成三角形。

④ 自动星—三角启动器。这种启动器适合用于控制交流 50Hz、电压至 500V、容量至 30kW 的三相鼠笼式电动机的启动及停止。这种启动器在启动过程中通过双金属时间继电器能自动地将电动机的绕组由星形连接转换成三角形连接，并带有热继电器，可用于过载保护，也具有失压保护功能。

⑤ 自耦减压启动器。这种启动器主要适用于控制功率至 75kW 的三相交流 50Hz 或 60Hz 鼠笼式感应电动机的不频繁降压启动、停止，具有过载和失压保护作用。启动器的热继电器在负载电流超过 120%额定电流时，能在 20min 内自动跳开，切断电路；失压释放器在额定电压的 75%以上时能保持吸合而接通电路，在额定电压的 85%～105%时能保证可靠工作，在额定电压的 35%及以下时能保证脱扣而切断电路。

2. JLC 系列软启动器

JLC 系列软启动器是上海集电电力电子技术发展有限公司的产品，该启动器主电路无触点，控制电路采用美国 ENERPRO 公司的软启动技术，并使用 ENERPRO 原装主板组成的 JD-6 组件。JLC 系列中带节能功能的软启动器能随负载率的变化而自动输出所需电压，从而达到节能运行目的。对风机、泵类及带负载启动的电动机，其启动性能极佳。

JLC 系列软启动器的电路如图 7-26 所示。图中，VS 为晶闸管模块，L1、12、L3 为三相电源线，U、V、W 为电动机 M 的进线端子，TA 为电流互感器，PA 为电流表，R 为 2Ω的电阻，取出电流信号以供 JD-6B（副板）作为控制信号。

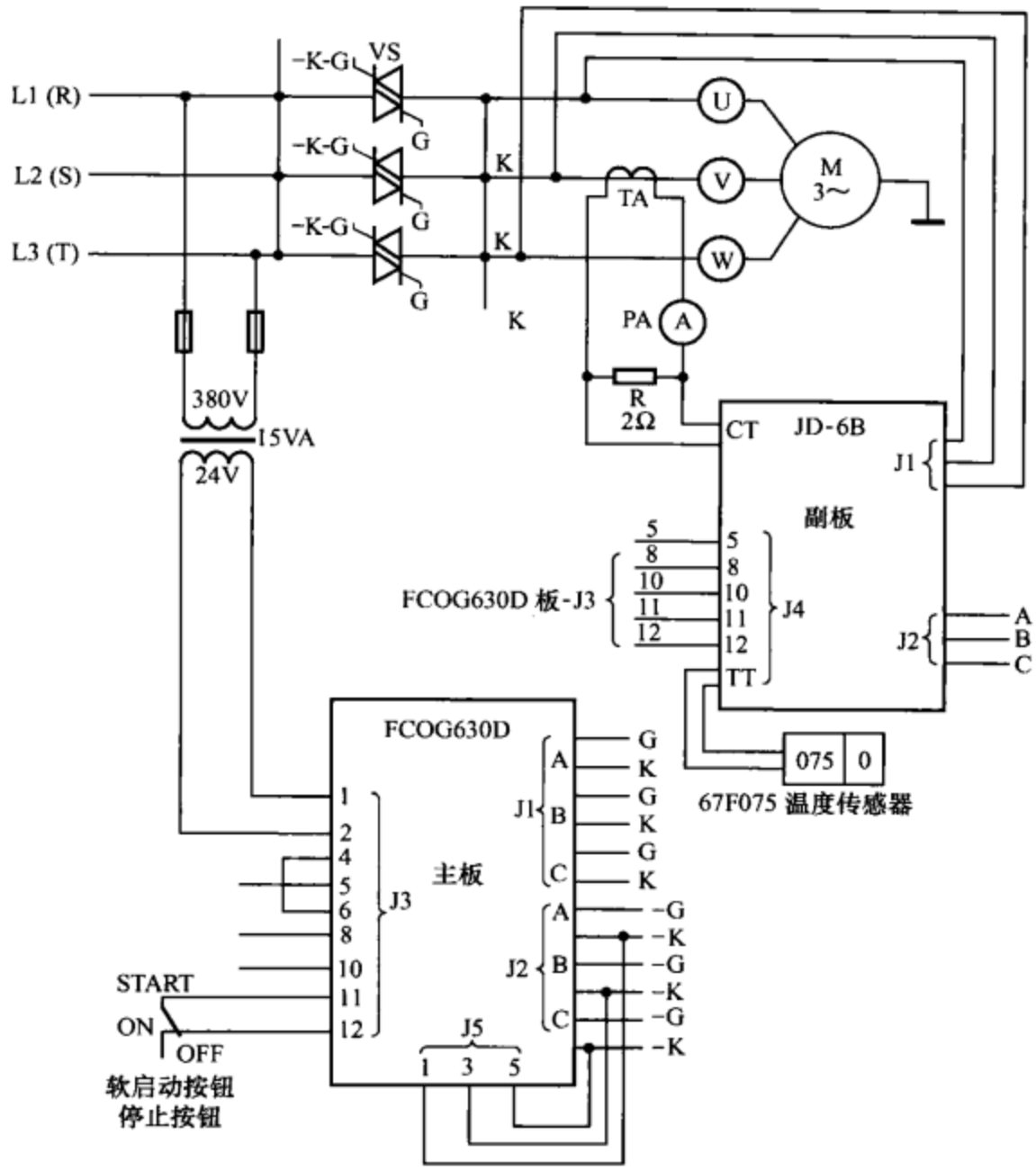


图 7-26　JLC 系列软启动器电路原理图

JLC 电动机软启动器为双板结构，由软启动控制板（副板）和主触发板（主板）共同完成启动。它是以电压作为调节对象的，提供单斜坡或双斜坡晶闸管旁路，延长了晶闸管的寿命。停机时先断开接触器，再关断晶闸管，使接触器不带电流通断，确保接触器的机械寿命。

软启动组件设置有节能功能。该节能特性可以在电动机轻载时减小磁化电流和磁化损耗，从而改善功率因数，提高电动机的效率。软启动器主、副板上设有提供最小负载时调节电动机电压的装置，在轻载与满载期间实现跟踪及过程平滑调节。软启动组件加速时间为 7～55s 可调。停机方式有两种可选，即瞬时停机和软停机，软停机时间设定为 2s（软停机时间可按要求设定）。

JLC 软启动器设有断相、过电流、晶闸管过热保护。断相保护是指由电源断相引起的电源不平衡使主板 A、B、C 的相逻辑信号发生变化，封锁脉冲输出，使晶闸管关断。过电流保护是指当电动机同相电流增加到一个预定设定值时，主板脉冲被封锁。过热保护是指通过将设置温度为 75℃的温度开关安装于晶闸管散热器上，当散热器温度高于或等于 75℃时，主板脉冲被封锁，晶闸管被强迫关断。

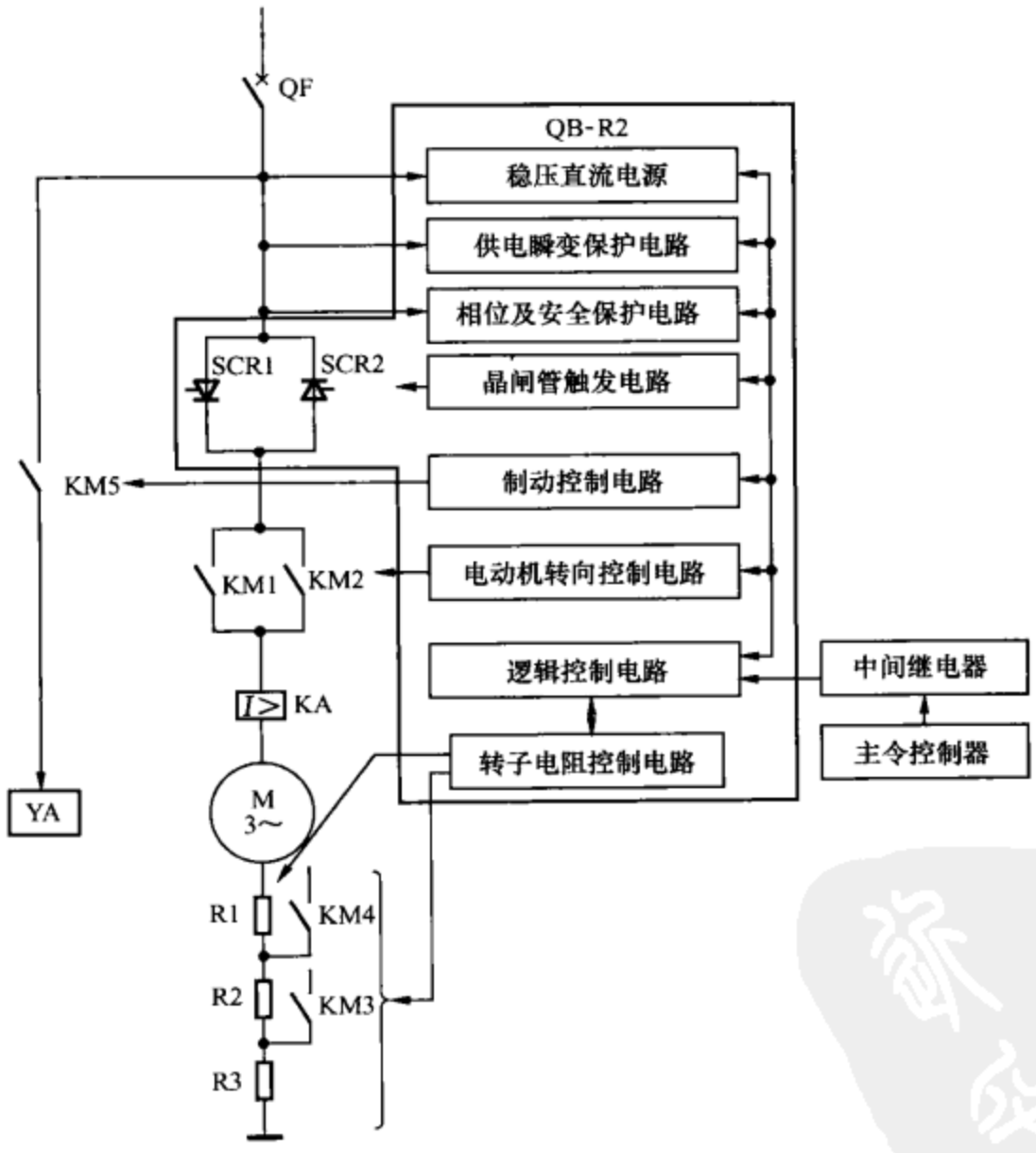
3. QB-R2 绕线电动机调速控制器

QB-R2 绕线电动机调速控制器主要用在起重机械设备的控制系统中对绕线电动机进行控制。它是利用改变绕线电动机的定子电压来改变电动机速度的调速装置。

调速控制器采用闭环控制技术使电动机转速不因载荷的变化而变化，从而保证了电动机平稳地加、减速。在闭环控制中采用了转子频率反馈为速度反馈，取代了原有的容易损坏的测速发电动机和对环境要求高的脉冲编码器的测速方法，降低了故障率和改造难度，是目前最简单、最可靠、最经济的反馈方法之一。

该控制器的正反向切换采用交流接触器来实现，接触器切换时，采取零电流换向，使换向接触器的触点损伤极小，避免了产生环流的可能，延长了换向接触器的机械寿命。该控制器对电动机定子回路平稳地调压，减小了电动机启动电流。相对于长期频繁操作的行车来说，不但减小了对电动机的冲击，延长了电动机的使用寿命，而且节能效果是显著的。

功率单元与控制单元采用接插件连接，便于维修和拆装。QB-R2 绕线电动机调速控制器的组成如图 7-27 所示。



QF—断路器；KM1—起升接触器；KM2—下降接触器；KM3、KM4—转子接触器；KM5—制动器接触器；KA—过载保护器；QB-Q2—调速控制器；SCR1、SCR2—晶闸管；M—绕线电动机；YA—制动器；R1、R2、R3—转子电阻

图 7-27　QB-R2 绕线电动机调速控制器的组成框图

QB-R2 绕线电动机调速控制器的功率器件（三相反并联晶闸管）串联于电动机定子回路中，而与电动机功率相匹配的电阻器串接于电动机转子回路中。控制电路通过改变晶闸管的导通角来改变电动机定子电压，从而达到控制电动机转速的目的。

一套完整的行车控制系统包含 QB-R2 绕线电动机调速控制器、主回路断路器、主回路电源接触器、主回路换向接触器、转子加速接触器、制动接触器、输入/输出中间继电器、主令控制器、转子电阻器以及相应的电气连接附件等，具体选型需根据行车大小而定。

（1）QB-R2 调速控制器用于绕线电动机升降的电路原理图

图 7-28 为 QB-R2 调速控制器用于绕线电动机升降的电路原理图，下面简要分析其工作原理。

① 起升。当用主令控制器选择起升速度挡位的某一挡时，调速控制器首先接通上升接触器，然后制动器打开，电动机开始启动。通过设定转子频率反馈和主令控制器的速度，系统进入闭环控制状态。主令控制器如选择全速挡，则电动机平稳加速至全速；如从全速挡退回慢速挡，则电动机转速迅速降低，自动进入闭环控制状态而稳定在所设定的速度上。不论为何种上升速度，只要主令控制器回到零位，制动器就立即制动，然后电动机断电。

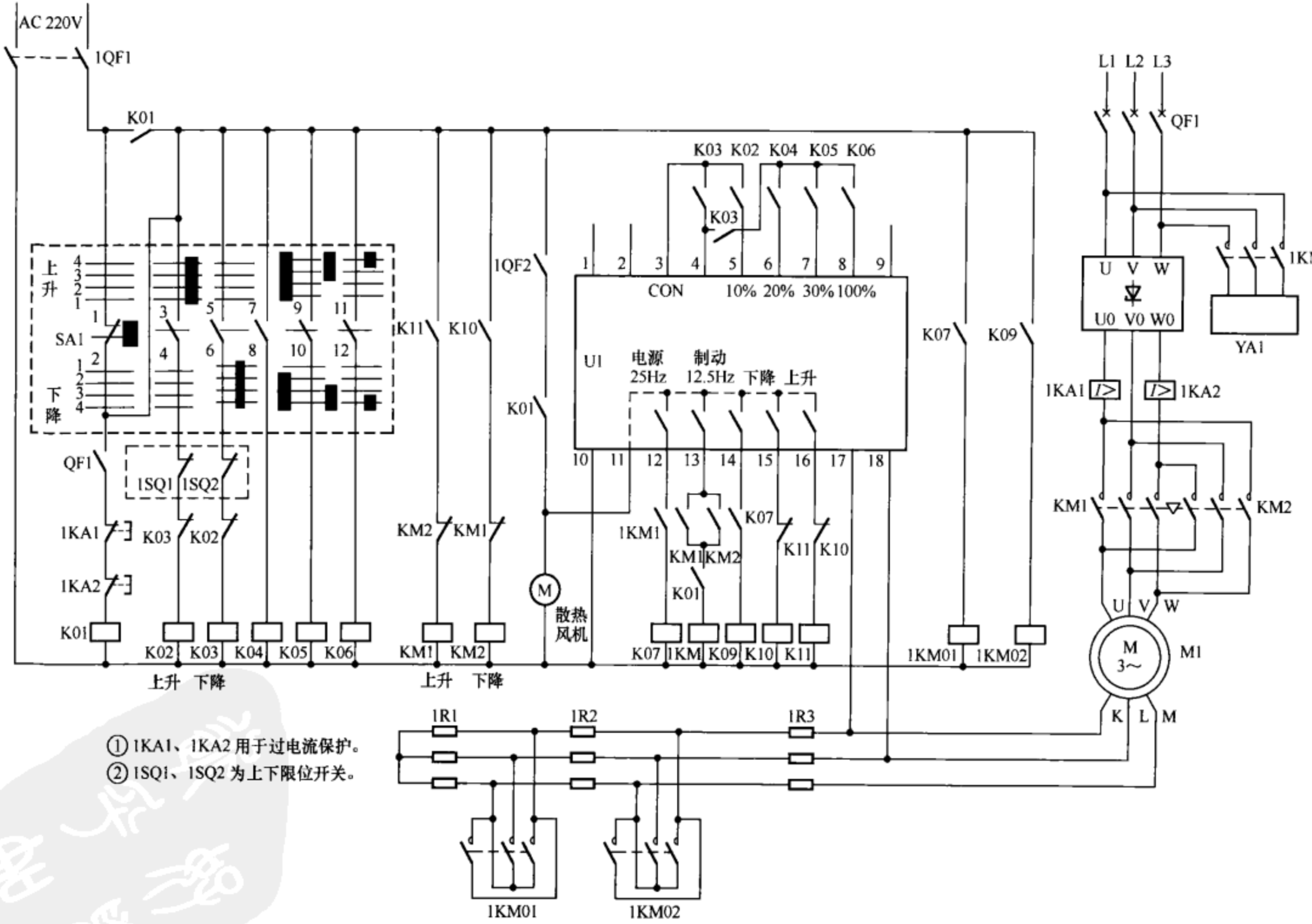
② 重载下降。当主令控制器选择下降速度挡位的某一挡时，调速控制器首先接通上升接触器，然后制动器打开，此时给电动机提供的是反接力矩，调速控制器进入闭环控制状态。当主令控制器为全速下降挡时，下降接触器接通，电动机转速全速下降。若从全速挡回到慢速挡，则下降接触器释放，上升接触器接通，在反接力矩作用下，电动机迅速减速，重新进入闭环控制状态。不管为何种下降速度，一旦主令控制器回到零位，控制器就以反接力矩进行制动，电动机转速迅速降低，达到静止状态后制动器制动，随后电动机电源被切断。如果反接力矩制动时间超过 1s，不管电动机是否达到静止状态，制动器都强制制动。

③ 轻载下降。轻载下降与重载下降一样，调速控制器首先接通上升接触器，给电动机施加一定的反接力矩，如果负载极轻（如空钩），调速控制器就会判定负载过轻，使上升接触器释放，下降接触器接触，此时电动机进入再生发电状态，转速下降。当转速超过设定值时，调速控制器自动转为反接力矩状态。

（2）QB-R2 调速控制器用于绕线电动机平移的电路原理图

图 7-29 为 QB-R2 调速控制器用于绕线电动机平移的电路原理图。当主令控制器在左移位置时，调速控制器接通左移接触器，车体以主令控制器所设的速度向左运行；主令控制器在右移位置时，右移接触器接通，车体以主令控制器所设的速度向右运行。当主令控制器在某一速度挡时，调速控制器在闭环控制状态下按该挡速度运行。当受到某种阻力（如桥架倾斜）时，控制器在闭环控制下仍然维持该挡速度，若阻力消失，平移机构将被加速；当超过设定速度的 10%时，反向接触器接通，电动机开始减速。由于此时反接力矩不超过满载启动力矩，所以电动机逐渐减速到所要求的速度。若此时平移机构受到前推力，则反接力矩用以保持速度；若前推力消失，反向接触器将被释放，正向接触器接通，平移机构正常运行。电动机转速必须高于设定转速的 10%才能实现反接，因此主令控制器在 30%～20%或 20%～10%的设定速度时不会触发反向接触器。

QB-R2 绕线电动机调速控制器的接线端子参见图 7-28 和图 7-29，端子说明见表 7-5。



① 1KA1、1KA2 用于过电流保护。
② 1SQ1、1SQ2 为上下限位开关。

图 7-28　QB-R2 调速控制器用于绕线电动机升降的电路原理图

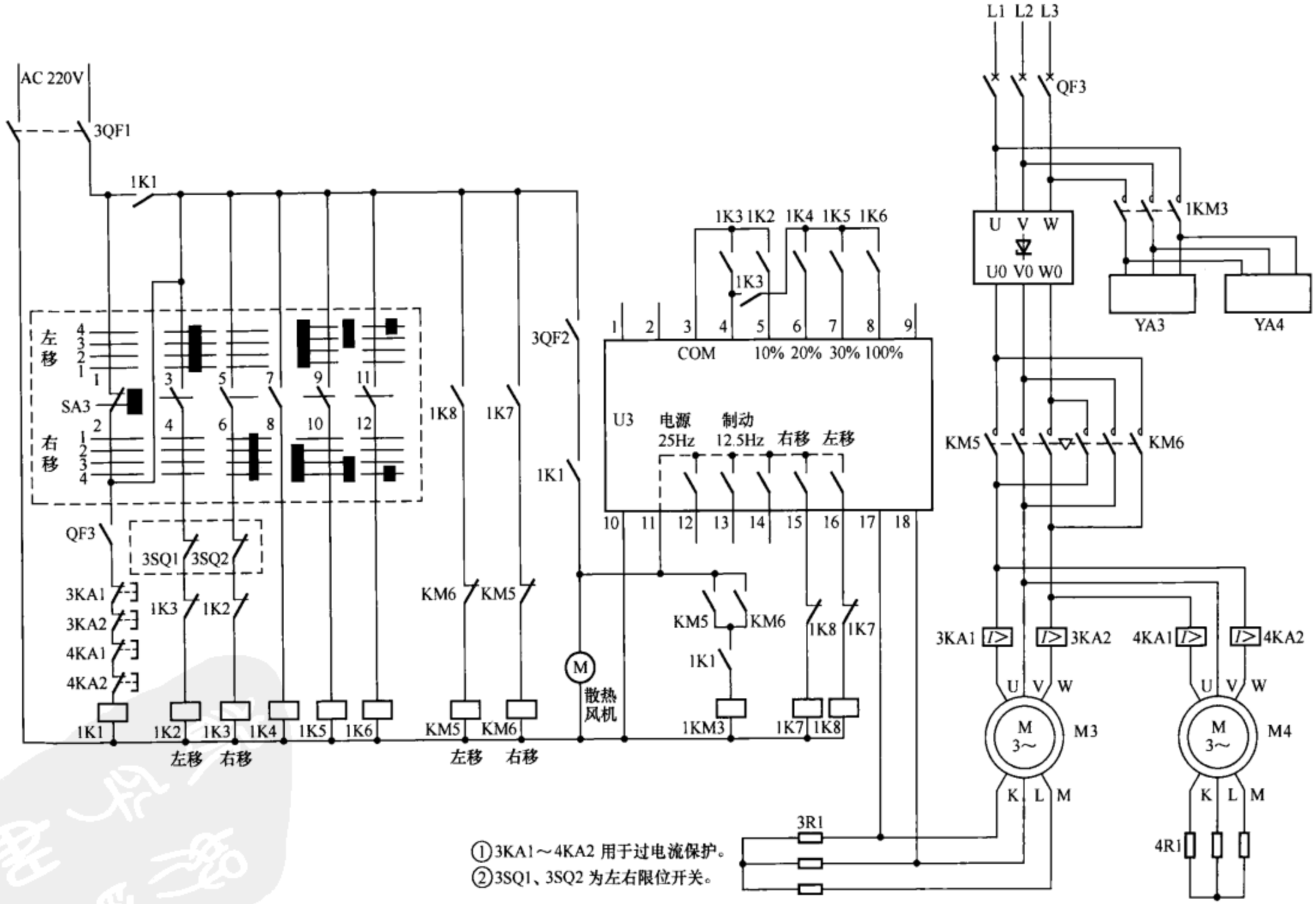


图 7-29　QB-R2 调速控制器用于绕线电动机平移的电路原理图

表 7-5　　控制器端子说明

端子号	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
端子说明	备用	备用	DC 10V 地	下降（后移、右移）控制输入	10%速度给定
端子号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号
端子说明	200%速度给定	30%速度给定	100%速度给定	备用	控制电压 N
端子号	11 号	12 号	13 号	14 号	15 号
端子说明	控制电压 L	转子 50%速度输出	制动接触器输出	转子 75%速度输出	下降接触器输出
端子号	16 号	17 号和 18 号	U、V、W	U0、V0、W0	
端子说明	上升接触器输出	转子电压反馈输入	主回路电源输入	主回路电源输出	

知识链接

电动机常用启动方式的对比

电动机常用启动方式的对比见表 7-6。

表 7-6　　电动机常用软启动方式比较

装置性能	高压高频装置	采用可控硅串联技术构成的高压软启动装置	采用水电阻构成的高压软启动装置	开关变压器式高压电动机软启动装置
启动电机最大容量	50kW	小于 10kW	8kW	50kW
能量损耗	较小	最小	最大	小
可靠性	较低	最低	低	最高
检修周期	短	短	短	长
操作过电压	小	小	大	小
高频谐波	大	小	小	小
环境温度	0℃～40℃	0℃～40℃	0℃～40℃	-30℃～40℃
安装倾斜度	无要求	无要求	小于 5°	无要求
耐振动能力	适中	适中	差	强
启动电流控制精度	高	高	受环境条件影响，不高	高（适于自动控制）
使用寿命	较短	短	短	长
体积	大	小	大	小
价格	最高	最高	低	较低

7.3.3　识读软启动器安装接线图
——端子功能看说明，主辅接线回路清

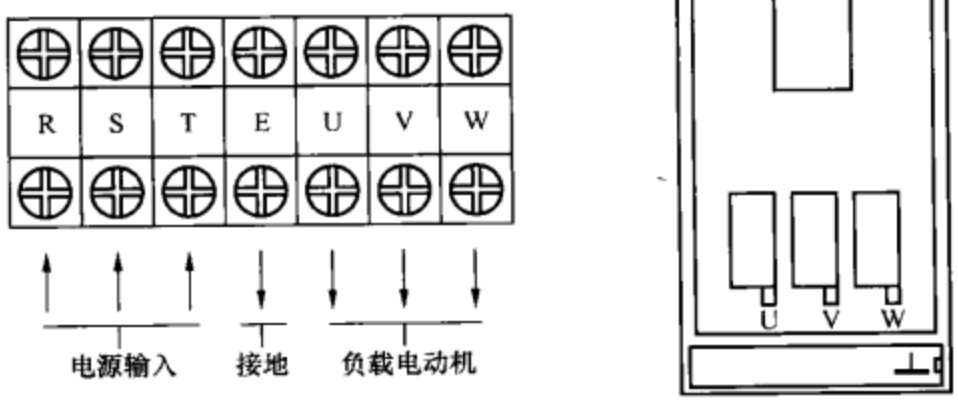
1．WJR 节电型软启动器

WJR 三相电动机软启动器采用单片机智能控制技术，动态调整电动机启动和运行过程中的电压和电流，实现平滑连续启动，避免电动机启动时对供电系统的冲击；可实现平滑减速停车，消除拖动系统的反惯性冲击，尤其是对于泵类负载可有效防止水锤现象的发生；并具有断相、过流、过载、三相不平衡、晶闸管过热、相序颠倒等完善的保护功能，是新一代鼠

笼型三相异步电动机的专用控制产品，也是传统启动设备的理想换代产品，适用于交流 380V、50Hz、额定电流为 15～630A 的鼠笼型异步电动机。

（1）主回路端子接线图

图 7-30 为 WJR 节电型软启动器主回路端子接线图。在安装时，注意电源输入端 R、S、T 有相序区别，不可将交流电源接至输出端子 U、V、W。同时，接地线越短越好。



（a）22～132kW 主回路端子接线图　　（b）150～315kW 主回路端子接线图

图 7-30　WJR 节电型软启动器主回路端子接线图

（2）控制回路端子接线图

控制回路接线端子如图 7-31 所示，图中的 380V 指交流输入电源，端子功能说明见表 7-7。

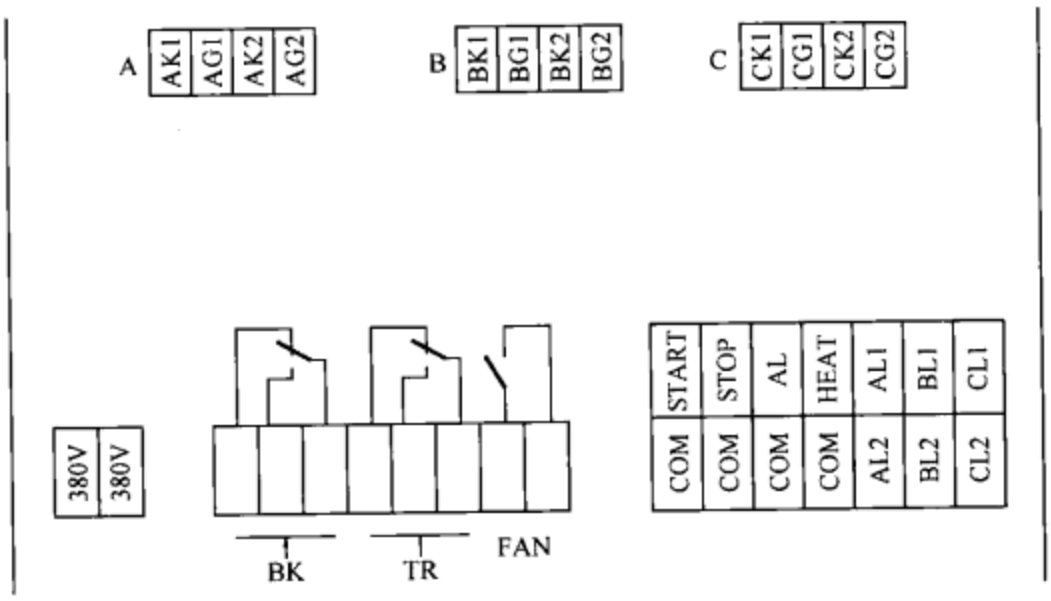


图 7-31　WJR 节电型软启动器控制回路接线端子图

表 7-7　　端子功能说明

端　子　号	功 能 说 明
AK1、AG1、AK2、AG2	A 相晶闸管触发
BK1、BG1、BK2、BG2	B 相晶闸管触发
CK1、CG1、CK2、CG2	C 相晶闸管触发
AL1、AL2	A 相互感器二次信号输入
BL1、BL2	B 相互感器二次信号输入
CL1、CL2	C 相互感器二次信号输入
AL	外部设备故障输入点（闭合时有效）
HEAT	温度开关 70℃（动合型闭合时有效）

续表

端　子　号	功　能　说　明
START、STOP	外接启动、停止按钮的接线端子，不用时将 STOP 与 COM 短接，否则面板启停控制无效。如同时运用面板启停和外接控制启停功能，应将 STOP 接停止按钮的动断触点，START 接启动按钮的动合触点
FAN	无源动合触点输出（AC 250V/5A），用于控制冷却风扇，按下启动按钮时动合触点闭合
BK	故障状态输出（AC 250V/5A），整机出现故障时继电器动作
TR	运行状态输出（AC 250V/5A），启动完成后继电器动作

2. WJR 旁路型软启动器

图 7-32 为 WJR 旁路型软启动器的主回路接线图，其端子排列方式与图 7-30 完全相同。在安装接线时，注意晶闸管出线端（接电动机一侧）不应有补偿电容。

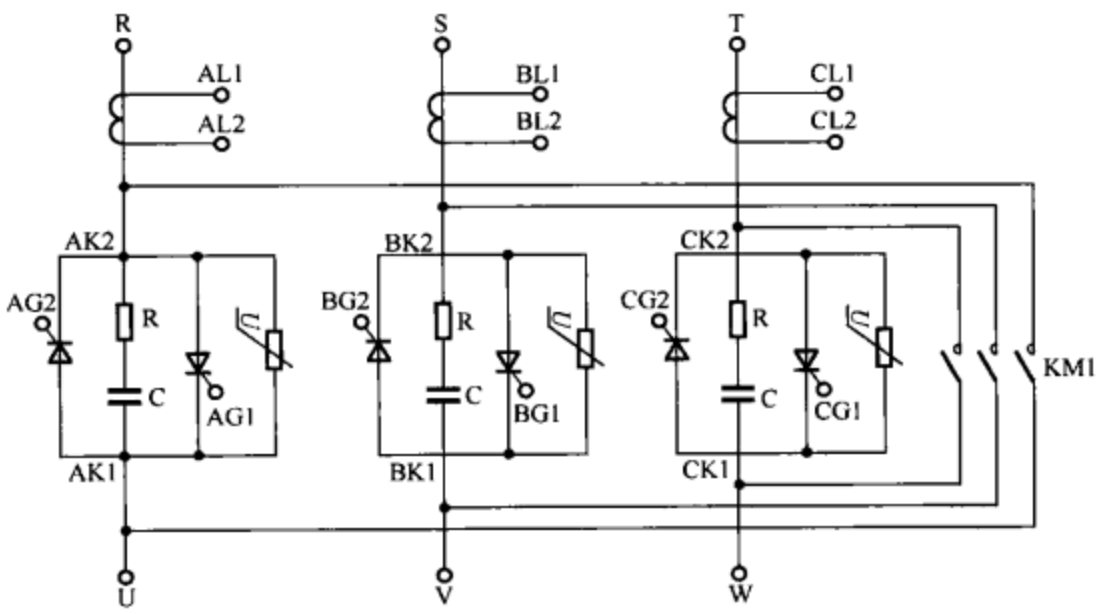


图 7-32　WJR 旁路型软启动器的主回路接线图

图 7-33 为 WJR 旁路型软启动器控制回路端子接线图。WJR 旁路型软启动器的参数调整是在控制板上进行的。电源线接好后，接通三相 380V 电源。如显示逆相，将断路器进线中的任意两相对调即可。电路板上的 PR1 是启动电流调节电位器，出厂时启动电流设定为 3 倍的额定工作电流，一般情况下不需要再调整。PR2、PR3、PR4 是电流校准电位器，出厂时已校准，无需再调整。

若启动时间过长是由于负载较重而引起的，可继续加大启动电流。方法为：顺时针旋转电位器 PR1 时增大启动电流，一般启动时间控制在 16s 以内，否则启动时间过长会使电动机发热，甚至烧毁。启动结束后运行继电器（RUN）吸合。

三线控制：按下启动按钮，电动机开始启动；按下停止按钮，电动机进入停车状态。

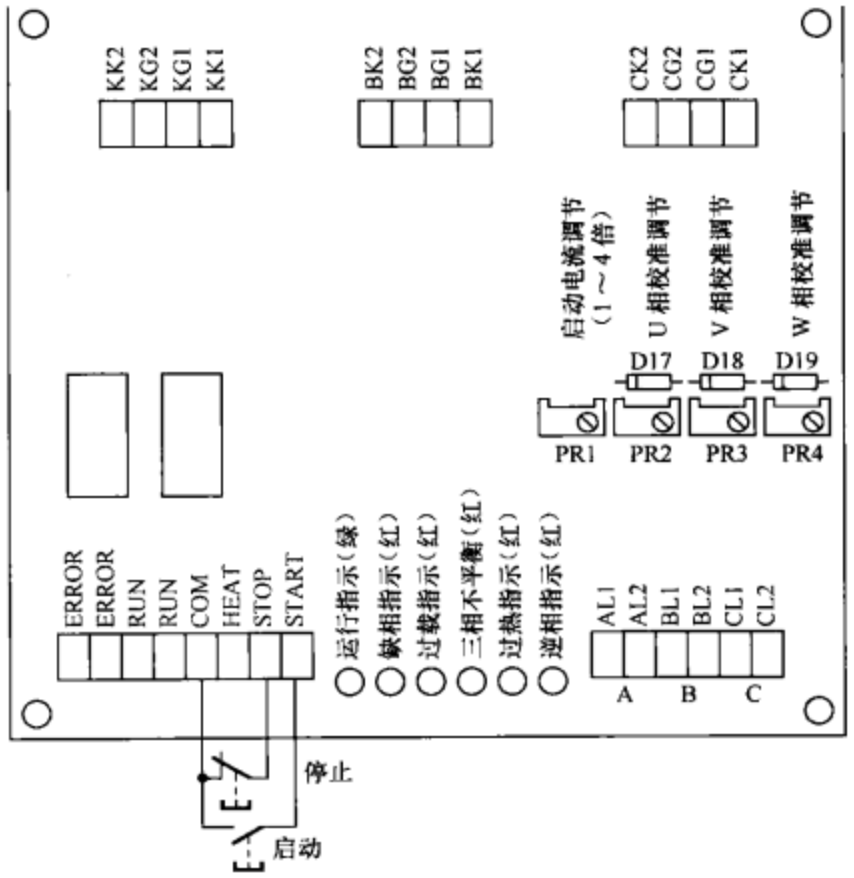
二线控制：停止按钮不接线，按下启动按钮，电动机开始启动；松开启动按钮，电动机进入停车状态。此方式可用于点动和继电器控制。

旁路运行：软启动过程完成后，运行继电器（RUN）吸合，控制旁路接触器动作，此时电动机由接触器供电。WJR 旁路型软启动器为自由停机，无软停车功能。

3. JJR5000 系列智能型电动机软启动器

图 7-34 为雷诺尔 JJR5000 系列智能型电动机软启动器标准接线图。该软启动器内置短路

保护和过载保护电路，RS-485 接口通信协议标准采用 Profibus/Modbus。



ERROR—故障时端子断开；RUN—启动完成时端子闭合；START、COM—启动按钮（动合）；STOP、COM—停止按钮（动断）

图 7-33　WJR 旁路型软启动器控制回路端子接线图

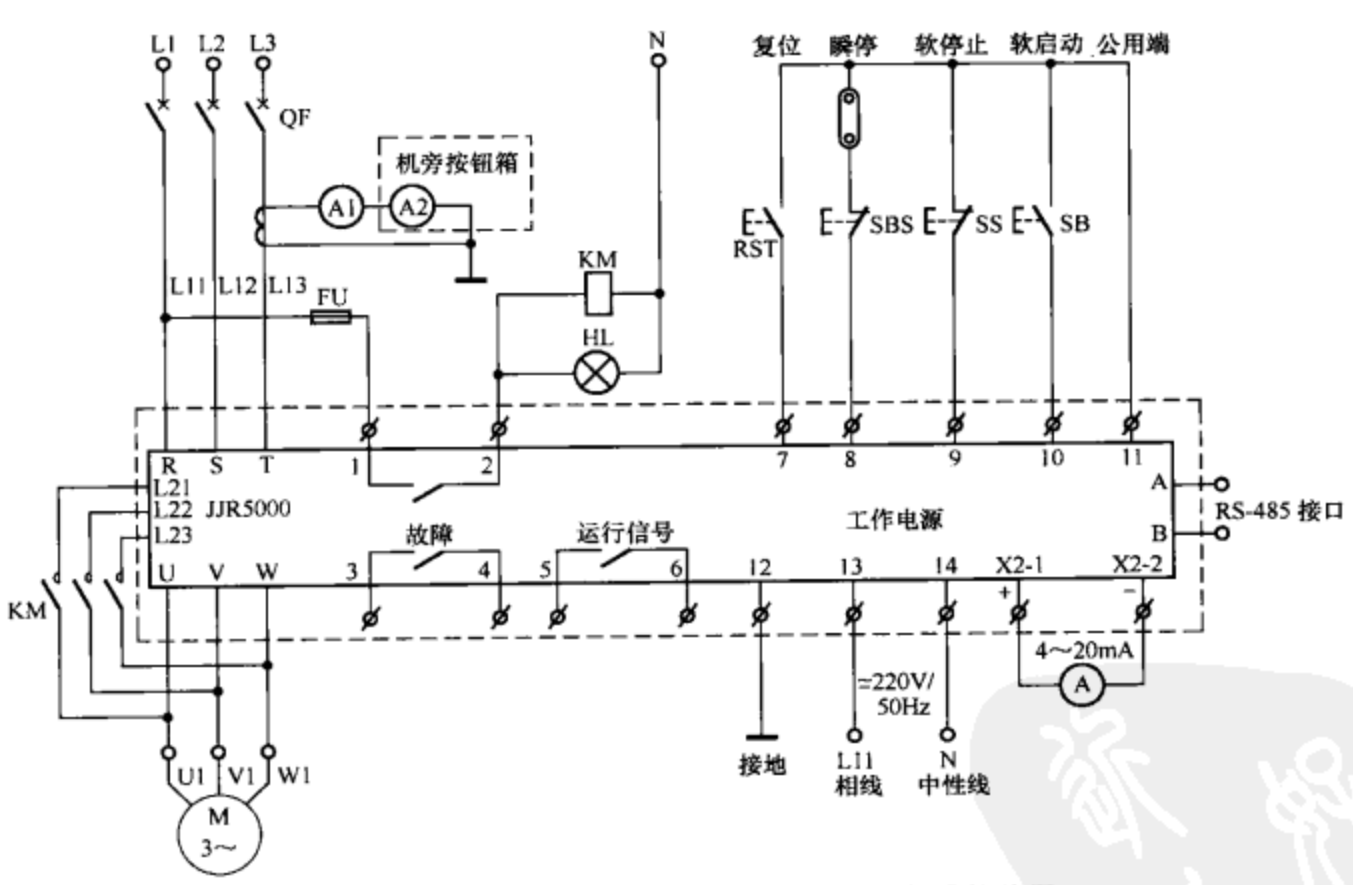


图 7-34　JJR5000 系列智能型电动机软启动器标准接线图

① 1 和 2 控制旁路接触器的触点是无源继电器输出点。

② 3 和 4 触点为故障继电器可编程触点。

③ 5 和 6 触点为连锁继电器可编程触点。

④ 7 触点接通为复位，8 触点断开为瞬停，9 触点断开为软停止，10 触点接通为软启动，

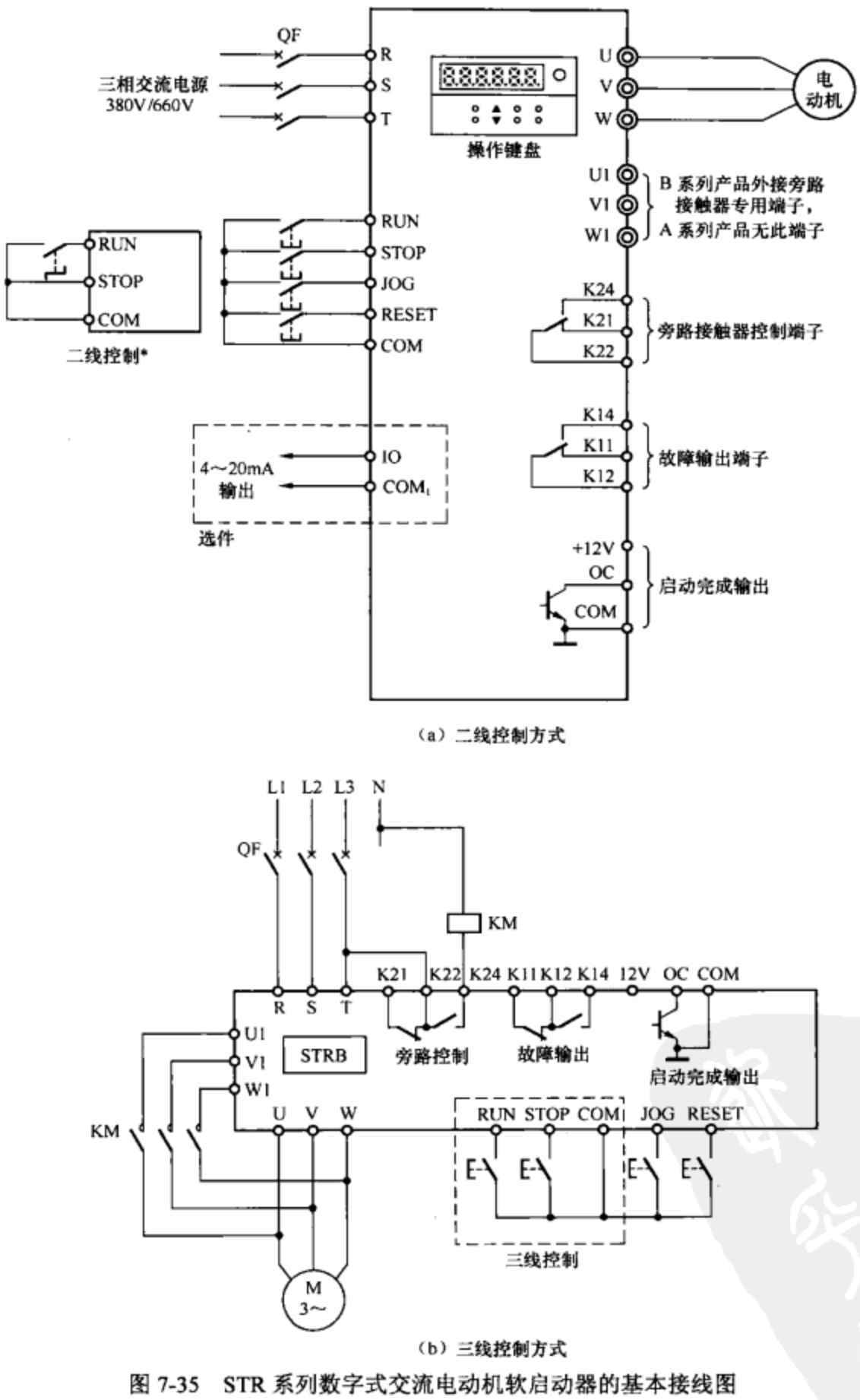
11 触点为公共端。

⑤ X2-1、X2-2 为 4～20mA 电流模拟信号输出端。

⑥ 12 为接地端子，13、14 接 AC 220V 电源。

4. STR 系列数字式交流电动机软启动器

图 7-35 为西安西普 STR 系列数字式交流电动机软启动器的基本接线图，图中给出了该启动器的全部外接线接口，外接线端子功能说明见表 7-8。



（a）二线控制方式

（b）三线控制方式

图 7-35　STR 系列数字式交流电动机软启动器的基本接线图

表 7-8　　STR 系列软启动器外接线端子功能说明

端子符号			端子名称		说明
主电路		R、S、T	交流电源输入端子		通过断路器（QF）接三相交流电源
		U、V、W	软启动器输出端子		接三相异步电动机
		U1、V1、W1	外接旁路接触器专用端子		—
控制电路	数字输入	RUN	外控启动端子		RUN 和 COM 短接即可实现外控启动
		STOP	外控停止端子		STOP 和 COM 短接即可实现外控停止
		JOG	外控点动端子		JOG 和 COM 短接即可实现点动
		RESET	外控复位端子		RESET 和 COM 短接即可实现故障复位
		COM	外部数字信号公用端子		内部电源参考点
	数字输出	+12V	内部电源端子		内部输出电源：DC 12V，100mA
		OC	启动完成端子		启动完成后 OC 门导通（DC 30V/100mA）
		COM	外部数字信号公用端子		内部电源参考点
	模拟输出	IO	4～20mA 输出，负载输入阻抗不大于 620Ω		—
		COM1	4～20mA 输出参考点		
	继电器输出	K14	动合	故障输出端子	故障时，K14～K12 闭合，K11～K12 断开。触点容量：AC，10A/250V；DC，10A/30V
		K11	动断		
		K12	公共		
		K24	动合	外接旁路接触器控制端子	启动完成后，K24-K22 闭合，K21-K22 断开。触点容量为 AC10A/250V 或 5A/380V
		K21	动断		
		K22	公共		

STR 系列数字式交流电动机软启动器共有 16 个外部控制端子，为用户实现外部信号控制、远程控制及系统控制提供方便。这 16 个端子安装在软启动器的主控板上。在软启动器外部有端子引出，可直接接线。在使用过程中，如用户采用本机键盘操作而不需远控或外部信号控制，则相应的端子不用接线，其接线排列顺序如图 7-36 所示。图中，RUN 为启动端子，STOP 为停止端子，JOG 为点动端子，在使用时应进行相应的参数设置。OC（启动完成输出）和 IO（4～20mA 输出）为有源输出端子。K14、K11、K12（故障输出）及 K24、K21、K22（旁路输出）均为无源输出端子。

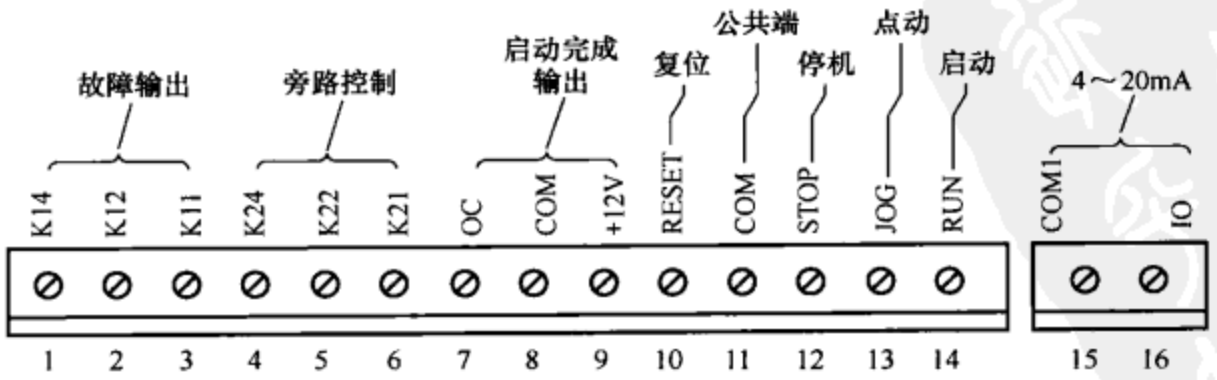


图 7-36　STR 系列数字式交流电动机软启动器控制接线端子图

5. STRA 系列电动机软启动器

STRA 系列电动机软启动器的特点是将软启动单元及旁路接触器同时装在一个壁挂式机壳内，当被控电动机启动完成后，自动将电动机通过旁路接触器投入电网运行，其主电路和R、S、T（接三相交流电源）和U、V、W（接三相交流电动机）6个接线端相接后即可使用。特别是当配电室空间小或在机旁操作时，挂在墙上通过操作键盘就可以控制电动机的启动、停止。STRA 系列软启动器还预留有外部启动、停止、故障复位等接口，可以方便地实现远程监控，其接线方法如图 7-37 所示。

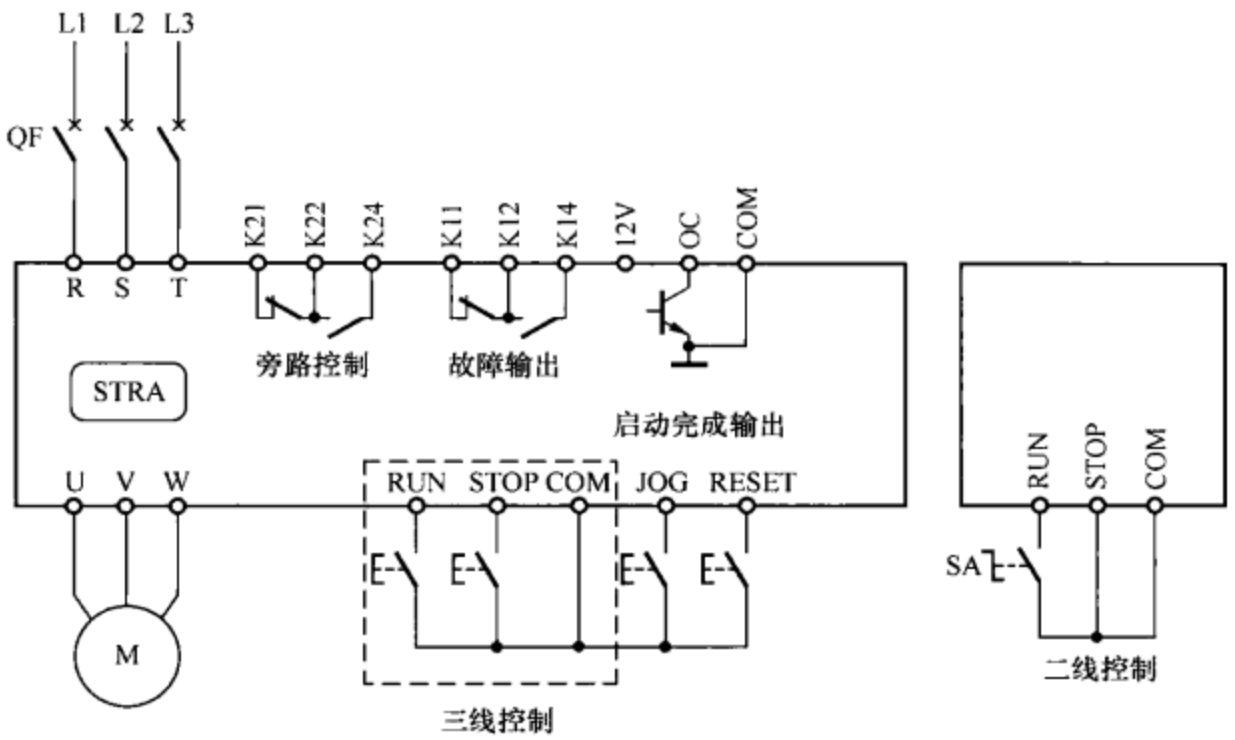


图 7-37 STRA 系列软启动器接线图

6. SEC18C 系列软启动器

SEC18C 系列电子式软启动器适用于多种电动机应用的场合，例如用三相异步电动机驱动的鼓风机、泵和压缩机的软启动和软停止；也可用它来控制带有变速机构、皮带或链带传动装置的设备，如传送带、磨床、刨床、锯床、包装机和冲压设备等。SEC18C 系列电子式软启动器由功率组件、控制模块和控制面板 3 部分组成，如图 7-38 所示。

功率组件：SEC18C 中有 3 组晶闸管模块，每组晶闸管模块由两个反并联的晶闸管组成。电网进线分别接到 3 组晶闸管模块的 L1、L2、L3 端上，电动机接至 3 组晶闸管模块的输出端 T1、T2、T3 上。

控制模块：控制模块采集电网和电动机的供电信号，并将信号送至中央处理单元（CPU），CPU 经过计算、判断后再将指令送至功率组件，控制晶闸管的导通与关闭，从而控制电动机电压，实现软启动和软停车。

控制面板：SEC18C 的控制面板由 4 个状态指示灯、4 个八段数码管和 4 个操作按键组成。全部的参数设置、修改和显示均在控制面板上完成。

SEC18C 有两种外接线端子，即主电路接线端子和控制电路接线端子。

主电路接线端子：L1、L2、L3 为电网输入端子，通过断路器、快速熔断器接电网；T1、T2、T3 为软启动器输出端子，接至三相交流电动机。

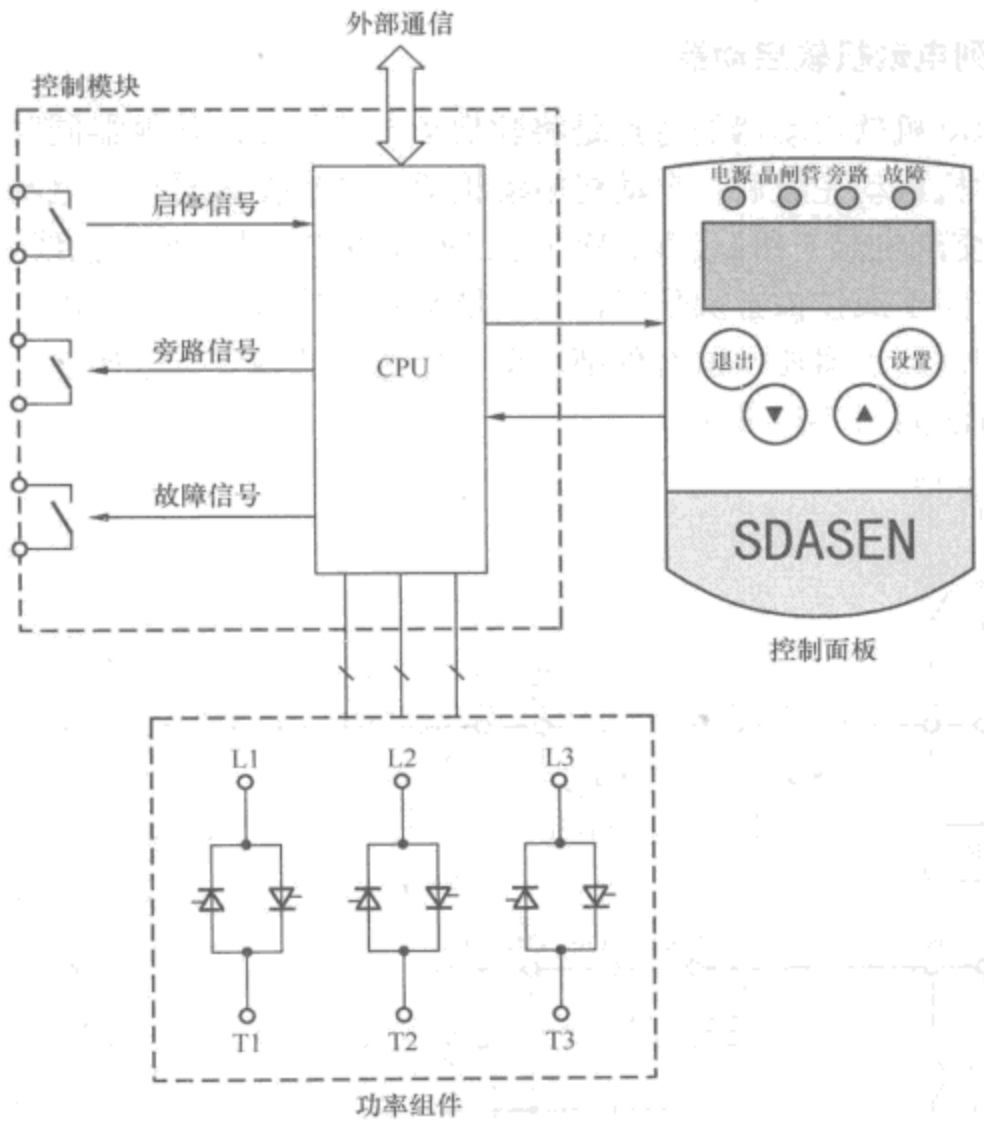


图 7-38　SEC18C 系列软启动器组成框图

控制电路接线端子：控制线路板上有 6 对接线端子，其功能见表 7-9。

表 7-9　　SEC18C 系列软启动器控制电路接线端子功能说明

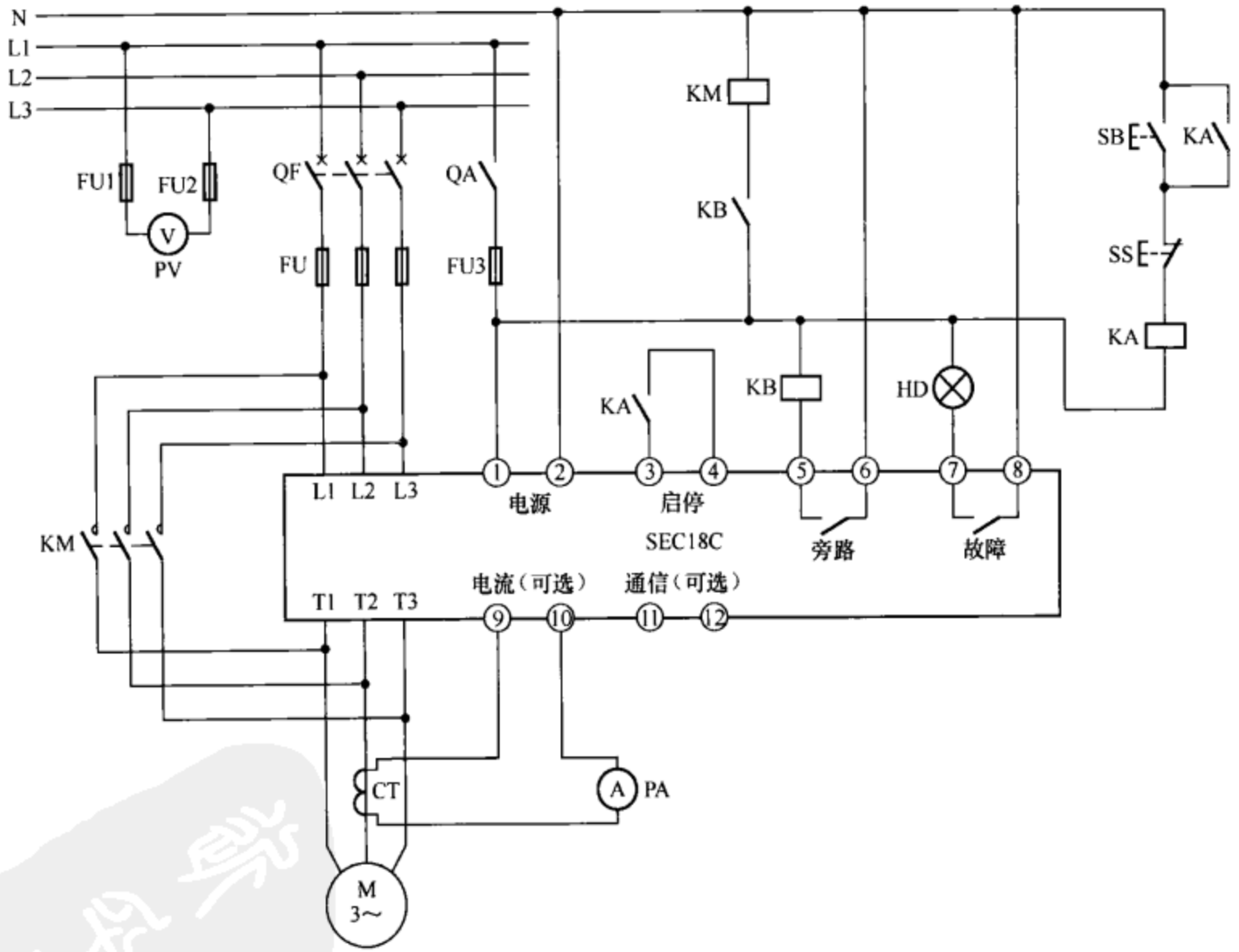
端子序号	端子名称	信号类型	功能说明
1、2	电源输入	AC 220V，5W	软启动器的控制电路电源
3、4	启动、停止输入	无源接点	控制软启动器的启动和停止
5、6	旁路输出	继电器动合触点 AC：230V/0.5A DC：24V/2A	软启动过程结束时，自动给出旁路信号，控制旁路接触器动作
7、8	故障输出	继电器动合触点 AC：230V/0.5A DC：24V/2A	发生过流、过载、缺相、过压、欠压、过热、超时等故障时，输出报警信号
9、10	电流输入	0～5A	可选外接电流互感器，旁路后监视电动机电流，提供对电动机的过载保护
11、12	通信双向	RS-485	可远程监控软启动器和电动机

图 7-39 为 SEC18C 软启动器的标准接线图。

注意：如果不选择安装外接电流互感器，则须安装热继电器用于电动机过载保护。

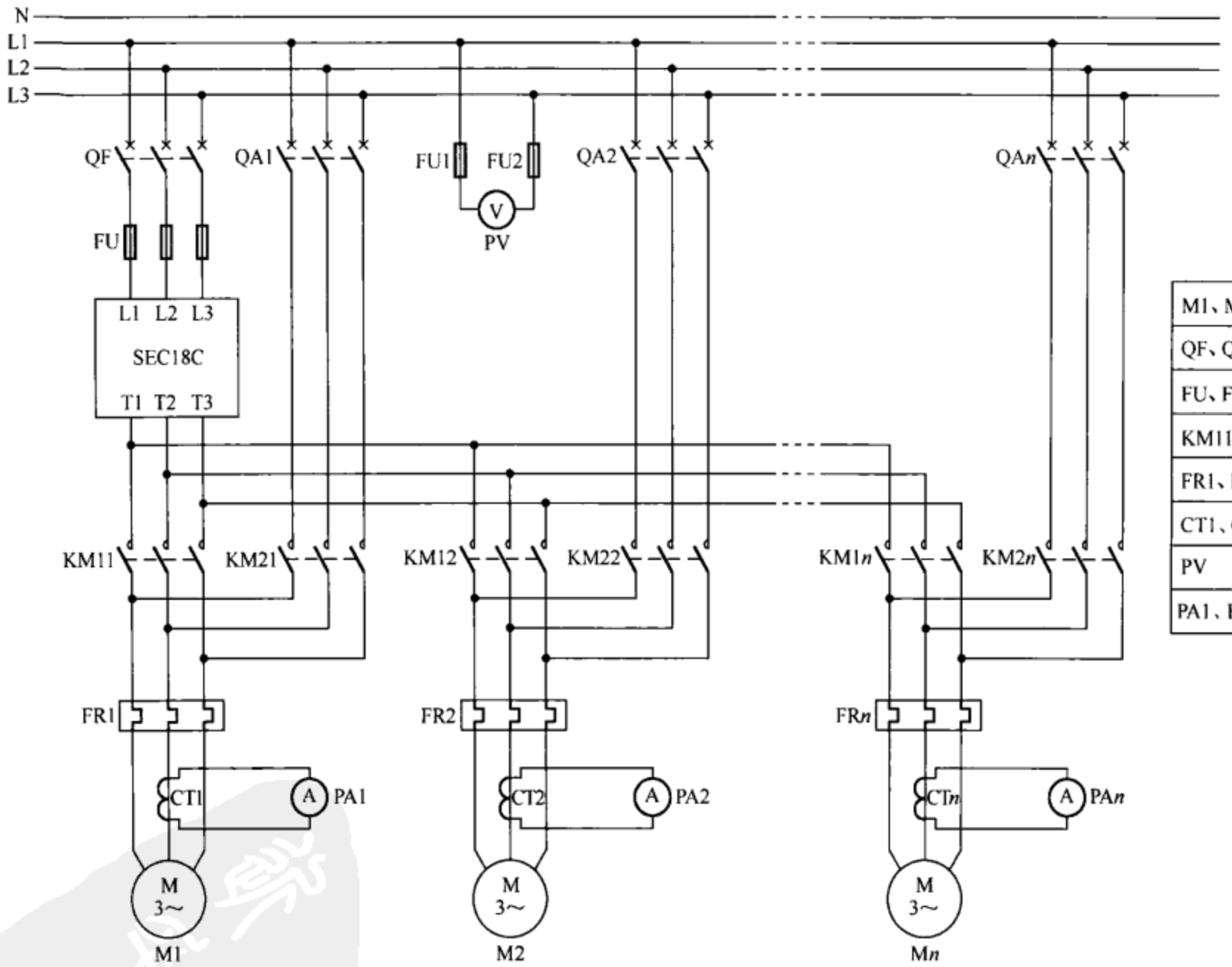
SEC18C 一拖多主回路和控制回路如图 7-40 所示。

软启动器在通过电流时将会产生热耗散，安装时应注意在其上下及左右留出一定空间，通常距设备上下部 100 mm、左右两侧 50 mm。一般来说，软启动器应垂直安装。



M	电动机
QF	断路器
QA	断路器
FU	快速熔断器
FU1	熔断器
FU2	熔断器
FU3	熔断器
KM	接触器
CT	电流互感器
PV	电压表
PA	电流表
KA	中间继电器
KB	中间继电器
SB	启动按钮
SS	停止按钮
HD	故障指示灯

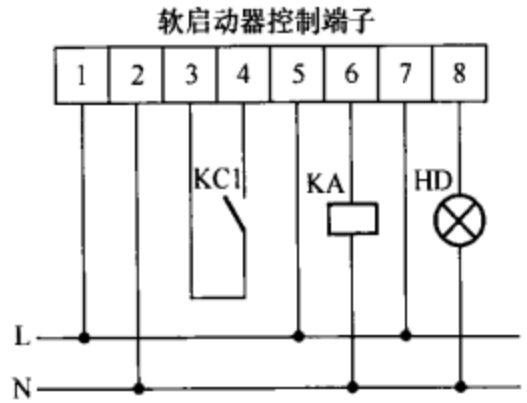
图 7-39　SEC18C 软启动器标准接线图

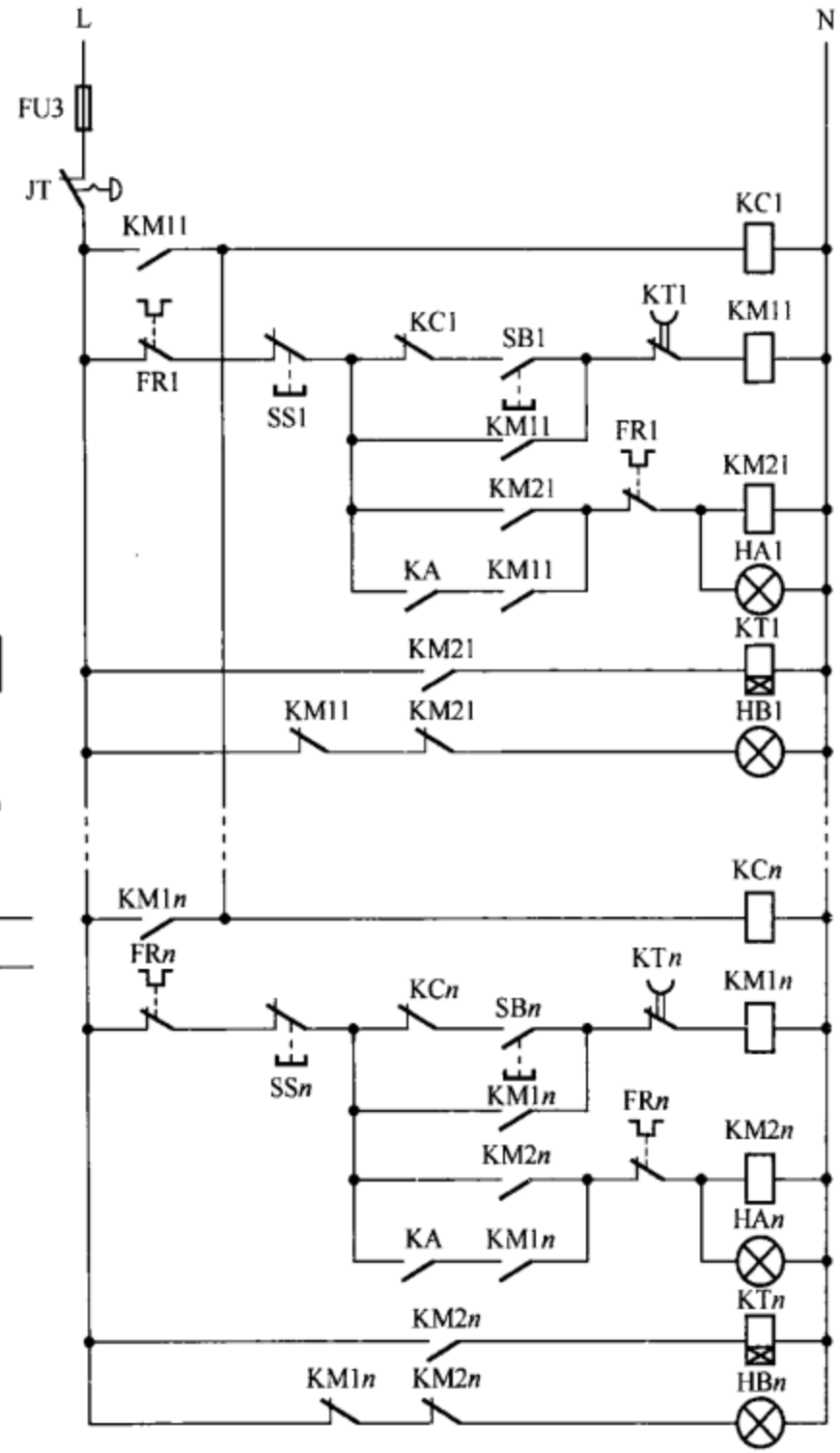


M1、M2……M*n*	电动机
QF、QA1、QA2……QA*n*	断路器
FU、FU1、FU2	快速熔断器
KM11、KM12……KM1*n*、KM2*n*	接触器
FR1、FR2……FR*n*	热保护继电器
CT1、CT2……CT*n*	电流互感器
PV	电压表
PA1、PA2……PA*n*	电流表

(a) 主回路图

图 7-40　SEC18C 一拖多主回路图和控制回路图





总急停
软启动器启动
电动机 1 启动、停止
电动机 1 运行（旁路）、停止
电动机 1 延时切换
电动机 1 停止指示灯

软启动器启动
电动机 *n* 启动、停止
电动机 *n* 运行（旁路）、停止
电动机 *n* 延时切换
电动机 *n* 停止指示灯

JT	急停按钮
FU3	熔断器
SB1	电动机 1 启动按钮
SB*n*	电动机 *n* 启动按钮
SS1	电动机 1 停止按钮
SS*n*	电动机 *n* 停止按钮
HA1	电动机 1 运行指示灯
HA*n*	电动机 *n* 运行指示灯
HB1	电动机 1 停止指示灯
HB*n*	电动机 *n* 停止指示灯
HD	软启动器故障指示灯
KM11	电动机 1 启动接触器
KM21	电动机 1 旁路接触器
KM1*n*	电动机 *n* 启动接触器
KM2*n*	电动机 *n* 旁路接触器
KC1 KC*n*	软启动器启动继电器（可以合并为一个）
KA	软启动器旁路继电器
KT1	电动机 1 时间继电器
KT*n*	电动机 *n* 时间继电器
FR1	电动机 1 热保护继电器
FR*n*	电动机 *n* 热保护继电器

（b）控制回路图

图 7-40　SEC18C 一拖多主回路图和控制回路图（续）

知识链接

软启动 MCC

MCC（Motor Control Center）即电动机控制中心。软启动 MCC 由以下几部分组成：输入端的断路器、软启动器（包括电子控制电路与三相晶闸管）、软启动器的旁路接触器、二次侧控制电路（完成手动启动、遥控启动、软启动及直接启动等功能的选择与运行，有电压、电流显示和故障、运行、工作状态等指示灯显示）。

7.3.4 识读软启动器应用电路图
——软启动器应用广，识图还得方法讲

软启动器是一种性能优良的新型启动装置，是交流异步电动机的首选产品，随着价格的不断下降，其应用范围会越来越广，从而逐步取代传统的启动器。

目前世界上有许多电气公司在生产智能型软启动器，比较著名的有：法国施耐德电气（Schneider Electric）公司生产的 Altistart(ATS)软启动器，最大功率达到 800kW；美国艾伦—布拉得利（Allen-Bradley, A-B）公司生产的 SMC 系列软启动器，最大功率达 1200kW；美国通用电气（GE）公司生产的 QC、ASTAT 系列软启动器，最大功率达 850kW，额定电压为 500V，额定电流为 1180A，最大启动电流为 5900A；意大利西威（SIEI）公司生产的 eST、dST 系列软启动器，额定电压为 690V，额定电流为 1600A；德国西门子（SIEMENS）公司生产的 3RW22 系列软启动器，额定电压为 690V，额定电流为 1200A。在上述产品中，ATS 产品实用可靠，体积小，结构紧凑，使用方便，为一般用户考虑选用；通用电气公司和西威公司产品力求功能全面；A-B 公司则把软启动器设计成许多派生品种，不同品种对应不同功能；西门子公司的产品介于通用电气公司与 A-B 公司产品之间。

1. CR1 系列电动机软启动器应用电路

CR1 系列电动机软启动器主要适用于鼠笼式电动机的启动、运行和停止的控制和保护。它采用了单片微型计算机控制技术，通过对电流和功率因数的检测和控制输出电压，减小启动电流。该装置具有软启动功能，能减小电动机的启动电流和启动转矩，减小启动时产生的力矩冲击。该装置具有软停车功能，能逐渐降低电动机终端电压，避免设备由于突然停车而造成的损坏。该装置具有保护功能，能够对过载、三相不平衡、断相、启动峰值过流、逆序、限流启动超时、散热器过热等故障进行保护。该启动器可对启动方式、软启动时间、软停车时间、启动基值电压、启动限流倍数、保护脱扣级别进行设定，如图 7-41 所示。

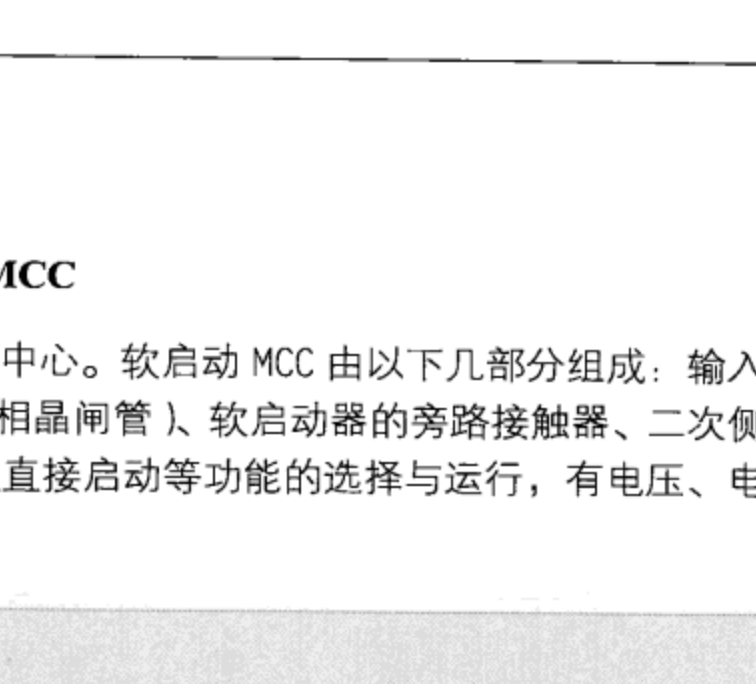


图 7-41　CR1 系列软启动器参数设定

（1）CR1 系列电动机软启动器正反转电路图

图 7-42 为 CR1 系列电动机软启动器正反转电路图，图中元器件名称及符号见表 7-10。

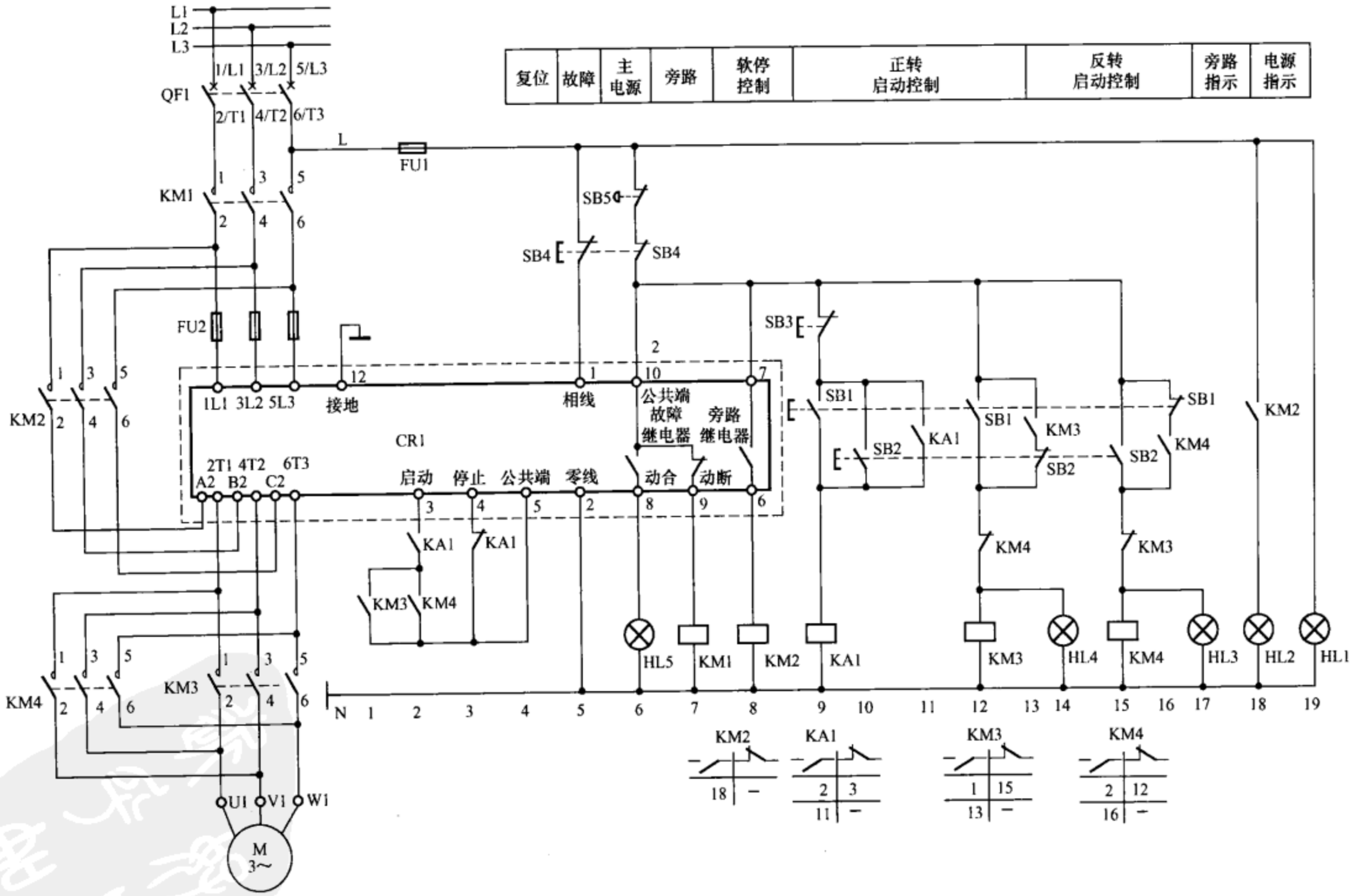


图 7-42　CR1 系列电动机软启动器正反转电路图

表 7-10　　元器件名称及符号

符　号	名　称	符　号	名　称	符　号	名　称
QF1	断路器	KA1	中间断电器	HL1	电源指示灯
FU2	快速熔断器	SB1	正转启动按钮	HL2	旁路运行指示灯
KM1	接触器	SB2	反转启动按钮	HL3	电动机反转指示灯
KM2	接触器	SB3	软停止按钮	HL4	电动机正转指示灯
KM3	接触器	SB4	控制电源复位按钮	HL5	故障指示灯
KM4	接触器	SB5	电动机急停按钮		

合上断路器 QF1，控制电路带电，电源指示灯 HL1 点亮，KM1 吸合。

① 正转启动控制时，按下按钮 SB1，中间继电器 KA1 及接触器 KM3 吸合，电动机正转启动，指示灯 HL4 点亮。启动器延时一段时间后，KM2 吸合，指示灯 HL2 点亮，电动机 M 进入正转全压运行状态。

② 反转启动控制时，按下按钮 SB2，KM3 线圈电源被切断，KM4 吸合，电动机反转启动，HL3 点亮，电动机 M 反转运行。KA1 吸合，确保 CR1 系列电动机软启动器内部程序正常，延时至启动时间结束时，旁路接触器吸合，HL2 点亮，电动机 M 进入反转全压运行状态。

③ 软停止控制时，按下按钮 SB3，KA1 失电，CR1 系列电动机软启动器进入软停止程序，M 逐渐减速至停车。软停止控制既适合反转运行操作，也适合正转运行。

④ 进行紧急停车控制时，按 SB5 即可实现。

复位按钮为 SB4。当 CR1 系列电动机软启动器发生故障自动停车后，应立即排除故障，再按一下 SB4 即可正常操作。HL5 为故障指示灯。

注意：由于软启动器没有反转控制功能，设备的正、反转仍由接触器 KM3、KM4 控制。为保证设备的软启动，可将软启动器的可编程标准硬件接点接入接触器控制回路。同时，在软启动器控制回路中也可引入接触器的辅助触点。操作中必须在电动机完全停转后再能进行相反方向的启动，否则极易造成损坏事故。为了杜绝 KM3、KM4 同时工作，在该电路中不仅 SB1、SB2 触点连锁，而且 KM4、KM3 触点互锁。

（2）CR1 系列电动机软启动器带进线和旁路接触器的接线图

图 7-43 为 CR1 系列电动机软启动器带进线和旁路接触器的接线图。

合上断路器 QF，HL1 点亮，表明电源接通。按动 SB1，KM1 闭合，软启动器工作，电动机 M 软启动，转速逐渐上升。当 M 的转速达到额定值时，KM2 自动闭合，将软启动器内部的主电路（晶闸管）短路，从而使晶闸管等不致长期工作而发热损坏。按动 SB2，使 KM2 关断，软启动器实现电动机 M 软停车（逐渐减速）。若电路或 M 发生故障，按动 SB3，电动机 M 则紧急停车。在事故停车时，HL3 点亮；M 运转时，HL2 点亮。

图 7-43 中点划线以外的电路由电工安装，各元器件名称和端子编号的含义见表 7-11。

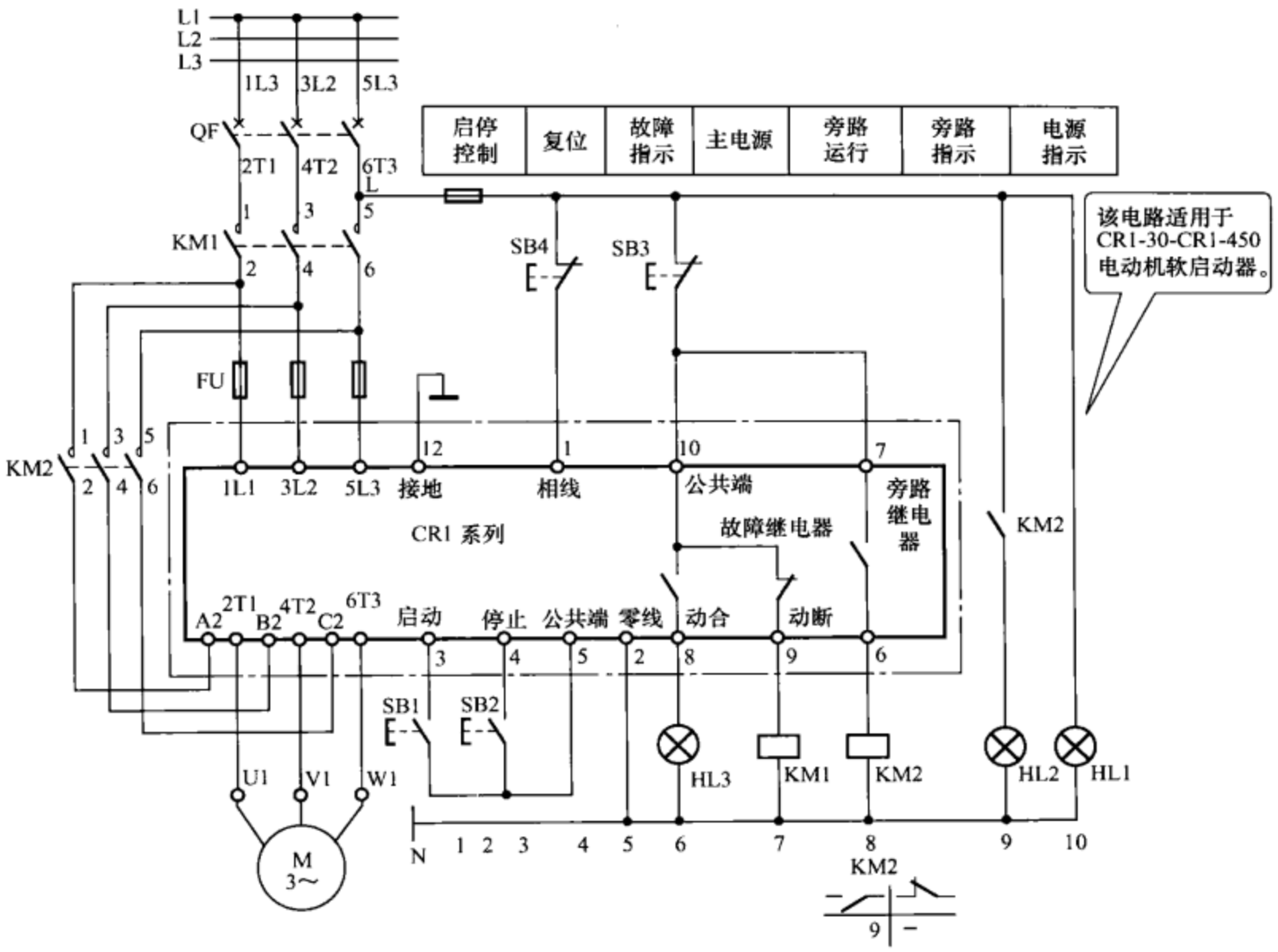


图 7-43 CR1 系列电动机软启动器带进线和旁路接触器的接线图

表 7-11 元器件名称和端子编号的含义

符　号	名　称	符　号	名　称
QF	断路器	SB1	启动按钮
FU	快速熔断器	SB2	软停止按钮
KM1	交流接触器	SB3	电动机急停按钮
KM2	旁路接触器	SB4	控制电源复位按钮
HL1	电源指示灯	HL2	旁路指示灯
HL3	故障指示灯		

2. Alt48 软启动器的应用电路

Alt48 软启动器可采用一拖二方案（如图 7-44 所示），即一台软启动器带两台水泵，两台水泵可以依次启动、停止。一拖二方案的主要特点是节约一台软启动器，减少了投资，充分体现了方案的经济性和实用性。

（1）启动过程

首先选择一台电动机在软启动器拖动下按所选定的启动方式逐渐提升输出电压，达到工

频电压后，旁路接触器接通。然后，软启动器从该回路中切除，去启动下一台电动机。

（2）停止过程

先启动软启动器与旁路接触器，它们并联运行，然后切除旁路，最后软启动器按所选定的停车方式逐渐降低输出电压直到停止。

（3）应用效果

一年的运行状况表明该装置的可靠性高，性能完善，能满足生产要求，主要体现在以下几点。

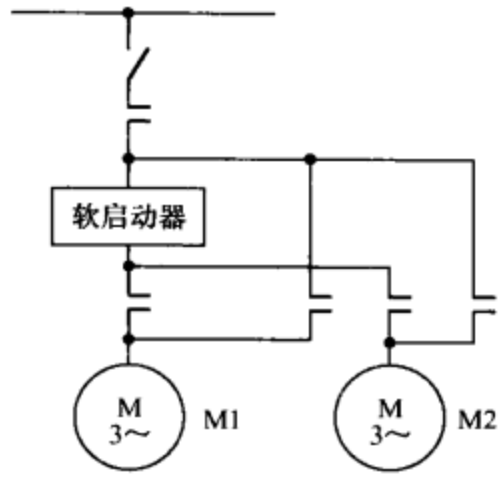


图 7-44　Alt48 软启动器一拖二方案

① 使用软启动器后，启动电流明显减小，减少了配电容量与增容投资。

② 软启动器可实现平稳启动，对水泵及管道无冲击，提高供电和供水可靠性。

③ 采用软停车方式减小对机械的冲击，防止水锤效应，延长水泵及相关设备的使用寿命。

④ 集多种启动模式及保护功能于一体，防止事故的发生。

3. AMDL 系列软启动器应用电路

AMDL 系列电动机软启动器用于保护三相交流电动机的电气原理如图 7-45 所示。在该电路中，软启动器的 1、2 号接线端子是工作电源接线端子。软启动器在电动机启动、运行工作过程中都能保护电动机。

软启动器的 7、8 号接线端子是保护继电器的输出接线端子，将软启动器的 7、8 号接线端子串在控制电路中，在电动机没有发生缺相、接地、堵转、过载、短路、三相电流不平衡故障时，软启动器保护继电器输出接点闭合，电动机可以正常启动、运行；在电动机发生缺相、接地、堵转、过载、短路、三相电流不平衡故障时，软启动器保护继电器输出接点断开，电动机由启动、运行状态变为停止状态。

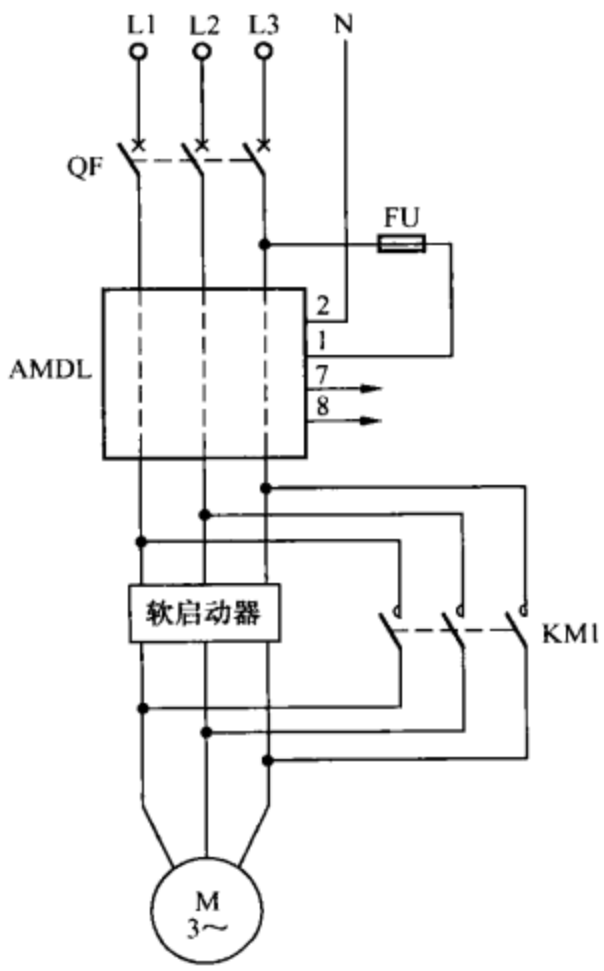


图 7-45　AMDL 软启动器控制电气原理图

由于各厂商生产的软启动器控制电路的接线方法不同，在图 7-45 所示的电路中没有给出具体的连接电路，但这并不影响软启动器在软启动控制系统中的应用。如果使用的软启动器在电动机启动时有保护功能，只在电动机运行时没有保护功能，就可以将软启动器的 7、8 号接线端子串接在 KM1 的控制电路中，在电动机发生缺相、接地、堵转、过载、短路、三相电流不平衡故障时，软启动器保护继电器的输出接点断开，KM1 失电，其触点断开，电动机由运行状态进入停止状态。如果使用的软启动器在电动机启动时也没有保护功能或保护功能不完备，就应将 7、8 号接线端子串

接在软启动器、KM1 的控制电路中，在电动机发生缺相、接地、堵转、过载、短路、三相电流不平衡故障时，软启动器保护继电器的输出接点断开，软启动器失电，KM1 也失电，其触点断开，电动机由启动、运行状态进入停止状态。

AMDL 电动机保护器的 7、8 号接线端子是保护继电器输出接点，接于能断开 KM1 及软启动器主电路的控制处。

AMDL 系列软启动器用于直接启动电动机时，主电路电源线的连接方法如图 7-46 所示。安装时，将电动机主电路的 A、B、C 三相电源线分别穿过软启动器的 A、B、C 三相电源线穿线孔即可。

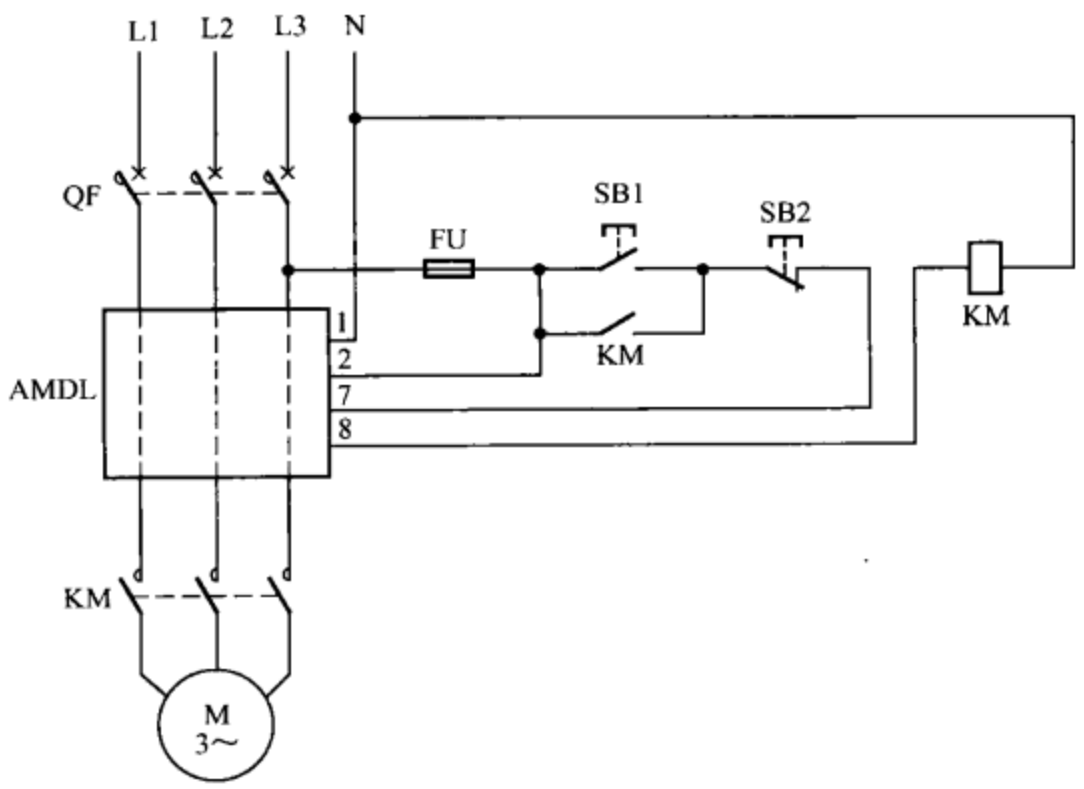


图 7-46　AMDL 系列软启动器主电路原理图

知识链接

使用变频调速器节电吗

变频调速器能否实现节电，是由其负载的调速特性决定的。对于离心风机、离心水泵这类负载，转矩与转速的平方成正比，功率与转速的立方成正比。只要原来采用阀门控制流量且不是满负荷工作，改为调速运行均能实现节电。当转速下降为原来的 80%时，功耗只有原来的 51.2%。可见，变频调速器用在这类负载中时，节电效果最为明显。

对于罗茨风机这类负载，转矩与转速的大小无关，即负载为恒转矩负载。若原来采用放风阀放走多余风量的方法调节风量，则改为调速运行时也能实现节电。当转速下降为原来的 80%时，功率为原来的 80%，比在离心风机、离心水泵中应用时的节电效果要小得多。对于恒功率负载，功率与转速的大小无关。对于水泥厂恒功率负载，如配料皮带秤，在设定流量一定的条件下，当料层较厚时，皮带运行速度减慢；当料层较薄时，皮带运行速度加快。变频调速器在这类负载中的应用不能节电。

行业动向

电工行业在重点项目中表现不凡

电工行业汇聚了发电、输电、变电、配电、用电设备及电工器材制造等一系列重要产业，是装备制造业的重要支柱产业之一，多年来保持了良好的发展势头并对促进机械行业发展起到了积极的作用。

近年来在我国重大工程项目中，电工行业都发挥了重要的作用，尤其是面对四川汶川特大地震灾害，行业骨干企业东汽公司克服巨大伤痛，迅速从废墟中站立起来，仅用了短短几个月时间就使在地震中遭受严重破坏的风力发电设备的生产能力达到了震前水平。

同时，在2008年我国南方严重的雨雪冰冻灾害中，十几个省市的输变电线路塔架倾倒、毁损严重，为配合对毁损设施的紧急抢修，电工生产企业员工用最快的速度加班加点提供了高质量的产品，为毁损线路的迅速恢复做出了贡献。

在奥运场馆的建设中，不少企业为场馆配电设施提供了重要设备和器材。这些设备器材在奥运会举办过程中经受了考验，表现出优越的性能和稳定可靠的质量水平，保障了奥运会的成功举办。

电工行业对我国航天事业的贡献同样值得称颂。神州七号载人航天飞船上天及宇航员太空行走的成功令全国人民振奋，让世界惊叹。而航天工程中的很多技术装备都是由国内电工生产企业提供的，其中包括地面设施、测控系统、运载火箭以及航天器上的电气装置和器材等。

特别令人鼓舞的是，电工行业研发的具有高技术含量的世界级新产品不断涌现。以输变电设备为例，我国已经成功掌握750kV交流特高压、±500kV超高压直流输变电设计技术及其部分关键设备制造技术，1000kV交流、±800kV直流特高压输变电设计制造技术取得突破，世界首条1000kV交流和±800kV直流特高压输变电线路已经投入运行。

参考文献

[1] 杨清德．零起步巧学电工识图．北京：中国电力出版社，2009.
[2] 杨清德．图解电工技能．北京：电子工业出版社，2007.
[3] 李保宏．电工常用电路解易通．北京：人民邮电出版社，2005.
[4] 谭胜富．电气工人识图 100 例．北京：化学工业出版社，2007.
[5] 巫莉．电气控制与 PLC 应用．北京：中国电力出版社，2008.
[6] 任致程．实用软启动器图集．北京：中国电力出版社，2008.
[7] 任致程．实用变频器图集．北京：中国电力出版社，2008.
[8] 张华龙．图解 PLC 与电气控制入门．北京：人民邮电出版社，2008.
[9] 王俊峰．精讲电气工程制图与识图．北京：机械工业出版社，2008.
[10] 袁吉祥，王艳春．电工识图速成与技法．南京：江苏科学技术出版社，2007.
[11] 许顺隆，陈虹宇．北京：中国电力出版社，2008.
[12] 徐第，孙俊英．怎样识读建筑电气工程图．北京：金盾出版社，2005.

[General Information]
书名=轻轻松松学电工　　识图篇
作者=杨清德主编
页码=305
ISBN=305
SS号=12493360
dxNumber=000006834097
出版时间=2010.01
出版社=该引擎未能查询到
定价：35.00
试读地址=http://book.szdnet.org.cn/bookDetail.jsp?dxNumber=000006834097&d=35A1324A11E2C01BD36B3CAE210158 4A&fenlei=1815&sw=%C7%E1%C7%E1%CB%C9%CB%C9
全文地址=http://img5.5read.com/image/ss2jpg.dll?did=n24&pid=96F70E8B6E39F89E90DD72FB377AC94 7515A406173 9C3E8CEBCA287C3BD71D86E5E2A6CB53 81F29742303 4AB61400E615D0B5DB88472DEDE669E7 AAB26648CB17C7462D17B344A89A31FA9583EB8E4DF 94E45B4C656B4F8FFE93321A3107675EF674C6B1E2A 7D77C8AAE34968FF92A1B407A&jid=/