

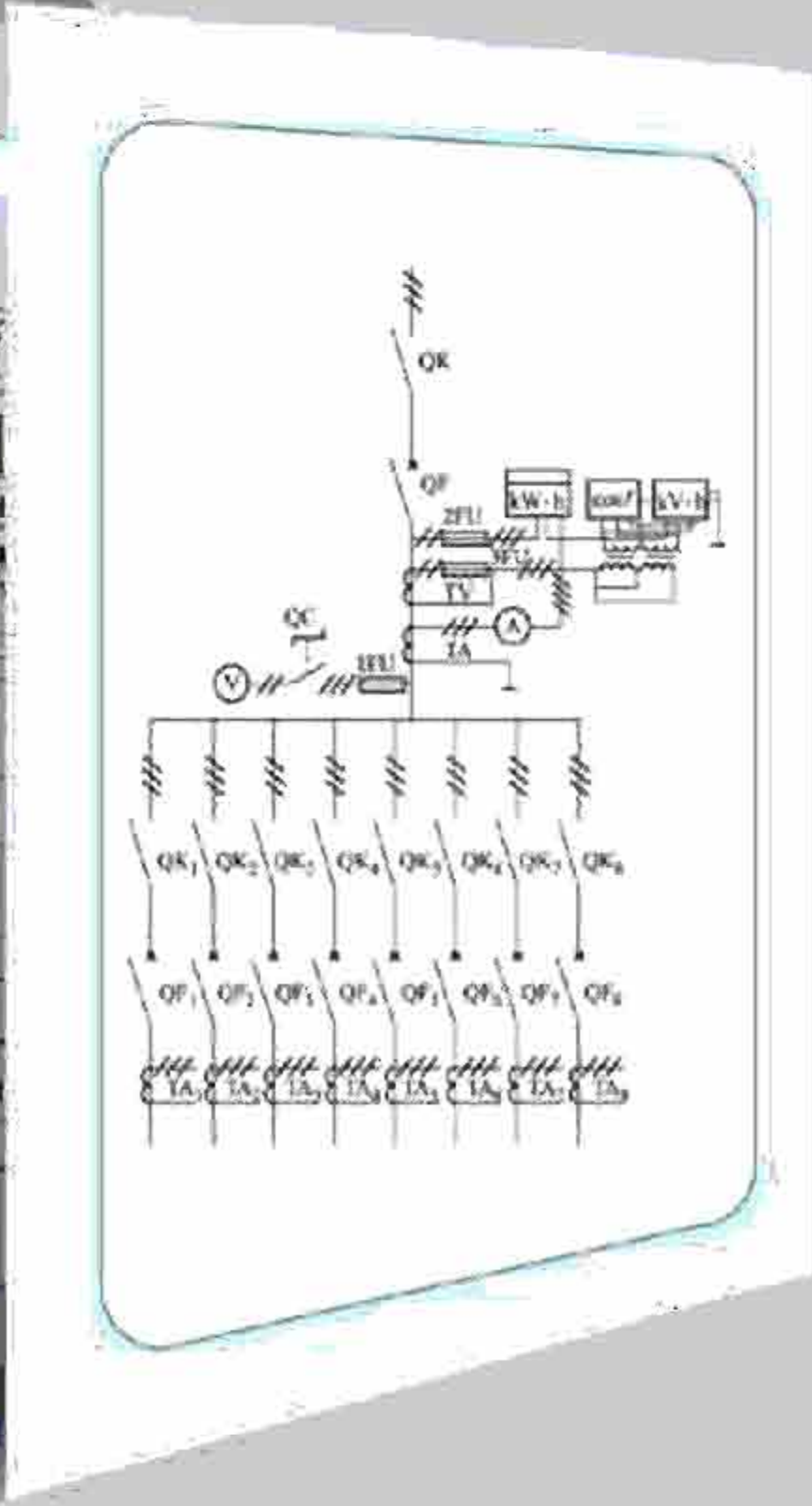
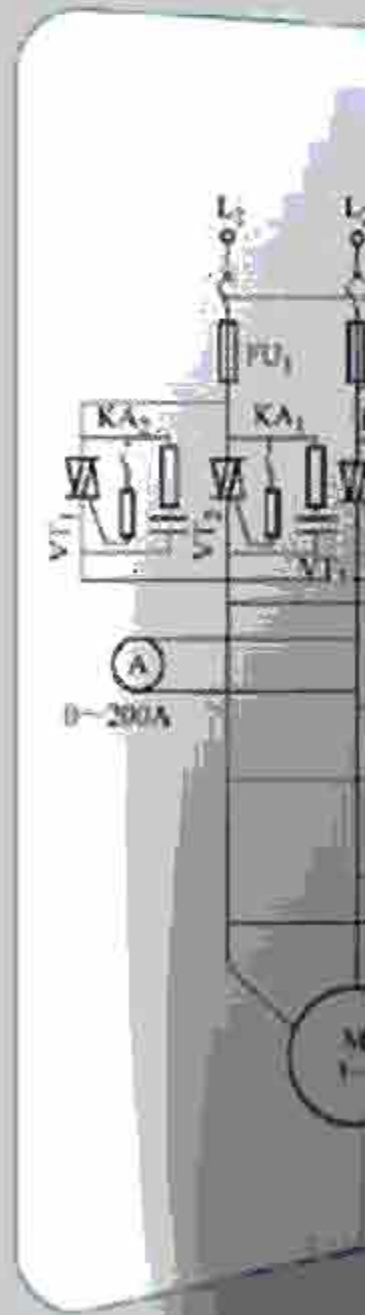
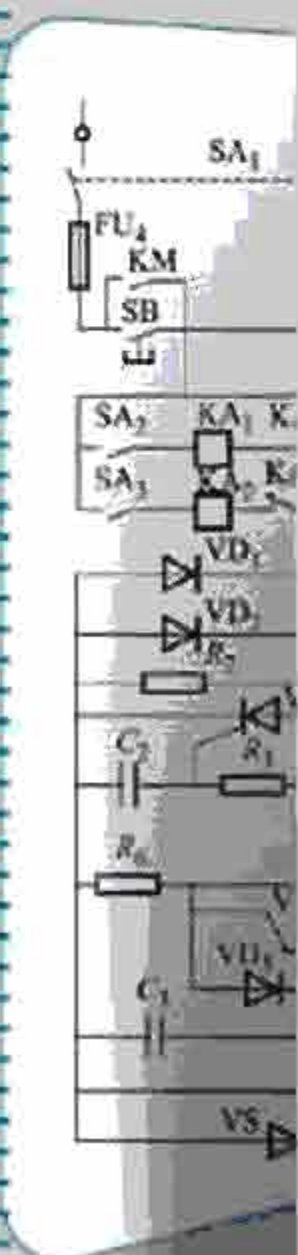
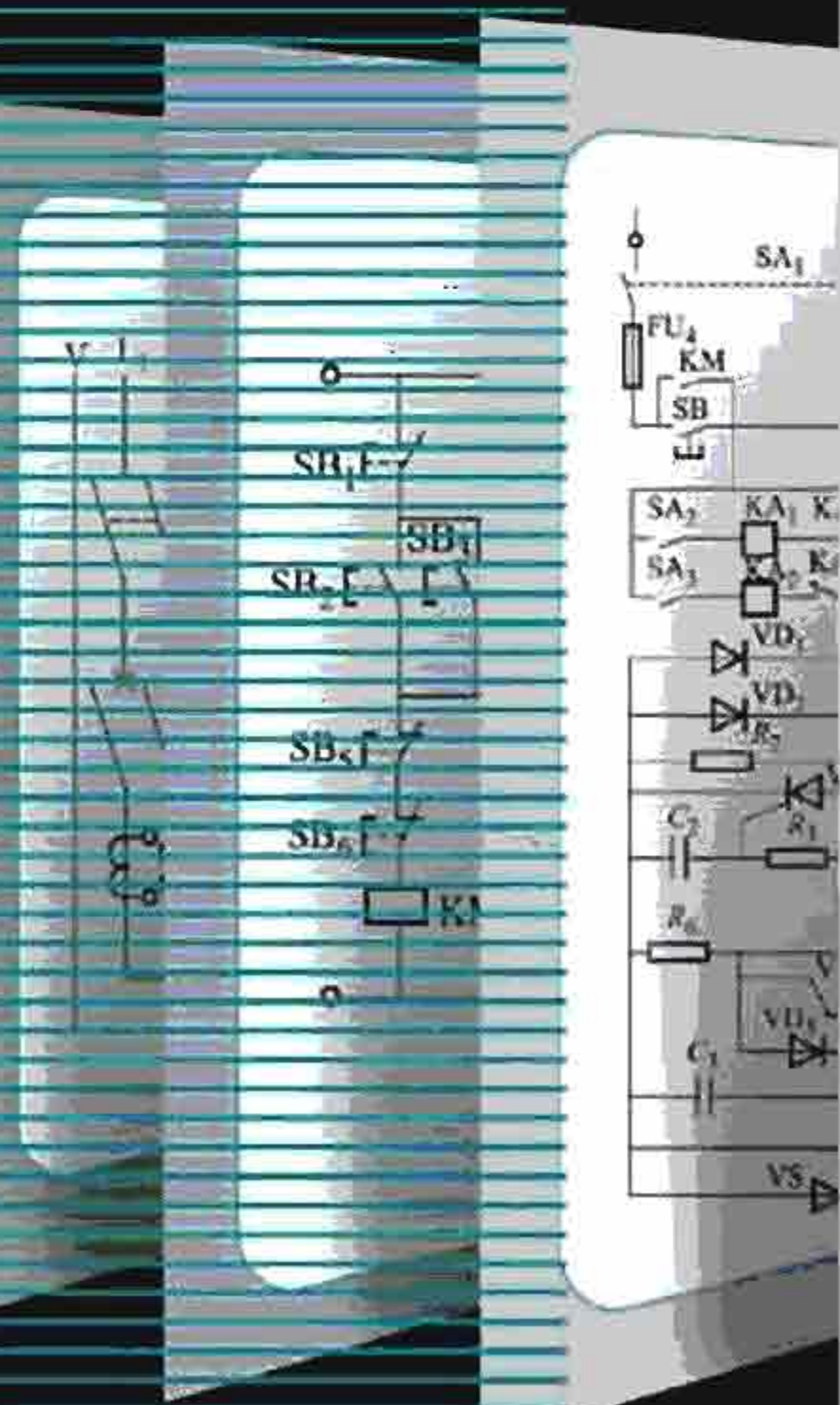
KRANTU XUENI ZHIYEPIN

看图学艺

职业篇

# 电工识图

宋昌才 主编



化学工业出版社

看图学艺·职业篇

# 电 工 识 图

宋昌才

主 编

刘玉华 朱 莉 陈 山 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书内容包括电工识图基本知识, 电气原理图识图方法, 电路接线图识读, 常用电工测量仪表及其接线线路, 普通低压配电屏接线线路, 常用电气控制电路图识读, 供电系统电气图识读, 常用典型电路图识图示例。

本书可供企业电工培训、学习使用, 也可供相关院校教学参考。



## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工识图/宋昌才主编. —北京: 化学工业出版社,  
2010. 1  
(看图学艺·职业篇)  
ISBN 978-7-122-06831-6

I. 电… II. 宋… III. 电路图-识图法 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 184102 号

---

责任编辑: 李玉晖

文字编辑: 王 洋

责任校对: 李 林

装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

720mm × 1000mm 1/16 印张 15 字数 300 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

随着我国工业及农业的迅速发展，各种电气设备日益增加。对一名电工而言，特别是初次从事电工作业的人员，不可避免地要接触到各种各样的电气设备线路图。目前，电气线路越来越复杂，技术含量也越来越高，如果电工看不懂电气线路图，在实际工作中将无从下手。因此，能看懂电气线路图是电工必备的基础知识。鉴于此，编写《电工识图》奉献给广大读者，以便迅速提高广大电气技术人员和电气工人的技术水平，更好地服务社会。

本书主要介绍电工识图基本知识，电气原理图识图方法，怎样看电路接线图，常用电工测量仪表及其接线线路，普通低压配电屏接线线路简介，常用电气控制电路图识读，供电系统电气图识读，常用典型电路图识图示例。在编写过程中，强调突出实用、涉及面广的特点，尽可能多地介绍工作中可能遇到的各种类型图。

本书由江苏大学工业中心宋昌才主编，江苏大学电气学院刘玉华、朱莉、陈山担任副主编；南通农业职业技术学院机电工程系刘志刚、金美琴、沈晶晶参加了部分章节的编写，江苏大学李长生博士生导师、李金伴教授主审。

本书在编写过程中参阅了相关书籍，在此向有关作者表示衷心的感谢。

书中不足之处在所难免，敬请专家和读者指正。

编 者

2009年8月

# 目 录

<b>第1章 电工识图基本知识</b> .....	1
1.1 电气图的基本构成 .....	1
1.2 电气符号 .....	3
1.3 电气图的分类 .....	16
1.4 电气图的表示方法 .....	19
1.5 电气识图的基本要求和基本步骤 .....	31
1.6 电气制图国家标准的一般规定 .....	34
<b>第2章 电气原理图识图方法</b> .....	38
2.1 电气原理图中的主电路和辅助电路 .....	38
2.2 看电路原理图的步骤和方法 .....	38
2.3 电路中的基本保护环节、自锁环节、互锁环节 .....	41
2.4 常用电动机控制电路的识图 .....	44
<b>第3章 怎样看电路接线图</b> .....	60
3.1 看电路接线图常识 .....	60
3.2 看电路接线图的方法和步骤 .....	63
3.3 识电路接线图实例 .....	64
3.4 怎样看控制器的展开图 .....	87
3.5 怎样看转换开关和主令控制器展开图 .....	95
3.6 实际电路接线方法 .....	105
<b>第4章 常用电工测量仪表及其接线线路</b> .....	108
4.1 电压表和电流表的使用方法和接线方法 .....	108
4.2 电度表的接线方法 .....	112
4.3 电流表、电压表、电度表联合接线线路 .....	121
4.4 万用表的内部接线及使用方法 .....	125
<b>第5章 普通低压配电屏接线线路简介</b> .....	127
5.1 普通小型低压配电屏接线线路 .....	127
5.2 普通中型低压配电屏接线线路 .....	130
5.3 普通大型低压配电屏接线线路 .....	135
5.4 信号电路图 .....	140

<b>第6章 常用电气控制电路图识读</b> .....	142
6.1 工厂常用电气控制电路 .....	142
6.2 电气控制电路图中基本环节的识读 .....	146
6.3 常用机床控制电路 .....	158
<b>第7章 供电系统电气图识读</b> .....	180
7.1 高低压供配电系统概述 .....	180
7.2 供电系统主接线图 .....	185
7.3 供电系统二次电气图 .....	197
<b>第8章 常用典型电路图识图示例</b> .....	212
8.1 电动机控制电路图识读示例 .....	212
8.2 电气设备电路图识读示例 .....	218
8.3 电子电路识图示例 .....	222
8.4 PLC 梯形图识读示例 .....	227
<b>参考文献</b> .....	232



# 第1章 电工识图基本知识

在实际工作中，读懂电路图并不是很难，只要掌握识图的基本方法和基本知识，熟记电路图中各电气符号所代表的电气设备与元器件，并对实际控制元件的动作原理和结构进行了解，读懂电路图还是比较容易的。为此，本章先介绍电气图的基本构成、电气符号、电气图的分类、电气图的表示方法、电气识图的基本要求和基本步骤、电气制图国家标准的一般规定等方面的知识。

## 1.1 电气图的基本构成

### 1.1.1 电气图的组成

电气图一般由电路接线图、技术说明、主要电气设备（或元件）明细表和标题栏四部分组成。

#### 1.1.1.1 电路及电路图

##### (1) 电路

由电源、负载、控制元件和连接导线组成的能实现预定功能的闭合回路称为电路。电路通常分为两类：主电路和副电路（又称一次回路和二次回路）。主电路是电源向负载输送电能的电路，即发、输、变、配、用电能的电路，它通常包括发电机、电力变压器、各种开关、互感器、接触器、母线、导线及电力电缆、熔断器、负载（如电动机、照明及电热设备）等。副电路是为保证主电路安全、正常、经济合理运行而装置的控制、保护、测量、监察、指示电路，它一般包括控制开关、继电器、脱扣器、测量仪表、指示灯、音响灯光信号设备等。

主、副电路中的电气设备分别称为一次设备和二次设备。电流互感器 TA 和电压互感器 TV 的一次侧装接在主电路，二次侧接继电器和测量仪表，因此，它们属于一次设备，但在主、副电路图中应分别画出一、二次侧接线。熔断器 FU 在主、副电路中都有应用，按其所装设的电路不同，分别归属于一、二次设备。避雷器 F 虽然是保护（防雷）设备，但由于并联在电路中，因此它属于一次设备。

##### (2) 电路图

用国家统一规定的电气图形符号和文字符号表示电路中电气设备（或元器件）相互连接顺序的图形称为电路图。

关于电路图的概念将在本章 1.4 节中详细阐述。

### 1.1.1.2 技术说明

技术说明或技术要求，用以注明电路接线图中有关要点、安装要求及未尽事项等。其书写位置通常是：主电路（一次回路）图中，在图面的右下方，标题栏的上方；副电路（二次回路）图中，在图面的右上方。

### 1.1.1.3 主要电气设备（或元件）明细表

主要电气设备（或元件）明细表用以注明电路接线图中电路主要电气设备（或元件）的代号、名称、型号、规格、数量和说明等，它不仅便于识图，而且是订货、安装时的重要依据。

明细表的书写位置通常是：主电路图中，在图面的右上方，由上而下逐项列出；副电路图中，在图面的右下方，标题栏之上，自下而上逐项列出。

### 1.1.1.4 标题栏

标题栏在图面的右下角，标注电气工程名称、设计类别、设计单位、图名、图号、比例、尺寸单位及设计人、制图人、描图人、审核人、批准人的签名和日期等。

标题栏是电气图的重要技术档案，各栏目中的签名人对图中的技术内容承担相应责任。识图时首先应看标题栏。

此外，有些涉及相关专业的电气图样，紧接在标题栏左侧或图框线以外的左上方，列有会签表，由相关专业（如电气、土建、管道等）技术人员会审认可后签名，以便互相统一协调、明确分工及责任。

## 1.1.2 电气图的主要特点

电气图与机械图、建筑图、地形图或其他专业的技术图相比，具有一些明显不同的特点。

① 简图是电气图的主要表达形式。如上所述，电气图的种类是很多的，但除了必须标明实物形状、位置、安装尺寸的图（如电气设备布置平面图、立面图等）外，大量的图都是简图，即仅表示电路中各设备、装置、元器件等的功能及连接关系的图。简图具有以下特点。

a. 各组成部分或元器件用电气图形符号表示，而不具体表示其外形、结构及尺寸等特征。

b. 在相应的电气图形符号旁标注文字符号、数字编号（有时还要标注型号、规格等）。

c. 按功能和电流流向表示各装置、设备及元器件的相互位置和连接顺序。

d. 没有投影关系，不标注尺寸。

应当指出的是，“简图”是一种术语，而不是简化图、简略图的意思。之所以称为简图，是为了与其他专业技术图的种类、画法加以区别。

② 元件和连接线是电气图的主要表达内容。如前所述，电路通常是由电源、负载、控制元件和连接导线四部分组成的。如把各电源设备、负载设备和控制设备



都看成元件，则各种电气元件和连接线就构成了电路，这样，在用来表达各种电路的电气图中，元件和连接线就成为主要表达内容了。

③ 图形符号、文字符号是组成电气图的主要要素。电气图中大量用简图表示。而简图主要是用国家统一规定的电气图形符号和文字符号绘制出来的，因此，电气图形符号和文字符号大大简化了绘图，它是电气图的主要组成成分和表达要素。

图形符号、文字符号与项目代号、数字编号以及必要的文字说明相结合，不仅构成了详细的电气图，而且对读图时区别各组成部分的名称、功能、状态、特征、对应关系和安装位置等大有用途。

④ 电气图中的元件都是按正常状态绘制的。所谓“正常状态”或“正常位置”，即电气元件、器件和设备的可动部分表示为非激励（未通电、未受外力作用）或不工作的状态或位置，例如：继电器和接触器的线圈未通电时触头所在的未动作的位置；断路器、负荷开关、隔离开关、刀开关等的断开位置；带零位的手动控制开关的操作手柄的零位；行程开关的非工作状态或位置；事故、备用、报警等开关在设备、电路中正常使用或正常工作的位置。

对于发、输、变、配、供电系统的电气图，应按照实际设计，把备用的电源、线路、变压器以及与之配套的开关设备等都一一表达出来。

⑤ 电气图往往与主体工程及其他配套工程的图有密切关联。电气工程通常同主体工程（土建工程）及其他配套工程（如机械设备安装工程、给排水管道、采暖通风管道、广播通信线路、道路交通、蒸气及煤气管道等）配合进行，电气装置及设备的布局、走向、安装等必然与此密切相关。因此，电气图，尤其是电气位置图（布置图），与土建工程图、管道工程图等不可分割的联系。电气图不仅要根据有关土建、机械、管道图，按要求及尺寸来布置，而且要符合国家有关设计规程和规范要求（如安全、防爆、防雷、防闪络等）。

## 1.2 电气符号

电气符号包括图形符号、文字符号和回路标号三种。各种电路图都是用这些电气符号表示电路的构成、功能、设备相互连接顺序、相互位置及工作原理的。因此，必须了解（对常用的应掌握）电气符号的含义、标注原则和使用方法，才能看懂电路图。

### 1.2.1 图形符号

通常用于图样或其他文件，以表示一个设备或概念的图形、标记或字符，统称为图形符号。


#### 1.2.1.1 图形符号的含义和组成

图形符号通常由基本符号、一般符号、符号要素和限定符号等组成。

### (1) 基本符号

基本符号用以说明电路的某些特征，而不表示独立的电器或元件，例如“—”、“~”分别表示直流、交流；“+”、“-”用以表示直流电的正、负极；“N”表示中性线等。

### (2) 一般符号

一般符号是用以表示一类产品或此类产品的特征的一种通常很简单的符号，如“○”为电机的一般符号；“”是线圈的一般符号。

### (3) 符号要素

一种具有确定意义的简单图形，必须同其他图形组合，以构成一个设备或概念的完整符号称为符号要素，例如，图 1-1(a) 示出了构成电子管的四个符号要素，即管壳、阳极、阴极和栅极，它们虽有确定的含义，但一般不能单独使用，通过不同形式组合，构成多种不同的图形符号。

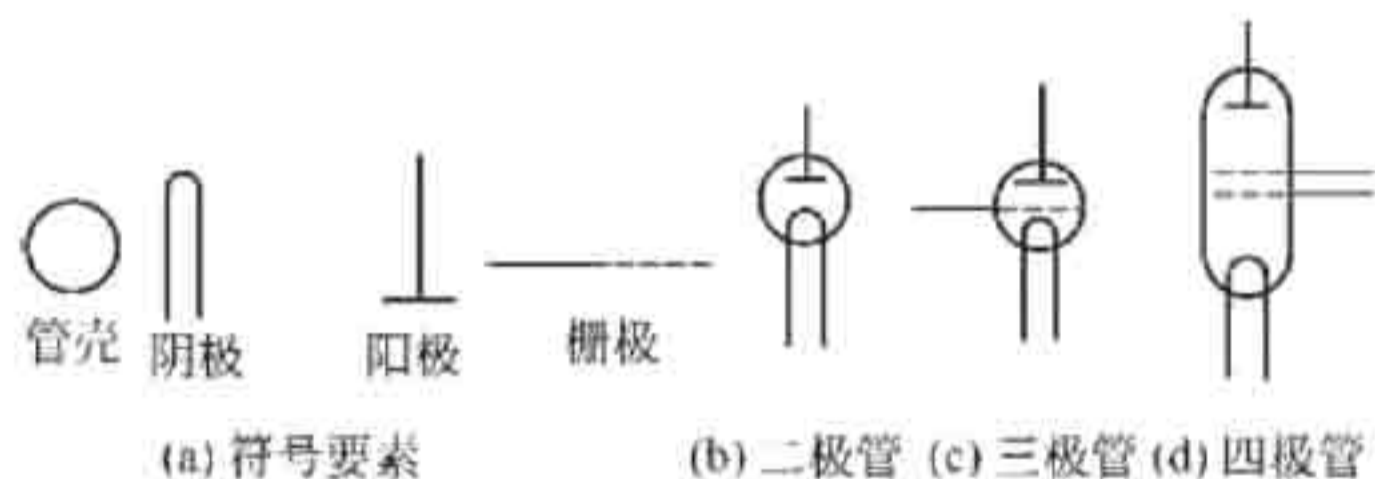


图 1-1 符号要素及组合示例

### (4) 限定符号

用以提供附加信息的一种加在其他符号上的符号，称为限定符号，一般不能单独使用。

限定符号按电流和电压、可变性（有内在的和非内在的）、力和运动的方向、（能量、信号）流动方向、特性量的动作相关性（指设备、元件与整定值或正常值相比较的动作特性，如“>”、“<”等）及材料等分为多种类型。限定符号的应用使图形符号更具有多样性，见图 1-2。

以上四种符号中，一般符号及限定符号最为常用。

#### 1.2.1.2 图形符号的分类

按照表示的对象及用途不同，图形符号分为电气图用图形符号及电气设备用图形符号两大类，分别由国家标准 GB 4728 和 GB 5465 作出规定。

电气图用图形符号种类繁多，在 GB 4728 中将其分为十类。

- ① 导线和连接器件。
- ② 无源元件。
- ③ 半导体管和电子管。
- ④ 电能的发生和转换元件。
- ⑤ 开关、控制和保护装置。

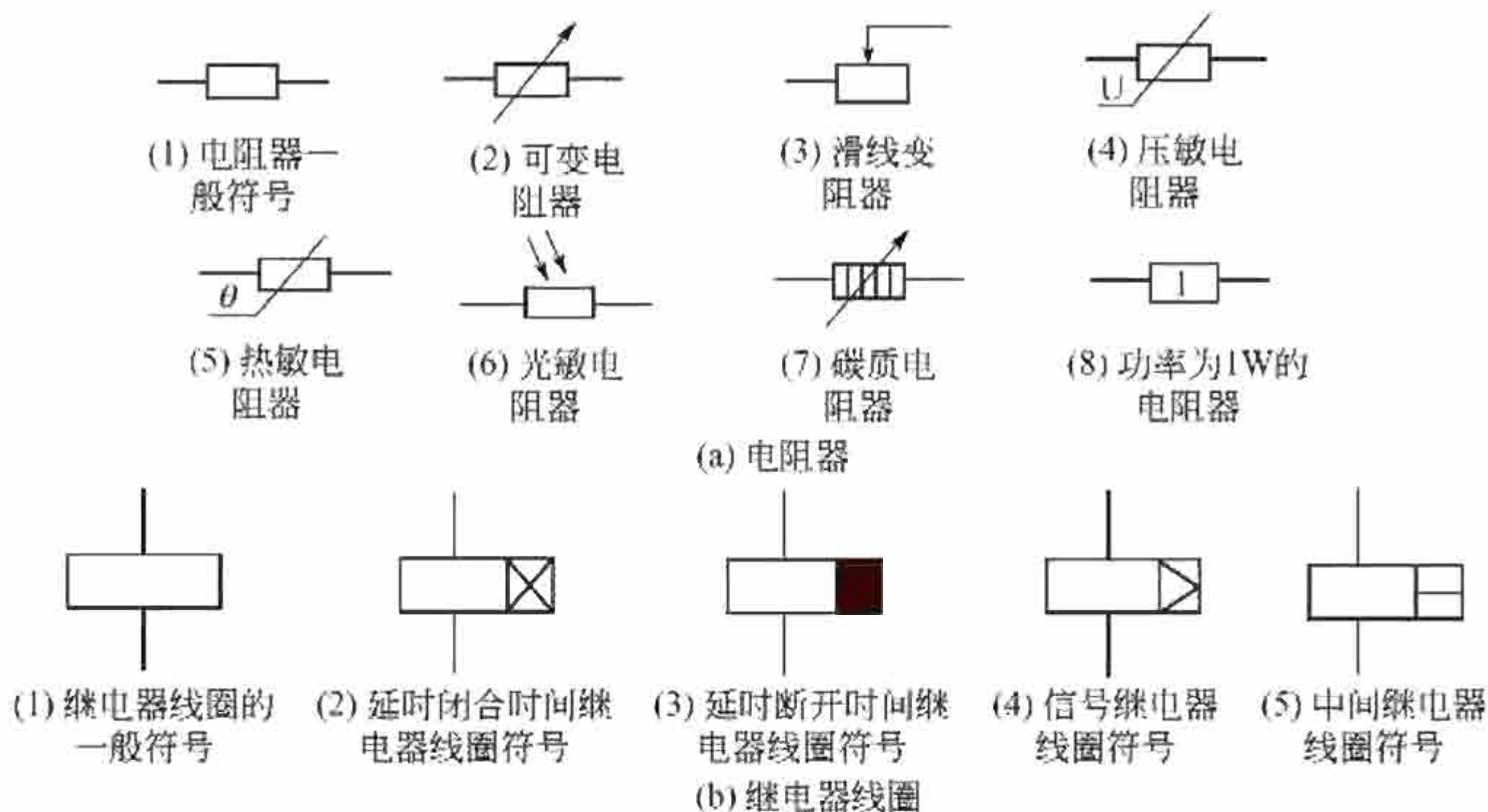


图 1-2 限定符号应用示例

- ⑥ 测量仪表、灯和信号器件。
- ⑦ 电信：交换和外围设备。
- ⑧ 电信：传输。
- ⑨ 电力、照明和电信布置。
- ⑩ 二进制逻辑单元、模拟单元等。

GB 5465《电气设备用图形符号》将设备用图形符号分为六个部分。

- ① 通用符号。
- ② 广播、电视及音响设备符号。
- ③ 通信、测量、定位符号。
- ④ 医用设备符号。
- ⑤ 电化教育符号。
- ⑥ 家用电器及其他符号。

电气图用图形符号是构成电气图的基本单元，是应用最为广泛的图形符号。电气设备用图形符号则主要适用于各种类型的电气设备或电气设备的部件上，使操作人员了解其用途和操作方法，其主要用途为识别、限定、说明、命令、警告和指示等。

电气设备用图形符号与电气图用图形符号大多是不同的，有的虽然符号相同，但含义却大不相同，例如变压器的图形符号，两者在形式上是相同的，但电气图中变压器符号表示电路中的一类变压器设备，担负变压功能；而电气设备用图形符号中的变压器符号则表示电气设备可通过变压器与电力线相连接的开关、控制器、连接器或端子相接，也可用于变压器包封或外壳上，还有的用于平面布置图上，表示变压器的安装位置。

电气设备用图形符号必须按一定比例绘制，必须按比例放大或缩小。

### 1.2.1.3 图形符号的应用

#### (1) 图形符号表示规则

图形符号均按未通电、无外力作用的“正常状态”表示，例如，开关未合闸；继电器、接触器的线圈未通电；按钮未按下等。

#### (2) 尽可能采用优选图形符号

某些设备或元件有几个图形符号，在选用时应尽可能采用优选型，尽量采用最简单的形式，在同类图中使用同一种形式，如三相电力变压器、DS-110（120）系列时间继电器、GL-11（15、21、25）型电流继电器的图形符号。

#### (3) 突出主次

为了突出主次或区别不同用途，相同的图形符号允许采用不同的大小、不同的图线宽度来表示，例如电力变压器与电压互感器、发电机与励磁机、主电路与副电路、母线与一般导线等。

#### (4) 三相及同类设备、元件的表示

同一电气设备的三相及同类电气设备或元件的图形符号应大小一致、图线等宽、整齐划一、排列匀称。

#### (5) 符号的绘制

电气图用图形符号是按网格绘制的，但网格并不与图形符号同时示出。一般情况下，图形符号可直接用于绘图，但在计算机辅助绘图系统中使用图形符号时，应符合相应的规定（例如，符号应设计成能用于特定模数  $M$  的网格系统中，使用的模数  $M$  为  $2.5\text{mm}$ ）。凡成矩形的符号（如熔断器、避雷器、电阻器等），长宽比以  $2:1$  为宜。

## 1.2.2 文字符号

文字符号用于标明电气设备、装置和元器件的名称、功能、状态及特征，一般标注在电气设备、装置和元器件之上或旁边。

文字符号还有为项目代号提供种类和功能的字母代码、为限定符号与一般图形符号配合使用而派生新图形符号的作用。

### 1.2.2.1 文字符号的组成

电气技术中的文字符号分为基本文字符号和辅助文字符号两类，基本文字符号又分为单字母符号和双字母符号。国家标准 GB 7159—87《电气技术中的文字符号制定通则》对此作了规定。

电气设备常用基本文字符号及辅助文字符号分别见表 1-1 及表 1-2。

#### (1) 基本文字符号

① 单字母符号。单字母符号是将各种电气设备、装置和元器件分为 23 个大类，每个大类用一个字母符号（拉丁字母中除去“ $I$ ”、“ $O$ ”和“ $J$ ”）来表示的。

表 1-1 电气设备常用基本文字符号 (GB 7159—87)

设备、装置和元器件种类	名 称	单字母符号	双字母符号
组件 部件	分离元件、放大器 激光器 调节器 本表其他地方未规定的组件、部件 电桥 晶体管放大器 集成电路放大器 磁放大器 电子管放大器 印制电路板 抽屉柜 支架盘	A	AB AD AJ AM AV AP AT AR
非电量到电量变换 器或电量到非电量 变换器	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 电喇叭 耳机 自整角机 旋转变压器 模拟和多级数字变换器或传感器 压力变换器(用作指示和测量) 位置变换器 旋转变换器(测速发电机) 温度变换器 速度变换器	B	BP BQ BR BT BV
电容器	电容器	C	
二进制元件 延迟器件 存储器件	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	D	
其他元器	本表其他地方未规定的器件 发热器件 照明灯 空气调节器	E	EH EL EV
保护器件	过电压放电器件:避雷器 具有瞬时动作的限流保护器件 具有延时动作的限流保护器件	F	FA FR

续表

设备、装置和元器件种类	名称	单字母符号	双字母符号
保护器件	具有延时和瞬时动作的限流保护器件 熔断器 限电压保护器件		FS FU FV
发生器 发电机 电源	旋转发电机 振荡器 发生器 同步发电机 异步发电机 蓄电池 旋转式或固定式变频机	G	GS GS GA GB GF
信号器件	声响指示器 光指示器 指示灯	H	HA HL HL
继电器 接触器	瞬时接触继电器 瞬时有或无继电器 交流继电器 闭锁继电器(机械闭锁或永磁铁式有或无继电器) 双稳态继电器 接触器 极化继电器 簧片继电器 延时有或无继电器 逆流继电器	K	KA KA  KL KL KM KP KR KT KR
电感器 电抗器	感应线圈 线路陷波器 电抗器	L	
电动机	电动机 同步电动机 可作发电机或电动机用的电机 力矩电动机	M	MS MG MT
模拟元件	运算放大器 混合模拟/数字器件	N	
测量设备 试验设备	指示器件 记录器件 积算测量器件 信号发生器 电流表 计数器(脉冲) 电能表 记录仪器 时钟、操作时间表 电压表	P	PA PC PJ PS PT PV
电力电路的开关器件	断路器 电动机保护开关 隔离开关	Q	QF QM QS

续表

设备、装置和元器件种类	名称	单字母符号	双字母符号
电阻器	电阻器 变阻器 电位器 测量分路器 热敏电阻器 压敏电阻器	R	RP RS RT RV
控制、记忆、信号电路的 开关器件选择器	拨号接触器 连接极 控制开关 选择开关 按钮开关 机电式有或无传感器(单级数字传感器) 液体标高传感器 压力传感器 位置传感器(包括接近传感器) 转数传感器 温度传感器	S	SA SA SB SL SP SQ  SR ST
变压器	电流互感器 控翻电路电源用变压器 电力变压器 磁稳压器 电压互感器	T	TA TC TM TS TV
调制器 变换器	鉴频器 解调器 变频器 编码器 变流器 逆变器 整流器 电报译码器	U	
电子管 晶体管	气体放电管 二极管 晶体管 晶闸管 电子管 控制电路用电源的整流器	V	VD VT VT VE VC
传输通信 波导 天线	导线 电缆 母线 波导 波导定向耦合器 偶极天线 抛物天线	W	
端子 插头	连接插头和插座 接线柱	X	

续表

设备、装置和元器件种类	名称	单字母符号	双字母符号
插座	电缆封端和接头 焊接端子板 连接片 测试插孔 插头 插座 端子板		XB XJ XP XS XT
电气操作的机械器件	气阀 电磁铁 电磁制动器 电磁离合器 电磁吸盘 电动阀 电磁阀	Y	YA YB YC YH YM YV
终端设备 混合变压器 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	Z	

表 1-2 电气设备常用辅助文字符号

名称	文字符号	名称	文字符号	名称	文字符号
电流	A	输入	IN	不接地保护	PU
模拟	A	增	INC	记录	R
交流	AC	感应	IND	右	R
自动	A、AUT	左	L	反	R
加速	ACC	限制	L	红	RD
黑	BK	低	L	复位	R、RST
蓝	BL	闭锁	LA	备用	RES
向后	BW	主	M	运转	RUN
控制	C	由	M	信号	S
顺时针	CW	中间线	M	启动	ST
逆时针	CCW	手动	M、MAN	置位、定位	S、SET
延时(延迟)	D	中性线	N	饱和	SAT
差动	D	附加	ADD	步进	STE
数字	D	可调	ADJ	停止	STP
降	D	辅助	AUX	同步	SYN
直流	DC	异步	ASY	温度	T
减	DEC	制动	B、BRK	时间	T
接地	E	断开	OFF	无噪声(防干扰)接地	TE
紧急	EM	闭合	ON	真空	V
快速	F	输出	OUT	速度	V
反馈	FB	压力	P	电压	V
正、向前	FW	保护	P	白	WH
绿	GN	保护接地	PE	黄	YE
高	H	保护接地与中性线共用	PEN		



② 双字母符号。为易于区分而采用的双字母符号，由一个表示大类的单字母与另一个字母组成，单字母在前，另一个字母在后，如互感器属变压器“T”大类，其单字母符号是“T”，而电流互感器用“TA”，电压互感器用“TV”表示；又如指示灯属信号器件“H”大类，而红色指示灯用HR，绿色指示灯用HG以示区分。

### (2) 辅助文字符号

辅助文字符号是用于表示电气设备、装置和元器件、线路的功能、状态、特征及位置的，如“ST”表示启动，“STP”表示停止；“ON”表示闭合，“OFF”表示断开；“RD”表示红色，“GN”表示绿色；“H”、“L”分别表示高、低等。

#### 1.2.2.2 文字符号的使用

电气技术文字符号并不适用于各类电气产品的型号编制与命名。

文字符号采用拉丁字母大写正体书写，一般应优先采用单字母符号。只有为了较详细、具体地标注电气设备、装置和元器件时，才采用双字母符号。

辅助文字符号既可与单字母符号组成双字母符号，如“KA”表示电流继电器，“MS”表示同步电动机，也可以单独使用，如“N”表示中性线，“PEN”表示保护接地与中性线共用（简称保护中性线）。

#### 1.2.3 项目代号

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

项目代号是用以识别图形、表图、表格中和设备上的项目种类，并提供项目的层次关系、实际位置等信息的一种特定代码。由项目代号可以将不同的图或其他技术文件上的项目与实际设备中的该项目一一对应联系起来，如某一有功电能表（旧称电度表）PJ1，在计量2号线路W2中，线路W2在5号高压开关柜内，而开关柜的种类代号为A，因此，这一有功电能表的项目代号全称为“=A5-W2-PJ1”，其第3号接线端子则应称为“=A5-W2-PJ1:3”，或简称为“=A5-W2PJ1:3”；又如某照明灯的项目代号为“=\$5+201-E3:2”，则表示5号车间变电所201室3号照明灯的2号端子。

项目代号应符合国家标准《电气技术中的项目代号》（GB 5094—85）和《电气技术中的文字符号制订通则》（GB 7195—87）的有关规定。否则，应在图样或说明书中特别注明。

项目代号是由拉丁字母、阿拉伯数字及特定的前缀符号按照一定规则组合而成的。一个完整的项目代号包括四个代号段，其名称及前缀符号见表1-3。

表 1-3 分段名称及前缀符号

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	:

图 1-3 为某 10kV 线路过电流保护的项目代号结构、前缀符号及其分解图。

### (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）项目的代号，称为高层代号，如电力系统、变电所、电力变压器、电动机、启动器等。

由于各类子系统或成套配电装置、设备的划分方法不同，某些部分对其所属的下一级项目就是高层，例如，电力系统对其所属的变电所、电力系统的代号为高层代号，但对此变电所中某一开关（如高压断路器）的项目代号，则该变电所代号为高层代号。故高层代号具有项目总代号的含义，其命名是相对的，只能根据需要命名，但要在图样中加以说明。

### (2) 位置代号

项目在组件、设备、系统或建筑物中的实际位置的代号称为位置代号。

位置代号通常由自行规定的拉丁字母及数字组成。在使用位置代号时，应画出表示该项目位置的示意图，如图 1-4 为某机械厂的中央控制室，内有控制屏、操作电源屏及继电保屏等三列，各列用拉丁字母表示，各屏用数字表示，则位置代号用字母和数字的组合表示，如 B 列屏的第 3 号控制屏的位置代号表示为“+B+3”，它安装在 202 室，则全称表示为“+202+B+3”，可简化表示为“+202B3”。

### (3) 种类代号

用以识别项目种类的代号称为种类代号。项目种类是将各种电气元件、器件、设备、装置等，根据其结构和在电路中的作用来分类的，相近的项目归为同类，常用单字母符号命名，见图 1-3(a)。

① 种类代号的表达方法。种类代号通常有三种表达方法。一是由字母代码和数字组成，如-A3、-T2、-K5、-R1 等。这是运用最多、最直观和最容易理解的表示方法。其中，字母代码为规定的文字符号（单字母、双字母或辅助字母符号，一般用单字母符号），例如，某 2 号线路 W2 保护的第 3 个继电器可表示为“=W2-K3”，其中“-”为种类代号段的前缀符号，“K”为项目种类（继电器）的字母代码，“3”为同一项目种类（继电器）的序号。

第二种表达方法用顺序数字（1、2、3…）给图中每一个项目规定一个统一的数字序号，同时将这些顺序数字和它所代表的项目列表于图中或其他说明中，如-1、-2、-3…。

段 号	1	2	3	4
代号名称	高层代号	位置代号	种类代号	端子代号
前缀符号	=	+	-	:

(a) 项目代号结构及前缀符号



(b) 项目代号分解示例

图 1-3 项目代号结构、前缀符号及其分解

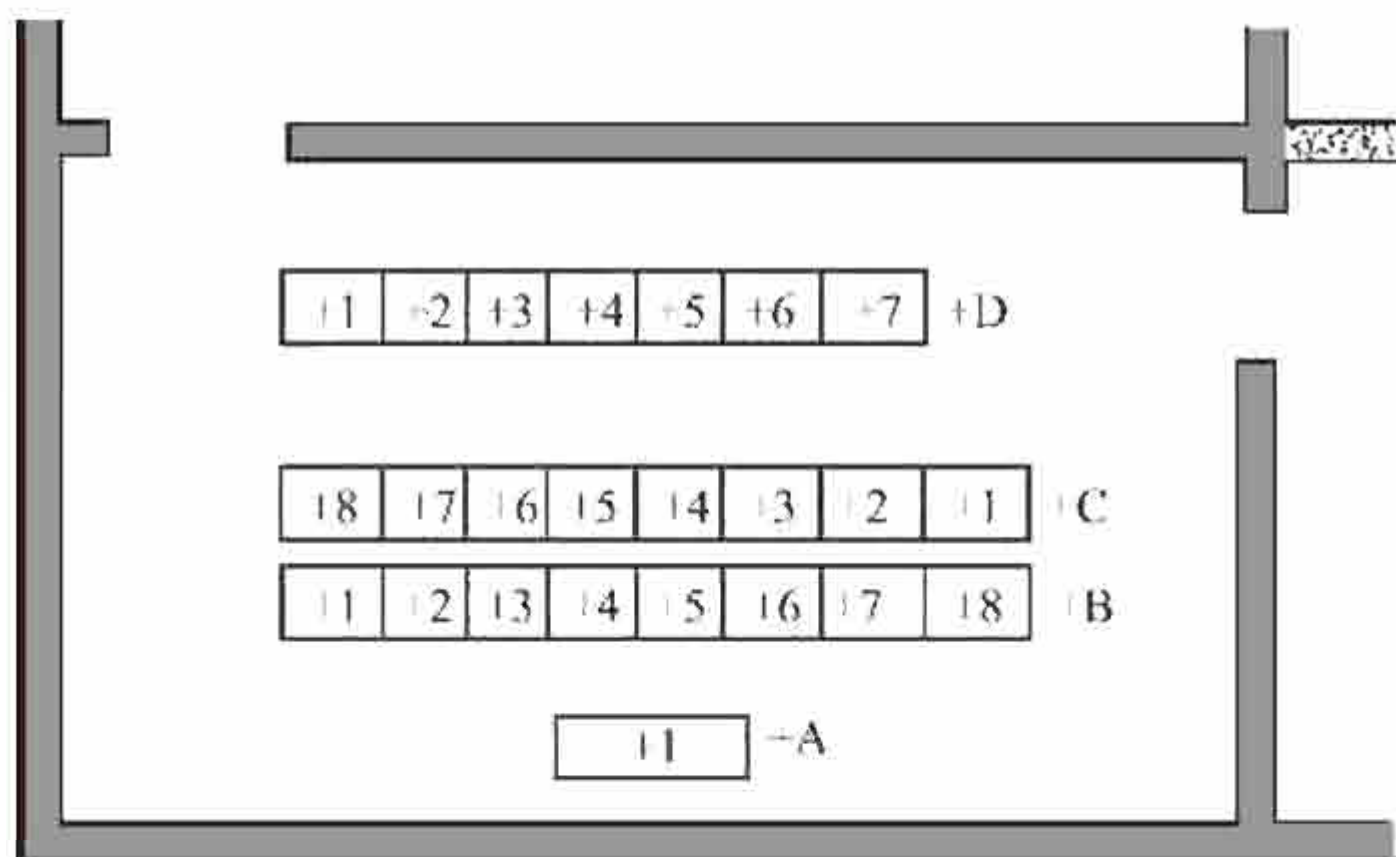


图 1-4 位置代号示意图

三是将不同类的项目分组编号，如继电器用 11、12、13…，信号灯用 21、22、23…，电阻用 31、32、33…，并将编号所代表的项目列表于图中、图后或其他说明中。

对于以上三种方法表示的项目的相似部分，如继电器的触头，可在数字后加“.”，再用数字区别，如第一种方法，继电器 K5 的触头表示为 K5.1、K5.2 等；第二种方法，继电器触头表示为 1.1、1.2、2.1、2.2 等；而第三种方法可表示为 11.1、11.2、12.1、12.2 等，见图 1-5。

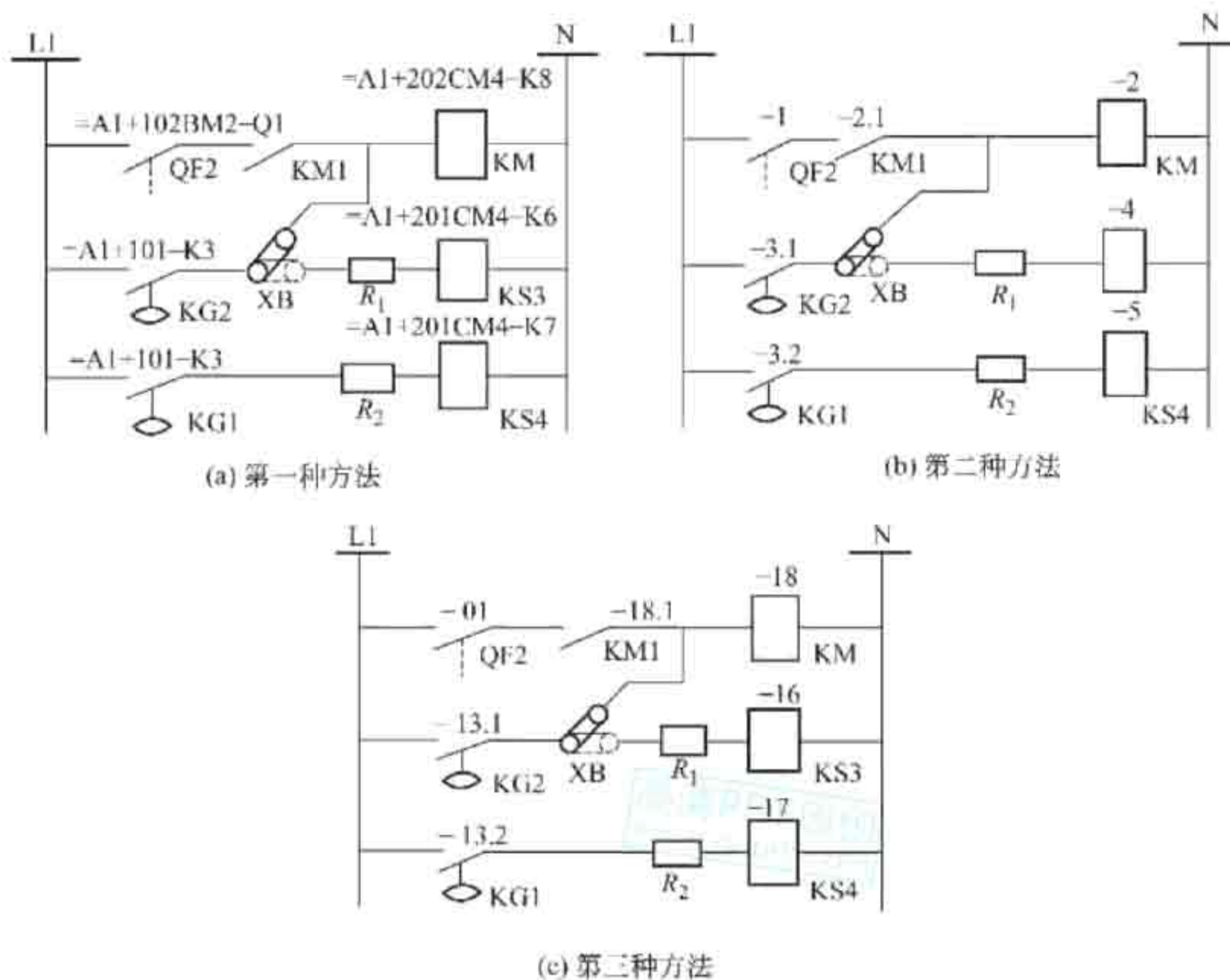


图 1-5 种类代号的三种表达方法示例

② 复合项目的种类代号。由若干项目组成的复合项目，其种类代号可采用字母代码加数字表示，如某高压开关柜 A3 中的第 2 个继电器可表示为“-A3-K2”，或简化为“-A3K2”；某低压断路器 QF2 中的电动机 M1、热脱扣器 TR1 可表示为“-Q2-M1”、“-Q2-T1”，或简化为“-Q2M1”、“-Q2T1”等。

#### (4) 端子代号

用于成套柜、屏内外电路进行电气连接的接线端子的代号称为端子代号。

端子代号是完整项目代号的一部分。当项目的端子有标记时，端子代号必须与项目上的端子标记一致；当项目的端子无标记时，应在图上自行设置端子代号。一般端子板（排）的端子代号用“x”示，以区别于设备代号。若端子板（排）代号为 X1，则相应的端子代号有 X1: 1、X1: 2、…、X1: 18，而 PJ1 第 2 号接线端

子全称可标为“=A3+101+B+5-W1-P1:2”,简化为“=A3+101B5-W1P1:2”,其代表的意义为:装设在变电所101室B列第5台的3号高压开关柜中1号线路的有功电能表的2号端子。

#### (5) 项目代号的应用

项目代号是用来识别项目的、由代号段组成的特定代码。一个项目由一个代号段组成,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,而其余代号段大多应与种类代号组合起来,才能较完整的表示一个项目。

在电气图中标注项目代号,可根据该原理图很方便地进行安装、检修、分析与查找事故,所以国家标准把项目代号规定在电气工程图样的编制方法之中。但根据场合及详略要求的不同,在一张图上的某一项目代号不一定都有四个代号段,如在表示实际安装位置时,列可省掉位置代号;当图中所有项目的高层代号相同时,可省掉高层代号而只需另外加以说明。

在集中表示法和半集中表示法的图中,项目代号只在符号旁标注一次;在分开表示法的图中,项目代号应在项目每一部分的符号旁标注出来。

### 1.2.4 回路标号

电路图中用来表示各回路的种类和特征的文字符号和数字标号统称为回路标号。

主标记中的“独立标记”符号通常采用阿拉伯数字表示。但如何采用,在国家新标准中还没有具体规定,因此,暂时沿用原有国家标准GB 316—64《电力系统图上的回路标号》提出的原则和方法,供标注独立标记及识图时参考。GB 316—64中关于回路标号的一般原则如下。

① 导线按用途分组,每组给一定的数字范围。

② 导线的标号一般由三位或三位以下的数字组成,当需要标明导线的相别或其他特征时,在数字的前面或后面(一般在前面)加注文字符号。

③ 导线标号按“等电位原则”进行,即回路中连接在同一点上的所有导线具有同一电位,需标注相同的回路标号。

④ 由线圈、触头、电阻、电容等减压元件所间隔的线段,应标注不同的回路标号。

⑤ 标号应从交流电源或直流电源的正极开始,以奇数顺序号1、3、5……或101、103、105…开始,直至电路中一个主要减压元件为止,之后按偶数顺序号…6、4、2或……106、104、102至交流电源的中性线(或另一相线)或直流电源的负极。

⑥ 某些特殊用途的回路则给以固定数字标号,如断路器跳闸回路用33、133等。

#### (1) 直流回路的标号

在直流一次回路标号中，用回路标号个位数字的奇、偶数区分回路的极性；用十位数字的顺序区分回路中的不同线段，如正极回路用 1、11、21、31……顺序标注，负极回路用 2、12、22、32……顺序标注；用百位数字区分不同供电电源的回路，如 A 电源的正、负极分回路分别标注 101、111、121……和 102、112、122……，B 电源的正、负极回路分别标注为 201、211、221……和 202、212、222……。在直流二次回路中，正极回路的线段按奇数顺序标号，如 1、3、5……；负极回路的线段按偶数顺序标号，如 2、4、6……。

在同一回路中，经过电阻、电容、线圈等减压元件时，要改变标号的极性；对不能明确标明极性的线段，可任意选标奇数或偶数。

### (2) 交流回路的标号

在交流一次回路中，用回路标号个位数字的顺序区分回路的相别，用十位数字的顺序区分回路中的不同线段，如第一相回路按 1、11、21……顺序标号；第二相按 2、12、22……；第三相按 3、13、23……顺序标号。交流二次回路的标号原则与直流二次回路的标号原则相似，回路的主要减压元件两侧的不同线段分别按奇数和偶数的顺序标号，如左侧用奇数，则右侧用偶数标号。元器件间的连接导线可任意选标奇数或偶数。

对于不同供电电源的回路，也可用百位数字的顺序标号进行区分。

### (3) 电力拖动、自动控制电路的标号

一次回路的标号由文字符号和数字标号两部分组成，文字符号用于标明一次回路中电器元件和线路的技术特性，如交流电动机定子绕组的首端用 U1、V1、W1，尾端用 U2、V2、W2 表示，三相交流电源端用 L1、L2、L3 表示；数字标号用来区别同一文字标号回路中的不同线段，如三相交流电源端用 L1、L2、L3 标号，而开关以下用 U11、V12、W13，熔断器以下用 U21、V22、W23 标号等。

在二次回路中，除电器元件、设备、线路标注文字符号外，为简明起见，其他只标注回路标号。

## 1.3 电气图的分类

电气图的分类方法很多，一般可以根据对象的类别、对象的规格大小、使用场合及表达方式等的不同来分类，例如：按表达对象不同，可分为军用图、民用图、电力系统（发输变配电）用图、工矿企业生产用图、船用图、邮电通信用图、广播电视用图等；按表达相数的不同，可分单线图、三线图；按电路性质的不同，分为一次回路图、二次回路图；按负荷性质不同，分为动力用电图、照明用电图；按表达方式不同，分为概略类型的图和详细类型的图。

按照最新国家标准，电气信息文件分为六大类，分别是功能性文件、位置文件、接线文件、项目表、说明文件和其他文件。电气图的类别也按照电气图所表达

的电气信息内容来划分。

### 1.3.1 表示功能性信息的电气图

表示功能性信息的电气图按照其表示形式的不同分为功能性简图和功能性表图两类，其中，功能性简图包括概略图、功能图、电路图、端子功能图、程序图等；功能性表图包括功能表图、顺序表图和时序图。

#### 1.3.1.1 功能性简图

##### (1) 概略图

概略图是指表示系统、分系统、装置、部件、设备、软件中各项目之间的主要关系和连接的简图。概略图通常采用单线表示法，可作为教学、训练、操作和维修的基本文件。用来表示过程流动路线中所包含的非电气装置的概略图称为流程简图。概略图一般用方框符号表示。图 1-6 所示为过电流保护概略图，图中，KA 为电流继电器，KT 为时间继电器，KS 为信号继电器，KM 为中间继电器。它表示了当线路上发生短路故障时，启动用的电流继电器 KA 瞬时动作，使时间继电器 KT 启动，经一定的时限后，接通信号继电器 KS 和出口继电器 KM。KM 则接通断路器 QF 的跳闸回路，QF 跳闸。

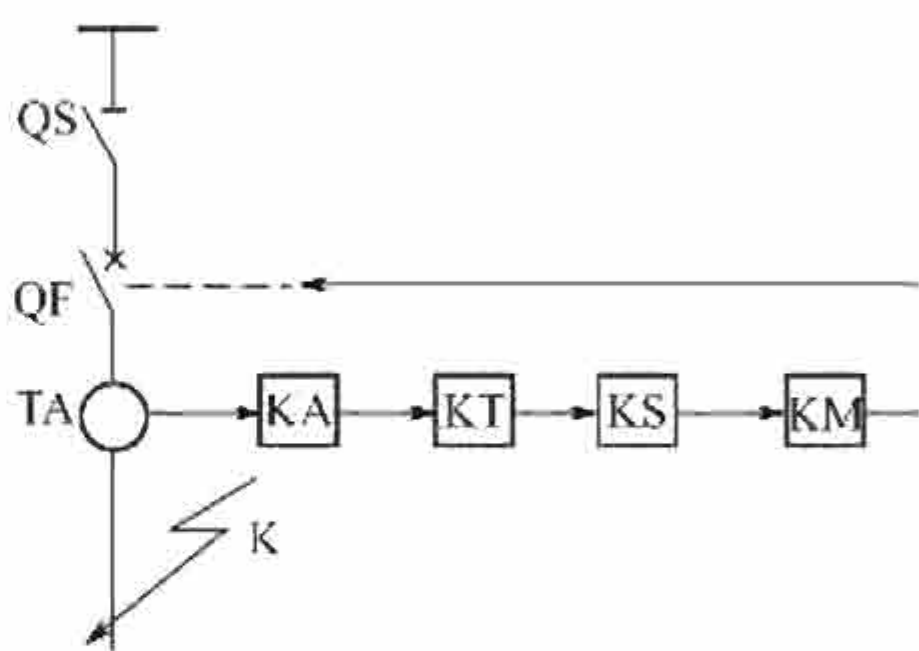


图 1-6 过电流保护概略图

该图是采用方框符号绘制，用以说明过电流保护系统的基本组成、相互关系及主要特征的简图，而并没有具体表示各具体元件及其连接关系。电气概略图往往是某一电气系统、装置、设备进行成套设计的第一张图，用途主要是：作为进一步设计的依据；供操作和维修时参考；供有关部门了解设计对象的整体方案、简要工作原理和各部分的主要组成等。

##### (2) 功能图

功能图是指用理论的或理想的电路来详细表示系统、分系统、装置、部件、设备、软件等的功能的简图。功能图不涉及具体的实施方法，比如用于分析和计算电路特性或状态的等效电路就属于功能图。图 1-7 所示为某异步电动机 T 形等效电路图，它将旋转电动机的电磁特性用静止的电路表示，它是分析和计算异步电动机电磁特性和运行状态的重要工具。

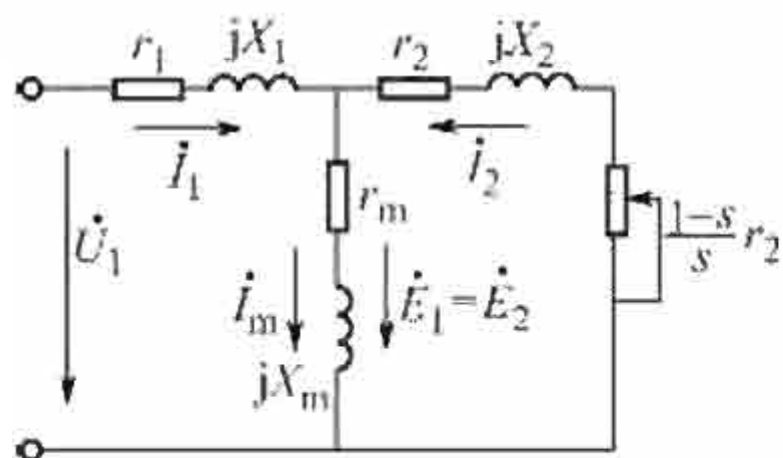


图 1-7 异步电动机 T 形等效电路图

##### (3) 电路图

电路图是表示系统、分系统、装置、部件、设备、软件等实际电路的简图，它采用按功能排列的图形符号来表示各元件及其连接关系，不需要考虑项目的实际尺寸、形状和位置。电路图可为了解电路所起的作用、编制接线文件、测试和寻找故障

点、安装和维修等提供必要的信息。

图 1-7 中,  $r_1$ 、 $X_1$  为一定子绕组的电阻和漏电抗;  $r_2$ 、 $X_2$  为折算后的转子绕组的电阻和漏电抗;  $r_m$  为定子铁芯损耗相对应的等效电阻;  $X_m$  为主磁通相对应的励磁电抗;  $s$  为转差率。

#### (4) 端子功能图

端子功能图是用来表示功能单元的各端子接口连接和内部功能的一种简图。

#### (5) 程序图

程序图是详细表示程序单元、模块及其互连关系的简图。

### 1.3.1.2 功能性表图

#### (1) 功能表图

功能表图是用步、有向连线、转换、转换条件和动作来描述控制系统的功能、特性和状态的表图。

#### (2) 顺序表图

顺序表图是表示系统各个单元工作次序或状态的图(表),各单元的工作或状态按一个方向排列,并在图上成直角绘出过程步骤或时间,如描述手动控制开关功能的表图。

#### (3) 时序图

时序图是按比例绘出时间轴的顺序表图。

### 1.3.2 表示位置信息的电气图

位置信息图是表示成套装置、设备或装置中各个项目的布局、安装位置的图。位置信息图包括总平面图、安装图、安装简图、装配图、布置图。其中,安装图是表示各项目安装位置的平面图;而安装简图一般用图形符号绘制,用来表示某一区域或某一建筑物内电气设备、元器件或装置的位置及其连接。

### 1.3.3 表示接线信息的电气图

接线信息图(表)包括接线图(表)、单元接线图(表)、互连接线图(表)、端子接线图(表)、电缆配置图(表)五类。

#### (1) 接线图(表)

表示成套装置、设备、元器件的连接关系,用来进行安装接线和检查、试验、维修的一种简图(表格)称为接线图(表),如图 1-8 所示。

#### (2) 单元接线图(表)

单元接线图(表)是用来表示成套装置或设备中一个结构单元内部连接关系的图(表)。“结构单元”一般是指可独立运行的组件或某种组合体,如电动机、继电器、接触器等。

#### (3) 互连接线图(表)



用来表示成套装置或设备的不同单元之间连接关系的接线图(表)。

#### (4) 端子接线图(表)

端子接线图(表)是用来表示成套装置或设备的端子以及接在端子上的内外接线的接线图(表)。

#### (5) 电缆配置图(表)

电缆配置图(表)是用来提供二次电缆两端位置的一种接线图(表),也可用来提供电缆功能、特性和路径等相关信息。

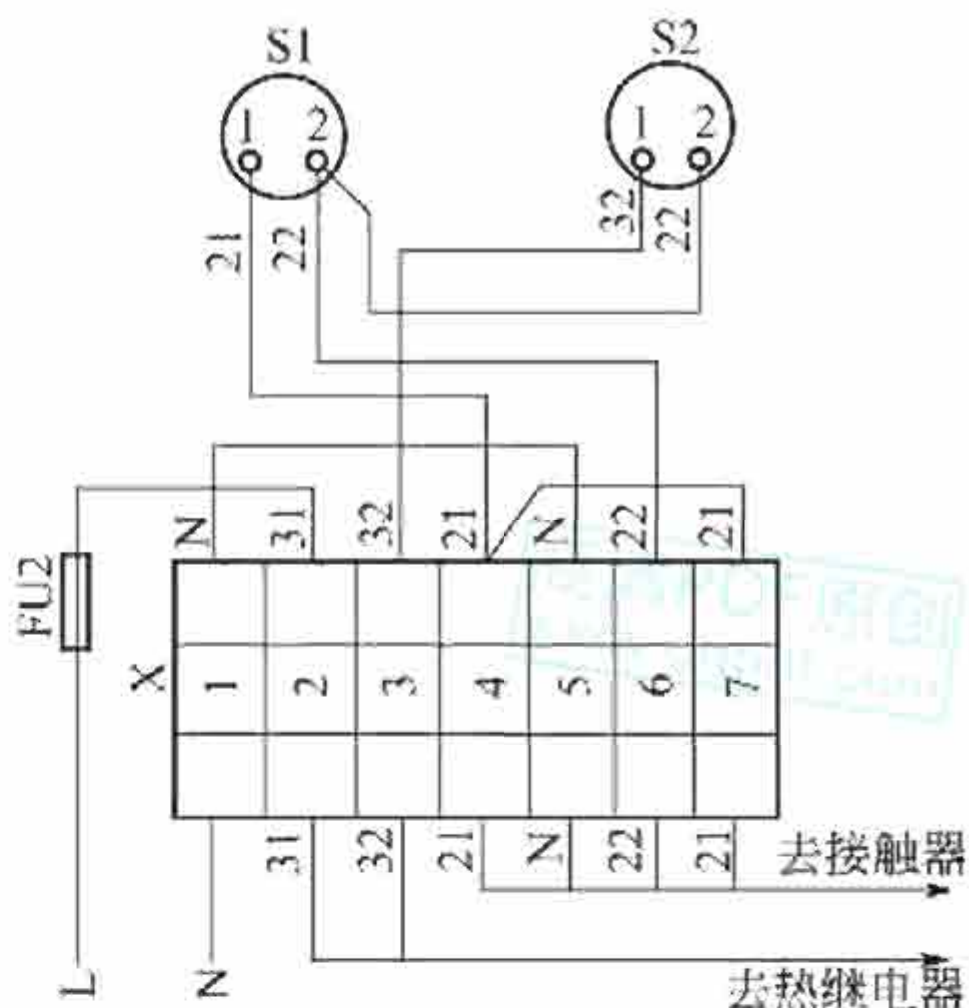


图 1-8 接线图示例

### 1.3.4 表示项目信息的图表

表示项目信息的图表包括电气设备元器件表、设备表和备用元件表。电气设备元器件表和设备表把成套装置、设备和装置中各组成部分的代号、名称、型号、规格和数量等用表格形式列出。它一般不单独列出,而是列在相应的电路图中。

## 1.4 电气图的表示方法

由于表达的对象和用途不同,电气图的种类及表示方法有很大差别。但因为电气图大多用简图表示,其表达的主要内容是元件和连接线,图形符号、文字符号是组成电气图的主要要素,因此,各种电气图必然有许多共同点和基本的表示方法,掌握这些共同点和基本方法,对于绘制和识读电气图是十分重要的。

### 1.4.1 连接线的表示方法

电气图上各种图形符号之间的相互连线,统称为连接线。它可能是传输能量流、信息流的导线,也可能是表示逻辑流、功能流的某种图线。

按照电气图中图线表达的相数不同,连接线可分为多线表示法和单线表示法两种。

#### 1.4.1.1 多线表示法

每根连接线用一条图线表示的方法,称为多线表示法,其中大多是三线。

多线表示法绘制的图能详细、直观地表达各相或各线的内容,尤其是在各相或各线不对称的场合中宜采用这种表示法。但它图线多,作图麻烦,特别是在接线比较复杂的情况下,会使图显得繁杂而不清晰、易读,因此,它一般用在图形比较简单,或相、线不对称的场合。

### 1.4.1.2 单线表示法

两根或两根以上（大多是表示三相系统的三根）连接线用一条图线表示的方法，称为单线表示法。

单线表示法易于绘制，清晰易读。它应用于三相、多相对称或基本对称的场合。凡是不对称的部分，例如三相三线制、三相四线制供配电系统电路中的互感器、继电器接线部分，则应在图的局部画成多线表示法的图形符号来标明，或另外用文字符号说明。

另有一种混合表示法，即在同一幅图中，部分用单线表示法，部分采用多线表示法。

在电气图中，连接线的表示应掌握以下要点。

#### (1) 导线的一般表示方法

① 导线的一般符号。导线的一般符号见图 1-9(a)，它可用于表示单根导线、

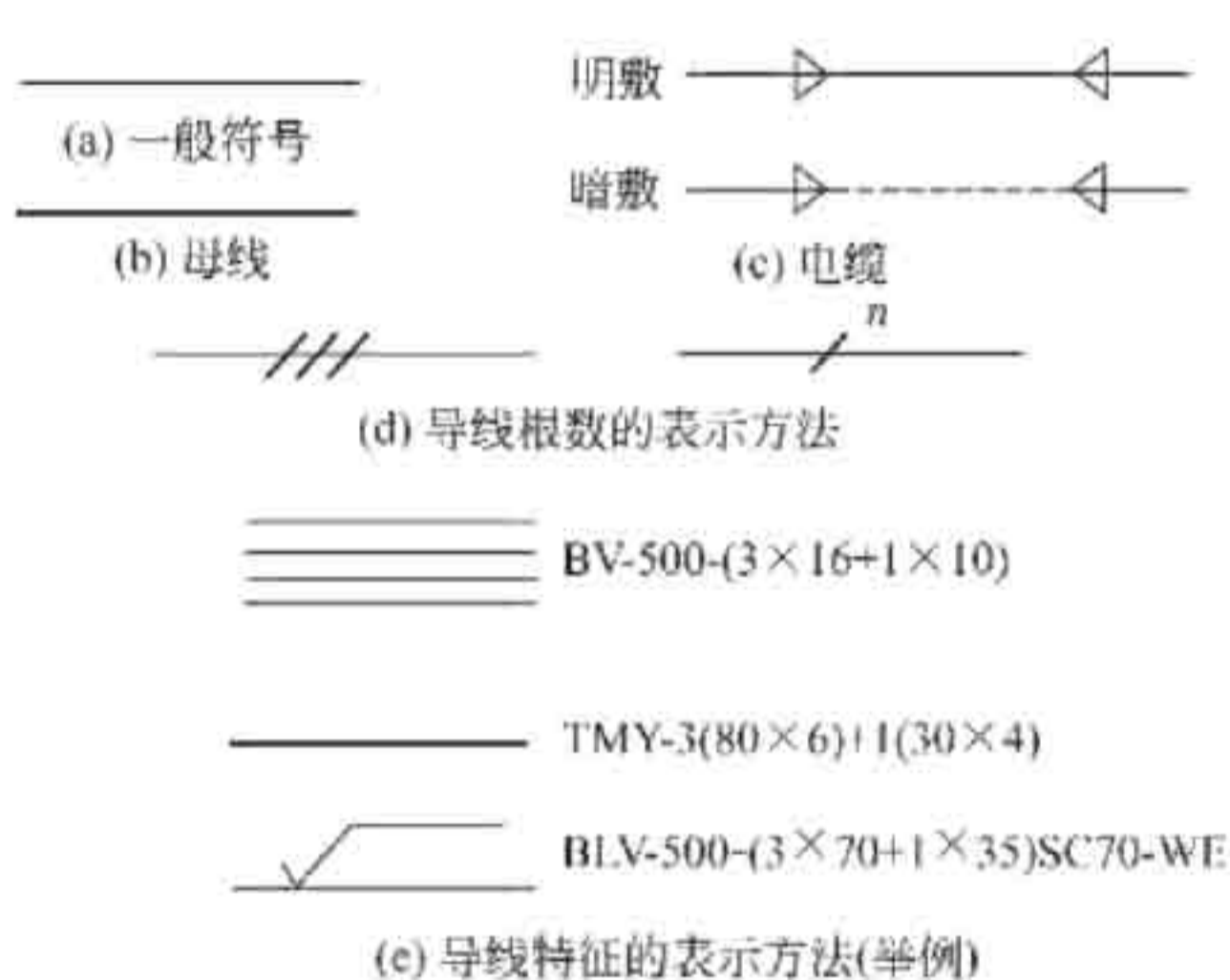


图 1-9 导线的一般表示方法及示例

导线组、电线、母线、绞线、电缆、线路及各种电路（能量、信号的传输等）。并根据情况，通过图线粗细、加图形符号及文字、数字来区分各种不同的导线，如图 1-9(b) 所示的母线及图 1-9(c) 所示的电缆等。

② 导线根数的表示方法。当用单线表示几根导线或导线组时，为示出导线实际根数，可在单线上加小短斜线（45°）表示：根数较少时，用斜线数量代表导线根数；

根数较多时（一般如 4 根以上），用一根小短斜线旁加注数字表示，如图 1-9(d) 所示（ $n$  表示导线根数）。

③ 导线特征的标注方法。导线特征通常采用字母、数字符号标注，如：图 1-9(e) 最上面的图中，标注出导线为 BV 型，额定电压为 500V，相线截面为  $16\text{mm}^2$ ，中性线截面为  $10\text{mm}^2$ 。图 1-9(e) 中间的图中，导线为硬铜母线，相线截面为  $80\text{mm} \times 6\text{mm}$ （宽×厚），中性线截面为  $30\text{mm} \times 4\text{mm}$ （宽×厚）。图 1-9(e) 最下面的图则表示为聚氯乙烯绝缘铝导线，额定电压 500V，三相导线每相截面  $70\text{mm}^2$ ，中性线截面  $35\text{mm}^2$ ，穿内径为 70mm 的焊接钢管，沿墙明敷。

#### (2) 图线的粗细

为了突出或区分电路、设备、元器件及电路功能，图形符号及连接线可用图线的粗细不同来表示。常见的如：发电机、变压器、电动机的圆圈符号不仅在大小、而且在图线宽度上与电压互感器和电流互感器的符号应有明显区别；电源主电路、

一次电路、电流电路、主信号通路等采用粗实线，二次电路、电压电路等则采用一般实线或细实线，而母线通常比粗实线还宽2~3倍。电路图、接线图中用以标明设备元件型号规格的标注框线及设备元件明细表的分行、分列线，均用细实线。

### (3) 导线连接点的表示

导线连接点有“T”形、“十”字形两种，其标注方法如图1-10所示。“T”形连接点可加实心圆点“·”，也可不加实心圆点，见图1-10(a)。对“十”字形连接点，则必须加实心圆点，见图1-10(b)。

凡交叉而不连接的两条或两条以上连接线，在交叉处不得加实心圆点，如图1-10(c)；并应避免在交叉处改变方向，也不得穿过其他连接线的连接点，见图1-10(d)。

图1-10(e)为表示导线连接点的示例。图中连接点①是“T”形连接点，可标也可不标实心圆点；连接点②是属于“十”字形交叉连接点，必须加实心圆点；连接点③的“o”表示导线与设备端子的固定连接点；而连接点④的符号“o”表示可拆卸（活动）连接点；A表示两导线交叉而不连接。

### (4) 连接线的连续表示法和中断表示法

为了表示连接线的接线关系和去向，可采用连续表示法和中断表示法。连续表示法是将表示导线的连接线用同一根图线首尾连通的方法，而中断表示法则将连接线中间断开，用符号（通常是文字符号及数字编号）标注其去向。

① 连接线的连续表示法。连接线的连续既可用多线，也可用单线表示，当图线太多（如4条以上）时，为使图面清晰，易画易读，对于多条去向相同的连接线，常用单线表示法表示。

当多条线的连接顺序不必明确表示时，可采用图1-11(a)示出的单线表示法，但单线的两端仍用多线表示法表示；导线组的两端位置不同时，应标注相对应的文字符号，如图1-11(b)所示。

当导线汇入用单线表示法表示的一组平行连接线时，采用图1-12所示方法，即在每根连接线的末端注上相同的标记符号；汇接处用斜线表示，其方向应易于识别连接线进入或离开汇总线的方向，如图1-12(a)所示。

当需要表示导线的根数时，可按图1-12(b)所示那样表示。这种形式在动力、照明平面布置（布线）图中较为常见。

### ② 连接线的中断表示法。中断线的使用场合及表示方法常有以下三种。

a. 去向相同的导线组，在中断处的两端标以相应的文字符号或数字编号，见

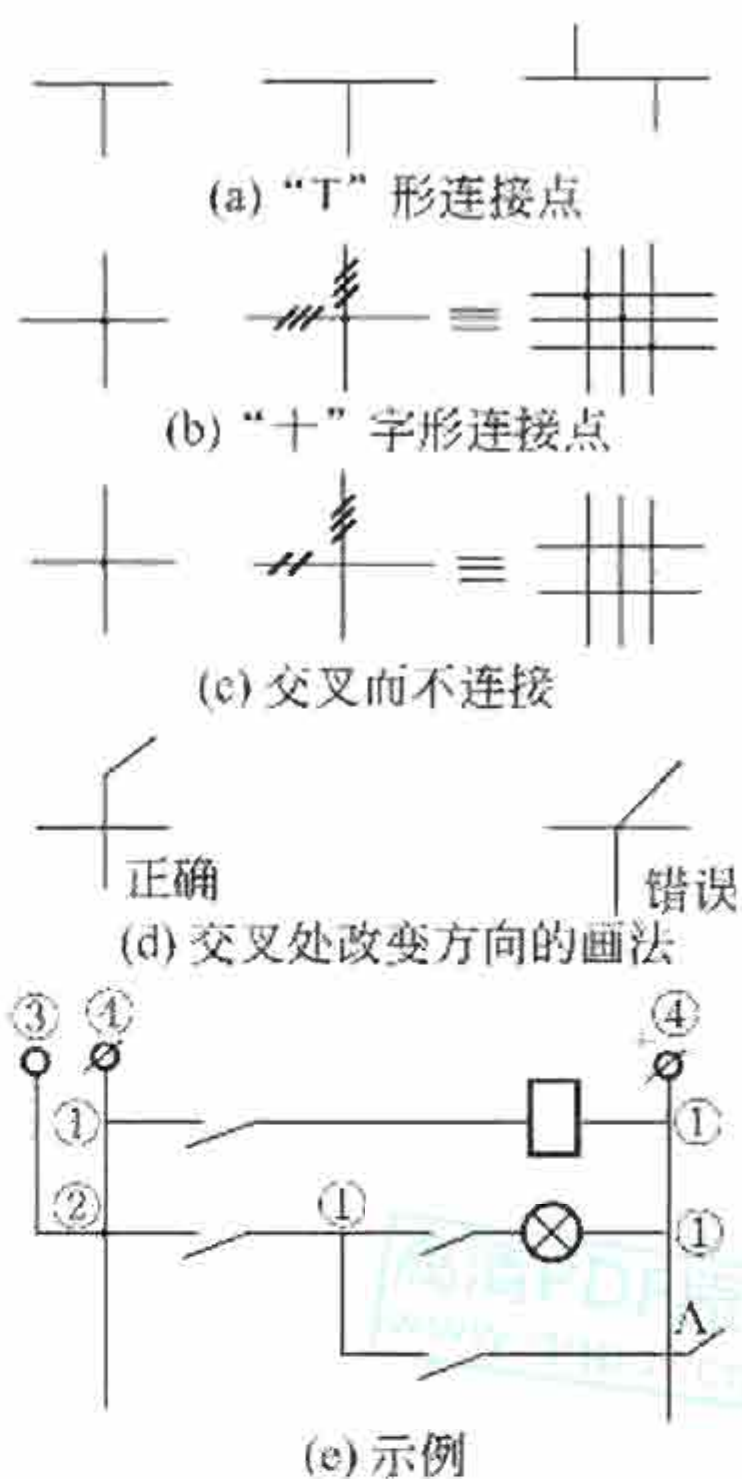


图1-10 导线连接点的表示方法

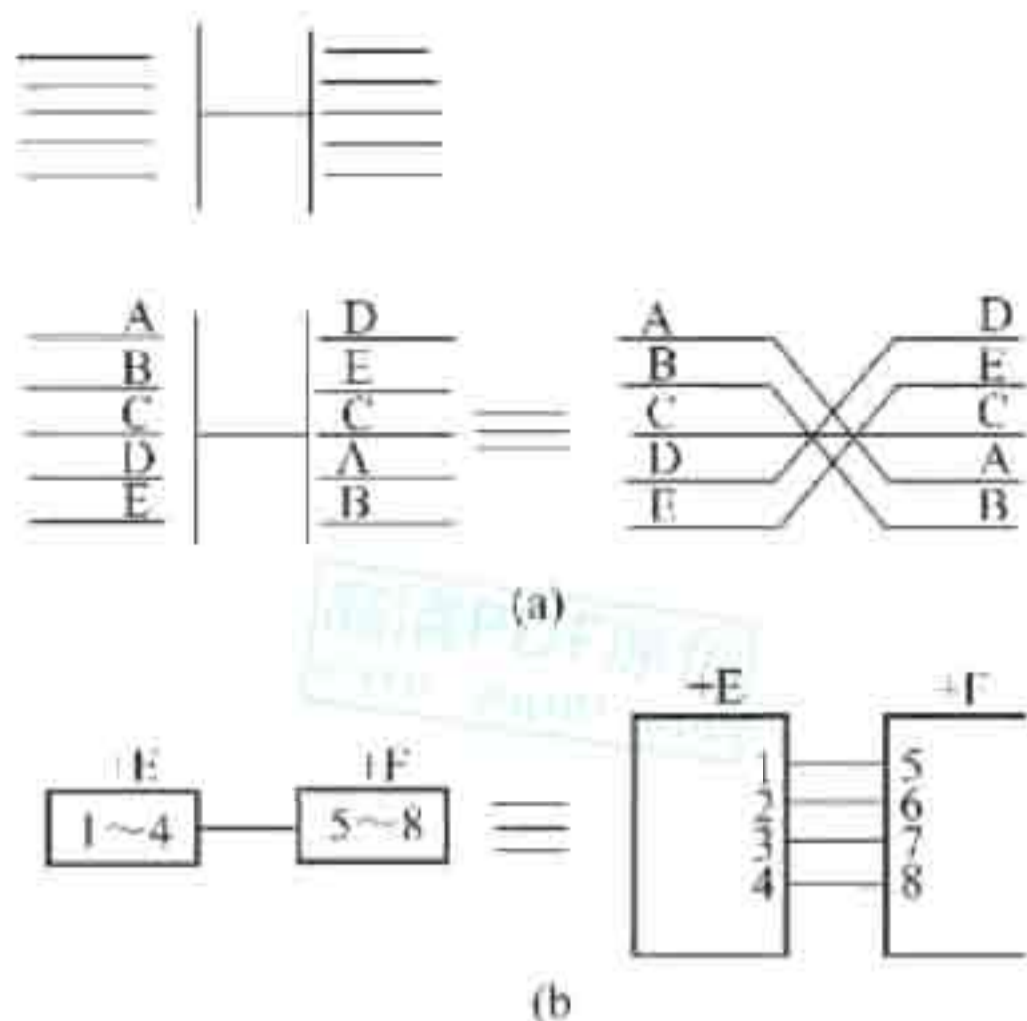


图 1-11 连续线的单线表示法

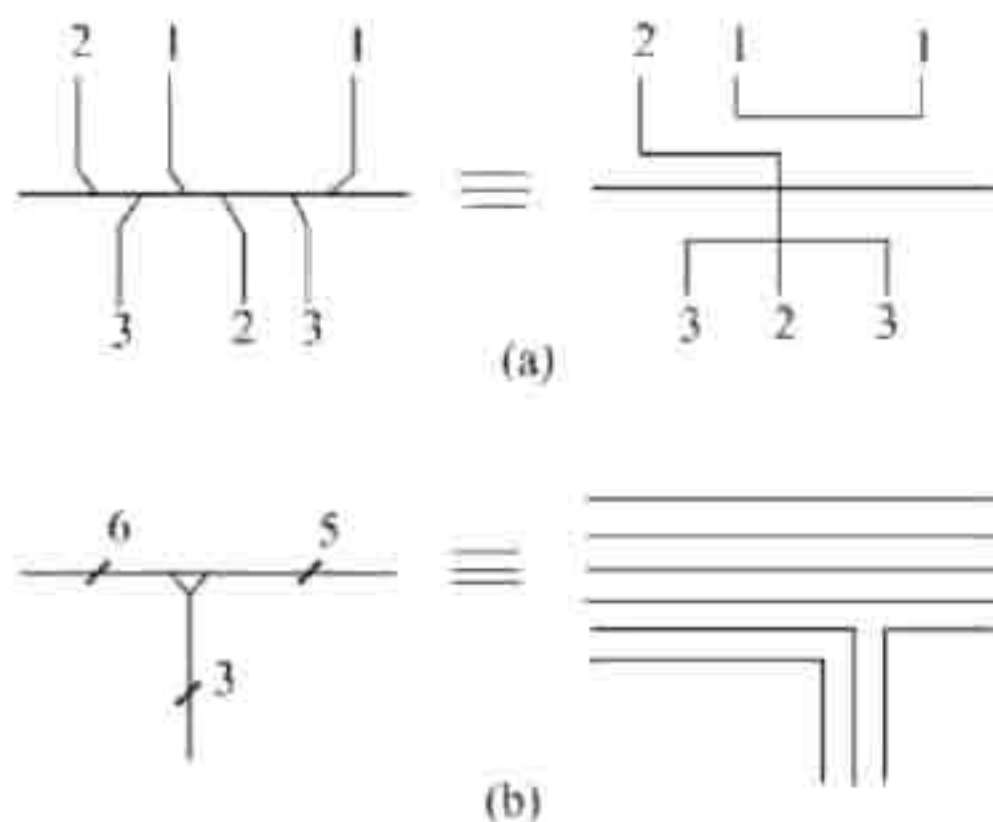


图 1-12 汇总线（线束）的单线表示法

图 1-13。

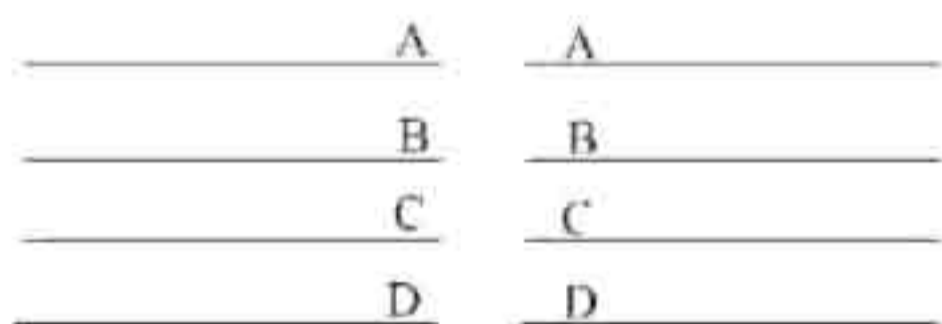


图 1-13 导线组的中断表示法

b. 两功能单元或设备、元器件之间的连接线，用文字符号及数字编号表示中断，如图 1-14 所示。

c. 连接线穿越图线较多的区域时，将连接线中断，在中断处加相应的标记，见图 1-15。

### (5) 电气设备特定接线端子和特定导线线端的识别

与特定导线直接或通过中间电器相连的电气设备接线端子应按表 1-4 所示的字母进行标记。

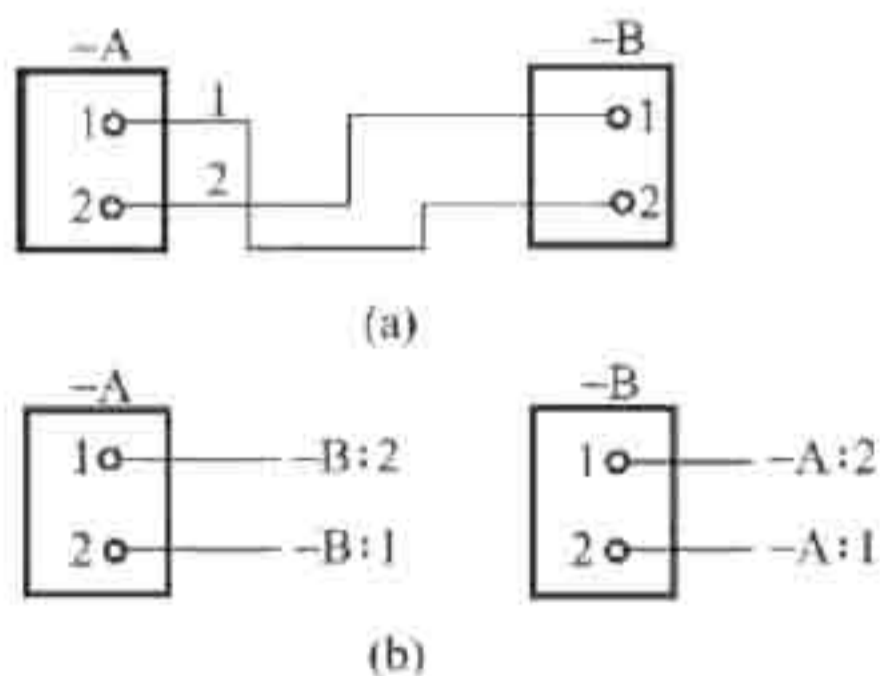


图 1-14 图用符号标记表示中断

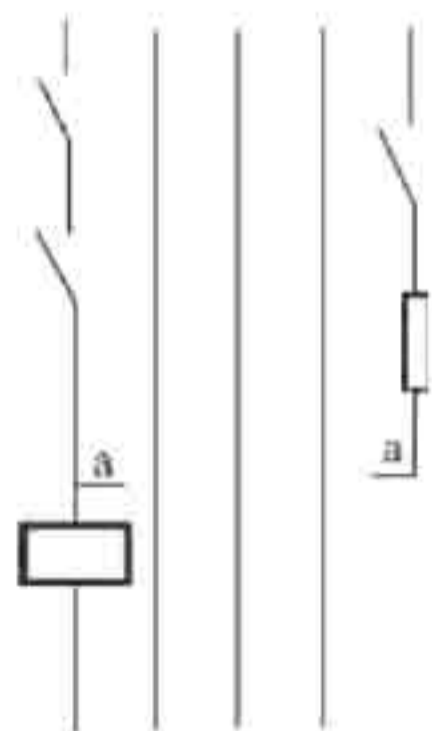


图 1-15 穿越图面的中断线

图 1-16 为按照字母、数字编号标记的电气设备端子和特定导线线端的相互连接示例。

### (6) 绝缘导线的标记

对绝缘导线作标记，是为了区别电路中的导线和已经从其连接端子上拆下来的导线。我国国家标准 GB 4884—85 对绝缘导线的标记作了规定，但电器（如旋转

表 1-4 电器特定端子的标记和特定导线线端的识别

导体名称		标记符号			
		导线线端		电气设备端子	
		新符号	旧符号	新符号	旧符号
交流系统 电源	导体一相	L1	A	U	D1
	导体二相	L2	B	V	D2
	导体三相	L3	C	W	D3
	中性线	N	N	N	0
直流系统 电源	导体正极	L+	+	C	
	导体负极	L <sub>-</sub>	-	D	
	中间线	M		M	
保护接地(保护导体)		PE		PE	
不接地保护导体		PU		PU	
中性保护导体(保护接地线和中性线共用)		PEN		—	
接地导体(接地线)		E		E	
低噪声(防干扰)接地导体		TE		TE	
机壳或机架连接		MM*		MM*	
等电位连接		CC*		CC*	

注：只有当这些接线端子或导体与保护导体或接地导体的电位不等时，才采用这些识别标记。

电机和变压器) 端子的绝缘导线除外，其他设备（如电信电路或包括电信设备的电路）仅作参考。绝缘导线的标记有如下三种。



① 主标记。只标记导线或线束的特征，而不考虑其电气功能的标记系统，称为主标记。主标记又分为从属标记、独立标记和组合标记三种。

a. 从属标记。以导线所连接的端子的标记或线束所连接的设备的标记为依据的导线或线束的标记系统，称为从属标记。

在从属标记中，导线标记可以包括设备标记，见图 1-17、图 1-20 中的 A、D，也可以不包括设备标记，见图 1-18、图 1-19。但在单独使用端子标记将引起混

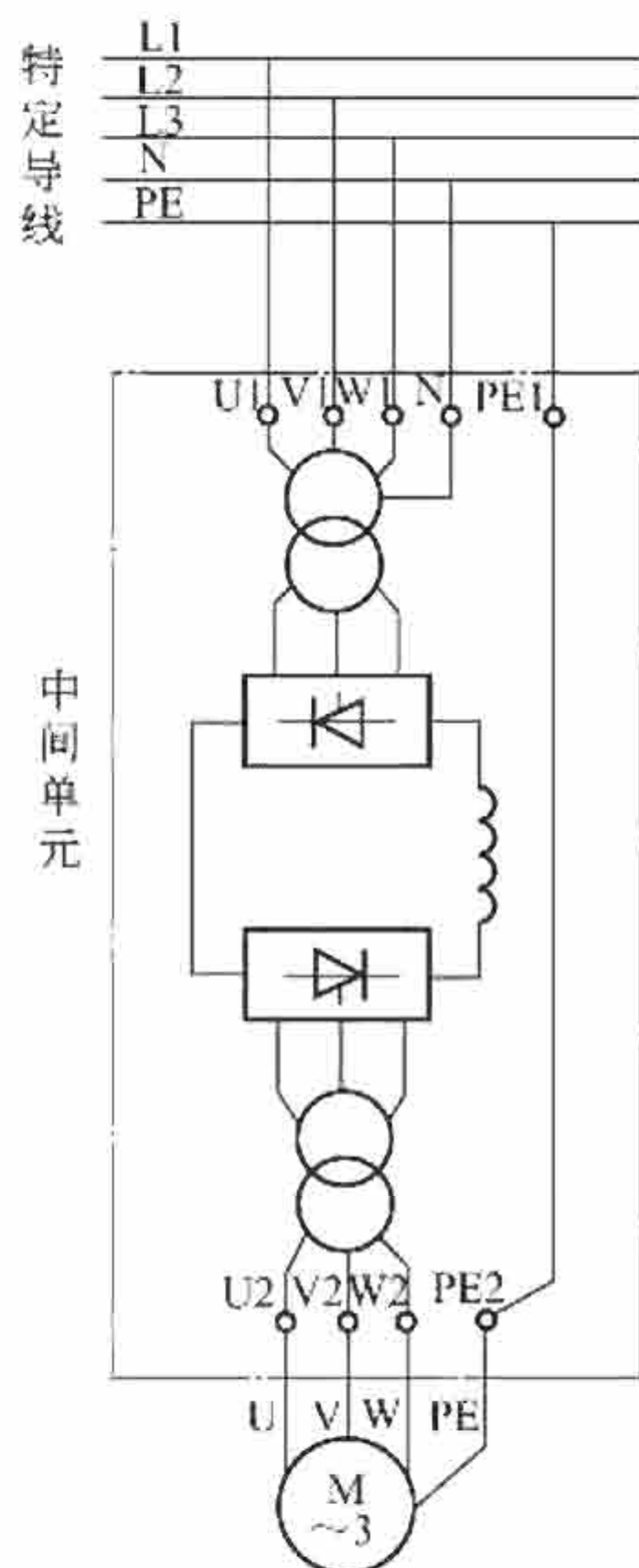


图 1-16 电气设备端子和特定导线的相互连接

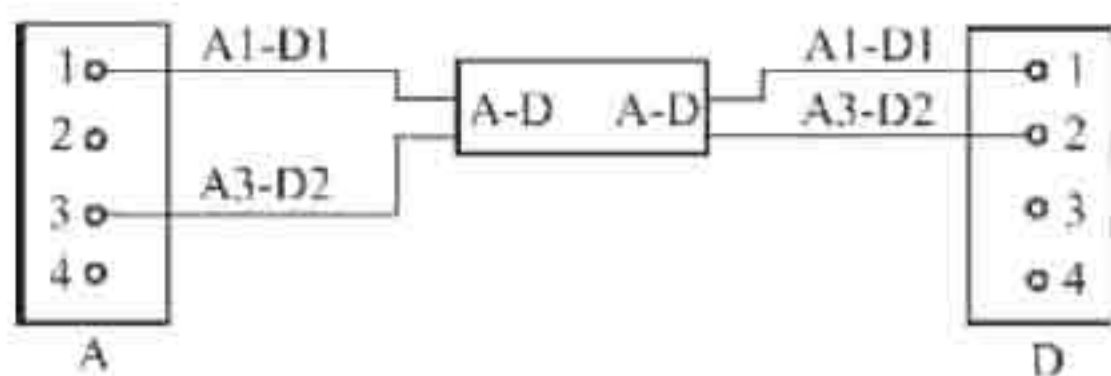


图 1-17 两根导线和线束（电缆）  
从属两端标记示例

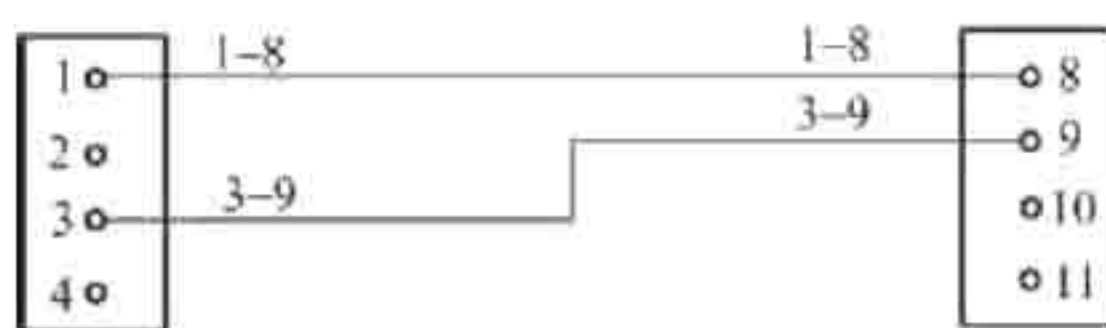


图 1-18 两根导线从属  
两端标记示例

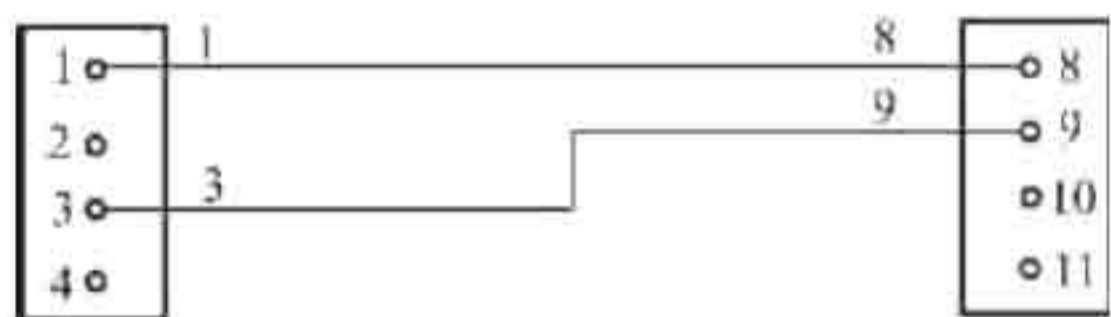


图 1-19 两根导线从属本端  
标记示例

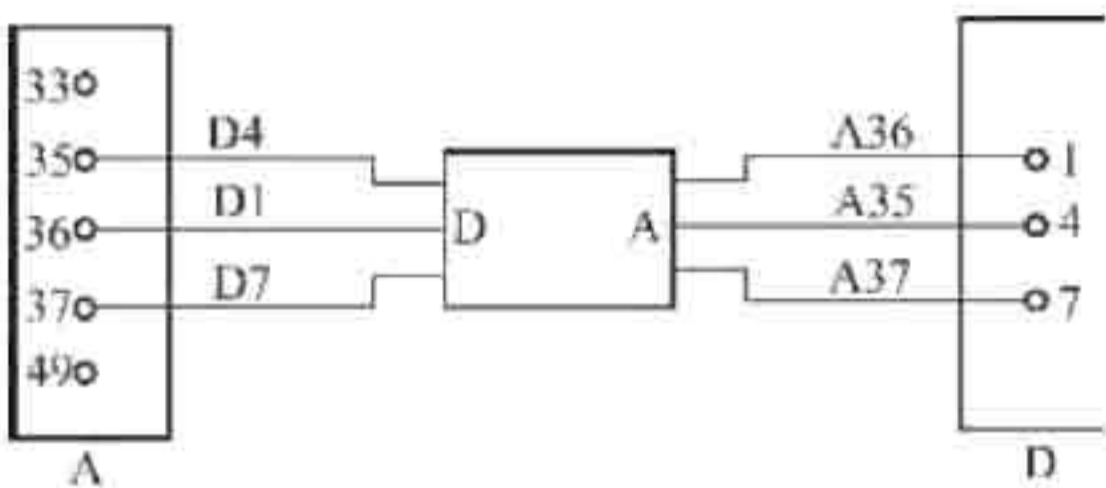


图 1-20 三根导线和线束（电缆）  
从属远端标记示例

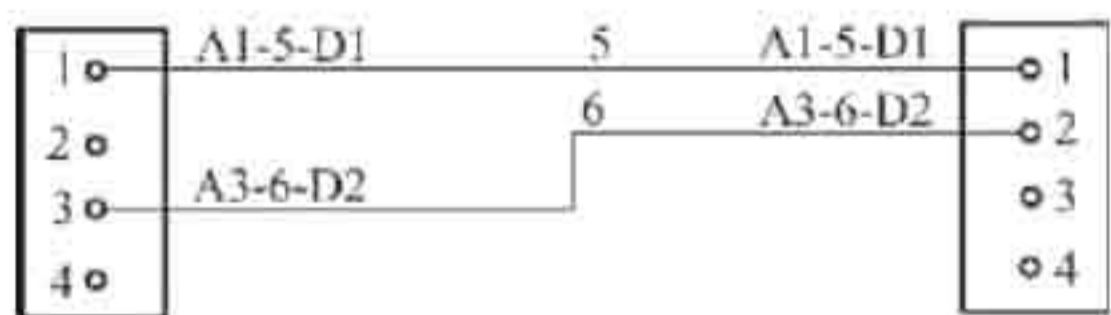


图 1-21 两根导线组合标记示例

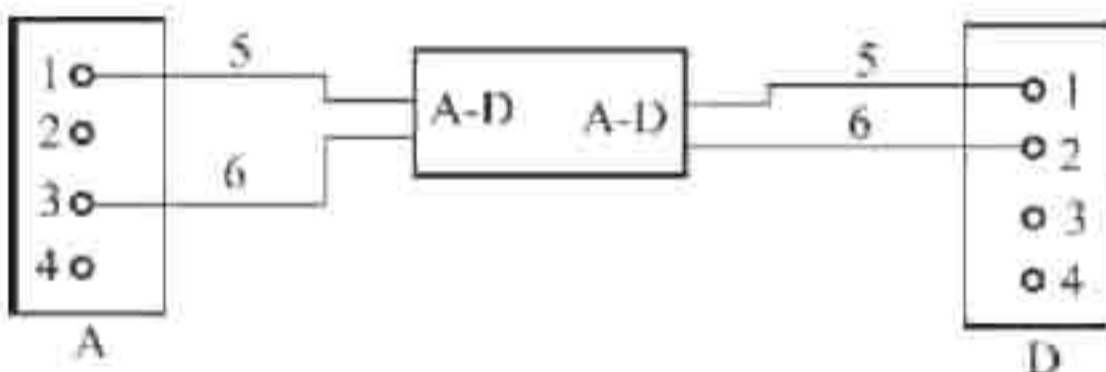


图 1-22 导线独立标记和线束  
（电缆）从属两端标记的示例

淆时，则导线标记必须包括设备标记（见图 1-17）。

从属标记又分为从属两端标记、从属本端标记和从属远端标记三种。

(a) 从属两端标记。对于导线，其每一端都标出与本端连接的端子标记及与远端连接的端子标记，见图 1-18；对于线束，其每端的标记既标出与本端连接的设备的部件，又标出与远端连接的设备部件，如图 1-17 所示。

(b) 从属本端标记。对于导线，其终端的标记与其所连接的端子标记相同，见图 1-19；对于线束，其终端的标记标出其所连接的设备部件。

(c) 从属远端标记。对于导线，其终端的标记具有与远端所连接的端子的标记相同的标记系统；对于线束，其终端的标记标出远端所连接的设备的部件的标记系统。图 1-20 所示系统比图 1-17 所示两端标记更为简单，并便于确定故障点和进行维修，但它通常需要另画接线图或接线表，以便接线在拆下后都能正确进行连接。

b. 独立标记。独立标记是与导线所连接的端子的标记或线束所连接的设备的标记无关的导线或线束的标记系统，通常用线路回路标号标记（见图 1-22）。

c. 组合标记。组合标记是从属标记与独立标记混合使用的标记系统，允许简化导线上可能需要的中间标记见图 1-21 和图 1-23。

② 补充标记。补充标记用于对主标记作补充，它是根据每一导线或线束的电气功能为依据进行标记的系统。

补充标记可以用字母或数字表示，也可以用颜色标记或有关符号表示。补充标记分为功能标记、相位标记、极性标记等。

a. 功能标记。功能标记是分别考虑每一导线的功能（例如开关的闭合或断开、位置的表示、位电流或电压的测量等），或者一起考虑几根导线的功能（电热、照明信号、测量电路）的补充标记。

b. 相位标记。相位标记是表明导线连接到交流系统的某一相的补充标记。相位标记采用大写字母、数字或两者兼用表示相序，如表 1-5 所示。交流系统中的中性线必须用字母 N 标明。同时，为了区别裸导线的相序，利于运行维护和检修，国家标准对三相交流系统中的裸导线涂色作出了规定，见表 1-5。

表 1-5 三相交流系统及直流系统中的裸导线涂色

系统	交流三相系统					直流系统	
	第一相 L1 (A)	第二相 L2 (B)	第三相 L3 (C)	N 线及 PEN 线	PE 线	正极 L <sub>+</sub>	负极 L <sub>-</sub>
涂色	黄	绿	红	淡蓝	黄绿双色	褚	蓝

c. 极性标记。极性标记是表明导线连接到直流电路的某一极的补充标记。用符号标明直流电路导线的极性时，正极用“+”标记，负极用“-”标记，直流系统的中间线用字母 M 标明，如可能发生混淆，则负极标记可用“(一)”表示。

d. 保护导线和接地线的标记。

在任何情况下，字母或数字的排列应便于阅读。它们可以排成列，也可以排成行，并应从上到下、从左到右、靠近连接线或元器件图形符号排列。

## 1.4.2 元件的基本表示方法

### (1) 元件的集中表示法和分开表示法

电气元件、器件和设备（以下统称元件）的功能、特性、外形、结构、安装位置及其在电路中的连接，在不同电气图中有不同的表示方法。同一个元件往往有多种图形符号，如方框符号、简化外形符号（如表示电机和测量仪表的圆形；继电器、接触器线圈的矩形；信号发生器等方形等）及一般符号。在一般符号中，有简单符号，也有包括各种符号要素和限定符号的完整图形符号。

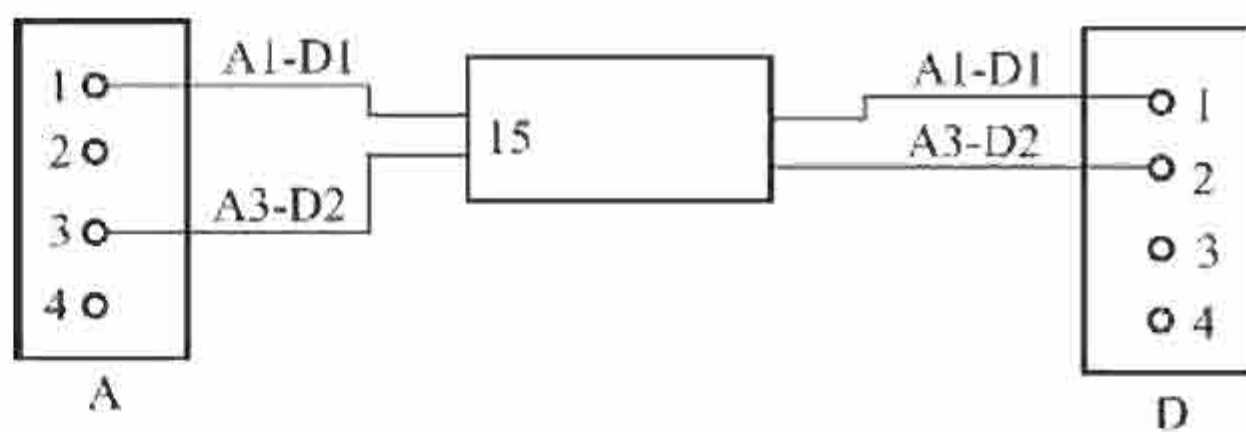


图 1-23 导线从属两端标记和线束（电缆）独立标记的组合标记示例

系统图、框图、位置图、等效电路图、功能图等，通常采用方框符号、简化外形符号或简单符号表示，但电路图和接线图往往用完整图形符号表示。

根据电气图的用途，完整图形符号又分别采用集中表示法、分开表示法和介于两者之间的半集中表示法绘制。图 1-24 为 DL-10 系列电磁式电流继电器和 DS-110、DS-120 系列时间继电器的图形符号，分别采用集中表示法和分开表示法绘制。

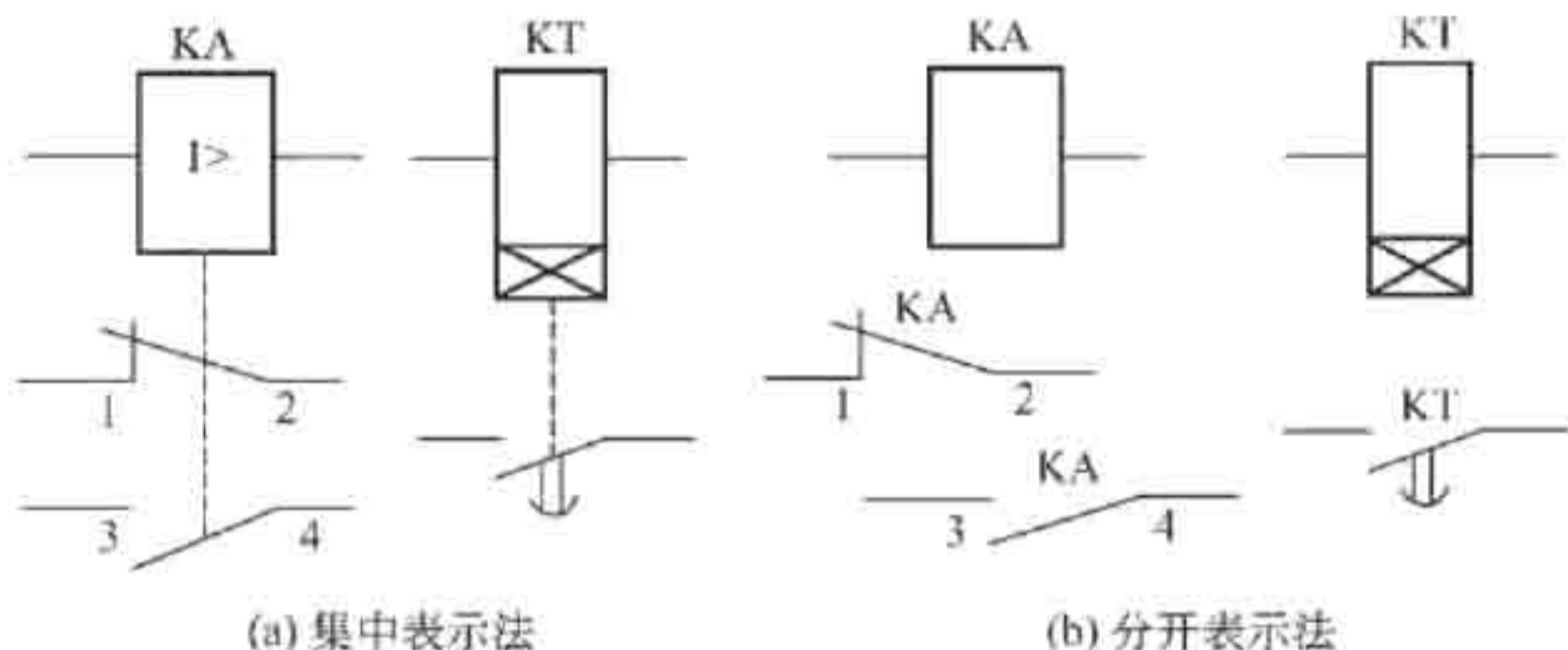


图 1-24 完整图形符号的表示示例

① 集中表示法。集中表示法是把设备或成套装置中一个项目的各组成部分的图形符号在简图上绘制在一起的方法，它只适用于简单的图。

② 分开表示法。分开表示法又称展开表示法，它是把同一项目中的不同部分的图形符号在简图上按不同功能和不同回路分开表示的方法。不同部分的图形符号用同一项目代号表示。分开表示法可避免或减少图线交叉，因而使图面清晰，而且也给分析回路功能及标注回路标号带来了方便。

③ 半集中表示法。为了使设备和装置的电路布局清晰、易于识别，把同一个项目中某些部分的图形符号在简图上集中表示，另一些分开布置，并用机械连接符号（虚线）表示它们之间关系的方法，称为半集中表示法。其中，机械连接线可以弯折、分支或交叉。

## (2) 元件工作状态的表示方法

在电气图中，元件的可动部分均按正常状态表示。

## (3) 元件触头位置的表示方法

元件的触头分为两大类：一类是由电磁力或人工操纵的触头，如电继电器（电磁式、感应式、晶体管式继电器等）、接触器、开关、按钮等的触头；另一类是非电磁力和非人工操纵的触头，如各种非电继电器（气体、速度、压力继电器等）、行程开关等的触头。

① 对于电继电器、接触器、开关、按钮等的触头，在同一电路中，加电或受力后，各触头的动作方向应一致。

对触头符号，通常规定“左开右闭，下开上闭”（国标中规定图形符号可以镜像表示），即：当触头符号垂直放置时，动触头在静触头左侧的为动合（常开）触



头，而在右（或左）侧的为动断（常闭）触头；当触头符号水平放置时，动触头在静触头下（或上）方的为动合（常开）触头，而在上（或下）方的则为动断（常闭）触头，如图 1-25 所示。



图 1-25 触头符号表示示例

② 对非电和非人工操纵的触头，必须在其触头符号附近标明运行方式，一般采用以下三种方法。

a. 用图形表示。如图 1-26(a) 所示，图中，横轴表示转轮的位置，纵轴“0”表示触头断开，而“1”表示触头闭合。

b. 用操作器件的符号表示。如图 1-26(b) 所示，当凸轮推动圆球（ $60^\circ \sim 180^\circ$ 、 $240^\circ \sim 330^\circ$ ）时，触头闭合，其余为断开。图 1-26(c) 也是用操作器件符号表示的，但把凸轮画成展开式，箭头为凸轮行进方向。

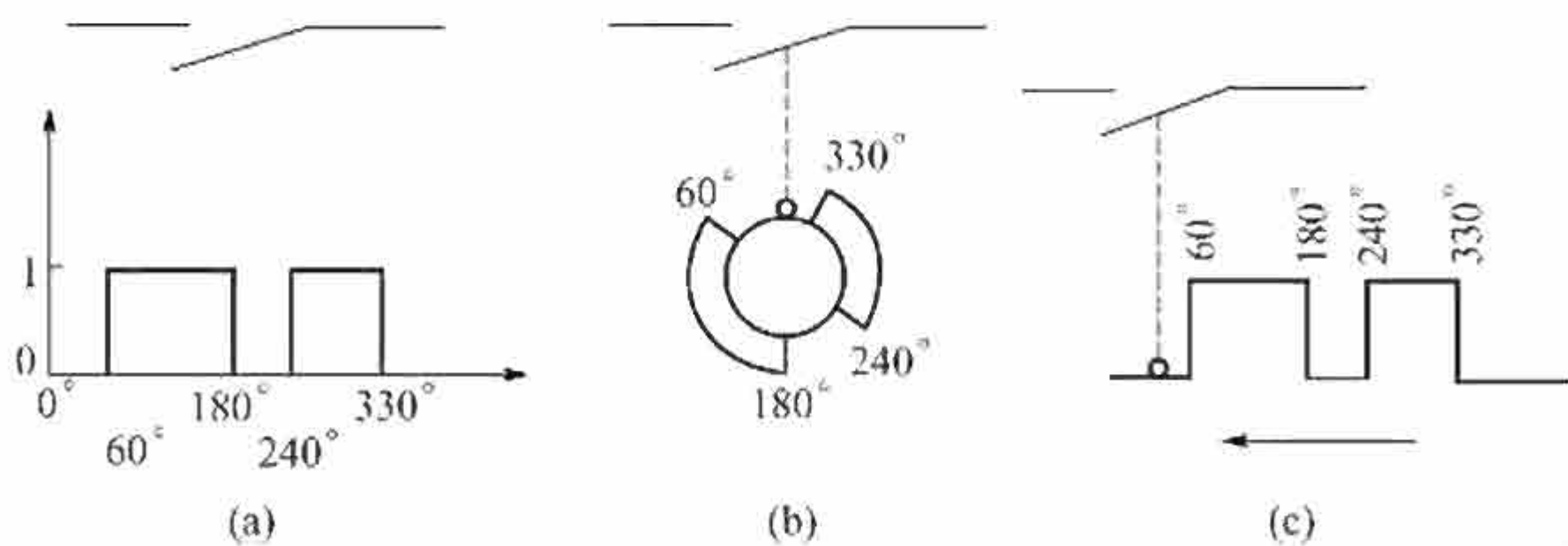


图 1-26 某行程开关触头位置表示方法

c. 用表格法表示。见表 1-6，“0”表示触头断开，“1”表示触头闭合。

表 1-6 某行程开关触头运行方式

角度/ $^\circ$	0~60	60~180	180~240	240~330	330~360
触头状态	0	1	0	1	0

#### (4) 元件的技术数据、有关注释和标志的表示方法

① 元件技术数据的表示方法。元件的技术数据（如型号、规格、整定值等）一般标注在其图形符号的附近，如图 1-27 所示。

技术数据标注的位置通常为：当连接为水平布置时，尽可能标在图形符号的下方；垂直布置时，标在项目代号的下方。技术数据也可以标在继电器线圈、仪表、集成块等的方框符号或简化外形符号内。

在一、二次接线图等电气图中，技术数据常用表格的形式标注，如表 1-7 和表 1-8 所示。表 1-7 为某工厂 10kV 变电所电气主接线图上的主要电气设备、材料明细表（部分），表 1-8 为某变电所线路过电流保护二次回路图的元件明细表（部分）。电气主接线图上要写出“主要电气设备、材料明细表”字样，而二次回路图中通常不另写文字“元件明细表”。

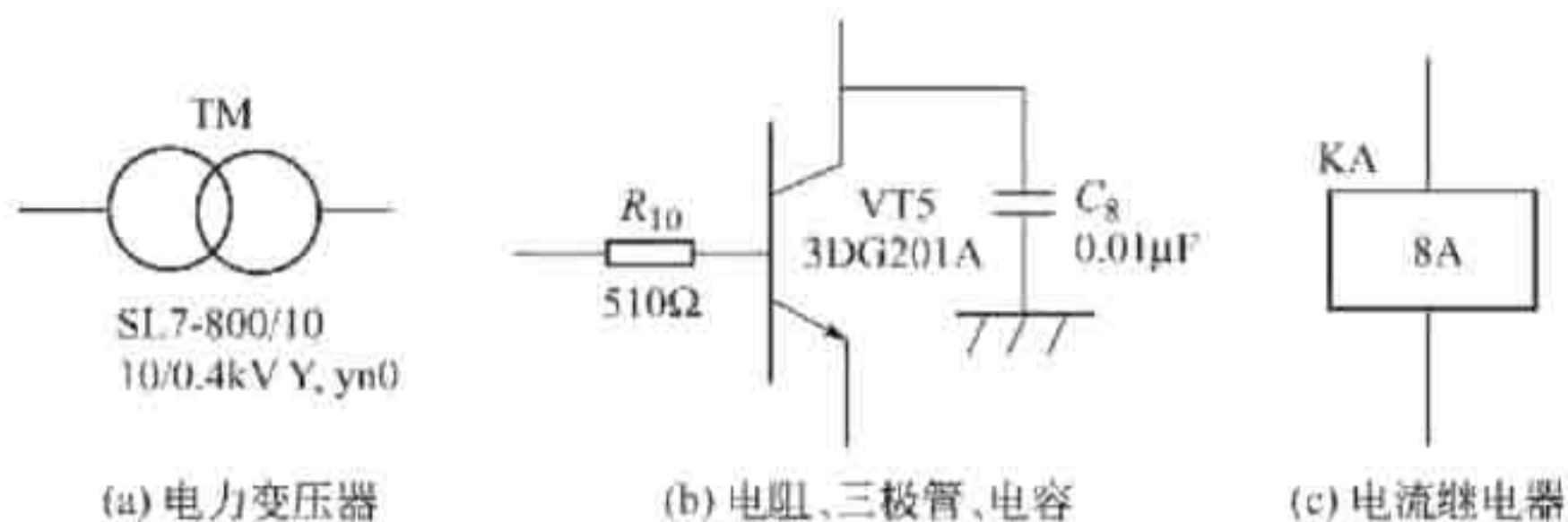


图 1-27 元件技术数据标注方法举例

表 1-7 主要电气设备、材料明细表（部分）

序号	代号	名称	型号规格	单位	数量	备注
1	TM1~2	电力变压器	SL7-800/10 10/0.4kV	台	2	Y,yn0
2	TM3~4	电力变压器	SL7-630/10 10/0.4kV	台	2	Y,yn0
3	TM5	电力变压器	SL7-1000/10 10/0.4kV		1	Y,yn0
4	Y1、Y2	高压开关柜	JYN2-10-02		2	
5	Y3	高压开关柜	JYN2-10-23	台	1	
6	WB	硬母线	TMY-80×10	m		
∴						

表 1-8 元件明细表（部分）

∴	∴	∴	∴	∴	∴	
8	QS	组合开关	HZ10-10/1	只	1	
7	PJ1	有功电能表	DS2 200/5A	只	1	
6	M	储能电动机	HDZ1-5~220V, 450W	只	1	
5	Y0	合闸线圈	~220V, 5A	只	1	
4	YR	分闸脱扣器	CDT-10-114, ~220V	只	1	
3	KS	信号继电器	DX-11/0.25	只	1	
2	KA2	电流继电器	GL-11/5.5A	只	1	
1	KA1	电流继电器	GL-15/5.5A	只	2	
序号	代号	名称	型号规格	单位	数量	备注

② 注释和标志的表示方法。当元件的某些内容不便于用图示形式表达清楚时，可采用注释的方式，如图 1-28 所示。注释可视情况放在它所需要说明的对象附近，

并将加标记的注释放在图中其他部位,如图中注释较多,则应放在图样的边框附近,一般放在标题栏的上方。标记的图形符号见附录B。

### (5) 元件接线端子的表示方法

① 端子及其图形符号。元件中用以连接外部导线的导电元件称为端子。端子分为固定端子和可拆端子两种,固定端子用图形符号“○”或“·”表示,可拆端子则用“⊙”表示。

装有多个互相绝缘并通常对地绝缘的端子的板、块或条称为端子板。端子板常用加数字编号的方框表示。

② 以字母、数字标志接线端子的原则和方法。元件接线端子标记由字母和阿拉伯数字组成,如V1、1V1,也可不用字母而简化成1、1.1或11的形式。接线端子的标志通常应遵守以下原则。

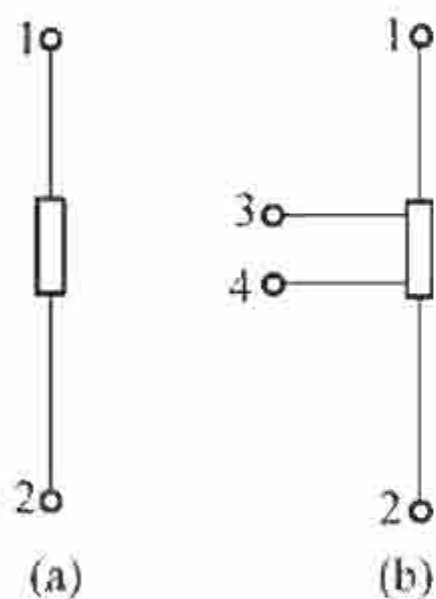


图 1-29 单个元件接线端子标志示例

a. 单个元件。单个元件的两个端点用连续的两个数字表示,如图1-29(a)中绕组的两个接线端子用1和2表示;单个元件中间各端子一般用自然递增数字表示,如图1-29(b)中绕组的中间抽头端子用3和4表示。

b. 相同元件组。如果几个相同的元件组合成一个组,则各元件的接线端子可按下述方式标志:在数字前冠以字母,例如标志三相交流系统电器端子的字母U1、V1、W1等,见图1-30(a)。若不需要区别相序,也可用数字标志,见图1-30(b)。

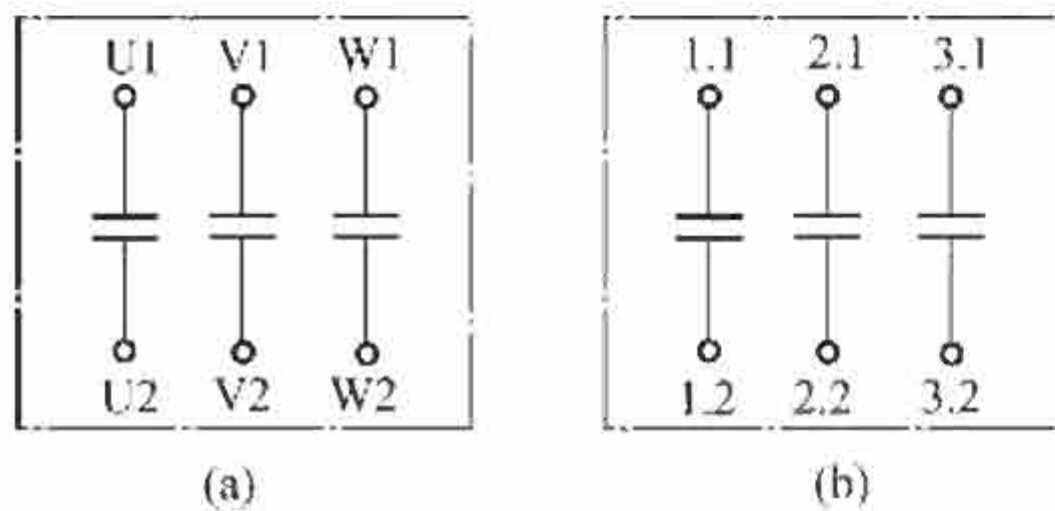


图 1-30 相同元件组接线端子标志示例

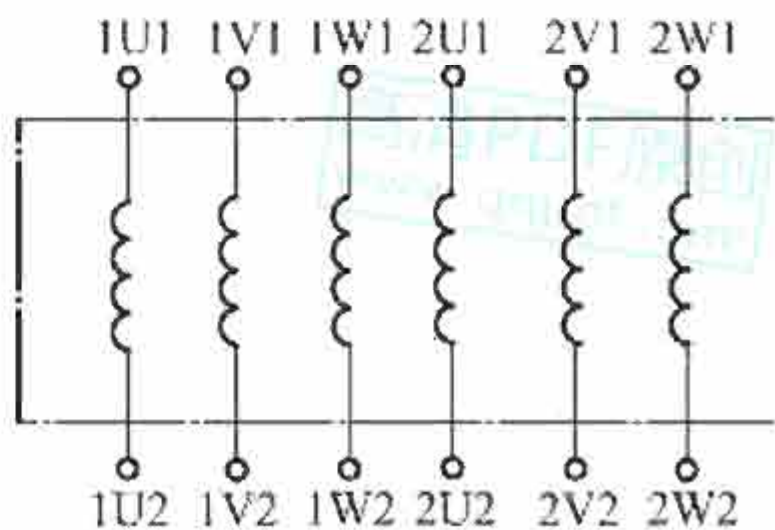


图 1-31 同类元件组接线端子标志示例

c. 同类元件组。同类元件组用相同字母标志时,可在图1-31所示单个元件接线端子标志。

字母前冠以数字来区别,如两组三相异步电动机绕组的接线端子用1U1、2U1……来标志。

d. 与特定导线相连的电器接线端子。

③ 端子代号的标志方法。电阻器、继电器、模拟和数字硬件的端子代号应标

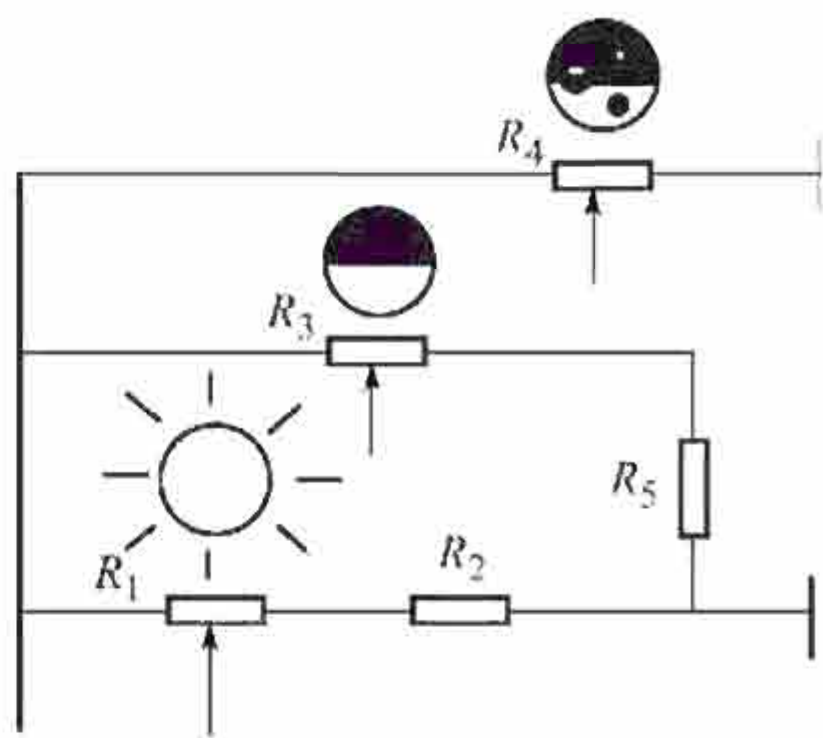


图 1-28 元件有关信息标志示例

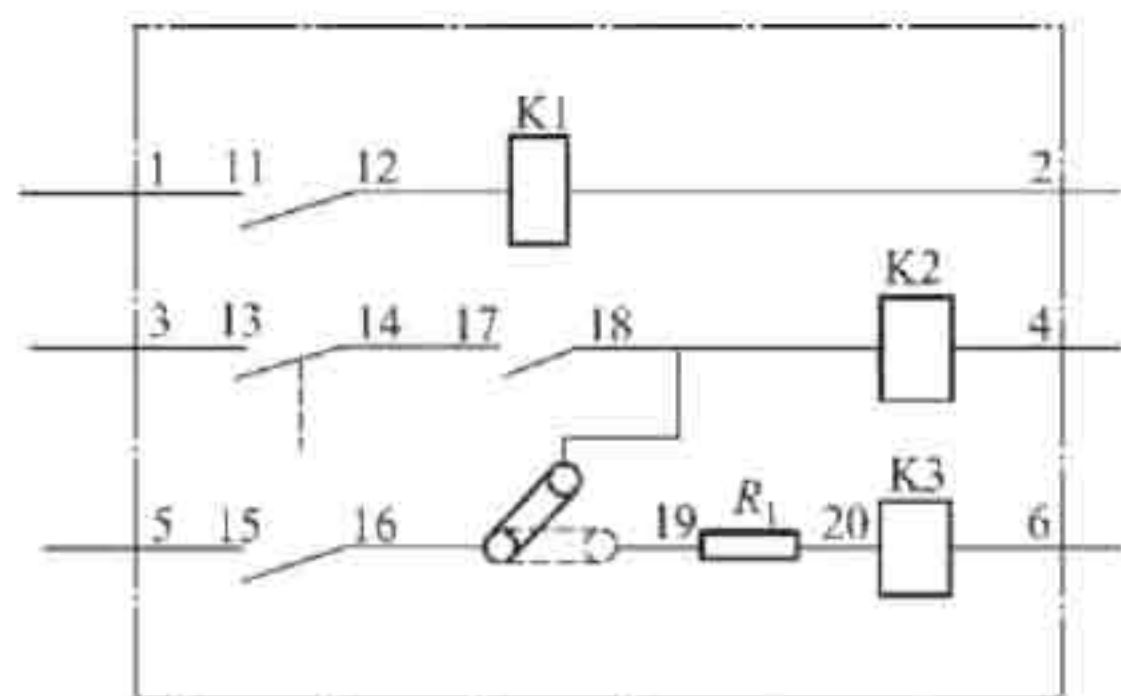


图 1-32 围框端子代号标志示例

在其图形符号轮廓线的外面；用于现场连接、试验和故障查找的连接器件（如端子、插头等）的每一连接点都应标注端子代号；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，如图 1-32 所示。

### 1.4.3 电气图的简化画法

为了清晰、简明地表示电路，电路图应尽量简化。

#### 1.4.3.1 主电路的简化

在发电厂、变配电所和工厂电气控制设备等电路中，主电路通常为三相三线制或三相四线制的对称电路或基本对称电路。在电路图中，可将主电路或部分主电路简化成用单线表示的图，而对于不对称部分及装有电流互感器、热继电器的局部电路，则用多线图（一般为三线图）表示。图 1-33(a) 是三相三线制及三相四线制电路简化成用单线表示的例子，图 1-33(b) 则为对两相式电流互感器及热继电器用三线图表示的局部电路。

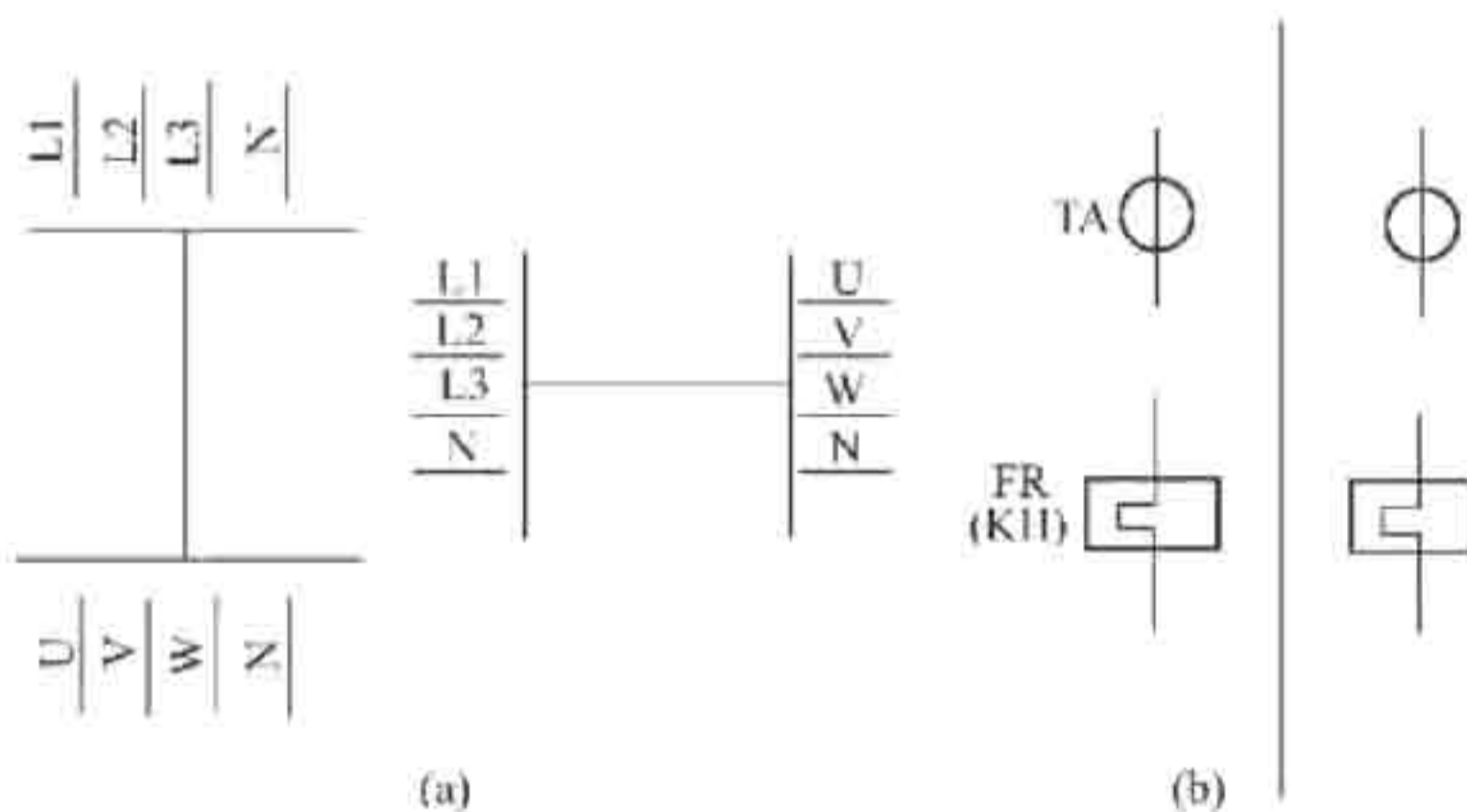


图 1-33 主电路的简化画法

#### 1.4.3.2 并联电路的简化

多个相同的支路并联时，可用标有公共连接符号的一个支路来表示，但仍要标出全部项目代号及并联支路数，如图 1-34(a) 所示，几条具有动合触头的并联支路可简化成一对动合触头支路，但各项目代号 K11、K13、K15 仍要标明。

图 1-34(b) 是含有相同熔断器 FU、二极管 VT、电阻 R、电容 C 等元件，且连接关系相同的四个并联支路的简化画法。

#### 1.4.3.3 相同电路的简化

在同一张电气图中，相同电路仅需详细表示出其中一个，其余的可用点划线围框表示，但仍要绘出各电路与外部连接的有关部分，并在围框内适当加以说明，如

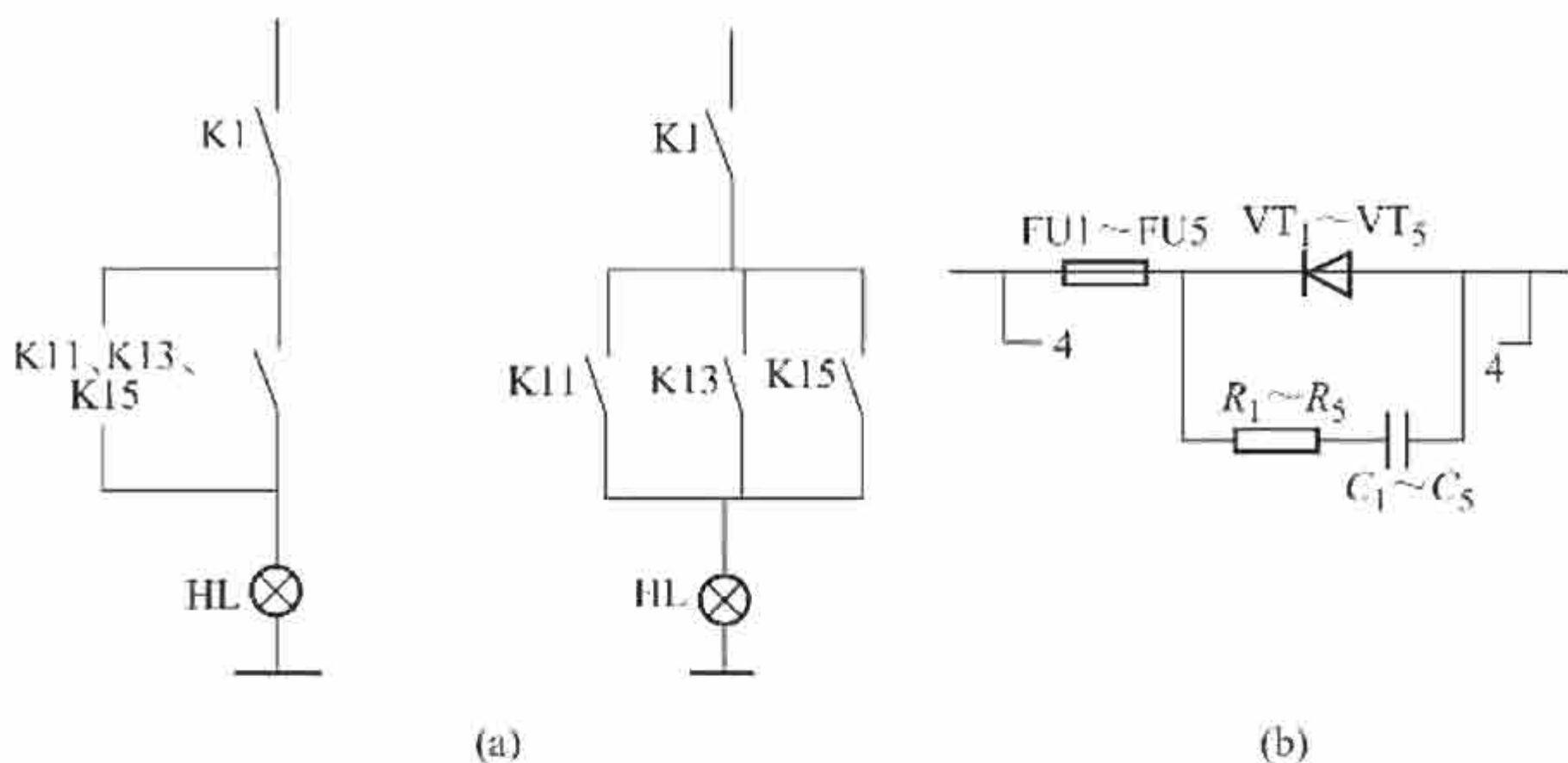


图 1-34 并联电路的简化画法示例

“电路同上”、“电路同左”等。但在供配电电气主接线图中，一般对相同的电路都要分别画出，只是在标注装置、设备的型号、规格时用“设备同左”等字样简化。

## 1.5 电气识图的基本要求和基本步骤

在掌握电气制图的一般规则、熟悉电气图中常用的图形符号、文字符号和项目代号，以及电气图的基本构成、分类、主要特点和绘制电气图的一般规则的基础上，本节讲述电气识图的基本要求和基本步骤，为以后识读各类电气图提供总体思路和引导。

### 1.5.1 识图的基本要求

电工识图要做到“五个结合”。

① 结合电工基础知识识图。各种变配电所、电力拖动、照明以及电子电路等的设计，都离不开电工基础知识，例如，变配电所中各电路的串、并联设计及计算，为提高功率因数而采用补偿电容的设计与计算；又如，电力拖动中常用的笼型异步电动机的正反转控制是根据三相电源相序决定电动机旋转方向的原理达到电动机正反转目的的，而星-三角启动则利用的是电压的变动引起电动机启动电流及转矩变化的原理。为了正确而迅速地识图，具备良好的电工基础知识是十分重要的。

② 结合电器元件的结构和工作原理识图。电路由各种元器件、设备、装置组成，例如，电子电路中的电阻、电容、各种晶体管等，供配电高低压电路中的变压器、隔离开关、断路器、互感器、熔断器、避雷器、继电器、接触器、控制开关以及各类型高低压柜、屏等，必须掌握它们的用途、主要构造、工作原理及与其他元件的相互关系（如连接、功能及位置关系），才能看懂电路图，例如 KA、KT、KS 分别为电流、时间、信号继电器，要看懂图，必须要把这三种继电器的功能、主要构造（线圈、触头）、动作原理（如时间继电器的延时闭合或延时断开）及相

互关系搞清楚；又如电子电路的放大电路，必须把三极管、晶闸管、电阻、电容的基本构造、工作原理弄懂，才能识图。

③ 结合典型电路识图。典型电路即常见、常用的基本电路，如供配电系统中电气主接线最常见、常用的是单母线接线，由此可导出单母线不分段、单母线分段，而由单母线分段区分是隔离开关（低压电路为刀开关）分段还是断路器分段；又如电力拖动中的启动、制动、正反转控制电路、联锁电路、行程限位控制电路，电子电路中的整流、放大、振荡、调谐等电路都是典型电路。

一张复杂的电路图总是由典型电路派生而来的，或者由若干典型电路组合而成的，在识图时，抓住典型电路，分清主次环节及其与其他部分的相互联系是很重要的。

④ 结合电气图的绘制特点识图。掌握电气图的主要特点及绘制电气图的一般规则，例如电气图的布局、图形符号及文字符号的含义、图线的粗细、主副电路的位置、触头的画法，对识图也是大有帮助的。

⑤ 结合其他专业技术图识图。土建图（土建工程图）、管道图、机械设备图等往往与电气图密切相关，各种电气布置图更是如此。因此，电气图应与相关图样一并识读。

## 1.5.2 识图的基本步骤

根据电气项目类别（如供配电、电力拖动、电子技术等）及其规模的不同，电气图的种类及数量相差甚多，电气图识读的内容及步骤也有所差别，甚至同一电气类别的电气图的阅读，也可能要交叉进行。这里按电气图类别分为两种情况分别叙述。

### （1）供配电系统识图的基本步骤

① 看图样说明。阅读内容包括首页的图样目录、技术说明、设备材料明细表和设计、施工说明书等，由此对工程项目的设计内容及总体要求大致有所了解，有助于抓住图的重点内容。然后看有关各电气图，看图的基本步骤一般是：从标题栏、技术说明到图形、元件明细表，从总体到局部，从电源到负载，从主电路到副电路，从电路到元件，从上到下，从左到右。

② 看电气原理图（原理接线图）。看电气原理图时，先要分清主电路和副电路、交流电路和直流电路，再按照先看主电路、后看副电路的顺序读图。

看主电路时，一般是由上向下，即由电源经开关设备及导线向负载方向看；看副电路时，则从上向下、从左向右（少数也有从右向左的），即先看电源，再依次看各个回路，分析各副电路组成和工作原理，以及对主电路的控制、保护、测量、指示、监察功能。

③ 看安装接线图。看安装接线图时，同样是先看主电路，再看副电路。看主电路时，从电源引入端开始，经开关设备、线路到负载（用电设备）；看副电路时，

从电源的一端到另一端，按元件连接顺序依次对回路进行分析。

安装接线图是由原理接线图绘制而来的，因此，安装接线图要与原理接线图对照起来识读。

另外，对各回路标号、端子板（排）上内外电路的连接等的分析对识图无疑也是有极为重要的作用的。

④ 看展开接线图。识读用分开表示法绘制的展开接线图（简称展开图），应结合电气原理图一起进行。

看展开图时，一般是先看各展开回路名称，然后从上到下、从左到右识读。要特别注意，在展开图中，同一电气元件的各部件是按其功能分别画在不同回路中的（同一电气元件的各部件均标注同一项目代号，其项目代号通常由文字符号和数字编号组成），因此，读图时要注意该元件各部件动作之间的相互联系。

⑤ 看平面、剖面布置图。看电气布置图时，要先了解土建、管道等相关图样，然后看电气设备的位置（包括平面、立面位置），由投影关系详细分析各设备具体位置及尺寸，并弄清各电气设备之间的相互连接关系、线路引入、引出走向等。

## （2）其他类别图识读的基本步骤

其他类别的电气图，如电力拖动、电子电路、梯形图等，识读的原则及步骤同供配电系统图类似，但也有一些区别。

① 看标题栏。由此了解电气项目名称、图名等有关内容，对该图的类型、作用、表达的大致内容有一个比较明确的认识和印象。

② 看技术说明或技术要求。了解该图设计要点、安装要求及图中未表达而需要说明的事项。

③ 看电气图。这是识图的最主要的内容，包括看该图的组成、各组成部分的功能、元件工作原理、能量流或信息流的方向及各元件的连接关系等。由此对该图所表达电路的功能、工作原理有比较深入的理解。

识读电气图的关键在于必须具有一定的专业知识，并熟悉电气图绘制的基本知识，熟知常用电气图形符号、文字符号和项目代号。

第一，根据绘制电气图的一般规则，概要了解该图的布局、主要元器件图形符号的布置、各项目代号的相互关系及相互连接等。

第二，按不同情况可分别用下列方法进行分析。

一是按能量流、信息流的流向逐级分析，如从电源开始分析到负载，或由信号输入分析到信号输出。此法适用于供配电及电子电路图。

二是按布局从主到次、从上到下、从左到右逐步分析。

三是按主电路、副电路（习惯称为二次回路）各单元进行分析。先分析主电路，然后分析各二次回路与主电路之间、二次回路相互之间的功能及连接关系。这种办法适用于识读工厂供配电、电力拖动及自动控制方面的电气图。

第三，识读项目的组成单元（若干元件，或组件、部件）及各单元之间的连接关系或耦合方式，注意电气与机械机构之间的连接关系。

第四，由各元器件在电路中的作用，分析各回路乃至整个电路的功能、工作原理。

第五，由元件、设备明细表了解元件或设备名称、种类、型号、主要技术参数、数量等。

第六，除了读懂工作需要的本专业图样外，对有关的其他电气图、技术资料、表图等，以及相关的其他专业技术图也应有所了解，以便全面掌握该电气项目情况，并对识读本专业图样起到重要的帮助作用。

## 1.6 电气制图国家标准的一般规定

### 1.6.1 图纸幅面及格式

#### (1) 图纸幅面及尺寸

电气图的图纸幅面代号及尺寸规定与 GB/T 14689—93 技术制图中“图纸幅面和格式”基本相同，其图纸幅面一般分为五种：0号、1号、2号、3号和4号，分别用 A0、A1、A2、A3 及 A4 表示。幅面尺寸如表 1-9 所示，尺寸代号的含义如图 1-35 所示。少数情况下，可按规定加大幅面。

表 1-9 图幅尺寸

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
宽×长(B×L)/mm×mm	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
边宽 f/mm	10			5	
装订侧边宽 n/mm	25				

选择图纸时，应在图面布局紧凑、清晰、匀称、使用方便的前提下，按照表述对象的规模、复杂程度及要求，尽量选用较小的幅面。

#### (2) 标题栏

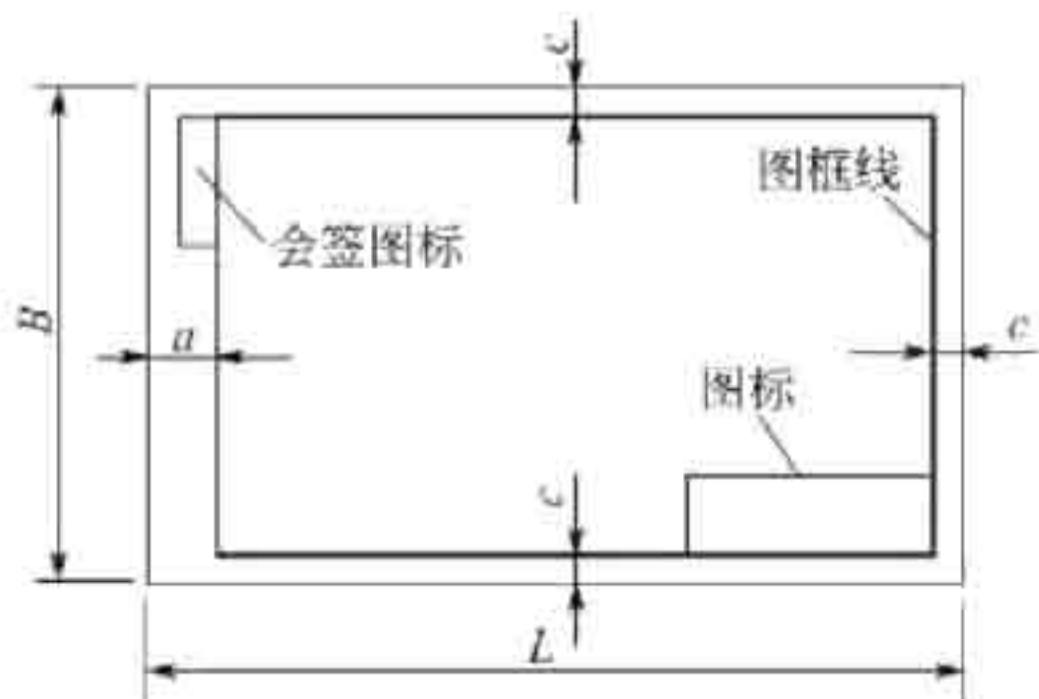


图 1-35 图幅尺寸代号的含义

标题栏又称图标，一般在图样的右下角，其内容主要包括：图名、图号、工程名称、设计单位、设计、制图及描图者、审核及批准者、比例、单位、日期等。

在图样的左上角图框线外的会签表标记各相关专业的的设计人员会审认可的签名及日期。







## 1.6.2 图线、字体和比例

### (1) 图线的名称、形式及其应用

GB 4457.4—84 规定了八种图线,即粗实线、细实线、波浪线、双折线、虚线、细点画线、粗点画线、双点画线。电气图中使用较多的是粗实线、细实线、虚线和细点画线。各图线的形式、宽度及应用见表 1-10。

表 1-10 图线

序号	名称	代号	形式	宽度	应用举例
1	粗实线	A		$b$	可见轮廓线、可见过渡线、电气图中简图主要内容用线、可见导线、图框线
2	中实线			约 $b/2$	土建平、立面图上门、窗等的外轮廓线
3	细实线	B		约 $b/3$	尺寸线、尺寸界线、剖面线、引出线、分界线、范围线、辅助线、弯折线、指引线
4	波浪线	C		约 $b/3$	图形未全画出时的折断界线、中断线、局部剖视图或局部放大图的边界线
5	双折线 (折断线)	D		约 $b/3$	被断开部分的边界线
6	虚线	F		约 $b/3$	不可见轮廓线、不可见过渡线、不可见导线、计划扩展内容用线、地下管道(粗虚线)、屏蔽线
7	细点画线	G		约 $b/3$	物体(或建筑物、构筑物)的中心线、对称线、回转体轴线、分界线、结构围框线、功能围框线、分组围框线
8	粗点画线	J		$b$	有特殊要求的线或表面的表示线、平面图中大型构件的轴线及位置线、起重机轨道
9	双点画线	K		约 $b/3$	运动零件在极限或中间位置时的轮廓线、辅助零件的轮廓线及其剖面线、剖视图中被剖去的前面部分的假想投影轮廓线、中断线、辅助围框线

注:中实线非国标规定,因绘图时需要而列于此。

图线宽度一般为 0.25mm、0.35mm、0.5mm、0.7mm、1.0mm 及 1.4mm,以粗实线宽度  $b$  为准,通常在同一张图中只选用 2~3 种宽度的图线,粗实线的宽度为细实线的 2~3 倍。

图中平行线的最小间距应不小于粗实线宽度的 2 倍,且不小于 0.7mm。

### (2) 箭头及尺寸线、尺寸界线

尺寸是制造、施工、加工和装配的主要依据。尺寸由尺寸标注、尺寸界线、尺寸起止点的箭头或 45°短划线及尺寸数字四个要素组成,见图 1-36。

① 尺寸单位。各种工程图上标注的尺寸,除标高、总平面图和一些特大构件

的尺寸以 m (米) 为单位, 建筑图用 cm (厘米) 为单位外, 其余一律以 mm (毫米) 为单位。凡尺寸单位是 mm 时不必注明, 采用其他单位时必须注明单位的代号或名称。在同一图样中, 每一尺寸一般只标注一次 (建筑电气图上允许注重复尺寸)。

② 尺寸数字。一般注在尺寸线的上方或中断处。

③ 尺寸起止点的箭头。一般用实心箭头表示, 建筑图中则常用  $45^\circ$  短划线表示。在电气制图中, 为了区分不同的含义, 规定电气能量、电气信号的传递方向 (即能量流、信息流流向) 用开口箭头, 而实心箭头主要用于可变性物理量、力或运动方向, 以及指引线。图 1-37 中, 电流  $I$  的方向用开口箭头表示, 而可变电容  $C$  的可变性限定符号及电压  $U$  的方向用实心箭头表示。

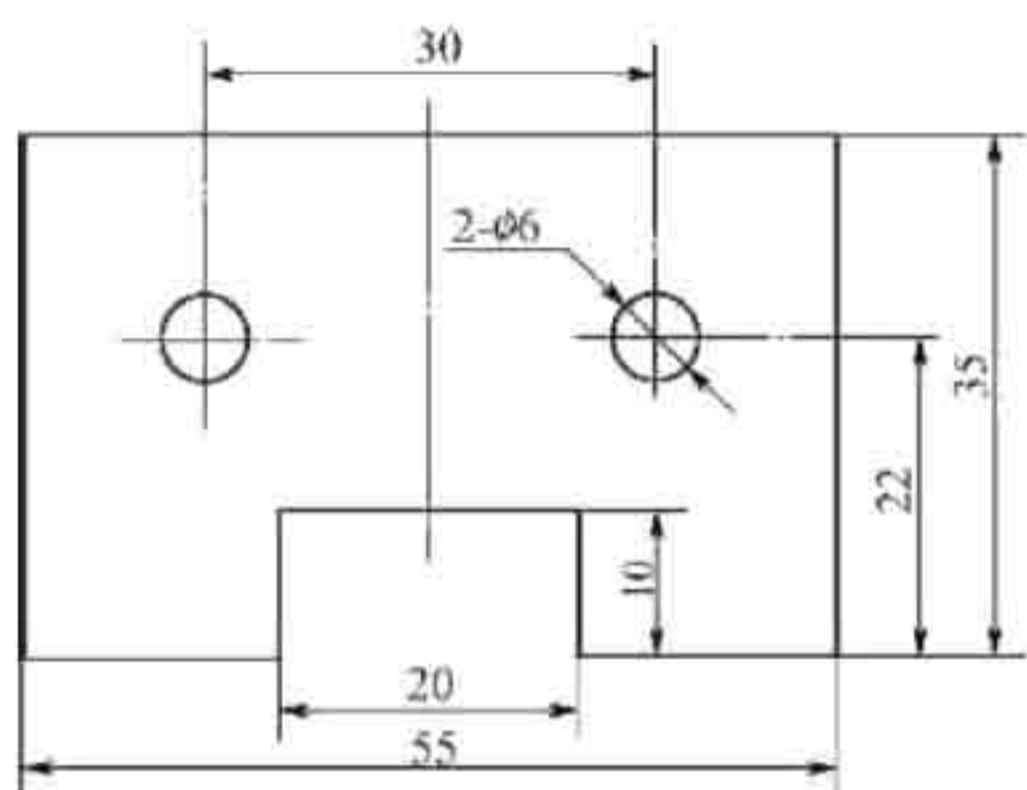


图 1-36 尺寸的组成

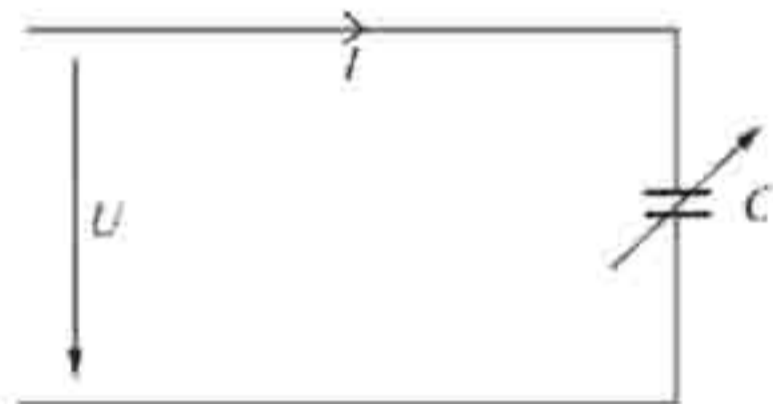


图 1-37 电气图中的箭头使用示例

### (3) 指引线

电气图中用来标注某一元器件或某一部分的指向线统称为指引线, 用细实线表示, 指向被标注处, 且根据不同情况在其末端加注以下标记。

① 指引线末端在轮廓线以内时, 加一黑点, 见图 1-38(a)。

② 指引线末端在轮廓线上时, 加一实心箭头, 见图 1-38(b)。

③ 指引线末端在回路线上时, 加一短线, 见图 1-38(c)。

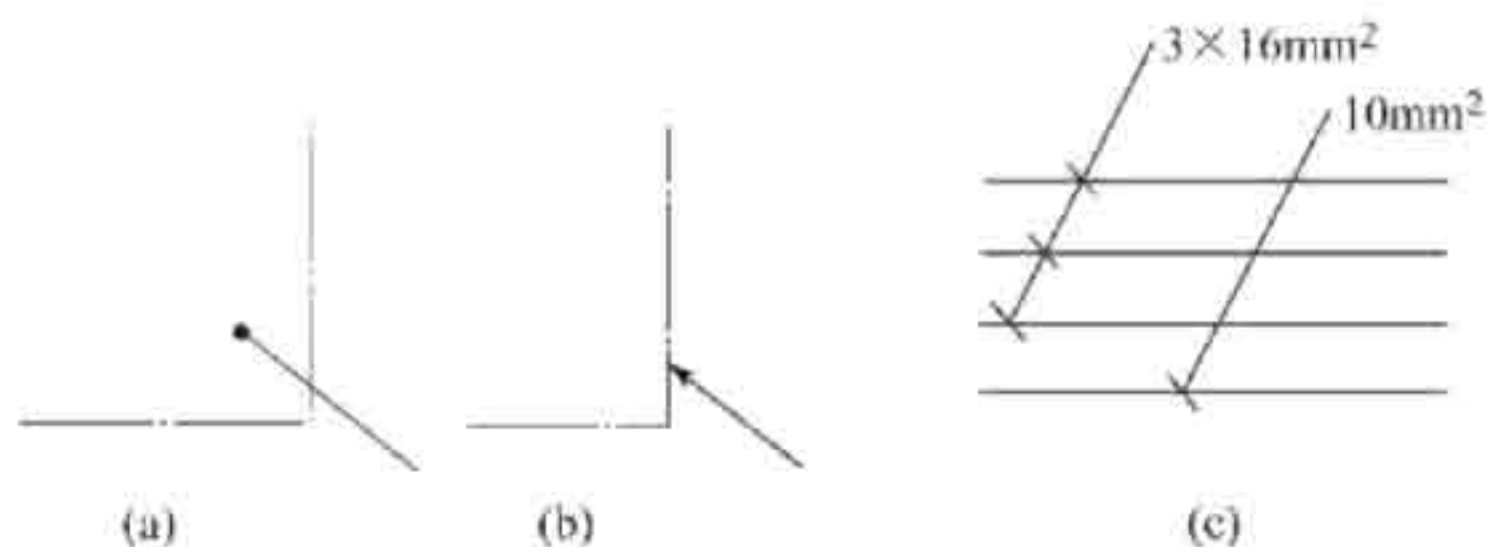


图 1-38 指引线的画法

### (4) 连接线

电气图上各种图形符号之间的相互连线, 统称为连接线。连接线一般用实线表示, 计划扩展的内容用虚线。当为了突出或区分不同电路的功能时, 可采用不同宽

度的图线表示。

连接线的识别标记一般注在靠近连接线的上方，也可在中断处标注，见图 1-39。



图 1-39 连接线的标记

有多根平行线或一组线时，为避免画面繁杂，可采用单线表示，见图 1-40。

当连接线穿越图面其他部分时，允许将连接线中断，并在中断处加相应标记。

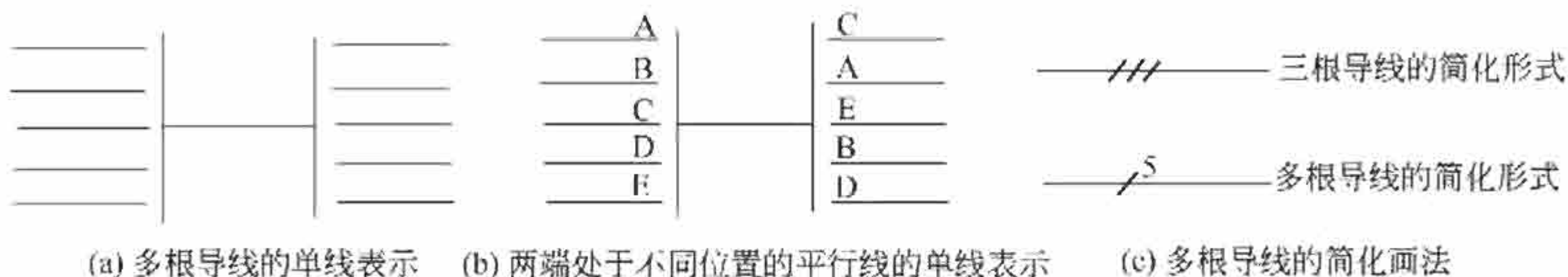


图 1-40 多根导线或连接线的简化画法

#### (5) 围框

围框用来在图上表示出其中一部分的功能、结构或项目的范围，用细点划线表示。围框的形状可以不规则。围框线一般不应与元件符号相交（插头、插座和端子符号除外）。

#### (6) 字体

按 GB/T 14691—93 规定，在图样中书写的汉字、数字和字母，都必须做到字体端正、笔画清楚、排列整齐、间隔均匀，以保证图样的正确和清晰。

汉字应写成长仿宋体，并应采用国家正式公布的简化字。汉字按字高（以 mm 为单位）分为 20 号、10 号、7 号、5 号、3.5 号、2.5 号和 1.8 号八种字号，字宽约为字高的 2/3。2.5 号和 1.8 号字一般不用。

数字通常采用斜体（电气制图中采用正体）。

字母有大写、小写和正体、斜体之分。

#### (7) 比例

图样的比例是指图形的大小与实际物件的大小之比。

电气制图中需要按比例绘制的图通常是平面、剖面布置图等用于安装电气设备及布线的简图，图样比例一般在 1:10、1:20、1:50、1:100、1:200 及 1:500 系列中选择，如需用其他比例，应按国家有关标准选择。

## 第2章 电气原理图识图方法

读懂电气原理图应掌握识图的基本方法和步骤，熟悉常用的基本电路。本章将先介绍电气原理图识图的基本步骤；然后介绍电路中的基本保护环节、自锁环节、联锁环节；再介绍一些常用的控制原则。

### 2.1 电气原理图中的主电路和辅助电路

电气原理图根据习惯画法可分为主电路和辅助电路（又称为控制电路）两种电路。现以三相异步电动机电气原理图为例，阐述什么是主电路，什么是辅助电路。三相异步电动机的电气原理图如图 2-1 所示，图中，QK 为刀开关；1FU、2FU 为熔断器；SB 为按钮；KM 为交流接触器；M 为三相异步电动机。

#### 2.1.1 主电路

主电路是指给用电器（电动机、电弧炉等）供电的电路，是受辅助电路控制的电路。主电路又称为主回路。主电路习惯画在图纸的左边或上部。图 2-1 中左边的电路就是主电路。

#### 2.1.2 辅助电路

辅助电路是指给控制元件供电的电路，是控制主电路动作的电路，也可以说是给主电路发出指令信号的电路。辅助电路又称为控制电路、控制回路等。辅助电路习惯画在图纸的右边或下部。图 2-1 中右边的电路就是辅助电路。

在实际电气原理图中，主电路一般比较简单，用电器数量较少；而辅助电路比主电路要复杂，控制元件也较多，有的辅助电路很复杂，例如以计算机为控制核心的控制电路就是很复杂的。一般由输入信号电路、信号处理中心、输出信号电路、信号放大电路、驱动电路等多个单元电路组成。每个单元电路中又有若干小的回路，每个小的回路中有一个或几个控制元件。这样复杂的控制电路分析起来是比较困难的，要求有坚实的理论基础和丰富的实践经验。

### 2.2 看电路原理图的步骤和方法

要想看懂电气原理图，首先必须熟记电气图形符号所代表的电气设备、装置和控制元件。看电气原理图的一般方法是：先看主电路，后看辅助电路，并根据辅助

电路各小回路中控制元件的动作情况研究辅助电路对主电路的控制情况。

### 2.2.1 看主电路的具体步骤

① 看用电器。用电器所在的电路是主电路。用电器是指消耗电能或者将电能转变为其他能量的电气设备、装置等（如电动机、电弧炉等）。看图时首先要看清楚主电路中有几个用电器、它们的类别、用途、接线方式以及一些不同的要求等。图 2-1 中用电器是一台三相异步电动机。

② 看清楚主电路中的用电器是用什么样的控制元件控制，用几个控制元件控制。图 2-1 中三相异步电动机启动与停止受接触器 KM 控制。

实际电路中对用电器的控制方法有很多种。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。正因为用电器种类繁多，所以对用电器的控制方法就有很多种，这就要求分析清楚主电路中的用电器与控制元件的对应关系。

③ 看清楚主电路除用电器以外的其他元器件，以及这些元器件所起的作用，例如在图 2-1 中，主电路除三相异步电动机外还有刀开关 QK 和熔断器 FU 两个元件。刀开关 QK 是总电源开关，也就是使电路与电源接通或断开的开关；FU 熔断器起短路保护作用，即电路发生短路时，熔断器的熔体立即熔断，使负载与电源断开。

主电路中元器件和用电器一般情况下都比辅助电路中的控制元件要少。看主电路时，可以顺着电源引入端朝下逐项观察。

④ 看电源，了解电源的种类和电压等级。电源有直流电源和交流电源两种类型。直流电由直流发电机供给，也可由整流设备供给。直流电源常见的电压等级为 660V、220V、110V、24V、12V 等。交流电多数情况下是由三相交流电网供电，有时也用交流发电机供电。交流电源电压等级有 380V、220V、110V、36V、24V 等，频率多为 50Hz（高频交流发电机发出的交流电频率不是 50Hz）。

图 2-1 中，电源为 380V 三相交流电，电压频率为 50Hz。

### 2.2.2 看辅助电路的具体步骤

① 看辅助电路的电源，分清辅助电路电源种类和电压等级。辅助电路的电源有两种：一种是交流电源，另一种是直流电源。辅助电路所用交流电源电压一般为

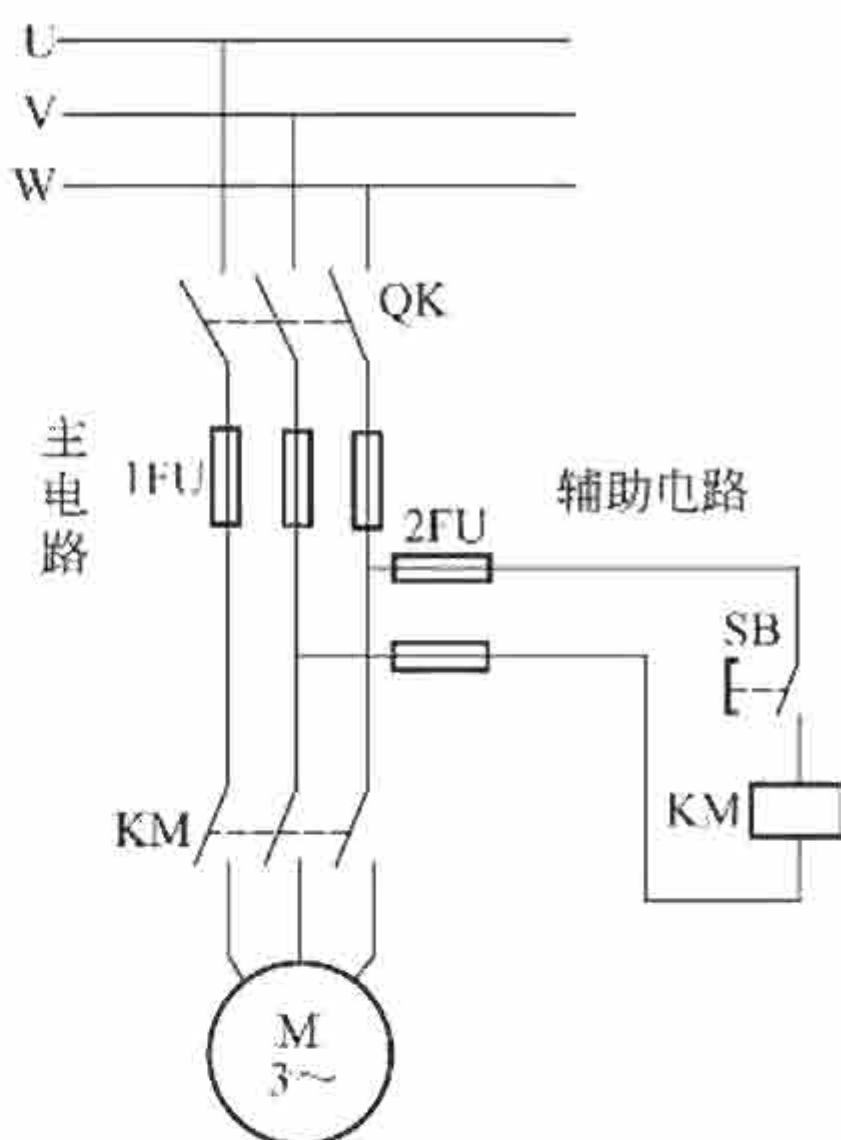


图 2-1 三相异步电动机  
电气原理图

380V 或 220V，频率为 50Hz。辅助电路电源若是引自三相电源的两根相线（火线），则电压为 380V；若辅助电路电源取自三相电源的一根相线和一根零线，则电压为 220V。辅助电路电源若为直流，一般常用的直流电源电压等级有 110V、24V、12V 等三种。若在同一个电路中，主电路电源为交流，而辅助电路电源为直流电源，一般情况下，辅助电路通过整流装置（整流环节）供电；若主电路和辅助电路的电源都为交流电源，则辅助电路电源一般引自主电路。在图 2-1 中，主电路和辅助电路电源都是交流电源；辅助电路电源是从主电路 1FU 熔断器的两个元件下端引出的，所以辅助电路电源电压为 380V。

弄清楚辅助电路的电源种类和电压等级，才能合理地选择控制元件。图 2-1 所示的辅助电路电源为交流 380V，则控制元件的按钮开关 SB 耐压应为交流 500V；控制元件的接触器线圈额定电压必须是 380V（俗称 380V 交流接触器）。由此可见，辅助电路中的控制元件所需的电源种类和电压等级必须与辅助电路电源种类和电压等级相一致。绝对不允许将交流接触器、继电器等控制元件用于直流电路中，也不允许直流接触器、继电器等控制元件用于交流电路。一旦将有线圈的交流控制元件误接于直流电路，控制元件通电，会立即使线圈烧毁；而误将有线圈的直流控制元件接入交流电路，控制元件通电，也不能正常动作。

② 弄清辅助电路中每个控制元件的作用。弄清辅助电路中的控制元件对主电路用电器的控制关系是识电路图最关键的环节。可以说弄清了辅助电路各控制元件的作用和各控制元件对主电路用电器的控制关系，就读懂了电路原理图。

辅助电路是一个大回路，而在大回路中经常包含着若干个小的回路；在每个小回路中有一个或多个控制元件。一般情况下，主电路中用电器越多，则辅助电路的小回路和控制元件也就越多。在实际电路中，控制元件数都比主电路用电器数多。

在图 2-1 所示的电路中，辅助电路只有一个回路，在此回路中有两个熔断器（2FU）、一个按钮开关（SB）、一个交流接触器（KM）三种控制元件。熔断器 2FU 是作辅助电路短路保护用的；按钮开关 SB 是控制交流接触器 KM 线圈通、断电的控制元件；而交流接触器 KM 通过其主触点控制主电路三相异步电动机的启动或停止。

总电源刀开关 QK 闭合后，主电路和辅助电路都与电源接通（即电路有电压，而无电流）。按下按钮开关 SB，其常开触点闭合，使交流接触器 KM 线圈有电压和电流（称为接触器得电），接触器的常开触点（主电路中的触点）闭合，最后主电路的电动机 M 与电源接通，从而启动运行。当松开按钮开关 SB 时，则 SB 常开触点复位（返回断开状态），交流接触器 KM 线圈断电（失去电压和切断电流），交流接触器 KM 的常开触点复位为断开状态，最后电动机 M 断电停止运行。

在电路得电工作状态下，若辅助电路发生短路故障，熔断器 2FU 先熔断，使 KM 线圈失电，电动机 M 断电停止运行；若主电路发生短路故障，熔断器 1FU 熔断，也会使辅助电路的接触器 KM 失电。当熔断器 1FU 有两个熔体熔断时，电动

机 M 定子绕组中没有电流，电动机 M 立即停转。

综上所述，弄清辅助电路中各控制元件的动作情况及其对主电路中用电器的控制作用是读懂电气原理图的关键。

③ 研究辅助电路中各个控制元件之间的制约关系。这是研究电路的工作原理，也是电路识图的重要步骤。

在电路中所有的电气设备、装置、控制元件都不是孤立存在的，而是相互之间都有密切关系的。有的元器件之间是控制与被控制的关系，有的是相互制约关系，有的是联动关系，在辅助电路中，控制元件之间的关系也是如此。在图 2-1 所示的辅助电路中，按钮开关 SB 就是控制交流接触器 KM 线圈通电或断电的元件。

## 2.3 电路中的基本保护环节、自锁环节、互锁环节

实际电路中保护环节是必不可少的，而自锁环节和联锁环节也是最常见的。熟悉这些环节，对识图是很有帮助的。

### 2.3.1 基本保护环节

在一个电路中，最常用的保护环节有短路保护环节和过载保护环节两种。有的电路除具有以上两种保护环节外，还有缺相保护（即三相电源缺相时，使电路断电）、欠压保护、过流保护等环节。

#### 2.3.1.1 短路保护环节

短路保护环节是指电路发生短路故障时能使故障电路与其电源断开的保护环节。短路保护常由熔断器来实现，在图 2-1 中，1FU 和 2FU 熔断器都是短路保护环节。在实际电路中，有的熔断器与刀开关合为一体，在画电路图时将熔断器画在刀开关上。带熔断器的刀开关电气图形符号如图 2-2 所示。

熔断器应设置在靠近电源的部位，也就是被保护电路的电源引入位置。

#### 2.3.1.2 过载保护环节

过载保护环节是电力拖动电路中重要的保护环节。过载保护是指，当电动机过载时，能使电动机自行断电的保护。过载保护常用热继电器来实现。具有短路保护和过载保护的电动机启动电路如图 2-3 所示。

图 2-3 所示电路只比图 2-1 所示电路多了一个热继电器 FR。热继电器的发热元件串接在三相异步电动机定子绕组电路中，而热继电器的常闭触点串接于控制回路的交流接触器 KM 线圈下端。

闭合开关 QK 后，按下按钮 SB，则交流接触器 KM 线圈得电，KM 主触点闭

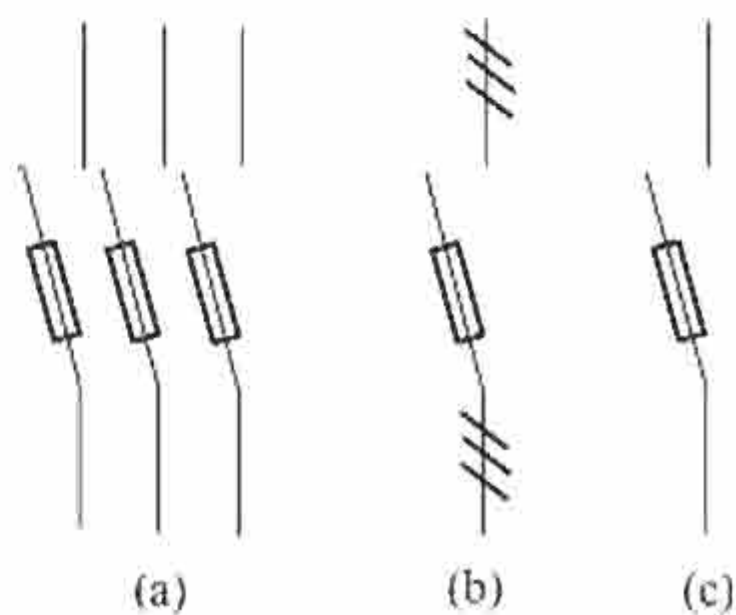


图 2-2 带熔断器的刀开关电气图形符号

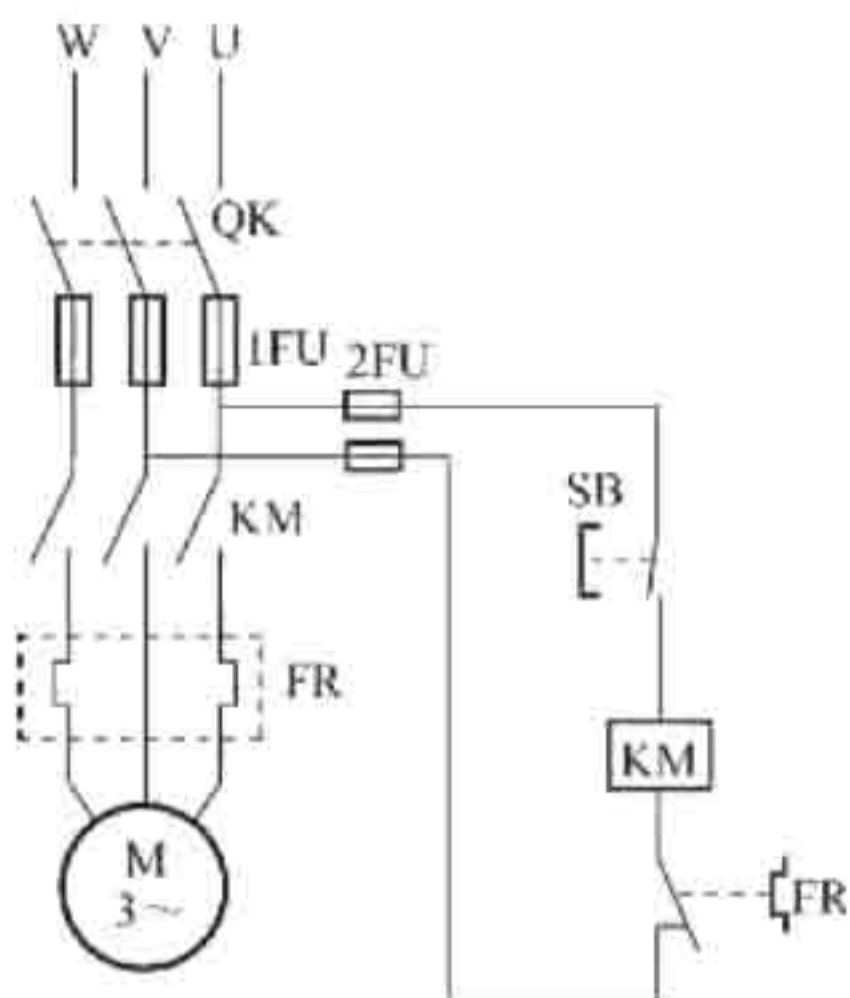


图 2-3 具有短路保护和过载保护的电动机启动电路

电压为整定值时才能动作，一旦线圈电压值低于整定电压一定量，会立即返回初始状态（常开触点断开、常闭触点闭合）。

图 2-4 为用电流继电器和电压继电器作为过流和欠压保护的电路。

图 2-4 所示电路与图 2-3 相比较，多了两个电压继电器 1KV 和 2KV、三个电流继电器 1KI、2KI、3KI，以上五个继电器都在主电路中；还多了停止按钮 2SB，而且在 2SB 按钮处并联了交流接触器 KM 的辅助触点（常开触点）。

下面分析 1KV、2KV、1KI、2KI、3KI 五个继电器的作用。电压继电器 1KV 和 2KV 跨接于主电路的三根相线上。当刀开关 QK 闭合时，两个电压继电器所承受的是线电压，若电源电压正常，则 1KV 和 2KV 都会动作，使其常开触点（辅助电路中的 1KV 和 2KV）闭合，为交流接触器 KM 线圈得电提供通路；当电源电压低于规定范围值（欠压）时，1KV 或 2KV 会因线路欠压而恢复原始状态，使辅助电路中的 1KV、2KV 触点至少有一个断开，致使交流接触器 KM 线圈断电，使得主电路的用电器（电动机 M）断电停止工作。

电流继电器 1KI、2KI、3KI 分别串接于主电路的三根相线中。当电动机 M 通电工作时，三个电流继电器线圈均有电流通过，因为三个电流继电器的整定电流是

合，电动机 M 启动运行。若电动机在运行过程中过载，定子绕组电流过大，则通过热继电器发热元件的电流过大，使热继电器的常闭触点断开，辅助电路中交流接触器 KM 线圈断电，主电路中 KM 主触点断开，使电动机断电，从而实现对电动机的保护。

### 2.3.1.3 电路的过流保护和欠压保护环节

过流保护和欠压保护分别由电流继电器和电压继电器实现。

电流继电器的工作原理是：当通过线圈的电流等于或超过整定电流时才动作，通过的电流小于整定电流时不动作。

电压继电器的工作原理是：只有线圈所加

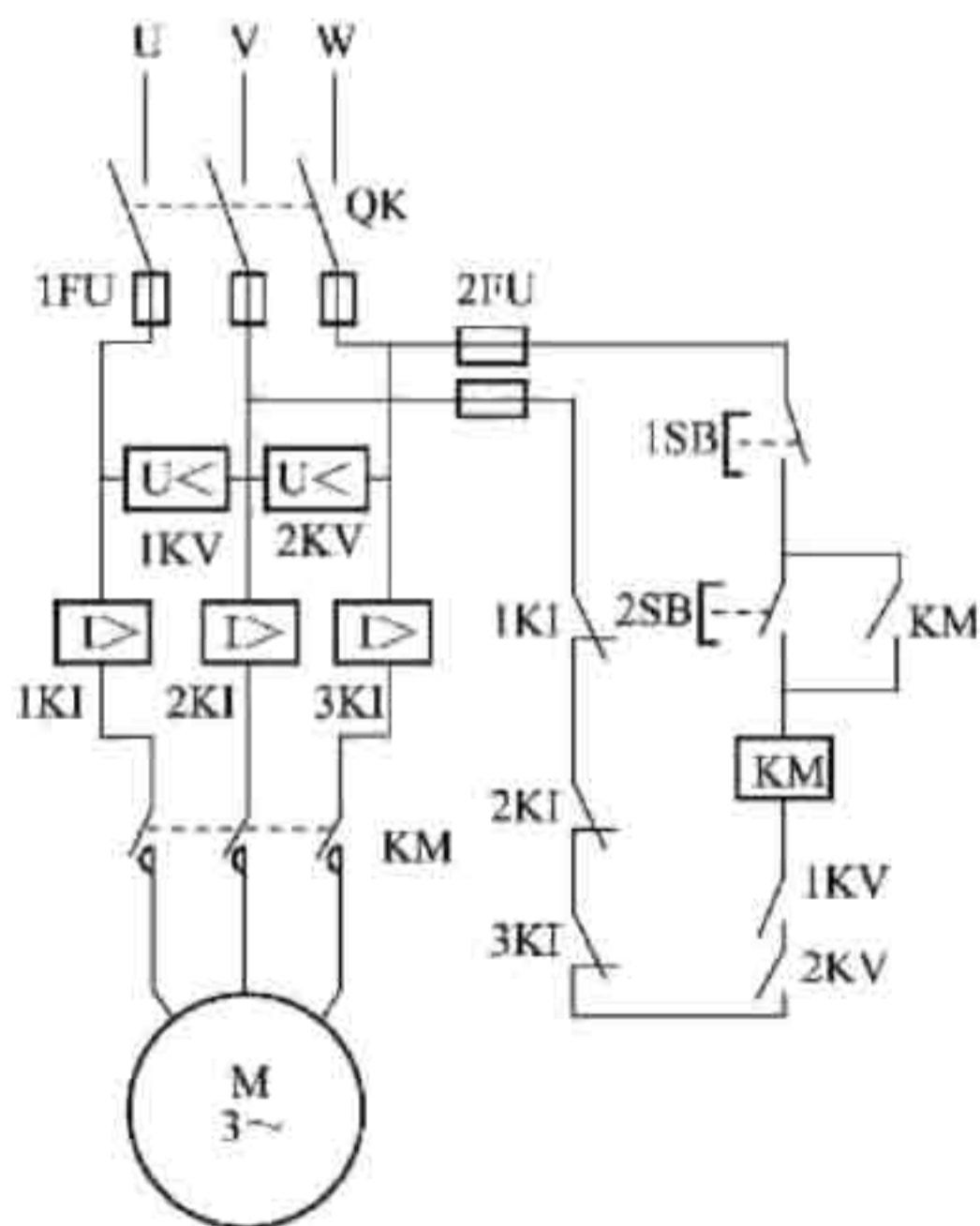


图 2-4 具有过流保护和欠压保护的电路



电动机额定电流的1.5~2倍,正常工作时,通过三个电流继电器的电流都没有达到动作电流值,所以三个电流继电器都不动作,它们的常闭触点(辅助电路中的1KA、2KA、3KI)都处于闭合状态,接触器KM得电;如果在电动机M运行过程中,电流突然很大(电动机过载严重),通过1KI、2KI、3KI线圈的电流达到动作电流值时,三个电流继电器会立即动作,使其常闭触点断开,则辅助电路交流接触器KM线圈通电回路断开,KM线圈失电,其常开合触点全部断开,从而使电动机M断电停转。

以上就是电压继电器和电流继电器欠压保护和过流保护的工作原理。

在图2-4所示的电路中,电压继电器1KV和2KV还起到缺相保护的作用。当刀开关合上后,若电源缺相(有一根相线对地无电压或两根相线对地无电压),则两个电压继电器1KV和2KV至少有一个不动作,所以交流接触器KM线圈回路呈断开状态。如果电路处于正常通电工作状态时,突然电源缺相,则1KV或2KV至少会有一个断电,立即返回原始状态,而使辅助电路断电,接触器KM失电,其常开触点断开,使主电路用电器(电动机M)断电。由此可见,图2-4所示电路中的1KV和2KV两个电压继电器不但具有欠压保护作用,还具有缺相保护作用。

#### 2.3.1.4 失(欠)压保护

在图2-3和图2-4所示的电路中,接触器KM除有接通、断开电路的作用外,还兼有失(欠)压保护的作用。所谓失(欠)压保护,是指当断电或电压过低时,接触器就释放,从而使电动机自动脱离电源;当线路重新恢复供电时,由于接触器自锁触点已断开,电动机不能自行启动。这种保护可以避免意外的人身事故和设备事故。

### 2.3.2 自锁环节

自锁环节是指继电器得电动作后能通过自身常开触点的闭合,给其线圈供电的环节。在图2-4所示电路的辅助电路中,并联在启动按钮2SB右边的KM常开触点就是自锁环节(此触点称为自锁触点)。

下面说明自锁过程。QK闭合后,按下2SB,KM线圈立即通电动作,2SB右边并联的KM常开触点也几乎同时闭合,这时即使松开2SB,KM线圈仍然通过这个闭合的常开触点保持通电。常开触点的这个作用称为自锁。

### 2.3.3 互锁环节

电路中的互锁环节(又称联锁环节)实质是辅助电路中控制元件之间的相互制约环节。实现电路联锁有两种基本方法:一种方法是机械互锁,另一种方法是电气互锁。具有机械互锁和电气互锁的电路如图2-5所示。

图2-5(a)中1SB和2SB是两个复合按钮,它们的常闭触点分别串接到2KM和1KM线圈回路中,可以实现机械互锁。机械互锁的原理如图2-5(b)所示,按

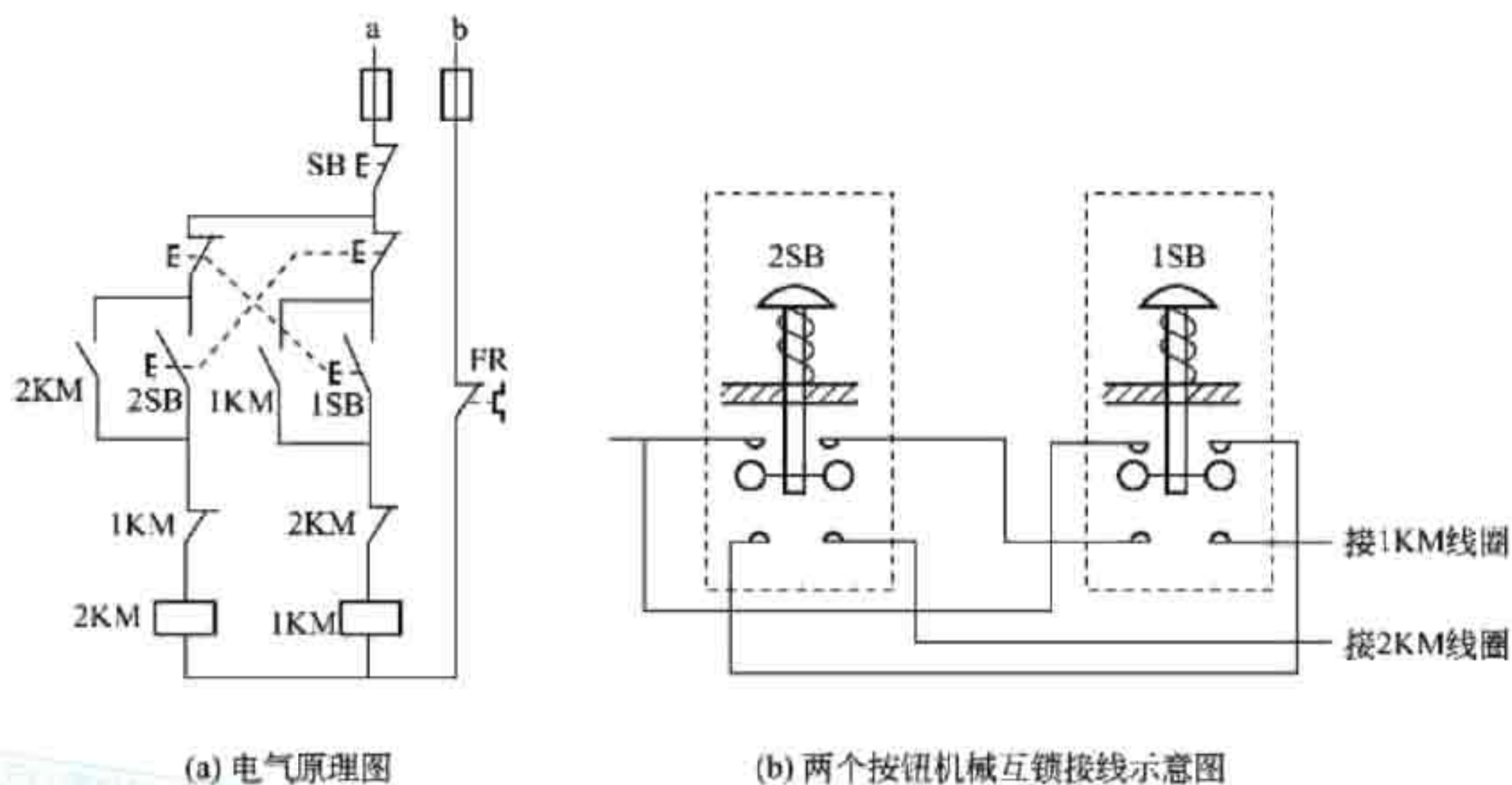


图 2-5 具有机械互锁和电气互锁的电路

下 1SB 时，其常开触点闭合，使 1KM 线圈得电，同时 1SB 的常闭触点断开，这时即使按下 2SB 按钮，其常开触点也不会接通电源，就是说，2KM 线圈不可能得电；当按下 2SB 按钮时，1KM 线圈得电，但由于 2SB 常闭触点断开，使 1SB 的常开触点不可能接通电源，因而 2KM 线圈不可能得电；而当 1SB、2SB 同时按下时，两个按钮的常闭触点都断开，它们的常开触点都无法接通电源，1KM 和 2KM 线圈都不会得电。这说明在同一时刻只能按动一个按钮开关，电路中的 1KM 或 2KM 只能有一个得电动作，不存在两个接触器同时得电动作的可能。这种利用复合按钮常闭触点相互制约的控制方式称为机械互锁。

图 2-5(a) 中接触器 1KM 与 2KM 的常闭触点分别串接到对方的线圈回路中，当按下 1SB，使 1KM 线圈通电吸合时，1KM 常闭触点同时断开，切断了 2KM 线圈的电源，这时即使按下 2SB，2KM 线圈也不可能得电，反之亦然。这种利用接触器常闭触点相互制约的控制方式称为电气互锁（接触器互锁）。

互锁环节通常用在电动机的正反转控制电路中，保证两个接触器不在同一时间吸合，从而避免了电源短路事故的发生。

## 2.4 常用电动机控制电路的识图

为了加深对电气原理图识图方法的理解，更容易读懂复杂的电路图，在此介绍五种常用的电动机控制电路的识图方法。

### 2.4.1 三相交流异步电动机的基本控制电路

#### 2.4.1.1 点动控制

许多生产机械在调整试车或运行过程中要求电动机瞬间动作一下，以调整生产

机械的位置,这种控制称为点动控制,如摇臂钻床立柱的夹紧与放松;龙门刨床横梁的上、下移动;桥式起重机吊钩;大车运行的操作控制等都需要点动控制。

用按钮、接触器组成的电动机点动控制电路如图 2-6 所示。其工作过程为:合上刀开关 Q,接通电源,按住 1SB 按钮,辅助电路中接触器 KM 线圈得电,主电路中 KM 常开触点闭合,电动机 M 通电运行。松开 1SB, KM 线圈失电,常开触点释放,电动机断电停止运行。

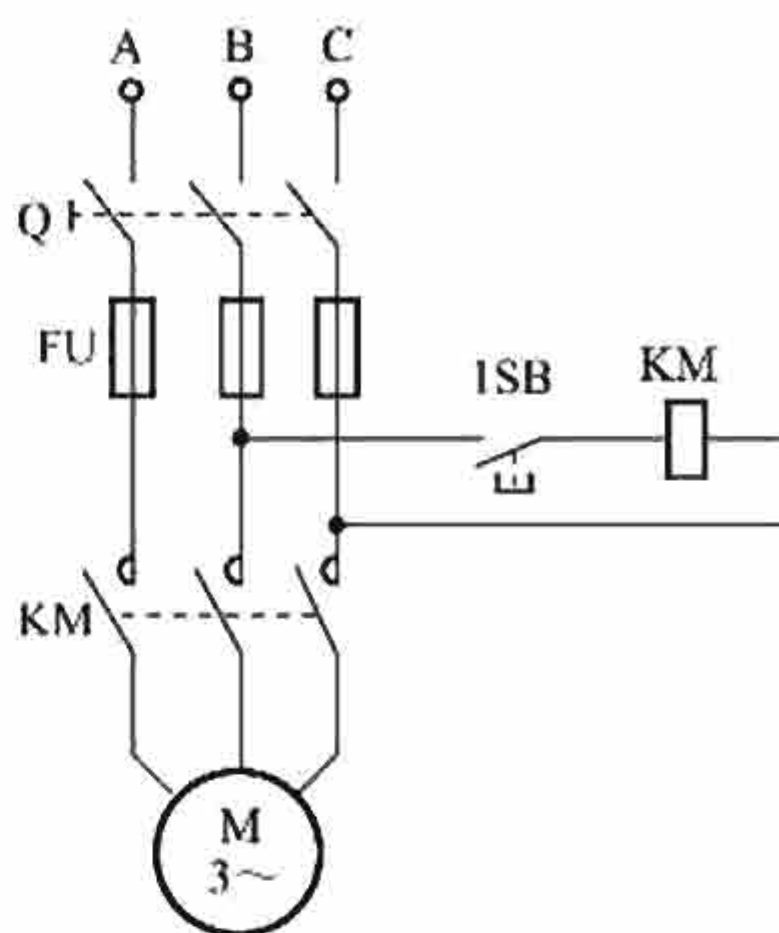


图 2-6 电动机点动控制电路

#### 2.4.1.2 连续运行控制

许多生产机械的运行,如水泵抽水、风机运行等,要求电动机接通电源后,能连续运行。在上述点动控制电路中,增加自锁环节就可以实现电动机的连续运行。如图 2-7 所示电路中,启动按钮 1SB 两端并联的 KM 常开辅助触点的作用就是自锁。这个电路的工作过程为:合上 Q,接通电源,按下启动按钮 1SB,接触器 KM 线圈得电,辅助电路中 KM 常开触点闭合自锁,同时主电路中 KM 主触点闭合,电动机 M 得电运行。欲使电动机停止运行,只需按下 SB 按钮,接触器 KM 线圈失电,其常开辅助触点和常开主触点均断开,则电动机停止运行。

图 2-7 所示电路中,1FU 为主电路短路保护,由于控制电路电流很小,为防止控制电路电流过大或短路,所以在控制电路上加装熔断器 2FU。FR 为电动机过载保护。接触器除有接通、断开电路的作用,还兼有失压(欠压)保护作用。

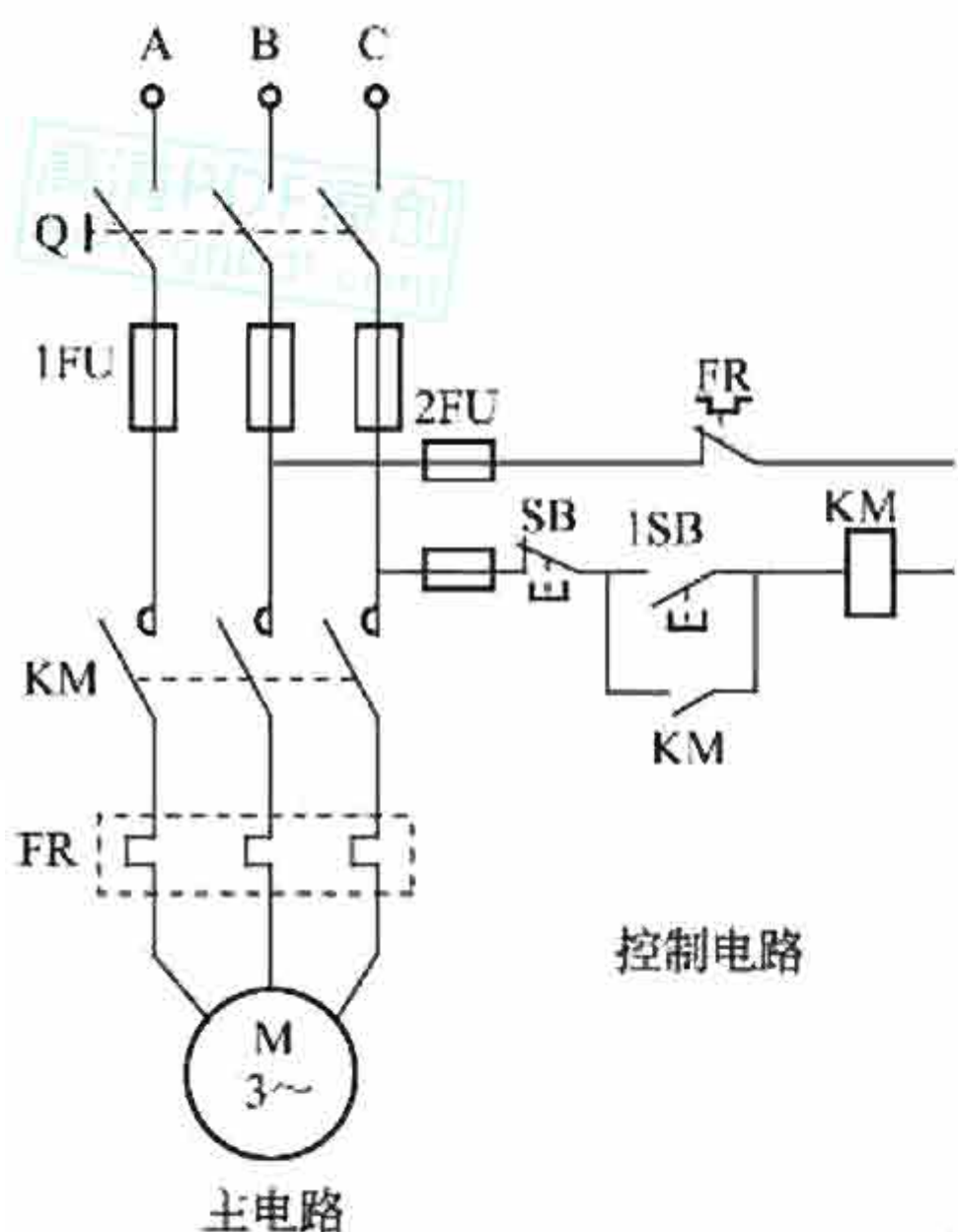


图 2-7 电动机连续运行控制电路

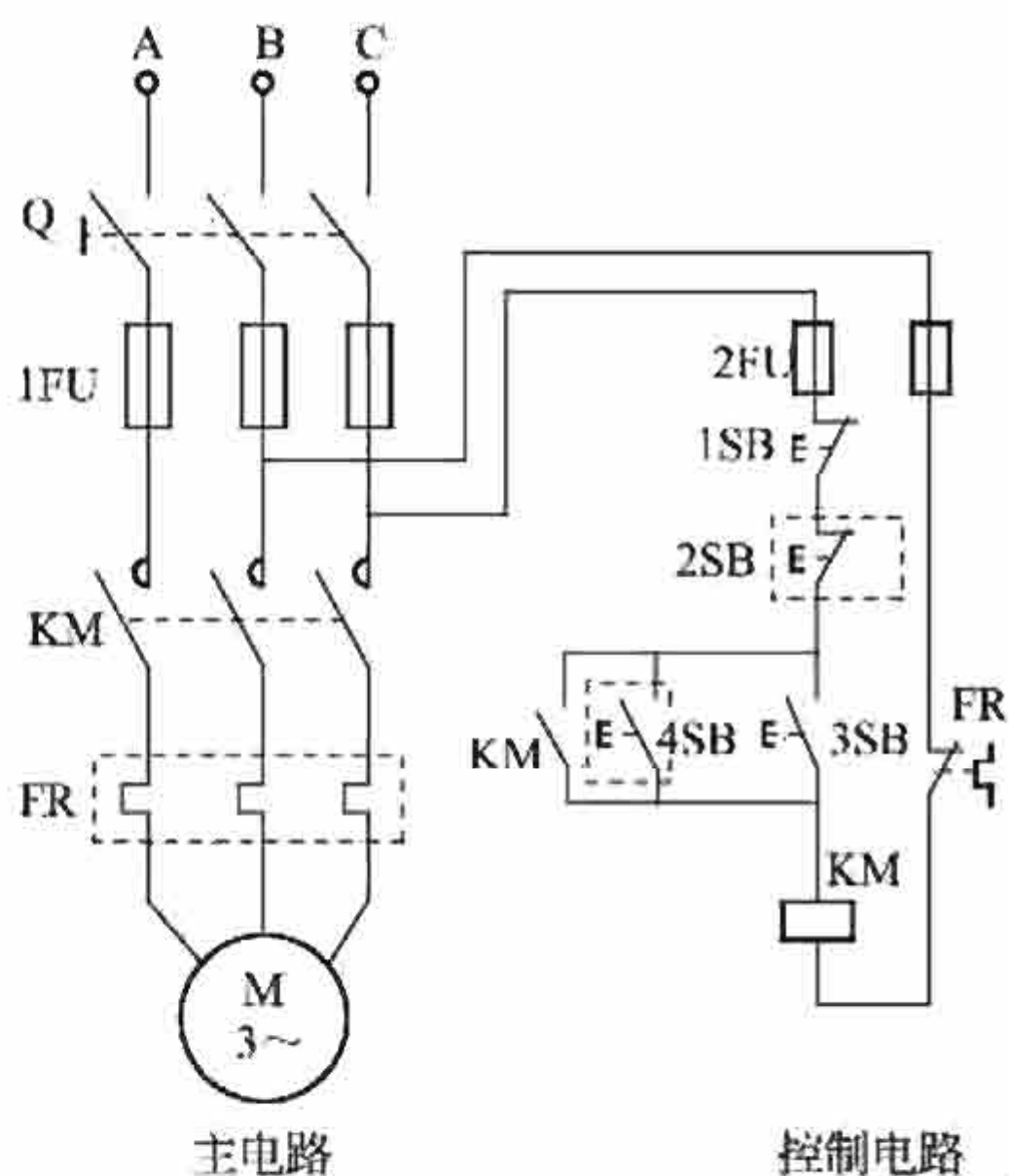


图 2-8 电动机多地点控制电路

### 2.4.1.3 多地点控制

有的生产机械为了便于操作，要求在不同的地点能对电动机实现同一操作功能。这时需要在控制电路中串接一个停止按钮 2SB、启动回路中并联一个启动按钮 4SB，如图 2-8 所示，将 2SB 的常闭辅助触点与 1SB 的常闭辅助触点串接，4SB 的常开辅助触点与 3SB 的常开辅助触点并联，这样就可以实现多地点控制。但应注意：不安装在本控制柜（或本控制箱）的电器元件（图中是按钮）应该用虚线框框起来，在材料表中最好标明其安装位置。

图 2-8 所示电路采用的基本保护环节同连续运行控制电路。

### 2.4.1.4 正反转控制

许多生产机械在生产过程中常常需要有两个方向的运动，例如机床工作台的前进与后退、主轴的正转与反转、电梯的上升与下降等，这些都可以由电动机的正反转来实现。

根据三相异步电动机的工作原理可以知道，若要三相异步电动机反向运转，只需对调三相电源中的任意两相即可。电动机无论是正转或反转，其控制电路的工作原理都与电动机连续运行控制电路基本相同，利用两套启动按钮和接触器来分别控制即可。

如图 2-9 所示，接触器  $KM_1$  控制电动机正转，接触器  $KM_2$  控制电动机反转， $SB_1$  为正转启动按钮， $SB_2$  为反转启动按钮。在主电路中，当  $KM_1$  的主触点单独闭合时，电源 A、B、C 三相分别送到电动机 M 进线的  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$ ；当  $KM_2$  的主触点单独闭合时，电源 A、B、C 三相分别接到电动机 M 进线的  $W_1$ 、 $V_1$ 、 $U_1$ ，

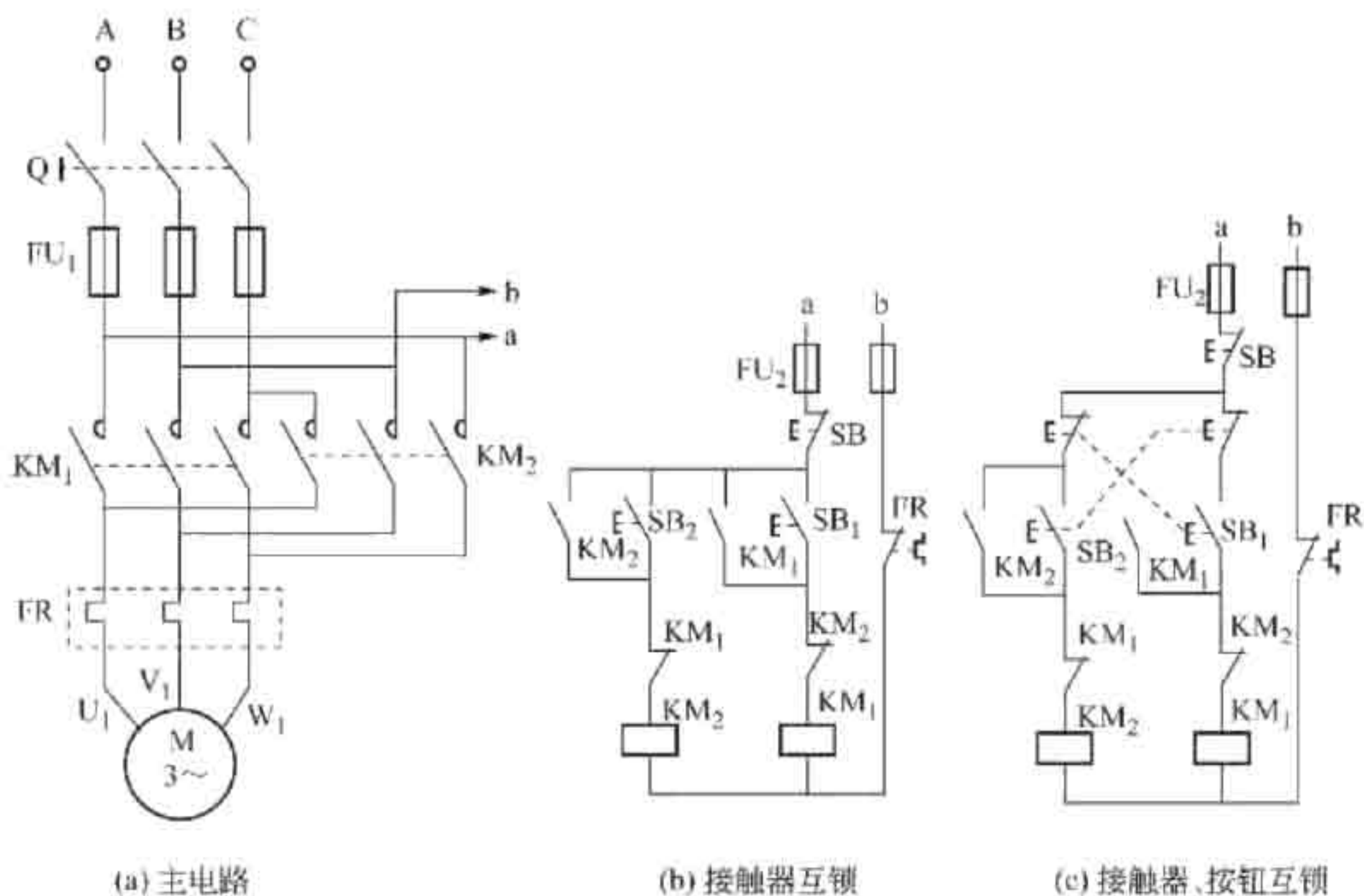


图 2-9 电动机正反转控制电路

电动机三相电源的进线通过  $KM_2$  对调了两根（图中 A 相与 C 相），电动机得以反转。但是在这种情况下，如果两个接触器同时吸合，六个主触点就会同时闭合，造成 A、C 相短路。为了避免出现这种短路事故，必须增加互锁的环节，保证两个接触器不在同一时间吸合。

图 2-9(b) 所示为接触器互锁正反转控制电路，两个接触器的线圈分别与对方的常闭辅助触点串联。这样，当  $KM_1$  线圈通电而吸合时，它串接在  $KM_2$  线圈回路中的常闭辅助触点断开，切断了  $KM_2$  线圈的电源，这样即使误按下  $SB_2$ ， $KM_2$  的线圈也不会得电，反之亦然。

若工程中仅仅采用接触器互锁，则要从正转变为反转（或从反转向正转），必须先按停止按钮  $SB$  后，再按另一转向的启动按钮，电动机才能反转。为了克服这一缺点，可采用图 2-9(c) 所示的复合按钮、接触器双重互锁电路，即将两个启动按钮的常闭触点分别串接到对方接触器线圈电路中。这样，若在电动机正转过程中需要反转，只需直接按下反转启动按钮  $SB_2$ ， $SB_2$  的常闭触点切断  $KM_1$  线圈的电源， $KM_1$  主触点断开；接着，串接于  $KM_2$  线圈电路中的常闭触点  $KM_1$  恢复闭合状态， $SB_2$  的常开触点闭合， $KM_2$  线圈通电自锁，电动机就反转。该电路中采用的基本保护环节与连续运行控制电路的保护环节相同。

#### 2.4.1.5 顺序控制

许多生产机械都装有多台电动机，按照工艺要求，其中有些电动机要按一定的顺序启停，例如大多数机床都必须在启动润滑泵以后，才能启动主轴电动机，这就叫顺序控制。

图 2-10 所示为油泵电动机和主轴电动机顺序控制电路，从主电路可以看出， $KM_1$  控制  $M_1$  电动机， $KM_2$  控制  $M_2$  电动机； $FR_1$ 、 $FR_2$  分别对  $M_1$ 、 $M_2$  电动机实现过载保护。

控制电路有两路，在油泵电动机回路中， $SB_1$  为油泵电动机的启动按钮， $SB$  为油泵电动机的停止按钮；主轴电动机回路中， $SB_2$  为主轴电动机的启动按钮， $SB_3$  为主轴电动机的停止按钮。由于两台电动机在运行过程中都是连续运行的，因此只需在两套连续运行的控制电路中增加顺序控制环节即可。

图 2-10 所示控制电路中，有两个  $KM_1$  常开辅助触点，一个并接在  $SB_1$  两端，起到自锁的作用，使油泵电动机能连续运行；另一个串联在  $KM_2$  回路中，使得只有当  $KM_1$  线圈得电，该常开辅助触点闭合后， $KM_2$  线圈才能得电，也就是只要油泵电动机不启动，主轴电动机就不能启动，即油泵电动机先启动，主轴电动机再启动。这样就实现了两台电动机的顺序启动。

图 2-10 所示控制电路中，还有两个  $KM_2$  的常开辅助触点，一个并接在  $SB_2$  两端，起自锁的作用，使主轴电动机能连续运行；另一个并接在  $SB$  两端，使得只有当  $KM_2$  线圈断电，该常开辅助触点断开时再按下  $SB$ ， $KM_1$  线圈才会失电，也就是只有主轴电动机先停，油泵电动机才停车，否则，即使按下  $SB$ ，油泵电动机也

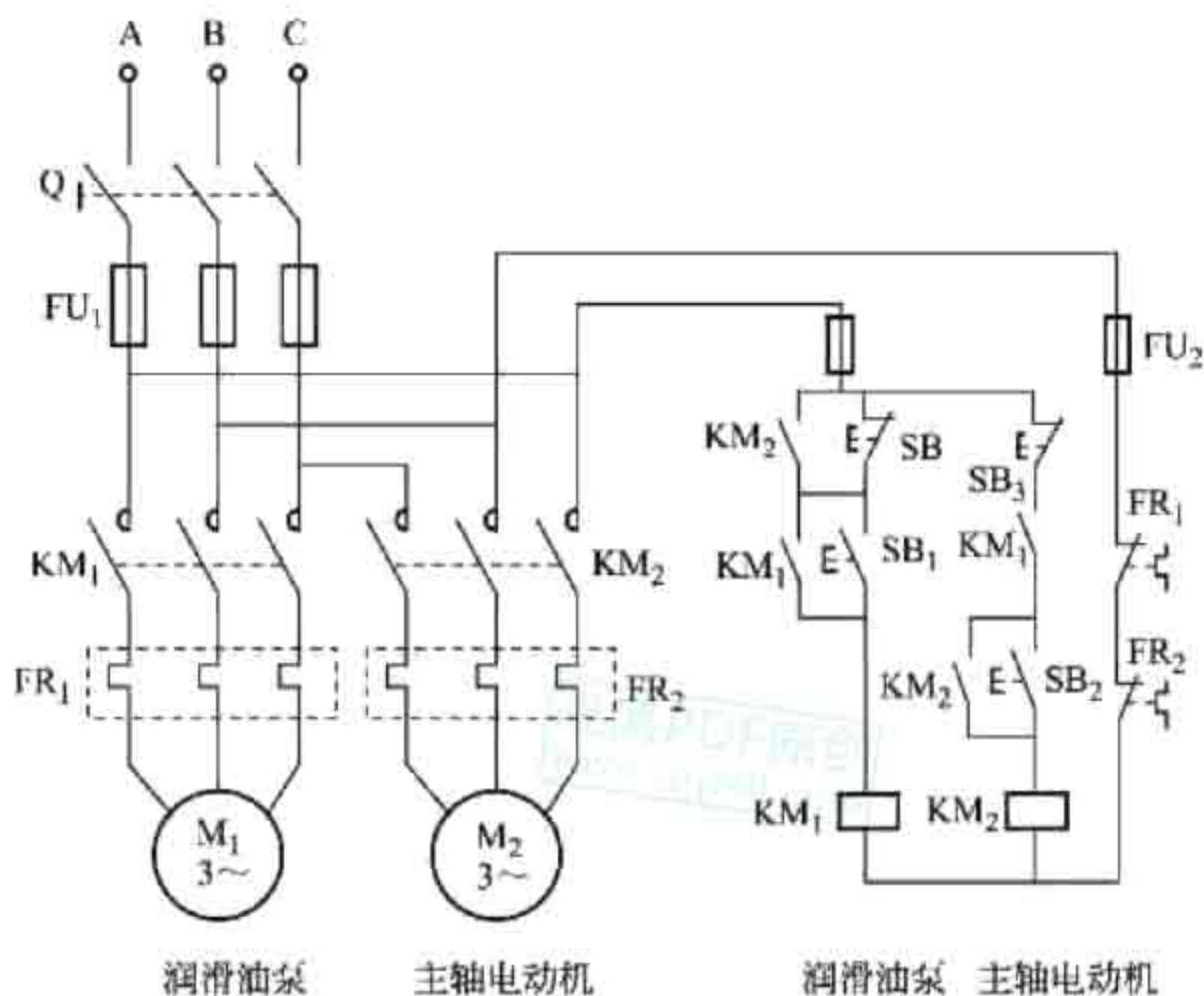


图 2-10 两台电动机顺序启停控制电路

不能停转，从而实现顺序停车。

控制电路中两个热继电器的辅助触点串接，作用是使两台电动机中任意一台出现过载而停止运行时，另一台也不能运行。

整个电路的保护环节有短路保护、过载保护和失（欠）压保护。

## 2.4.2 三相交流异步电动机的基本控制方式

在生产过程中，常要对某些物理量（如电流、电压、时间、转速、温度、压力等）进行检测、比较，然后实现自动控制。某物理量转换为电信号，并对电路进行的控制称为某物理量控制原则，这一节将讨论一些常用的控制原则（即基本控制方式）。

### 2.4.2.1 行程控制

在有些设备中，运动部件的位置或行程是很重要的，如：铣床工作台的往复运动、电梯的上、下运动等。这种以机械的位置变化（即行程）为信号，对电路进行的控制称为行程控制。行程控制由行程开关实现。

下面以机床工作台自动往返控制为例，分析行程控制原则。

图 2-11 是用行程开关控制机床工作台自动往返的电气原理图，这个电路中包含两个控制环节。

① 正反转控制环节。工作台的往返运行由电动机正反转控制实现，设电动机正转时带动工作台向右移，反转时工作台左移。接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  分别控制电动机的正转和反转。

② 行程开关自动控制环节。行程开关  $ST_1$ 、 $ST_2$  分别控制工作台左移和右移

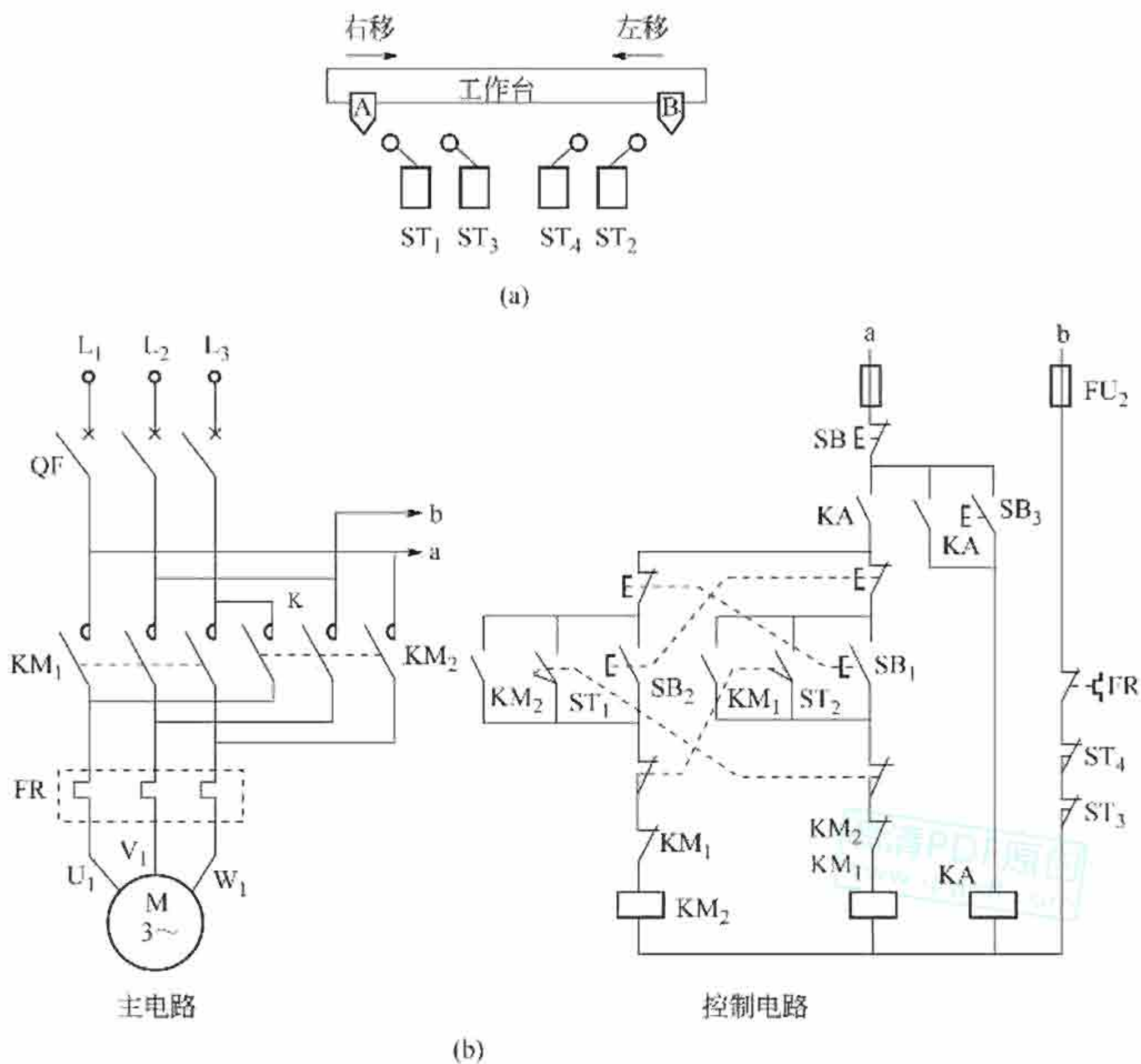


图 2-11 行程控制电路图

的位置，由工作台侧面的撞块 A 和 B 撞击  $ST_1$ 、 $ST_2$ ，使工作台自动往返，调整撞块位置可以调整工作行程； $ST_3$ 、 $ST_4$  为终端限位行程开关，防止  $ST_1$ 、 $ST_2$  工作失灵时工作台超出极限位置而发生设备或人身事故。

该电路具体的工作过程为：接通断路器 QF，按下  $SB_3$ ，中间继电器 KA 线圈得电，其常开触点闭合，接通其他控制回路。然后按下启动按钮  $SB_1$ ，接触器  $KM_1$  线圈得电， $KM_1$  的辅助触点实现自锁和联锁，主触点接通电动机回路，电动机启动正转工作，带动工作台右移。右移到规定位置，撞块 A 撞击  $ST_1$ ，串联在  $KM_1$  回路中的  $ST_1$  常闭触点断开，使  $KM_1$  线圈失电，而并联在  $SB_2$  两端的  $ST_1$  常开触点闭合，使  $KM_2$  线圈得电， $KM_2$  的辅助触点实现自锁和联锁，其主触点接通电动机回路，电源换相，电动机反转，带动工作台左移， $ST_1$  复位，为下一循环做好准备。当工作台左移到规定位置时，撞块 B 撞击  $ST_2$ ，串联在  $KM_2$  回路中的  $ST_2$  常闭触点断开，使  $KM_2$  线圈失电，而并联在  $SB_1$  两端的  $ST_2$  常开触点闭合，使  $KM_1$  线圈得电，电动机又正转，带动工作台右移。如此循环，即可实现自动往返。需要停车时，按下停止按钮 SB，电动机就断电停转。

图 2-11 中， $KM_1$ 、 $KM_2$  的常闭触点， $ST_1$ 、 $ST_2$  的常闭触点都起到互锁的作

用。ST<sub>3</sub>、ST<sub>4</sub>常闭触点串联，只要其中一个断开，就会切断电源，保证工作台运行到左边或右边的极限位置时电动机都能停转，从而防止发生设备或人身事故。

#### 2.4.2.2 时间控制

有些电气设备或装置在运行的过程中，其动作状态按照时间先后有顺序地发生变化。以三相异步电动机的Y- $\Delta$ 启动过程为例，电动机刚启动时定子绕组为星形(Y形)接法，过一段时间(例如40s)后自动转换为三角形( $\Delta$ 形)接法继续启动，并转为正常运行。在这个控制过程中，时间被转换为电信号，来接通、断开或换接被控制的电路，从而控制电动机的动作，这就是时间控制，也称为时限控制。时间控制主要是通过时间继电器来实现的。

图2-12所示为三相笼型异步电动机Y- $\Delta$ 启动控制电路。

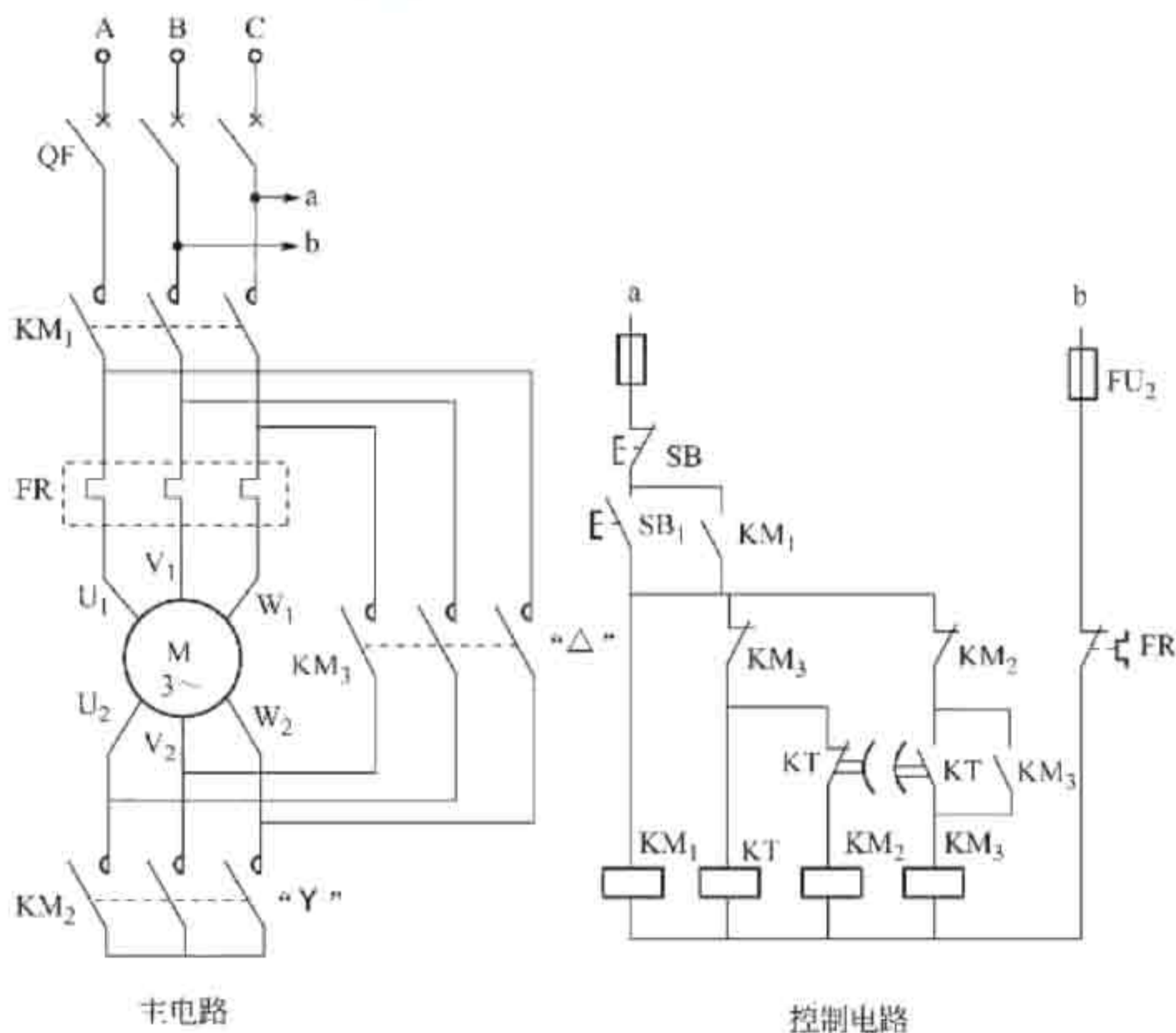


图 2-12 三相笼型异步电动机 Y- $\Delta$ 启动控制电路

从主电路中可以看出，接触器 KM<sub>2</sub>、KM<sub>3</sub> 分别控制电动机绕组的 Y 形接法和  $\Delta$  形接法。控制电路中，KT 为通电延时时间继电器，用来实现电动机从 Y 形启动到转换为  $\Delta$  形接法运行这段时间的控制。

该电路的工作过程是：先合上断路器 QF，然后按下启动按钮 SB<sub>1</sub>，KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub>、KT 三个线圈同时得电，KM<sub>1</sub> 辅助常开触点闭合，自锁，接通电源；KM<sub>2</sub> 辅助常闭触点断开 KM<sub>3</sub> 的线圈电路，实现互锁。KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 的主触点同时闭合，电动机定子绕组接成 Y 形开始降压启动。

经过一段时间（事先设定的电动机启动时间）延时后，KT 常闭触点打开，



KM<sub>2</sub> 线圈失电，同时 KT 常开触点闭合，使 KM<sub>3</sub> 线圈得电，其主触点闭合，将电动机定子绕组换成△形连接，电动机全压正常运行，KM<sub>3</sub> 的辅助常闭触点打开，KT 线圈失电，不再计时。

控制电路中，KM<sub>2</sub>、KM<sub>3</sub> 常闭辅助触点起互锁的作用，确保电动机在 Y 形启动时不会发生定子绕组△形接法运行的事故。

### 2.4.2.3 速度控制

速度控制把机械的转速转换为电信号，来接通、断开或换接被控制的电路，主要用于感应电动机的反接制动和能耗制动。速度控制主要是通过速度继电器来实现的。

① JY1 型速度继电器。图 2-13(a) 示出的是 JY1 型速度继电器的结构原理图。速度继电器的轴与电动机的轴相连接。永久磁铁的转子固定在轴上，装有笼型绕组的定子与轴同心，能独自偏摆，与永久磁铁间有一气隙，轴转动时，永久磁铁一起转动，笼型绕组切割磁通，产生感应电势和感应电流，该感应电流与永久磁铁磁场作用，产生电磁转矩，使定子随着轴的转动方向偏摆，使继电器触点接通或断开。当轴的转速下降到接近零时（约 100r/min），定子柄在动触点弹簧力的作用下回到原来位置。

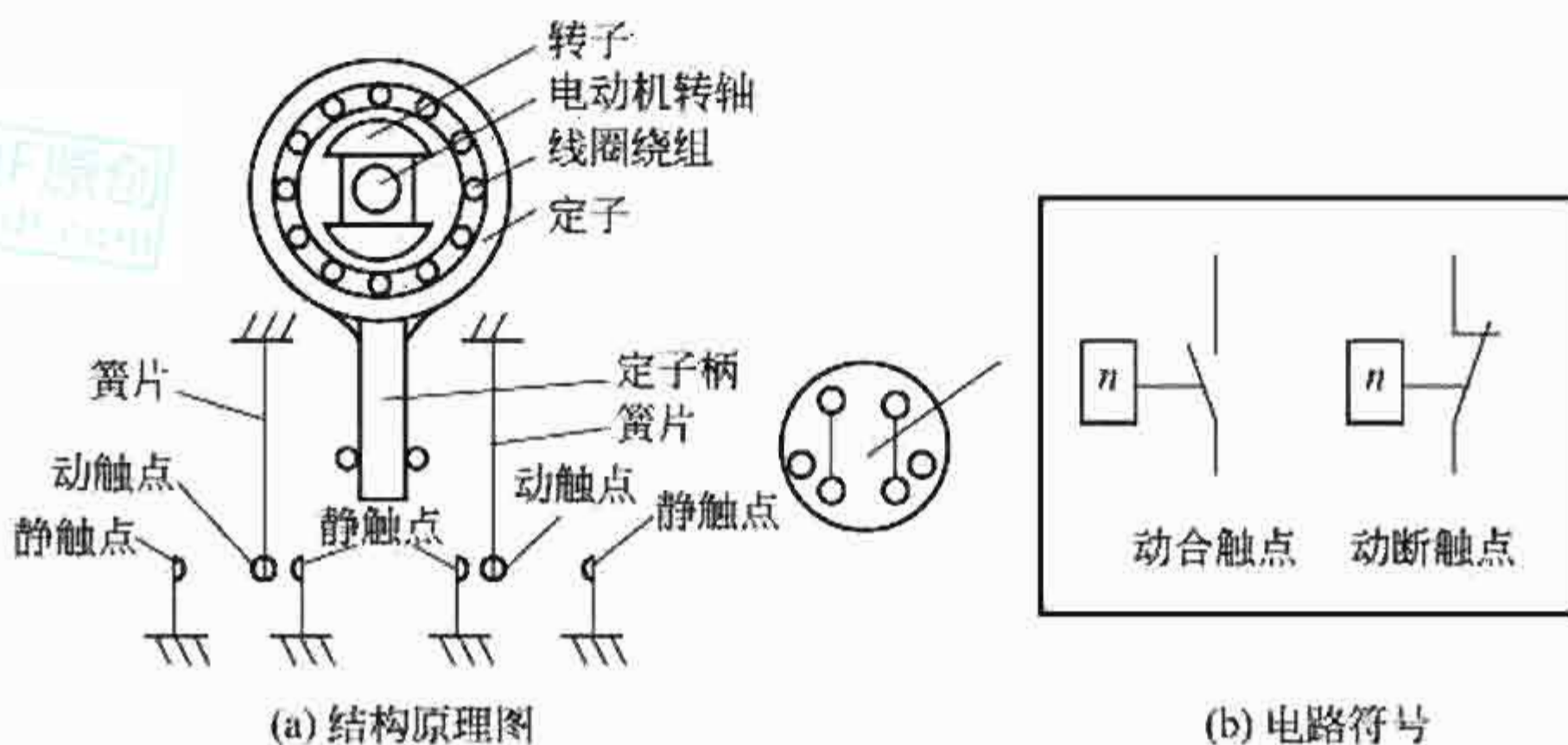


图 2-13 JY1 型速度继电器结构原理图及电路符号

常用的速度继电器还有 JFZO 型，其触点动作速度不受定子柄偏摆影响，两组触点改用两组微动开关。其额定工作速度有 300~1000r/min 和 1000~3000r/min 两种。

速度继电器主要根据电动机的额定转速进行选择，它在电路中的图形符号和文字符号如图 2-13(b) 所示。

② 电动机反接制动控制电路。图 2-14 是应用速度继电器来控制的电动机反接制动的电路，其工作过程如下。

工作时，先合上断路器 QF，按下启动按钮 SB<sub>1</sub>，接触器 KM<sub>1</sub> 线圈得电，KM<sub>1</sub> 的辅助触点实现自锁和互锁（切断了接触器 KM<sub>2</sub> 线圈电路），接触器 KM<sub>1</sub> 主触点接通电动机回路，电动机得电启动运转。同时，由于速度继电器的轴与电动机轴连

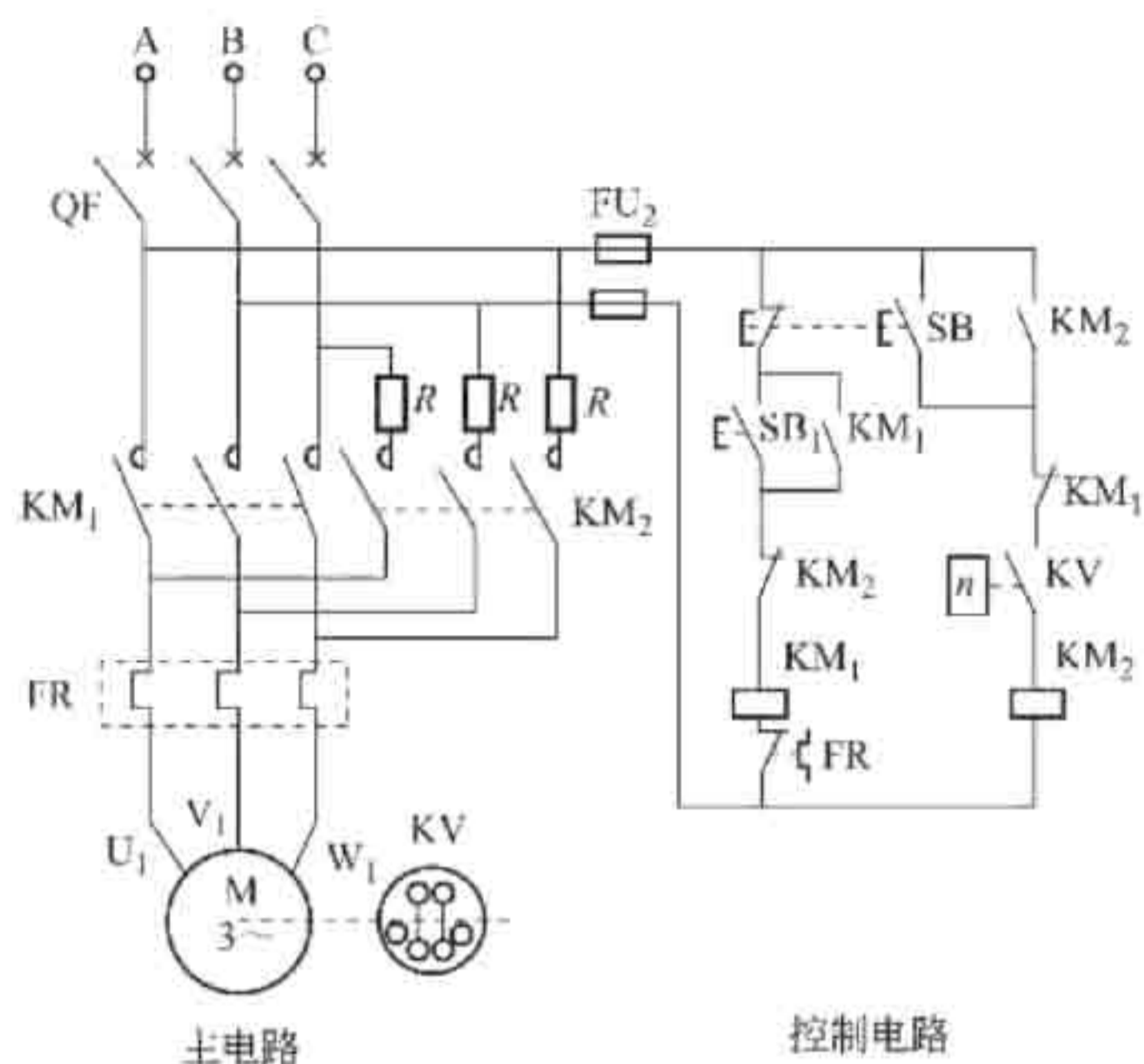


图 2-14 三相异步电动机反接制动控制电路图

接在一起，速度继电器的常开触点闭合，为停车时进行反接制动做好准备。

停车时，按下停止按钮 SB， $KM_1$  线圈失电，其常闭辅助触点复位闭合，接触器  $KM_2$  线圈得电， $KM_2$  的常开辅助触点闭合自锁，主触点闭合，电动机接入反相序三相电流，其定子绕组通过串入电阻  $R$  进行反接制动，当电动机的转速接近零时，速度继电器的动合触点 KV 恢复断开状态，接触器  $KM_2$  线圈失电，其主触点断开主电路，切断电动机的反接制动电源，制动过程结束。

#### 2.4.2.4 压力控制

压力控制指电路中用电器的工作状态由工作系统的压力来控制，一般由压力继电器实现，例如空气压缩机的电气控制电路就是以压力控制为原则的电路。图 2-15(a) 所示为空气压缩机（空压机）工作原理图，压力继电器（俗称压力开关）安装在储气罐上，其动触点由储气罐内的气体驱动。当储气罐内气压达到设定的高压值时，压力开关的动触点会立即动作，使常闭触点断开，常开触点闭合。若储气罐停止进气后不向外供气，储气罐内的压力不变化，则压

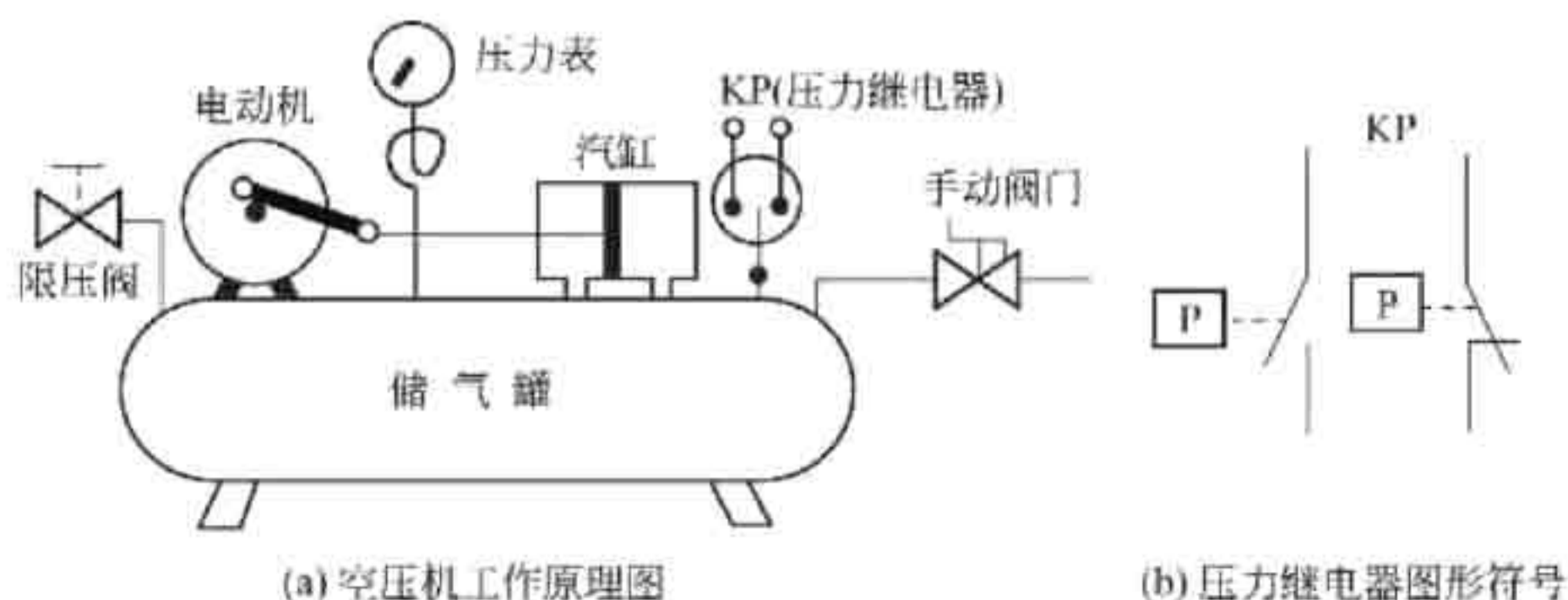


图 2-15 空压机工作原理及压力继电器图形符号

力开关不能返回到初始状态；若储气罐停止进气后继续向外供气，则储气罐内的压力会逐渐降低，当压力值降到设定的低压值时，压力开关会立即返回到初始状态。

图 2-16 所示电路是空气压缩机电气控制原理图。电路的工作过程如下：QF 闭合→按下 SB<sub>2</sub>→KA 线圈得电→KA 自锁触点闭合→KM 线圈得电（若压力开关常闭触点处于闭合状态）→KM 主触点闭合→电动机 M 启动运行（空压机储气）→储气罐压力升高到压力开关设定值时，KP 常闭触点断开→KM 线圈失电→主电路中电动机断电（停止压缩空气过程）→储气罐向外供气，当储气罐压力低于压力开关设定值时，KP 触点闭合→KM 线圈得电→电动机启动运行，空气压缩机进入下一个循环。

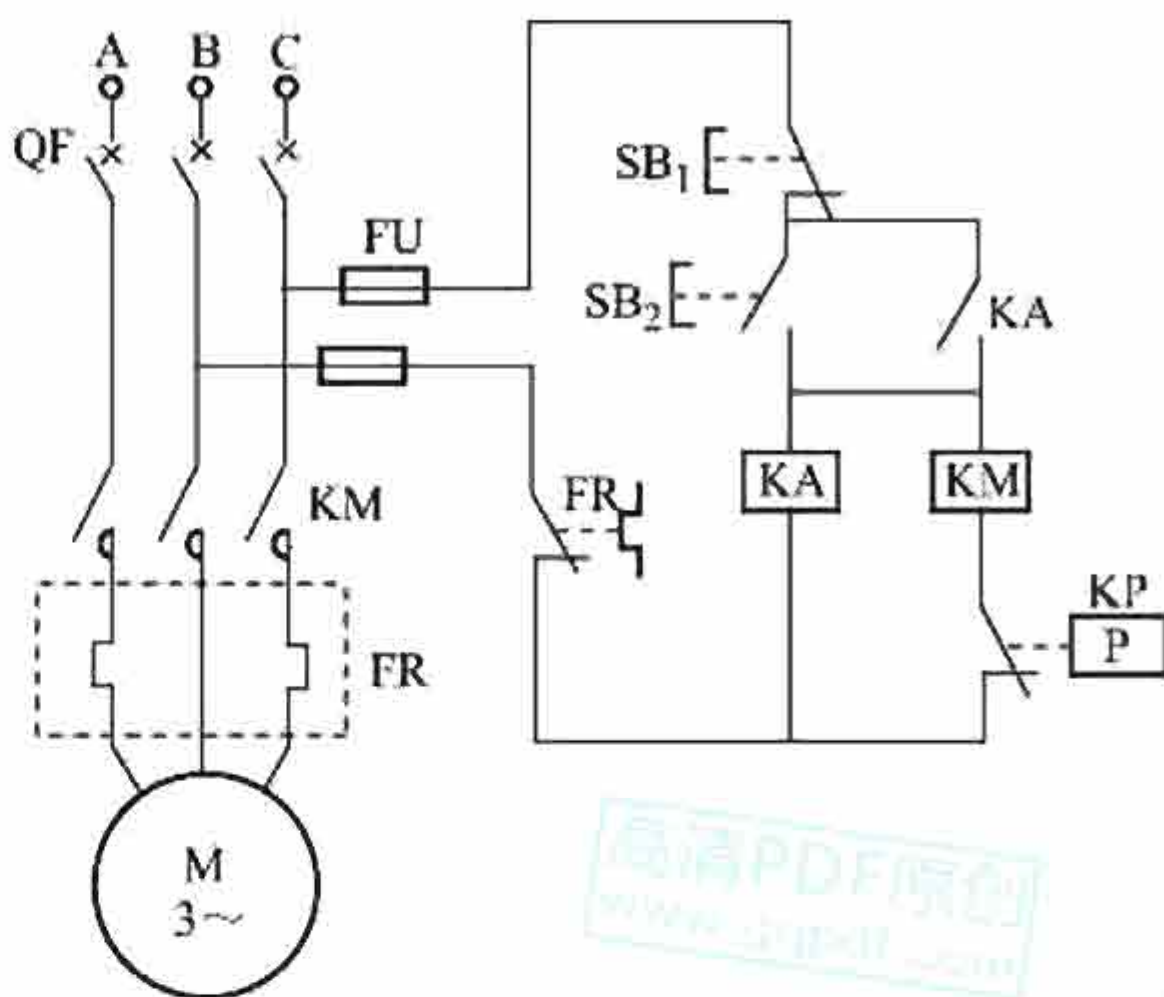


图 2-16 空压机电气控制原理图

若要使空气压缩机停止工作，按下 SB<sub>1</sub> 按钮即可，此时电路回到初始状态。

### 2.4.3 其他常用的电动机控制电路

#### 2.4.3.1 三相笼型异步电动机补偿器降压启动电路

三相笼型异步电动机补偿器降压启动电路如图 2-17 所示。电路主要由自耦变压器（补偿器）、交流接触器、中间继电器、按钮开关、热继电器、熔断器、电动机等组成。

从图 2-17 所示电路可以看出，SB<sub>1</sub> 为停止按钮，SB<sub>2</sub> 为启动按钮。KM<sub>1</sub> 控制电动机的降压启动，KM<sub>2</sub> 控制电动机的全压启动和正常运行。

电路的工作过程如下：按下 SB<sub>2</sub>，KM<sub>1</sub>、KT 线圈同时得电，KM<sub>1</sub> 主触点闭合，电动机降压启动，KM<sub>1</sub> 辅助触点闭合，使信号指示灯 HL<sub>1</sub> 亮，表示电动机接补偿器降压启动；电动机启动一段时间后，时间继电器 KT 的延时闭合触点自动闭合，使中间继电器 KA 线圈得电（其常开触点闭合，常闭触点断开），一方面 KA 常闭触点断开，使 KM<sub>1</sub> 线圈失电，KM<sub>1</sub> 常开触点断开，电动机瞬间失电；另一方面，KA 常开触点闭合，KM<sub>1</sub> 常闭触点闭合（此时 KM<sub>1</sub> 线圈失电），使 KM<sub>2</sub> 线圈得电，KM<sub>2</sub> 主触点闭合，使电动机全压继续启动，而后转为正常运行。

辅助电路中，SB<sub>2</sub> 两端并联的 KM<sub>1</sub> 常开触点、KT 延时闭合触点两端并联的 KA 常开触点都是自锁的环节，KA、KM<sub>1</sub> 触点保证电动机的降压启动和全压启动不会同时出现。

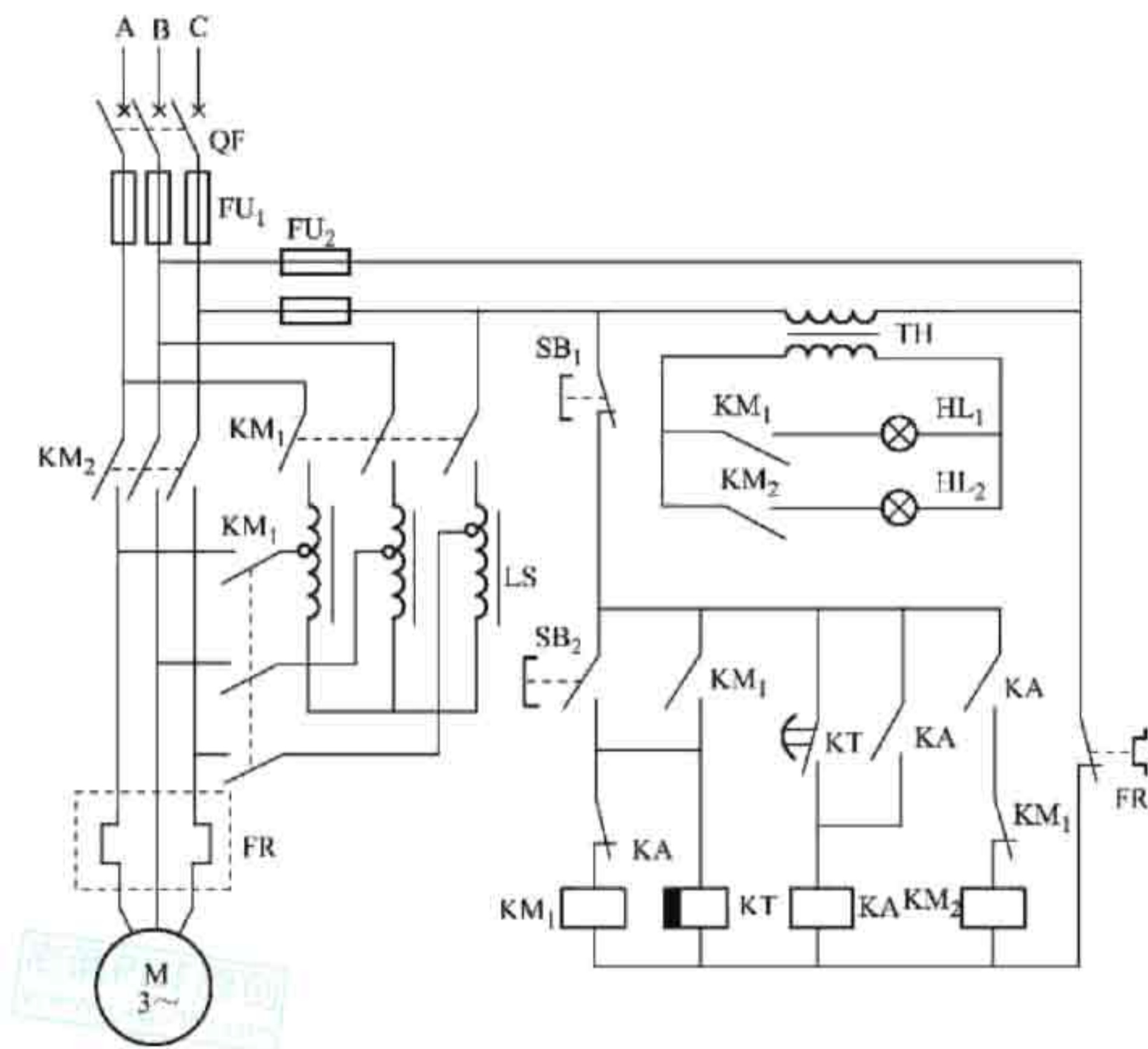


图 2-17 三相笼型异步电动机补偿器降压启动电路

#### 2.4.3.2 三相异步电动机采用延边三角形降压启动电路

采用延边三角形降压启动的电动机的定子绕组是特殊形式的。这种电动机的定子绕组共有 9 个接线端 (1W、1V、1U; 2W、2V、2U; 3W、3V、3U)。电动机正常工作时, 定子绕组接成三角形运行; 电动机启动时, 定子绕组接成延边三角形。

三相异步电动机延边三角形降压启动电路如图 2-18 所示。

由图 2-18 可见, 采用延边三角形降压启动的三相异步电动机的 9 个线端有规律地与 6 个交流接触器和热继电器的接线柱相接。

按下  $SB_2$  按钮开关时,  $KM$ 、 $KM_1$  和  $KT$  的线圈得电,  $KM$  和  $KM_1$  的主触点闭合, 电动机定子绕组接成延边三角形, 降压启动,  $KT$  得电, 使  $KT$  进入延时状态。

当  $KT$  延时到预定时间时,  $KT$  延时闭合的常开触点闭合, 则  $KM_2$  线圈得电,  $KM_2$  主触点闭合, 电动机定子绕组接成三角形, 电动机启动过程结束, 进入正常工作状态。

#### 2.4.3.3 双速电动机启动电路

双速电动机低速启动时, 定子绕组为三角形接法; 高速运行时, 定子绕组为双星形接法, 其启动电路如图 2-19 所示。

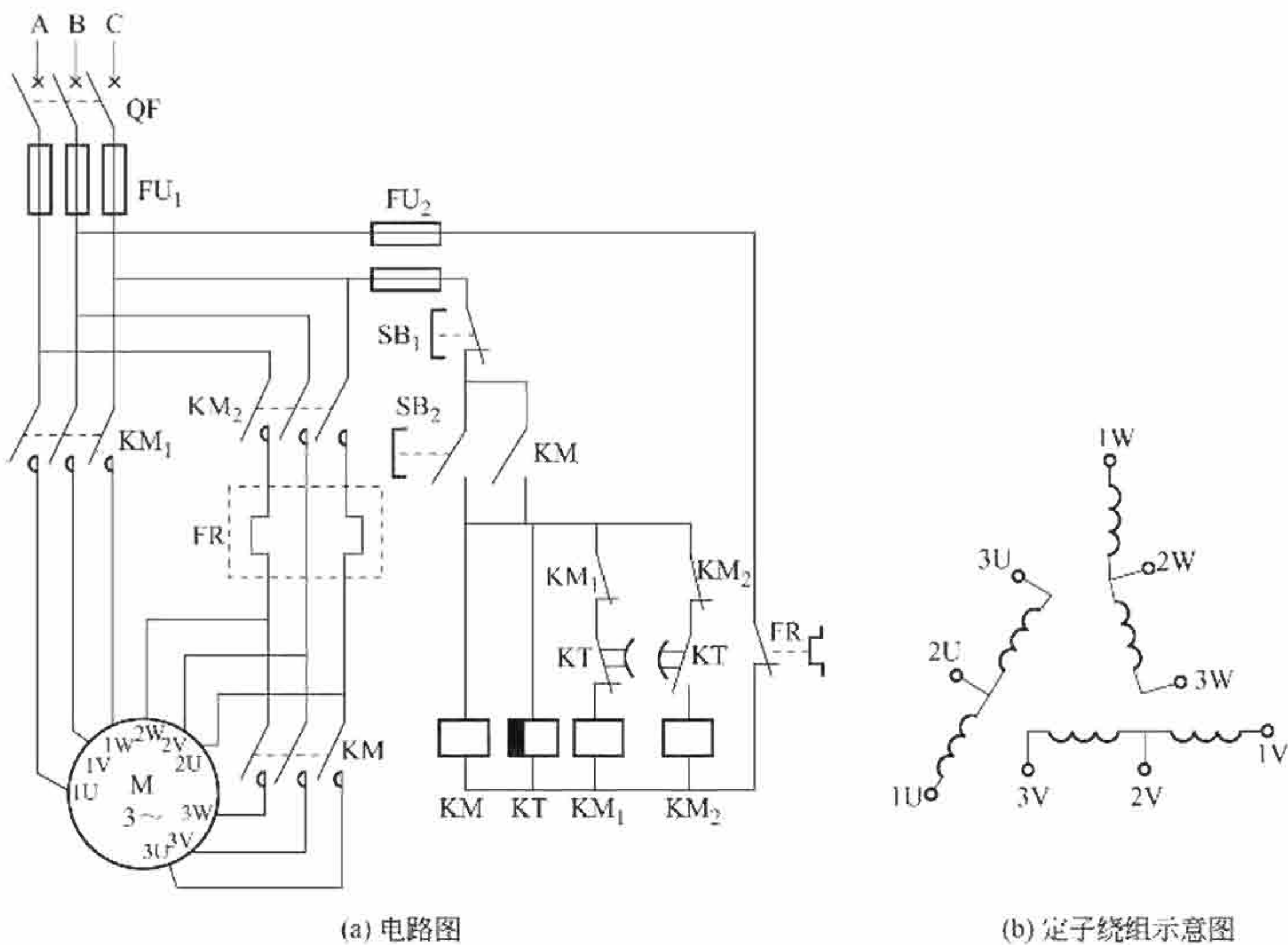


图 2-18 三相异步电动机延边三角形降压启动电路

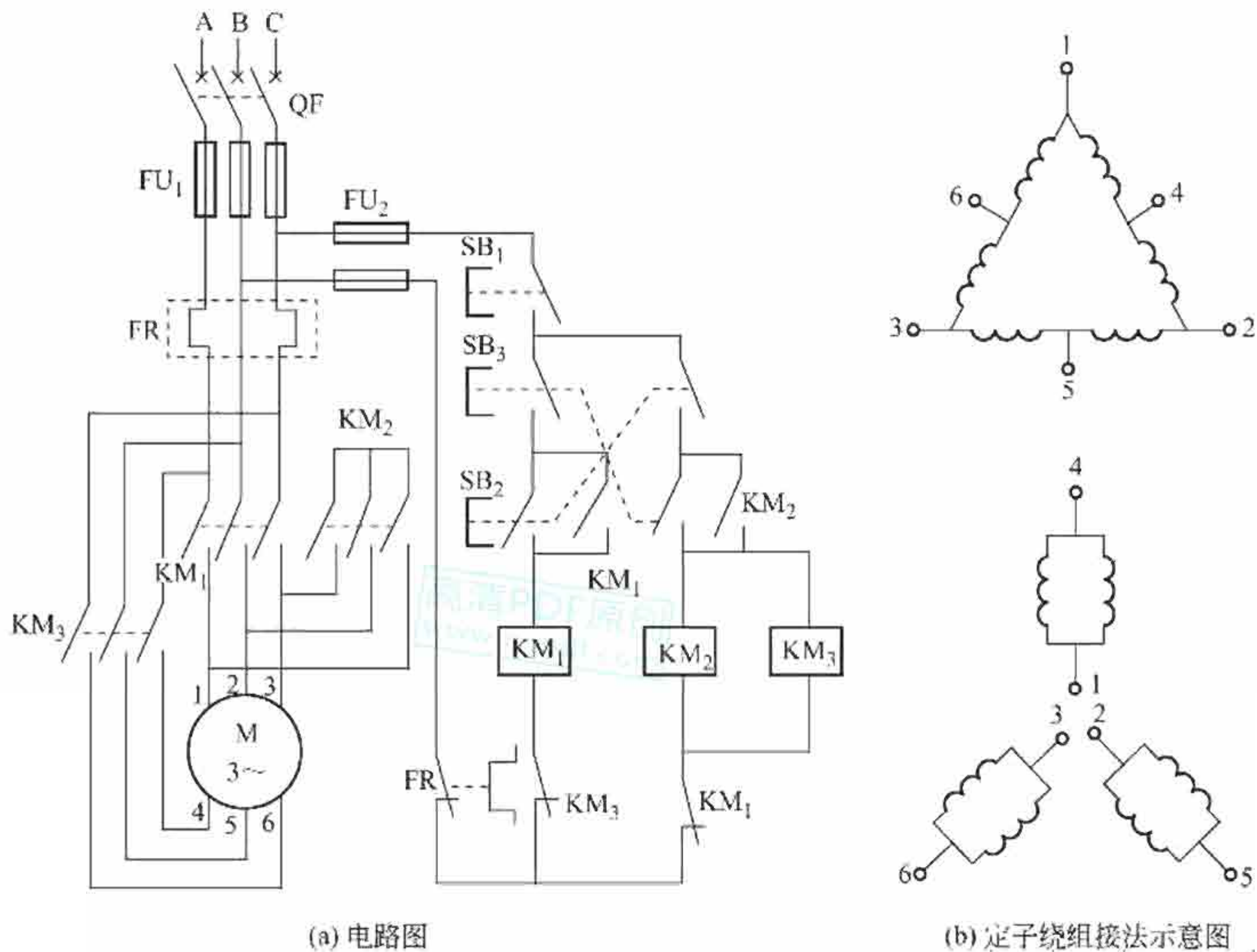


图 2-19 双速电动机启动电路

电路的工作过程如下：按下启动按钮  $SB_2$ ，控制低速的继电器  $KM_1$  线圈得电， $KM_1$  主触点闭合，电动机定子绕组接成三角形，电动机低速启动运行。

按下  $SB_3$  时， $KM_1$  线圈失电， $KM_2$  和  $KM_3$  线圈得电， $KM_2$  主触点闭合，使电动机定子绕组进线端 1、2、3 短接， $KM_3$  主触点闭合，使定子绕组出线端 4、5、6 接通电源，电动机以双星形接法接于电源，电动机为高速运行状态。

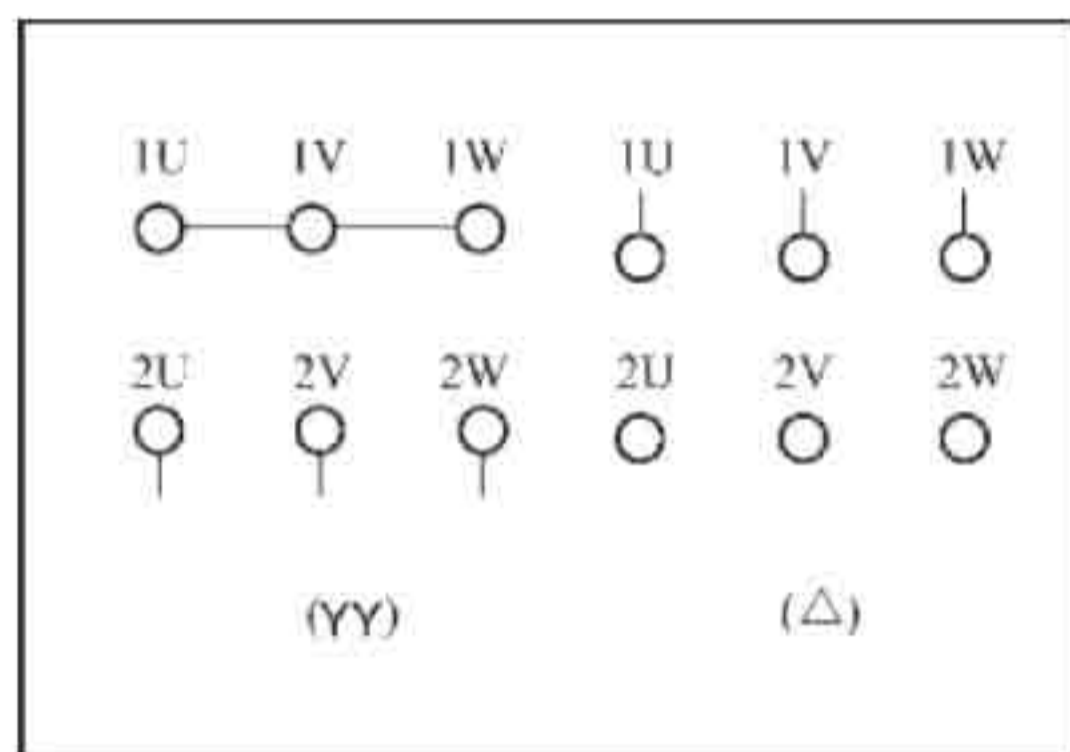
#### 2.4.3.4 三速电动机启动电路

三速电动机的定子绕组有 9 个接线端，通过 3 种不同的接线方法，可以改变定子磁极对数，从而使电动机有 3 种不同的转速。

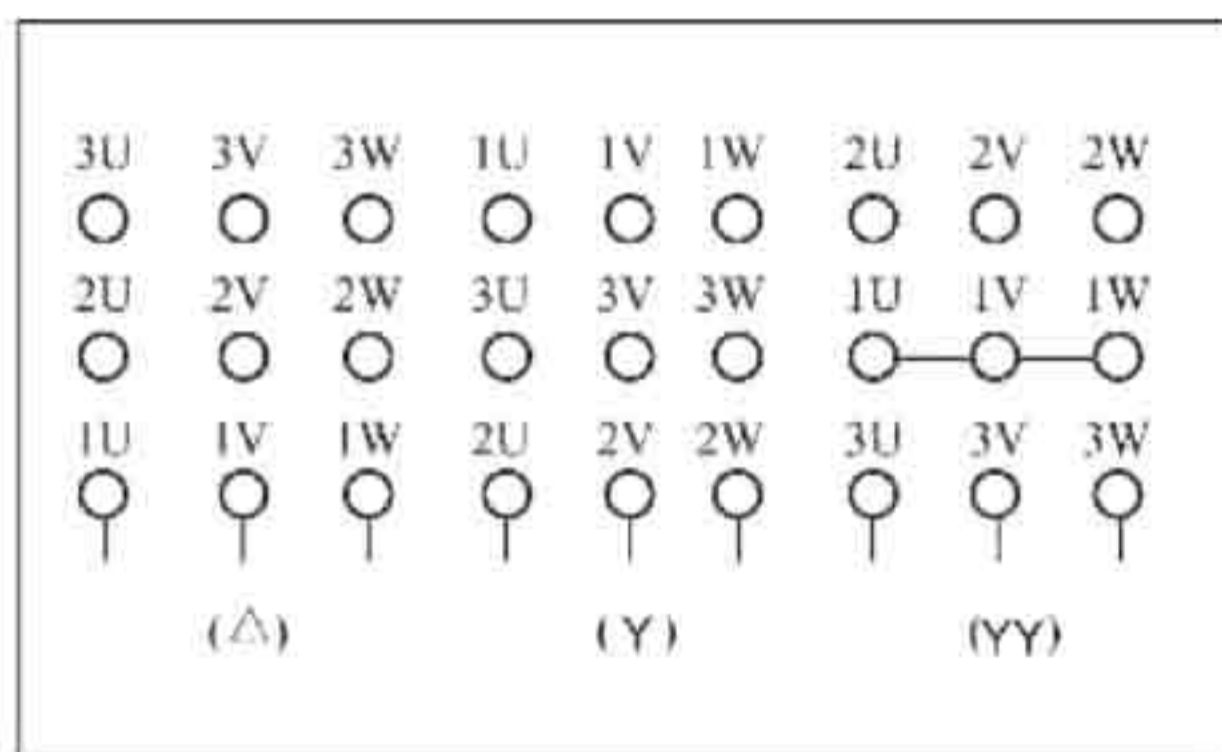
目前国产的 YD 系列变极多速电动机定子绕组接线方法及出线端数如表 2-1 所示，定子绕组与电源的连接方法如图 2-20 所示。

表 2-1 YD 系列变极多速电动机定子绕组接线方法及出线端数

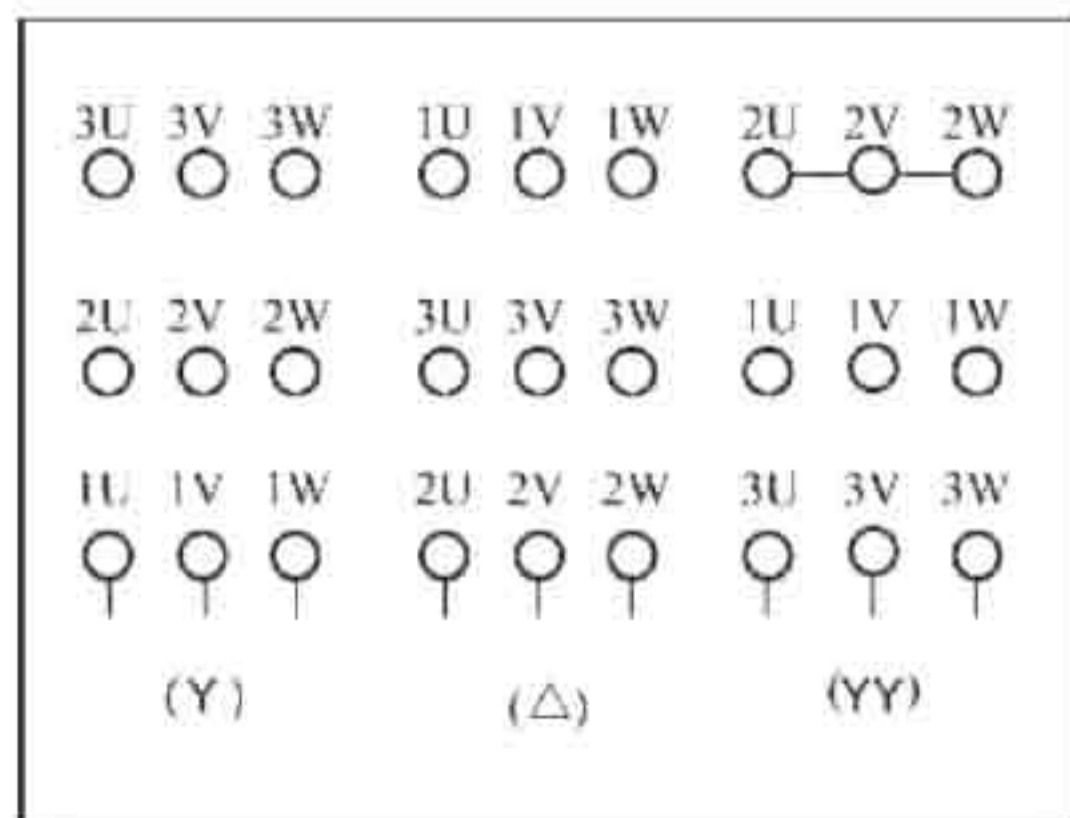
极数	4/2	6/4	8/4	8/6	12/6	6/4/2	8/4/2	8/6/4	12/8/6/4
接法	$\Delta/YY$ (双速)					$Y/\Delta/YY$		$\Delta/Y/YY$	$\Delta/\Delta/YY/YY$
出线端数	6					9		12	



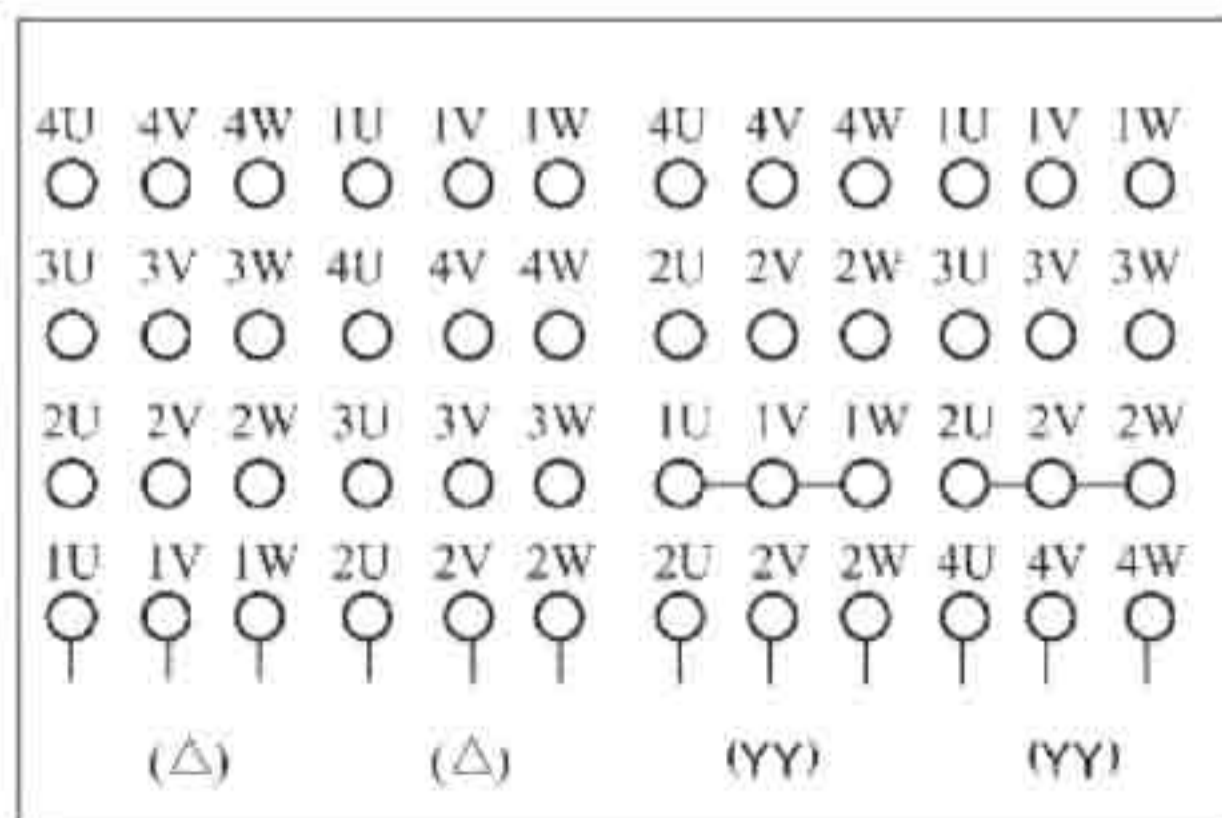
(a) 4/2、6/4、8/4、8/6、12/6 ( $\Delta/YY$ )



(b) 8/6/4 ( $\Delta/Y/YY$ )



(c) 6/4/2、8/6/4 ( $Y/\Delta/YY$ )



(d) 12/8/6/4 ( $\Delta/\Delta/YY/YY$ )

图 2-20 YD 系列变极多速电动机定子绕组与电源的连接方法

三速电动机定子绕组接法示意如图 2-21 所示，其启动电路原理如图 2-22 所示。

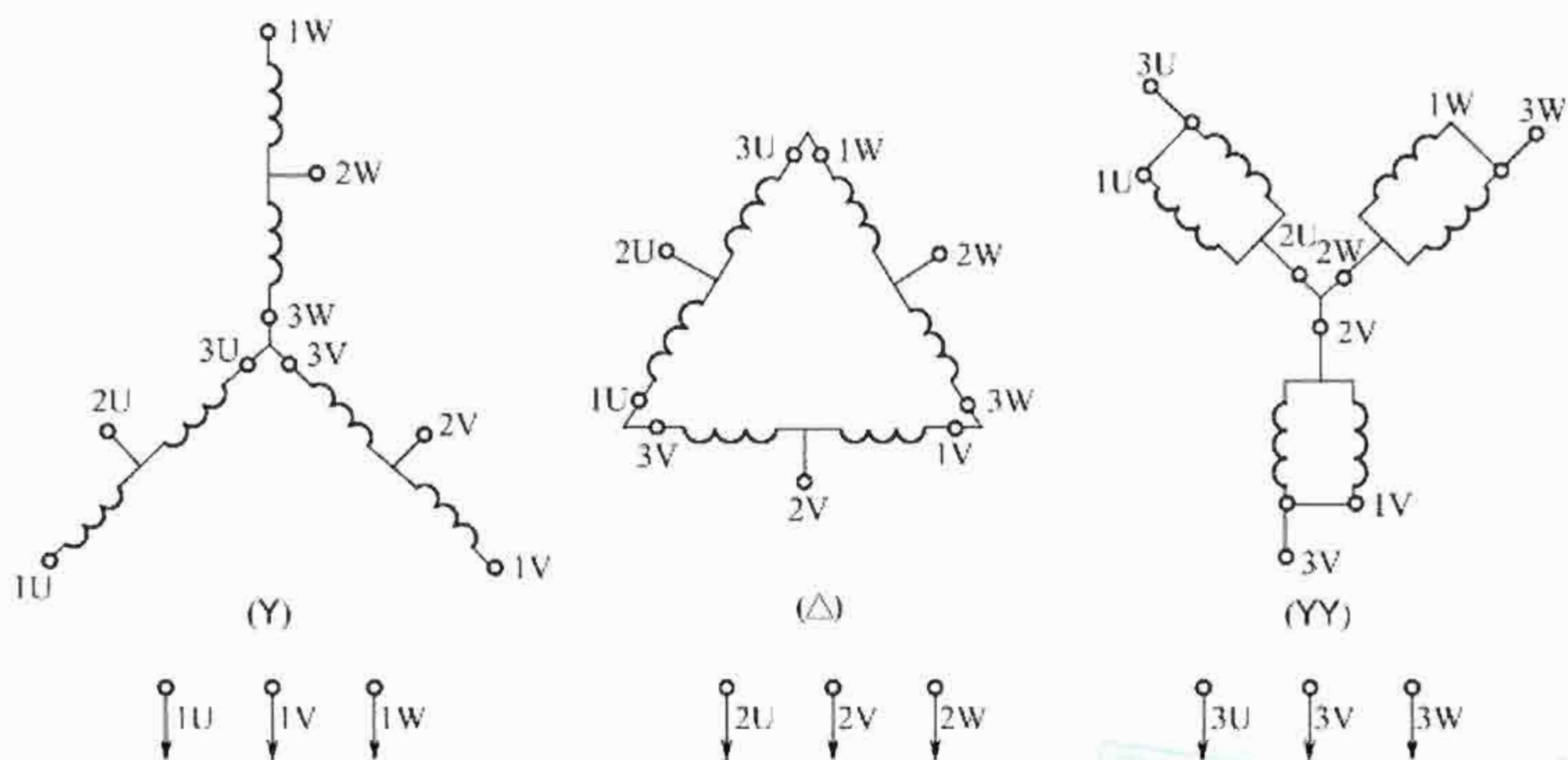


图 2-21 三速电动机定子绕组接法 (Y/Δ/YY) 示意

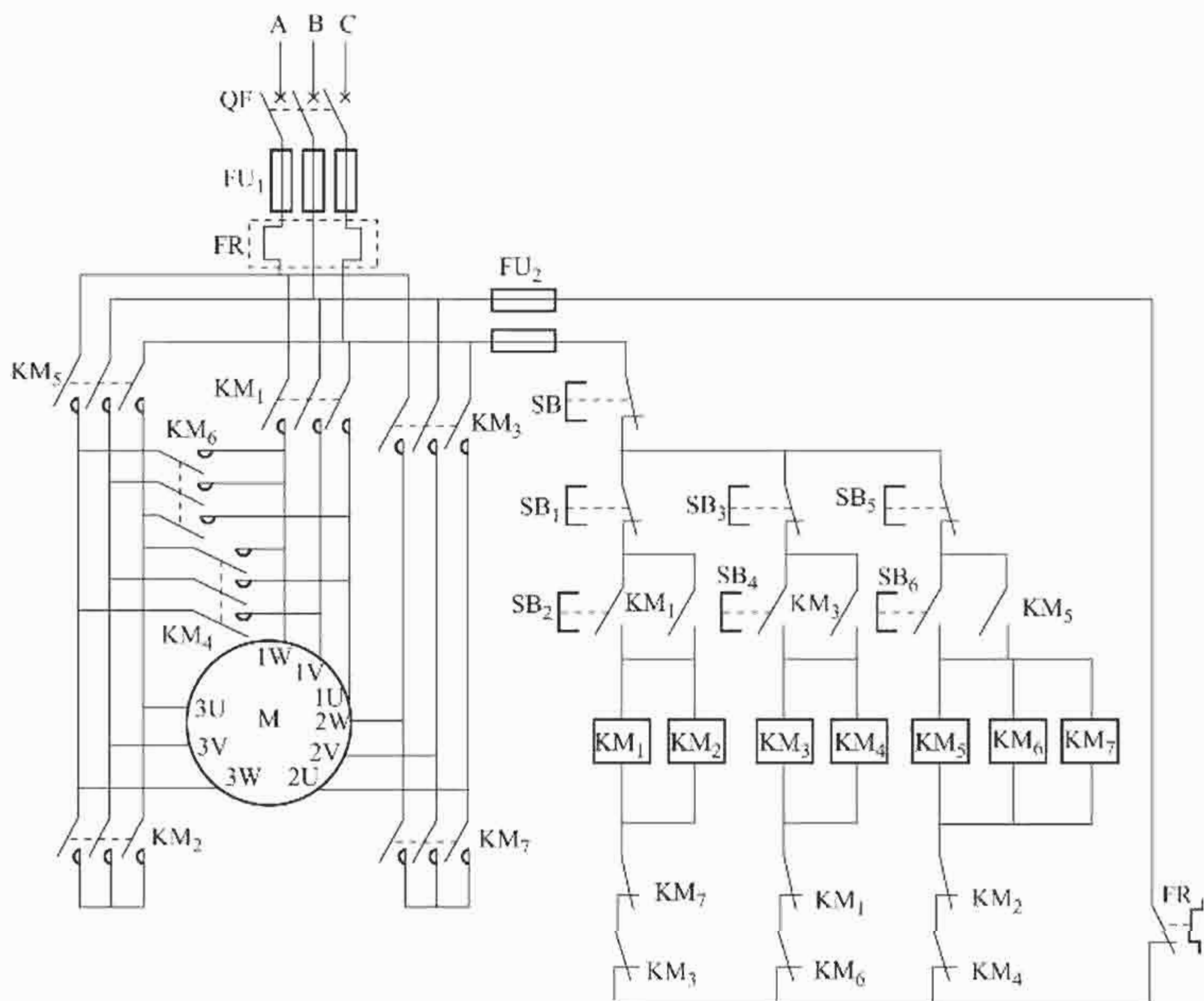


图 2-22 三速电动机启动电路 (Y/Δ/YY) 原理

若想使电动机高速运行，可先按动 SB，然后再按动 SB<sub>6</sub>。按动 SB<sub>6</sub>，会使 KM<sub>5</sub>、KM<sub>6</sub>、KM<sub>7</sub> 三个继电器线圈得电，KM<sub>5</sub>、KM<sub>6</sub>、KM<sub>7</sub> 的主触点闭合，电动机定子绕组接成双星形 (YY) 高速运行。

多速电动机启动电路中电动机定子绕组接线比较麻烦，辅助电路接线较为简单。下面简单说明图 2-21 所示电路的工作过程。闭合 QF，按下 SB<sub>2</sub>、SB<sub>4</sub> 或 SB<sub>6</sub>，电动机会以不同的转速启动运行。若按动 SB<sub>2</sub>，KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>2</sub> 线圈得电，KM<sub>1</sub> 的主触点闭合，使定子绕组的 1W、1V、1U 端与电源接通，KM<sub>2</sub> 主触点闭合，使 3W、3V、3U 短接，定子绕组接成 Y 形，电动机低速启动。KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>2</sub> 的辅助触点（互锁触点）断开，使 KM<sub>3</sub>~KM<sub>7</sub> 不得电。若想使电动机 M 由低速运行转为中速运行，应当先按动 SB<sub>1</sub> 按钮，先使 KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>2</sub> 失电，电动机 M 断电，然后再按动 SB<sub>4</sub> 按钮，使 KM<sub>3</sub> 和 KM<sub>4</sub> 线圈得电，KM<sub>3</sub> 和 KM<sub>4</sub> 主触点闭合，使电动机定子绕组接成△形，电动机定子绕组接上三相对称交流电，形成 4 极，转速（同步转速）为 8 极时的两倍。KM<sub>3</sub> 和 KM<sub>4</sub> 辅助触点（常闭触点）断开，使 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub>、KM<sub>5</sub>~KM<sub>7</sub> 不得电。

若想使电动机高速运行，可先按动 SB<sub>1</sub>，然后再按动 SB<sub>6</sub>。按动 SB<sub>6</sub>，会使 KM<sub>5</sub>~KM<sub>7</sub> 三个继电器线圈得电，KM<sub>5</sub>~KM<sub>7</sub> 的主触点闭合，电动机定子绕组接成双星形（YY）高速启动运行。

#### 2.4.3.5 三相绕线型异步电动机转子串入三级电阻启动电路

三相绕线型异步电动机转子串入三级电阻启动电路如图 2-23 所示。它根据电

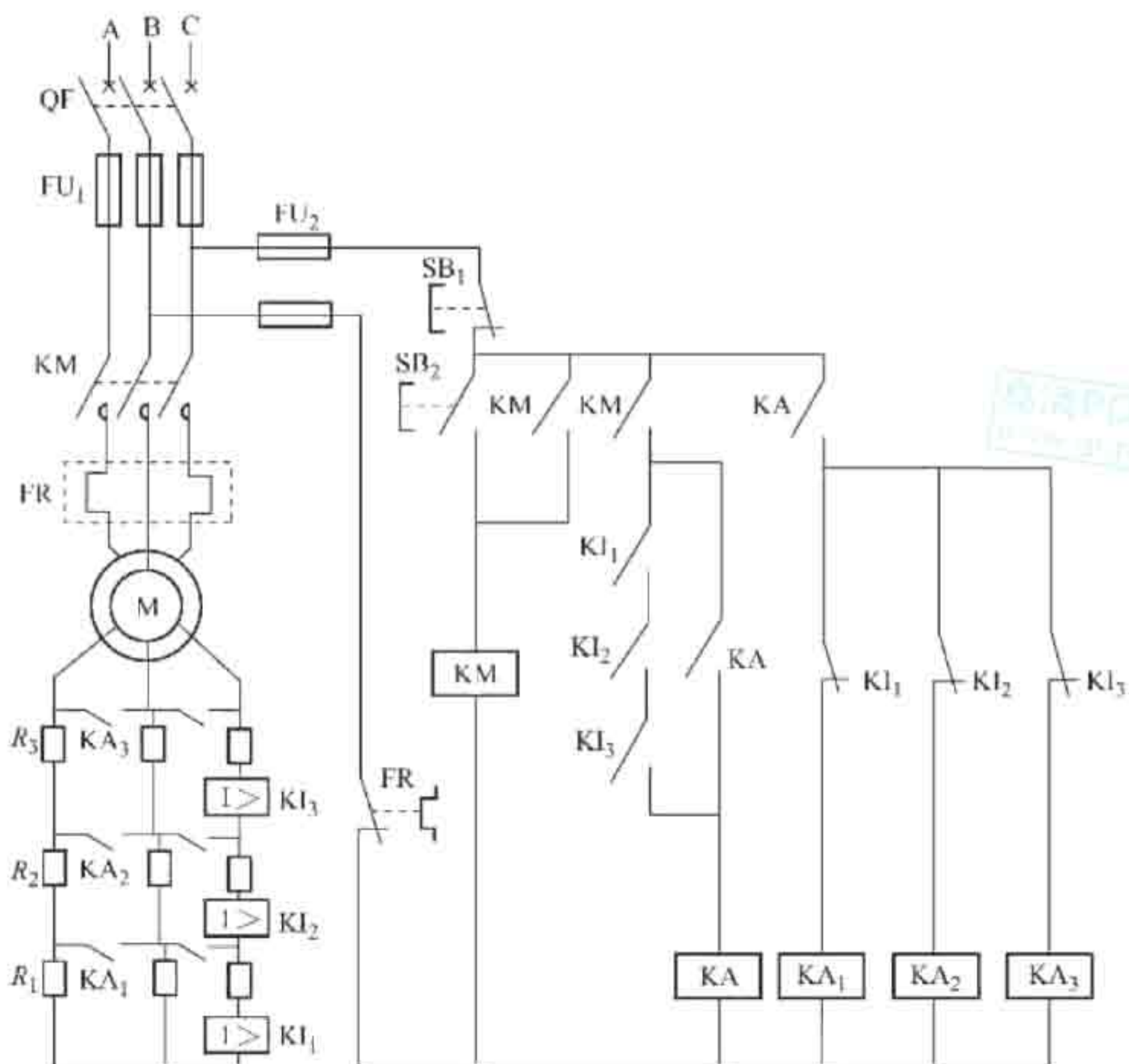


图 2-23 三相绕线型异步电动机转子串入三级电阻启动电路



動機轉子串入電阻值的大小，實現對電動機啓動力矩大小的控制。

在轉子電路中串入三級電阻和三個電流繼電器  $KI_1$ 、 $KI_2$ 、 $KI_3$ 。電流繼電器  $KI_1$ 、 $KI_2$ 、 $KI_3$  動作電流是不同的。要求  $KI_1$  動作電流最大， $KI_2$  動作電流次之， $KI_3$  動作電流最小。在電動機啓動過程中，轉子電路在剛開始啓動時，電流最大，三個電流繼電器  $KI_1$ 、 $KI_2$ 、 $KI_3$  都會動作，隨著電動機轉速上升，轉子電流逐漸變小，會使  $KI_1$ 、 $KI_2$ 、 $KI_3$  逐個恢復初始狀態（不動作狀態）。

電路的工作過程如下：閉合  $QF$ ，按動  $SB_2$ ， $KM$  得電并自鎖， $KM$  主觸點閉合，電動機轉子串入三級電阻啓動。電動機開始啓動時，轉子電流很大， $KI_1$ 、 $KI_2$ 、 $KI_3$  都動作，使  $KA$  得電動作并自鎖， $KI_1$ 、 $KI_2$ 、 $KI_3$  常閉觸點斷開， $KA_1$ 、 $KA_2$ 、 $KA_3$  都不會得電動作，電動機轉子串入三級電阻啓動。

當電動機轉速升高時，轉子電流會逐漸下降，會使  $KI_1$  首先返回初始狀態（沒有電流時的狀態），繼電器  $KA_1$  先得電動作， $KA_1$  常開觸點閉合，使電動機轉子上串聯的電阻  $R_1$  被切除。隨著電動機轉速的繼續上升，電流繼電器  $KI_2$ 、 $KI_3$  相繼返回初始狀態，繼電器  $KA_2$ 、 $KA_3$  相繼得電動作，使電動機轉子上串聯的電阻  $R_2$ 、 $R_3$  相繼被切除。

當電動機需要停轉時，按下  $SB_1$ ，則  $KM$  失電，電動機斷電，停止轉動。

## 第3章 怎样看电路接线图

学会看电气原理图是学会看电路接线图的基础；学会看电路接线图是进行实际接线的基础。反过来，通过具体电路接线，又能促进看电路接线图和看电气原理图能力的提高。

为了使读者学会看电路接线图，并能自行进行实际电路接线，从而提高识图能力，本章将先介绍看电路接线图方法和步骤，分析电气原理图与电路接线图的密切关系，然后看图举例。

### 3.1 看电路接线图常识

首先应明确电路接线图是依据相应电气原理图绘制的，电路接线后必须达到对应电气原理图所能实现的功能，这也是检验电路接线是否正确的唯一标准。

电路接线图与电气原理图在绘图上有很大区别。电气原理图以表明电气设备、装置和控制元件之间的相互控制关系为出发点，以明确分析出电路工作过程为目标。电路接线图以表明电气设备、装置和控制元件的具体接线为出发点，以接线方便、布线合理为目标。电路接线图必须标明每条线所接的具体位置，每条线都有具体、明确的线号，每个电气设备、装置和控制元件都有明确的位置，每个控制元件的不同部件都画在一起，并且常用虚线框起来，如一个接触器，将其线圈、主触点、辅助触点都绘制于一起，用虚线框起来。在电气原理图中，对同一个控制元件的不同部件，根据其作用绘制于不同的位置，如接触器的线圈和辅助触点绘制于辅助电路，而其主触点则绘制于主电路中。电原理图和电路接线图的具体区别如图3-1所示。

#### 3.1.1 电路接线图各电气设备、装置和控制元件的画法

① 电路接线图中的电气设备、装置和控制元件都是按照国家规定的电气图形符号给出的，而不考虑真实结构。

② 电路接线图中每个电气设备、装置和控制元件是按照其所在配电盘中的真实位置绘制的，同一个元器件集中绘制在一起，而且经常用虚线框起来。有的元器件用实线框图表示，其内部结构全部略去，而只画出外部接线，如半导体集成电路在电路接线图中只画出集成块和外部接线，而在实线框内标出型号。

③ 电路接线图中的每条线都标有明确的标号（称为线号）。每根线的两端必须标同一个线号。电路接线图中，串联元器件的导线线号标注有一定规律，即串联的

元器件两边导线线号不同。由图 3-1 中带熔断器刀开关 QK 两边的导线可见, 进入刀开关 QK 的三根导线线号分别为 W、V、U, 而从刀开关接出的三根导线线号分别为  $W_1$ 、 $V_1$ 、 $U_1$ 。

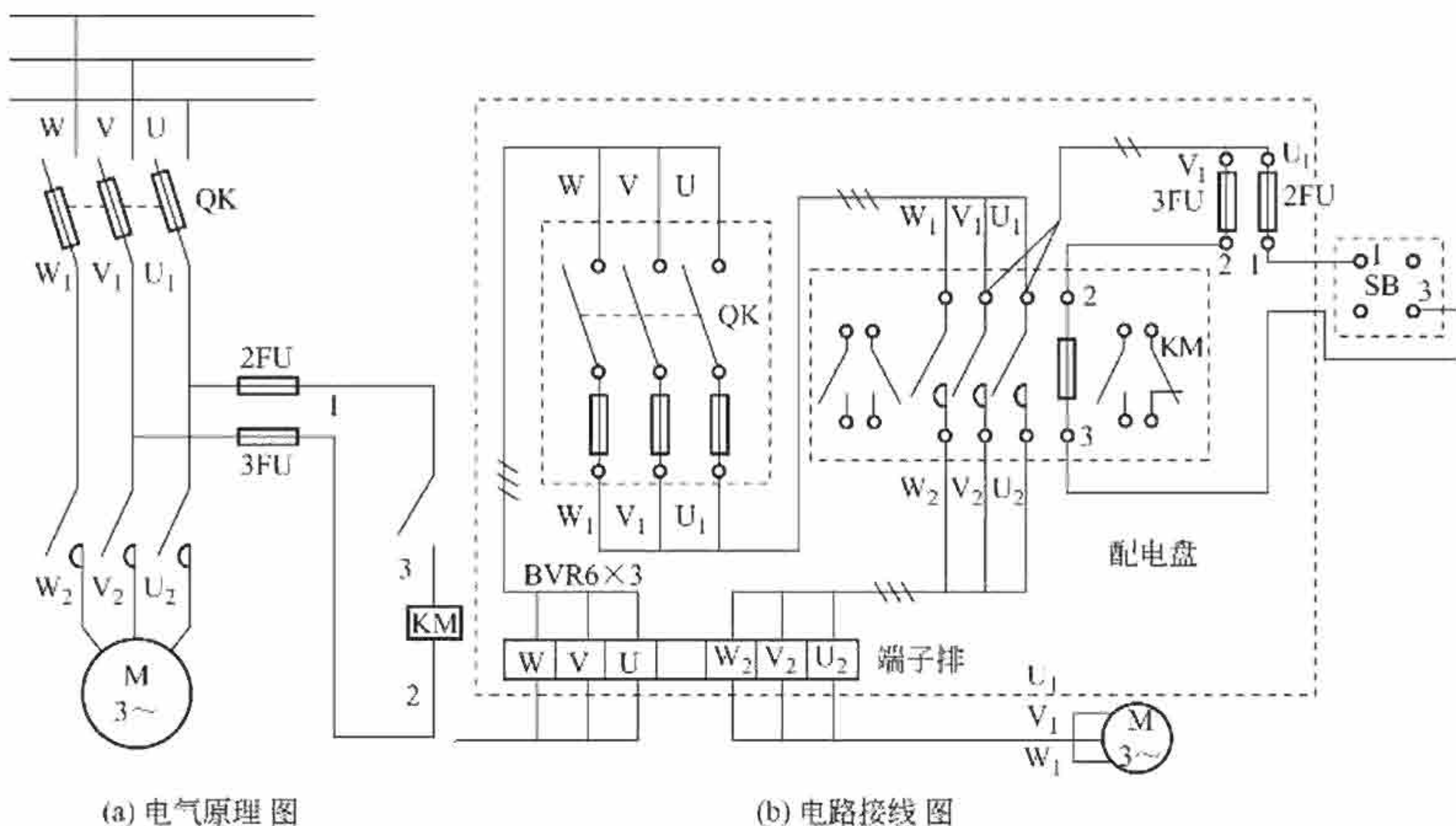


图 3-1 三相异步电动机点动控制的电气原理图和电路接线图

④ 电路接线图中凡是标有同线号的导线可以并接于一起。如图 3-1 中的连接熔断器 2FU 的两根线和连接交流接触器 KM 主触点的两根导线线号均为  $V_1$  和  $U_1$ , 则说明这四根线都是来自刀开关 QK 下端的  $V_1$  和  $U_1$  处, 也就是说, 从刀开关的  $V_1$  和  $U_1$  处可各引出两根线, 分别接于 KM 主触点和熔断器 2FU 的进线端。

⑤ 元器件的进线端为元器件的上端接线柱, 而出线端为元器件的下端接线柱。

### 3.1.2 电路接线图中电气设备、装置和控制元件的位置安排

#### 3.1.2.1 出入线端子

电源引入线端子和配电盘引出线端子通常都安排在配电盘下方或左侧。

#### 3.1.2.2 控制开关

配电盘总电源控制开关(刀开关或断路器)一般都安排在配电盘上方位置(左上方或右上方)。

#### 3.1.2.3 熔断器

配电盘有熔断器时, 熔断器也安装在配电盘的上方位置。

#### 3.1.2.4 开关

电路中按钮开关、转换开关、旋转开关一般都安装于容易操作的面板上, 而不是安装于配电盘上。按钮开关、转换开关、旋转开关与配电盘上的控制元件通常通过端子连接。

### 3.1.2.5 指示灯

电路中的指示灯都安装在容易观察的面板上。指示灯的连接线也通过配电盘所设置的端子引出。

### 3.1.2.6 交直流元器件

电路中采用直流控制的元器件与采用交流控制的元器件应分开区域安装，以避免交流与直流连接线搞错。

## 3.1.3 配电盘导线布置方法

配电盘导线布置（又称为布线）分为板前布线和板后布线两种。

① 布线时，一般将电源引入线与其他线分开，将直流线路与交流线路分开布置。

② 配电盘板前布线时，尽量使走线美观。板前布线用走线槽的方式，如图 3-2、图 3-3 所示，有的采用线龙走线方式。

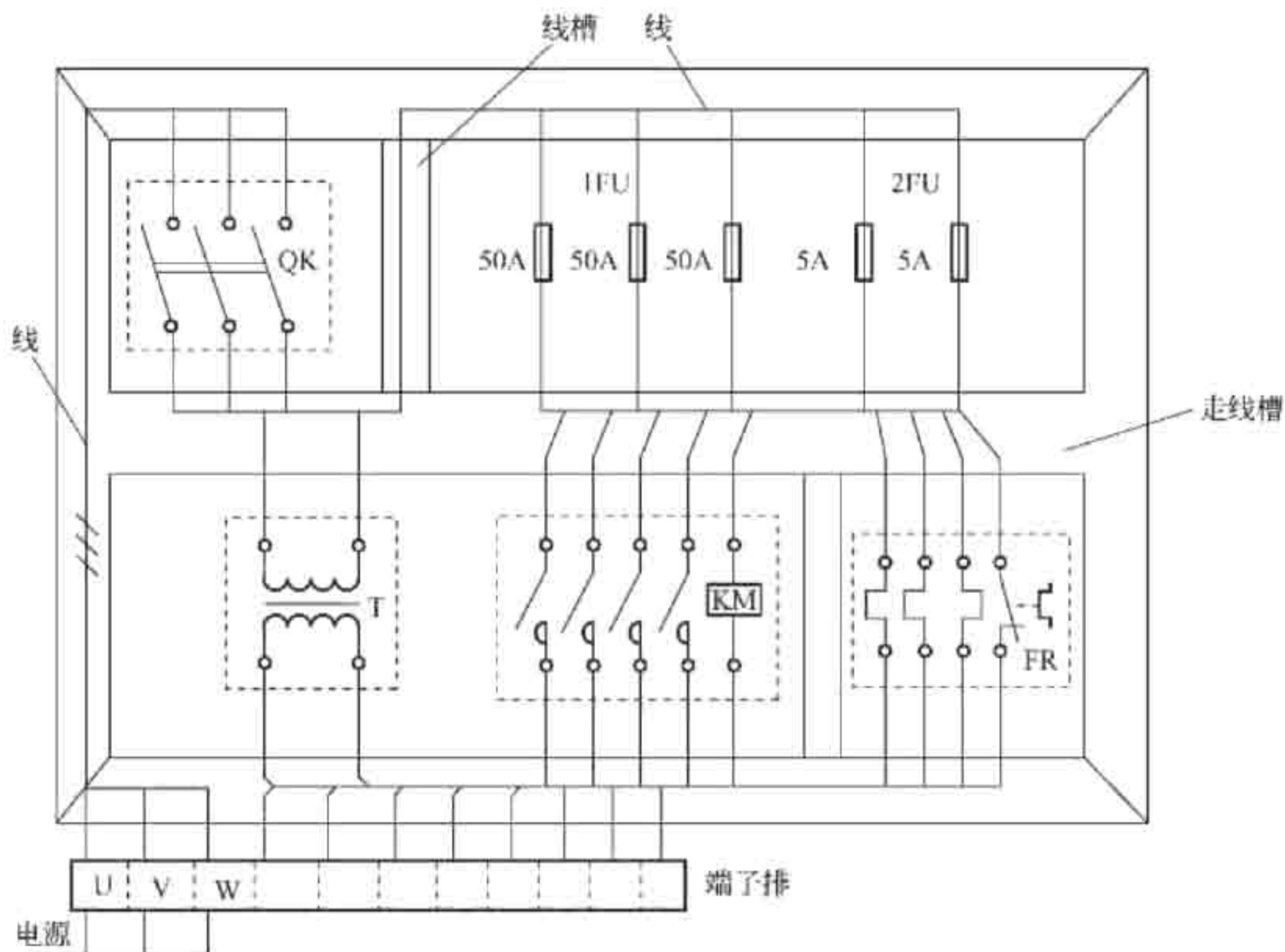


图 3-2 板前软线走线槽布线示意图

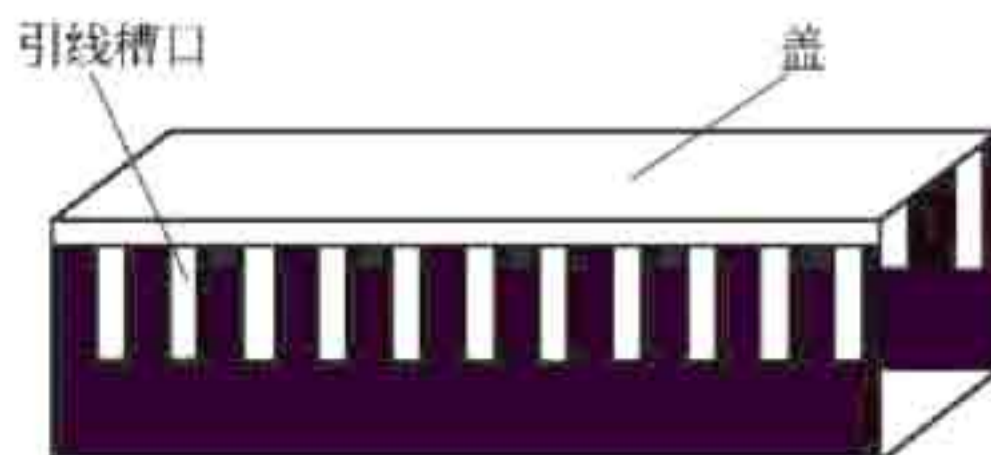


图 3-3 塑料线槽示意图

## 3.2 看电路接线图的方法和步骤

看电路接线图时，读懂电气原理图，并结合电气原理图看电路接线图是读懂电路接线图的最好的方法。下面介绍看电路接线图的步骤和方法。

第一步，分析电气原理图中主电路和辅助电路所含有的元器件，了解每个元器件动作的原理。了解辅助电路中控制元件之间的关系，明白辅助电路中有哪些控制元件与主电路有关系。

第二步，了解电气原理图和电路接线图中元器件的对应关系。在电气原理图中，元器件图形符号与电路接线图中的图形符号都应按照国家标准规定的图形符号绘制，但是电气原理图根据电路工作原理绘制，而电路接线图按电路实际接线绘制，这就造成了同一元器件在两种图中绘制方法上的区别，例如接触器、继电器、热继电器、时间继电器等控制元件，在电气原理图中将它们的线圈和触点画在不同位置（不同支路中）；在电路接线图中，将同一个继电器的线圈和触点画在一起，如图 3-1 所示为交流接触器 KM 的画法。

第三步，了解电路接线图中接线导线的根数和所用导线的具体规格。通过对电路接线图的细致观察，可以得出所需导线的准确根数和所用导线的具体规格。在电路接线图中，每两个接线柱之间需要一根导线，如图 3-1 中的配电盘内部共有 14 根线，其中主电路导线 9 根，辅助电路导线 5 根。在电路接线图中应该标明导线的规格，如图 3-1 中，连接电源与刀开关的导线为  $6\text{mm}^2$  塑料绝缘软线，图中标注的 BVR6×3 表示 3 根  $6\text{mm}^2$  的塑料绝缘软线。

在很多电路接线图中并不标明导线的具体型号、规格，而是将电路中所有元器件和导线的型号规格列入元件明细表中。

如果电路接线图中没有标明导线的型号规格，而明细表中也没有注明导线的型号规格，这就需要接线人员选择导线（有关导线选择另外说明）。

第四步，根据电路接线图中的线号研究主电路的线路走向。分析主电路的线路走向时，从电源引入线开始，依次找出主电路所接电器。电源引入线规定用文字符号  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  表示，或用 U、V、W、N 表示三相交流电源的三根相线（火线）和零线（中性线）。如图 3-1 中电源到电动机 M 之间连接线要经过配电盘端子引入→QK 刀开关→交流接触器 KM 的主触点（三对主触点）→配电盘端子（ $W_2$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ ）→电动机接线盒的接线柱。

第五步，根据线号研究辅助电路的线路走向。在实际电路接线过程中，主电路和辅助电路是按先后顺序接线的。这样做的原因是避免主、辅助电路线路混杂；另外，主电路和辅助电路所用导线型号、规格也不相同。

分析辅助电路的线路走向时从辅助电路电源引入端开始，依次研究每条支路的走向，如图 3-1 中，辅助电路电源是从交流接触点两对主触点的一端接线柱上引出

的（标有  $V_1$  和  $U_1$  线的接线柱）。辅助电路线路走向是  $U_1 \rightarrow$  熔断器 2FU  $\rightarrow$  接钮开关 SB  $\rightarrow$  KM 线圈  $\rightarrow$  3FU 熔断器  $\rightarrow V_1$ 。

### 3.3 识电路接线图实例


电路接线图种类很多，但最常用的为电力拖动电路、照明电路、变配电电路三种。在三种电路中，电力拖动电路接线最复杂，其他电路接线比较简单。下面分别介绍三种电路接线图的识图方法。

#### 3.3.1 照明电路接线图识图

照明电路接线图与其他两种电路接线图画法有重要区别。现在以建筑物照明为例，说明照明电路接线图画法和识图方法。

要看懂照明电路接线图，应该了解照明电路中灯具、开关和配电箱的电气图形符号，熟悉照明电路接线图画法。照明电路常用元器件电气图形符号如表 3-1 所列，电路常用绝缘导线种类如表 3-2 所列，电路中常用的各种导线规格如表 3-3 至表 3-6 所列。


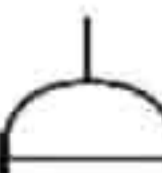
表 3-1 照明电路常用元器件电气图形符号

序号	符号名称	图形符号(GB 4728)	文字符号(GB 7159—87)
1	天棚灯		E 或 EL
2	花灯		
3	壁灯		
4	矿山灯		E 或 EL
5	安全灯		E 或 EL
6	隔爆灯		E 或 EL
7	球形灯		E 或 EL
8	普通白炽灯		E 或 EL
9	单管荧光灯		E 或 EL

续表

序号	符号名称	图形符号(GB 4728)	文字符号(GB 7159—87)
10	投光灯一般符号		E 或 EL
11	聚光灯		E 或 EL
12	泛光灯		E 或 EL
13	防爆荧光灯		E 或 EL
14	专用电路事故照明灯		E 或 EL
15	探照灯		E 或 EL
16	广照灯		E 或 EL
17	防火、防尘灯		E 或 EL
18	信号灯		H 或 HL
19	局部照明灯		E 或 EL
20	弯灯		E 或 EL
21	开关一般符号		S
22	三极开关一般符号		S
	暗装		
	密闭(防火)		

续表

序号	符号名称	图形符号(GB 4728)	文字符号(GB 7159—87)
22	防爆		S
23	单极拉线开关		S
24	单极双控拉线开关		S
25	单极三线双控开关		S
26	多拉开关		S
27	调光器		S
28	照明配电箱(屏)		AL
29	动力或动力-照明配电箱		AP
30	多种电源配电箱(屏)		AA
31	直流配电盘(屏)		AZ
32	事故照明配电箱(屏)		AL
33	交流配电盘(屏)		AJ
34	单相插座一般符号		X 或 XS
	暗装		
	密闭(防水)		
	防爆		



续表

序号	符号名称	图形符号(GB 4728)	文字符号(GB 7159—87)
35	带接地插孔单相插座 一般符号		X 或 XS
	暗装		
	密闭(防水)		
	防爆		
36	带接地插孔三相插座 一般符号		X 或 XS
	暗装		
	密闭(防水)		
	防爆		
37	电信插座符号		X 或 XS

表 3-2 电路常用绝缘导线型号

序号	名称	新型号	旧型号	工作电压/V	敷设场合与要求
1	铝芯氯丁橡皮线 铜芯氯丁橡皮线	BLXF BXF	BLXF BXF	交流 500, 直流 1000	固定敷设有, 尤其适用于户外, 可明敷或暗敷
2	铝芯橡皮线 铜芯橡皮线	BLX BX	BBLX BBX	交流 500, 直流 1000	固定敷设有, 可明敷或暗敷
3	铜芯橡皮软线	BXR	BBXR	交流 500, 直流 1000	室内安装, 要求较柔软时的场合
4	铝芯橡皮绝缘氯丁橡皮护套电线 铜芯橡皮绝缘氯丁橡皮护套电线	BLXHL BXHL	BLXHF BXHF	交流 500, 直流 1000	敷设有于较潮湿的场合, 可明敷或暗敷
5	铝芯聚氯乙烯绝缘电线 铜芯聚氯乙烯绝缘电线	BLV BV	BLV AV、BV	交流 500, 直流 1000	固定敷设有于室内外及电气设备内部, 可明敷或暗敷, 最低敷设有温度不低于 -15℃
6	铝芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘电线 铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘电线	BLV-105 BV-105	BL-105 BV-105	交流 500, 直流 1000	固定敷设有于高温环境的场所, 可明敷或暗敷, 最低敷设有温度不低于 -15℃

续表

序号	名称	新型号	旧型号	工作电压/V	敷设场合与要求
7	铜芯聚氯乙烯软线	BVR	BVR AVR	交流 500, 直流 1000	固定敷设, 安装时要求柔软使用, 最低敷设温度不低于 $-15^{\circ}\text{C}$
8	铝芯聚氯乙烯绝缘 聚氯乙烯护套电线	BLVV	BLVV	交流 500, 直流 1000	固定敷设于潮湿的室内和机械防护要求较高的场合, 可明敷或暗敷或直接埋地下, 最低敷设温度不低于 $-15^{\circ}\text{C}$
	铜芯聚氯乙烯绝缘 聚氯乙烯护套电线	BVV	BVV		
9	农用铝芯聚氯乙烯 绝缘电线	NLV		交流 500, 直流 1000	直接埋地下, 埋设深度 1m 以下, 最低敷设温度不低于 $-15^{\circ}\text{C}$
	农用铝芯聚氯乙烯 绝缘聚氯乙烯护套 电线	NLVV			
10	铜芯耐热 $105^{\circ}\text{C}$ 聚 氯乙烯绝缘软线	BVR-105	AVR-105	交流 500, 直流 1000	同 BV-105, 安装时要求柔软的场所
11	纤维和聚氯乙烯绝 缘电线	BSV	ASV	交流 500, 直流 1000	电器、仪表等中作固定敷 设的线路接线用 用于交流 250V 或直流 500V 的场合
	纤维和聚氯乙烯绝 缘软线	BSVR	ASVR	交流 250, 直流 500	
12	丁腈聚氯乙烯复合 物绝缘 电气装置用电线	BVF	AVF	交流 500, 直流 1000	用于交流 500V 或直流 1000V 以下的电器、仪表等 装置作连接线用
	丁腈聚氯乙烯复合 物绝缘 电气装置用软线	BVFR	AVFR		

表 3-3 电路常用导线规格 (小线径)

BL $\times$ 、BX、BLXF BXF 型氯丁橡皮线规格

导线截面积 /mm <sup>2</sup>	导线结构 (根数/直径 mm)	电线最大外径/mm				
		BL $\times$ 、BX				BLXF、BXF
		1 芯	2 芯	3 芯	4 芯	
0.75	1/0.97	4.4				3.4
1	1/1.17	4.5	8.7	9.2	10.1	3.5
1.5	1/1.37	4.8	9.2	9.7	10.7	3.7
2.5	1/1.76	5.2	10.0	10.7	11.7	4.1
4	1/2.24	5.8	11.1	11.8	13.0	4.6
6	1/2.73	6.3	12.2	13.0	14.3	5.0
10	7/1.33	8.1	15.8	16.9	18.7	7.0
16	7/1.70	9.4	18.3	19.5	21.7	8.7

表 3-4 BXR 型橡皮线规格 (小线径)

导线截面积/mm <sup>2</sup>	导线结构(根数/直径 mm)	绝缘层厚度/mm	电线最大外径/mm
0.75	7/0.37	1.0	4.5
1	7/0.43	1.0	4.7
1.5	7/0.52	1.0	5.0

续表

导线截面积/mm <sup>2</sup>	导线结构(根数/直径 mm)	绝缘层厚度/mm	电线最大外径/mm
2.5	19/0.41	1.0	5.6
4	19/0.52	1.0	6.2
6	19/0.64	1.0	6.8
10	19/0.82	1.2	8.2
16	49/0.64	1.2	10.1

表 3-5 BLV、BV、BLV-105 BV-105 型单芯及二芯型聚氯乙烯线规格

导线截面积/mm <sup>2</sup>	导线结构 (根数/直径 mm)	绝缘厚度/mm	电线最大外径/mm	
			单芯	二芯平行
0.2	1/0.5	0.4	1.4	1.4×2.8
0.3	1/0.6	0.4	1.5	1.5×3.0
0.4	1/0.7	0.4	1.7	1.7×3.4
0.5	1/0.8	0.5	2	2.0×4.0
0.75	1/0.97	0.6	2.4	2.4×4.8
1.0	1/1.13	0.6	2.6	2.6×5.2
1.5	1/1.37	0.8	3.3	3.3×6.6
2.5	1/1.76	0.8	3.7	3.7×7.4
4	1/2.24	0.8	4.2	4.2×8.4
6	1/2.73	0.8	4.8	4.8×9.6
10	7/1.33	1.0	6.6	6.6×13.2
16	7/1.70	1.0	7.8	—

表 3-6 BVR BVR-105 型聚氯乙烯软线规格

导线截面积/mm <sup>2</sup>	导线结构(根数/直径 mm)	绝缘厚度/mm	电线最大外径/mm
0.75	7/0.37	0.6	2.5
1.0	7/0.43	0.6	2.7
1.5	7/0.52	0.8	3.5
2.5	19/0.41	0.8	4.0
4	19/0.52	0.8	4.5
6	19/0.64	0.8	5.3
10	49/0.52	1.0	7.4
16	49/0.64	1.0	8.5

### 3.3.1.1 厂房照明电路接线图

现在列举小型厂房照明电路接线图(如图 3-4 所示),以便提供照明电路接线图的基本识图知识。

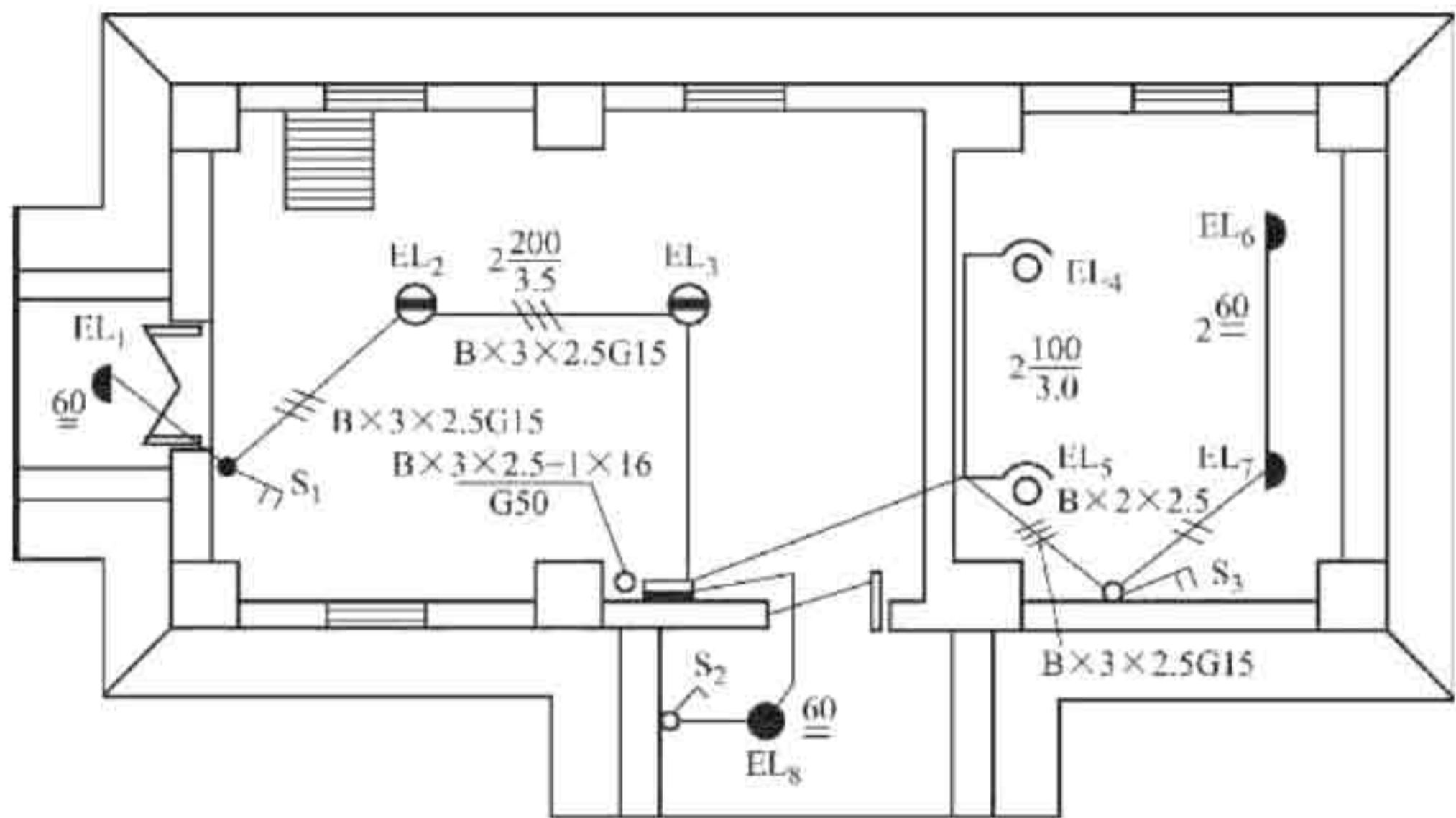


图 3-4 小型厂房照明电路接线图

- 注：1. 未标明的管线为  $B \times 3 \times 2.5 G15$  配线。  
2. 灯开关距地面距离 1.4m。  
3. 照明配电箱中心距地面 1.8m。

由图 3-4 可见，建筑照明电路接线图（平面图）应该绘出建筑物的平面图，在建筑物平面图内再绘出电路接线图。照明电路接线图应标明灯具类型、灯具距本层地面的高度，还应标明或说明照明灯具开关和照明配电箱中心距本层地面的高度。

对图 3-4 有如下说明： $2 \frac{200}{3.5}$  为功率 200W，距地面高度 3.5m 的灯，共两盏； $EL_1$ 、 $EL_6$ 、 $EL_7$  为天棚灯，60W/220V； $EL_2$ 、 $EL_3$  为安全灯，200W/220V，距地面 3.5m； $EL_4$ 、 $EL_5$  为弯灯，100W/220V，距地面 3m； $EL_8$  为球形灯，60W/220V； $B \times 3 \times 2.5$  代表铜芯橡皮电线 3 根、截面积  $2.5 \text{mm}^2$ ；G50 代表铁管；管径 50mm； $S_1$ 、 $S_3$  为双极暗装灯开关； $S_2$  为单极暗装灯开关。

灯具开关距地面 1.4m，照明配电箱中心距地面 1.8m，所有导线采用穿铁管暗配线。

### 3.3.1.2 居民楼照明电路接线图（2 层两户电路）

居民楼配电箱一般是一个栋口（楼口）一个，各住户按照三相电源平衡原则配线。现在设定配电箱在 2 层，电路接线图如图 3-5 所示。

由图 3-5 可见，居民楼照明电路的进户配电箱很简单，里边只有单相电度表和带熔断器的刀开关（双极单相刀开关）。近年建筑的居民楼房每户都设有单相电度表和单极断路器，每户还设有漏电保护器。每户单相电度表和单极断路器每个楼口集中设置于 3 层或 4 层走廊内。每户漏电保护器设置于每户进户线位置。如图 3-5 所示实例，每户设置照明配电箱，每户的进线是从其照明配电箱引出的。

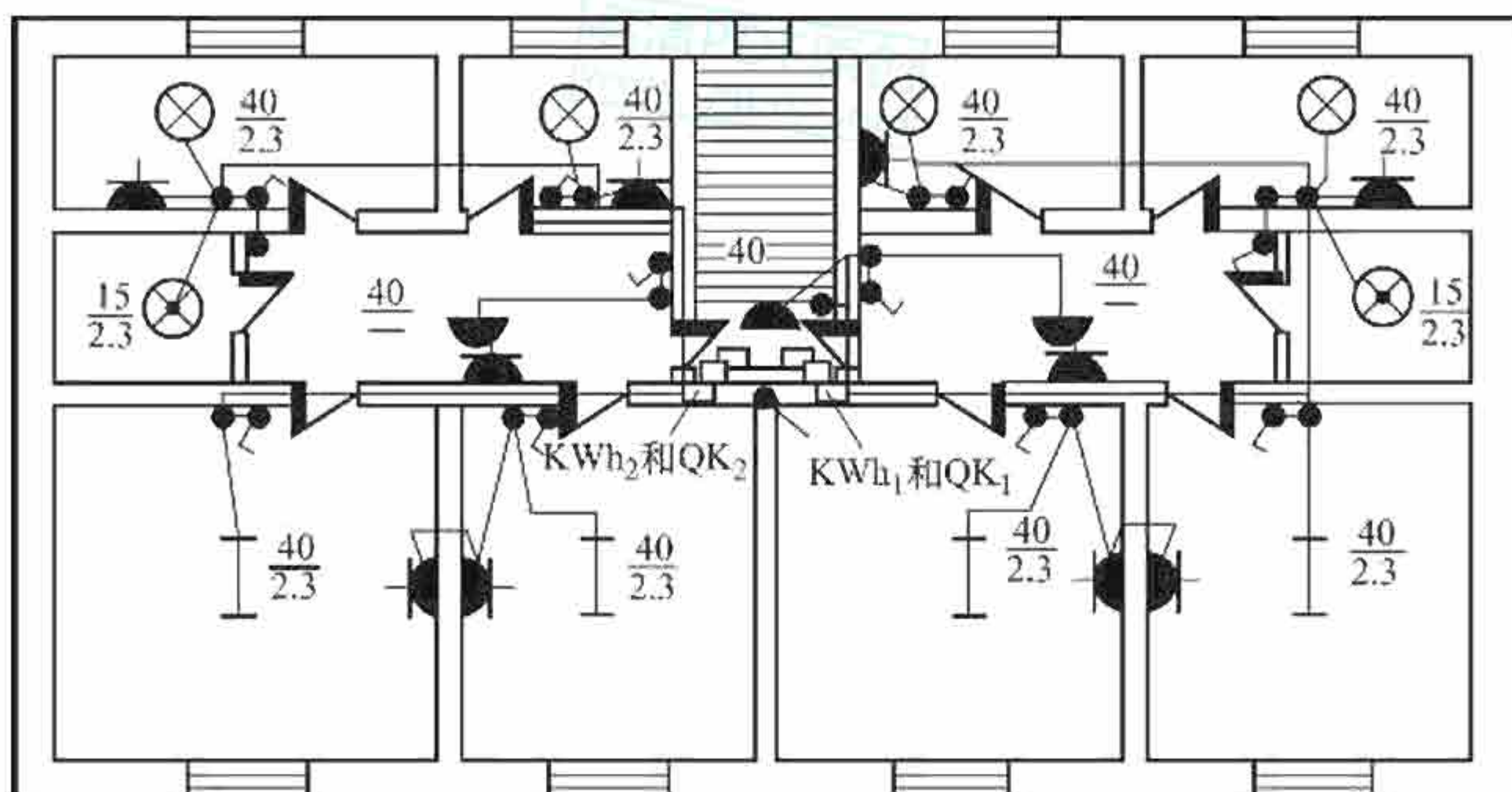


图 3-5 居民楼 2 层两户电路接线图

- 注：1. 所有灯单极暗开关距地面 1.5m。  
 2. 分线盒距地面 2.6m。  
 3. 所有导线都是 BV2×4 G15PA 配线。  
 4. 照明配电箱距地面 1.8m（中心高度）。  
 5. 暗装带接地插孔单相插座距地面 0.5m。  
 6. 分户配电箱距地面 1.8m。

由图 3-5 可以看出，每户的墙上都有 5 个分线盒，每户都有两盏 40W 白炽灯，1 盏 15W/220V 防水、防尘灯，2 盏荧光灯，1 盏天棚灯（设置在走廊中），每户都安装了带接地插孔单相插座 5 个，每个灯都由扳式开关控制。

电路接线图中，所有元器件的安装都有具体位置的规定。在图 3-5 中，灯具、开关、分线盒等都标明了距地面高度，但没有标明这些器件的立体坐标，这是因为照明电路还有建筑布线总图，在总图上明确标明了每个器件所在平面位置，所以每层照明电路接线图只标明灯具的类型、功率、距地面高度即可。

这里所介绍的照明电路接线比较简单，而实际电路比这两个电路都要复杂，但总的不会有太多的变化。

### 3.3.2 电力拖动电路接线图

电力拖动电路是最复杂、种类最多的电路，也是最容易出接线错误的电路。为此对这部分电路接线图进行详细说明。

#### 3.3.2.1 三相异步电动机启动电路

三相异步电动机（10kW 以下）启动电路是最常见的电力拖动电路，其电气原理图和电路接线图如图 3-6 所示。图 3-6 电路中元器件明细表见表 3-7。如对此电路能很好地理解，就能进一步对复杂的电力拖动电路进行分析。

由图 3-6 可见，电气原理图中主电路和辅助电路的控制与被控制的关系很明确，电路的工作过程很容易看出来。只要顺着线路便很容易看出：若闭合 QF 断路

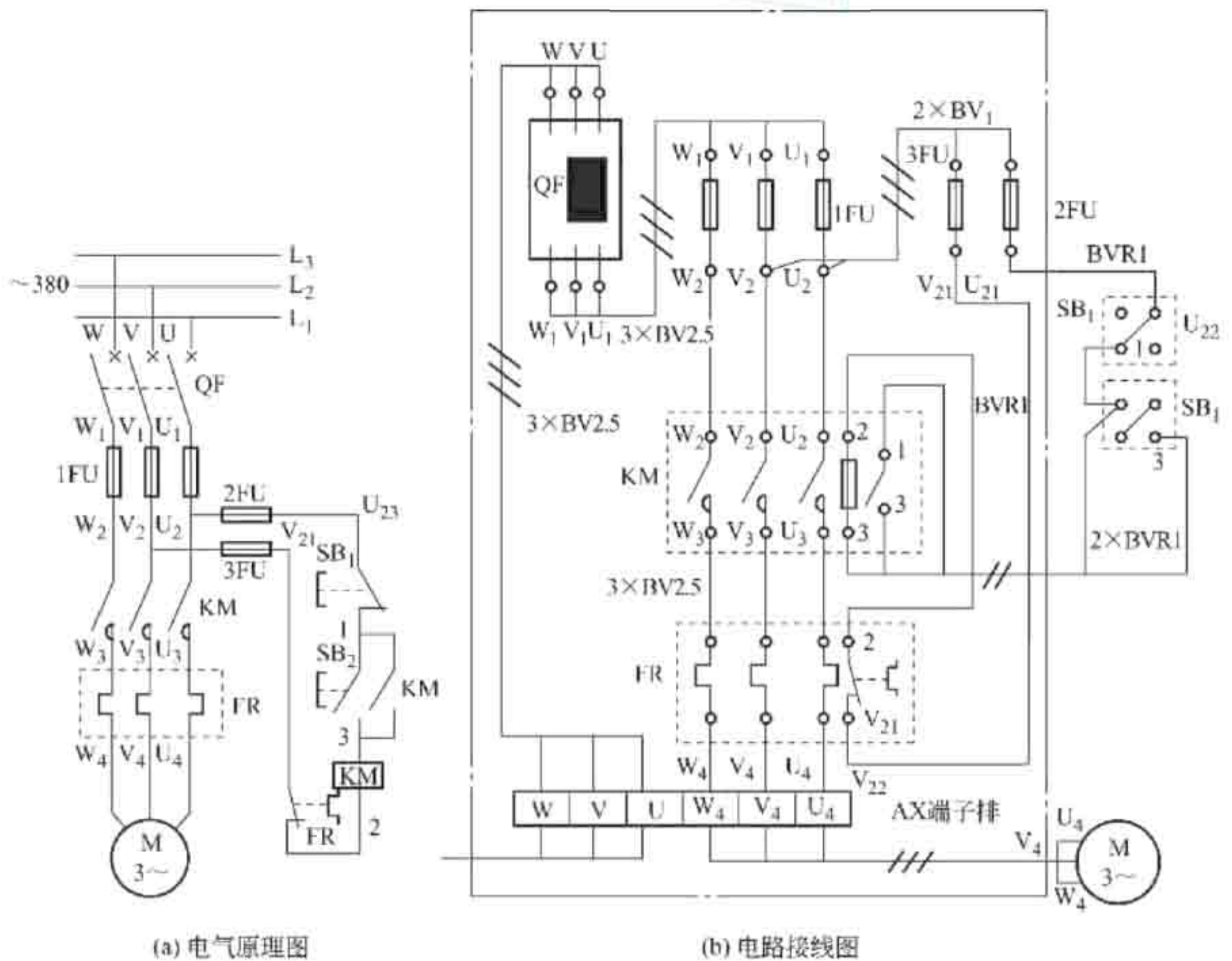


图 3-6 三相异步电动机启动电路

表 3-7 图 3-6 电路中元器件明细表

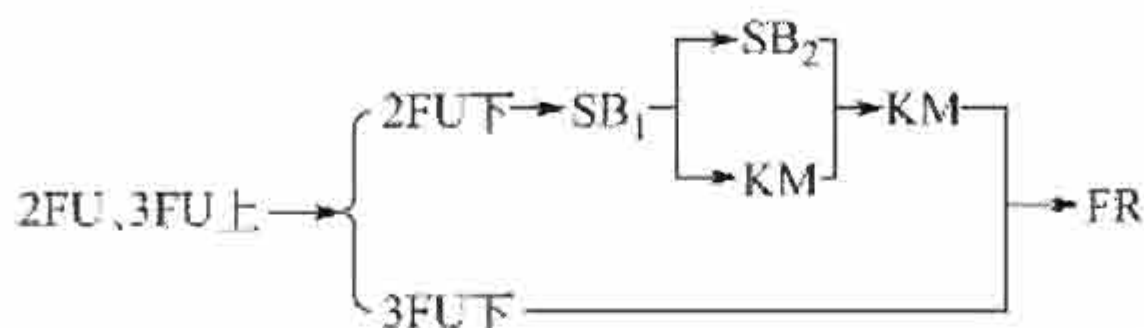
符号	元器件名称	型号	数量
M	三相异步电动机	Y1 32S-4(5.5 kW)	1
QF	三极断路器	DZ10-100	1
1FU	熔断器	RL1-15	3
2FU, 3FU	熔断器	RL1-15	2
FR	热继电器	JR16B-20/3	1
SB <sub>1</sub>	按钮开关(红色)	LAY-11	1
SB <sub>2</sub>	按钮开关(绿色)	LAY-11	1
KM	交流接触器	3TB40	1

器，再按动 SB<sub>2</sub> 按钮开关，则 KM 交流接触器动作，主电路中的 KM 主触点闭合，电动机 M 接通电源开始启动运行。

电路接线图标明了配电盘上各控制元件与电源、电动机、按钮开关的连线关系，也标明了配电盘内各控制元件之间的连线。在具体分析电路接线图时，从电源

端开始顺主电路看, 可知电源线通过端子排 AX 的 W、V、U 引入经 QK 上端→QK 下端→1FU 三个熔断器上端→1FU 下端→KM 主电路→FR 主发热元件→AX 端子 W<sub>4</sub>、V<sub>4</sub>、U<sub>4</sub>→电动机 M。

分析辅助电路时, 从辅助电路电源端开始。从 1FU 中两个熔断器下端引入 380V 电源, 电流通路为:



通过以上对电路接线图的分析可知, 只要将标注有相同线号的两个接线柱用导线连接起来, 就可使电路形成完整的回路。

实际电路接线图中主电路是比较简单的, 辅助电路比较复杂, 所以分析电路接线图时, 应该把主要精力放在分析辅助电路上。

### 3.3.2.2 X8120W 型万能工具铣床电路

X8120W 型万能工具铣床电气原理图如图 3-7 所示, X8120W 型万能工具铣床电路接线图如图 3-8 所示。

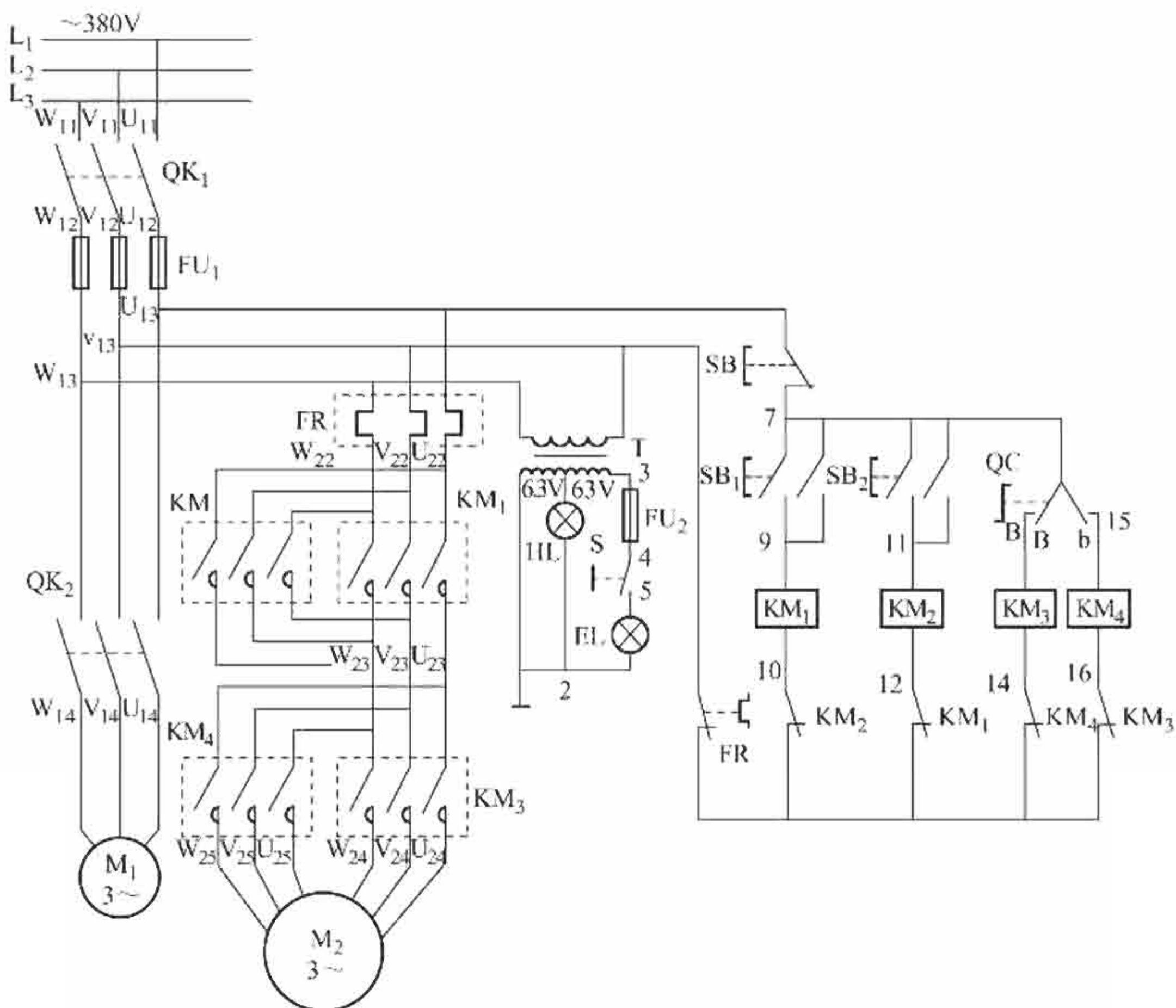


图 3-7 X8120W 型万能工具铣床电气原理图

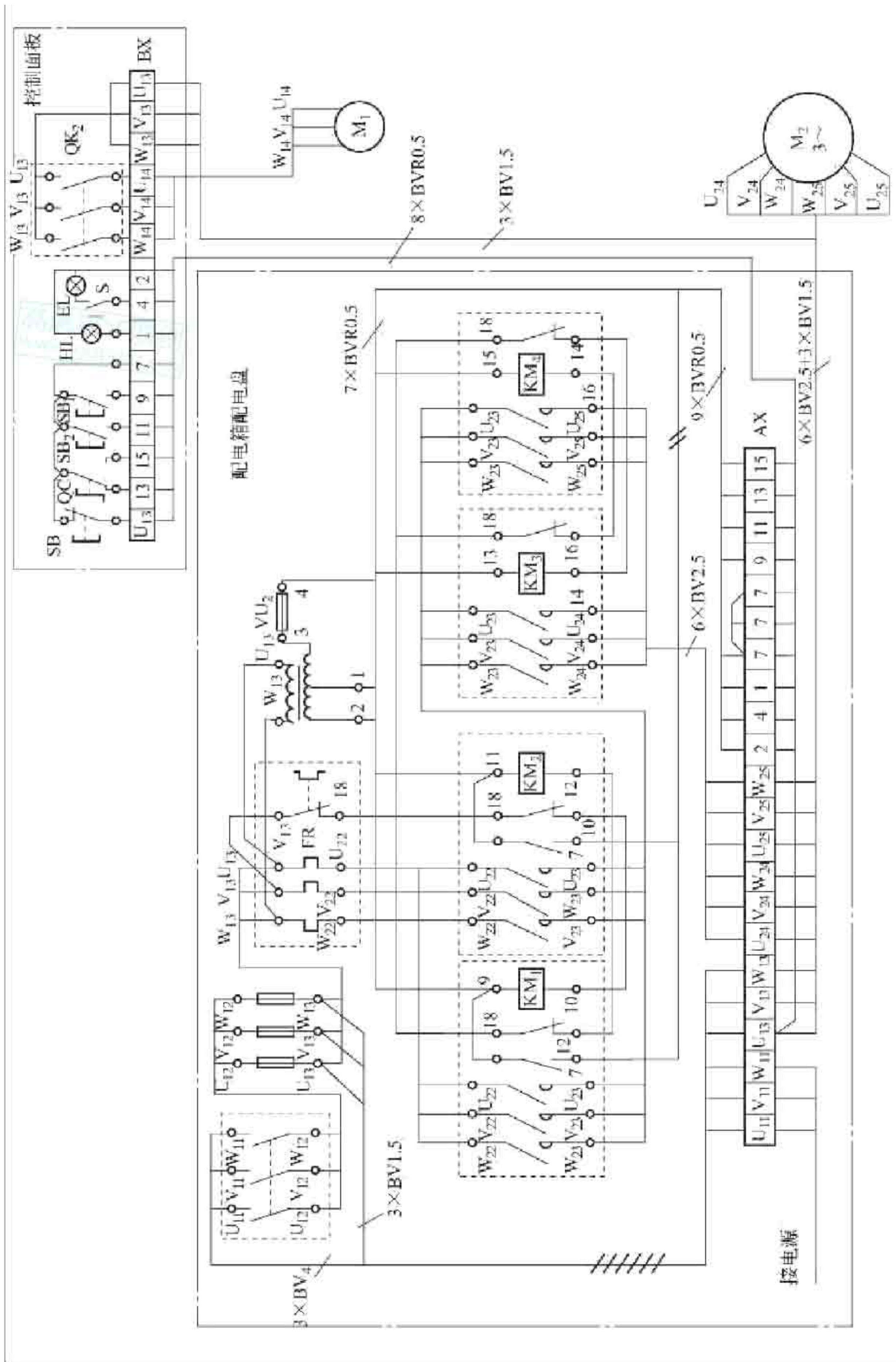


图 3-8 X8120W 型万能工具铣床电路接线图



图 3-7 和图 3-8 是两张实际机床电路图纸，图中电动机和控制元件明细表见表 3-8。

同样，分析图 3-8 时，也要从电源引入端开始，分主电路接线和辅助电路接线两部分进行分析。

表 3-8 图 3-8、图 3-7 电路中电动机和控制元件明细表

图形符号	名称	型号	数量	备注
M <sub>1</sub>	冷却泵电动机	DB-52B (0.15kW/2760r/min)	1	
M <sub>2</sub>	铣头电动机(双速电动机)	JD0252-4/2		5.2/7kW,380V, 1460r/min 或 2870r/min
KM <sub>1</sub> 、KM <sub>2</sub> 、 KM <sub>3</sub> 、KM <sub>4</sub>	交流接触器	CJ20-20/380V	4	
QK <sub>1</sub>	电源刀开关	HK2-30/3(30A/500V)	1	
QK <sub>2</sub>	冷却泵电动机刀开关	HK2-15/3(15A/500V)	1	
FR	热继电器	JR1-1(14.5A)	1	
FU <sub>1</sub>	熔断器	RL1-60(熔体 60A)		
FU <sub>2</sub>	熔断器	RL1-15(熔体 2A)		
SB	停止按钮开关	LA19-11D(红色)	1	
SB <sub>1</sub> 、SB <sub>2</sub>	启动按钮开关	LA19-11D(绿色)	2	
QC	转换开关	HZ10-S/1	1	
HL	信号灯	JC6-2(6.3V,0.2W)	1	
EL	照明灯	DK1-O(36V,40W)	1	
T	照明变压器	BK-100V·A, 380V/36V、6.3V	1	

① 主电路接线走向。电源→AX 端子排 U<sub>11</sub>、V<sub>11</sub>、W<sub>11</sub>→QK<sub>1</sub>→FU<sub>1</sub>→FR→KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub>→KM<sub>3</sub>、KM<sub>4</sub>→AX 端子排 W<sub>24</sub>、V<sub>24</sub>、U<sub>24</sub>、W<sub>25</sub>、V<sub>25</sub>、U<sub>25</sub>→M<sub>2</sub> 电动机。

另外，FU<sub>1</sub>→AX 端子排 U<sub>13</sub>、V<sub>13</sub>、W<sub>13</sub>→BX 端子排 W<sub>13</sub>、V<sub>13</sub>、U<sub>13</sub>→QK<sub>2</sub>→BX 端子排 W<sub>14</sub>、V<sub>14</sub>、U<sub>14</sub>→M<sub>1</sub> 电动机。

看辅助电路中的信号显示和照明电路接线。从热继电器 FR 上端的 W<sub>13</sub> 和 V<sub>13</sub> 之间引两根线到照明变压器 T 的原边→变压器副边→FU<sub>2</sub> 及 AX 端子排的 1、2、4 号端→BX 端子排的 1、2、4 号端子→信号灯 HL 和经 S 开关到 EL 照明灯。

② 辅助电路接线走向。辅助电路 U<sub>13</sub> 到 V<sub>13</sub> 之间是一个大的回路，在这个大回路中有四个小回路（支路）。

a. 辅助电路电源的一根引出线 AX 端子 U<sub>13</sub>→BX 端子 U<sub>13</sub>→SB→SB<sub>1</sub>→BX 端子（9 号）→AX 端子（9 号）→KM<sub>1</sub> 线圈一端→KM 带闭触点。

b. SB<sub>2</sub>→BX 端子（11 号）→AX 端子（11 号）→KM<sub>2</sub> 线圈一端→KM<sub>1</sub> 带闭触点。

c. QC→BX 端子（13 号）→AX 端子（13 号）→KM<sub>3</sub> 线圈一端→KM<sub>4</sub> 带闭触点。

d. BX 端子（15 号）→AX 端子（15 号）→KM<sub>4</sub> 线圈一端→KM<sub>3</sub> 常闭触点→BX 端子（7 号）→AX 端子（7 号）→KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>2</sub> 常开触点一端→FR 常闭触点→V<sub>13</sub> 热继电器热元件的电源输入端。

### 3.3.3 变配电电路识图

变配电电路是变电压电路和配电电路的总称。变电站和变电所是供电系统中很

重要的环节。用电单位一般都设有变电所，有的小单位没有变电所，而设有配电所（或配电室）。变电所和配电所最大的区别就在于变电所设有变压设备（变压器）和配电屏，而配电所只有配电屏（或配电盘）。

实际变电电路比较简单，而配电电路就复杂些。一般小型变配电电路组成框图如图 3-9 所示。



图 3-9 小型变配电电路组成框图

实际变电和配电设备的选用和安装、配电屏（或配电盘）的元器件安排和接线都有统一标准规定。在此不详谈有关标准规定，而只介绍识图知识。

### 3.3.3.1 一般小型低压配电盘电路

小型配电盘最简单的是只有单相电源（220V，一相）的配电盘，复杂的小型配电盘则有多个回路。

#### (1) 单回路单相电源（220V）小型配电盘

单回路单相电源（220V）小型配电盘如图 3-10 所示。

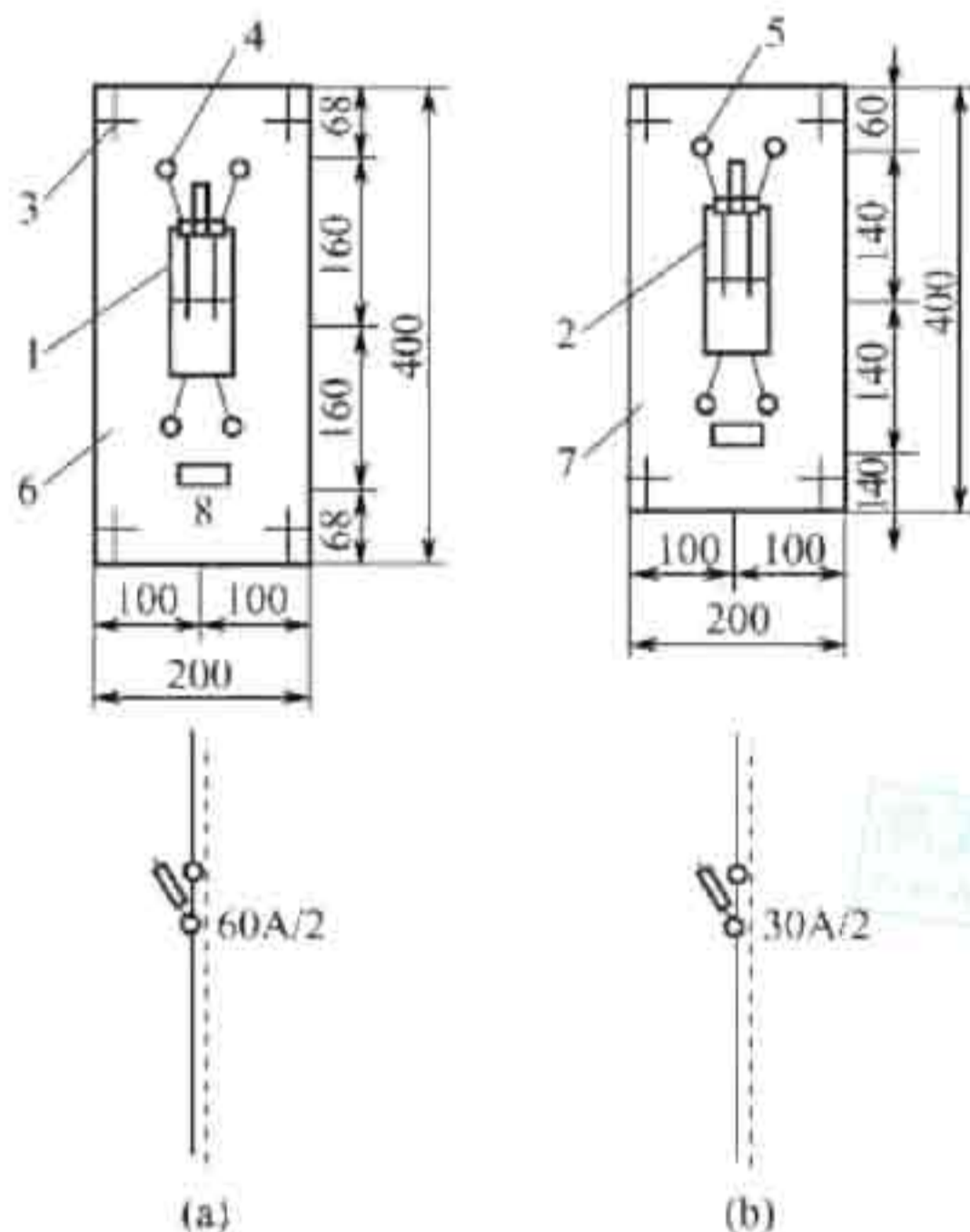


图 3-10 单回路单相电源（220V）小型配电盘

- 1—带熔断器刀开关（HK1-60A/2）；2—带熔断器刀开关（KH1-30A/2）；  
3—木螺钉（ $\phi 4 \times 50$ ）；4—绝缘护套（ $\phi 12$ ）；5—绝缘护套（ $\phi 9$ ）；  
6—配电板（ $200 \times 450$ ）；7—配电板（ $200 \times 400$ ）；8—卡片框

#### (2) 多回路小型配电盘

图 3-10、图 3-11、图 3-12 是摘自国家建筑企业《电气装置标准图集》D464 标准图，都是照明配电盘盘面布置及线路图。

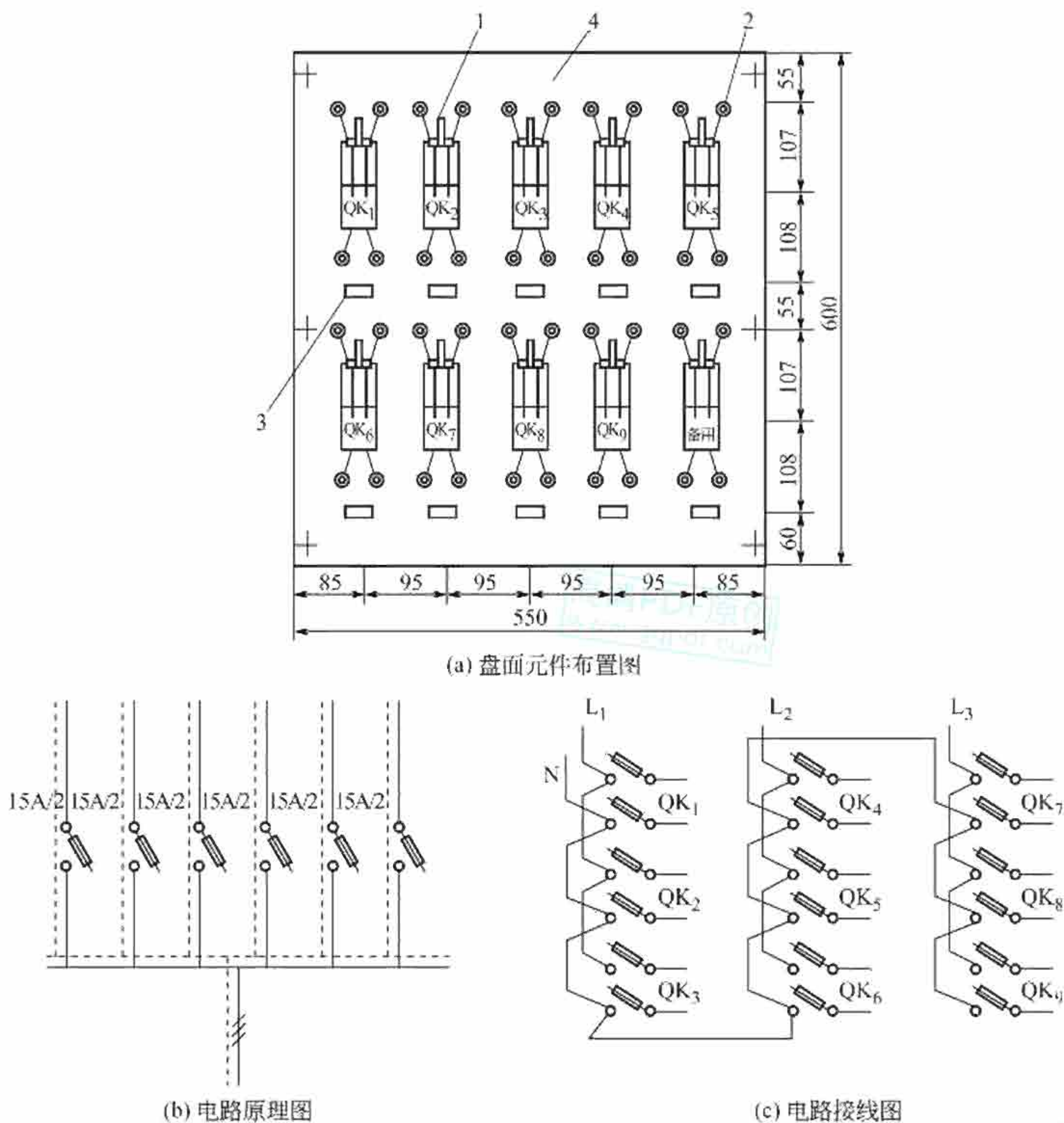


图 3-11 多回路小型配电盘盘面布置及线路图之一

1—带熔断器刀开关 (HK1-15A/2); 2—绝缘护套 ( $\phi 9$ ); 3—卡片框; 4—配电板

由图可见, 照明配电盘 (配电板) 的电路接线很简单, 但应注意, 三相四线制照明电路多回路接线时, 应尽量使每相电源所接负载平衡, 如图 3-11 中, 三相电源每相有三个回路, 共九个回路。

① 单相电度表和刀开关元件布置图与电路图如图 3-13 所示。图中虽然只有两个元器件, 但接线时每个接线柱所对应的接线有严格要求, 特别是电度表的接线不允许有接线错误, 否则电度表就不能正确计量。

② 三相四线制电度表经过三个电流互感器接线线路图如图 3-14 所示, 由图可见, 电度表的接线比图 3-10、图 3-11、图 3-12 稍复杂些。图 3-14 中三相电度表接线就更复杂些, 表上每个接线柱对应的接线都有明确规定, 必须严格按照电度表所标明的线路接线。三相电度表种类较多, 接线方式也有多种, 每种电度表的端子盖板内壁都标有接线线路图, 必须严格按标明的线路图接线。

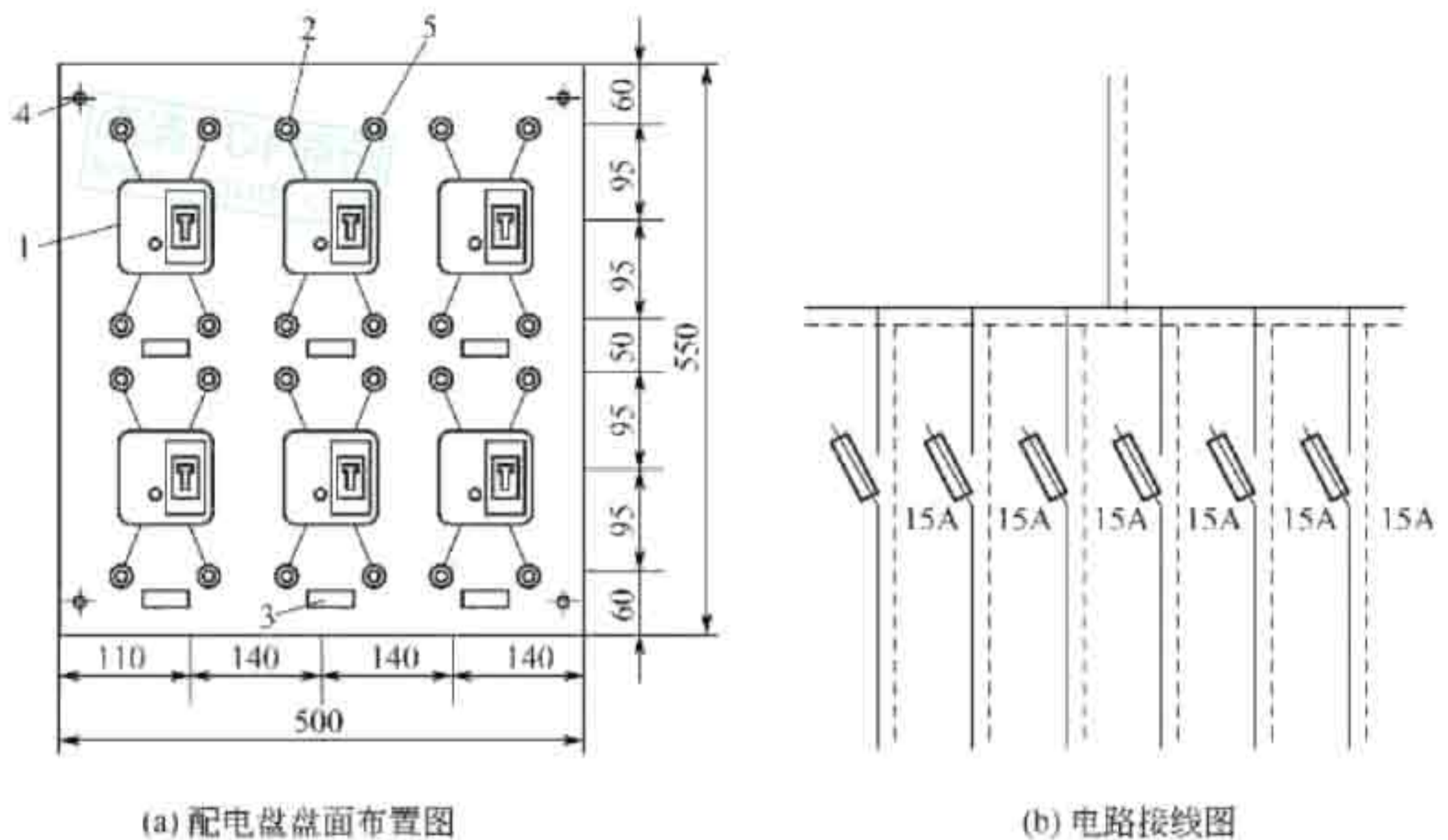


图 3-12 多回路小型配电盘盘面布置及线路图之二

1—铁锚式单相负荷开关 (15A); 2—绝缘护套 ( $\phi 9$ ); 3—卡片框; 4—木螺钉; 5—配电板 (500×550)

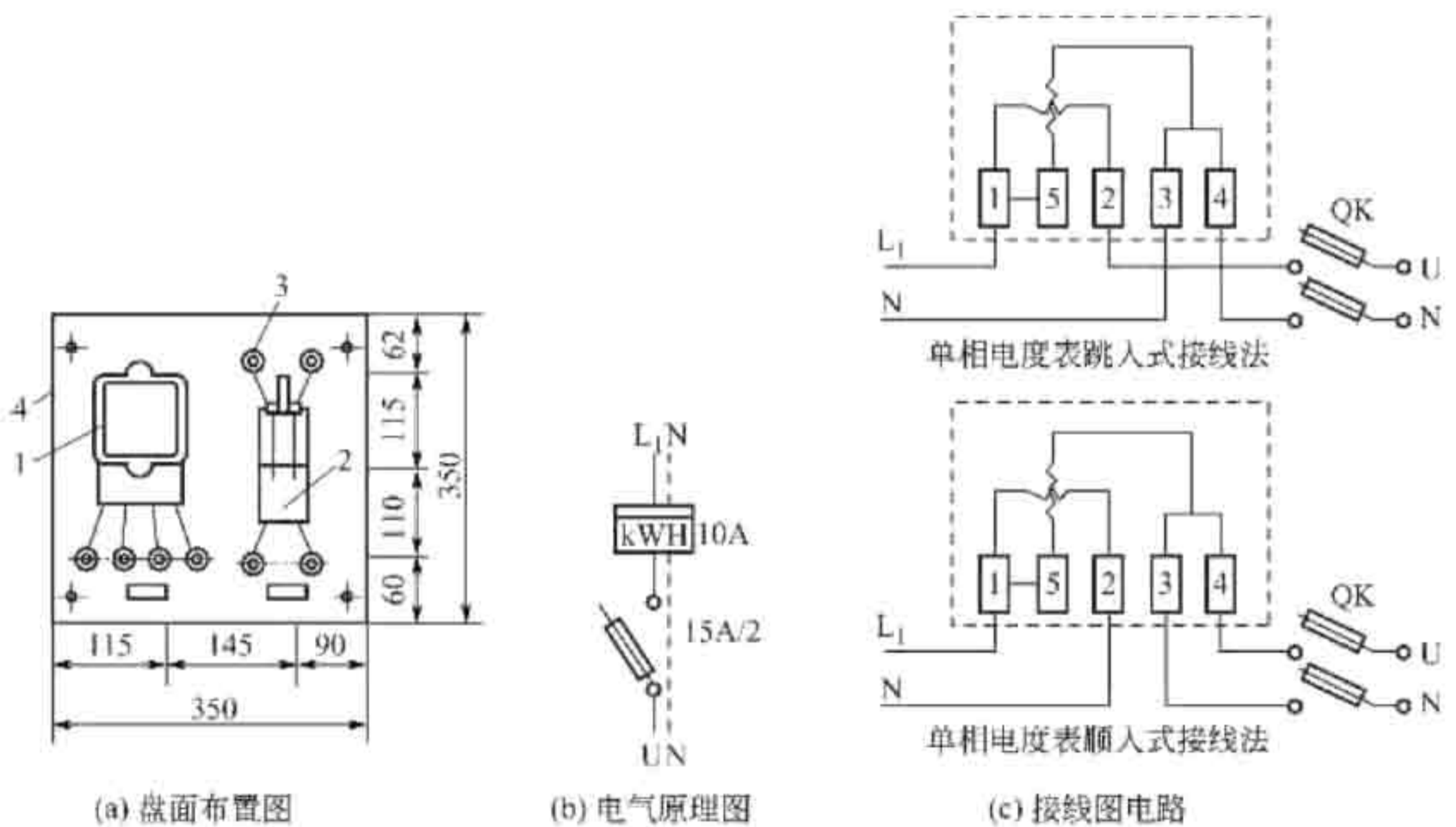


图 3-13 单相电度表和刀开关元件布置图与电路图

1—单相电度表 (DD10-10A); 2—带熔断器刀开关 (HK1-15A/2); 3—绝缘护套 ( $\phi 9$ ); 4—配电板

### 3.3.3.2 普通较大型低压配电屏电路

普通较大型低压配电屏有总配电屏、动力分屏和照明分屏。在总屏上常配有三块电压表、三块电流表、功率因数表、有功电度表、无功电度表、总电源刀开关和自动断路器、电流互感器等元器件。在分屏上常配有刀开关、自动断路器 (有些分屏配 CJ12 系列大型交流继电器)、电流互感器、电流表、有功电度表等元器件, 如图 3-15 和图 3-16 所示。

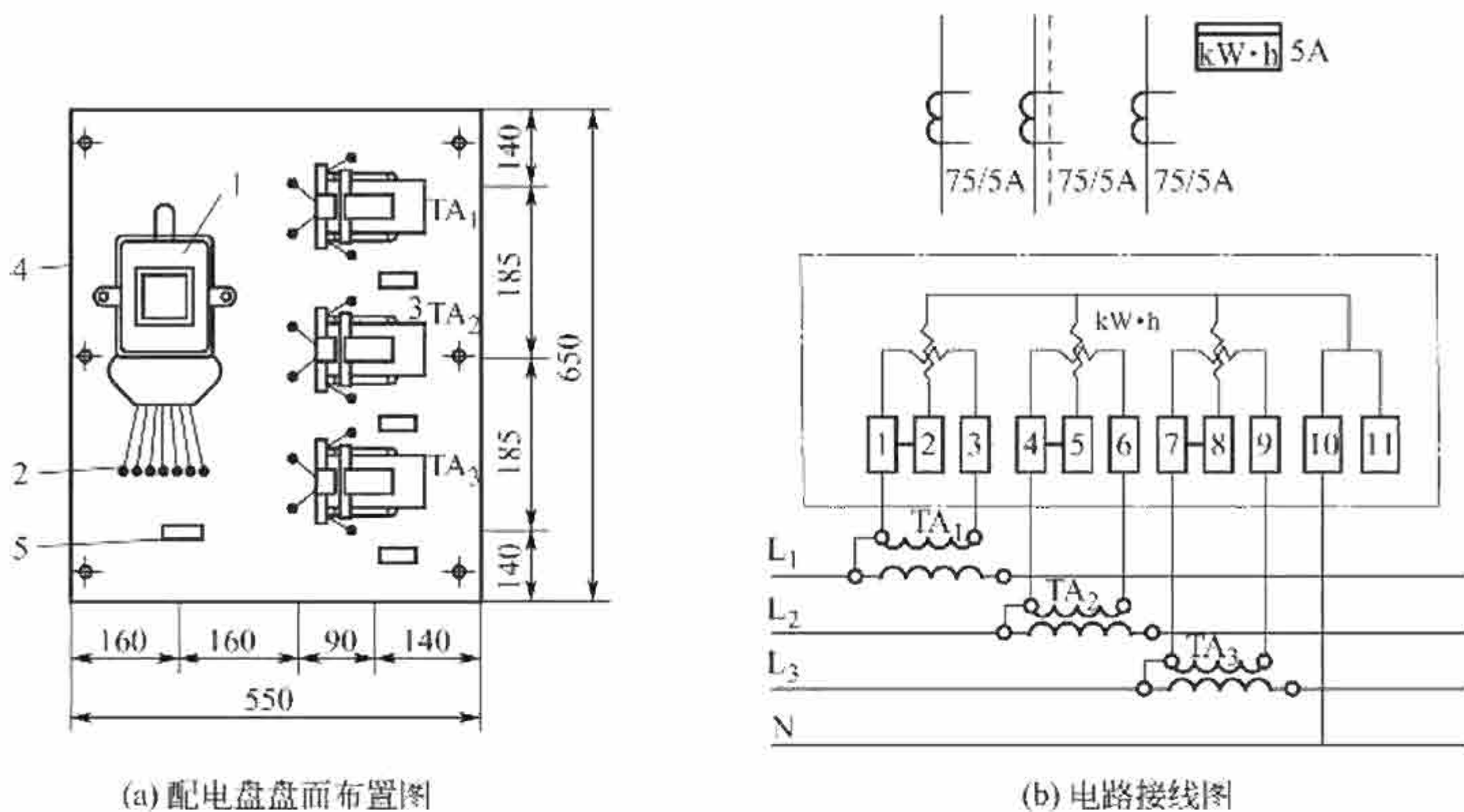


图 3-14 三相四线制电度表经过三个电流互感器接线线路图

- 1—三相电度表 (DT2-5A); 2—绝缘护套 ( $\phi 9$ );
- 3—电流互感器 (LQG0.75A/5); 4—配电盘; 5—卡片框

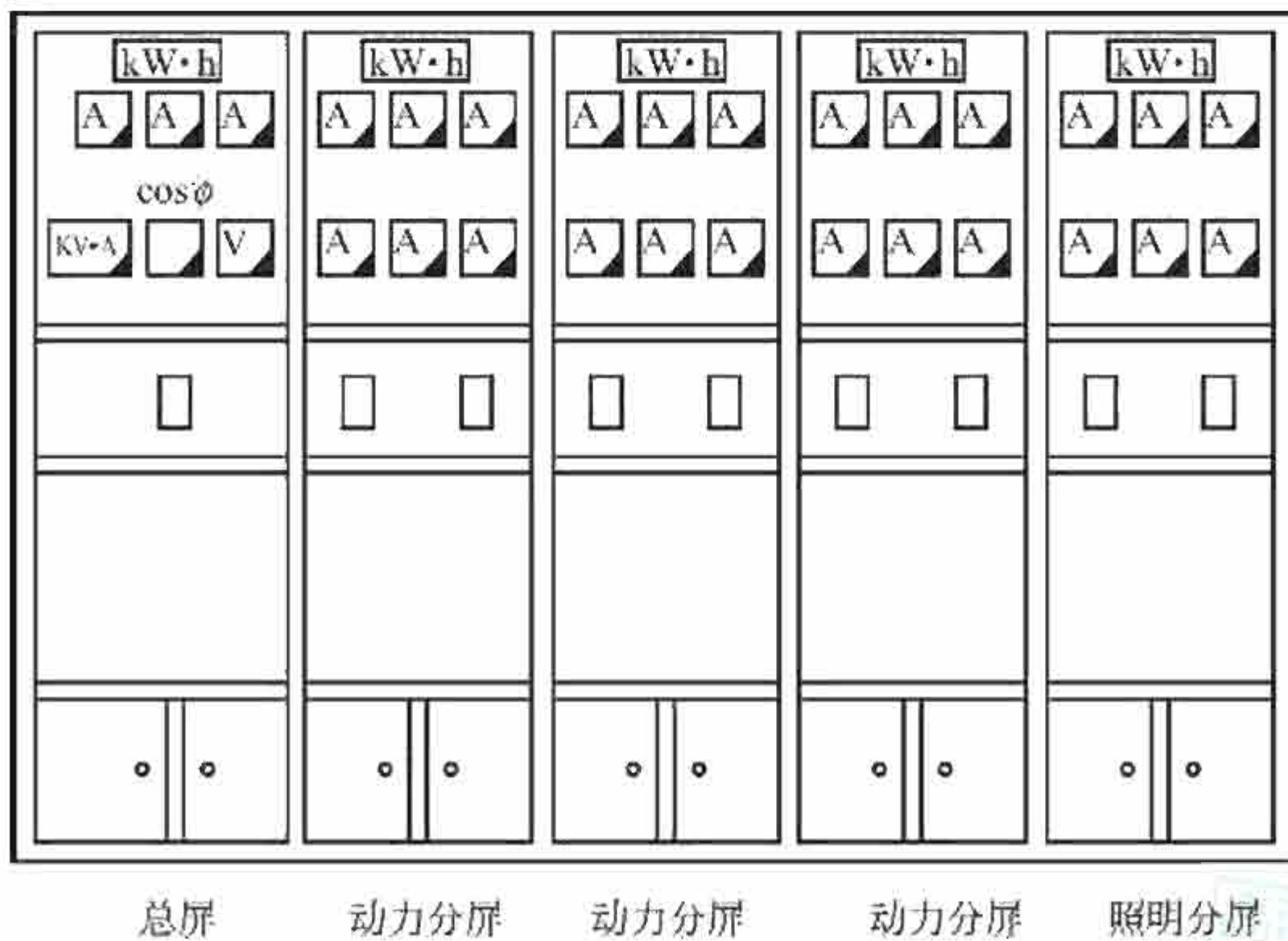


图 3-15 普通较大型低压配电屏盘面示意图

在图 3-16 中 QK 是总电源刀开关, QF 是自动断路器, 1FU、2FU、3FU 是三组熔断器、TV 是两个电压互感器、TA 是三个电流互感器。

普通较大型低压配电屏电源电压一般在 500V 以下, 最常见的是 380V 和 220V 低压配电屏。配电屏接线一般都分为一次接线线路和二次接线线路。配电屏一次接线线路指的是电源线的接线线路, 如图 3-17 所示。二次接线线路指的是配电屏上仪表接线线路, 如图 3-18、图 3-19 及图 3-21 所示。图 3-17 和图 3-18 电路中元器件明细表见表 3-9。下面对普通较大型低压配电屏的总屏和分屏的具体接线线路进行介绍。

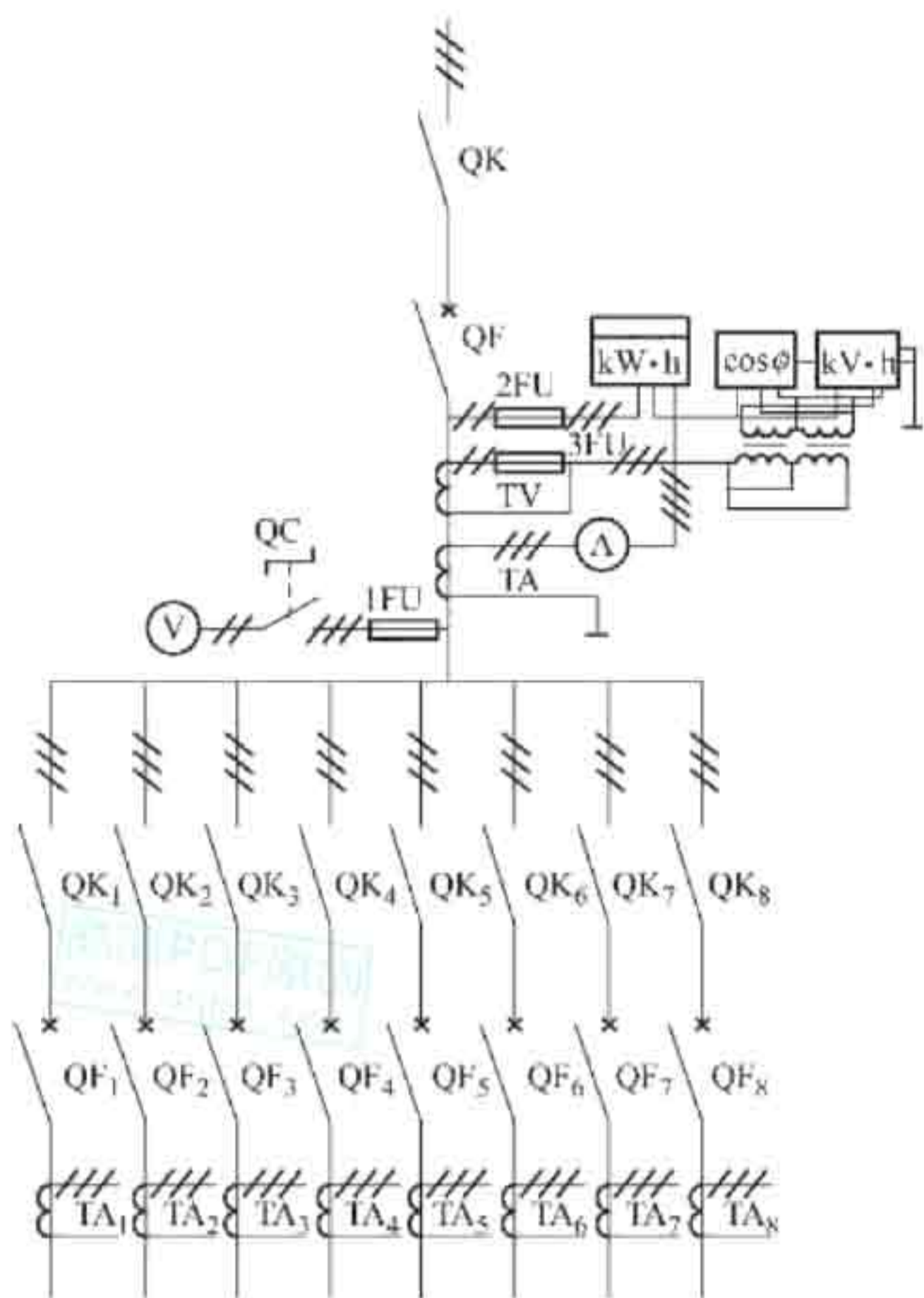


图 3-16 普通较大型低压配电屏电路原理图

### (1) 普通较大型低压配电屏总配电屏接线线路。

图 3-18 和图 3-19 示出的是普通较大型低压配电屏总屏接线电气原理图和实际接线线路图（二次接线）。

通过对比图 3-18 和图 3-19 可知，图 3-18 所示电路中的元器件之间的连接表示得很清楚，但是对元器件所处的位置和连接线的真实布线表示得很不清楚；而图 3-19 对元器件的位置和线路导线布线表示得清楚。图 3-19 是实际接线线路图，也就是通常所说的电路接线图，电路接线图只表示出电路元器件的相对位置和实际导线布线情况，并明确标出每个元器件接线柱连线的线号，进行实际接线时，按照线号对应接线即可。

### (2) 动力分屏二次接线线路

在图 3-15 中，配电屏共五个，一个总配电屏、三个动力分屏、一个照明分屏。在每个动力分屏面板上配有六块电流表、两块有功电度表。在照明分屏上有六块电流表、一块单相电度表。三块动力分屏二次接线线路相同，只画出一个分屏的二次接线电气原理图，如图 3-20 所示。动力分屏的二次接线线路图如图 3-21 所示。动力分屏二次接线线路元器件明细表见表 3-10。

### (3) 照明分屏二次接线线路

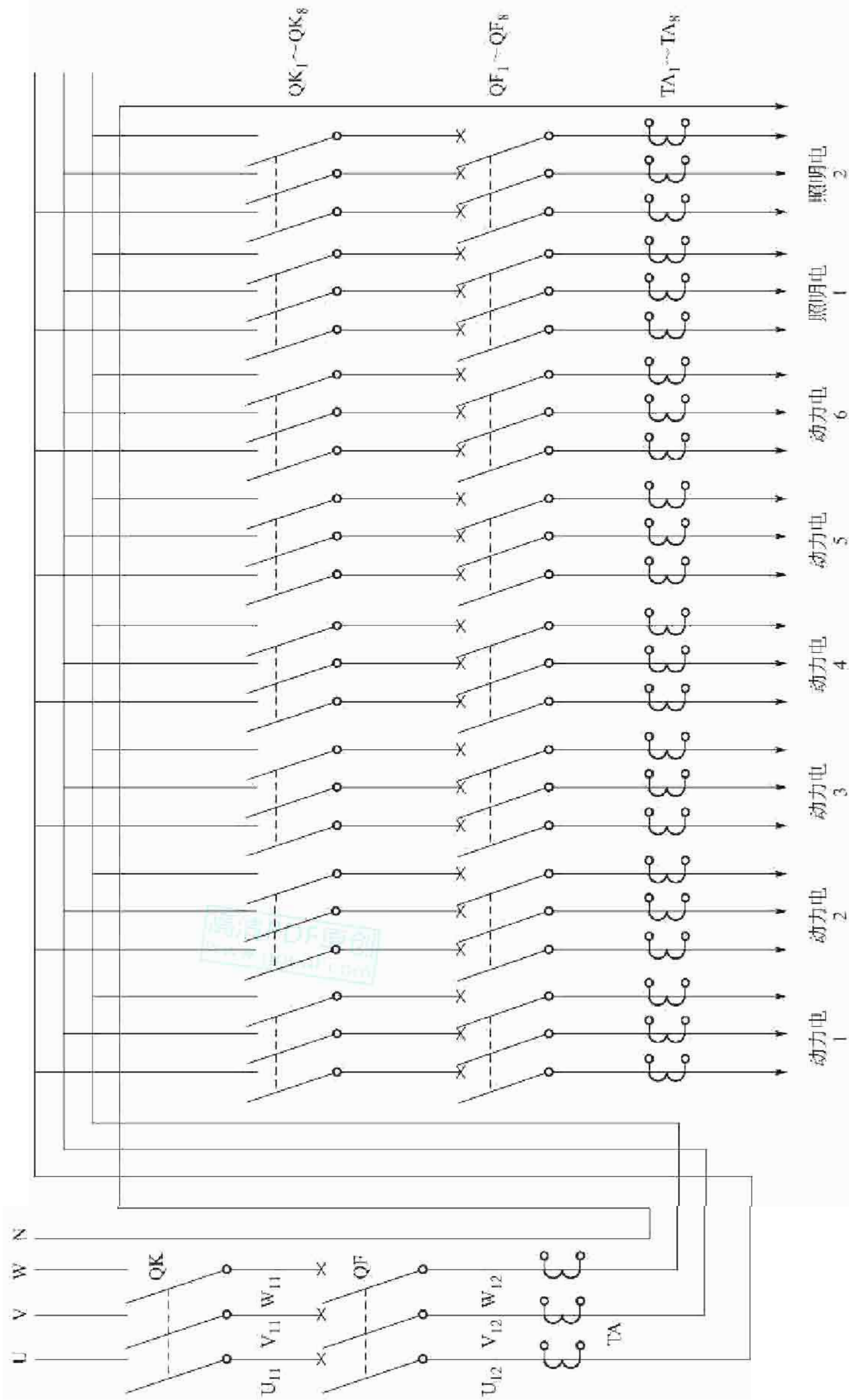


图 3-17 普通较大型低压配电屏一次接线线路

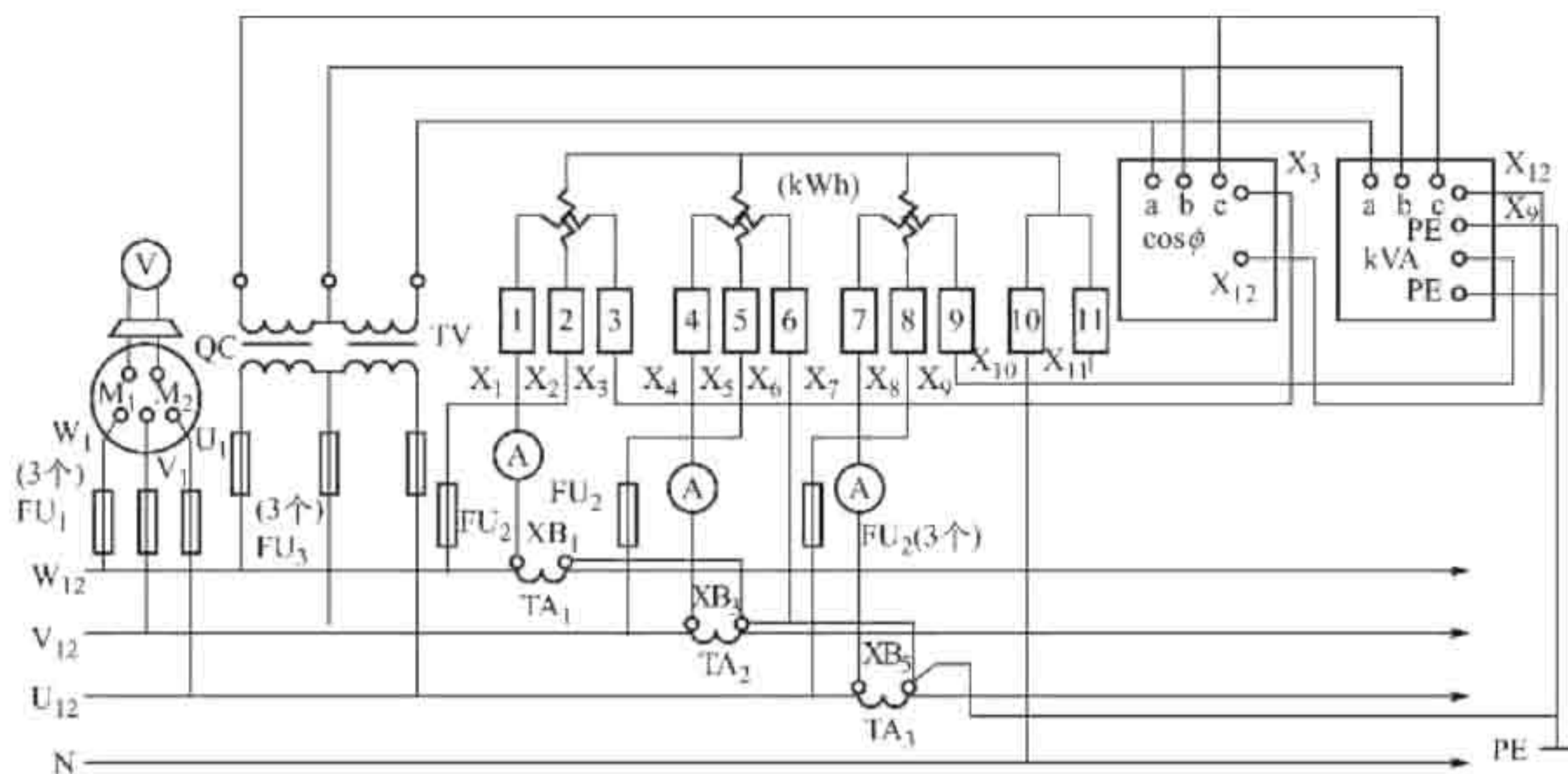


图 3-18 普通较大型低压配电屏总配电屏二次接线电气原理图

表 3-9 图 3-17 和图 3-18 电路中元器件明细表

序号	元器件名称	型号	规格	数量
1	刀开关	HD13-1000/3	500V,1000A	1
2	自动断路器	DW10-1000/3	500V,1000A	1
3	刀开关(1~2路)	HD13-400/3	500V,400A	2
4	刀开关(3~8路)	11D13-200/3	500V,200A	7
5	自动断路器(1~2路)	DW10-400/3	500V,400A	2
6	自动断路器(3~8路)	DW10-200/3	500V,200A	6
7	电流互感器	LMZ-0.5	1000/5	3
8	电流互感器(1~2路)	LMZ-0.5	206/5	4
9	电流互感器(3~8路)	LQG-0.5	100/5	12
10	母线铝排	LMY	80×6	
11	分铝排(1~2路)	LMY	30×3	
12	分铝排(3~8路)	LMY	25×3	
13	电压互感器	JDG4-0.5	380V/100V	2
14	电压换相开关	XHI-V	380V	1
15	熔断器	RLJ-15	内配熔芯 5A	9
16	三相四线有功电度表	DT2	3×380V/220V 3×5A	1
17	无功功率表	ITI-W	100V/5A	1
18	功率因数表	ITI cosφ	100V/5A	1
19	交流电流表	ITI-A	1000/5	3
20	交流电压表	ITI-V	0~500V	1



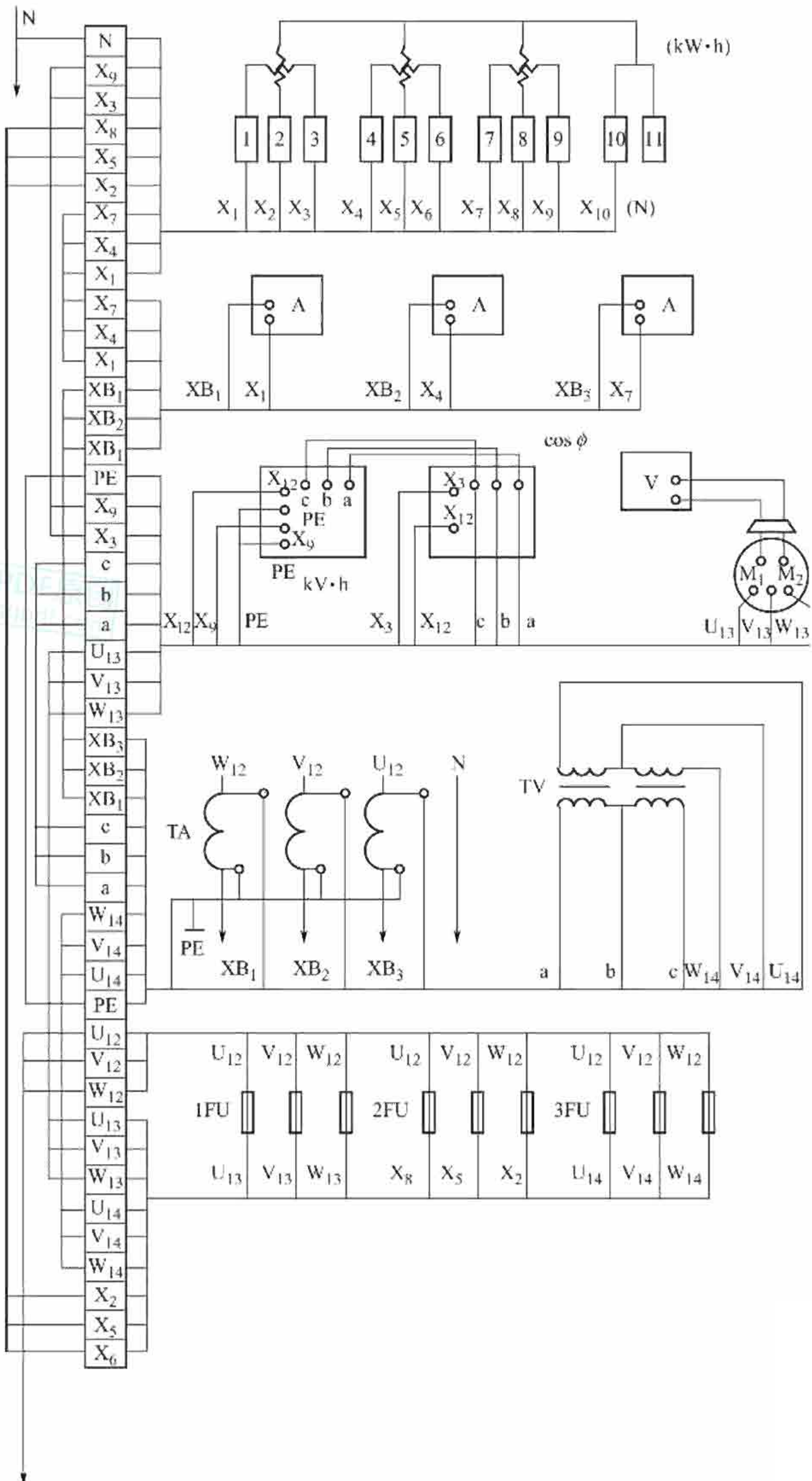


图 3-19 普通较大型低压配电屏总配电屏二次接线实际接线线路图

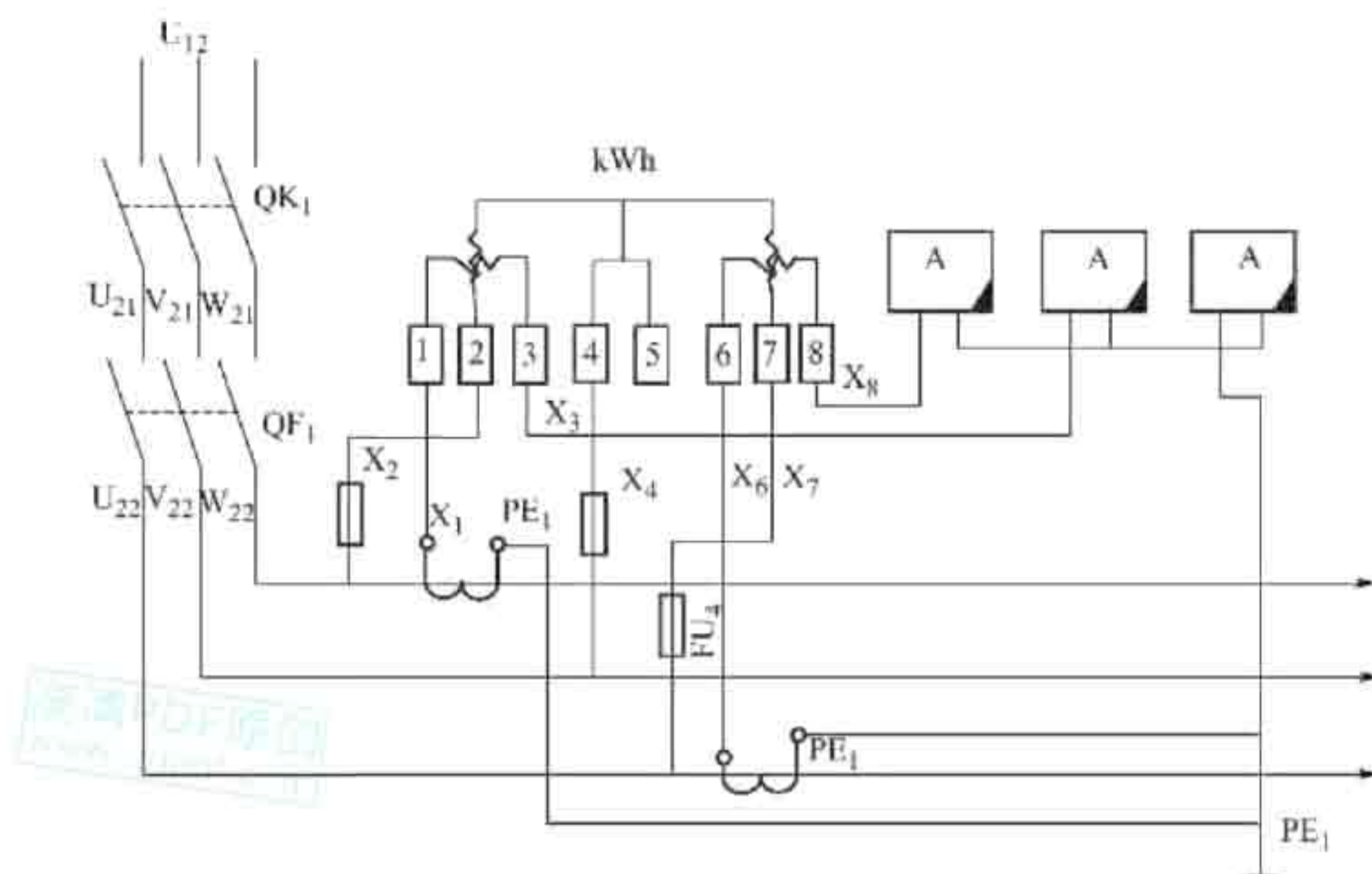


图 3-20 普通较大型低压配电屏动力分屏二次接线电气原理图

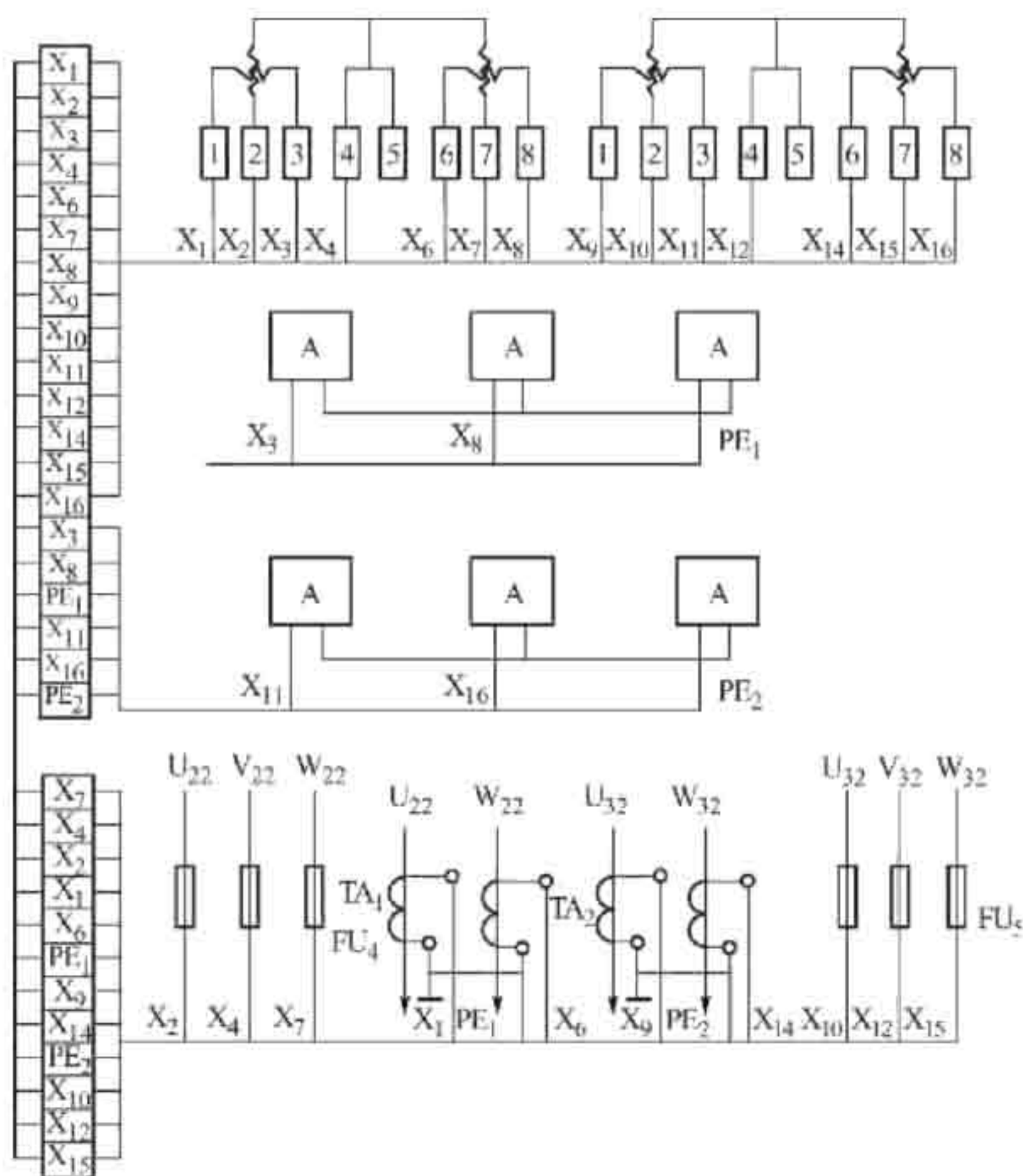


图 3-21 普通较大型低压配电屏动力分屏的二次接线线路图

表 3-10 动力分屏二次接线线路元器件明细表

序号	元器件名称	型号	规格	数量
1	三相二线有功电度表	DS5	3×380V 3×5A	6
2	电流互感器(1~2路)	IQG-0.5	200/5	4
3	电流互感器(3~6路)	LQG-0.5	100/5	8
4	交流电流表(1~2路)	ITI-A	200/5	6
5	交流电流表(3~6路)	ITI-A	100/5	12
6	熔断器	RL1-15	内配 5A 熔芯	18

照明分屏是供照明用的低压配电屏，屏内有三相四线制配电线路。三根相线通过刀开关和自动断路器，而零线（N）直接通过端子排引入、引出。照明分屏装有交流电流表和单相电度表。

普通较大型低压配电屏照明分屏二次接线电气原理图如图 3-22 所示，其二次接线线路图如图 3-23 所示。

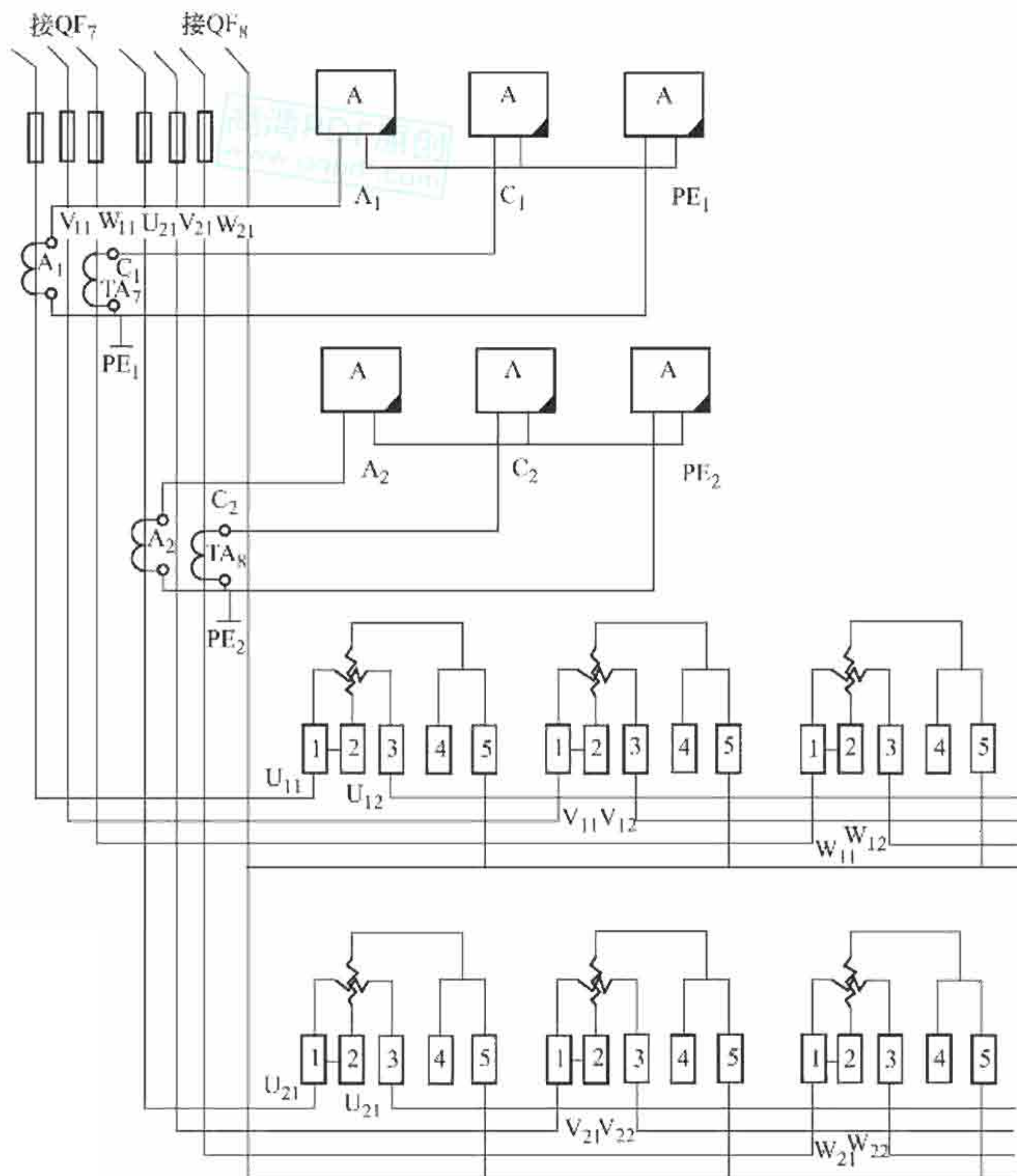


图 3-22 普通较大型低压配电屏照明分屏二次接线电气原理图

图 3-23 所示的普通较大型低压配电屏照明分屏二次接线线路图中的六块电流表测量的是线电流，六块有功电度表测量每相电源的有功电量值。从图中可看出，电流表是通过电流互感器测线电流的。该线路图整体接线是很整齐的，将电流表接线与有功电度表接线分别在电屏两侧布线，这样有利于接线和接线后的检查。照明配电屏元器件明细表见表 3-11。

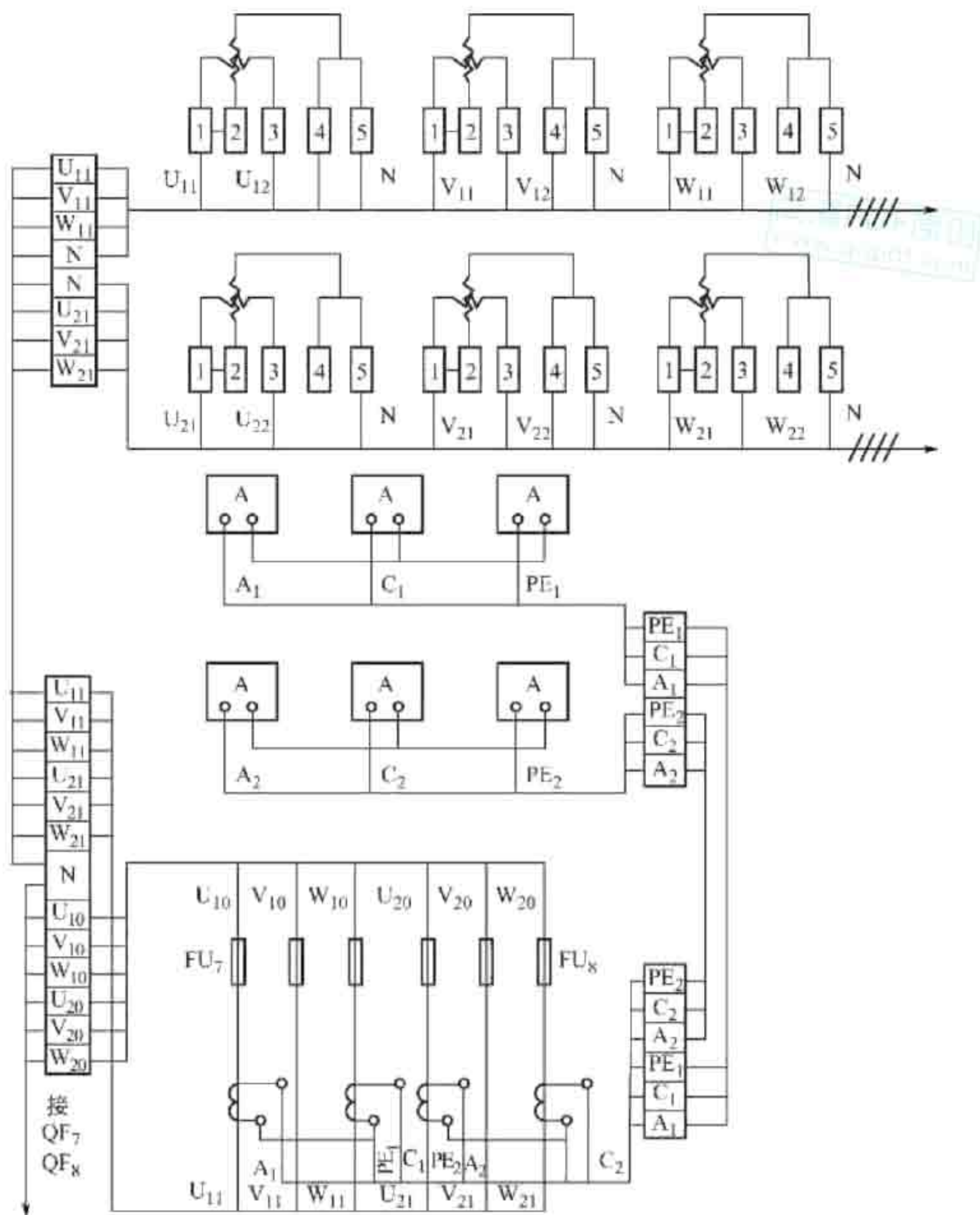


图 3-23 普通较大型低压配电屏照明分屏二次接线线路图

表 3-11 照明配电屏元器件明细表

序号	元器件名称	型号	规格	数量
1	单相有功电度表	DD28	220V, 80A	6
2	熔断器	RL1-60	内配 60A 熔芯	6

续表

序号	元器件名称	型号	规格	数量
3	电流互感器	LQG-0.5	100/5	4
4	交流电流表	m-0.5	100/5	6
5	大端子排	D1-100	500V,100A	10节3个
6	小端子排	DC-P6	500V,10A	15节2个

### 3.4 怎样看控制器的展开图

转换开关和控制器的接线是比较复杂的，在电路图中的画法也有特殊要求。当电路图中有转换开关或控制器时，必须明确绘出转换开关或控制器的展开图。下面对控制器展开图识图方法进行单独介绍。

控制器主要用于电力传动控制设备中，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，以控制电动机的启动、换向、制动及调整，它在起重、运输、冶金、造纸、机械制造等行业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）、凸轮控制器（KT型）三种类型。

控制器的分类及用途见表3-12。不同系列的控制器的技术数据见表3-13至表3-18。

表3-12 控制器的分类及用途

类别	型号含义	产品系列	特点	用途	说明
平面控制器	第一部分:线路特征代号; 第二部分:额定电流,1~10A,2~25A;第三部分:设计序号;第四部分:KP平面控制器	KP1~KP5	由手柄或伺服电动机通过传动机构带动动触点,使其在平面静触点上按顺序做旋转或往复运动	连接电阻、可成电动变阻器,可调节电路中的电压、电流和励磁,从而达到调节电动机转速的目的	其中以KP5应用较多
鼓形控制器	第一部分:线路特征代号; 第二部分:额定电流; 第三部分:设计序号; 第四部分:J交流,Z直流; 第五部分:KG鼓形控制器	KGJ1、KGZ1	触点滑动摩擦、接触磨损大,操作频率低,分析能力差	用于冶金、起重设备或电车上的电动机启动、调速和换向	逐渐淘汰,可用凸轮控制器代替
凸轮控制器	第一部分:线路特征代号; 第二部分:J交流,Z直流; 第三部分:额定电流; 第四部分:设计序号; 第五部分:凸轮控制器	KTJ1 KTJ2 KTJ3 KTJ4 KTJ10 KTJ12 KTZ1 KTZ2	其手轮(柄)、外壳定位机构、接触元件、凸轮转换装置都装在绝缘方轴上。不同形状的凸轮可使一系列的触点组按照规定顺序接通或断开电路。触点为积木式,双排布置,结构紧凑,装配方便,便于维修	主要用于起重设备中的交流或直流电动机的启动、调速、换向、制动和停止;也适用于要求相同的其他电力驱动装置,如卷扬机、绞车、挖掘机、电车等	可代替鼓形控制器

表 3-13 KP5 系列平面控制器的技術數據

型號	KP5-10	KP5-25
觸點額定電流/A	10	25
觸點額定電壓/V	440	440
動觸點(橫梁)移動速度/(mm/s)	6、12、24、48、72.5	6、12、24、48、72.5
動觸點走完全程所用時間/s	36.7、18.3、9.2、4.6、3.03	36.7、18.3、9.2、4.6、3.03
回路數	1~6	1~6
每回路極數	20、40、54、70、80、90、160、240	20、40、54、70、80、90、160、240
配用的伺服電動機	S321 型,110V	S321 型,110V
控制器機械壽命	10 萬次	10 萬次

表 3-14 KGJ1 系列交流鼓形控制器的技術數據

型號	位置數		轉子及定子電流/A		40%通電率時的額定功率/kW		每小時最多操作次數
	向前(上升)	向后(下降)	JC40%	長期的	220V	380V	
KGJ1-40/1	5	5	60	40	12	15	120
KGJ1-40/2	5	5	2×60	★	★	★	120
KGJ1-100/1	8	8	130	100	35	44	120
KGJ1-100/2	8	8	2×130	★	★	★	120

注：★表示無定子電路觸點，其最大功率由電動機定子電路中的接觸器決定。

表 3-15 KGZ1 系列直流鼓形控制器的技術數據

型號	位置數		長期電流/A	40%通電率時的額定功率/kW		每小時最多操作次數
	向前(上升)	向后(下降)		220V	380V	
KGZ1-40/1	5	5	40	9	—	120
KGZ1-4/1	4	5	40	9	—	120
KGZ1-2/1	5	5	25	6	13	120
KGZ1-25/1	4	5	25	6	13	120

表 3-16 KTJ1 系列凸輪控制器的技術數據

型號	KTJ1-80/1	KTJ1-80/2	KTJ1-80/5	KTJ1-150/1
額定電流/A	80	80	80	150
額定電壓/V	380	380	380	380
工作位置數	向前(上升)	6	6	7
	向后(下降)	6	6	7
40%通電率時的額定功率/kW	220V	22	★	2×7.5
	380V	380	★	2×11
轉子電路觸點	額定電流/A	80	80	50
	40%通電率時的最大電流/A	120	2×120	2×75
輔助觸點額定電流/A	15	15	15	15
每小時最多操作次數	600	600	600	600
最大工作周期/min	10	10	10	10

注：★表示無定子電路觸點，其最大功率應由電動機定子電路中的接觸器決定，但 KTJ-80/2 型應不超過 KTJ1-80/1 型的規定。

表 3-17 KT10 系列交流凸轮控制器的技术数据

型号	位置数		额定电流/A	控制额定功率/kW		操作力/kgf <sup>①</sup>	机械寿命/百万次	每小时最多操作次数
	左	右		220V	380V			
KT10-25J/1	5	5	25	7.5	11	5	3	600
KT10-25J/2	5	5	25			5	3	600
KT10-25J/3	1	1	25	3.5	5	5	3	600
KT10-25J/5	5	5	25	2×3.5	2×5	5	3	600
KT10-25/6	5	5	25	7.5	11	5	3	600
KT10-25/7	1	1	25	3.5	5	5	3	600
KT10-60J/1	5	5	60	22	30	5	3	600
KT10-60J/2	5	5	60			5	3	600
KT10-60J/3	1	1	60	11	16	5	3	600
KT10-60J/5	5	5	60	2×7.5	2×11	5	3	600
KT10-60J/6	5	5	60	22	30	5	3	600
KT10-60J/7	1	1	60	11	16	5	3	600

注：1. 由电动机定子回路接触器决定控制电动机额定功率。

2. 控制额定功率为其控制的电动机的 25% 持续率时的功率。

3. 当控制器关合频率超 600 次/h 时，必须将控制器的额定功率下降 60%。

表 3-18 KT12 系列交流凸轮控制器的技术数据

型 号		KT12-25J/1	KT12-25J/2	KT12-25J/3
额定电流/A		25	25	26
额定电压/V		380	380	380
位置数	向前(上升)	5	5	1
	向后(下降)	5	5	1
40% 通电率时的额定功率/kW	220V	11	2×5	7.5
	380V	16	2×7.5	11
转子电路触点	额定电流/A	30	30	—
	40% 通电率时最大电流/A	50	2×25	—
辅助触点额定电流/A		10	10	10
每小时最多操作次数		600	600	600
最大工作周期/min		10	10	10
可控制电动机台数		1	2	1

① 1kgf=9.80655N。

### 3.4.1 控制器展开图画法（第一种）

现在以凸轮控制器 KTJ1-80/2 和 KT-2005 为例，说明控制器展开图的绘制方法（第一种画法）。

凸轮控制器的结构示意图如图 3-24 所示。KT-2005 凸轮控制器的展开图如图 3-25 所示，利用 KT-2005 凸轮控制器控制绕线型三相异步电动机正反转的电路如图 3-26 所示。

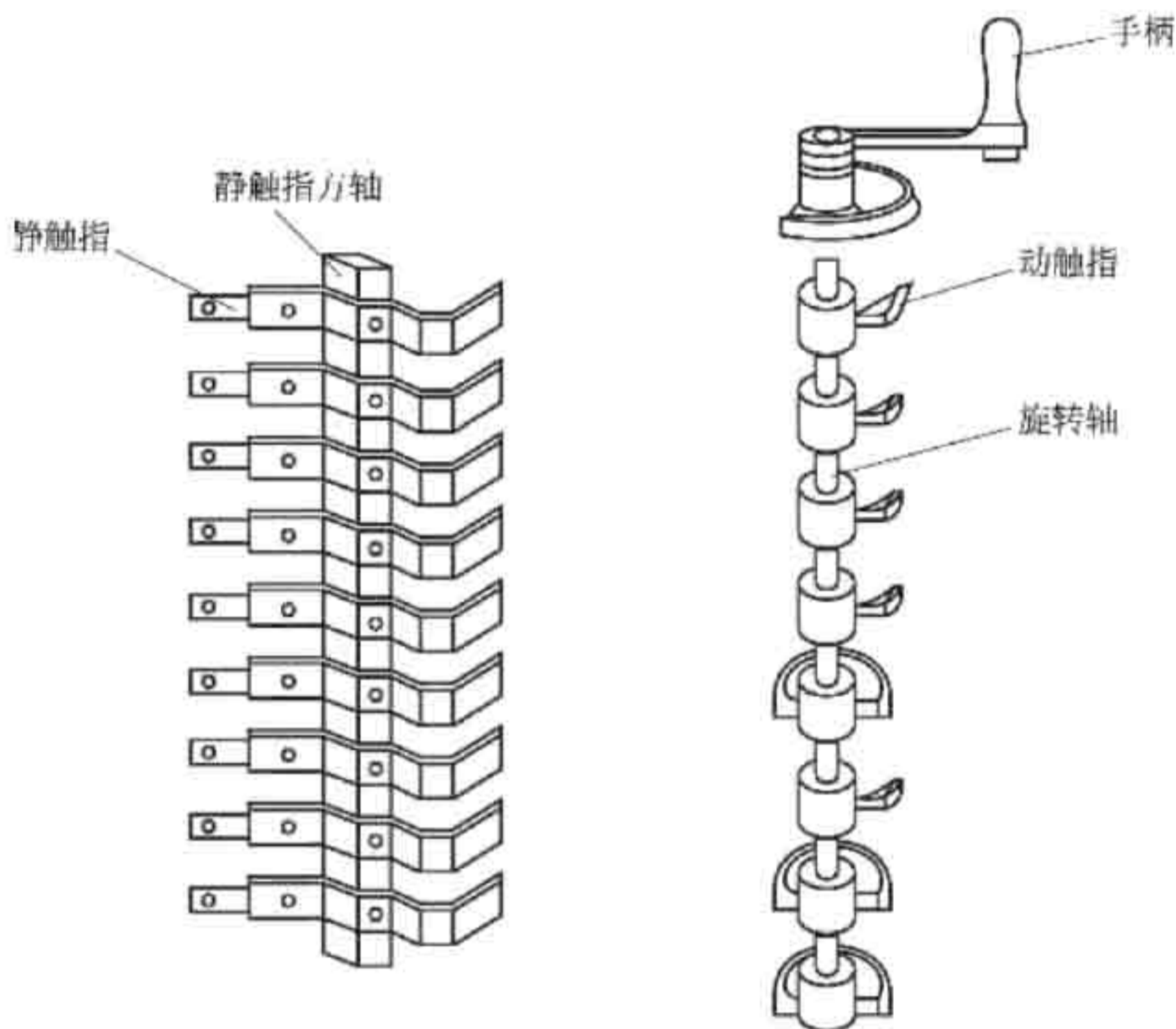


图 3-24 凸轮控制器的结构示意图

由图 3-24 可知，凸轮控制器旋转轴上装有旋转手柄（或手柄）、相互绝缘的动触指，动触指的形状各异，凸轮尺寸也不相同。凸轮控制器还有静触指，静触指上有接线柱，用以对外接线。

图 3-25 示出的是 KT-2005 凸轮控制器的展开图。此图非常重要。此展开图表明 KT-2005 凸轮控制器左、右各有五个位置，中间为“0”位置。KT-2005 凸轮控制器的动触指有 17 个、静触指有 17 个。点划线框内标出了 KT-2005 的动触指在各个位置时与静触指的是否是接通状态，粗实线表明动触指与静触指接通，而粗黑线之间的短接线（斜黑实线）表明动触指之间是短接的。在图中，KT-2005 凸轮控制器的动触指 1 与 2 短接，3 与 4 之间有短接线，4 与 5 之间短接，6 与 7 之间短接，8 与 9、9 与 10、10 与 11 之间相互短接，12 与 13 之间短接，13 与 14 之间短接，15 与 16 之间短接，16 与 17 之间短接。

图中 KT-2005 凸轮控制器的静触点（点划线框外的小圆圈）2 与 4 短接，12



与17短接。

在图3-25中，当手柄在“0”位置时，动触点与1、2、3、4、5静触点相接触，这时静触点之间通、断情况为：1与2静触点相接通，3、4、5三个静触点相通，由于静触点2与4之间有短接线，所以实际上静触点1、2、3、4、5都相通；而静触点12与17无论动触点在任何位置，都是相短接的。当手柄在右“1”位置时，则动触点与静触点17、16、13、12、5、4相接；静触点17、16、12相通，13、14相通，2、4、5相通；手柄在左“1”位置时，动触点与16、15、13、12、4、3静触点接触，静触点2、3、4相通，12、13、17相通，15与16相通。

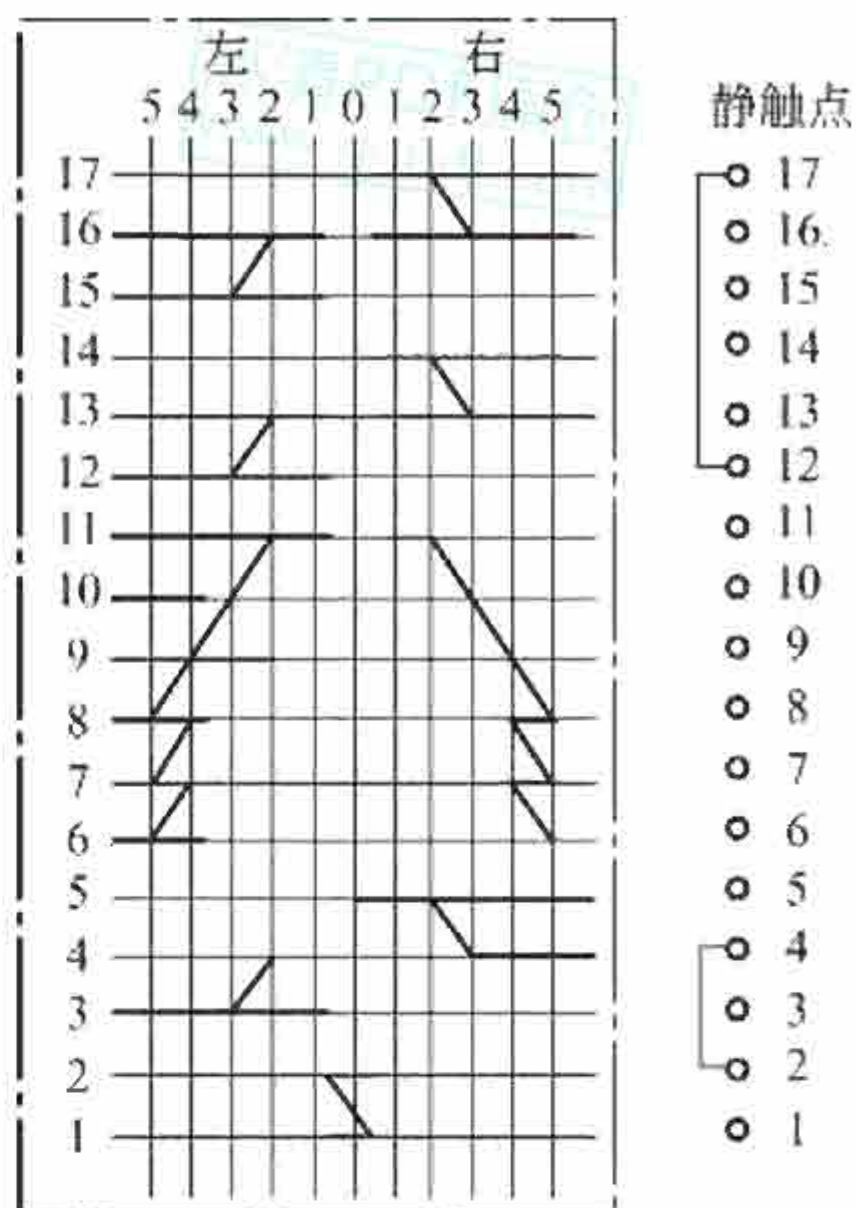


图 3-25 KT-2005 凸轮控制器的展开图

通过以上分析可知：凸轮控制器动触点、静触点接触相通与静触点之间相通是两种不同的概念。静触点之间相通或断开取决于动触点之间连线、静触点之间连线，以及手柄位置三个条件。

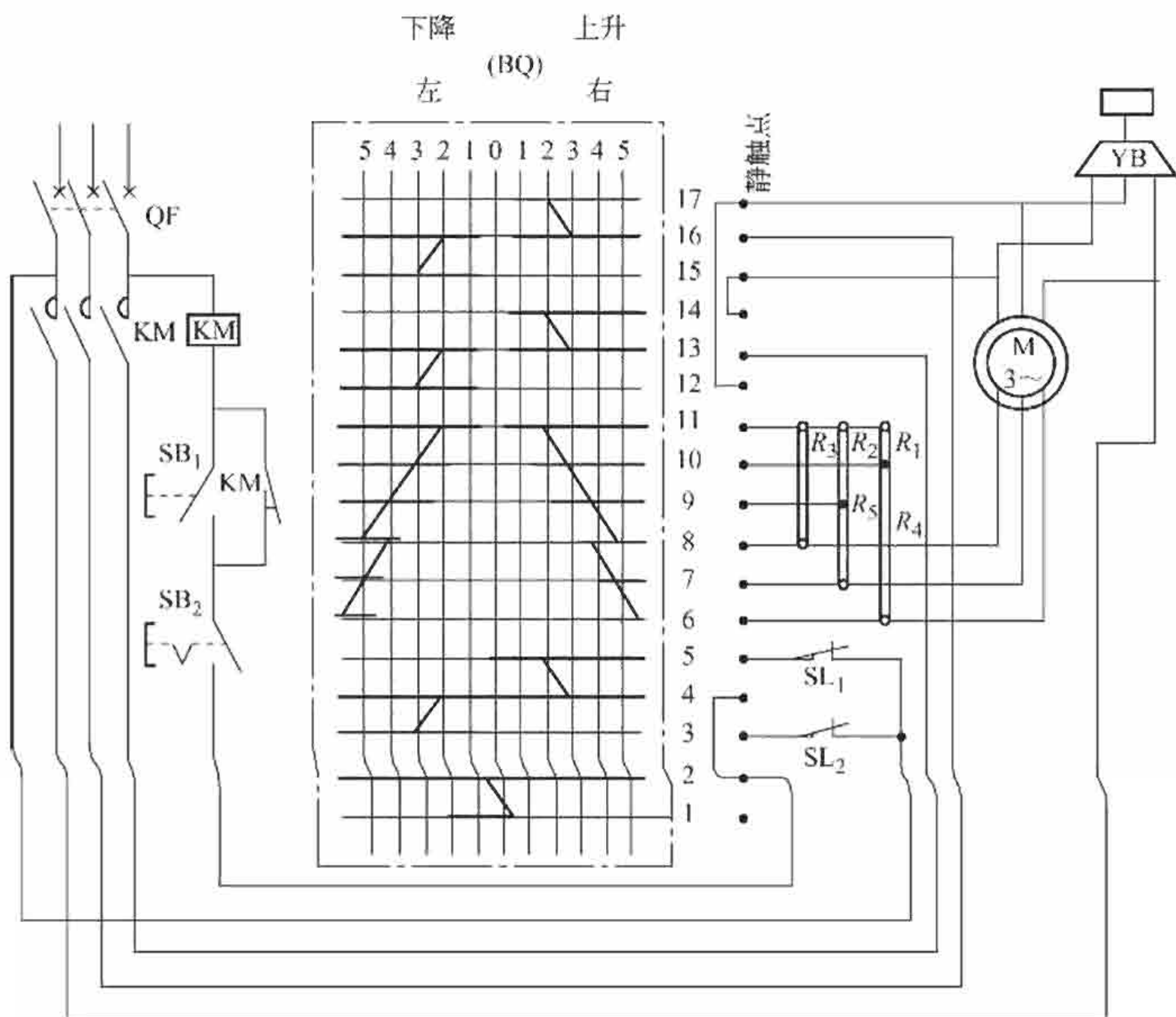


图 3-26 KT-2005 凸轮控制器控制绕线型三相异步电动机正反转的电路

为了加深对凸轮控制器展开图的认识,给出了利用KT-2005凸轮控制器控制绕线型三相异步电动机正反转(提升和下降重物)的电路。图3-26所示电路中各元器件的名称及作用如下。

QF为总电源开关(自动断路器);KM为交流接触器,控制电路接通电源;SB<sub>1</sub>为闭合按钮开关,按动SB<sub>1</sub>可使KM得电,而使电路接通电源;SB<sub>2</sub>为紧急停止供电的按钮开关,SB<sub>2</sub>按动,则KM失电,使电路断开电源;SL<sub>1</sub>为高位限位开关,即提升到高位的限位时,SL<sub>1</sub>碰动,则KM失电,电路断;SL<sub>2</sub>为低位限位开关,SL<sub>2</sub>碰动,能使KM失电,电路断电;BQ为KT-2005凸轮控制器;M为绕线型三相异步电动机;YB为制动器(电磁抱闸);R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>5</sub>为电动机启动电阻。

图3-26中的元器件明细表见表3-19。

表3-19 图3-26中的元器件明细表

序号	符号	元件名称	型号	规格	数量
1	QF	自动断路器	DZ10-250	额定电流120A,整定电流1000A	1
2	KM	交流接触器	CJ12B-100	380V	1
3	SB <sub>1</sub>	按钮开关	LA19-11	500V,5A	1
4	SB <sub>2</sub>	带自锁按钮开关	LAY3-11	500V,5A	1
5	SL <sub>1</sub> 、SL <sub>2</sub>	限位开关	LX22-6	380V	2
6	BQ	凸轮控制器	KT-2005	380V/22kW	1
7	YB	交流制动器	TJ2-200	三相380V	1
8	M	绕线型三相异步电动机	JZR51-8	380V,22kW	1
9	R <sub>1</sub> 、R <sub>2</sub> 、R <sub>3</sub> 、R <sub>4</sub> 、R <sub>5</sub>	电阻	ZX15	380V,4.6kW	1

下面介绍图3-26所示电路的工作过程。

第一步:闭合QF(总电源开关),然后按动SB<sub>1</sub>按钮开关,KM得电动作。电路与电源接通。

第二步:旋动KT-2005凸轮控制器手柄,提升或下降重物。

下面以提升重物过程为例,详细说明KT-2005凸轮控制器的作用。

当把KT-2005手柄从“0”位置向右转到“1”位置时,KT-2005的动触点分别与静触点4、5、11、13、14、16、17相接通,静触点4与5相通,使限位开关SL<sub>1</sub>串入KM线圈回路;静触点13与14相通,使电动机定子的一相绕组与电源相通;静触点16与17相通,使电动机定子绕组另外一相与电源相通,电动机三相定子绕组都接通电源,电动机转子绕组串入全部电阻启动。

当手柄旋转到右侧“2”位置时,KT-2005的动触点与静触点4、5、10、11、13、14、16、17,相接通。电动机继续启动。由于KT-2005手柄在右“2”位置时,静触点10与11短接,所以使电动机转子串的启动电阻R<sub>1</sub>被切除,电动机转

速已经升高。

当 KT-2005 凸轮控制器手柄转到右“3”位置时，动触点与静触点 4、5、9、10、11、13、14、16、17 接通。由于静触点 9、10、11 短接，所以使电动机转子绕组所串启动电阻  $R_1$  和  $R_2$  都被切除了，电动机转速继续升高。

当 KT-2005 凸轮控制器手柄转到右侧“4”位置时，KT-2005 的动触点与静触点 4、5、8、9、10、11、13、14、16、17 相通，静触点 8、9、10、11 短接，使得电动机转子绕组所串启动电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  都被切除，电动机转速更高了。

当 KT-2005 凸轮控制器手柄转到右侧“5”位置时，KT-2005 的动触点与静触点 4、5、6、7、8、9、10、11、13、14、16、17 相接通，此时电动机转子绕组所串启动电阻全部被切除，电动机进入高速运行状态。

当电动机从正常正转运行到停止状态过程时，应该及时使 KT-2005 凸轮控制器的手柄从右侧“5”位置逐级返回到“0”位置，即从右侧“5”→“4”→“3”→“2”→“1”→“0”位置。KT-2005 手柄返回过程中，电动机转子绕组逐级串入启动电阻，转速逐级下降，电动机在低速运转状态下转为断电停止转动。

如果使电动机反转（下降重物），则使 KT-2005 凸轮控制器的手柄从“0”位置向左侧逐级返回。

当 KT-2005 凸轮控制器手柄转到左侧“1”位置时，KT-2005 的动触点与静触点 3、4、11、12、13、15、16 相通，电动机定子绕组所接电源线相序发生变化（与电动机正转启动相比较），电动机反转启动。电动机转子绕组串入全部启动电阻。

当 KT-2005 凸轮控制器手柄继续逐级旋转到左侧“1”、“2”、“3”、“4”、“5”位置时，电动机转子绕组所串启动电阻逐次切除。

电动机由反转运行到停止过程中，KT-2005 的手柄应该及时从左侧的“5”位置逐级返回到“0”位置。在此过程中，电动机转子绕组逐级串入电阻，电动机速度逐渐下降，电动机在低速状态下断电停止运行。

### 3.4.2 控制器展开图第二种画法

为了对控制器展开图两种不同画法进行对比，现给出 KT-2005 和 KTJ1-80/2 两种凸轮控制器展开图两种画法绘制的图形，如图 3-27 和图 3-28 所示。

控制器展开图的第二种画法用纵线表示控制器手柄旋转的不同位置，即位线，而横线表示静触点位置，也就是静触点接线柱所在的位置。纵线与横线的正交点表示动触点与静触点是否接通：若纵线与横线正交点上有黑色实心圆点，则表示动触点与静触点相通；没有黑色实心圆点，则表明动触点与静触点是断开的。如图 3-27(b) 所示，当 KT-2005 控制器的手柄在“0”位置时，1、2、3、4、5 的动触点与静触点相接通，而其他的动触点与静触点都是断开状态。

控制器的静触点接线柱可直接与用电器具相接，单独用来控制用电器具工作状

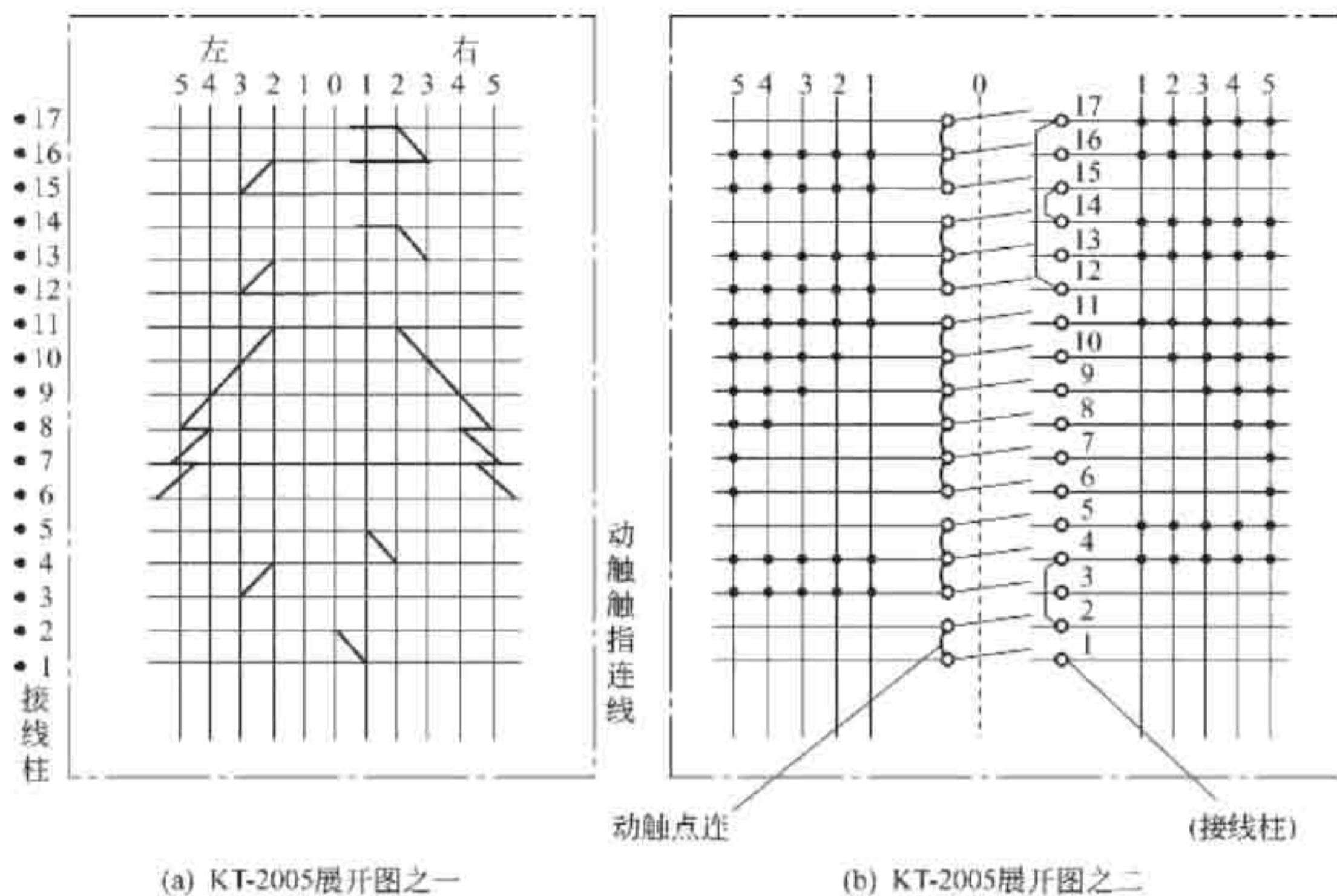


图 3-27 KT-2005 凸轮控制器展开图

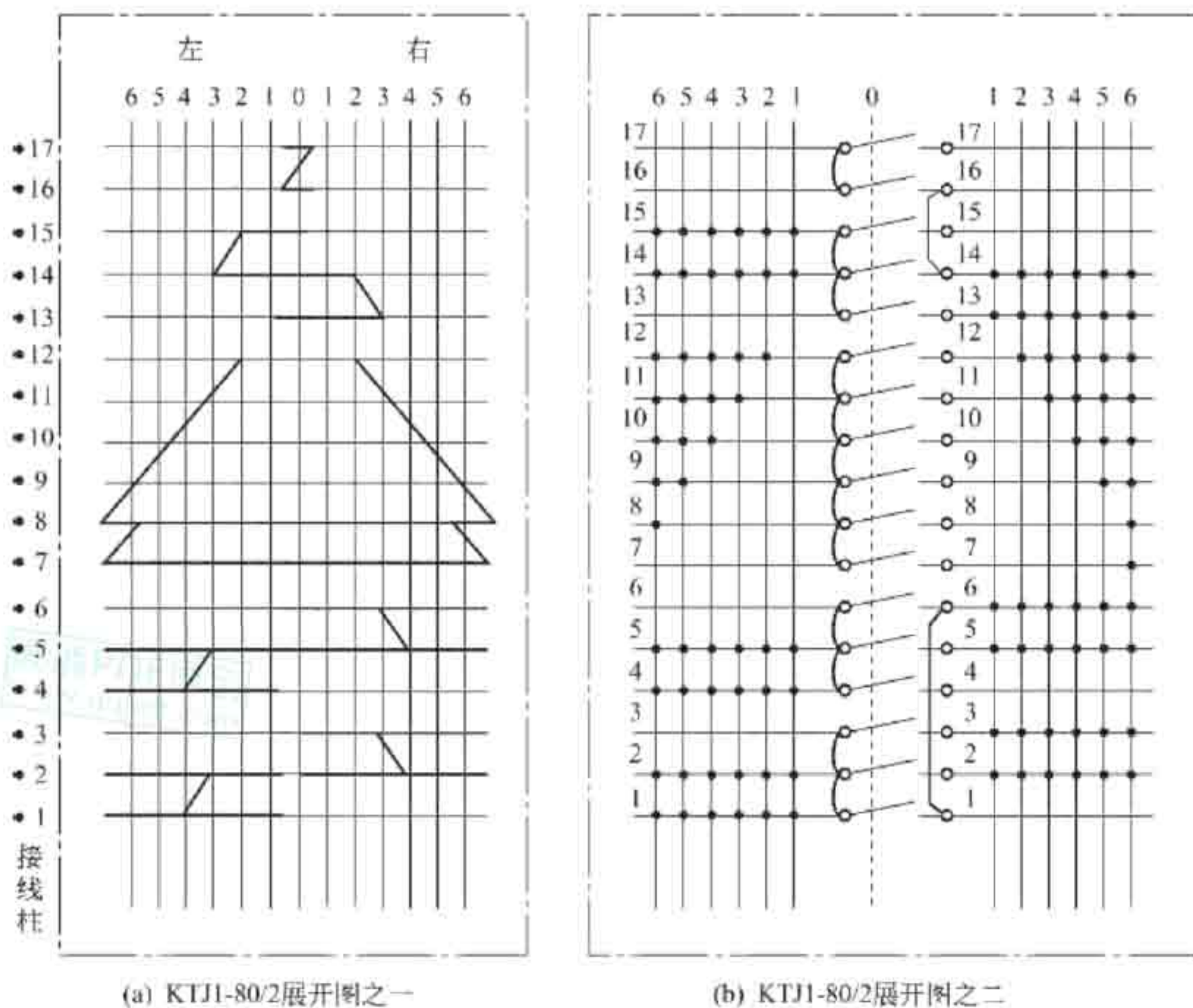


图 3-28 KTJ1-80/2 凸轮控制器展开图

态。控制器也可以通过控制继电器的得电与失电来控制用电器具的工作状态。

在电路有控制器时，必然有控制器展开图，若没有控制器展开图，就无法分析电路工作状态。由此可见学会看控制器展开图是特别重要的。

### 3.5 怎样看转换开关和主令控制器展开图

在实际电路中，转换开关和主令控制器（LK 系列）是很常见的控制元件。这两种元件结构特殊，所以绘图时其电气符号也特殊，并且要画出展开图。

#### 3.5.1 转换开关展开图

##### 3.5.1.1 转换开关类别、型号与适用场合

转换开关类别、型号与适用场合见表 3-20

表 3-20 转换开关类别、型号及适用场合

类别及名称	型号表示方法	适用场合	说明
HS 型刀型转换开关	表示方法同 HD 型刀开关，只是 HS 型为双刀开关，HD 为单刀开关	同 HD 型刀开关	
HZ5 系列手拧式转换开关（组合开关）	接线图编号 定位特征符号 控制电动机功率 额定电流 HZ5 为类组代号	作电流 60A 以下的机床线路中的电源开关；控制电路中的换接开关，以及电动机的启动、停止、变换、换向等	
HZ10 系列手拧式转换开关（组合开关）	级数 类别 额定电流 10 为设计序号 HZ 为类组代号	作电流 100A 以下的换接电源开关；三相电压测量；调节电热电路中电阻串、并联的开关；控制不频繁操作的小型异步电动机	
LW2 系列手拧式转换开关	类别 2 为设计序号 LW 为类组代号	作电流 10A 以下的远距离控制开关，或各种电气仪表、微电机的转换开关	类别的字母说明： 无字母——普通型 H——钥匙型 Y——信号灯 W——自复位型 Z——定位自复型 YZ——自复信号灯型
LW5 系列手拧式转换开关（万能转换开关）	接触系统挡数 接线图标号 定位特征代号 15 为额定电流 5 为设计序号 LW 为类组代号	作电压 500V、电流 15A 以下的主令电器、电气测量仪表、控制伺服电动机及交、直流辅助电路的转换开关，其中 LW5 型 5.5kW 手拧式转换开关可作 5.5kW 以下电动机的启动、变速和换向开关	
LW6 系列手拧式转换开关（万能转换开关）	产品代号 辅助规格 基本特征代号 6 为设计序号 LW 为类组代号	作电流 5A 以下电路的控制开关，或用作控制 300V、2kW 以下三相异步电动机的启动、停止	产品代号说明：TH 为产品代号；没有 TH 为一般场合用
LWX1 系列手拧式转换开关（万能转换开关）	LWX1 为设计序号 LWX1 为类组代号 （见表格下注释）	在电压 250V 和电流 5A 以下的线路中，作配电设备远距离控制开关及各种电气仪表的转换开关	
XH1-V 电压表换相开关	XH1-V 为电压表换相开关	用于 500V 以下多相电路换相检测各相电压	
XH1-A 电流表换相开关	XH1-A 为电流表换相开关	用于 5A 以下的电流互感器的次级中，换相检测各相电流	

对 LWXI 系列型号表示法有以下说明。

① 用字母表示开关型号。无字母为手柄不可取出，带定位及限位；Y 表示带信号灯手柄，有定位及限位；H 表示手柄可取出，带定位及限位；W 表示带自复机构；Z 表示带自复及定位机构。

② 用数字表示凸轮形式，数字表示凸轮数。

③ 用字母表示面板形式。E 为方形；Y 为圆形。

④ 用数字表示手柄形式。有 1、2、3、4、5 五种形式。

⑤ 定位器形式。8 为  $45^\circ$  定位， $90^\circ$  定位则不表示。

⑥ 有无限位装置。X 表示有。

⑦ 凸轮排列形式。A 表示不按标准型排列。

### 3.5.1.2 转换开关的图

(1) 转换开关的画法之一

HZ 系列手拧式转换开关接线图如图 3-29~图 3-37 所示。

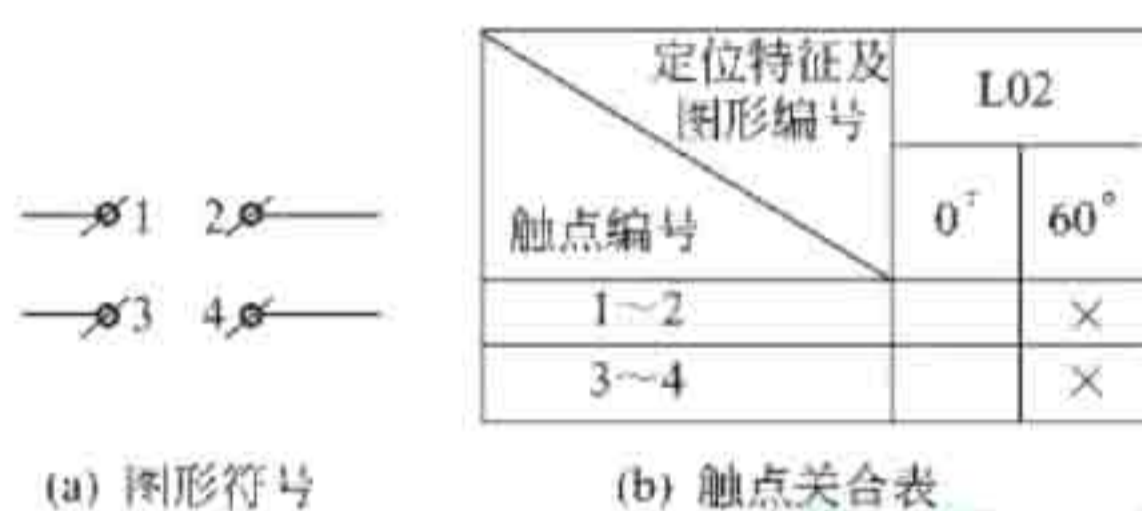


图 3-29 双极开关

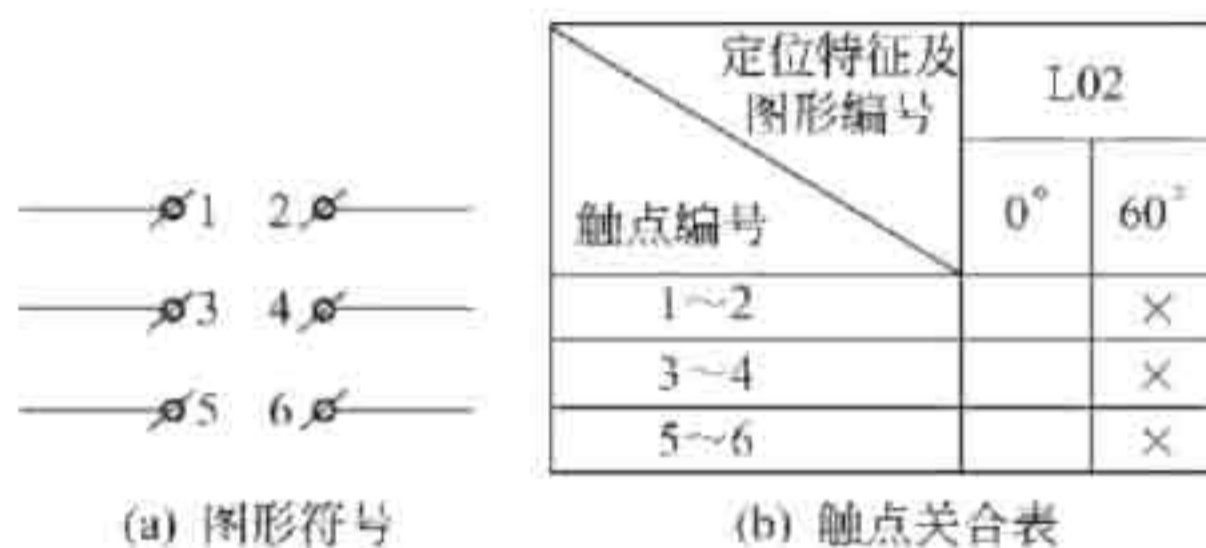


图 3-30 3 极开关

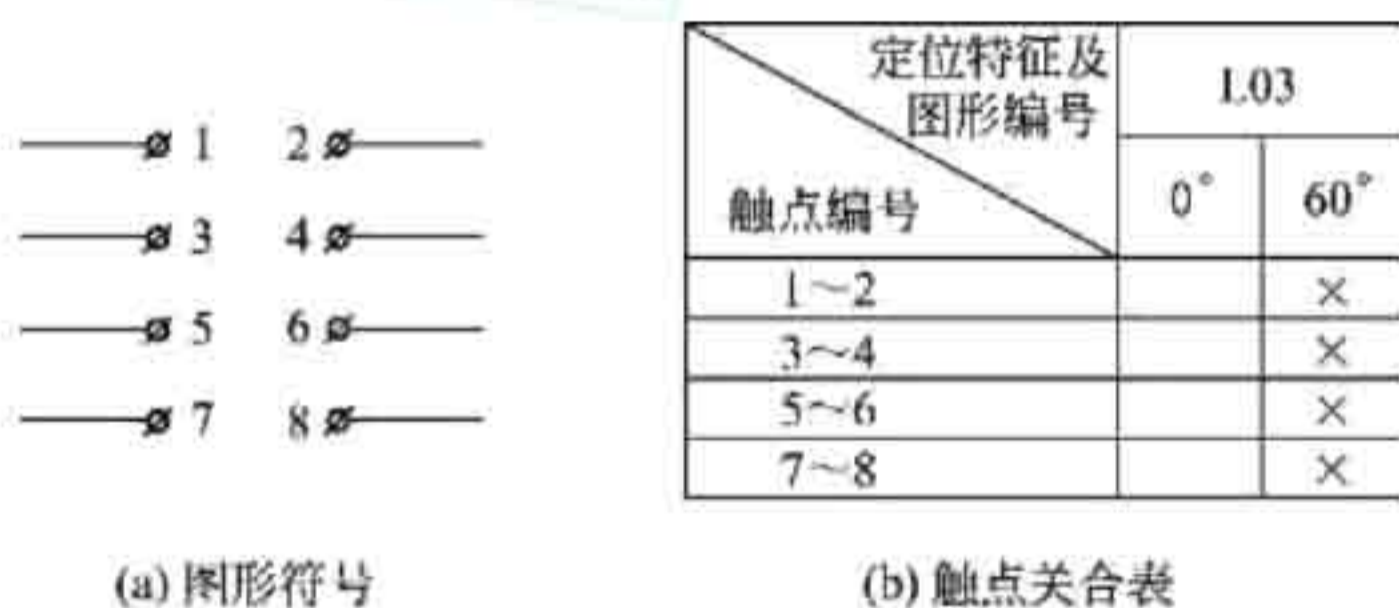


图 3-31 4 极开关

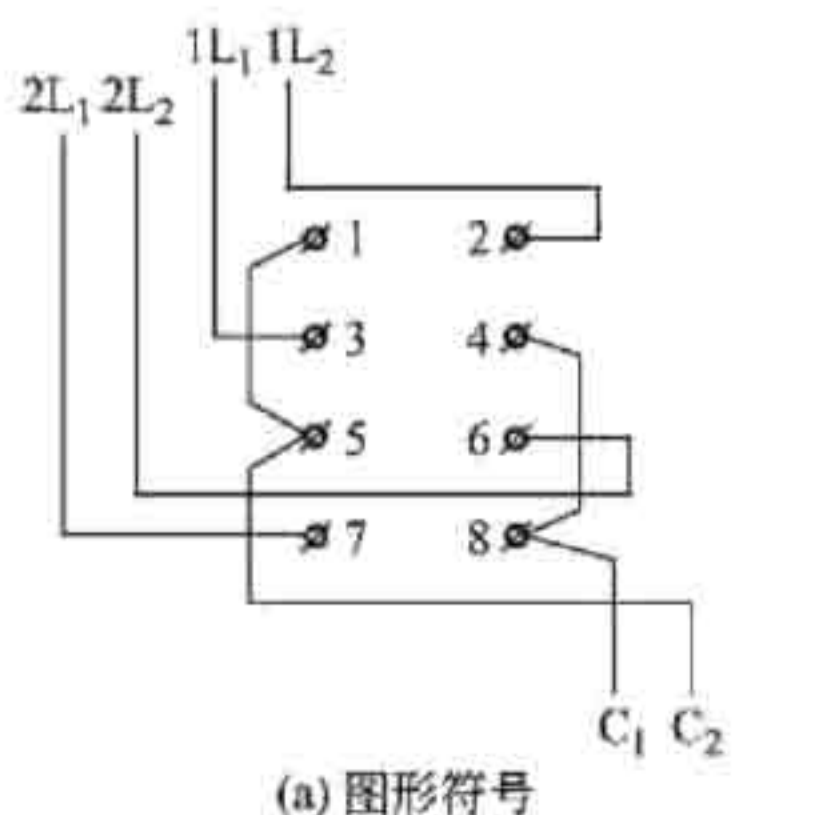
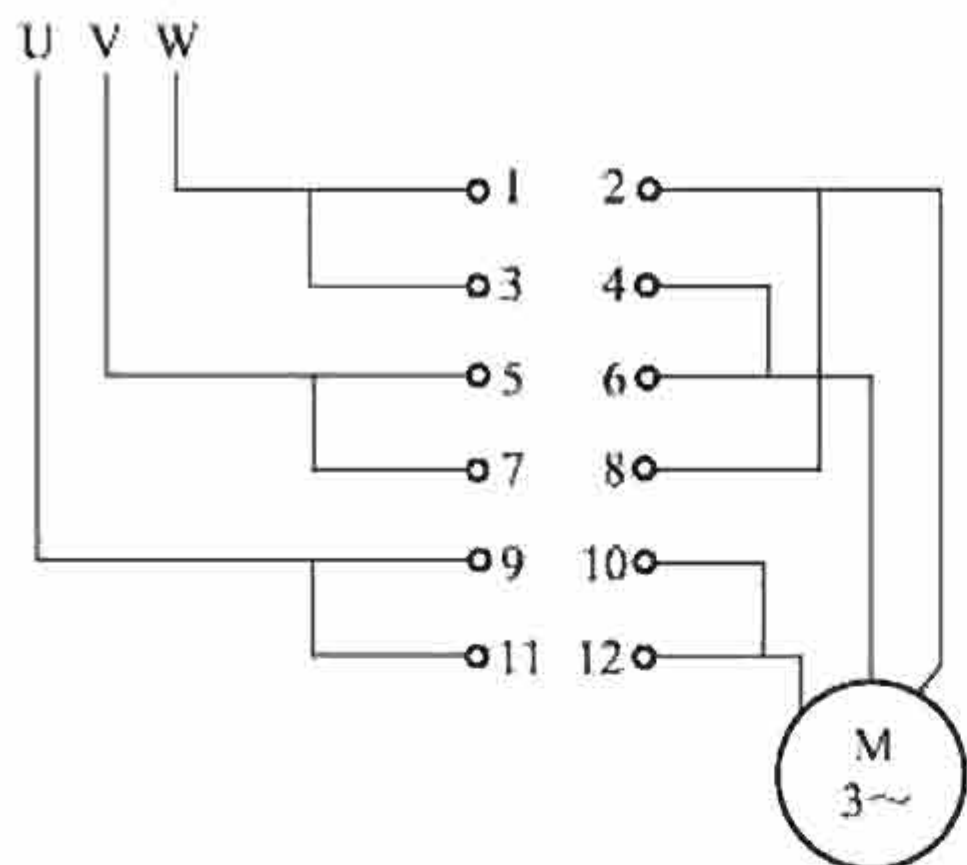


图 3-32 两种电压双极开关

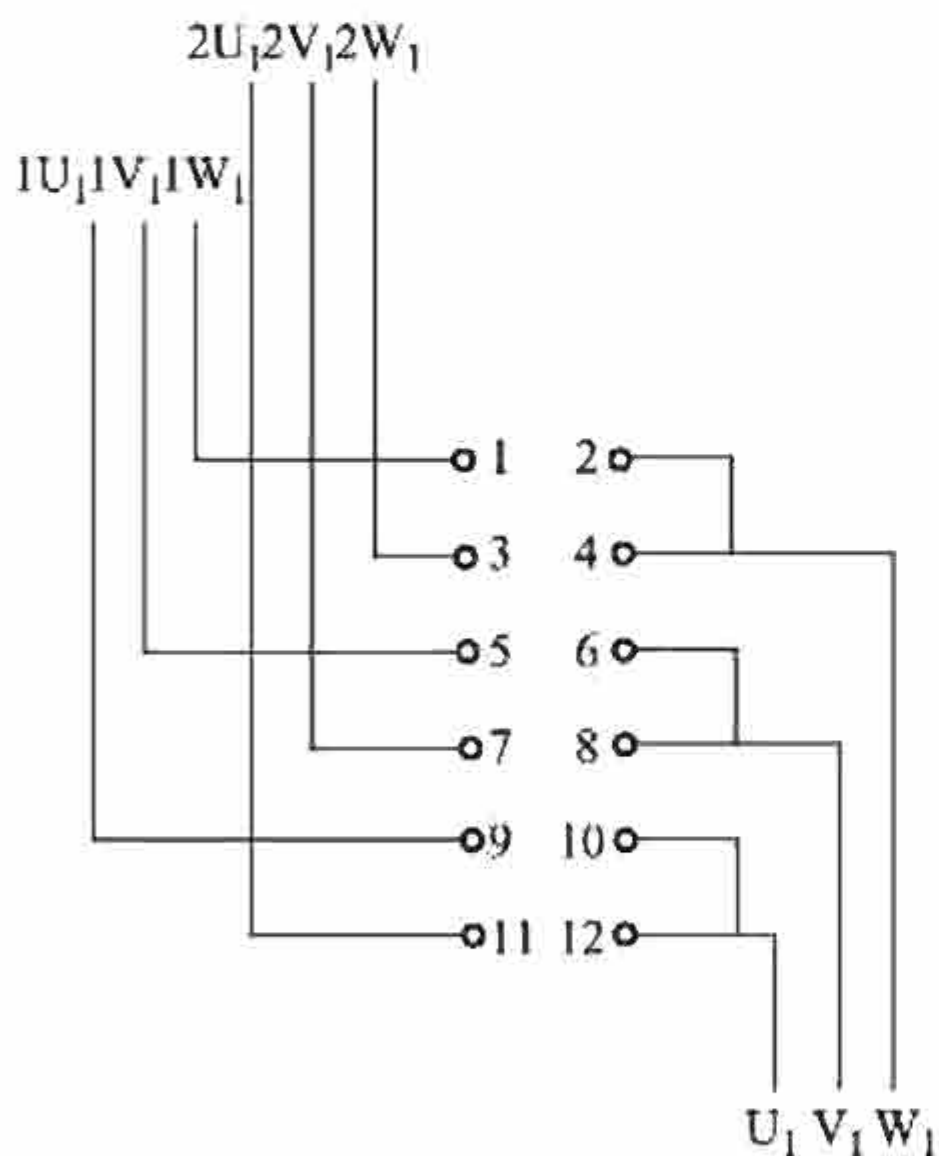


(a) 图形符号

定位特征及 接线图 编号	M05		
	60°	0°	60°
触点编号 1~2			×
3~4	×		
5~6			×
7~8	×		
9~10			×
11~12	×		

(b) 触点关合表

图 3-33 三相异步电动机可逆转换开关控制电路



(a) 图形符号

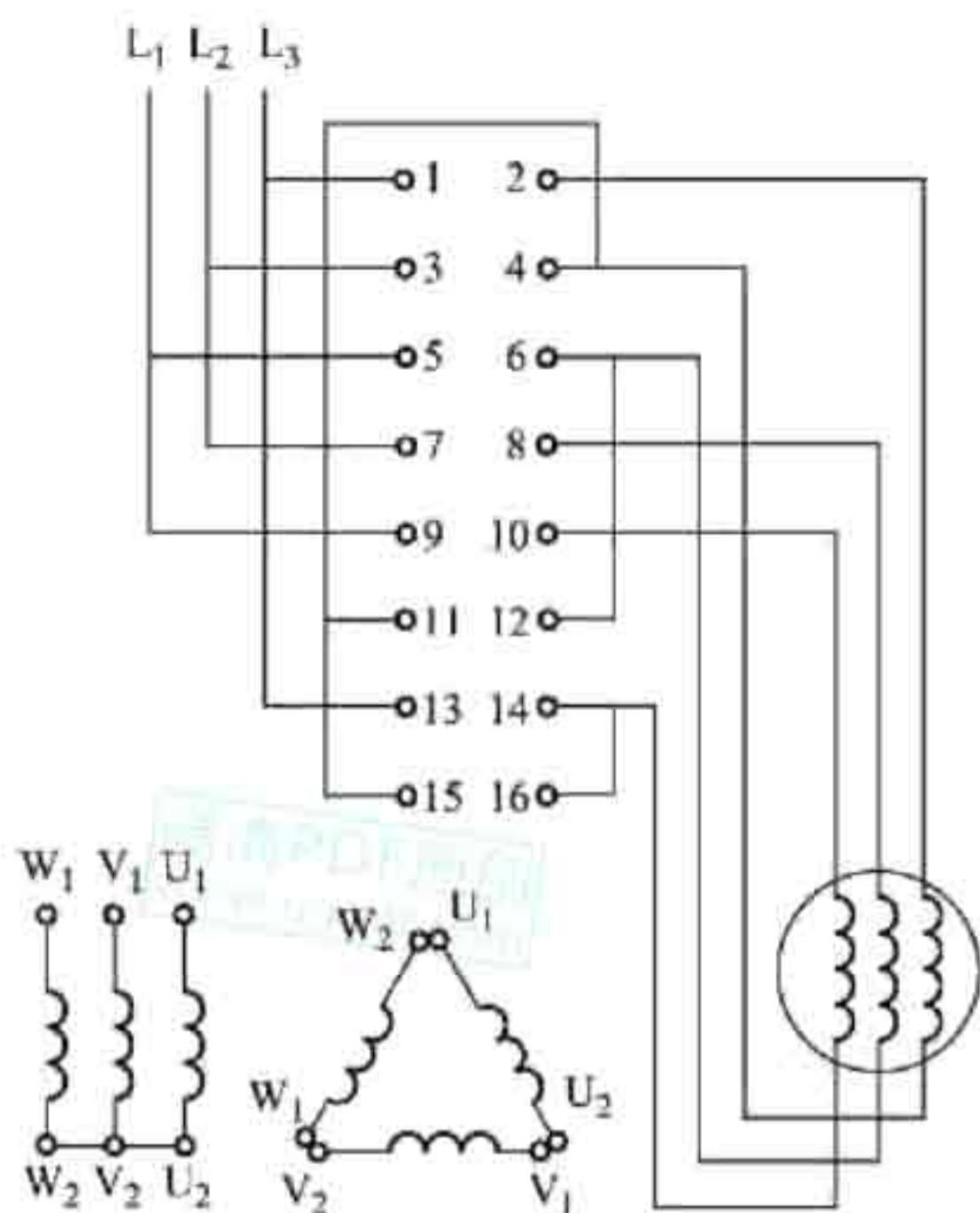
定位特征及 接线图 编号	M06		
	60°	0°	60°
触点编号 1~2			×
3~4	×		
5~6			×
7~8	×		
9~10			×
11~12	×		

(b) 触点关合表

图 3-34 两种电源 3 极转换开关控制原理图

由图 3-29 至图 3-37 所示转换开关接线图可见，转换开关有的只有两极，有的可以多到 20 极。HZ 系列手拧式转换开关是分层组合型转换开关，通常每层只有一对触点（又称一极），也就是说，3 极 HZ 系列转换开关有 3 层，20 极 HZ 系列转换开关有 20 层；也有些转换开关每层触点不是一对，而是两对以上，甚至多对。在具体接线时，应特别注意转换开关的手柄在不同位置时，触点间的通断情况。

现在分析图 3-35 所示电路，在图中，转换开关共有 8 对触点，转换位置有三个。结合触点关合表，分析电动机定子六个接线头接线转换过程。当转换开关在“0”位置时，所有的静触点都不通，电动机为断电状态；当转换开关在“Y”接位置时，转换开关静触点通过与动触点有规律地接通，使静触点 1 与 2、7 与 8、9 与 10、11 与 12、15 与 16 之间相通。静触点 1 与 2、7 与 8、9 与 10 接通，使电动机定子绕组  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  与电源三相线接通，而静触点 11 与 12、15 与 16 相通，使电动机定子绕的另外一端  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  短接，电动机定子绕组接成 Y 形启动。

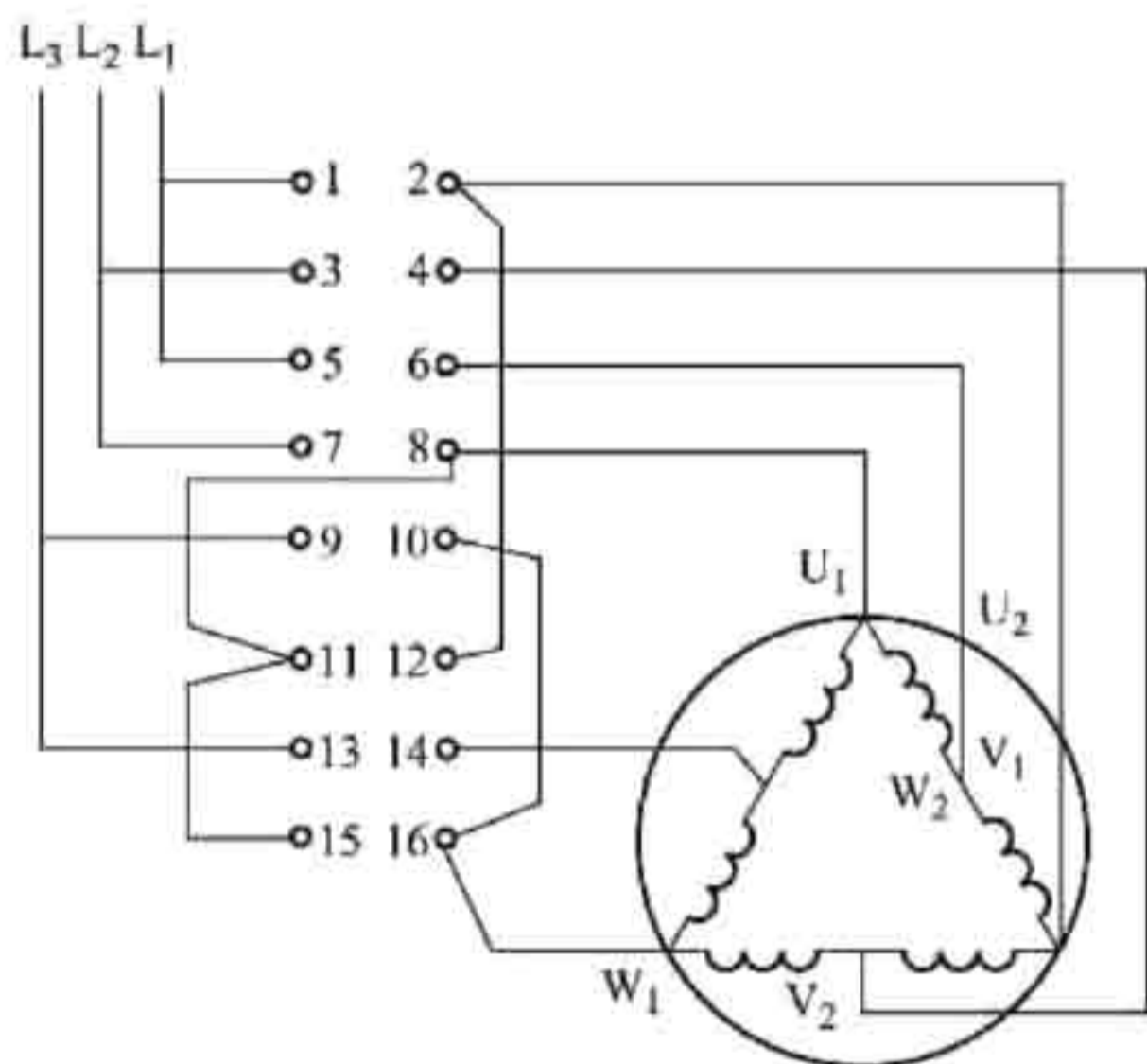


(a) 图形符号

定位特征及 接线图 编号	M07		
	0	Y	Δ
1~2		×	×
3~4			×
5~6			×
7~8		×	×
9~10		×	×
11~12		×	
13~14			×
15~16		×	

(b) 触点关合表

图 3-35 三相异步电动机 Y-Δ 启动用转换开关控制电路



(a) 图形符号

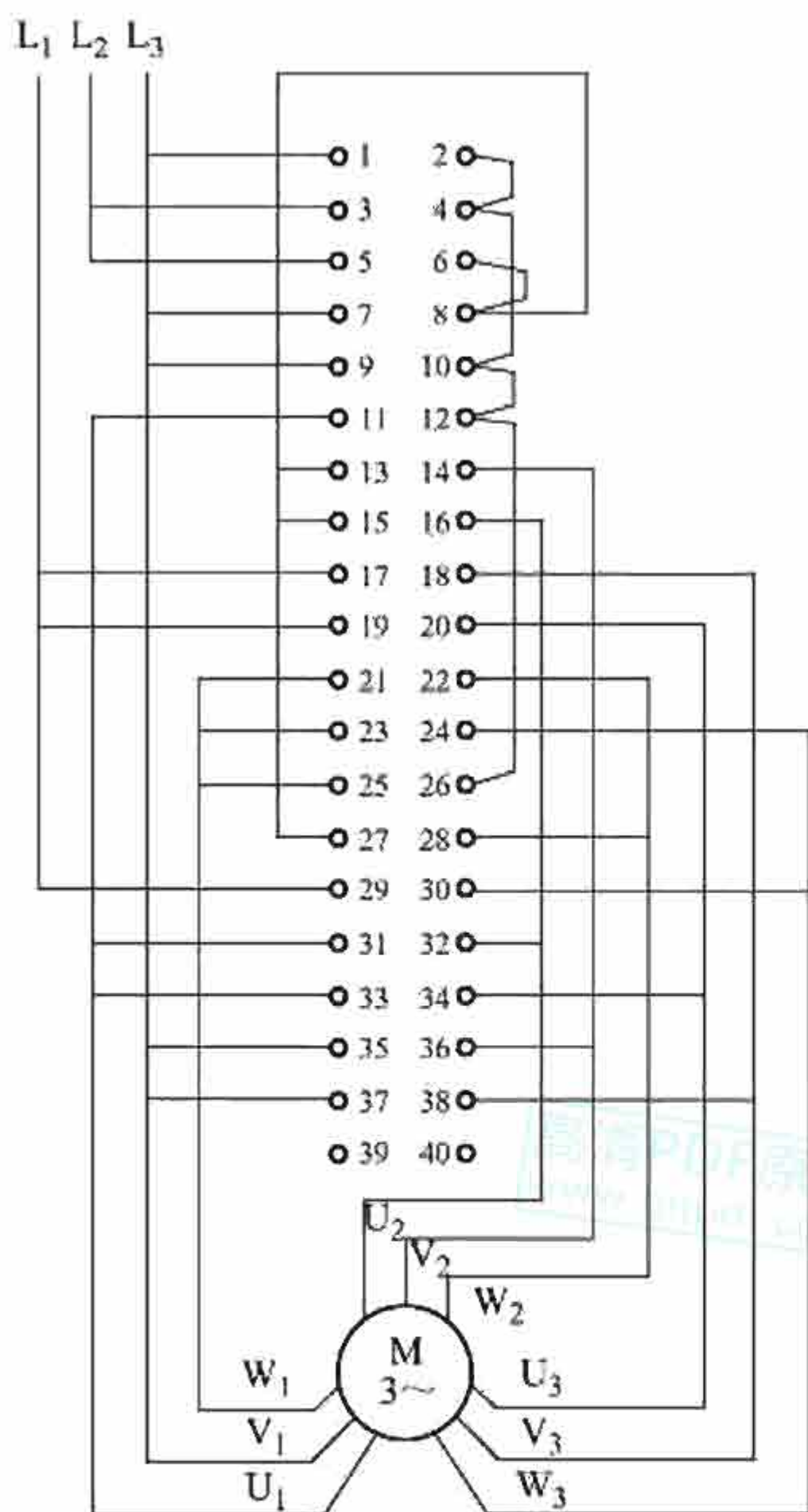
定位特征及 接线图 编号	M08		
	0	1	2
1~2		×	
3~4			×
5~6			×
7~8		×	
9~10		×	
11~12			×
13~14			×
15~16			×

(b) 触点关合表

图 3-36 双速电动机用转换开关控制电路

当转换开关手柄由“Y”位置拧到“Δ”位置时，则静触点与动触点的接触发生变化，此时静触点 1 与 2、3 与 4、5 与 6、7 与 8、9 与 10、13 与 14 接通。静触点 1 与 2、13 与 14 接通，使电动机  $U_1$  与  $W_2$  短接，并与电源相线  $L_3$  相连；静触点 3 与 4、7 与 8 相通，使电动机定子绕组的  $U_2$  与  $V_2$  相短接，并与电源  $L_2$  相线相连；静触点 5 与 6、9 与 10 相通，使电动机定子绕组的  $V_2$  与  $W_1$  短接，并与电源  $L_1$  相线相连。





(a) 图形符号

定位特征及 接线图 编号	M16		
	1	2	3
1~2	×	×	
3~4			×
5~6	×	×	
7~8			×
9~10	×	×	
11~12	×		×
13~14	×	×	
15~16	×		×
17~18	×	×	
19~20	×		×
21~22	×		
23~24	×		
25~26		×	×
27~28		×	×
29~30		×	×
31~32		×	
33~34		×	
35~36			×
37~38			×
39~40	×	×	×

(b) 触点关合表

图 3-37 三速电动机用转换开关控制电路

通过以上分析可知，当转换开关拧到“ $\Delta$ ”位置时，电动机为 $\Delta$ 形连接运行状态。

在图 3-36 中，当转换开关在“1”位置时，静触点 1 与 2、7 与 8、9 与 10、11 与 12、15 与 16 相通，电动机定子绕组为 $\Delta$ 形接启动运行（低速运行）。

当将转换开关拧到“2”位置时，静触点 3 与 4、5 与 6、11 与 12、13 与 14、15 与 16 相通。

静触点 11 与 12、15 与 16 相通，使定子绕组的  $W_1$ 、 $V_1$ 、 $U_1$  三点短接，而静触点 3 与 4、5 与 6、13 与 14 相通，使电动机定子绕组  $V_2$ 、 $U_2$ 、 $W_2$  与电源三根相线接通，电动机定子绕组接成双“Y”形高速运行。

图 3-37 所示电路是三速电动机用转换开关控制电路，通过转换开关控制电动机在不同转速下运行。在图中，转换开关有三个位置，它对应控制电动机三种转速运行状态。电动机的停止无法通过转换开关控制，所以图 3-37 所示电路还应外加控制电源线  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  断开与接通环节。

通过以上分析可知，如果电路中有转换开关，就必须绘制出转换开关展开图和

转换开关的触点关合表。没有触点关合表，就很难分析出转换开关对电路的控制原理。看组合式转换开关和其他类别转换开关展开图时，必须仔细研究触点关合表；具体接线时，也必须严格按照触点关合表所示的各对触点状态有规律地接线。

## (2) 转换开关展开图画法之二 (3 极以下转换开关)

3 极以下转换开关的展开图，有时又直接表示出转换开关手柄不同位置时各触点状态，如图 3-38 所示。

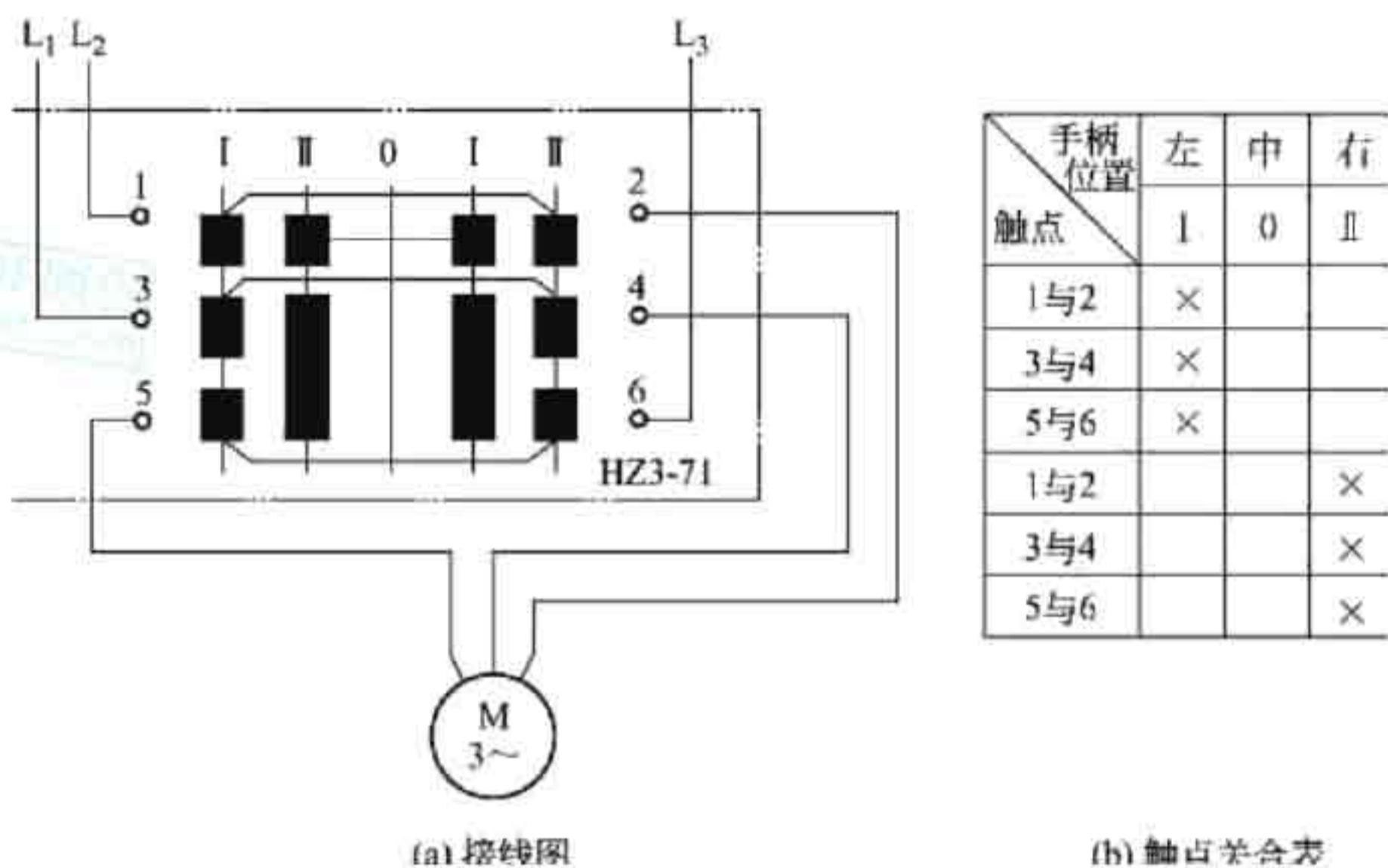


图 3-38 用 HZ3-71 型转换开关控制电动机正、反转电路

在图 3-38 中，黑色的方块表示转换开关的动触片（或称为动触点）；黑色方块之间的短接线表示两个动触片之间是短接的；在黑色方块旁边有六个圆点，它们表示是转换开关的静触点（定触片），静触点有接线柱，用来对外连线。

当手柄旋到“Ⅰ”位置时，则电源线  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  分别与 4、2、5 三个静触点接通，电动机为正转。当手柄返到“0”位置时，电动机断电，停止转动。当手柄扳到“Ⅱ”位置时，则  $L_1$  与 5 触点通， $L_2$  与 2 触点通， $L_3$  与 4 触点通，电动机定子绕组接电源的相序正好与手柄在“Ⅰ”时相反，所以电动机反转。

在具体看转换开关展开图的第二种画法时，应该按照转换开关手柄位置，看对应动触点与静触点之间关系，对于不对应的动触点，则不用分析（认为不存在）。图 3-38 所示的转换开关展开图中，手柄在“Ⅰ”位置时，只看图中标有“Ⅰ”的黑方块与静触点的关系，可见，通过六个动触点与六个静触点相接通，使得静触点 1 与 2、3 与 4、5 与 6 对应接通。

转换开关手柄在“Ⅱ”置时，只看“Ⅱ”位的动触点（四个）与六个静触点的关系，可见，通过四个动触点与六个静触点的对应接通，静触点 1 与 2、3 与 5、4 与 6 接通。

### 3.5.2 转换开关技术数据

HZ3 系列组合开关的技术数据和用途如表 3-21 所列；HZ5 系列转换开关的技术数据如表 3-22 所列；HZ10 系列转换开关技术数据如表 3-23 所列；HZ10 系列转换开关类型、极数及额定电流如表 3-24 所列；LW5 系列万能转换开关手柄转动位置如表 3-25 列；LW5 型 5~5kW 手拧式转换开关技术数据如表 3-26 所列；LW6 系列万能转换开关手柄转换位置如表 3-27 所列；LW6 系列万能转换开关型号和触头排列特征如表 3-28 所列；LW6 系列万能转换开关的转换负载及分断电流能力如表 3-29 所列；LWX1 系列小型密封万能转换开关分断能力如表 3-30 所列；XH1-V/A 换相开关技术数据如表 3-31 所列。

表 3-21 HZ3 系列组合开关的技术数据和用途

型 号	触点额定 电流/A	能控制电动机功率/kW			凸轮节数	用途
		220V	380V	500V		
HZ3-131	10	2.2	3	3	3	安装于机床外部,控制电动机启、停
HZ3-431	10	2.2	3	3	3	安装于机床内部,控制电动机启、停
HZ3-132	10	2.2	3	3	3	安装于机床外部,控制电动机启、停
HZ3-432	10	2.2		3	3	安装于机床内部,控制电动机启、停
HZ3-133	10	2.2	3	3	3	安装于控制台,控制电动机倒、顺、停
HZ3-161	35	5.5	7.5	7.5	6	安装于控制台,控制电动机倒、顺、停
HZ3-452	5(110V) 2.5(220V)				5	安装于机床内部,控制电磁吸盘
HZ3-451	10	2.2	3	3	5	安装于机床内部,控制电动机变速

表 3-22 HZ5 系列转换开关的技术数据

开关型号	HZ5-10	HZ5-20	HZ5-40	HZ5-60
触点额定电流/A	10	20	40	60
能控制用电器功率/kW	1.7	4	7.5	10
电压在 380 和 $\cos\phi$ 为 0.35 时的接通与分断电流能力/A	40	80	160	240

表 3-23 HZ10 系列转换开关技术数据

开关型号		HZ10-10		HZ10-25	HZ10-60	HZ10-100
额定电流(220V/380V)/A		6	10	25	60	100
380V 时极限操作电流/A	闭合		94	155		
	断开		62	108		
380V 时允许启动控制的小容量电动机功率/kW			3/7	5.5/12		

表 3-24 HZ10 系列转换开关类型、极数及额定电流

类 型	新产品型号	代替老产品型号	极数	层数	额定电流/A				
					10	25	60	100	
同时通断(“J”表示机床用开关)	HZ10-□/1	HZ1-□/1	1	1	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/2	HZ1-□/2	2	2	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/3	HZ1-□/3	3	3	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/4	HZ1-□/4	4	4	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/2J	HZ1-□/25、 HZ1-□/27	1	见 产 品 目 录	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□-3J	HZ1-□E16、 HZ1-□E28	3		✓	✓	✓	✓	
交替通断(分母的第 1 位数表示起点的接通路数;第 2 位数字表示通断的总路数……)	HZ10-□/12	HZ1-□/12	2	2	✓	✓			
	HZ10-□/13	HZ1-□/13	3	3	✓	✓			
	HZ10-□/14	HZ1-□/14	4	4	✓	✓			
	HZ10-□/24	HZ1-□/24	4	4	✓	✓			
	HZ10-□/25	HZ1-□/25	5	5	✓	✓			
	HZ10-□/26	HZ1-□/26	6	6	✓	✓			
两位转换(用“P”表示,其中“有一位断路”的操作机构有限位装置)	有一位 断路	HZ10-□P/1	HZ1-□P/1、 HZ1-□/14	1	2	✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/2	HZ1-□P/2	2	2	✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/3	HZ1-□P/3	3	3	✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/4	HZ1-□P/4	4	4	✓	✓	✓	✓
	有二位 断路	HZ10-□P/B1		1	2	✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/B2	HZ1-□E11、 HZ1-□E11~E17	2	2	✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/B3		3	3	✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/B4	HZ1-□E18	2	2	✓	✓	✓	✓
	无断路	HZ10-□P/01	HZ1-□/20	1	2	✓	✓	✓	
		HZ10-□P/02	HZ1-□/21	2	2	✓	✓	✓	
		HZ10-□P/03		3	3	✓	✓	✓	
		HZ10-□P/04		3	4	✓	✓	✓	
三位转换(用“S”表示)	HZ10-□S/1	HZ1-□/61	1	2	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□S/1	HZ1-□/61	1	2	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□S/1	HZ1-□/61	1	2	✓	✓	✓	✓	
四位转换(用“G”表示)	HZ10-□G/1	HZ1-□E12、 HZ1-□E53	1	2	✓	✓	✓		
	HZ10-□G/2		2	4	✓	✓	✓		
	HZ10-□G/3		3	6	✓	✓	✓		

续表

类 型	新产品型号	代替老产品型号	极数	层数	额定电流/A			
					10	25	60	100
测量三相电压的电压表用	HZ10-03 (HZ10-3X)	FZ1-3	3	3	√			
测量三线四线制电压的电压表用	HZ10-04	HZ1-□/E30	4	4	√			
换接两电阻单接串联或并联单接用	HZ10-□R2	HZ1-□/E23		2	√	√		
换接两电阻并联单接及串联用	HZ10-□R3	HZ1-□/E24		2	√	√	√	
控制Y电动机正反转用(操作机构有限位装置)	HZ10-□N/3 (HZ10-□N/3X)	HZ1-□N/3	3	3	√	√	√	√
HZ10-□X/3	HZ10-□X/3		3	6	√	√		
特殊规格	HZ10-□/E6	HZ1-□/E6		5	√	√		
	HZ10-□/E7	HZ1-□/E7		5	√			
	HZ10-□/E8	HZ1-□/E8		4	√	√		
	HZ10-□/E29	HZ1-□/E29		4	√	√		
	HZ10-□/E35	HZ1-□/E35		4	√			
	HZ10-□/E41	HZ1-□/E41		3	√	√	√	√
	HZ10-□/E62	HZ1-□/E62		4	√	√		

注：表中“√”表示有些产品。

表 3-25 LW5 系列万能转换开关手柄转动位置

操作方式	代 号	操作手柄位置
自复位	A	0°、45°
	B	45°、0°、45°
定位式	C	0°、45°
	D	45°、0°、45°
	E	45°、0°、45°、90°
	F	90°、45°、0°、45°、90°
	G	90°、45°、0°、45°、90°、135°
	H	135°、90°、45°、0°、45°、90°、135°
	I	135°、90°、45°、0°、45°、90°、135°、180°
	J	120°、90°、60°、30°、0°、30°、60°、90°、120°
	K	120°、90°、60°、30°、0°、30°、60°、90°、120°、150°
	L	150°、120°、90°、60°、30°、0°、30°、60°、90°、120°、150°
	M	150°、120°、90°、60°、30°、0°、30°、60°、90°、120°、150°、180°

表 3-26 LW5 型 5~5.5kW 手拧式转换开关技术数据

用途	型号	操作手柄位置			接触系统挡数
直接启动开关	LW5-15/5.5Q		0°	45°	2
可逆转换开关	LW5-15/5.5N	45°	0°	45°	3
双速电动机变速开关	LW5-15/5.5S	45°	0°	45°	5

表 3-27 LW6 系列万能转换开关手柄转换位置

定位特征代号	操作手柄位置		
A		0°	30°
B	30°	0°	30°
C	30°	0°	30°、60°
D	60°、30°	0°	30°、60°
E	60°、30°	0°	30°、60°、90°
F	90°、60°、30°	0°	30°、60°、90°
G	90°、60°、30°	0°	30°、60°、90°、120°
H	120°、90°、60°、30°	0°	30°、60°、90°、120°
I	120°、90°、60°、30°	0°	30°、60°、90°、120°、150°
J	150°、120°、90°、60°、30°	0°	30°、60°、90°、120°、150°
K	210°、240°、270°、330°	0°	30°、60°、90°、120°、150°、180°
L		0°	60°
M		0°	60°
N		0°	60°、120°
O		0°	60°、120°
P	240°、300°	0°	60°、120°、180°

注：K型和P型开关无限位机构、能连续旋转360°（顺转或者逆转）。

表 3-28 LW6 系列万能转换开关型号和触头排列特征

型号	触头座数	触头座排列形式	触头对数	型号	触头座数	触头座排列形式	触头对数
LW6-1	1	单列式	3	LW6-8	8	单列式	24
LW6-2	2	单列式	6	LW6-10	10	单列式	30
LW6-3	3	单列式	9	LW6-12	12	双列式	36
LW6-4	4	单列式	12	LW6-16	16	双列式	48
LW6-5	5	单列式	15	LW6-20	20	双列式	60
LW6-6	6	单列式	18				

表 3-29 LW6 系列万能转换开关的转换负载及分断电流能力

电源种类	电压/V	接通电流	分断电流/A	
			感性负载 交流: $\cos\varphi \geq 0.35$ 直流: $T \leq 0.05s$	电阻负载
交流	$1.05 \times 380$	5	5	5
直流	$1.05 \times 220$	4	0.5	1.0
	$1.05 \times 110$	7.5	1.0	2.5

表 3-30 LWX1 系列小型密封万能转换开关分断能力

电 源	交流(220V)/A	直流/A		
		220V	110V	
事故状态	纯电阻	20	2	5
	感性	7	1	3
正常运转	纯电阻	16	1.6	4
	感性	5.6	0.8	2.4

表 3-31 XH1-V/A 换相开关技术数据

型 号	名 称	额定电压 /V	额定电流 /A	交流 50/Hz	切换速度 /(次/min)	负载性质
XH1-V	电压表换相开关	500		500	20min	接在电压表线路中
XH1-A	电流表换相开关		5	6	20min	接在电流互感器二次线路中

## 3.6 实际电路接线方法

看懂电路接线图是为了正确接线。下面就介绍电路接线方法。

正确接线是电路中各电器元件和电气设备、装置正常工作的保证。电路接线可分为串联接线、并连接线和混连接线三种基本形式。

### 3.6.1 电路接线形式

#### 3.6.1.1 电路串联接线

电路串联接线是指用导线将电路中的元器件或用电器件顺次连接,没有三根导线汇接于一起的接线。电路串联接线示意图如图 3-39 所示。

由图 3-39 可见,按钮  $SB_1$  和  $SB_2$ 、接触器线圈  $KM$  之间是顺次串联相接的,照明灯  $EL_1$ 、 $EL_2$ 、 $EL_3$  之间也是顺次串联相接的。

#### 3.6.1.2 电路并联接线

并联接线将可以同时得电(加电压),而且额定电压值相同的元器件或用电器具的接线柱用短接线短接后,再用一根导线接出引线的连接方式。电路并联接线示意图如图 3-40 所示。

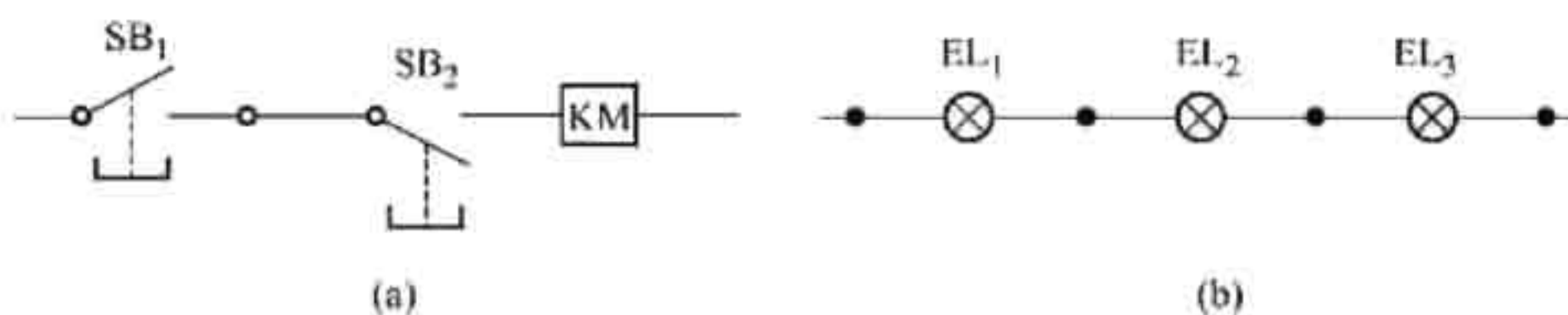


图 3-39 电路串联接线示意图

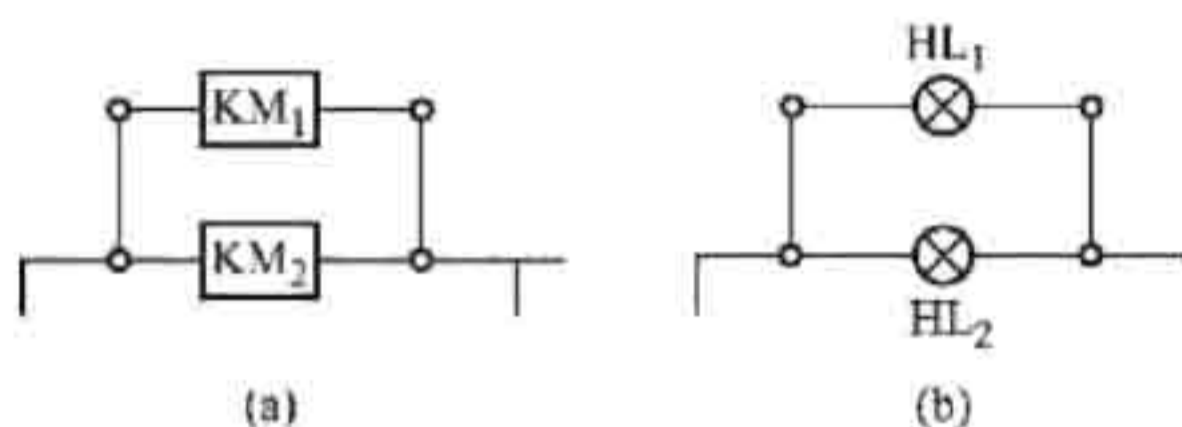


图 3-40 电路并联接线示意图

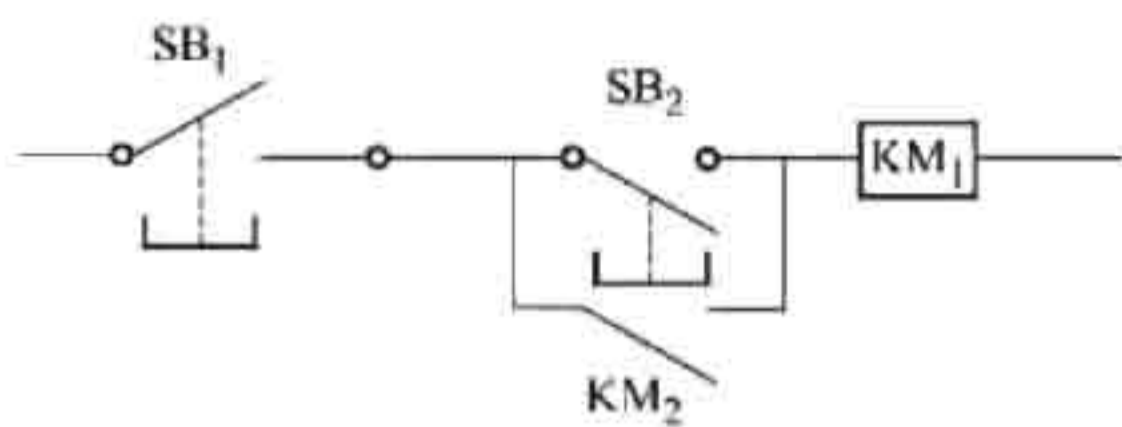


图 3-41 电路混联接线示意图

由图 3-40 可见，接触器  $KM_1$  和  $KM_2$  线圈的两个接线柱短接后再接出引线；信号指示灯  $HL_1$  和  $HL_2$  的两个接线柱也短接后再接出引线。

### 3.6.1.3 电路混联接线

电路混联接线的电路中即有串联接线，又有并联接线。在实际电路接线过程中，混联接线最多。电路混联接线示意图如图 3-41 所示。在图中按钮开关  $SB_1$ 、 $SB_2$ 、 $KM_1$  线圈之间是串联接线，而  $SB_2$  与  $KM_2$  常开触点之间是并联接线。

实际接线中有三个或三个以上元器件进行连接时才可能出现混联。两个元器件之间只能是串联或并联。

## 3.6.2 电路接线方法和步骤

### 3.6.2.1 电路接线步骤

① 安装电气设备和电路的控制元件。电路中的控制元件按照元器件布置图的要求安装于配电板（盘）、操作台或操作柜的面板上。

② 按照电路接线图，选择合适的绝缘导线连接主电路。

③ 按照电路接线图，选择合适的绝缘导线连接辅助电路。

④ 按照电路图检查接线是否正确。在电路通电前一定要检查所接线路的电源引入线间是否有短路故障，这一点是特别重要的。

⑤ 整理电路接线，使接线尽量清晰、美观。

⑥ 通电试验。在电路通电试验时，最好断开负载，先试验辅助电路各控制元件动作是否正确。在对辅助电路通电试验时，应测试线路负载端的引入线是否有电压，也就是判断辅助电路是否能对负载进行正确控制。当辅助电路测试完毕后，再接上负载进行带负载试验。

### 3.6.2.2 电路接线注意事项

① 严格按照电路接线图所示的线号接线，并且每根线两端都要套上相同线号



的管后再接线。这样做的目的是便于检查与维修。

② 所有导线要接牢固，绝不能有虚接。电路导线虚接，则电路不能正常工作，也容易引起导线松脱，从而引起局部线路短路。

③ 在同一个接线电路中，若有不同电源，应该尽量分开布线。特别是电路中交流电源接线和直流电源接线同时存在时，一定要分开布线。

④ 电路中的主电路与辅助电路应尽量分开布线。电路电源引入线应与其他接线分开布线。电路若能分成几个单元电路，最好接线时也分成几个单元电路。

⑤ 电路布线应当合理、美观、便于检查与维修。

⑥ 需要穿管布线时，注意不要拉断导线，另外，在套管内所布的导线数要多于实际用的导线数，也就是要留有备用线，以便套管内有断线时，能替代断线。

⑦ 电路接线完毕后，要进行电路空载（不带负载）试验，以便检查辅助电路接线是否正确。

⑧ 电路不带负载试验，若辅助电路控制元件动作正常，应接上负载进行调试，电路能正常运行后，才能交给操作者进行使用。

## 第4章 常用电工测量仪表及其接线线路

常用电工测量仪表种类很多，其中最常用的是电压表、电流表、单相电度表、三相电度表、兆欧表、万用表等。本章主要介绍以上各种电工测量仪表的使用和接线方法。

### 4.1 电压表和电流表的使用方法和接线方法

电压表和电流表是最常用的测量仪表。电压表和电流表分为交流电压表和电流表、直流电压表和电流表。交流电压表和电流表是用来测试交流电压和电流的仪表。直流电压表和电流表只能用于测直流电压和电流。两种类型的电压表和电流表绝对不能互换使用。

#### 4.1.1 直流电流表的使用方法和接线方法

直流电流表是用于测量直流线路电流的仪表。直流电流表有直接接入和间接接入两种接线方式，如图4-1所示。

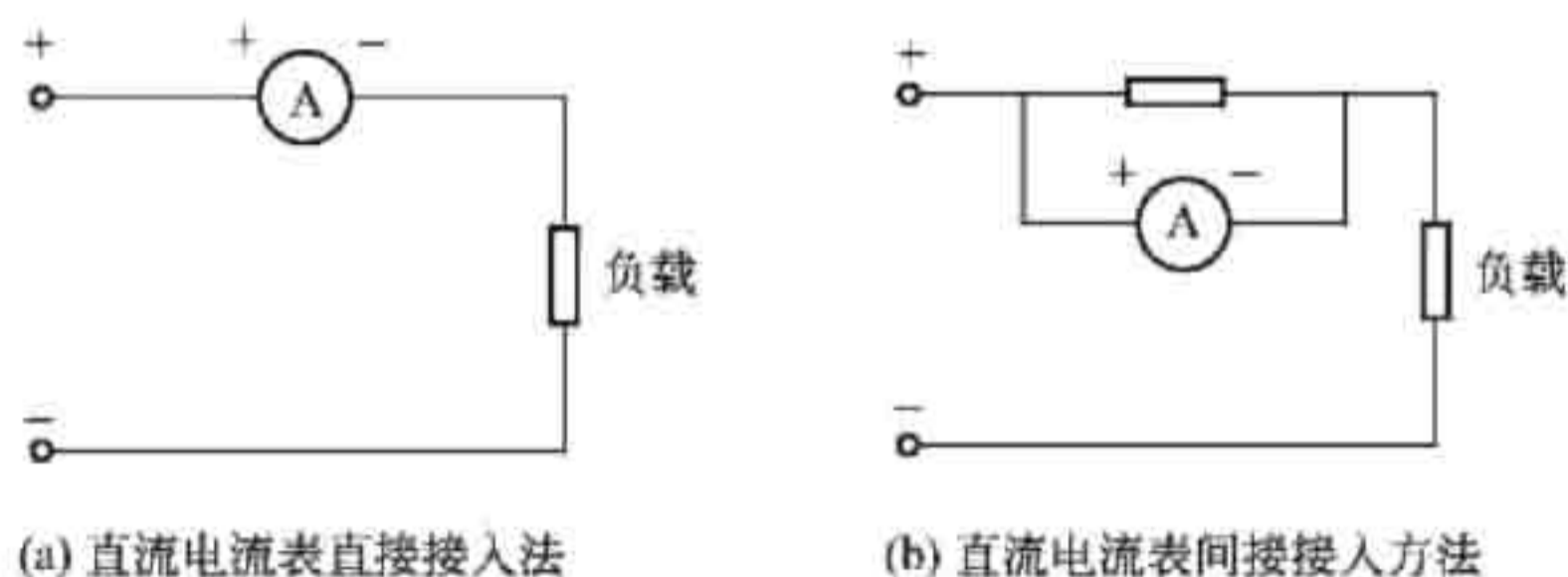


图 4-1 直流电流表接线图

#### 4.1.2 交流电流表的使用方法及接线方法

交流电流表可直接串入电路测线路电流，也可以通过电流互感器测线路电流。通过电流互感器间接测线路电流，是用量程小的电流表测线路大电流的方法。电流互感器原边绕组匝数很少，导线截面大；副边绕组很多，导线截面小。电流互感器原边绕组串于被测线路，而副边接电流表。交流电流表接线方法如图4-2所示。

用交流电流表测量三相交流电源三根相线电流是最常见，最有用的。对于输变

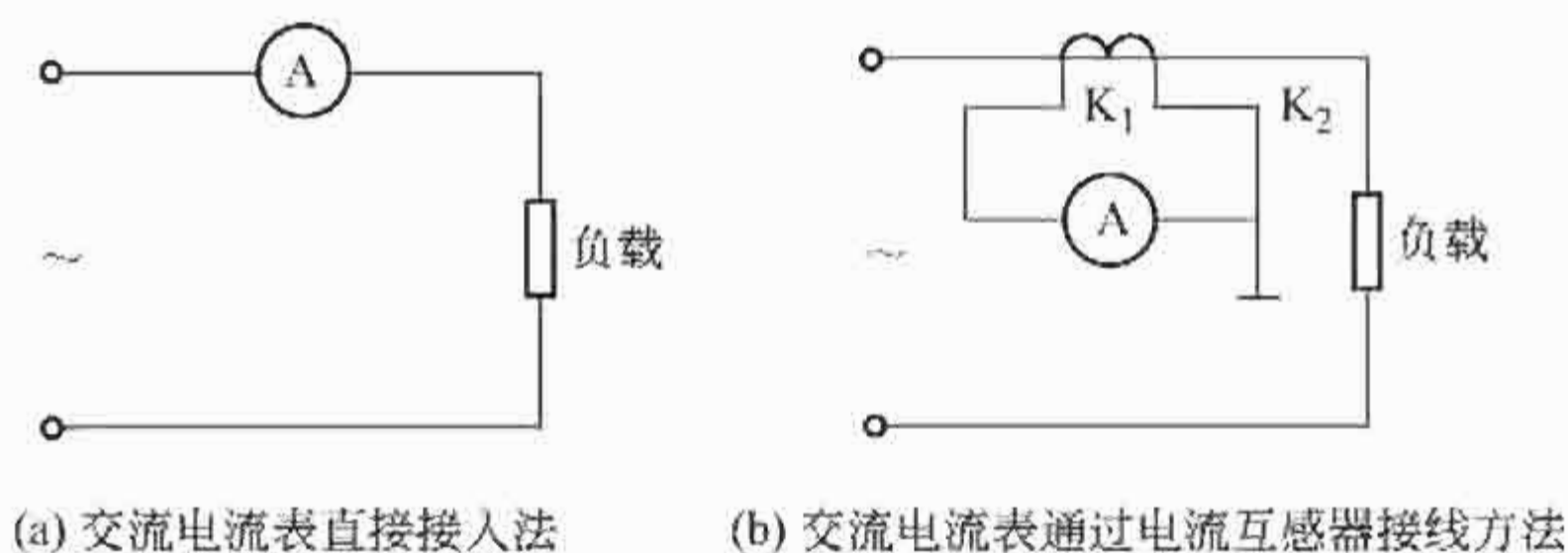


图 4-2 交流电流表接线图

电来说, 及时掌握三相电网运行是否平衡, 是首要任务之一。三相电网运行是否平衡是根据三相电压和三相电流来确定的。

测量三相电源电流的方法有三种。

- ① 用三个电流互感器接三块电流表测三相电流。
- ② 用两个电流互感器接三块电流表测三相电流。
- ③ 用两个或三个电流互感器和一个电流换向器接一块电流表测量三相电流。

测量三相电流的具体接线图如图 4-3 至图 4-6 所示。

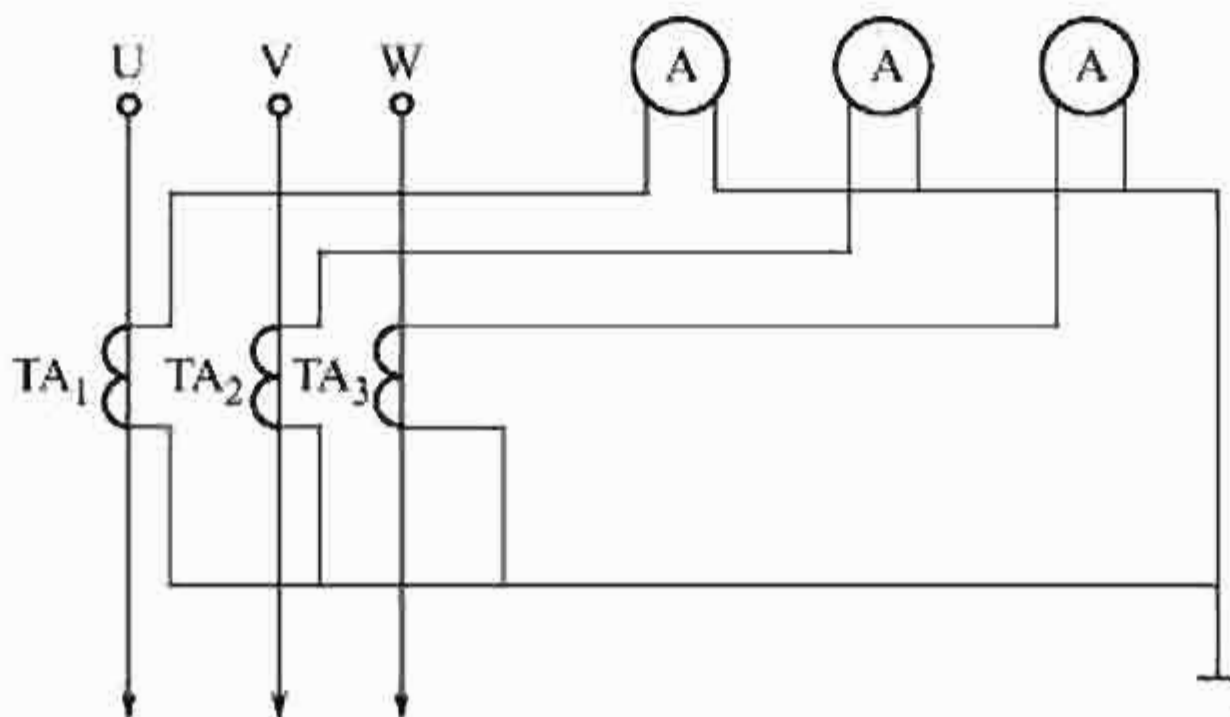


图 4-3 用三个电流互感器和三块电流表测量三相电流接线图

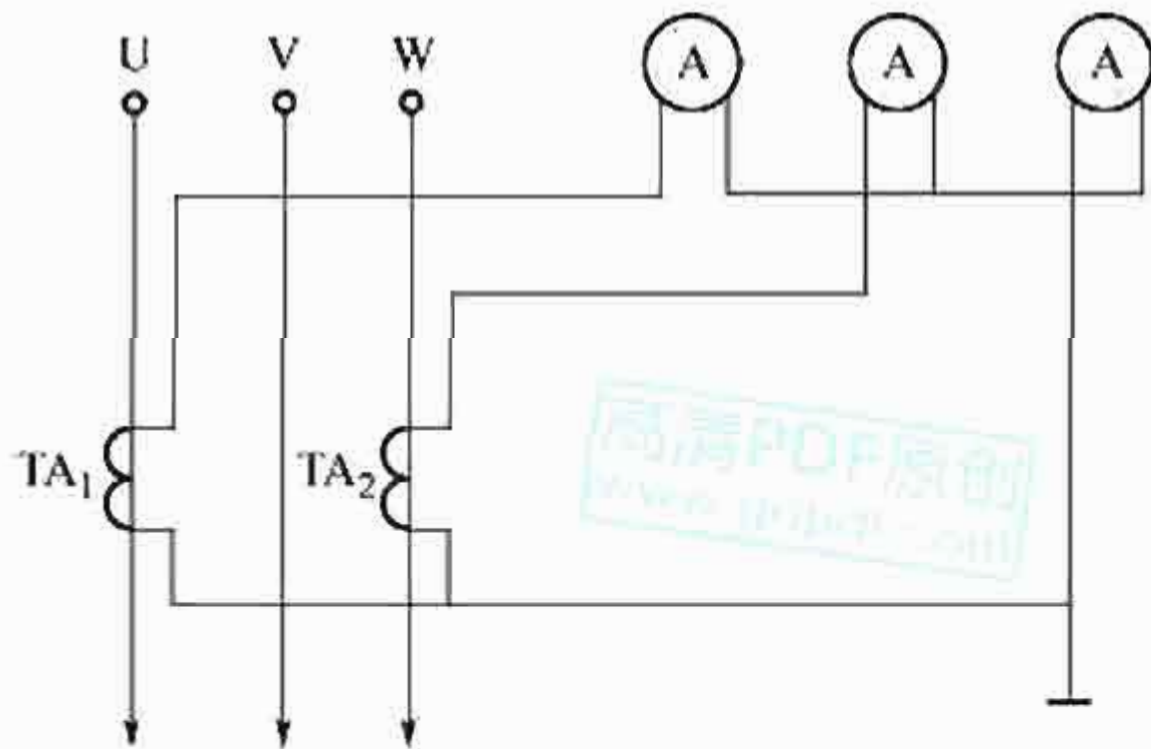


图 4-4 用两个电流互感器和三块电流表测量三相电流接线图

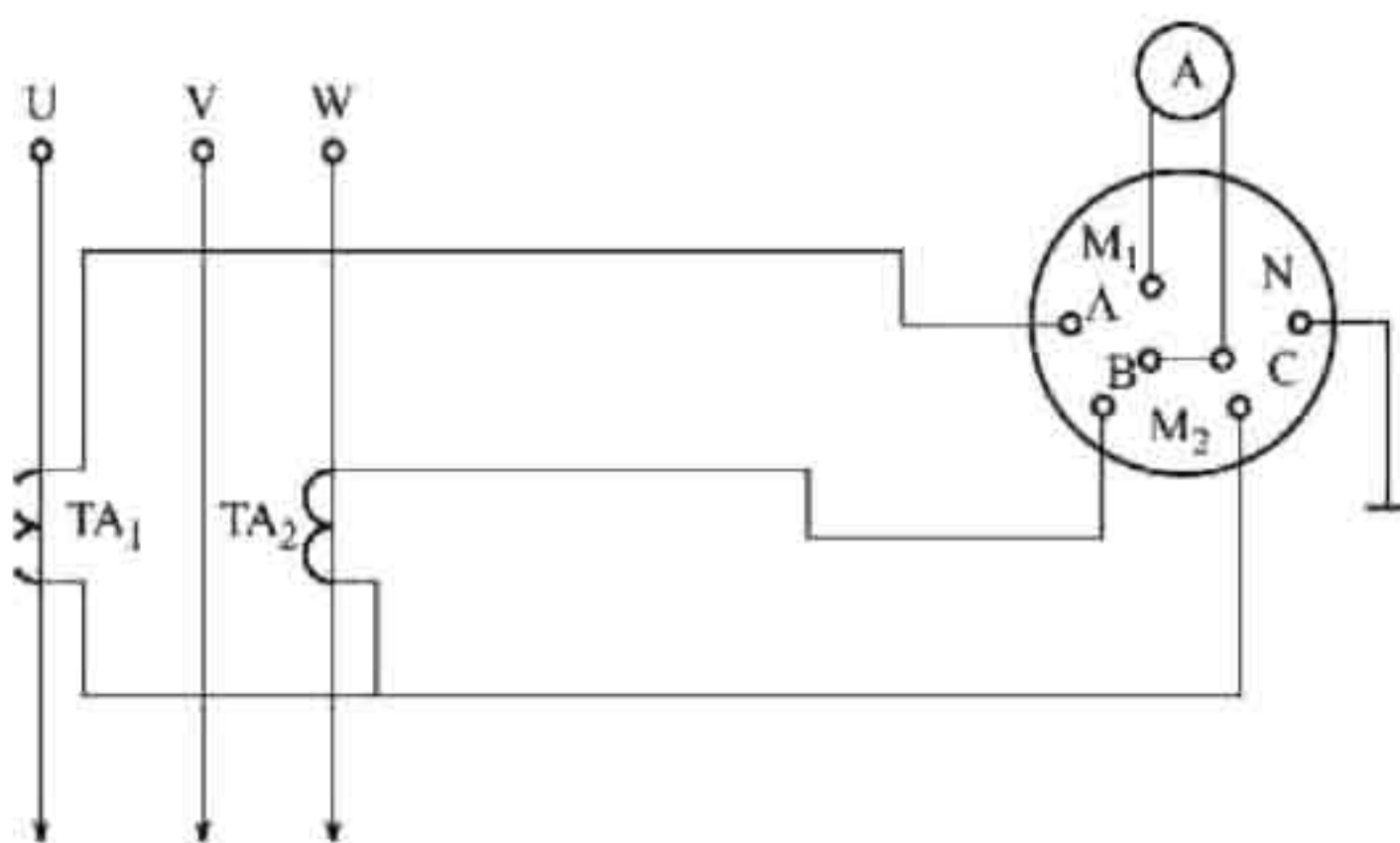


图 4-5 用两个电流互感器和一个电流换向器接一块电流表测量三相电流接线图

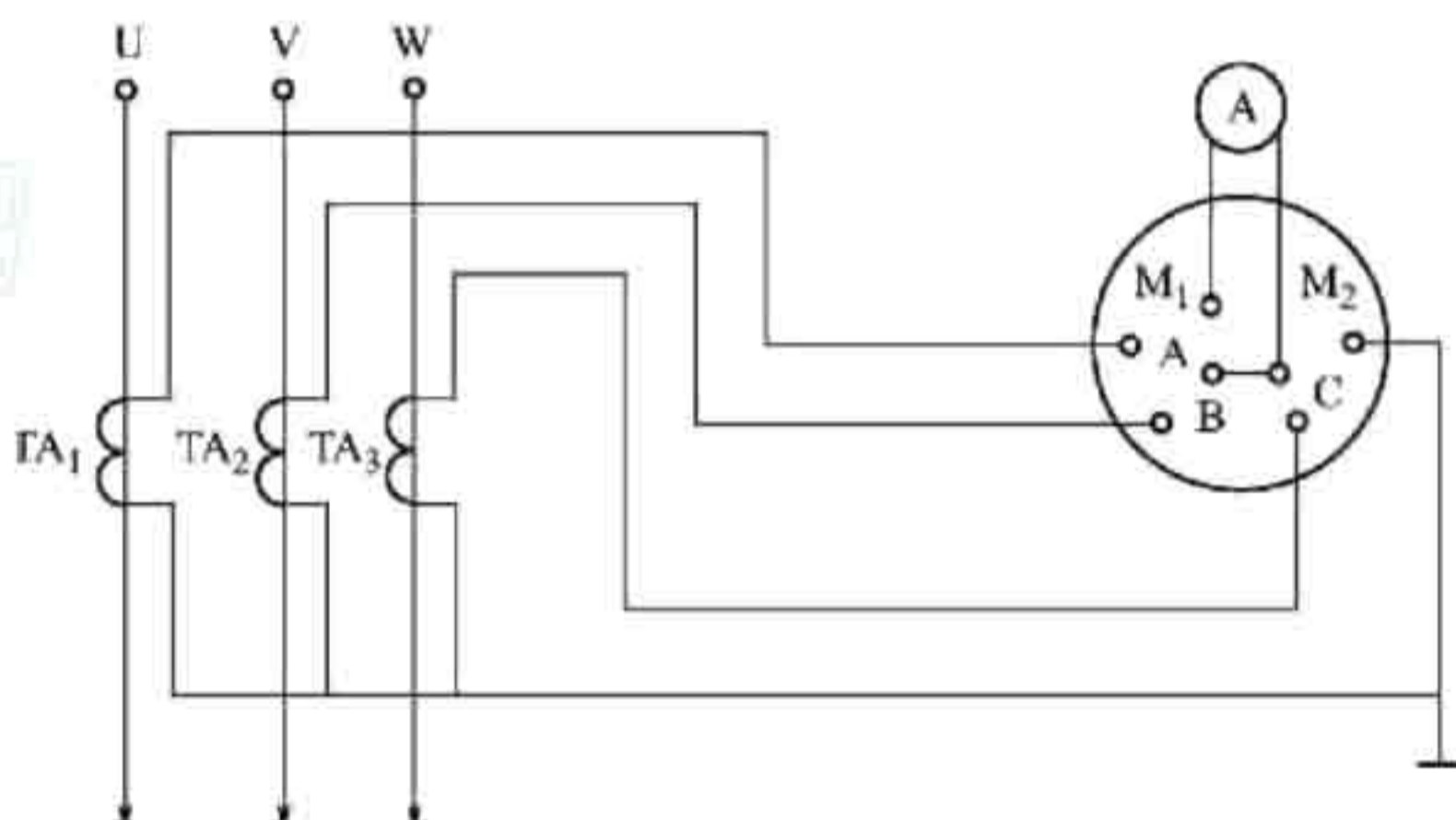


图 4-6 用三个电流互感器和一个电流换向器接一块电流表测量三相电流接线图

### 4.1.3 直流电压表接线方法

测量直流电压时，直流电压表有两种接线方法，如图 4-7 所示。

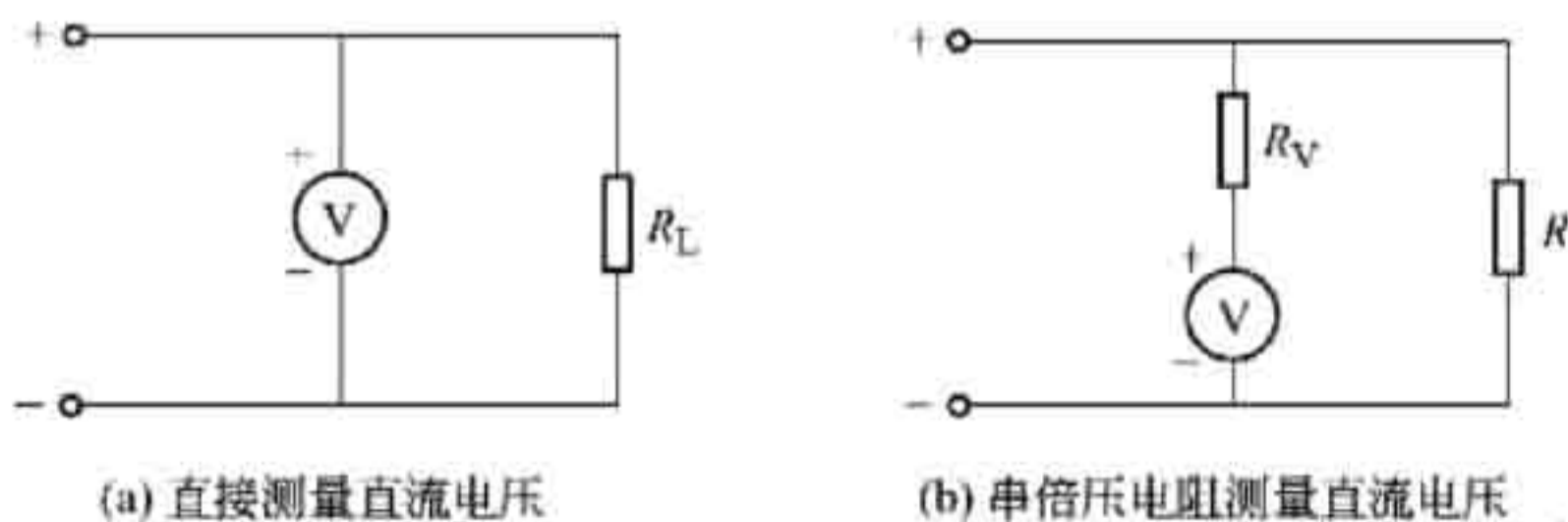


图 4-7 直流电压表接线示意图

### 4.1.4 交流电压表接线方法

用交流电压表测交流电压时，电压表也有直接接入和通过电压互感器间接接入两种接线方式。

在采用直接接入法测交流电压时，电压表的量程必须大于被测线路电压值，例如测量 380V 线路电压时，可以选择量程为 450V 或 500V 的交流电压表。

如果需要测的线路电压很高，而交流电压表的量程有限，可通过电压互感器使被测电压降低，再用交流电压表测量降低后的电压，这种测量方法称为间接测量方法。电压互感器的工作原理和单相变压器的工作原理相同。电压互感器原边绕组匝数很多，副边绕组匝数很少。交流电压表接于电压互感器的副边。电压互感器不允许副边短路，副边短路会使电压互感器烧毁。

用交流电压表测量单相交流电压和三相交流电压的实际接线方法如图 4-8 至图 4-10 所示。

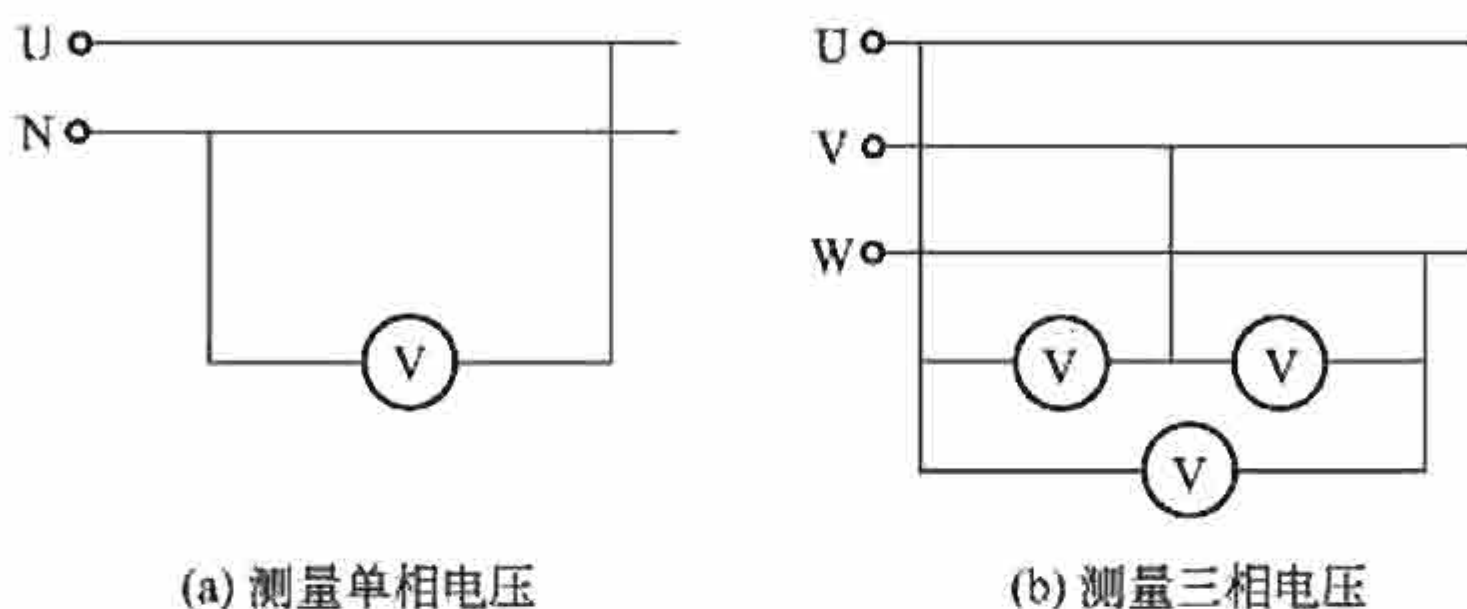


图 4-8 直接接入法测量交流电压时电压表接线图

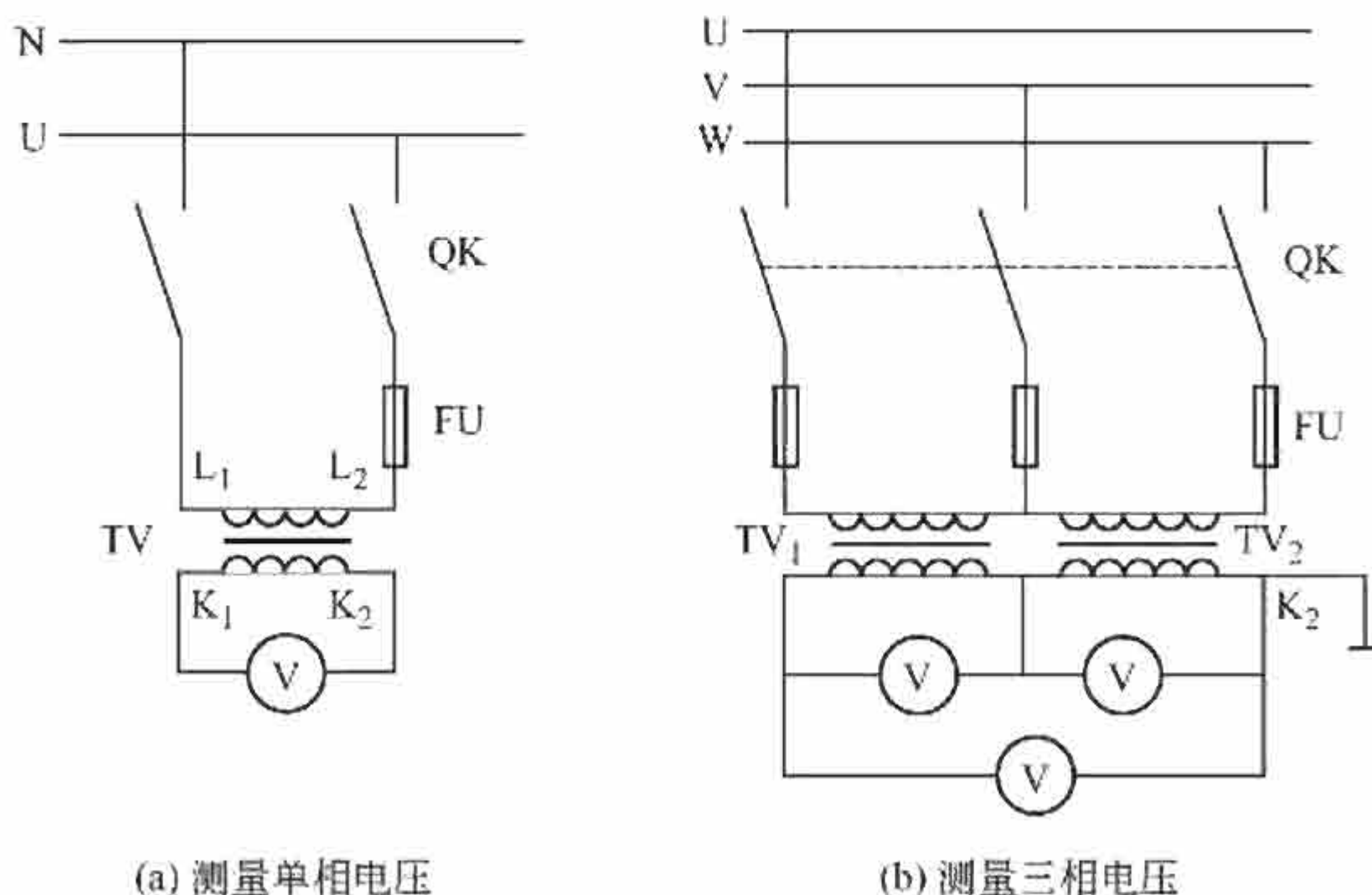


图 4-9 用电压互感器和交流电压表测量交流电压的接线图

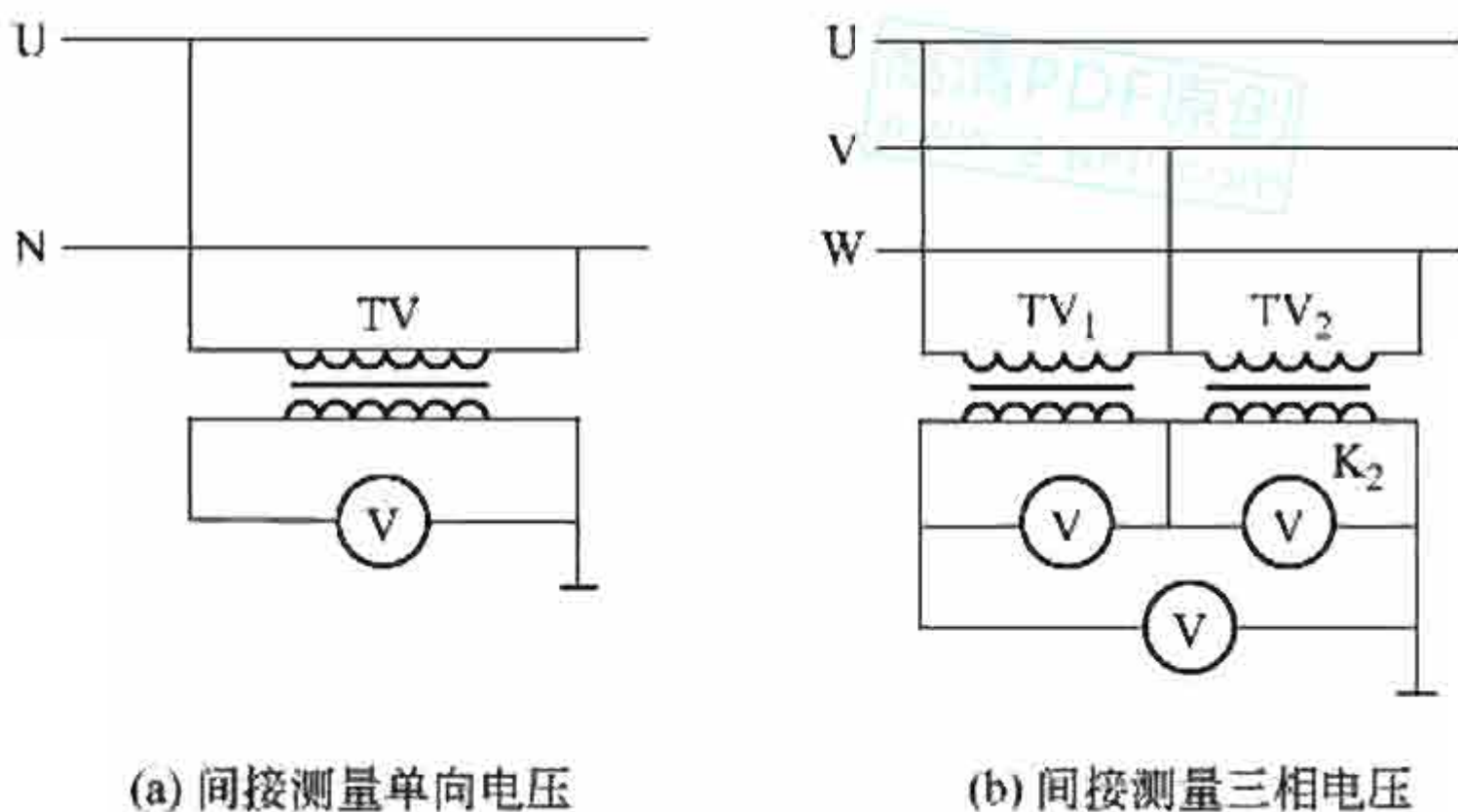
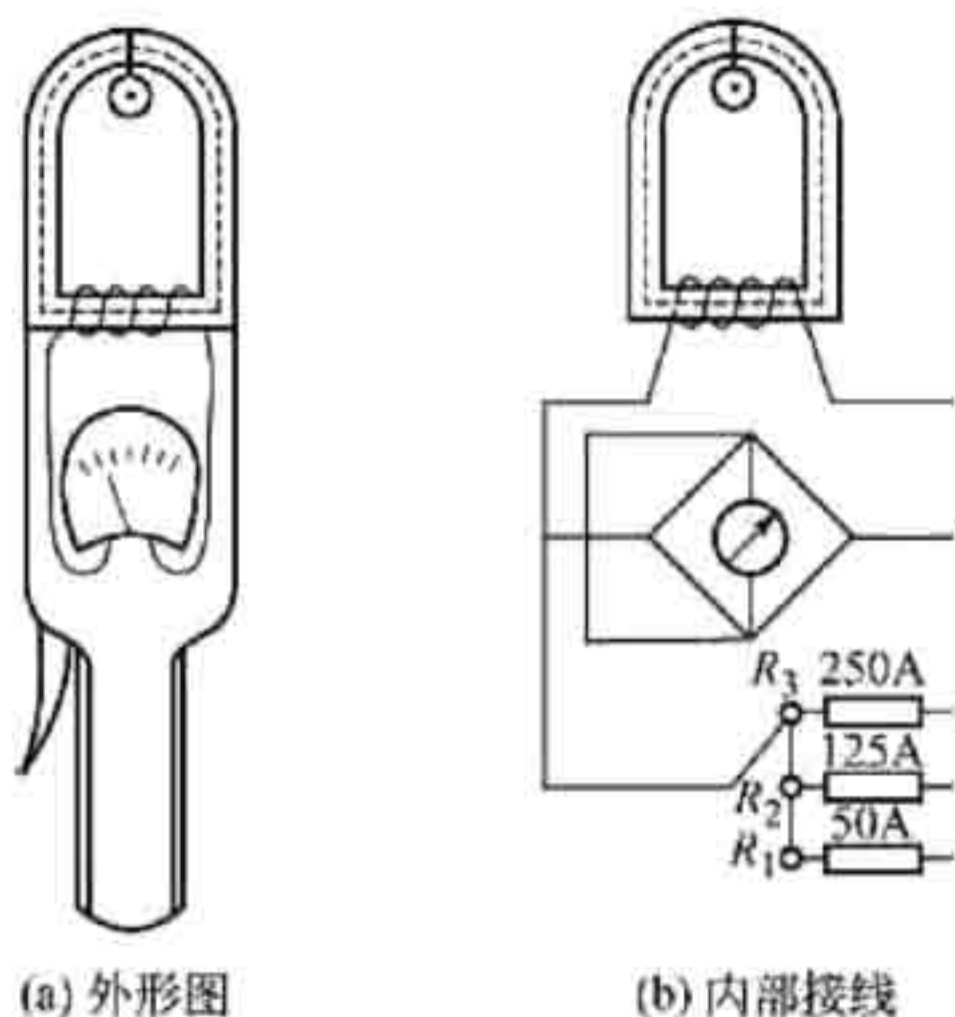


图 4-10 交直流两用电压表接线图



#### 4.1.5 电流钳使用方法

电流钳（钳形电流表）是测量交流电流最常用的仪表。交流电流钳是一种互感整流式仪表。它实际上相当于一个电流互感器和一个桥式整流电路与检测仪表连接。被测量的负载导线是电流互感器的原边绕组（ $N_1=1$ 匝），套在钳形电流表铁芯上的线圈为电流互感器的副边绕组（ $N_2$ ）。副边电流经过分流、整流后接检测仪表。仪表的刻度盘按被测电流量程标值。

图 4-11 MG31-2 型交流钳形电流表

图 4-11 为 MG31-2 型交流钳形电流表的外形图

和内部接线示意图。钳形电流表设置有电流量程选择旋钮，在测量电流前应选好电流量程。在具体检测电流时，要注意仪表指示的数值与量程之间的关系。

如果对被测电流值无法估计，钳形电流表应先选择最大量程进行检查，然后逐次选择到合适的量程，以避免表针打弯。

## 4.2 电度表的接线方法

为了做到计划用电、节约用电，必须用电度表测量用电量。电度表分为有功电度表（又称有功功率表）和无功电度表（又称无功功率表或 Q 表）。电度表是测量有用功和无用功的电工仪表。有功电度表分为单相和三相两种类型，而无功电度表只有三相的。下面分别介绍有功电度表和无功电度表的接线方法。

### 4.2.1 单相有功电度表的接线方法

单相有功电度表（简称单相电度表）应用最广泛。它分为直接接入和经过电流互感器间接接入两种接线方式。

常用的单相电度表有 DD9 型、DD10 型、DD17 型、DD19 型、DD28 型等。

单相电度表共有五个接线端子，其中有两个端子在表的内部用连片短接，所以单相电度表外接端子就只有四个，即 1、2、3、4 号端子。由于电度表的型号不同，所以外部接线有两种方法（每块表在铅封盖内部都有四个接线端子）。

图 4-12、图 4-13 和图 4-14 分别示出了单相电度表的接线方法。

#### 4.2.1.1 单相电度表直接接线线路

单相电度表直接接线图如图 4-12 所示。因为是直接接入，所以表内的短接连片不可拆下来，否则电压线圈中无电压，电度表就不会运转。再有，电流线圈绝对不能并联于电源上，否则电流线圈会被烧毁。

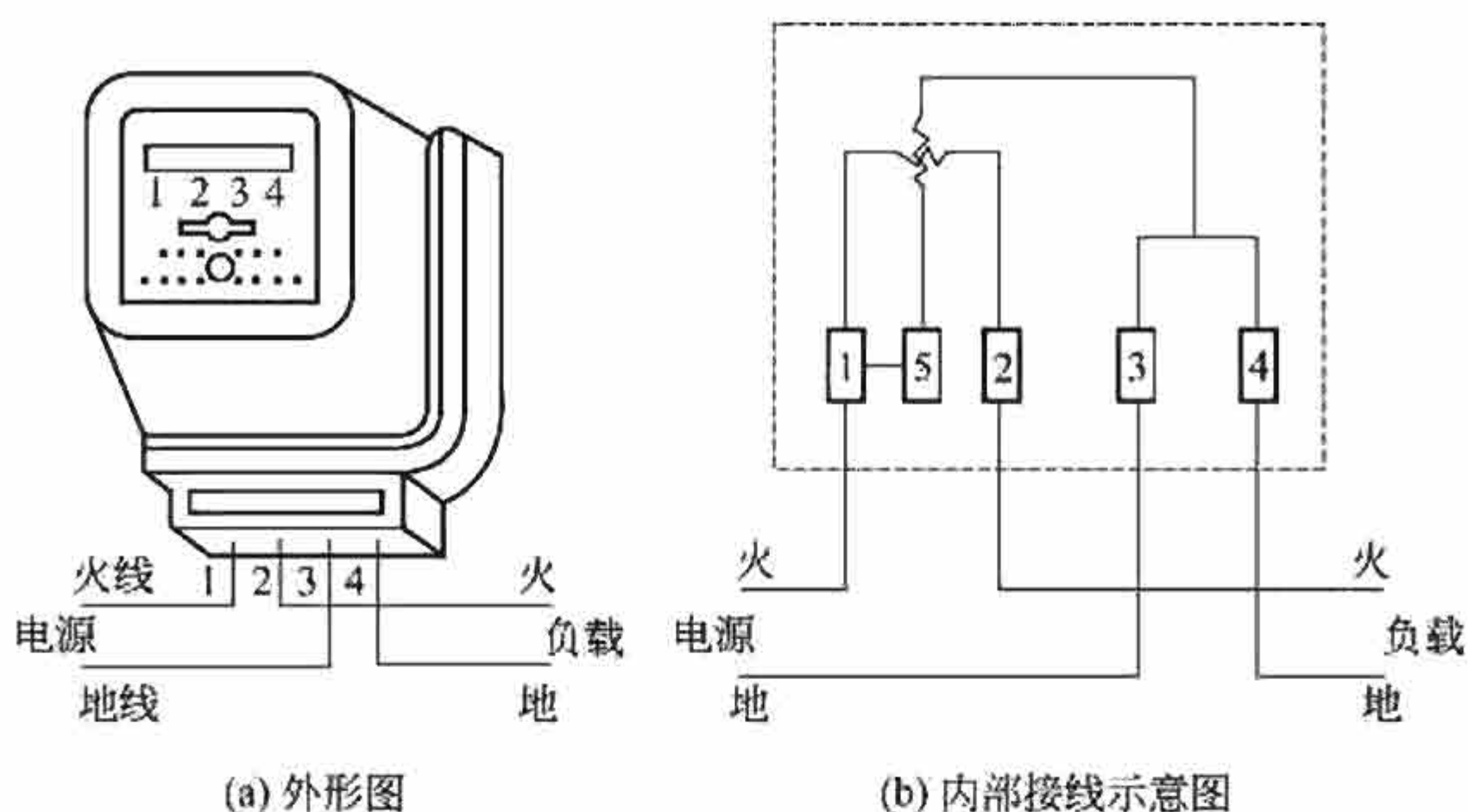


图 4-12 单相电度表直接接线图

单相电度表直接接入法适用于测量电流不大的单相电路的用电量。

#### 4.2.1.2 单相电度表经电流互感器接线线路

在用单相电度表测大电流单相电路的用电量时，应该通过电流互感器接电度表的电流线圈，其具体接线方法如图 4-13 和图 4-14 所示。

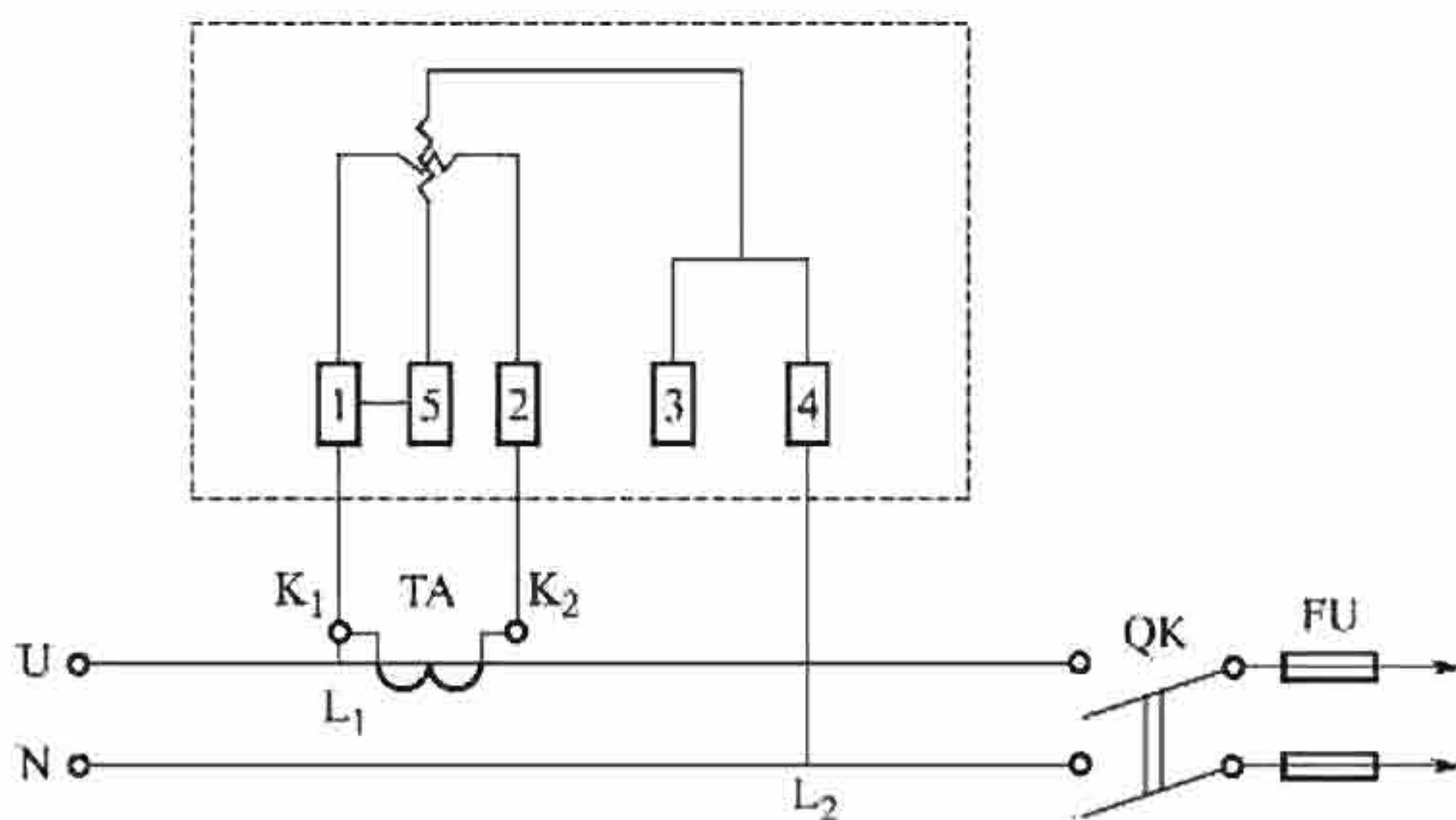


图 4-13 单相电度表经电流互感器接线线路之一

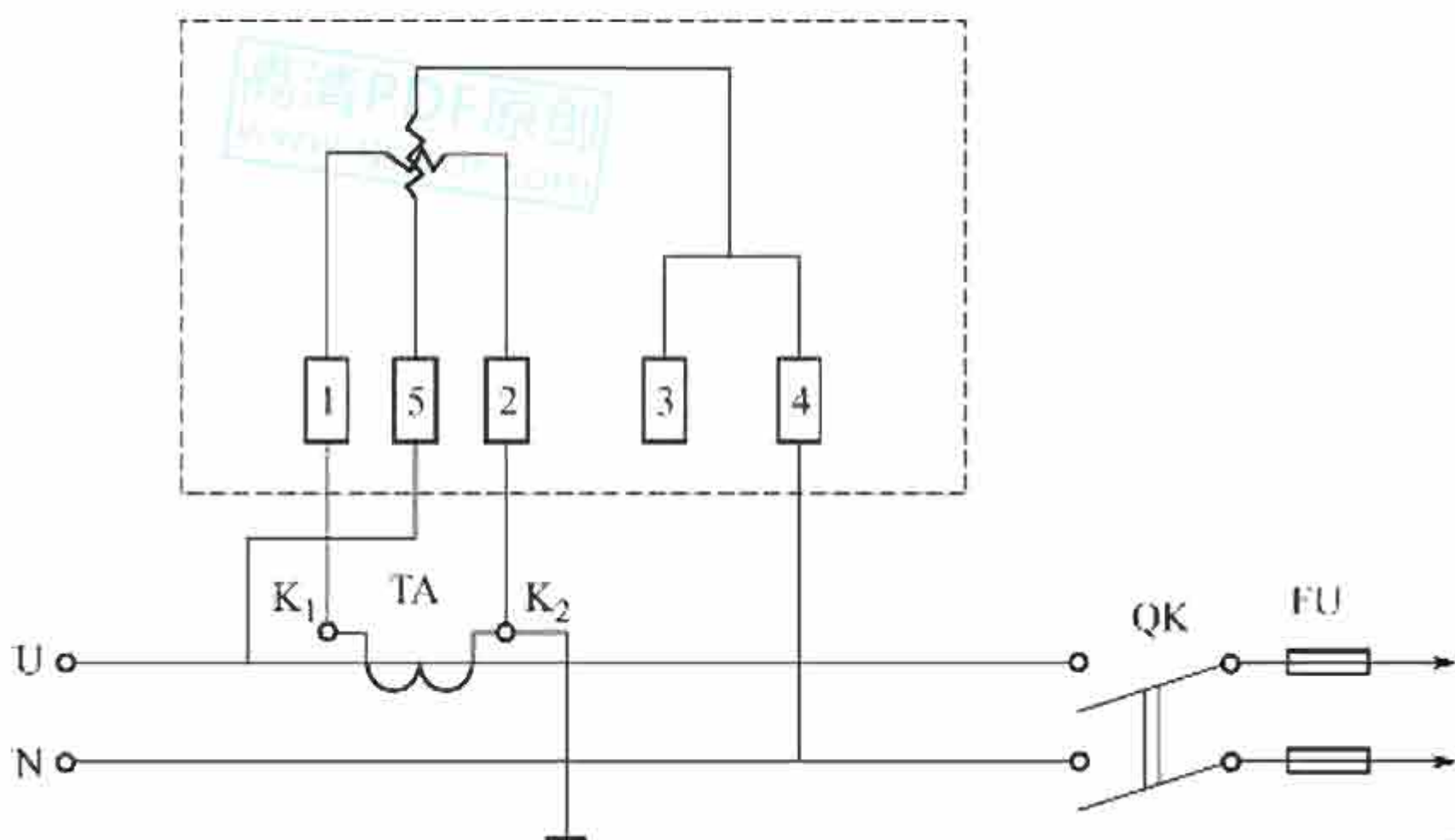


图 4-14 单相电度表经电流互感器接线线路之二

图 4-13 示出的是单相电度表内 5 和 1 端短接连片没有断开时的接线方法。由于表内短接连片没有断开，所以  $K_2$  禁止接地。同时要注意：电流互感器的  $L_1$ 、 $L_2$  和  $K_1$ 、 $K_2$  分别为原边和副边线圈的首端和尾端，不要接错，以防止电度表反转。

在图 4-14 中，单相电度表由于短接连片已经拆去，所以  $K_2$  应该接地。同时，电压线圈应该接于电源两端。

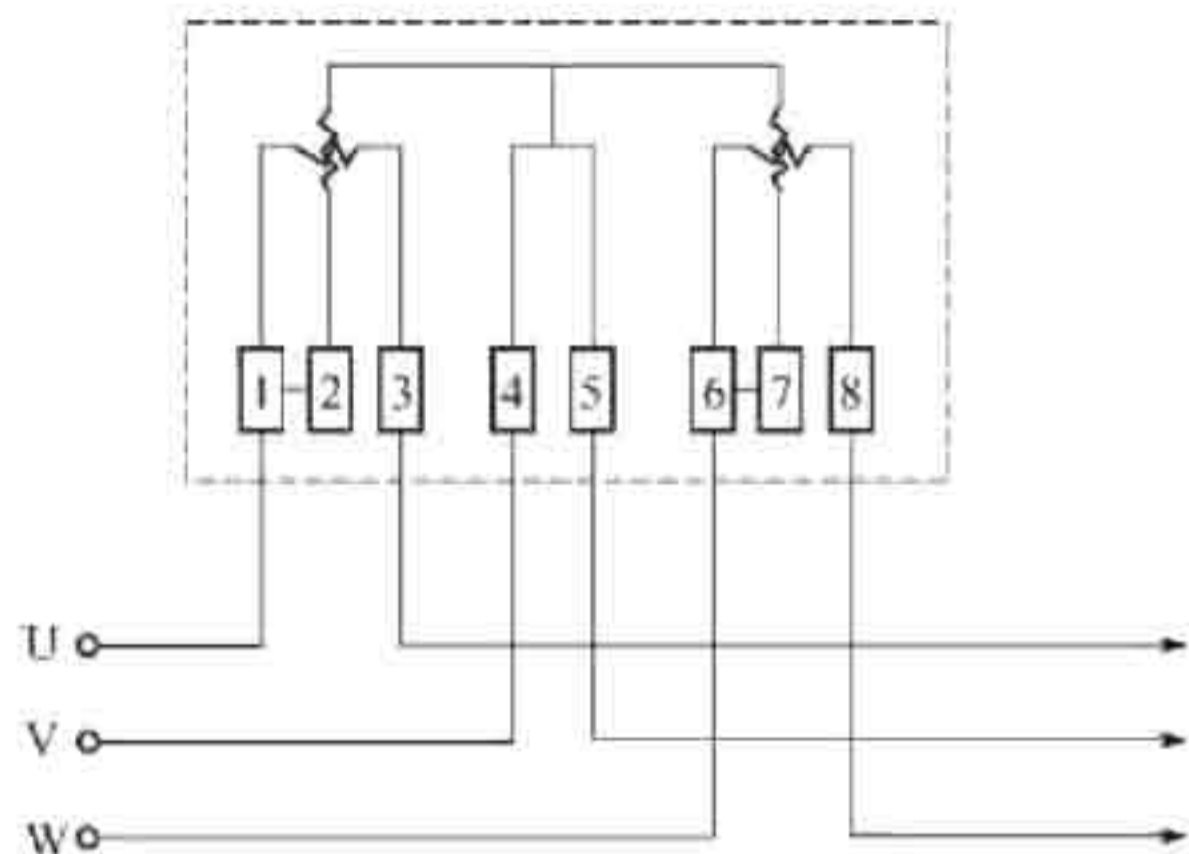


图 4-15 三相三线制三相电度表  
直接接入式接线图

## 4.2.2 三相电度表接线线路

三相电度表接线分为两种类型，共有四种接线方法。三相电度表接线有三相三线制接线和三相四线制接线两类，每类又分为直接接入式和通过电流互感器接入式两种。

### 4.2.2.1 三相三线制电度表直接接入式接线线路

三相电度表直接接入三相三线制电路中的接线方法如图 4-15 所示。在图中，电度表（DS8 型，380V，5A、10A、25A 三相电度表）共有 8 个接线端子，其中 1 和 2 短接，6 和 7 短接，所以此种接线只有 6 个端子需要接线。电度表的 1、4、6 号端子接电源三根火线，而 3、5、8 号端子引出三根线接负载。采用此方法接线时，千万不能使进线与出线接错，再有，1 和 2、6 和 7 之间短接连片不能拆下。

### 4.2.2.2 三相三线制有功电度表经电流互感器接线线路

三相三线制有功电度表（DS8 型，380V，5A、10A、25A 三相电度表）经电流互感器接线的两种不同的接线方法，如图 4-16、图 4-17 所示。

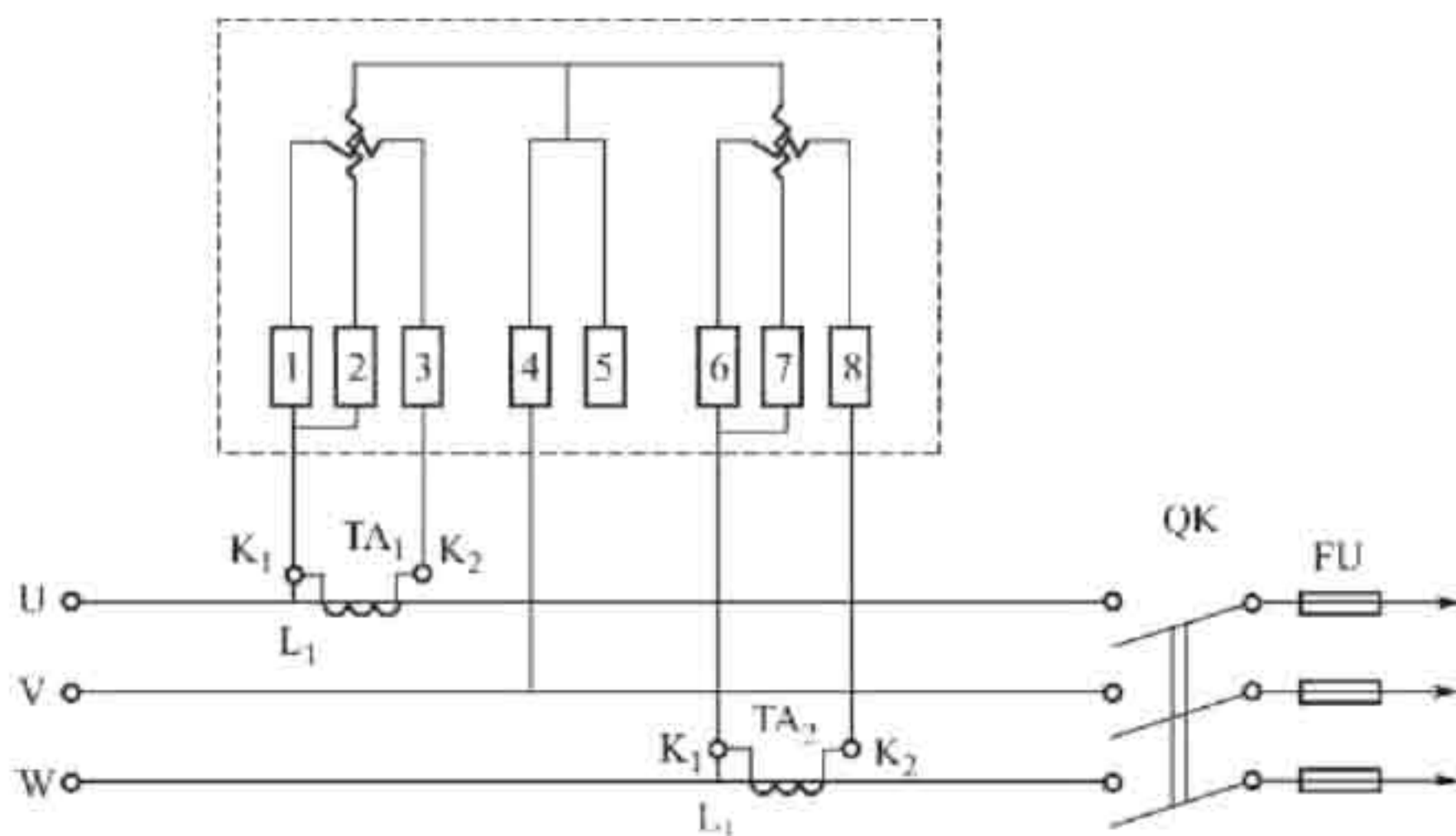


图 4-16 三相三线制电度表经电流互感器接线方法之一



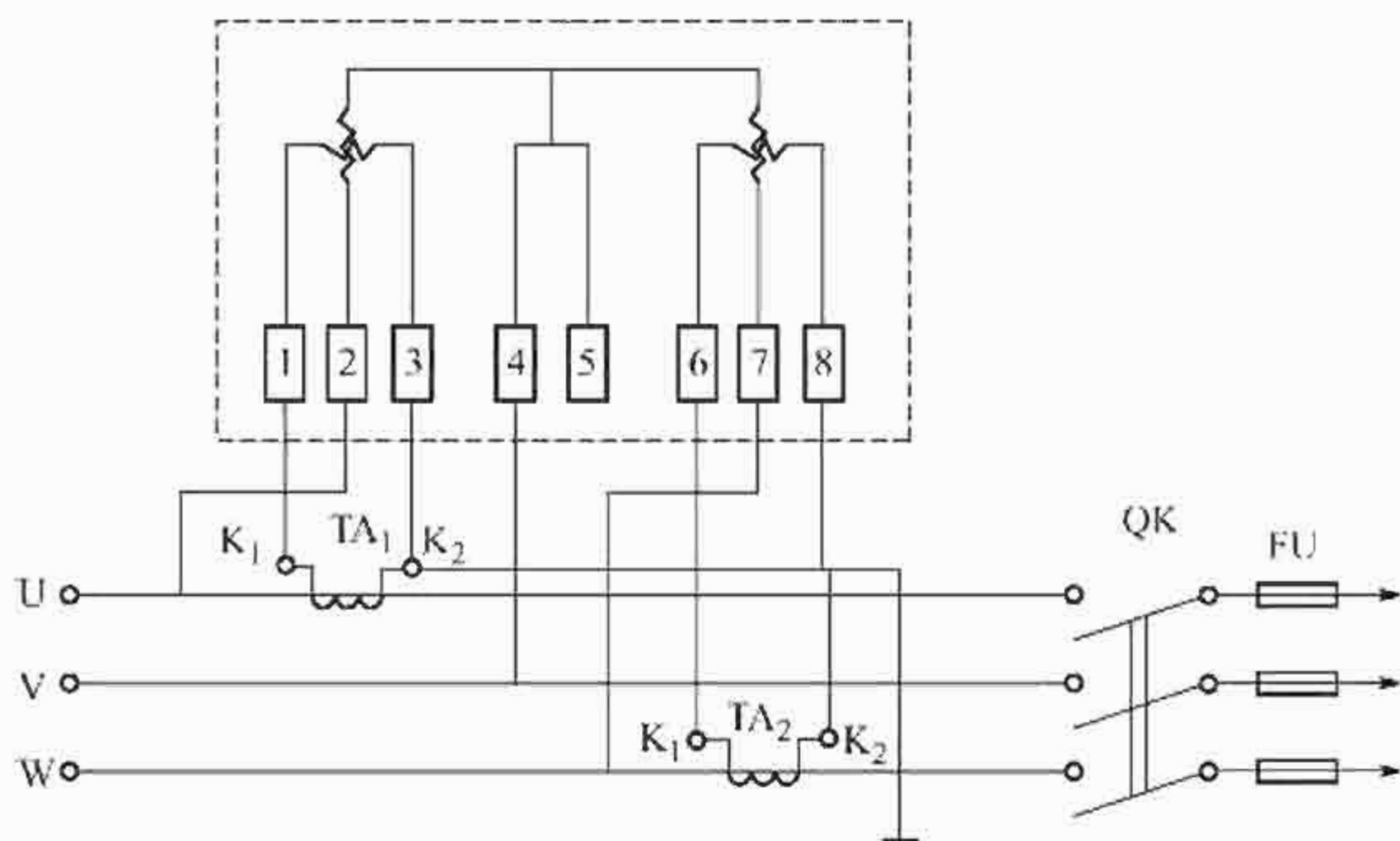


图 4-17 三相三线制电度表经电流互感器接线方法之二

在图 4-16 所示接线图中，电度表 1、2 和 6、7 之间短接连片没有拆下，所以电流互感器副边线圈的  $K_2$  端禁止接地，否则电度表会烧毁；另外，两只电流互感器的副边不能接反，也不能接错；再有，原边的  $L_1$  与副边的  $K_1$  要可靠连接。

图 4-17 中，电度表的 1、2 之间短接连片拆下，6、7 之间短接连片也拆下了。这样电度表的 2 和 7 必须分别接在电源的两根不同的火线上，而 4 号端子接另外的一根火线上。同时要注意电流互感器副边的  $K_2$  必须可靠接地。电流互感器的副边不能接反，也不能接错线。

图 4-17 中，电度表的 8 个接线端子有 7 个要接线，只有 5 号端子（或 4 号）不接线。

#### 4.2.2.3 三相四线制有功电度表直接接线线路

三相四线制所用的三相电度表共有 11 个接线端子。在接线时，只有 11 号（或 10 号）端子不接线。1 与 2、4 与 5 以及 7 与 8 之间有短接连片。1、4、7 接电源线，3、6、9 接负载。10 号端子接零线（中性线）。具体连线如图 4-18 所示。

#### 4.2.2.4 三相四线制有功电度表经三个电流互感器接线线路

在计量大电流的三相四线制电路的电量时，可用 DS8 型有功电度表。这种电度表共计有 11 个接线端子。这种表出厂时已经将 1 和 2 号端子、4 和 5 号端子、7 与 8 号端子短接。在经三个电流互感器接于电路时要注意以下四个问题。

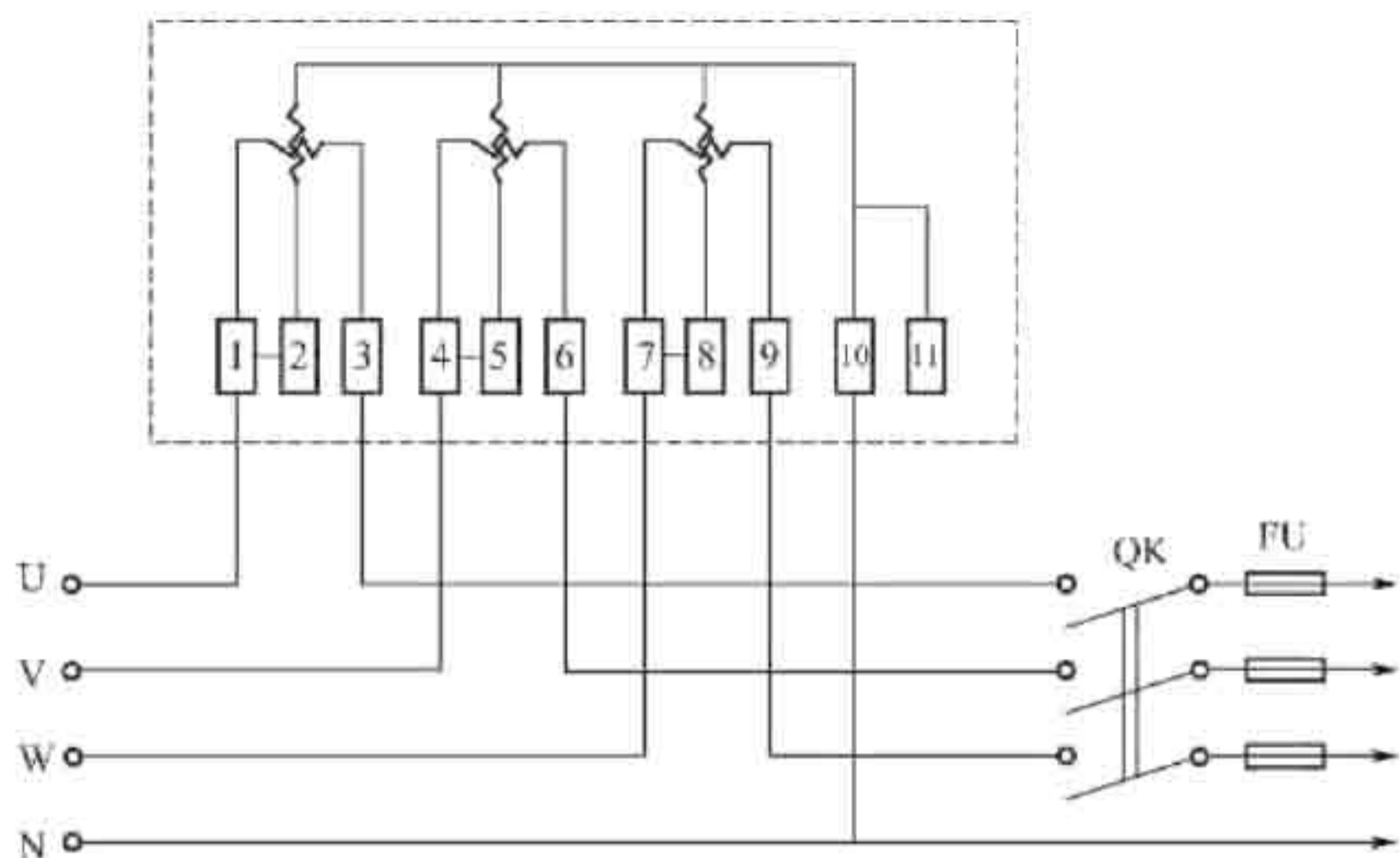
① 由于电度表的三个短接连片没有拆下，所以电流互感器的副边  $K_2$  端禁止接地，以免烧毁电度表。

② 各电流互感器的副边不能接反，同时三只电流互感器的副边相互不能接错。

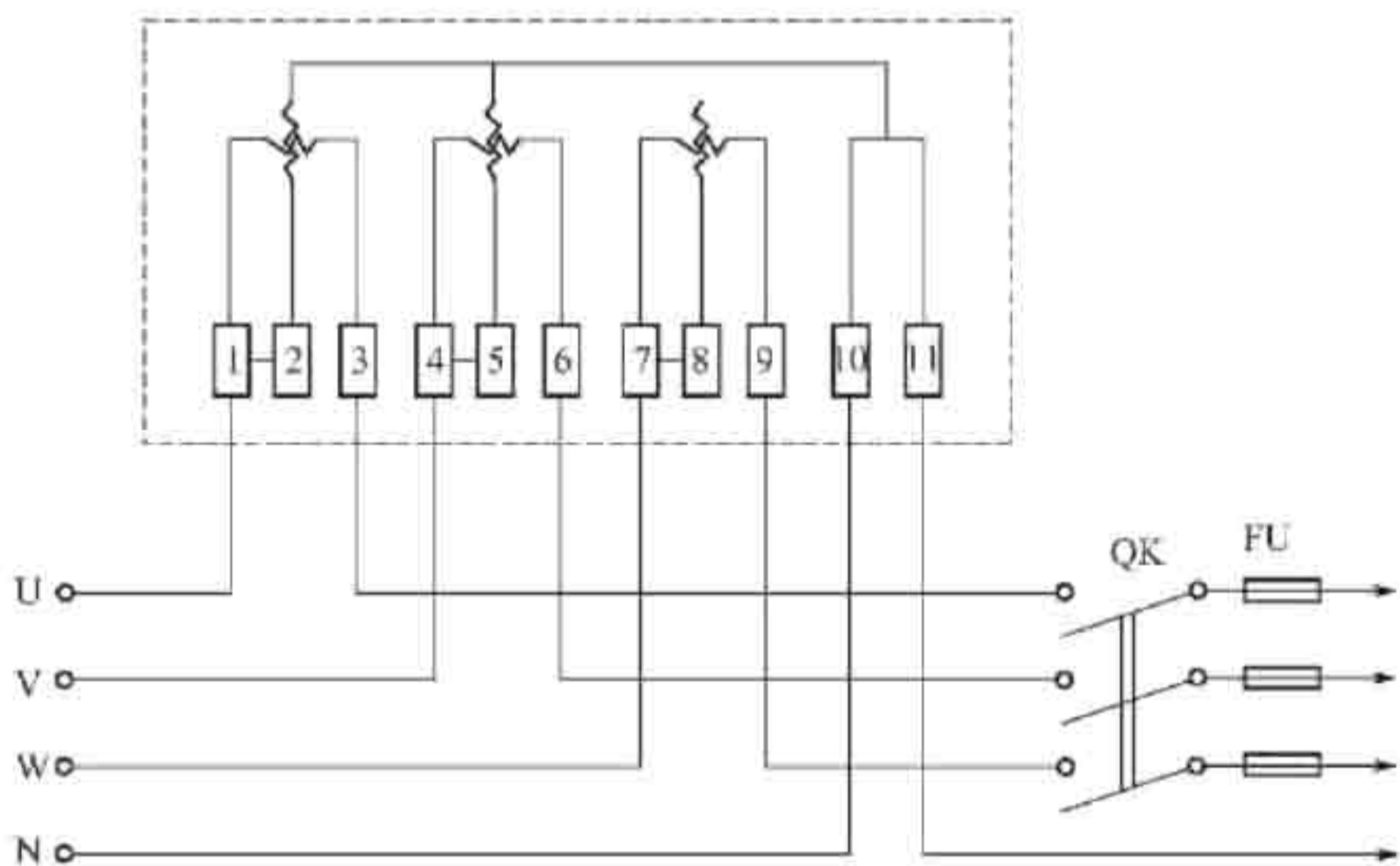
③ 三只电流互感器副边的  $K_1$  与原边的  $L_1$  都要牢固地与电源三根火线相接。

④ 电度表的 10 号（或者 11 号）端子必须良好接零线。

三相四线制有功电度表经过三个电流互感器接线线路图如图 4-19 所示。将 DS8 型有功电度表的三个短接连片拆下，再经过三个电流互感器接线线路图如图



(a) DT8型40~80A直接接入式三相电度表接线之一



(b) DT8型50~10A、25A直接接入式三相电度表接线之二

图 4-18 三相四线制有功电度表直接接入式线路图

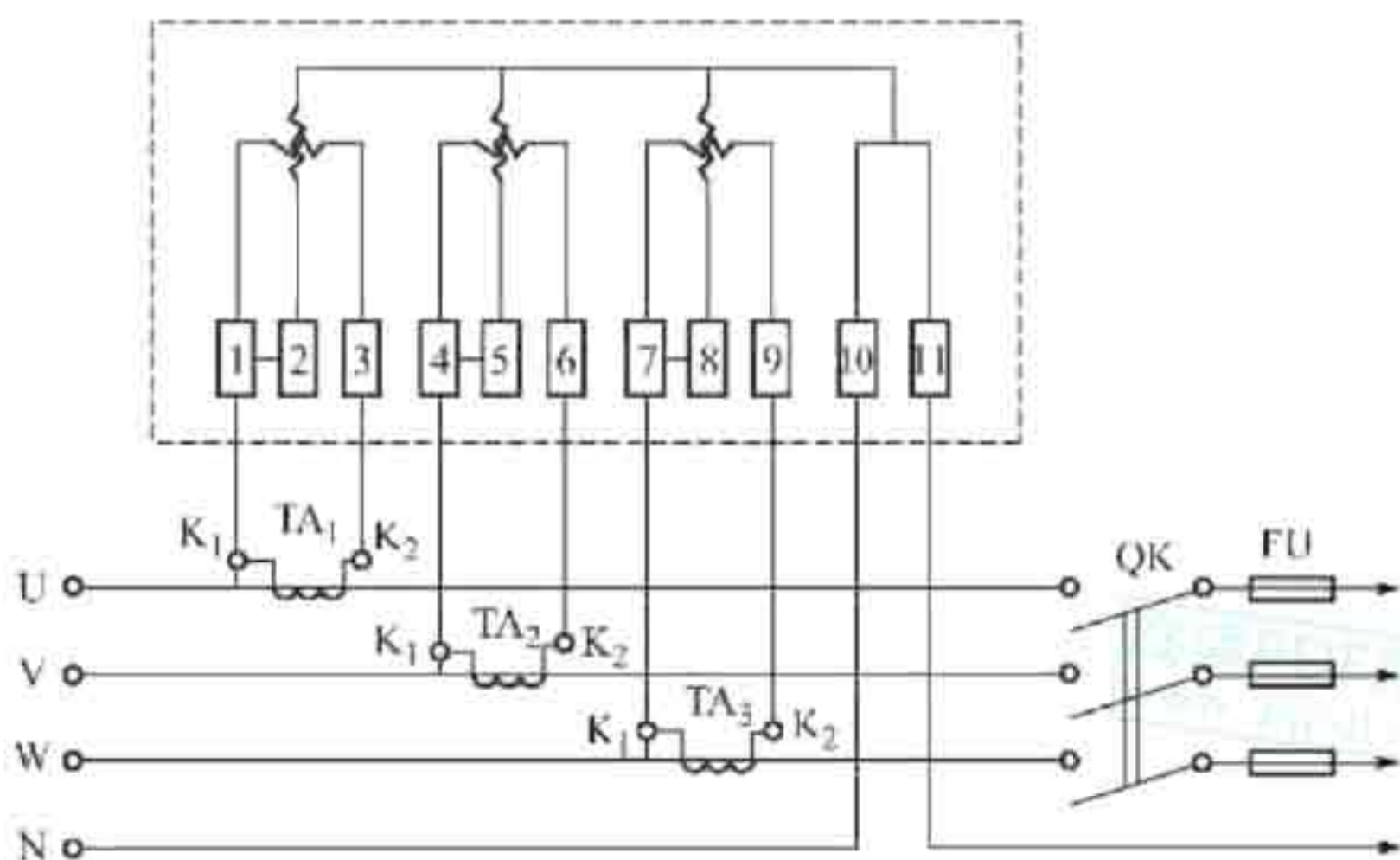


图 4-19 三相四线制有功电度表经过三个电流互感器接线线路图之一

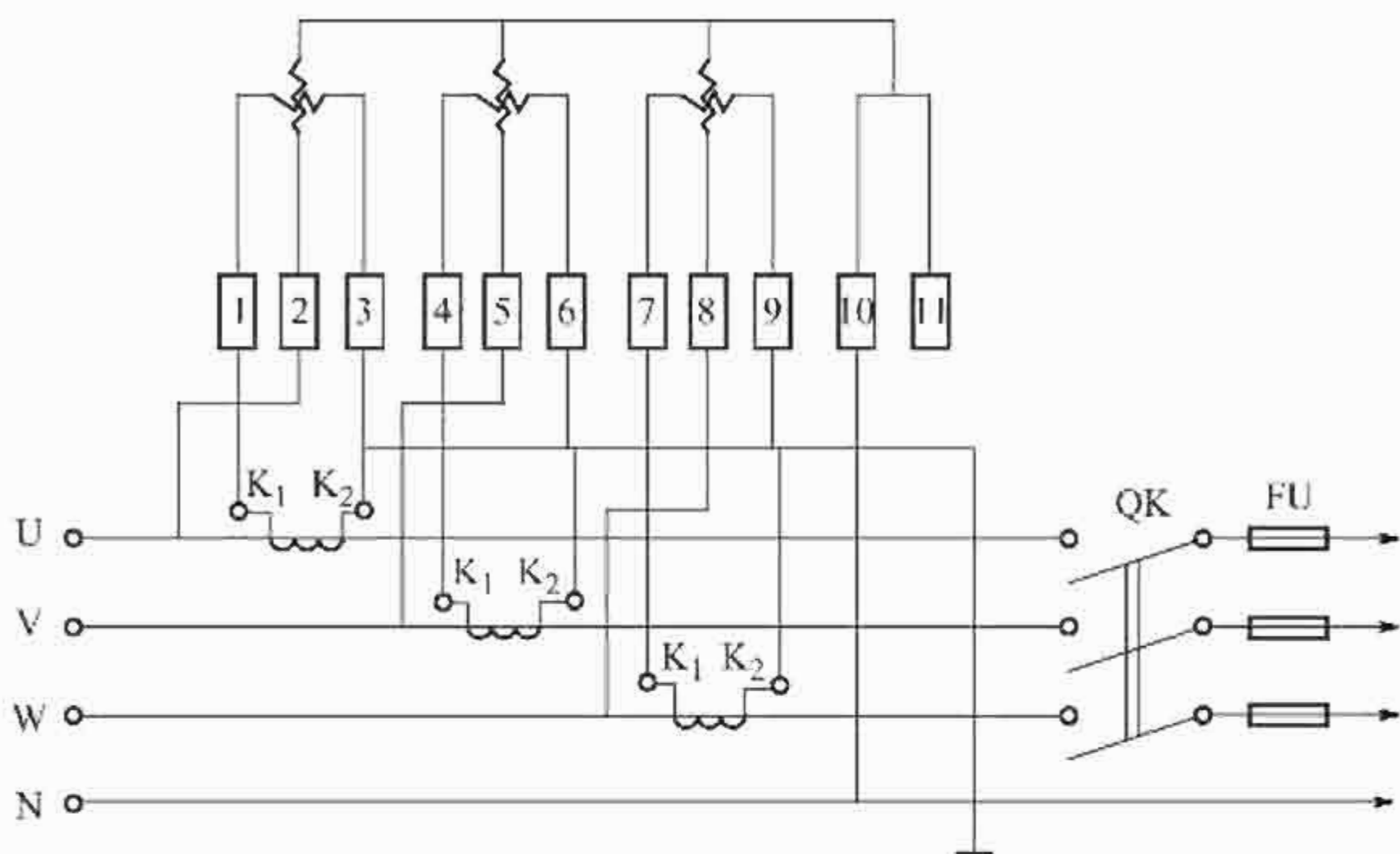


图 4-20 三相四线制有功电度表经过三个电流互感器接线线路图之二

4-20 所示。图 4-20 中，由于电度表的三个短接连片已经拆掉，所以三个电流互感器副边的  $K_2$  端必须接地。

由图 4-20 可知，电度表的 2、5、8 号端子是三个电压线圈的一端，它们必须分别接在电源的三根火线上；而三个电压线圈另外一端在表内已经短接，同时由 10 号（或 11 号）端子接到零线上。电度表的 1 和 3、4 和 6、7 和 9 号端子应该分别对应与三个电流互感器副边的  $K_1$ 、 $K_2$  相连接。此种连接方法，电度表的 11 个端子有 10 个端子都对外连线。

#### 4.2.2.5 三相四线制有功电度表经两个电流互感器接线线路

在实际电路安装配线过程中，若只有两个电流互感器和一块电度表（三相电度表），就应该按照图 4-21 所示线路图接线（电度表为 DT8 型 5A 三相电度表）。

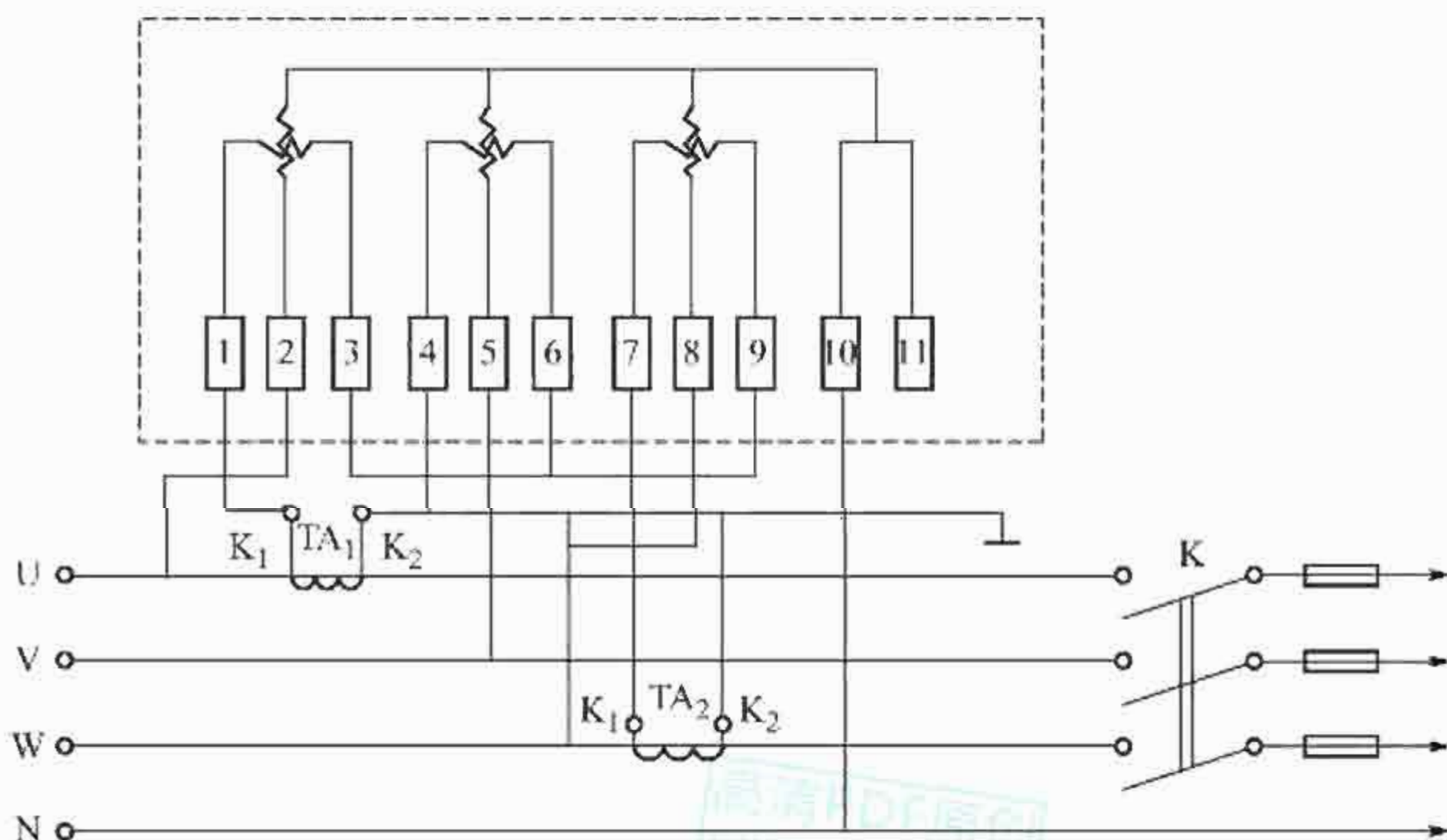


图 4-21 三相四线制有功电度表经两个电流互感器接线线路图

由图 4-21 可见，三相四线制有功电度表中的端子短接连片已经拆除，所以两个电流互感器的副边的  $K_2$  端必须接地。电度表的 3、6、9 相互短接；2、5、8 号端子分别接三根火线；1 号端子与第一个电流互感器的副边的  $K_1$  相接；而第一个电流互感器的副边  $K_2$  与第二个电流互感器的副边的  $K_2$  端短接后接到电度表 4 号端子上，同时要可靠接地。电度表的 7 号端子接到第二个电流互感器的副边的  $K_1$  上，电度表的 10 号（或 11 号）端子接电源的零线。

#### 4.2.2.6 用三块单相电度表测三相四线制电路用电量的接线方法

在特殊情况下，如果测量三相四线制电路用电量，可以用三块单相电度表代替一块三相四线制有功电度表。用三块单相电度表测量三相四线制电路用电量的线路如图 4-22 至图 4-24 所示。

图 4-22 是用三块单相电度表直接接入式测量三相四线制电路用电量接线线路图。图中每块表的表内短接连片必须接好，否则就没有显示。电路的有功电量为三块表读数之和。

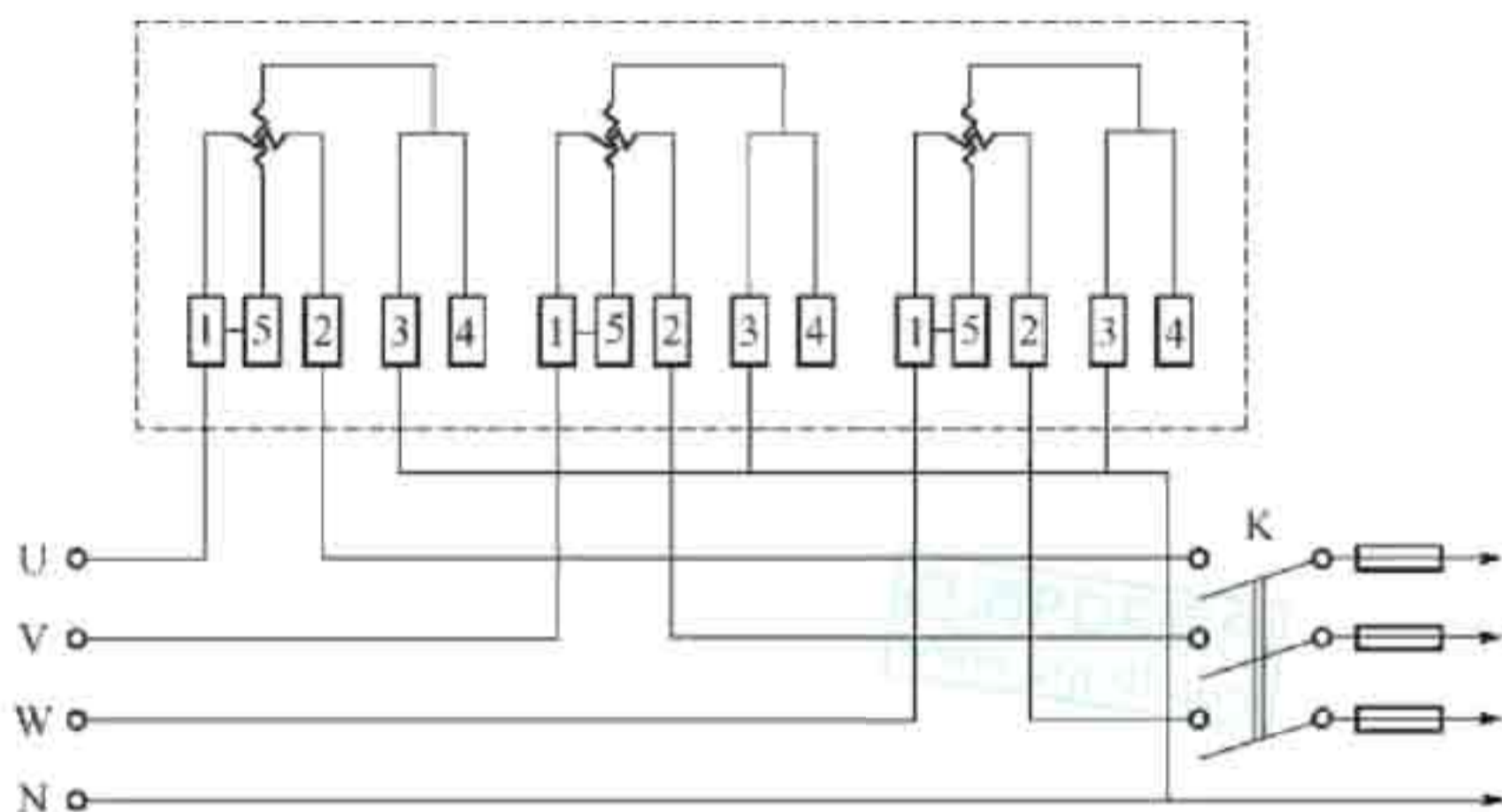


图 4-22 用三块单相电度表直接接入式测量  
三相四线制电路用电量接线线路图

图 4-23 是一种用三块单相电度表经过三个电流互感器测量三相四线制电路用电量的接线线路。在图中，每块电度表的表内短接连片没有拆除，所以电流互感器的副边  $K_2$  不能接地。电流互感器原边的  $L_1$  与副边的  $K_1$  应牢固连接，并且与每块电度表的 1 号端子分别接于电源的三根火线上。这种情况下，电路的总用电量为三块电度表读数之和乘以电流互感器的倍率。

图 4-24 是三块单相电度表的表内短接连片拆除后，测量三相四线制电路用电量的接线线路。采用此方法接线时，三个电流互感器副边的  $K_2$  要短接后接地，且应注意将每块电度表的电压线圈并联于电源火线与中性线之间，而电流线圈与电流互感器副边的  $K_1$  与  $K_2$  连接。在具体接线时，千万不要接错。此种情况下，三相电路用电量等于三块电度表读数之和乘以电流互感器的倍率。

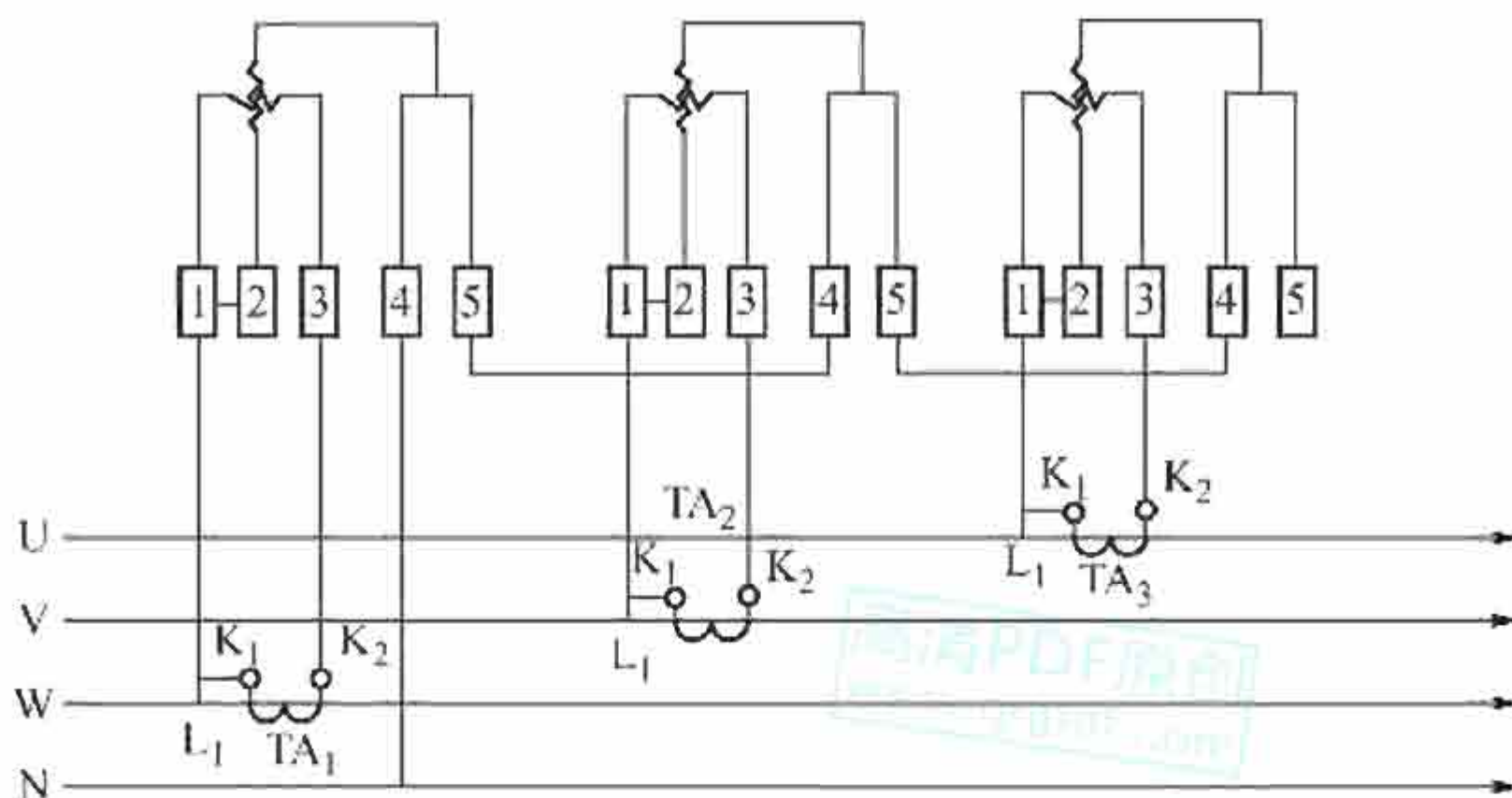


图 4-23 用三块单相电度表经三个电流互感器测量三相四线制电路用电量的接线线路之一

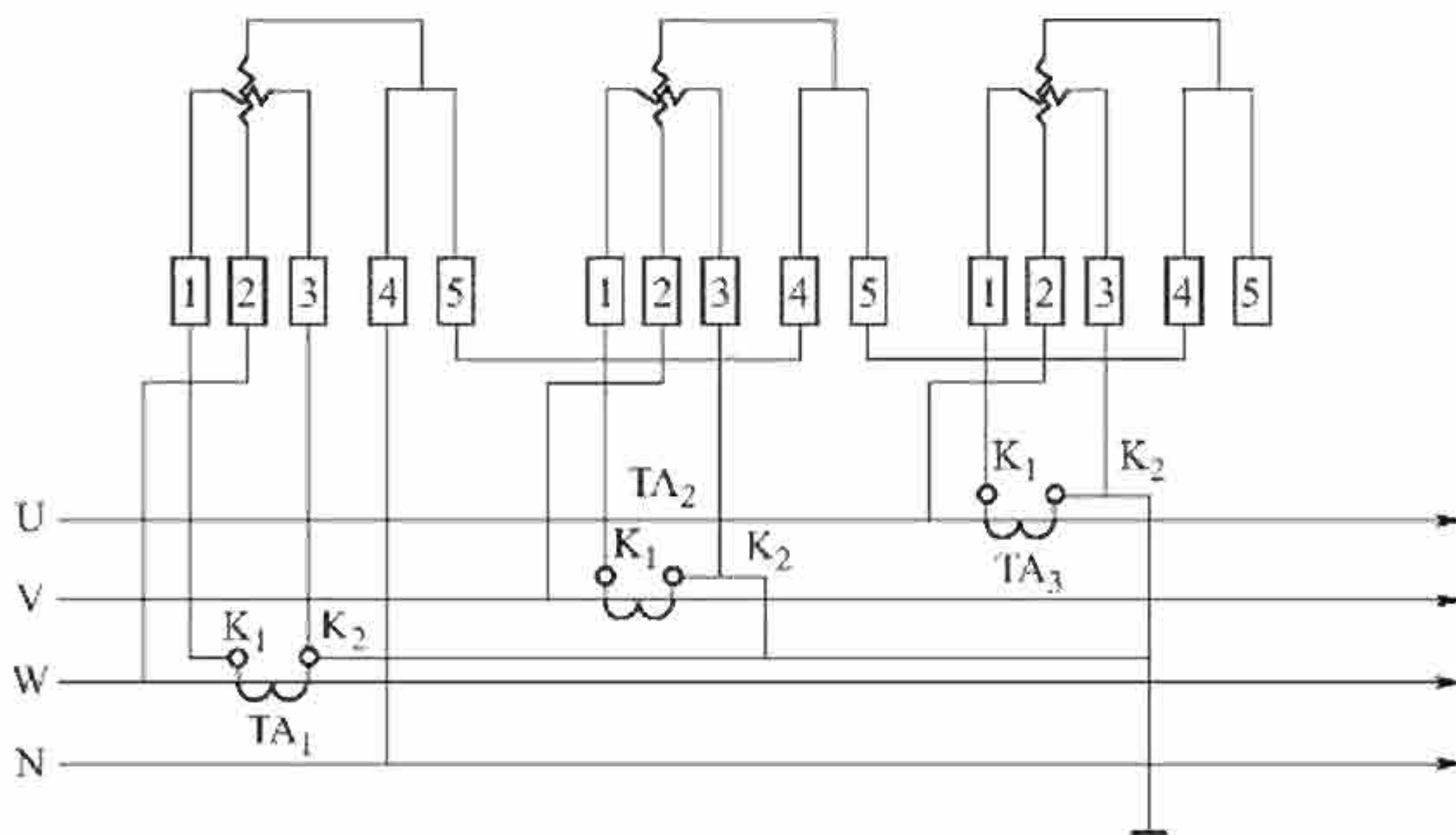


图 4-24 用三块单相电度表经三个电流互感器测量三相四线制电路用电量的接线线路之二

通过以上三个图可知，三块单相电度表的接中性线的端子必须短接后再接中性线，也就是同时接中性线。

#### 4.2.2.7 DS8 型 100V、5A 三相电度表接线线路

DS8 型 100V、5A 三相电度表的电压线圈电压为 100V，而电流线圈的电流不超过 5A。由于该三相电度表有特殊性，所以在具体使用时需要使用三相电压互感器和电流互感器。三相电压互感器原边电压应该与电源线电压相匹配，副边电压应为 100V。电流互感器副边电流应该在 5A 以下。

DS8 型 100V、5A 三相电度表测量三相三线制电路用电量的接线线路图如图 4-25 所示。由图 4-25 可见，图中的 TV 为三相电压互感器，TA<sub>1</sub>、TA<sub>2</sub> 是两个电流互感器。

在具体接线时，电压互感器的铁芯与电流互感器的副边应该短接后安全接地。这样做的目的是使电流互感器副边产生的高压不至于对人造成危险。

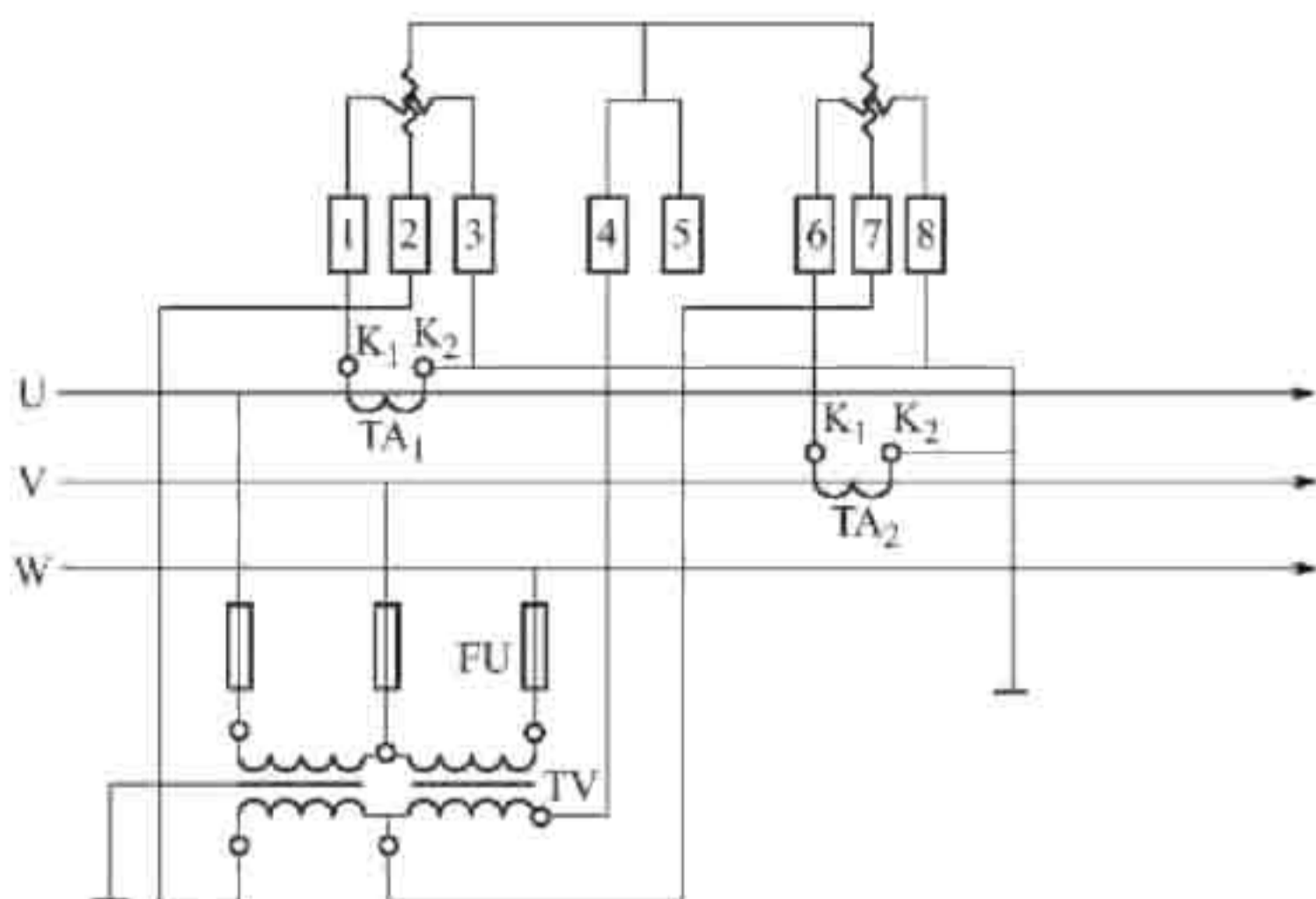


图 4-25 DS8 型 100V、5A 三相电度表测量三相三线制电路用电量的接线线路图

### 4.2.3 三相电路无功电量的测量

交流电路除了有功电量需要测量外，其无功功率也必须测量，这样做才能合理地使用电能和控制电量的分配。

测量三相电路的无功电量常用三相无功电度表（DX 型三相无功电度表）和三相无功正弦电度表。下面具体介绍这两种无功电度表的接线方法。

#### 4.2.3.1 DX2 型三相无功电度表直接接入式线路

DX2 型三相无功电度表是具有  $60^\circ$  相位差的二元正弦表。它的具体接线方法如图 4-26 所示。由图 4-26 可见，此类型表有 9 个接线柱，应该注意，只有 7 个接线柱对外接线。三相无功电度表与三相有功电度表的外部接线是完全相同的。无功电度表（具有  $60^\circ$  相位差的正弦表）除如图 4-26 所示的接线外，最常见的还有经过两

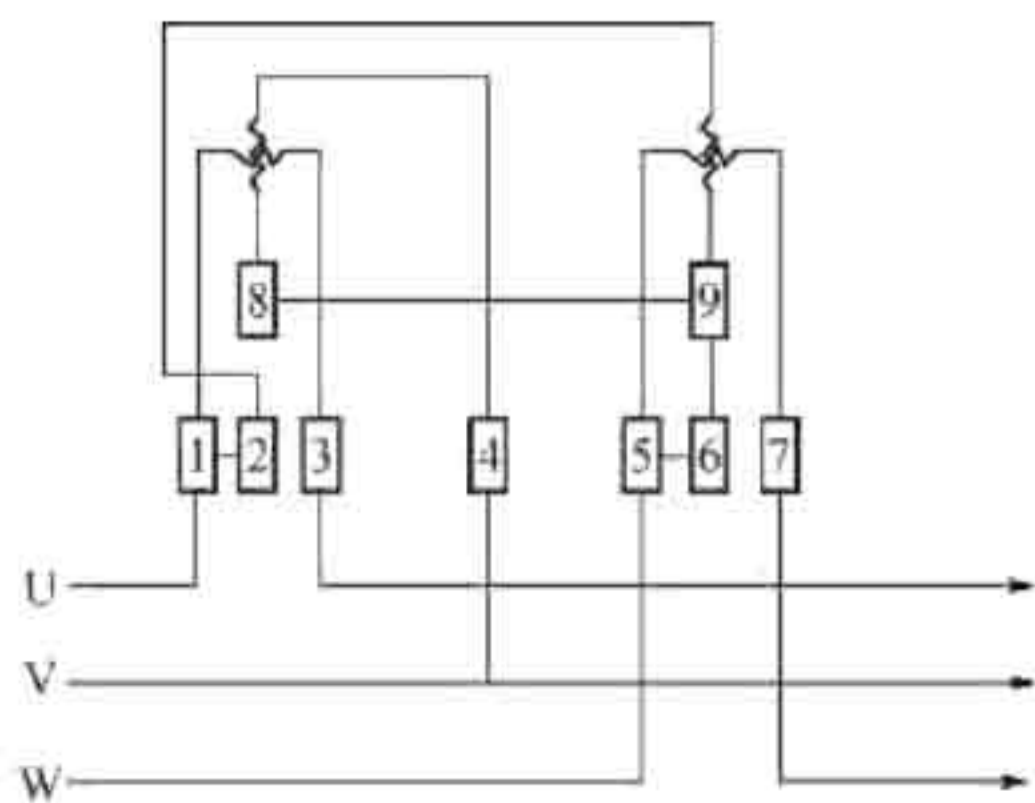


图 4-26 DX2 型三相无功电度表测量三相三线制电路无功电量接线图

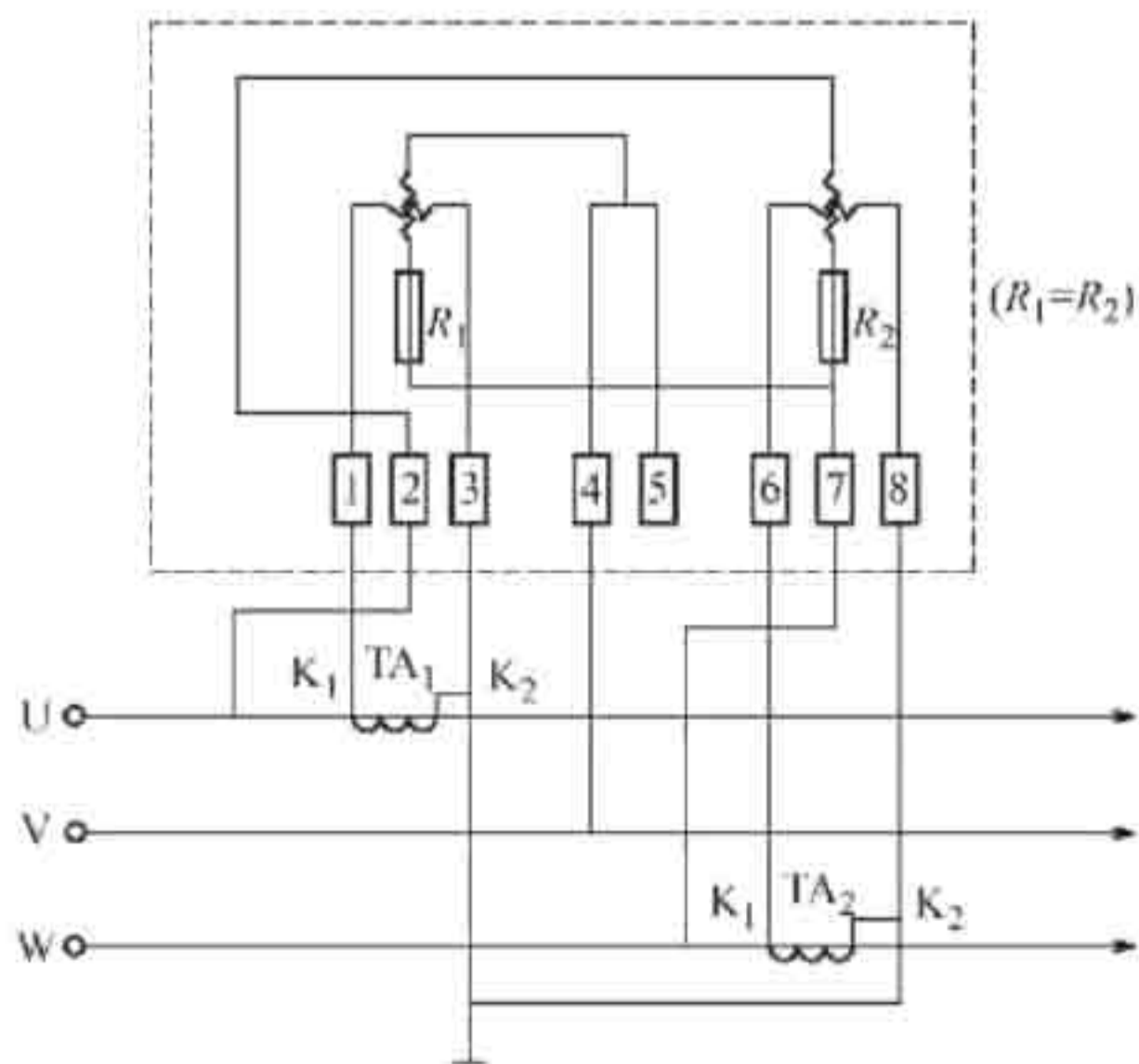


图 4-27 DX2 型三相无功电度表经过两个电流互感器测量无功电量接线线路图

个电流互感器与之相配合的接线方法，如图 4-27 所示。在采用图 4-27 所示线路接线时，要特别注意将电流互感器的副边安全接地。

#### 4.2.3.2 三相无功正弦电度表接线线路

三相无功正弦电度表由于正弦元件产生的电磁力矩与  $UI\sin\varphi$  成正比关系，所以表的内部接线方法不同于具有  $60^\circ$  相位差的无功电度表，但是它们的外部接线方法相同，如图 4-28 所示。

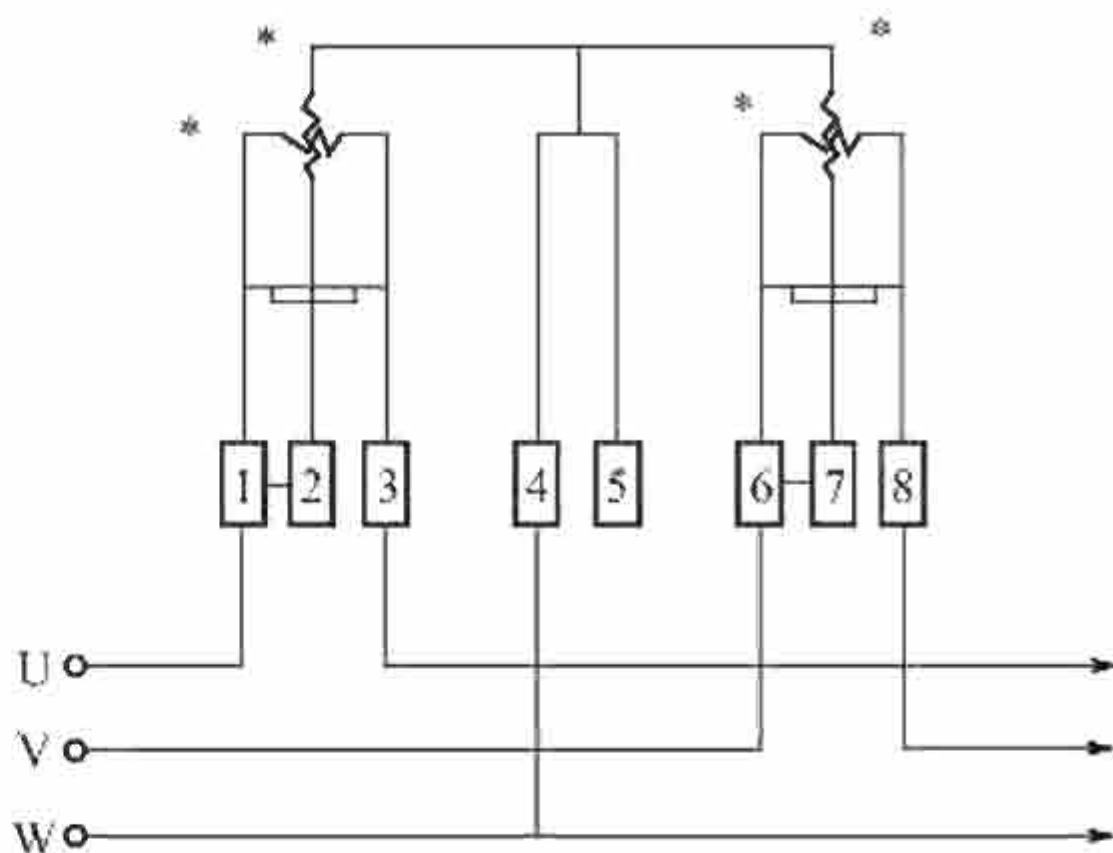


图 4-28 用三相无功正弦电度表测量电路无功电量接线线路图

#### 4.2.4 直流电度表接线方法

直流电路用电量的测量使用直流电度表。直流电度表有电压线圈和电流线圈，有四个接线柱，具体接线线路基本上有两种，其一是直接接入式，其二是通过分流器接入式。第二种接线方法，表的读数乘以分流倍数才是电路的真正用电量。

直流电度表直接接入式测量直流用电量的接线线路如图 4-29 所示。直流电度表通过分流器接入式接线线路如图 4-30 所示。

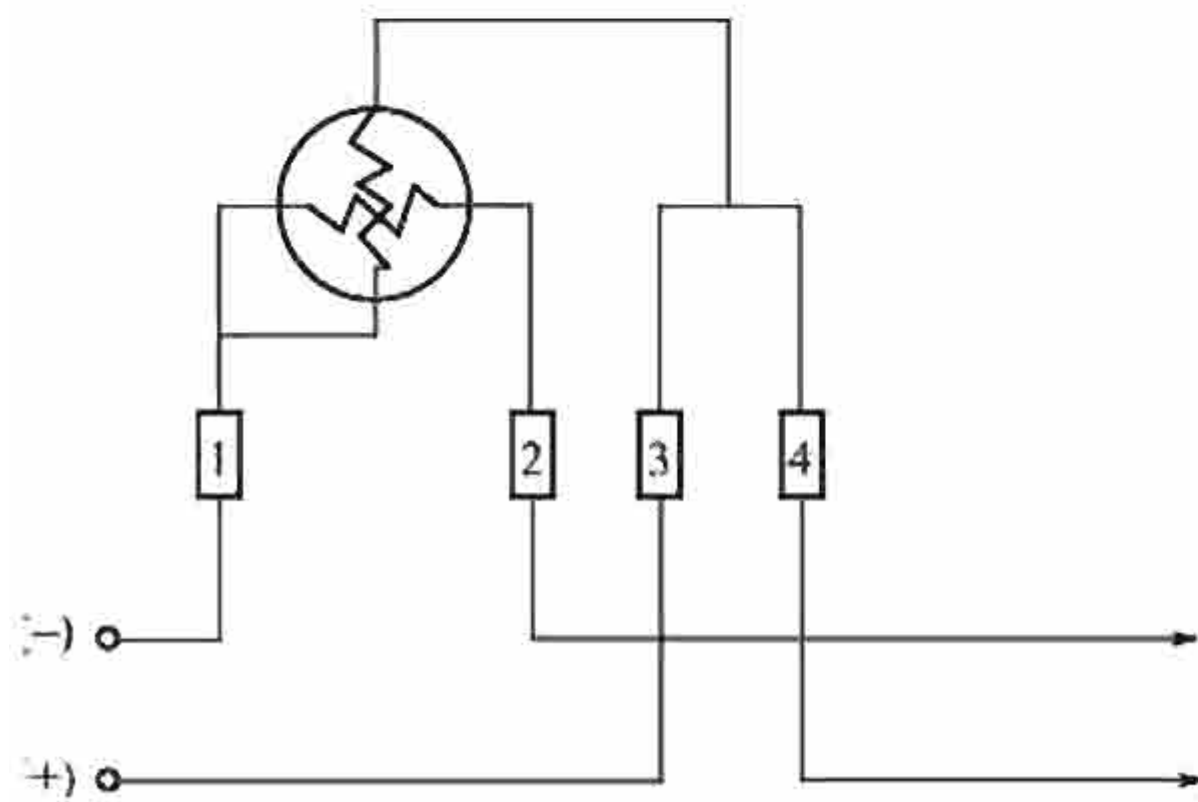


图 4-29 直流电度表直接接入式测量直流用电量的接线线路

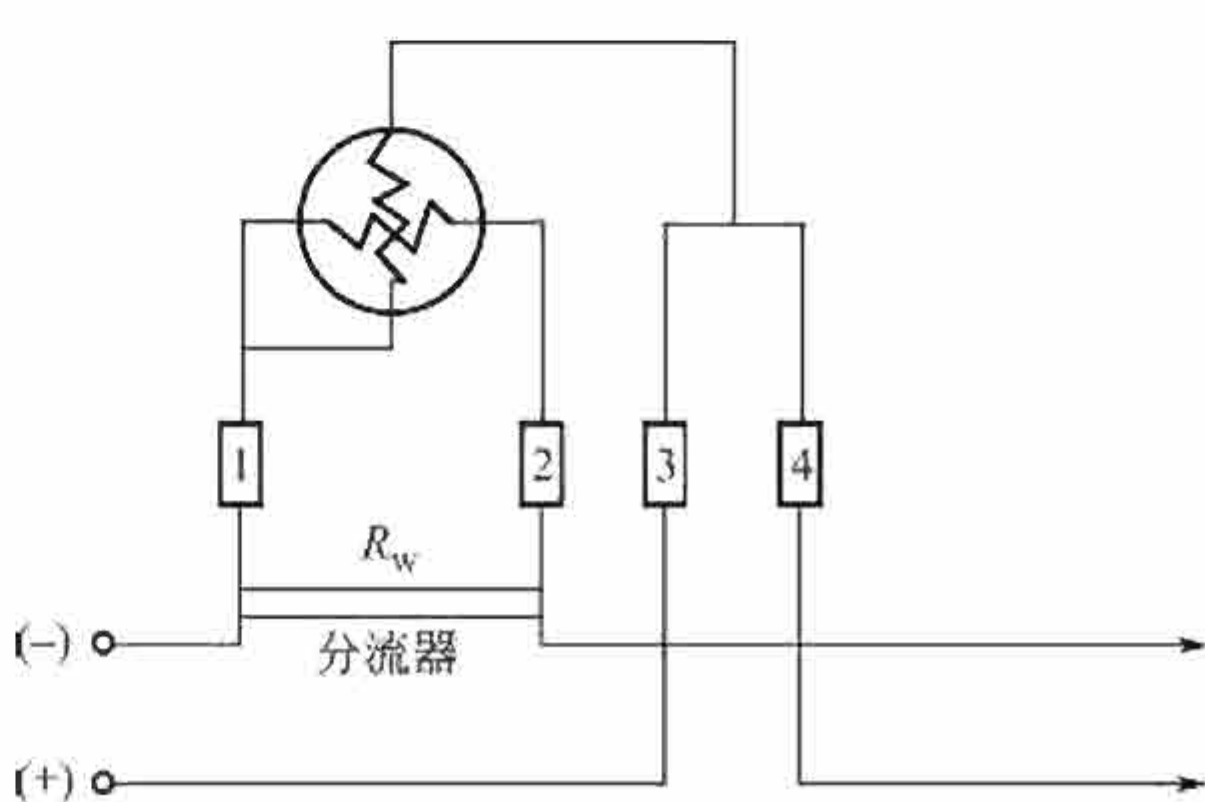


图 4-30 直流电度表通过分流器接入式接线线路

### 4.3 电流表、电压表、电度表联合接线线路

在实际电路中，经常有几种不同功能的仪表联合接入电路中。各单位的变电所、变电站的配电屏，电压表、电流表、有功电度表、无功电度表联合接线是最常见的。本节将分别介绍三相有功电度表与三相无功电度表联合接线、三相有功电度表与三块电流表联合接线、电压表与电流表联合接线等线路。

### 4.3.1 三相有功电度表与三相无功电度表联合接线线路

实际工作中，三相电路需要同时测量无功和有功电量。在变电所或变电站的配电屏上安装的三相无功电度表与三相有功电度表常与电流互感器联合接线。如果在接线时没有三相无功电度表，则可以用三相有功电度表代替。只是用三相有功电度表代替三相无功电度表，要在具体接线时特别注意接法的改变。下面具体介绍三相有功电度表与无功电度表联合接线方法和三相有功电度表与用有功电度表代替无功电度表的接线方法。

三相有功电度表与三相无功电度表联合接线线路图如图 4-31 所示。在图 4-31 中，有两个电流互感器  $TA_1$ 、 $TA_2$ ，有两块二元件组成的有功电度表和无功电度表。有功电度表用来测量有用功电量，无功电度表用来测量无功电量。电度表的读数应该乘以电流互感器的变比  $k$  才是实际用电量值。

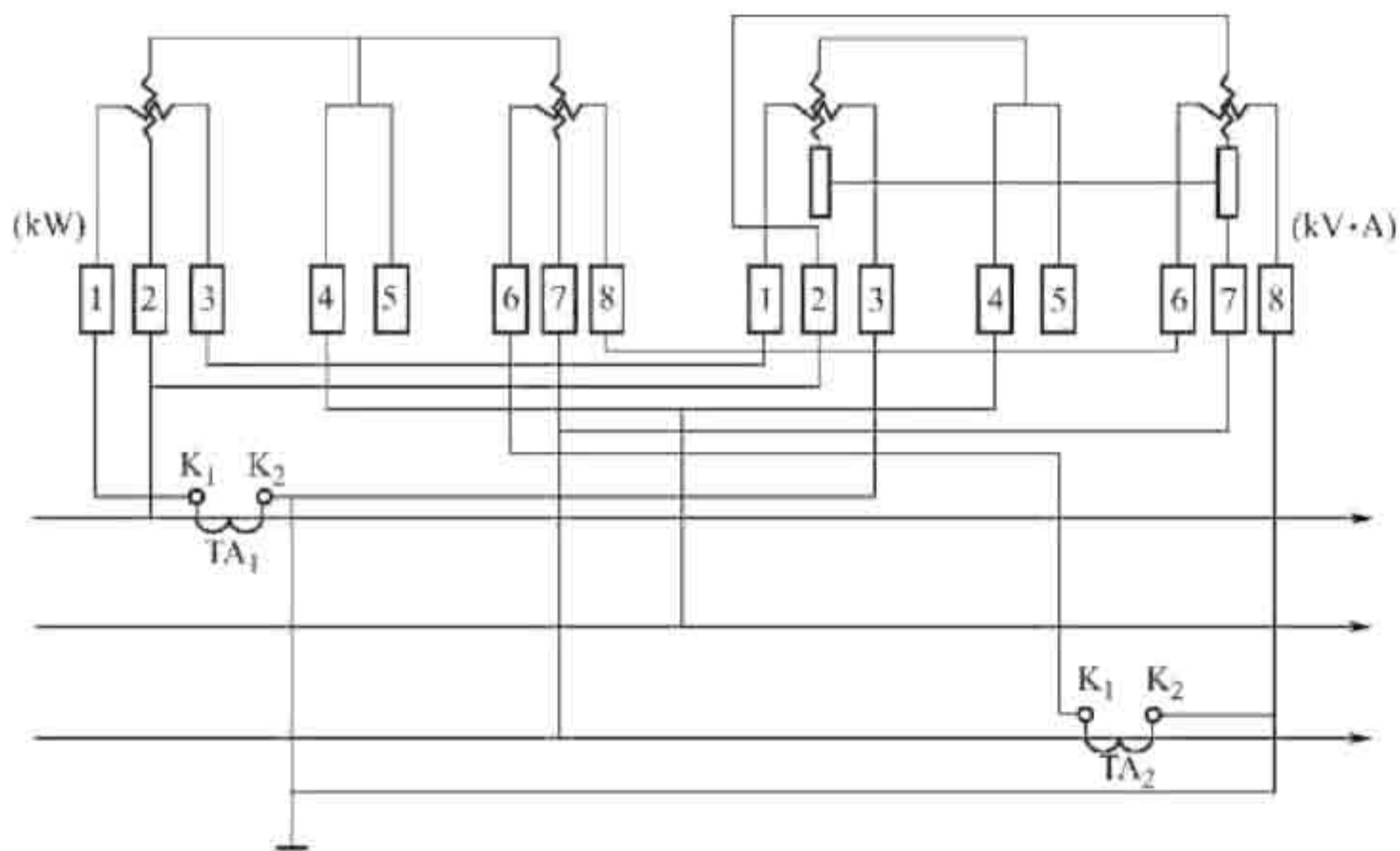


图 4-31 三相有功电度表与三相无功电度表联合接线线路图

按图 4-31 接线时，要将有功和无功电度表内的短接连片拆除，还要将电流互感器副边的  $K_2$  端可靠接地。有功电度表和无功电度表的电流线圈应该按照相位串联；电压线圈应该按照相位并联。要注意电压线圈和电流线圈的首端和尾端绝对不许接错。

三相有功电度表与用三相有功电度表代替无功电度表的联合接线图如图 4-32 所示。在用有功电度表代替无功电度表的时候，要注意电度表的电压线圈的接线相序。由图 4-32 可见，有功电度表的接 U (A) 相的线圈与无功电度表 5 号接线柱相连接；有功电度表的 V (B) 相和 W (C) 相分别与无功电度表的 8、2 号接线柱相连接。这样连接，使有功电度表的电流与电压相序与无功电度表的电流与电压相序不同。



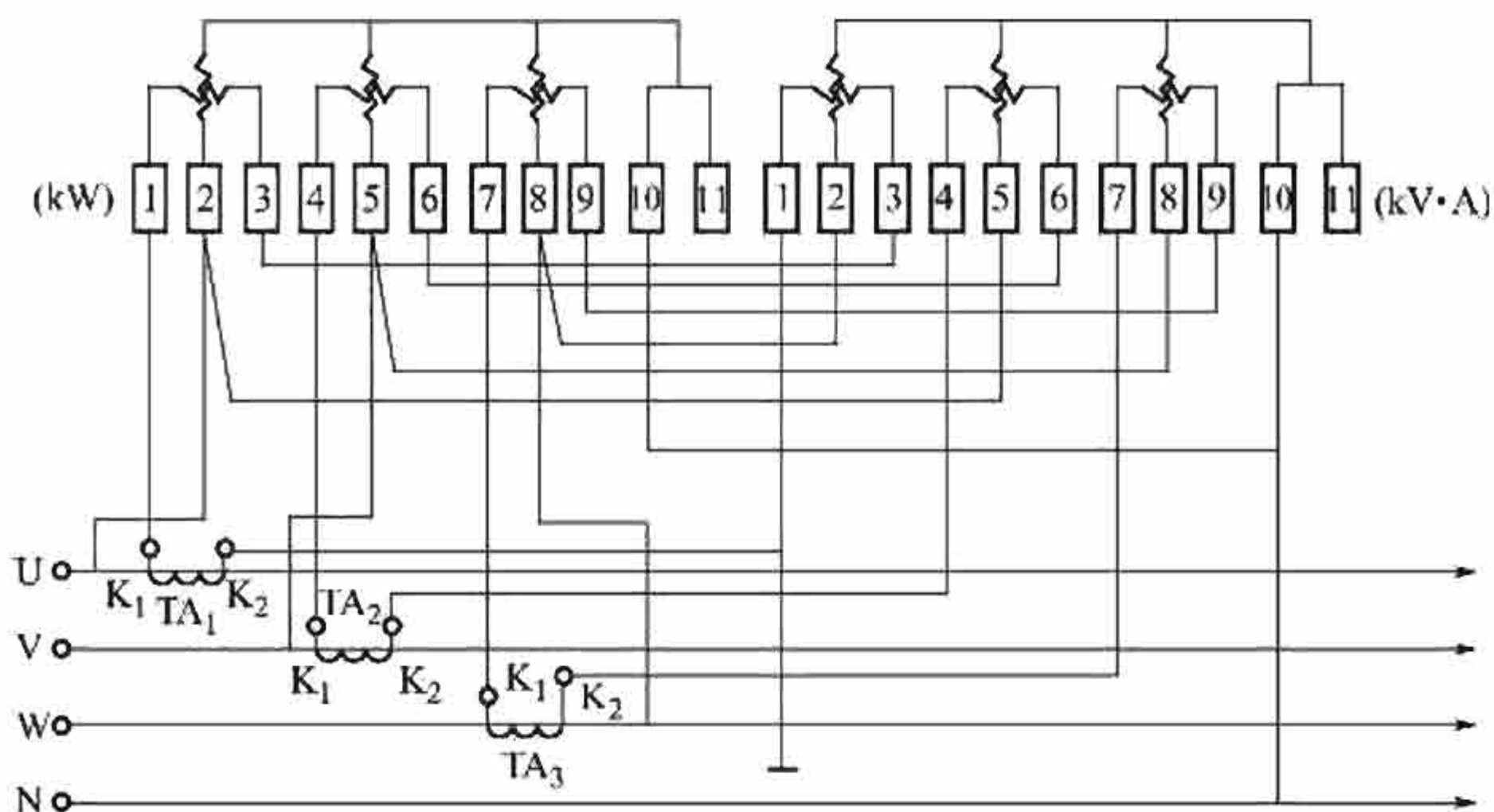


图 4-32 三相有功电度表与用三相有功电度表代替  
无功电度表经电流互感器联合接线线路图

#### 4.3.2 三相二线制有功电度表与三块电流表联合接线线路

三相二线制有功电度表与三块电流表联合接线线路图如图 4-33 所示。图中有两个电流互感器、一块三相有功电度表、三块电流表。有功电度表的电压线圈分别接于电源三根相线上，而电流线圈通过三块电流表接于两个电流互感器上。由于有功电度表内部的短接连片已经拆除，所以电流互感器的副边的  $K_2$  应可靠接地。

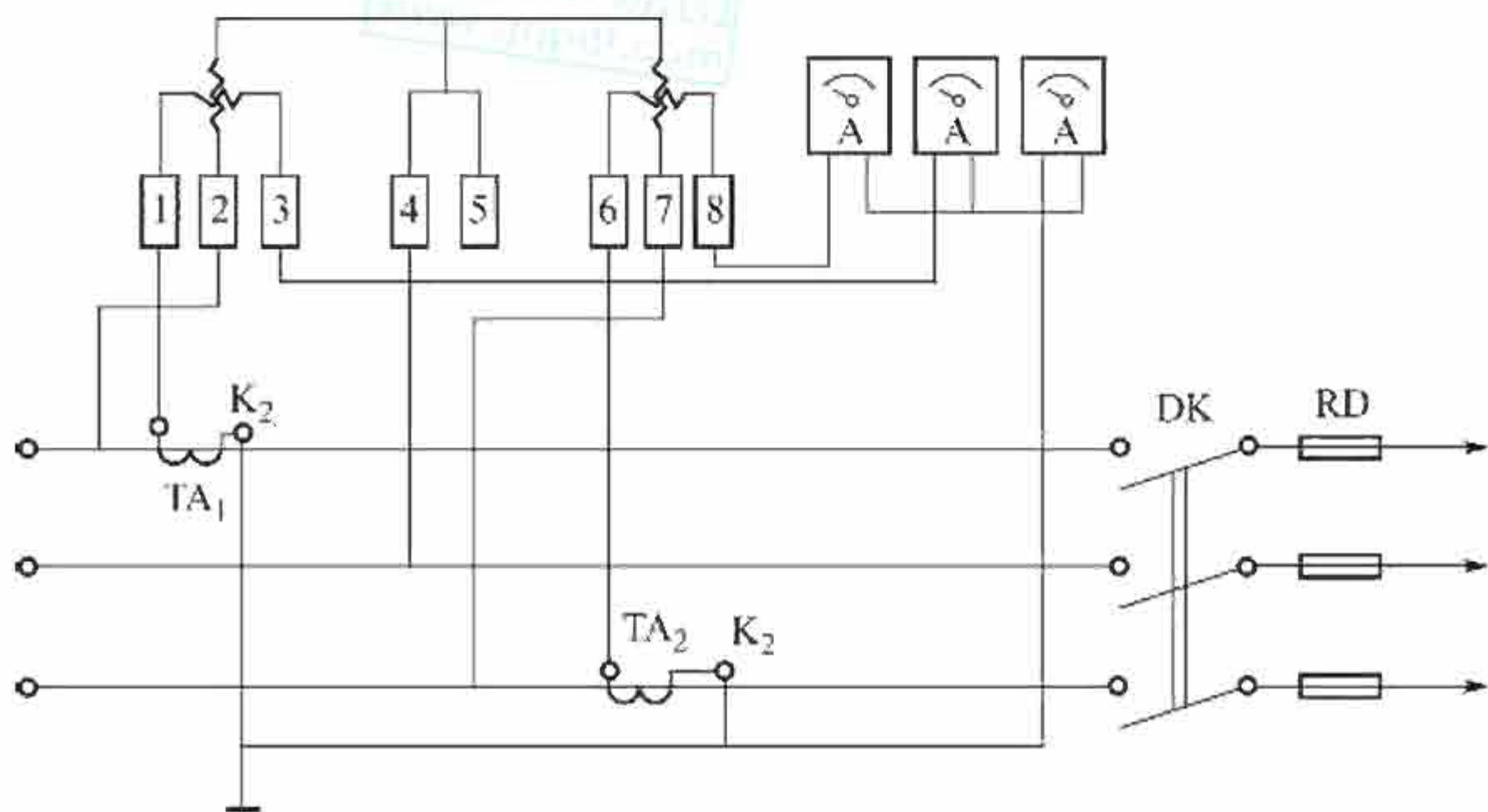


图 4-33 三相二线制有功电度表与三块电流表联合接线  
(经两个电流互感器连接) 线路图

#### 4.3.3 三相四线制有功电度表与三块电流表联合接线线路

三相四线制有功电度表有 11 个接线端子，需要通过三个电流互感器接线，所以比图 4-33 所示电路接线要多。

三相四线制有功电度表与三块电流表联合接线线路图如图 3-34、图 3-35 所示。

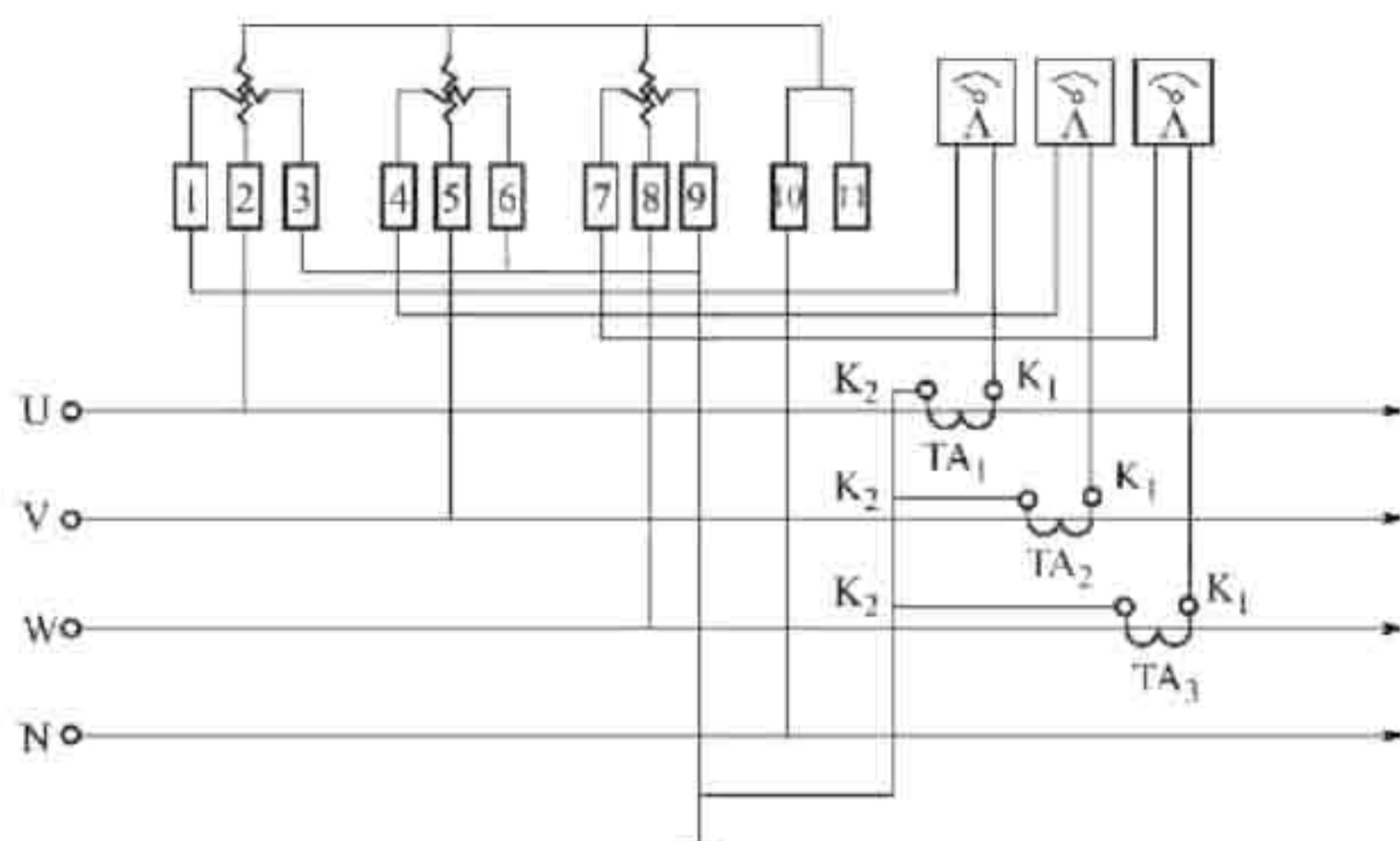


图 4-34 三相四线制有功电度表与三块电流表联合接线线路图之一

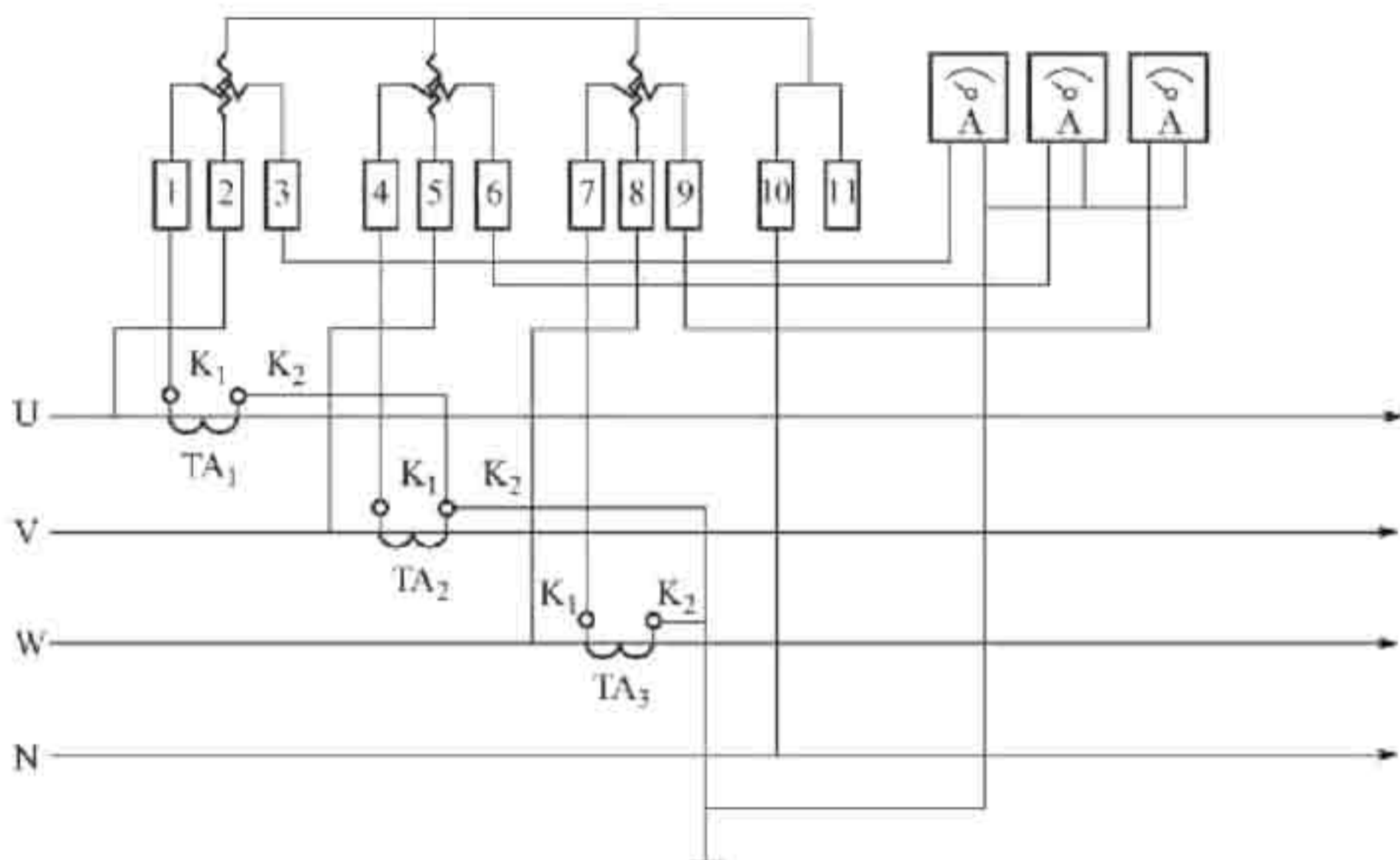


图 4-35 三相四线制有功电度表与三块电流表联合接线线路图之二

由图 4-34 可见，电度表的电压线圈并接于电源的三根相线与中性线上，其电流线圈 1、4、7 端子分别串三块电流表，再与电流互感器副边的  $K_1$  端相连，而电流线圈的另外三端短接后与电流互感器的副边  $K_2$  端相连。电流互感器副边的  $K_2$  端要可靠接地。整个电路在连接时要严格按照图 4-34 进行，不能搞错。

图 4-34 所示的电流表和有功电度表联合接线与图 4-35 所示接线，其测量结果是相同的。

#### 4.3.4 三相三线制有功电度表、三块电流表和三块电压表联合接线线路

三相三线制有功电度表、三块电流表和三块电压表经两个电流互感器与电源线相连接的接线线路图如图 4-36 所示。

图 4-36 中的三相三线制有功电度表与三块电流表联合接线部分与图 4-33 完全相同，只是比图 4-33 多了三块电压表。图 4-36 中的三块电压表测量三相电源的线电压。

在前面的图 4-33、图 4-35、图 4-36 中，电路的有功电量应该为有功电度表读数乘以电流互感器的倍率，电路中的电流表若与电流互感器匹配，则电流表的读数即是实际电流值。图 4-36 中的电压表读数即为实际值。若电压表用小量程表，则应在接线时加电压互感器，电压表读数乘以电压互感器倍率才是电压真实值。

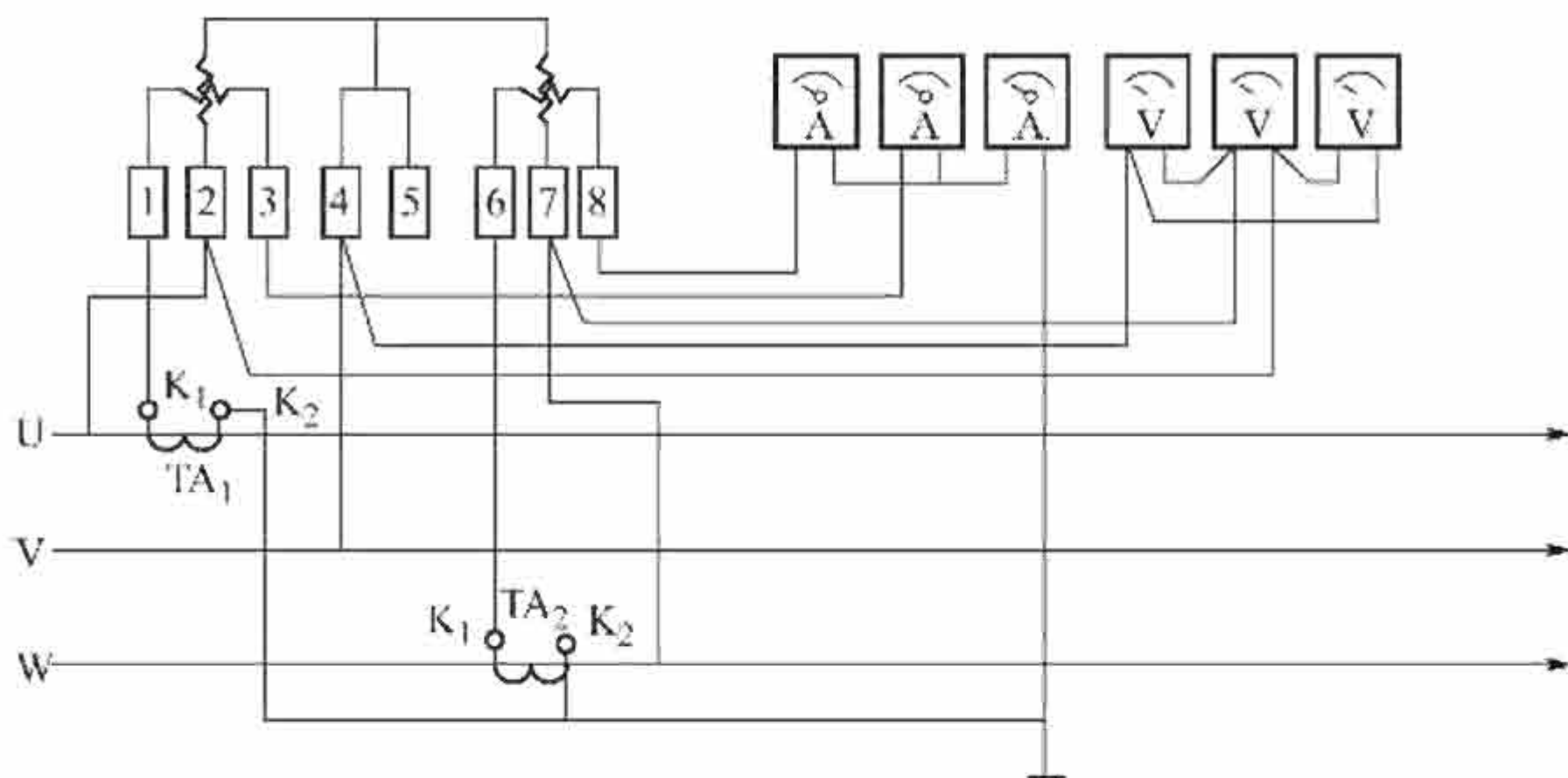


图 4-36 三相三线制有功电度表、三块电流表和三块电压表联合接线线路图

#### 4.4 万用表的内部接线及使用方法

万用表是电气工人日常工作中必备的测量仪表。万用表可以测量电阻值、直流电压值、直流电流（小电流）值、交流电压值。有的万用表除了能测量上述各种电量外，还具有测量晶体三极管直流放大倍数的功能。MF52 型万用表内部电路原理图如图 4-37 所示。MF52 型万用表的面板图如图 4-38 所示。

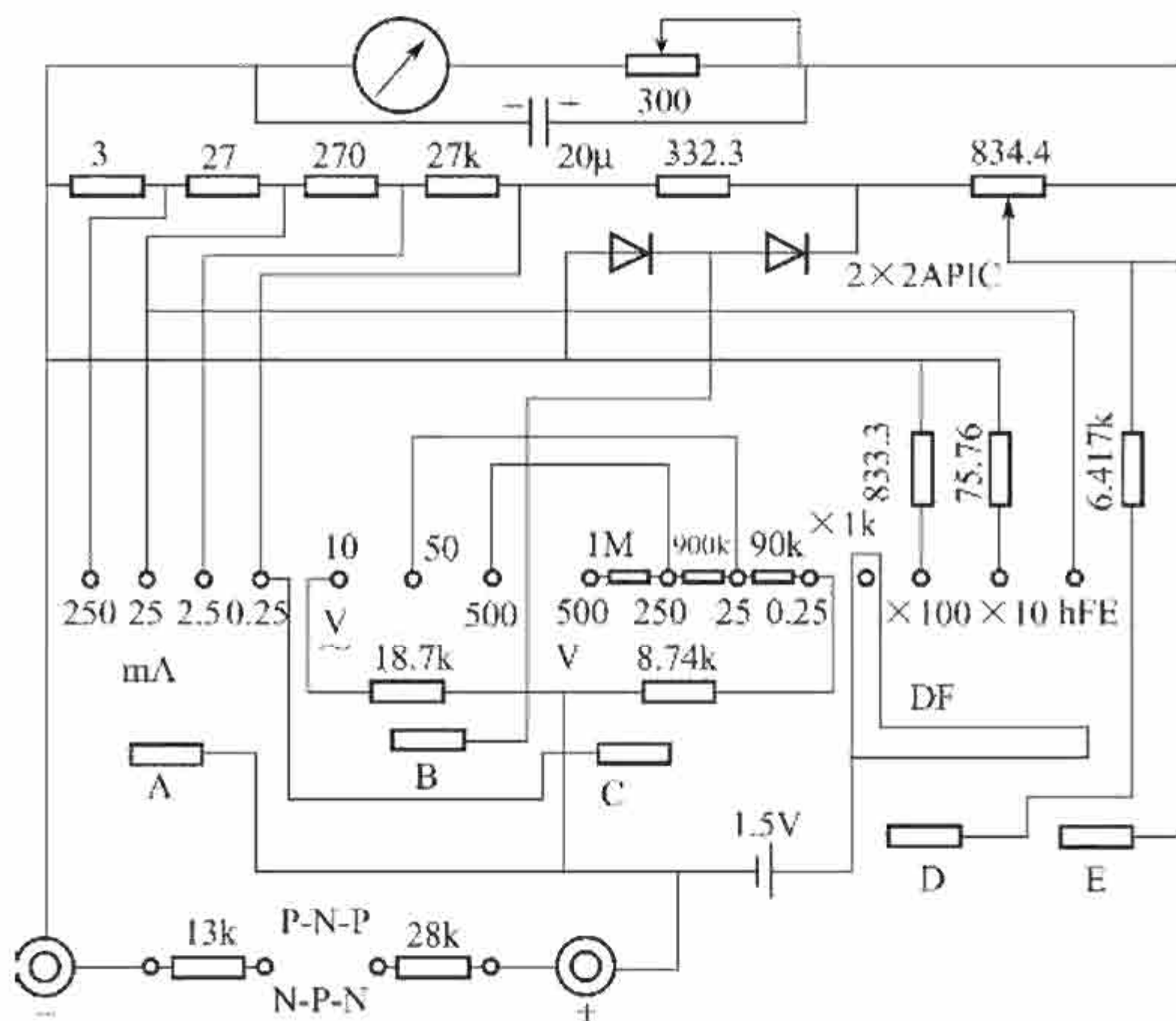


图 4-37 MF52 型万用表内部电路原理图

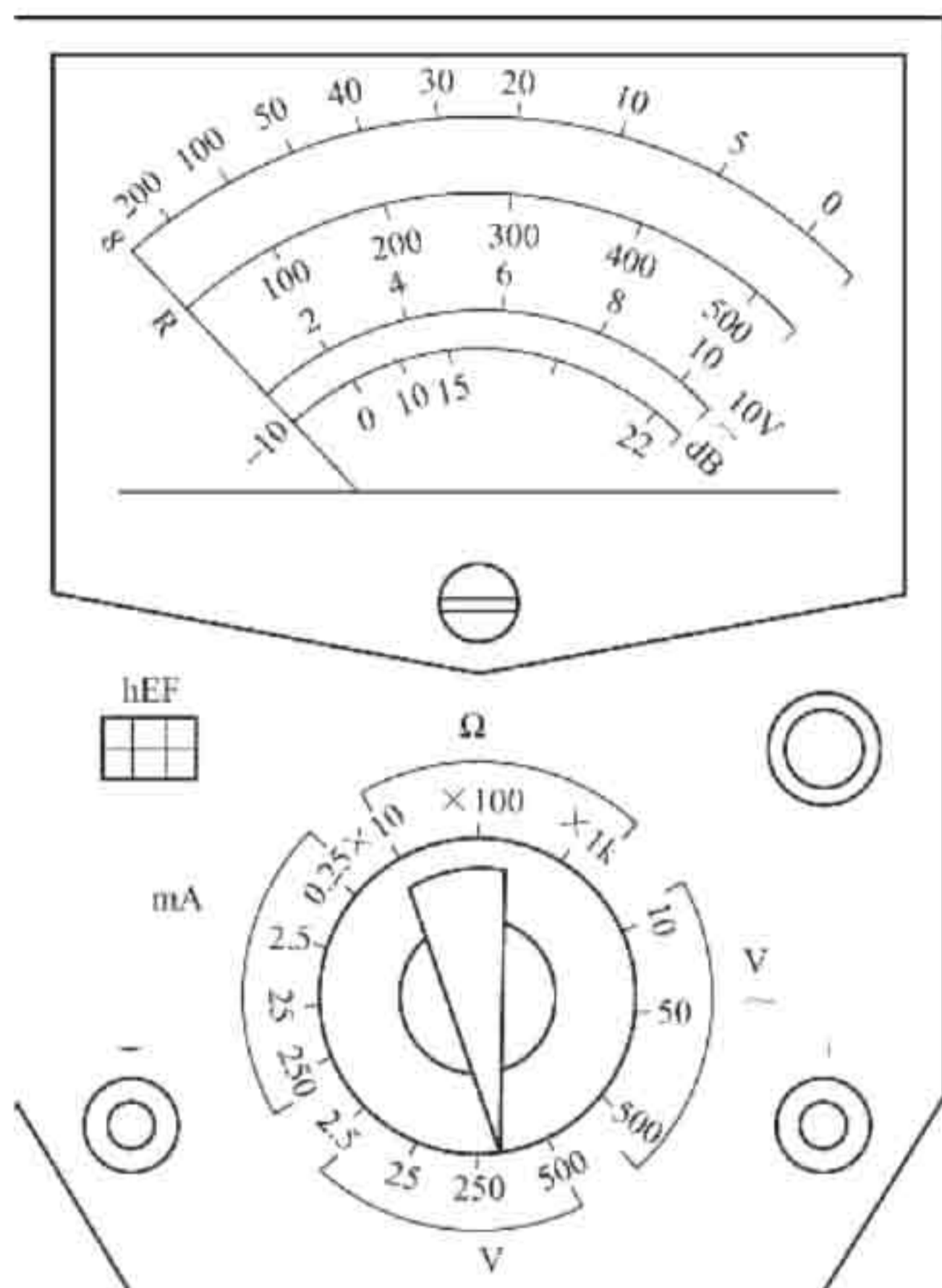


图 4-38 MF52 型万用表的面板图

在图 4-37 中，A、B、C、D、E 为五块定触片，DF 为可旋转的动触片。另外，图中单个小圆圈是定触点。

万用表在测量电阻时，表内电源被接入电路；而在测电流、电压时，表内电源不参与工作。在使用万用表时一定要注意，测量什么物理量，就将表的旋钮旋到面板对应的位置。特别要注意，绝对不能用万用表的测电阻挡和测直流电流挡测电压。一旦使用失误，就会烧坏表。

在用万用表测量晶体三极管的直流电流放大倍数时，先将旋钮拧到  $\times 1k$  挡上，再将测试表笔短路，调整好欧姆零位，然后将旋钮旋到 hFE 挡，把晶体三极管 e、b、c 三个管脚插入万用表相对应的 e、b、c 测试孔内，就可在 hFE 刻度线上读到晶体三极管直流电流放大倍数。

## 第 5 章 普通低压配电屏接线线路简介

普通低压配电屏线路图有其独特的画法。为了增强对普通低压配电屏线路图的认识，本章简要介绍普通小型低压配电屏、中型低压配电屏、大型低压配电屏接线线路。

### 5.1 普通小型低压配电屏接线线路

小型低压配电屏一般由一块总配电屏和若干块分配电屏组成。总配电屏的电源线引自变压器的副边输出端，总配电屏的输出线分别接到每块分配电屏上。分配电屏是将总配电屏送出的电源分成若干条线路（回路）输送到负载端的配电箱。

下面介绍由一块总配电屏和两块分配电屏组成的低压配电屏接线线路。

小型低压配电屏面板图如图 5-1 所示。图中，左边的第 1 块屏是总配电屏（总屏），第 2 块和第 3 块屏分别为动力线路配电屏（动力分屏）和照明线路配电屏（照明分屏）。

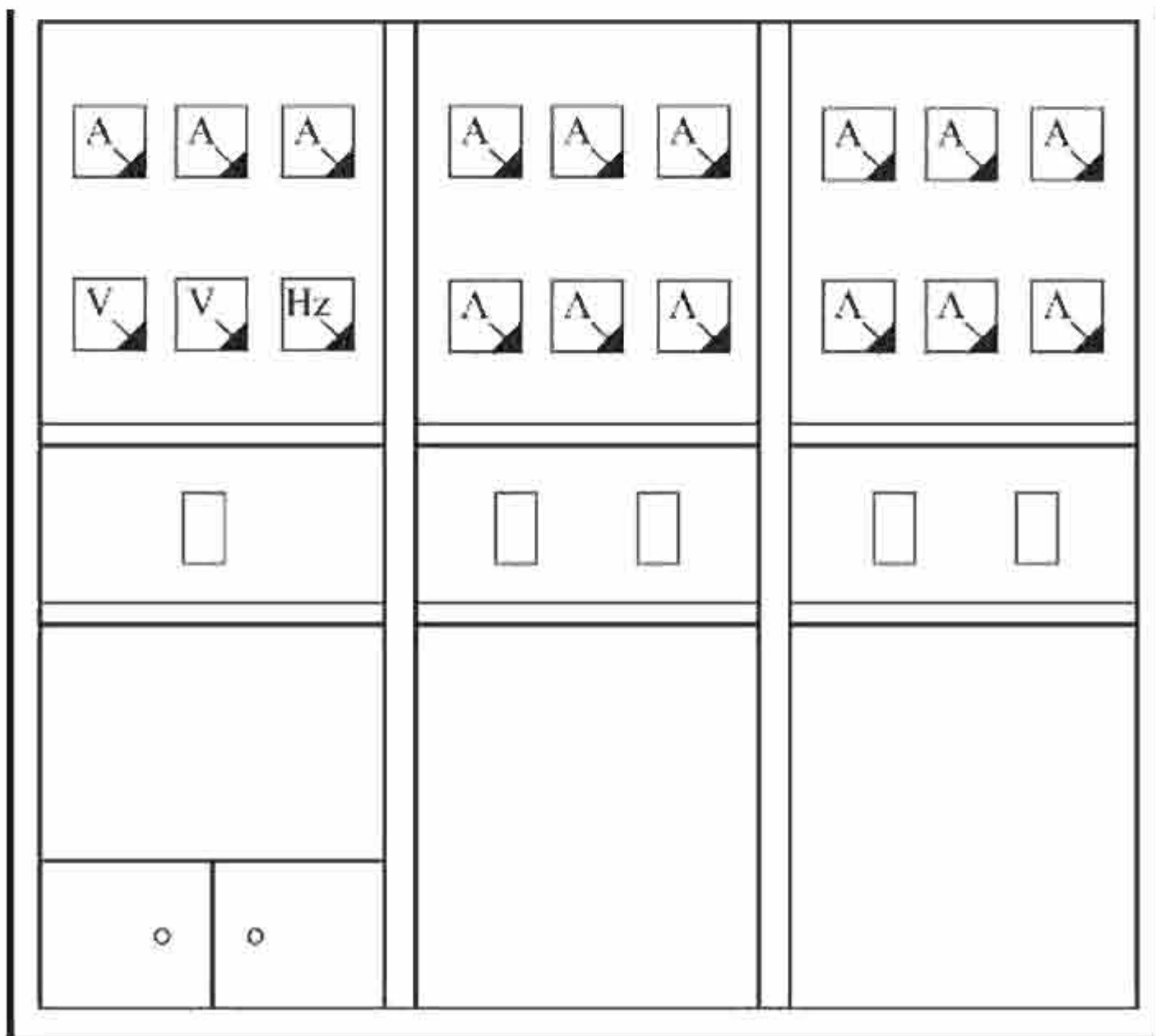


图 5-1 小型低压配电屏面板图

总配电屏为一条总路，动力线路配电屏有四条动力分路，照明线路配电屏为四条分路。

配电屏接线分为一次接线线路和二次接线线路。一次接线线路是指主线路的接线线路，二次接线线路是指各仪表接线线路。小型低压配电屏一次接线线路图如图 5-2 所示，实际接线线路图如图 5-3 所示。小型低压配电屏一次接线线路元件明细

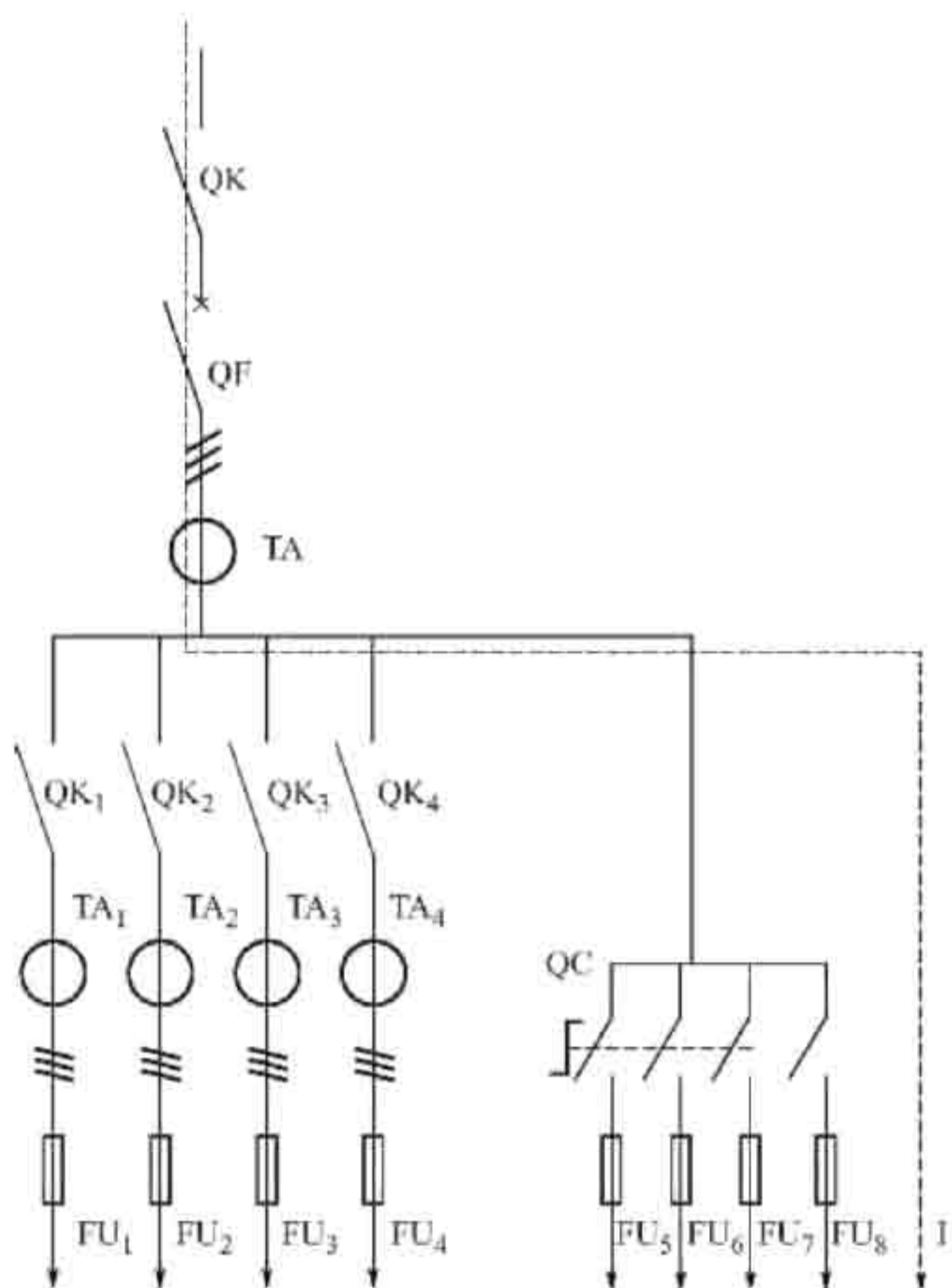


图 5-2 小型低压配电屏一次接线线路图

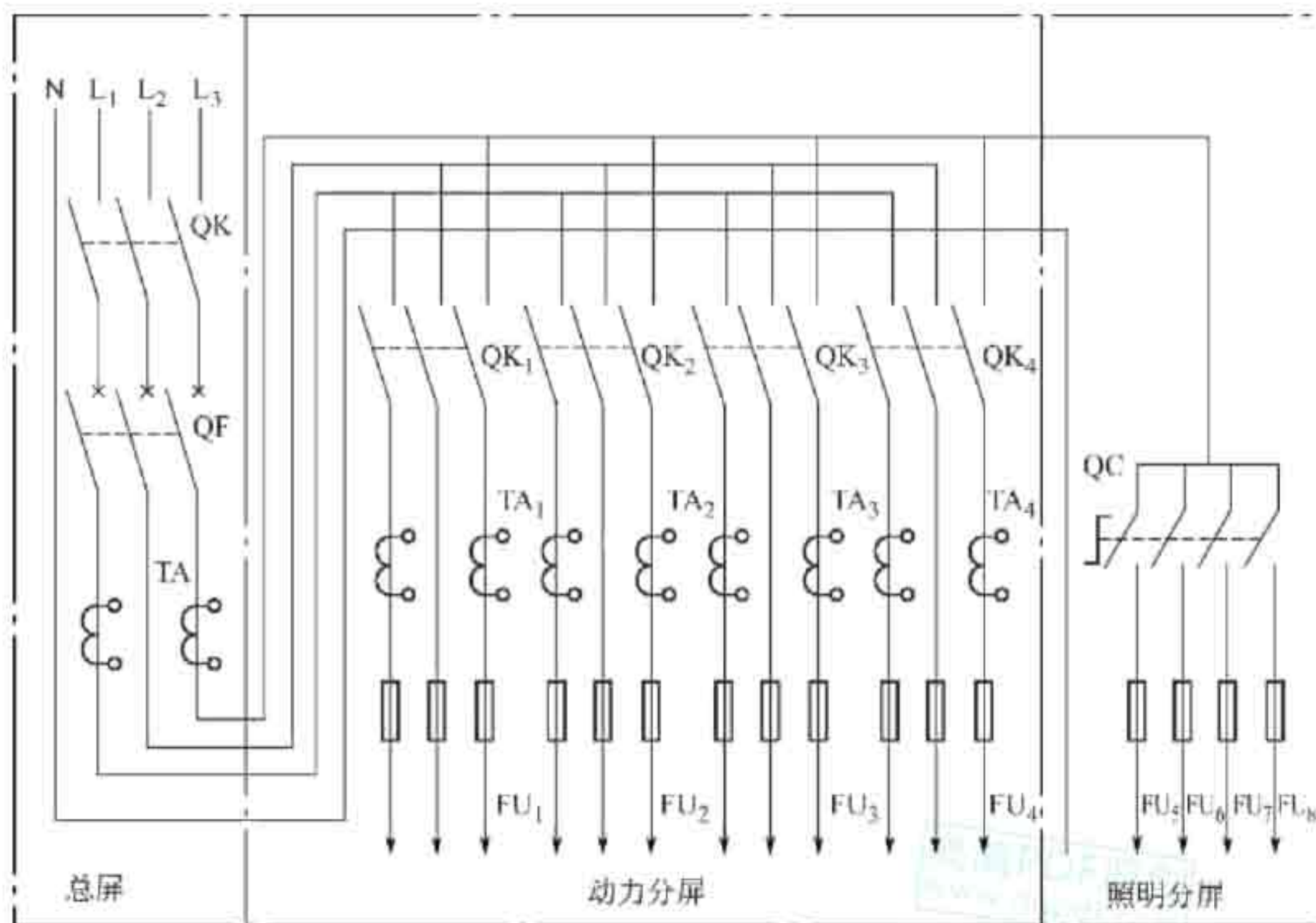


图 5-3 小型低压配电屏一次实际接线线路图

表见表 5-1。

表 5-1 小型低压配电屏一次接线线路元件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	QK	刀开关	HD13-200/3	500V,200A	1
2	QF	自动断路器	DW10-200/3	500V,200A	1
3	TA <sub>1</sub> ~TA <sub>4</sub>	电流互感器	LQG-0.5	100/5	8
4	TA	电流互感器	LQG-0.5	200/5	2
5	QK <sub>1</sub> ~QK <sub>4</sub>	刀开关	HD13-100/3	500V,100A	4
6	QC	转换开关	HZ10-10/4	500V,10A	1
7	FU <sub>1</sub> ~FU <sub>4</sub>	熔断器	RTO-100	500V,100A	12
8	FU <sub>5</sub> ~FU <sub>8</sub>	熔断器	RL1-15	配 15A 熔芯	4

图 5-2 和图 5-3 是同一种小型低压配电屏一次接线线路的两种画法。图 5-3 画得更清楚，初学者好理解，且是实际工程图，必须对图纸加深理解并真正掌握。

小型低压配电屏总屏二次接线线路图如图 5-4 所示。小型低压配电屏动力分屏

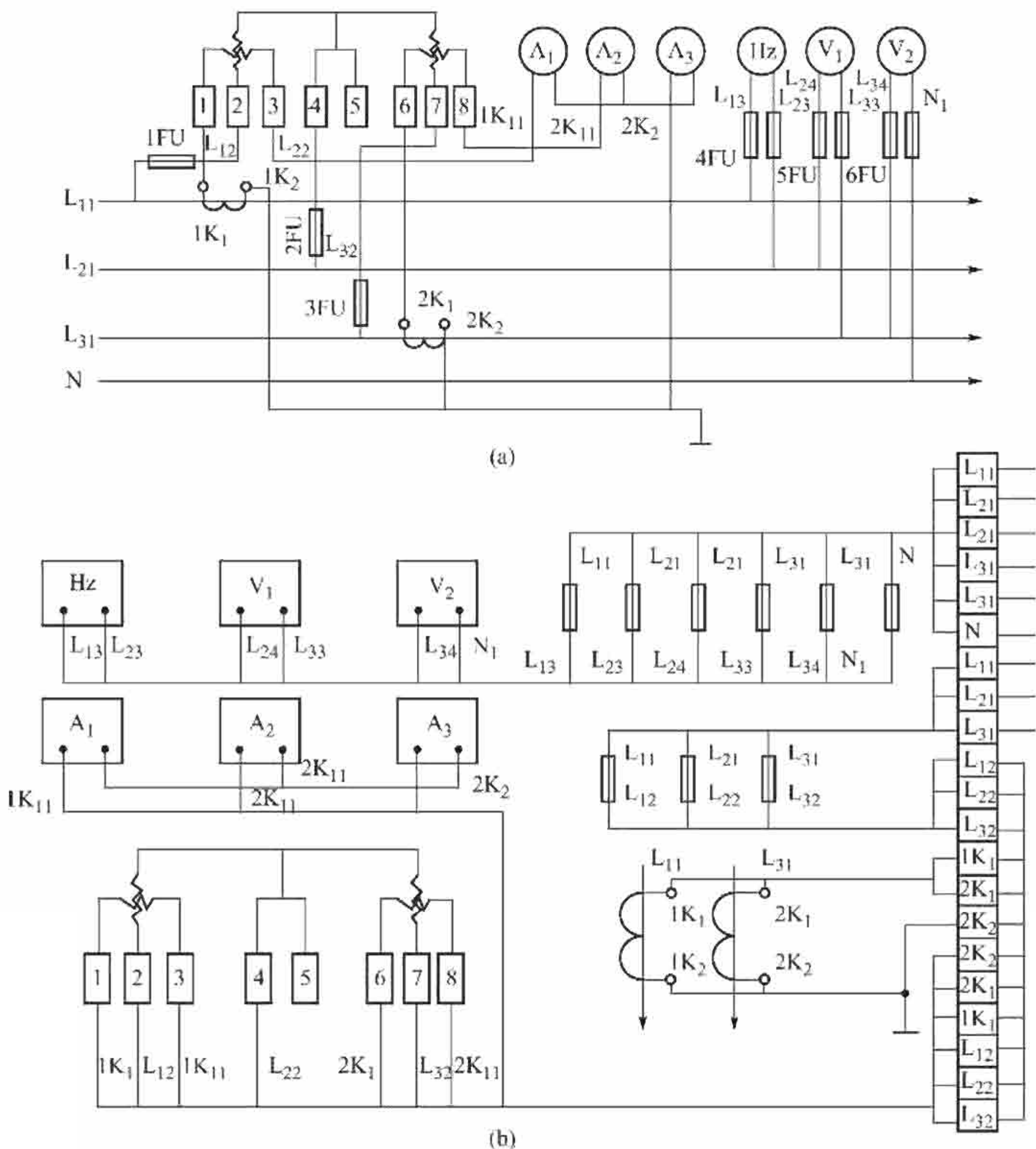


图 5-4 小型低压配电屏总屏二次接线线路图

和照明分屏二次接线线路图如图 5-5 所示。

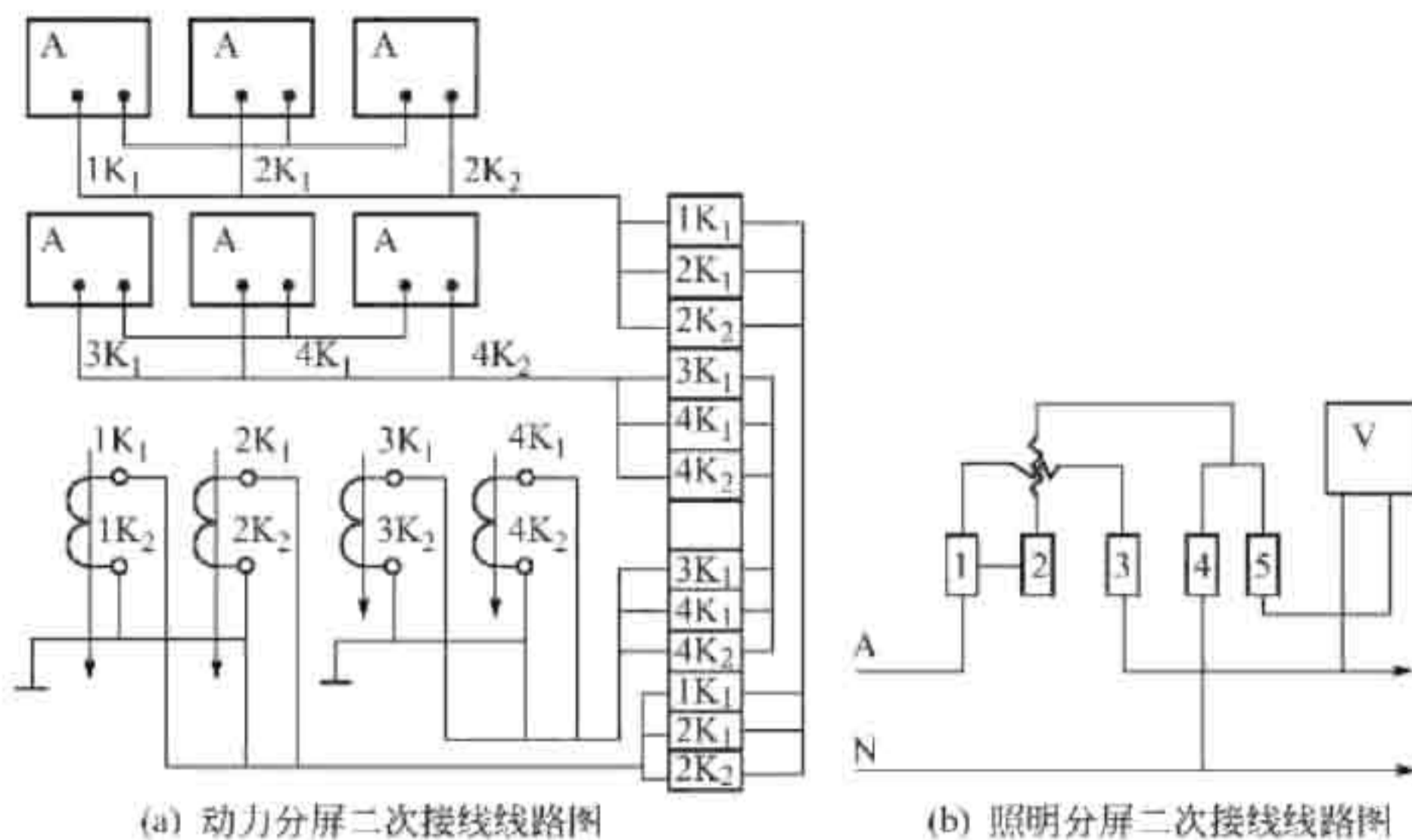


图 5-5 小型低压配电屏动力分屏和照明分屏二次接线线路图

在图 5-4 和图 5-5 中，电流表与电流互感器应该相匹配，电流表的读数就是电源线电流值。图中，三相电度表也应当与电流互感器相匹配，以确保电度表的读数就是电路有功电量值。图中，电压表的量程一定要大于被测电压值。小型低压配电屏二次接线线路电器元件明细表见表 5-2。

表 5-2 小型低压配电屏二次接线线路电器元件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	kWh	三相三线制有功电度表	DS15	3×380V,5A	1
2	V	交流电压表	ITI-V	500V	2
3	A	交流电流表	ITI-A	200/5	3
4	TA	电流互感器	QLG-0.5	200/5	2
5	TA <sub>1</sub> ~TA <sub>8</sub>	电流互感器	QLG-0.5	100/5	8
6	1FU~3FU	熔断器	RL1-15	熔芯 5A	3
7	4FU~6FU	熔断器	RL1-15	熔芯 15A	4
8	A	电流表	ITI-A	100/5	12
9	kWh	单相有功电度表	DS8	220V,40A	1
10	Hz	频率表	19D1-HZ	380V	1

## 5.2 普通中型低压配电屏接线线路

一般的单位变电所都配备中型低压配电屏。中型低压配电屏是由一块总配电屏和若干块分配电屏组成的。中型配电屏所带的负载回路用电量较大。下面介绍有六条动力回路和六条照明回路的中型低压配电屏。

中型低压配电总屏二次接线原理图如图 5-6 所示。由图 5-6 可见，第 1 块屏（左一）为总屏；第 2 块和第 3 块为动力分屏；第 4 块为照明分屏。总屏上有 3 块电流表、1 块电压表、1 块有功电度表、1 块无功电度表，还有 1 个刀闸开关和 1



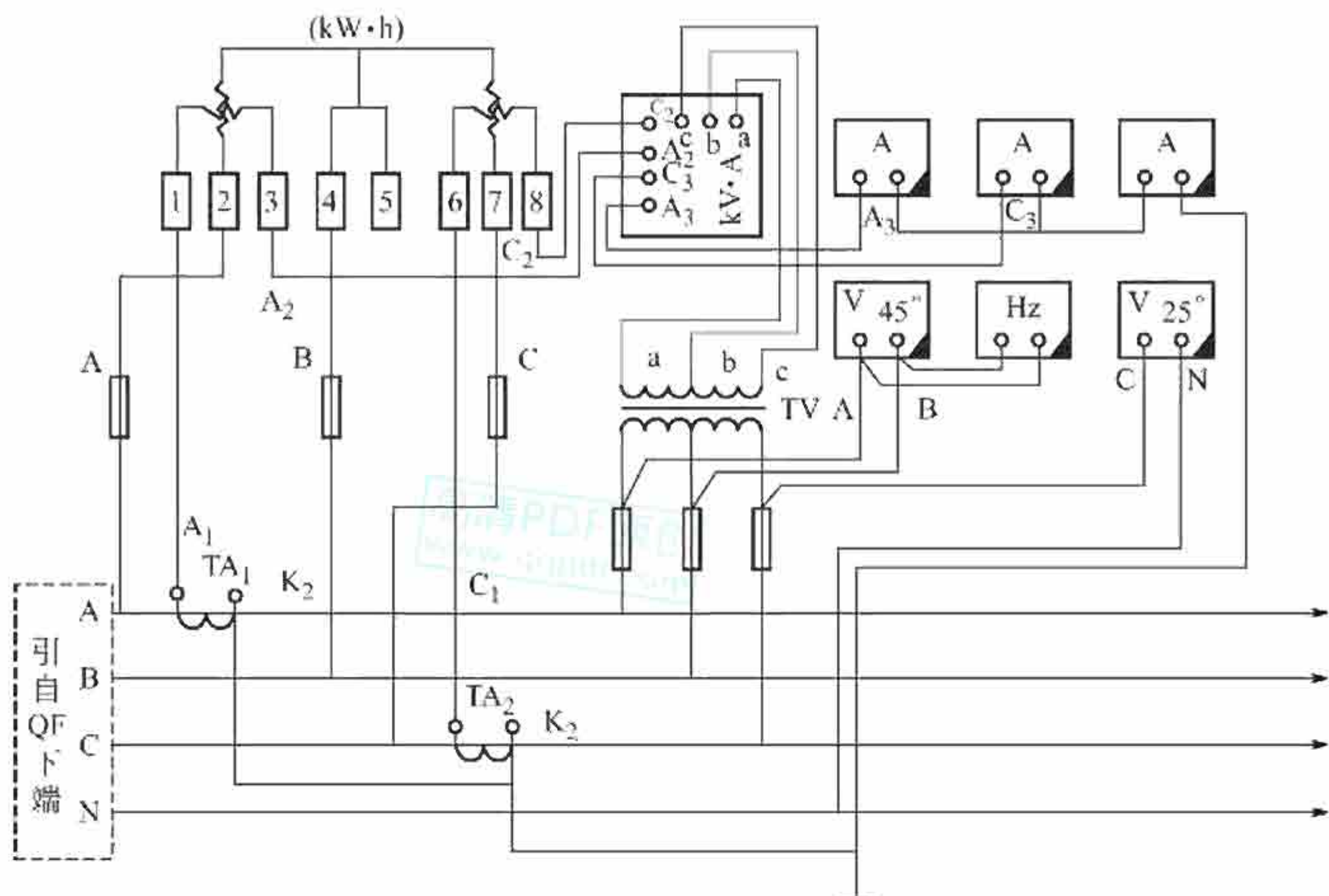


图 5-6 中型低压配电总屏二次接线原理图

个自动断路器。两块动力分屏上有 12 块电流表，有 4 个刀闸开关，4 个自动断路器。照明分屏上有 6 块电流表、2 个刀闸开关和 2 个自动断路器。

以上是普通中型低压配电屏常见的电器元件和仪表。至于每块配电屏还要增加些什么电器元件，需根据实际需要而定。

### 5.2.1 总屏和动力分屏二次接线

中型低压配电屏总屏二次接线图如图 5-7 所示。图 5-7 将总屏各仪表和控制元件的位置表示出来，它们之间的连线、布置已经表示得很清楚，这样的图通常称为接线图。中型低压配电屏总屏二次接线元器件明细见表 5-3。

表 5-3 中型低压配电屏总屏二次接线元器件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	kW·h	三相有功电度表	DS15	3×380V,5A	1
2	kV·A	三相无功电度表	IDI-W	100V/5A	1
3	TA <sub>1</sub> 、TA <sub>2</sub>	电流互感器	IQG-0.5	600/5	2
4	TV	电压互感器	JDG4-0.5	380V/100V	2
5	A	交流电流表	ITI-A	600/5	3
6	V	交流电压表	ITI-V	450V(或 500V)	1
7	Hz	频率表	19D1-HZ	380V	1
8	FU	熔断器	RL1-15	500V,熔芯 5A	6
9	V	交流电压表	ITI-V	250V	1

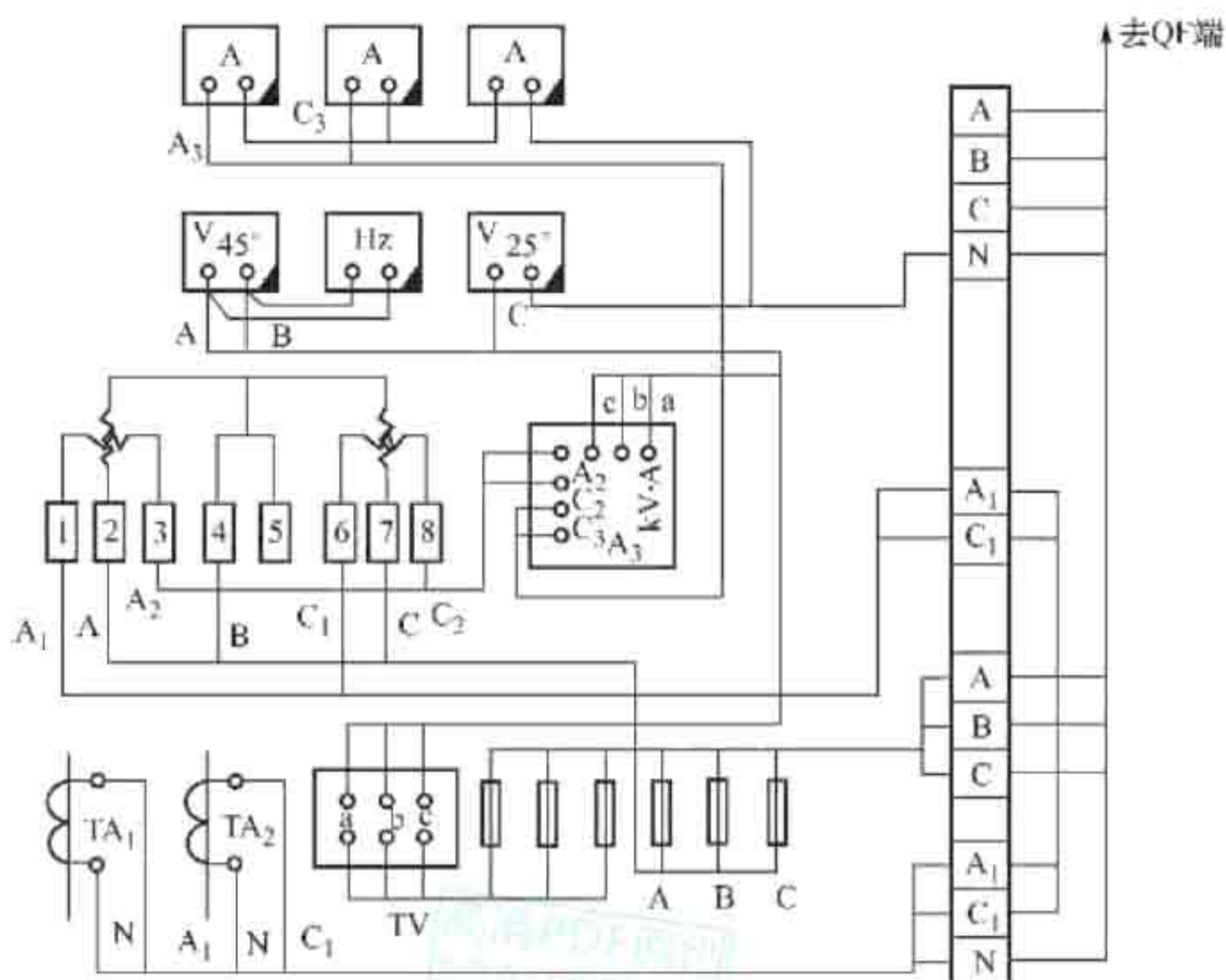


图 5-7 中型低压配电屏总屏二次接线图

如果中型低压配电屏总屏二次接线采用三相四线制接法，其二次接线原理图如图 5-8 所示，可按此线路进行接线（又称为配线）。

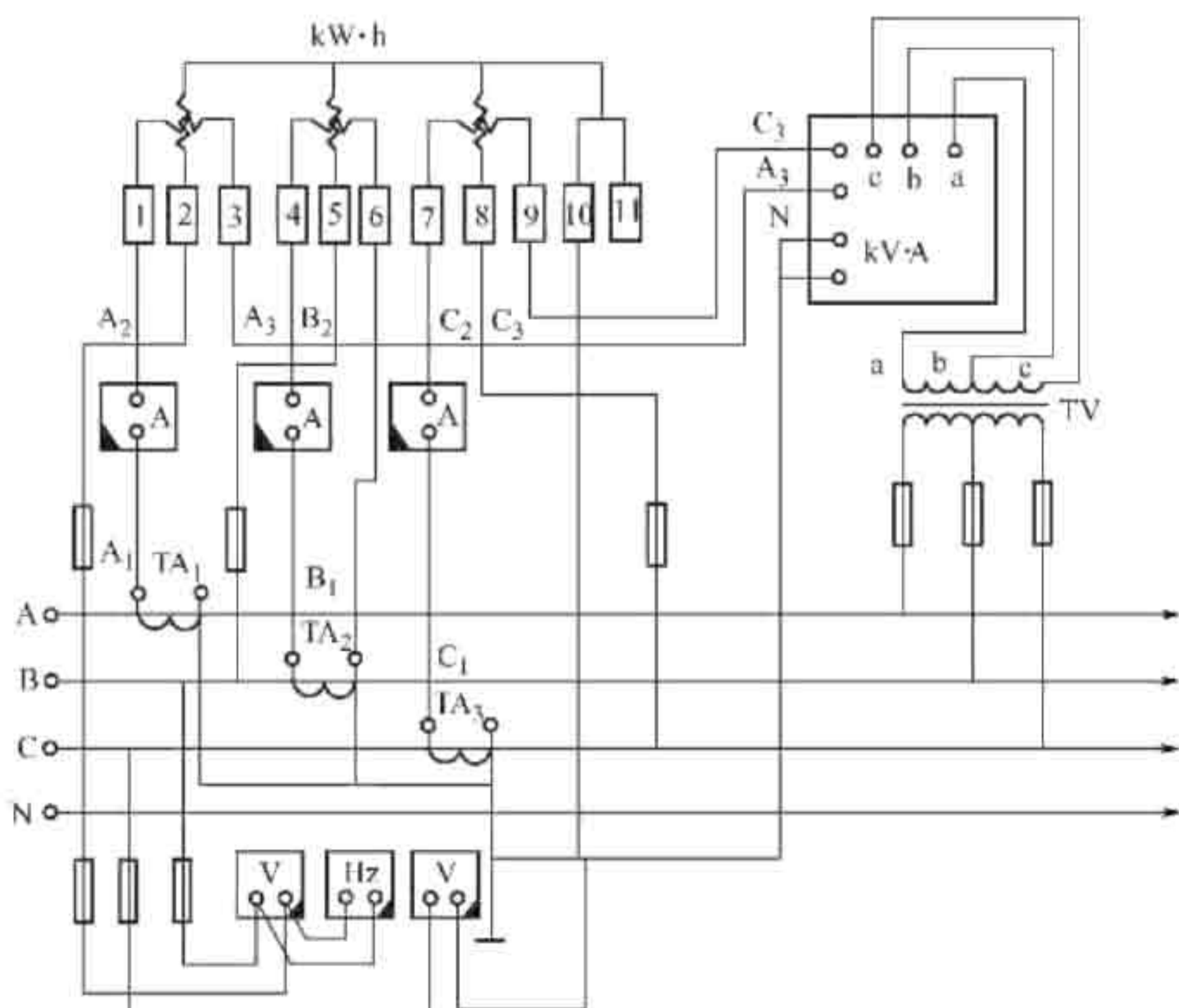


图 5-8 中型低压配电屏总屏三相四线制二次接线原理图

图 5-8 中元器件详细资料见表 5-4 所列。

表 5-4 总屏三相四线制二次接线线路元器件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	kW·h	三相四线制有功电度表		3×380V;200V,3×5A	1
2	kV·A	三相无功电度表	m-W	100V/5A	1
3	TA	电流互感器	LQG-0.5	600/5	3
4	TV	电压互感器	JDG4-0.5	380V/100V	2
5	A	交流电流表	m-A	600/5	3
6	V	交流电压表	m-V	500V	1
7	Hz	频率表	m-HZ	380V	1
8	FU	熔断器	RL1-15	500V 熔芯 5A	9
9	V	交流电压表	ⅢV	250V	1

### 5.2.2 中型低压配电屏动力分屏二次接线

中型低压配电屏动力分屏有六条回路，其中两条回路的二次接线图如图 5-9 所示，其他四条回路的二次接线与之完全相同。

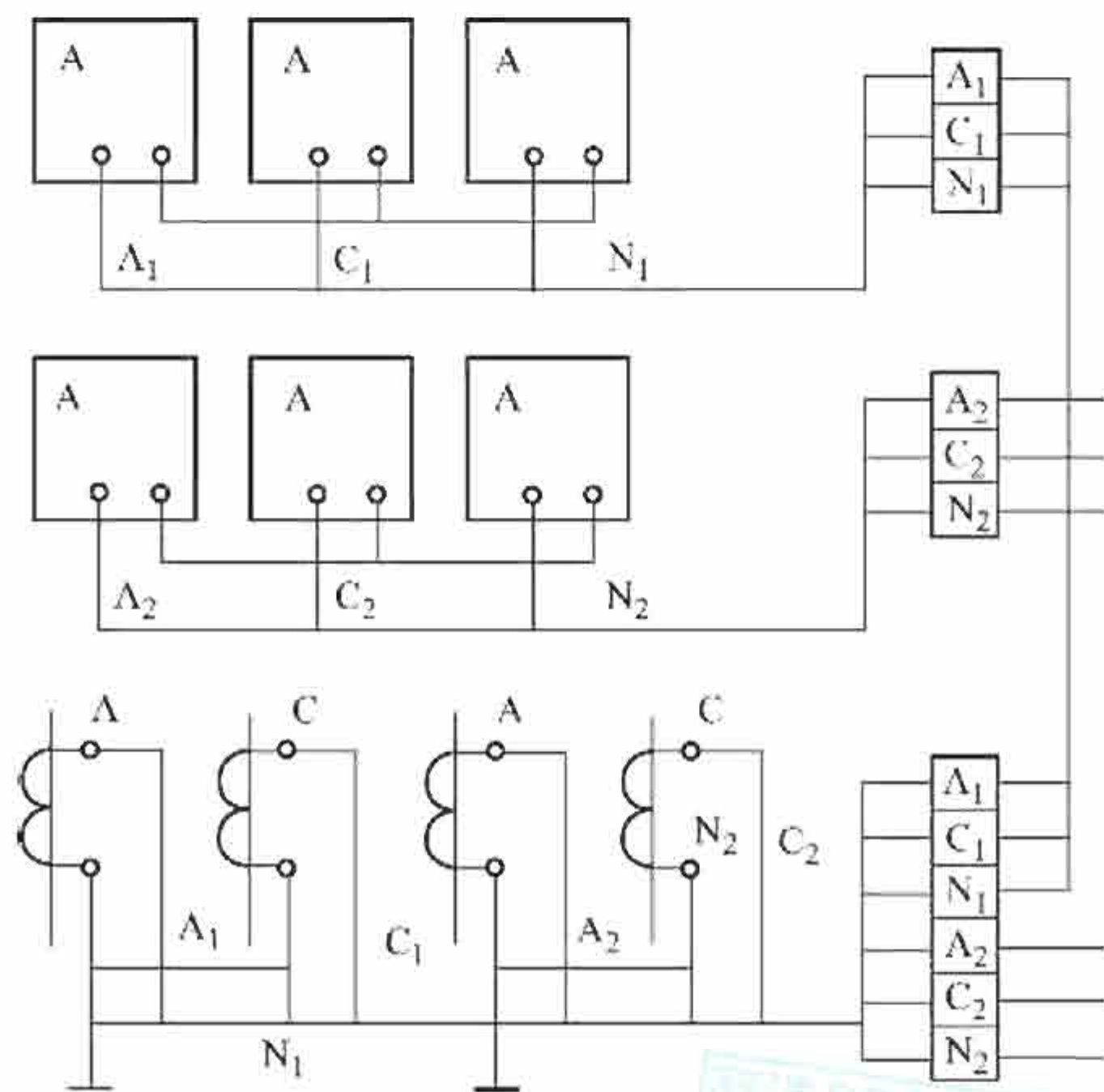


图 5-9 中型低压配电屏动力分屏二次接线图

动力分屏上的电流表与电流互感器应该相匹配，以便监视三相电源供电是否正常。

### 5.2.3 照明分屏一次接线

照明分屏一次接线线路和二次接线线路与动力分屏的一次、二次接线线路

不同。

照明分屏一次接线线路把三相电源平均分为若干条单相电源供电回路。这里介绍的普通中型低压配电屏的照明分屏有六条单相电源供电回路，如图 5-10 所示。

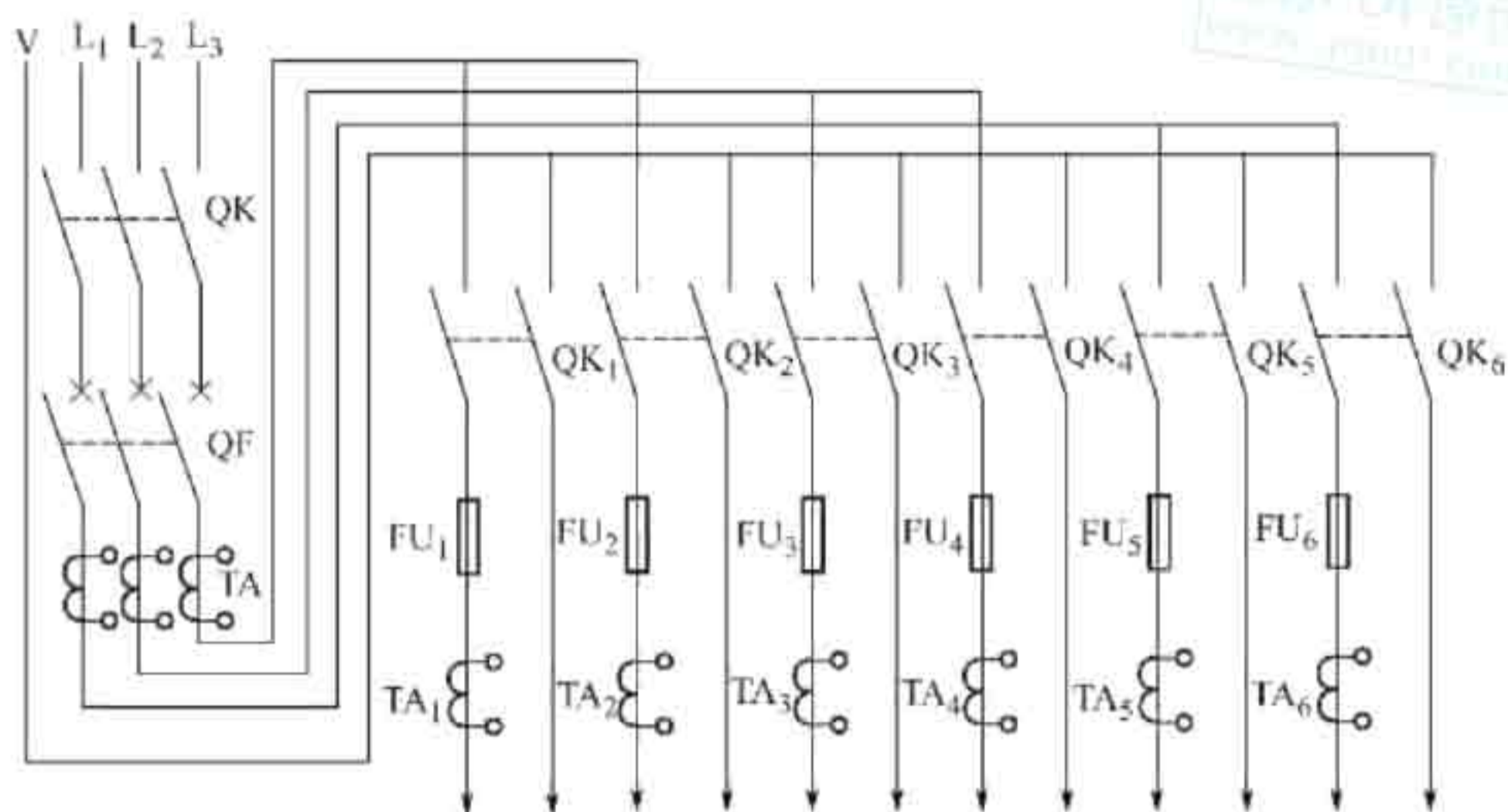


图 5-10 普通中型低压配电屏照明分屏一次接线图

由图 5-10 可见，照明分屏一次接线线路是很简单的，在线路中有总电源开关（三相刀开关 QK）、1 个自动断路器、9 个电流互感器、6 个双极刀开关和 6 个熔断器。

照明分屏的中性线（俗称零线）不允许接熔断器。对外引出的中性线要求抗拉能力强，以避免中性线断开，造成供电不正常故障。

#### 5.2.4 照明分屏二次接线

照明分屏的二次接线线路也是很简单的。它只需要接入 1 块三相四线制的有功电度表和 6 块电流表（每条回路 1 块电流表）。普通中型低压配电屏照明分屏二次接线图如图 5-11 所示。照明分屏接线线路中的元器件明细表见表 5-5。

表 5-5 照明分屏接线线路中的元器件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	QK	三极刀开关	HD3-150/3	500V, 150A	1
2	QF	自动断路器	DW10-150/3	500V, 150A	1
3	TA	电流互感器	LQG-0.5	200/5	3
4	FU <sub>1</sub> ~FU <sub>6</sub>	熔断器	RLJ-15	500V, 熔芯 20A	6
5	TA <sub>1</sub> ~TA <sub>6</sub>	电流互感器	LQG-0.5	100/5	6
6	QK~QK6	单相双极刀开关	HD2-30/2	500V, 30A	6
7	kWh	三相四线制有功电度表	DT2	3×380V, 220V, 5A	1
8	A	交流电流表	ITI-A	100/5	6

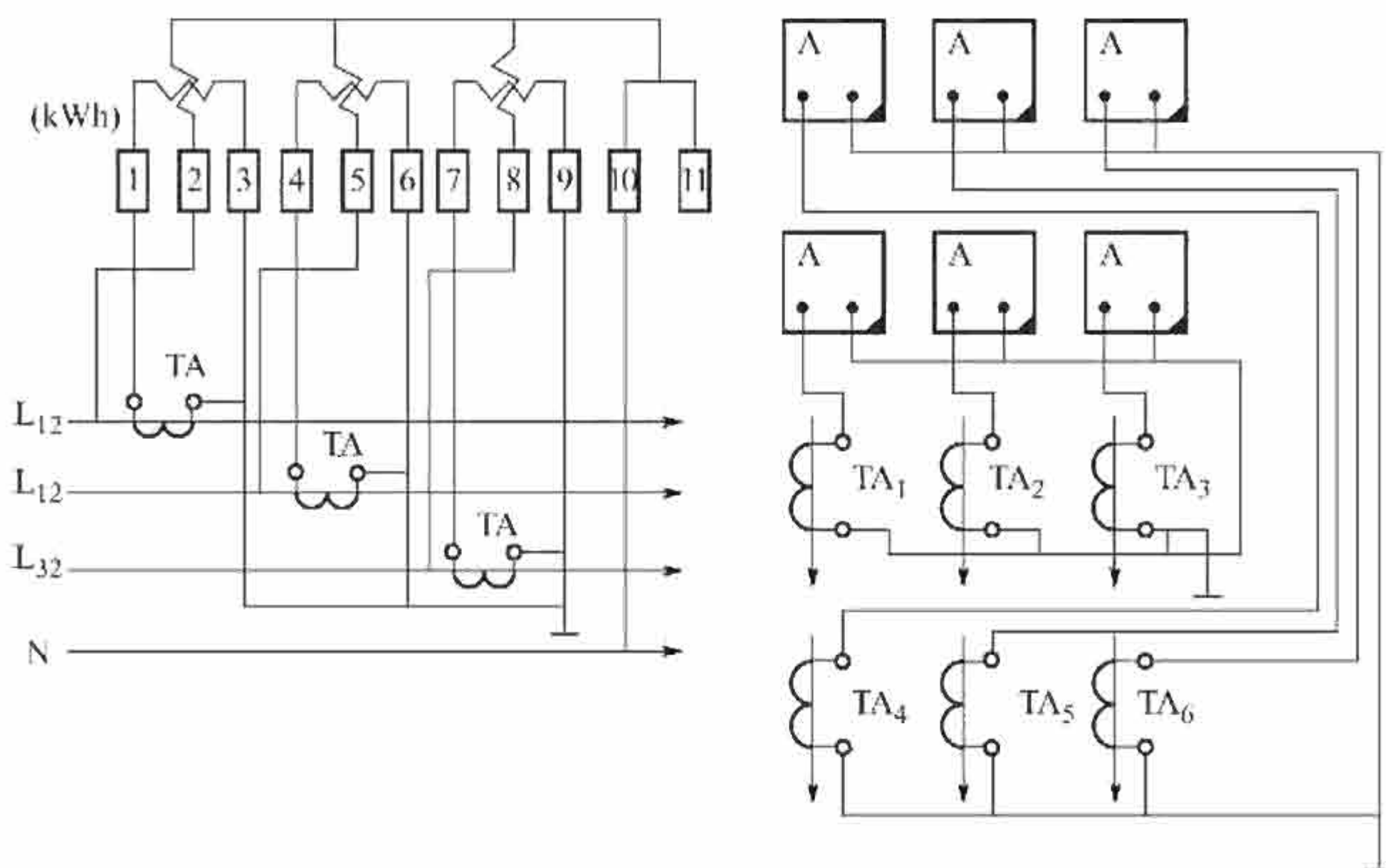


图 5-11 普通中型低压配电屏照明分屏二次接线图

### 5.3 普通大型低压配电屏接线线路

普通大型低压配电屏由一块或两块总屏和若干块分屏组成。整个配电屏的动力分屏和照明分屏回路较多，供电电流大，用电量大。

普通大型低压配电屏是由一块总屏、两块动力分屏、两块照明分屏组成的。每块动力分屏有四条回路；每块照明分屏有一条总回路，总回路再分为四条分回路。

整个配电屏上安装了 11 个刀开关、11 个自动断路器、8 个双极开关，还安装了交流电流表、电压表、有功电度表、无功电度表、频率表、电流互感器、电压互感器等元件。普通大型低压配电屏面板示意图如图 5-12 所示。

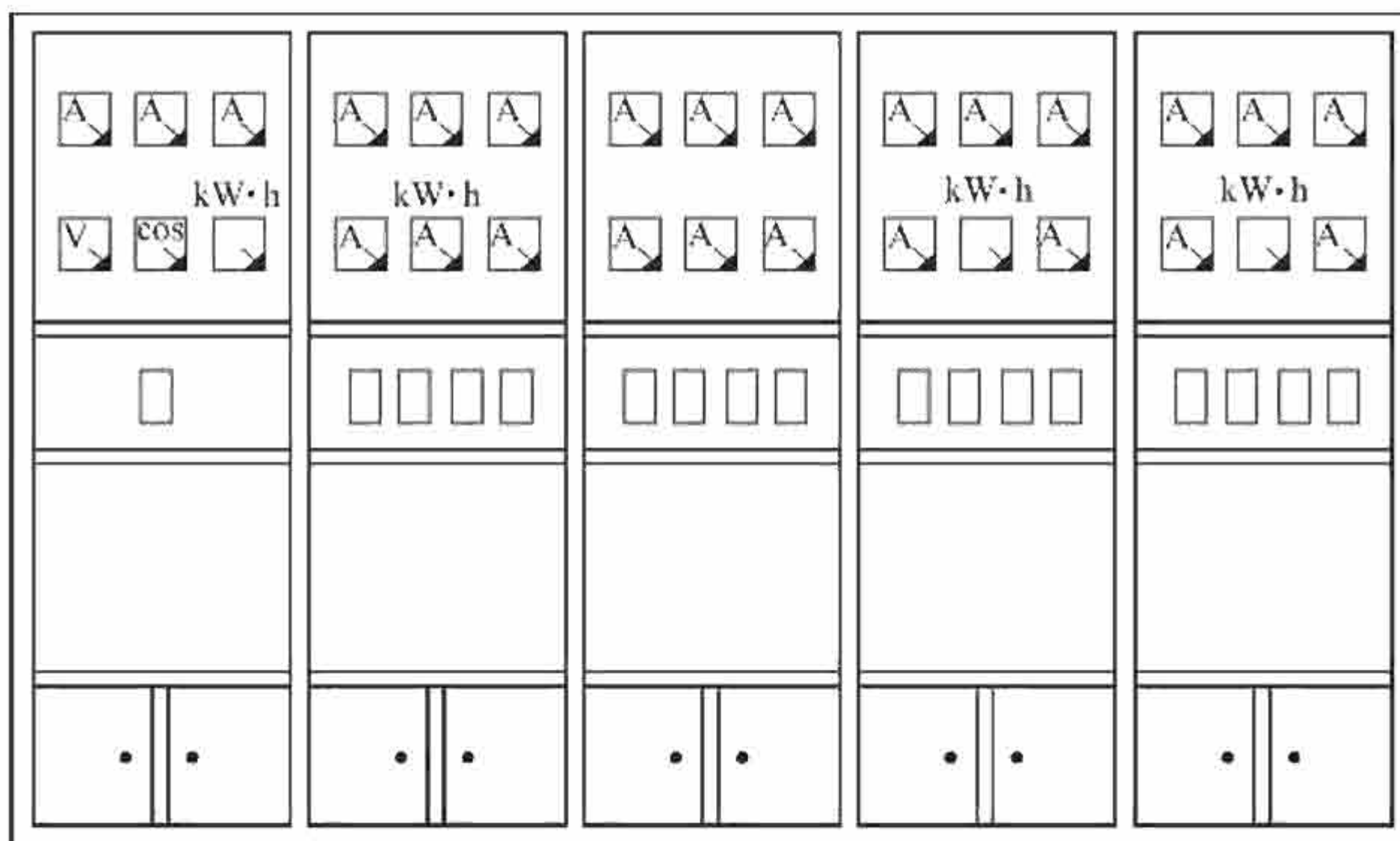


图 5-12 普通大型低压配电屏面板示意图

### 5.3.1 大型低压配电屏一次接线线路

普通大型低压配电屏一次接线线路图如图 5-13 所示。在图 5-13 中,总屏的电源线引自变压器的低压边(副边)。电源线经过 QK 和 QF 之后送到动力分屏和照明分屏。动力分屏的八条回路和照明分屏的两条总回路已经画出,照明分屏上的分回路没有画出来。有关照明分屏的一次接线线路另外介绍。普通大型低压配电屏一次接线线路元器件明细见表 5-6 所列。

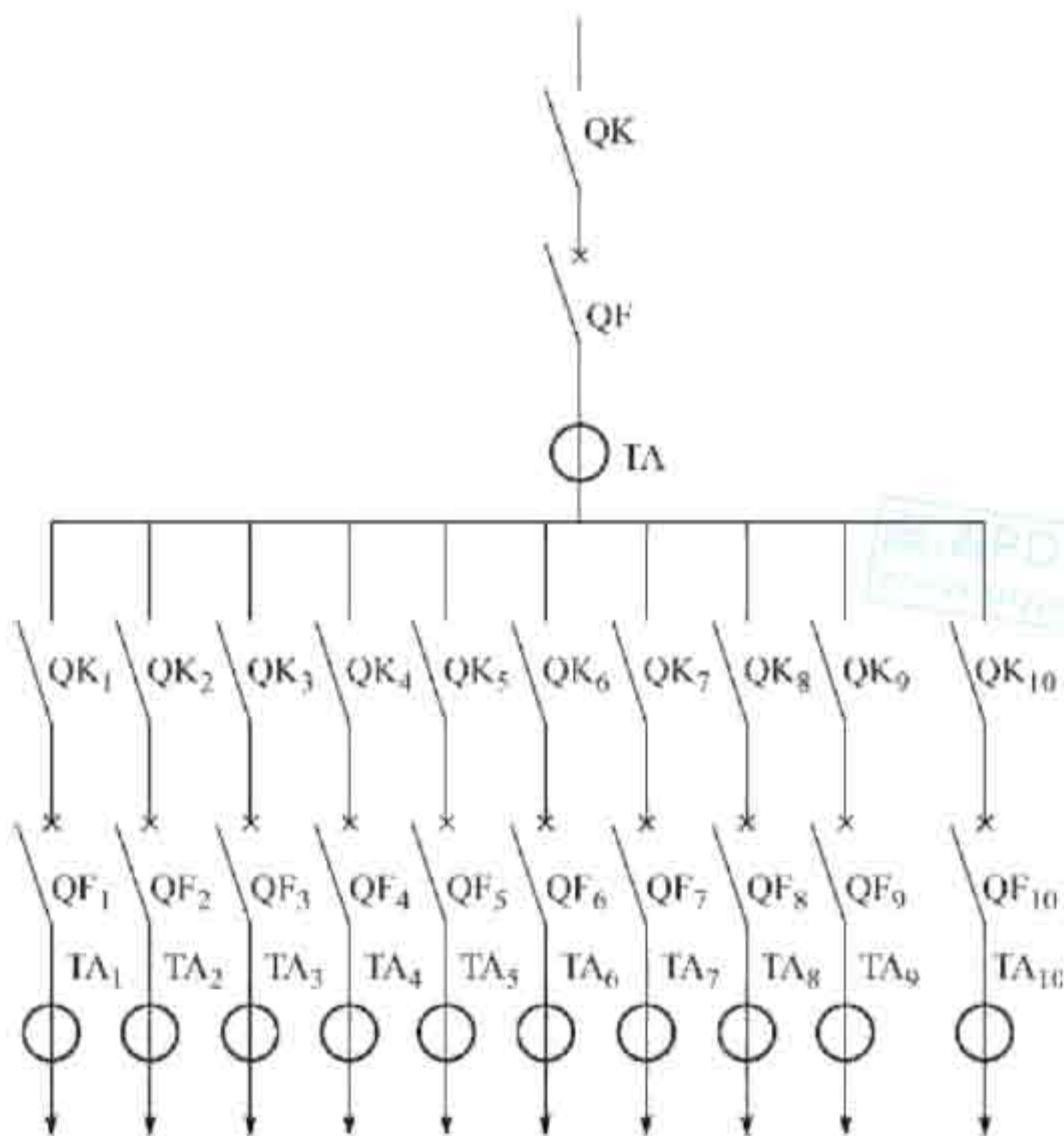


图 5-13 普通大型低压配电屏一次接线线路图

表 5-6 普通大型低压配电屏一次接线线路元器件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	QK	刀开关	HD13-1000/3	500V,1000A	1
2	QF	自动断路器	DW10-1000/3	500V,1000A	1
3	TA	电流互感器	LQG-0.5	1000/5	3
4	QK <sub>1</sub> 、QK <sub>2</sub>	刀开关	HD13-400/3	500V,400A	2
5	QK <sub>3</sub> ~QK <sub>10</sub>	刀开关	HD13-200/3	500V,200A	8
6	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>	自动断路器	DW10-400/3	500V,400A	2
7	QF <sub>3</sub> ~QF <sub>10</sub>	自动断路器	DW10-200/3	500V,200A	8
8	TA <sub>1</sub> 、TA <sub>2</sub>	电流互感器	LQG-0.5	200/5	4
9	TA <sub>3</sub> ~TA <sub>8</sub>	电流互感器	LQG-0.5	100/5	12
10	TA <sub>9</sub> 、TA <sub>10</sub>	电流互感器	LQG-0.5	100/5	6

### 5.3.2 总屏二次接线线路

总屏二次接线线路中有3块电流表、1块电压表、1块有功电度表、1块无功电度表、1块频率表。普通大型低压配电屏总屏二次接线原理图如图5-14所示。普通大型低压配电屏总屏二次接线图如图5-15所示。总屏二次接线线路中元件明细如表5-7所列。

表 5-7 总屏二次接线线路中元器件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	kW·h	三相四线制用有功电度表	DT2	3×380V,220V,5A	1
2	kV·A	无功电度表	IDI-W	100V/5A	1
3	TA	电流互感器	LMZ-0.5	1000/5	3
4	TV	电压互感器	JDG4-0.5	380V/100V	2
5	A	交流电流表	ITI-A	1000/5	3
6	V	交流电压表	ITI-V	0~500V	1
7	cosφ	功率因数表	IDI-cosφ	100/5	1
8	QCV	电压换相开关	XH1-V	500V	1
9	FU <sub>1</sub>	熔断器	RLI-15	500V,熔芯 5A	3
10	FU <sub>2</sub>	熔断器	RLI-15	500V,熔芯 5A	3

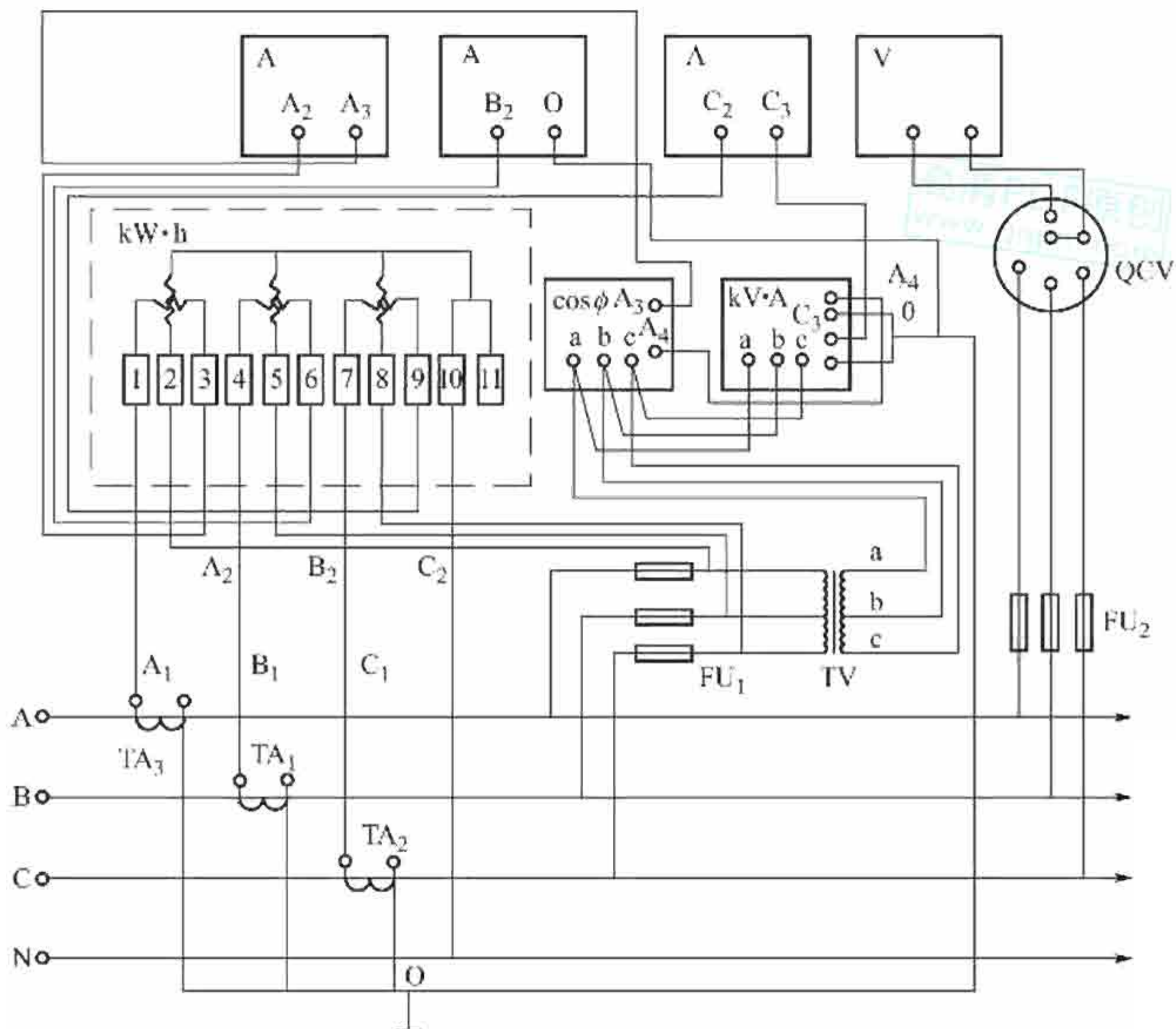


图 5-14 普通大型低压配电屏总屏二次接线原理图

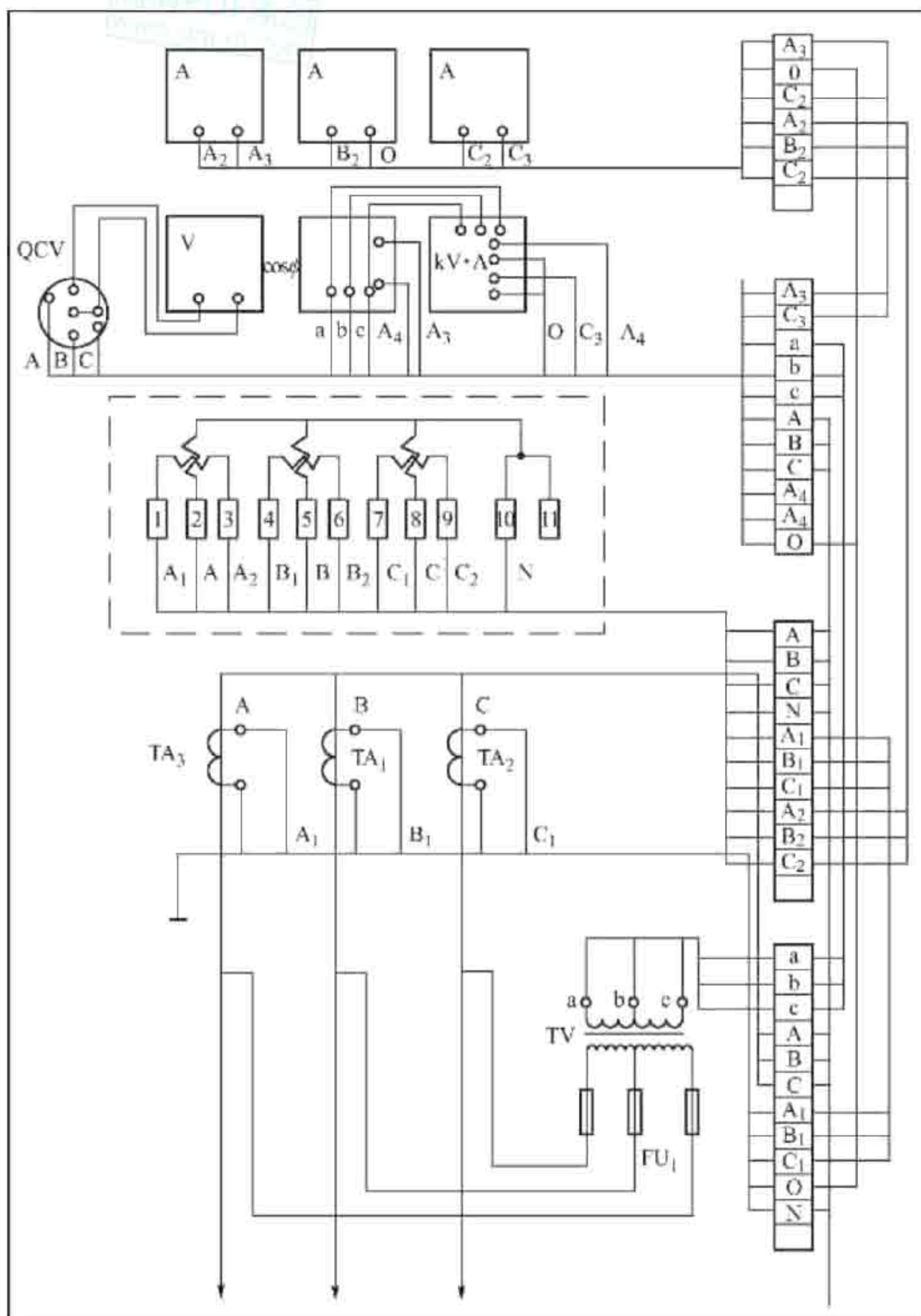


图 5-15 普通大型低压配电屏总屏二次接线图

在总屏二次接线时有两点必须注意：第 1 点，仪表与电流互感器和电压互感器要匹配，使仪表读数为线路电压、电流、电量的实际数值；第 2 点，要处理好铜、铝接线。

### 5.3.3 动力分屏二次接线线路

动力分屏接线线路有 8 条回路，因为 8 条回路一次接线和二次接线方法相同，所以只画出其中两条回路接线加以说明，则可以得出动力分屏其他回路二次接线的方法。普通大型低压配电屏动力分屏中两条回路二次接线图如图 5-16 所示。



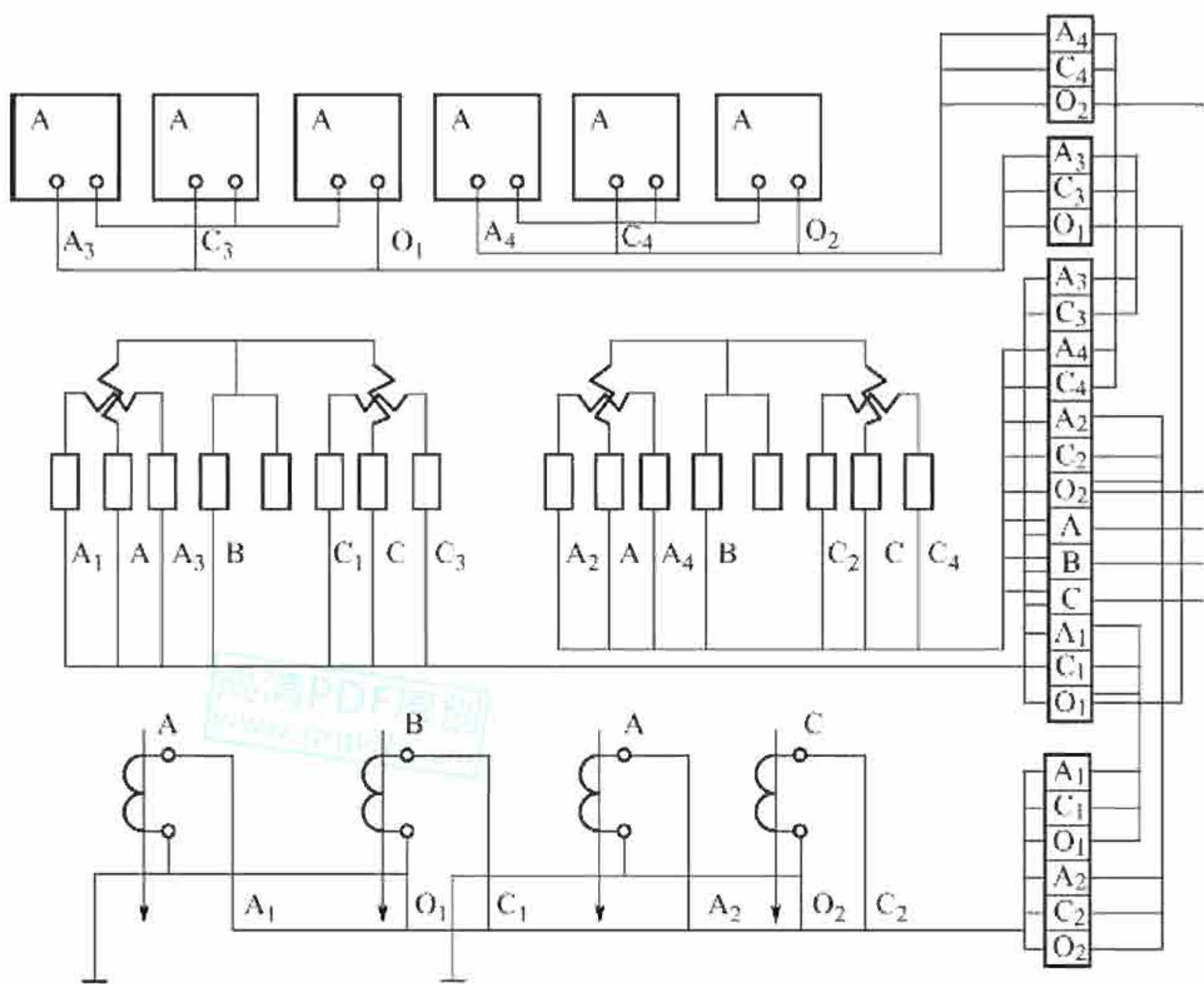


图 5-16 普通大型低压配电屏动力分屏两条回路二次接线图

由图 5-16 可见，动力分屏上的每条回路中都有 1 块有功电度表、3 块电流表、2 个电流互感器。电度表和电流表应该与电流互感器相匹配，若在接线时电流表和电度表与电流互感器不匹配，则仪表读数转换后才能反映线路电流和用电量的真实值，例如仪表读数为 100，即 1 : 1，则读数乘以电流互感器倍率，才是电路电流和用电量的实际数值。

### 5.3.4 照明分屏的一次接线与二次接线线路

普通大型低压配电屏的照明分屏有两块，每块照明分屏上有 1 条主回路，下分

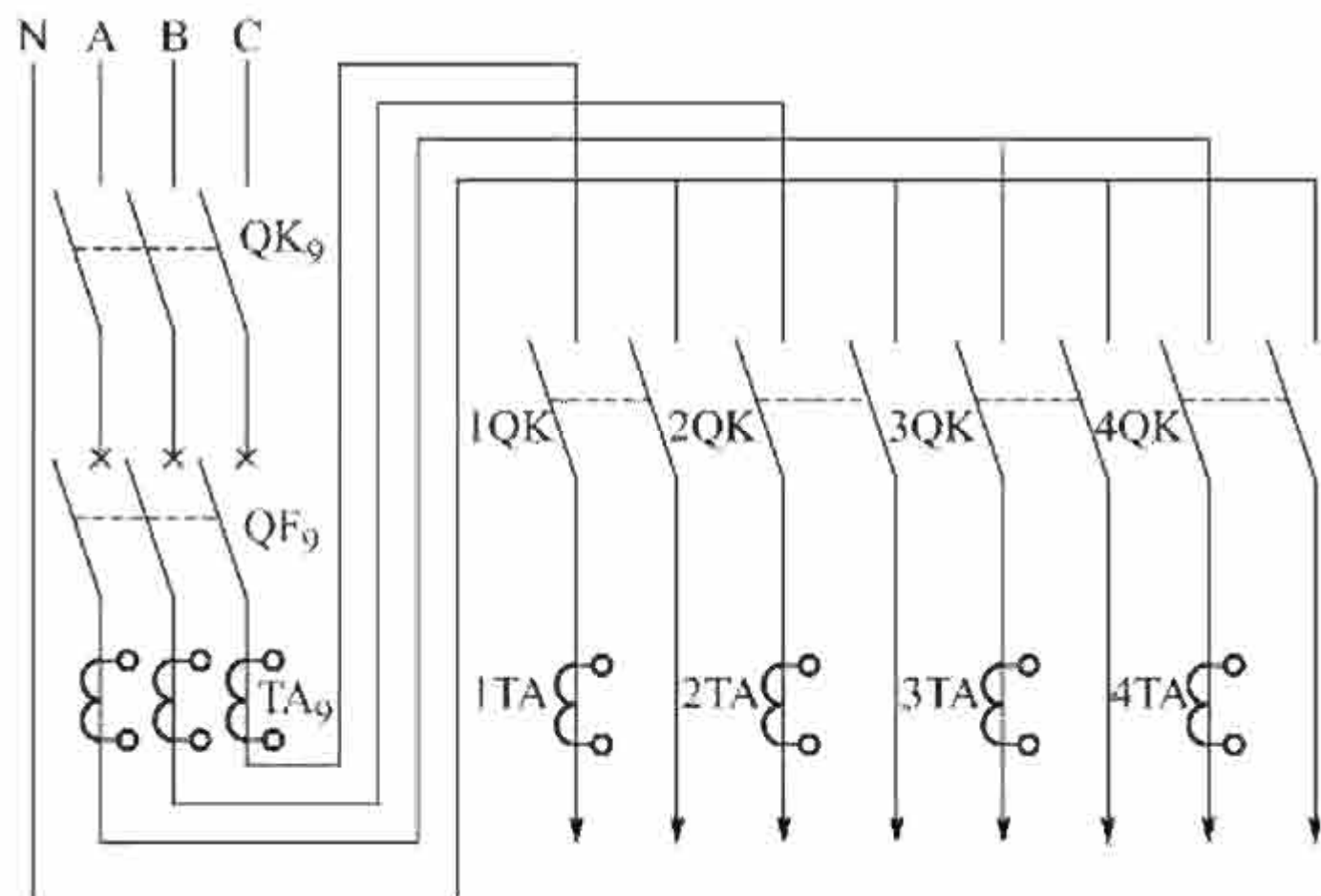


图 5-17 普通大型低压配电屏照明分屏一次接线线路图

4条分回路。两块照明分屏的一次接线和二次接线完全相同，只画出一块照明分屏的一次接线线路和二次接线线路，另一块照明配电屏的一次和二次接线线路省略不画。普通大型低压配电屏照明分屏一次接线线路图如图5-17所示。

## 5.4 信号电路图

信号电路用来指示一次电路的工作状态和一次设备的运行情况。

在6~10kV变配电所中，按信号电路的不同用途，常用的有位置信号、事故信号和预告信号三种。

### 5.4.1 位置信号

位置信号用来显示断路器或隔离开关的正常工作位置状态，一般用绿灯亮表示电源有电及断路器、隔离开关在分闸位置；用红灯亮表示断路器或隔离开关在合闸位置。

### 5.4.2 事故信号

事故信号用来显示运行设备在电路发生事故时的工作状态。当运行设备发生故障、继电保护，使断路器分闸时，绿灯闪光，继电器的“掉牌未复归”光字牌亮，同时由事故信号声响装置，即蜂鸣器立即发出声响；当断路器自动故障合闸时，红灯闪光，同时光字牌亮，蜂鸣器立即发出声响。

### 5.4.3 预告信号

预告信号用于一次设备出现不正常运行状态或故障初期时发出报警信号，例如，中性点不接地的电力系统发生单相接地故障时，我国相关规程规定，可允许继续运行2h，但必须同时通过系统中装设的单相接地保护或绝缘监察装置发出报警信号或指示，以提醒值班人员注意，并由运行维修人员立即采取措施，查找和消除接地故障，超过2h，若单相接地故障仍未消除，则应将此故障线路切除；又如，电力变压器过负荷、瓦斯体动作等异常状态时，预告信号装置光字牌亮，警铃发出声响，在声响发出后，应手动或自动及时切断声响回路，使声响解除，以免干扰值班人员及运行维修人员处理故障，但光字牌显示仍应保留，直到异常状态消除为止。

### 5.4.4 图例分析

#### 5.4.4.1 采用手动操动机构的断路器交流控制电路及其信号系统

如图5-18所示，图中，WC为控制小母线，WS为信号小母线，HLG为绿色指示灯，HLR为红色指示灯， $R_1$ 、 $R_2$ 为限流电阻，YR为跳闸线圈（脱扣器），

QF<sub>1</sub> ~ QF<sub>6</sub> 为断路器辅助触点, QM 为手动操动机构辅助触点。断路器 QF 未合闸而电源有电时, 绿色指示灯 HLG 经限流电阻 R<sub>1</sub> 及动断触点 QF (1-2) 构成回路, HLG 灯亮; 当 QF 合闸时, 断路器动合触点 QF (3-4) 闭合, 红色指示灯 HLR 经电阻 R<sub>2</sub>、QF (3-4) 及跳闸线圈 YR 构成回路, HLR 灯亮, 与此同时 QF (1-2) 断开, HLG 灯灭。由于电阻 R<sub>2</sub> 有限流作用, 所以 YR 虽通电, 但不会使 QF 跳闸。当一次电路发生短路故障时, 电流继电器 KA 触点闭合, 经 QF (3-4) 和 YR 构成回路, YR 使断路器跳闸, QF (1-2) 闭合, HLG 亮, 红灯 HLR 灭。

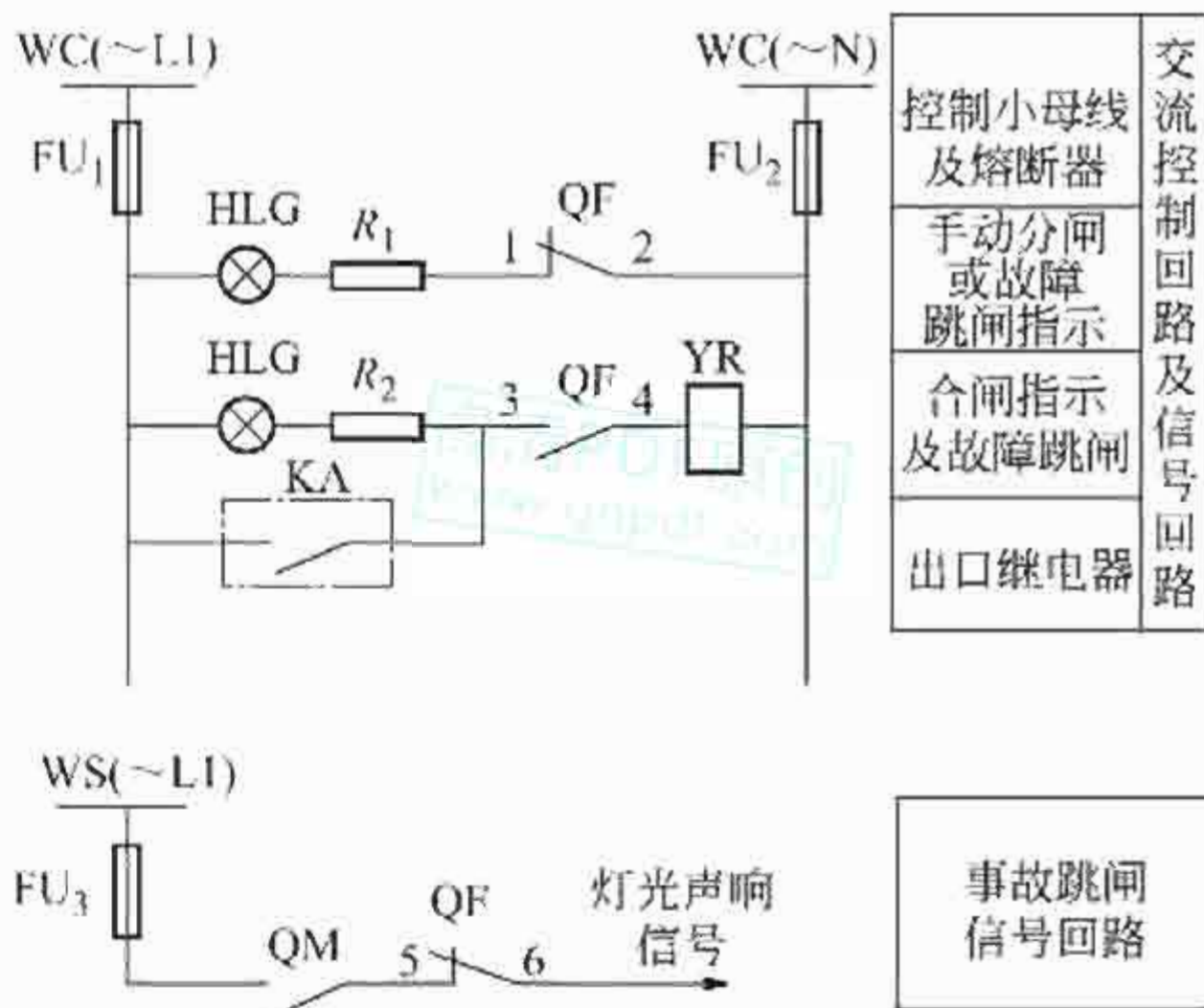


图 5-18 采用手动操动机构的断路器

交流控制电路及其信号系统

#### 5.4.4.2 断路器事故跳闸直流信号电路

如图 5-19 所示, WS 为信号小母线, HA 为蜂鸣器, SA 为控制开关, KM 为中间继电器, SB<sub>1</sub> 为声响试验按钮, SB<sub>2</sub> 为声响解除按钮。当断路器事故跳闸时, 其

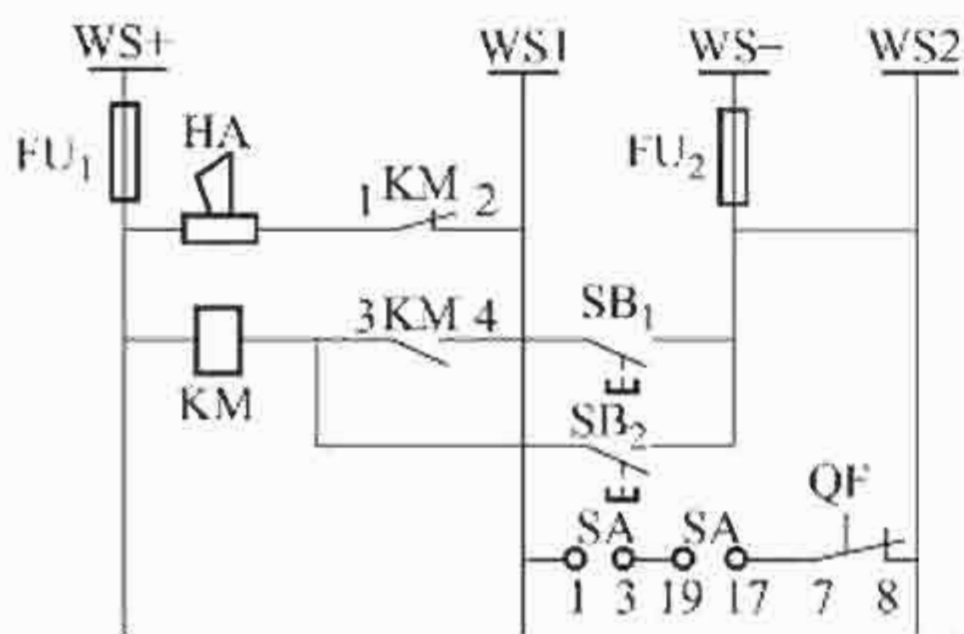


图 5-19 断路器事故跳闸直流信号电路

辅助动断触点 QF (7-8) 闭合, 蜂鸣器 HA 经中间继电器动断触点 KM (1-2)、控制开关 SA 的两对触点、QF (7-8) 及熔断器 FU<sub>2</sub> 构成闭合回路, 发出声响信号; 按下声响解除按钮 SB<sub>2</sub>, 中间继电器 KM 线圈通电, 其动合触点 KM (3-4) 闭合, 并经 SA、QF (7-8) 及 FU<sub>2</sub> 回路自锁, 而动断触点 KM (1-2) 断开, 蜂鸣器 HA 回路被切断, 声响解除。

## 第6章 常用电气控制电路图识读

通过本章的介绍，可以基本掌握电气控制系统原理图的基本组成，掌握电力拖动系统的启动、反向运行、制动、调速和保护等基本控制环节，熟悉工厂常用机床控制电路图。

### 6.1 工厂常用电气控制电路

工厂电气控制系统中的电气控制电路是由各种电器，如接触器、继电器、按钮、开关等组成的，这些电器的组合能实现电力拖动系统的启动、制动、反向运行、调速和保护等功能。在各类工厂中，尽管控制系统中采用许多新技术，但多是由基本电气控制环节组合而成的。因此，对于电气控制电路图，只要了解其绘制依据，熟悉电气控制电路图的基本组成，找出其典型电路，然后加以分析、研究，就很容易弄清整个电路的工作原理。

#### 6.1.1 工厂常用电气控制电路图概述

在工厂电气控制系统中，常见的电气控制电路图主要有三种形式，即电气原理图、接线图和安装图。

##### (1) 电气原理图

工厂中的电气原理图用来表示机床和其他机械装置的动作原理，不表示电器元件的实际结构尺寸、安装位置和实际的接配线方法。电气原理图能够清晰地反映出控制电器和负载的相互关系，以及电气动作原理。电气原理图是绘制安装图和接线图的基本依据，在调试和寻找故障时有重要作用。

工厂中的常见机床控制系统，其电气原理图的绘制特点是将主电路和辅助电路分开绘制。一般把交流电源和起拖动作用的电动机之间的电路称为主电路，它由电源开关、熔断器、热继电器的热元件、接触器的主触点、电动机以及其他按要求配置的启动电器等电器元件连接而成。一般主电路中通过的电流较大，其结构形式和所使用的电器元件大同小异。除了主电路以外的电路称为辅助电路，其主要作用是通过主电路对电动机实施一系列预定的控制。辅助电路的结构和组成元件随控制要求的不同而变化，辅助电路中通过的电流一般较小（在5A以下）。

主电路用粗实线画在辅助电路的左侧或上部，辅助电路用细实线画在主电路的右侧或下部，例如接触器的主触点、热继电器的发热元件画在主电路中，而将接触器的线圈和辅助触点、热继电器的动断触点画在辅助电路中。有时接触器的线圈和

辅助触点也可能不画在一起。但是, 这些电器元件(如接触器主触点、线圈、辅助触点等)会用同一项目代号标明。因此, 看图时要注意: 无论主电路或辅助电路, 凡标有相同项目代号的就是同一个电器元件。电路图中的开关、接触器和继电器的触点都是按照正常状态, 即没有电压、电流以及外力作用的情况绘制的。

### (2) 接线图

接线图是电气原理图具体的实现形式, 可直接用于安装配线, 现场中常被称为电气安装接线图。电气安装接线图只表示电器元件的安装位置、实际配线方式, 而不明确表示电路原理和电器元件间的控制关系。接线图的特点是所有电气

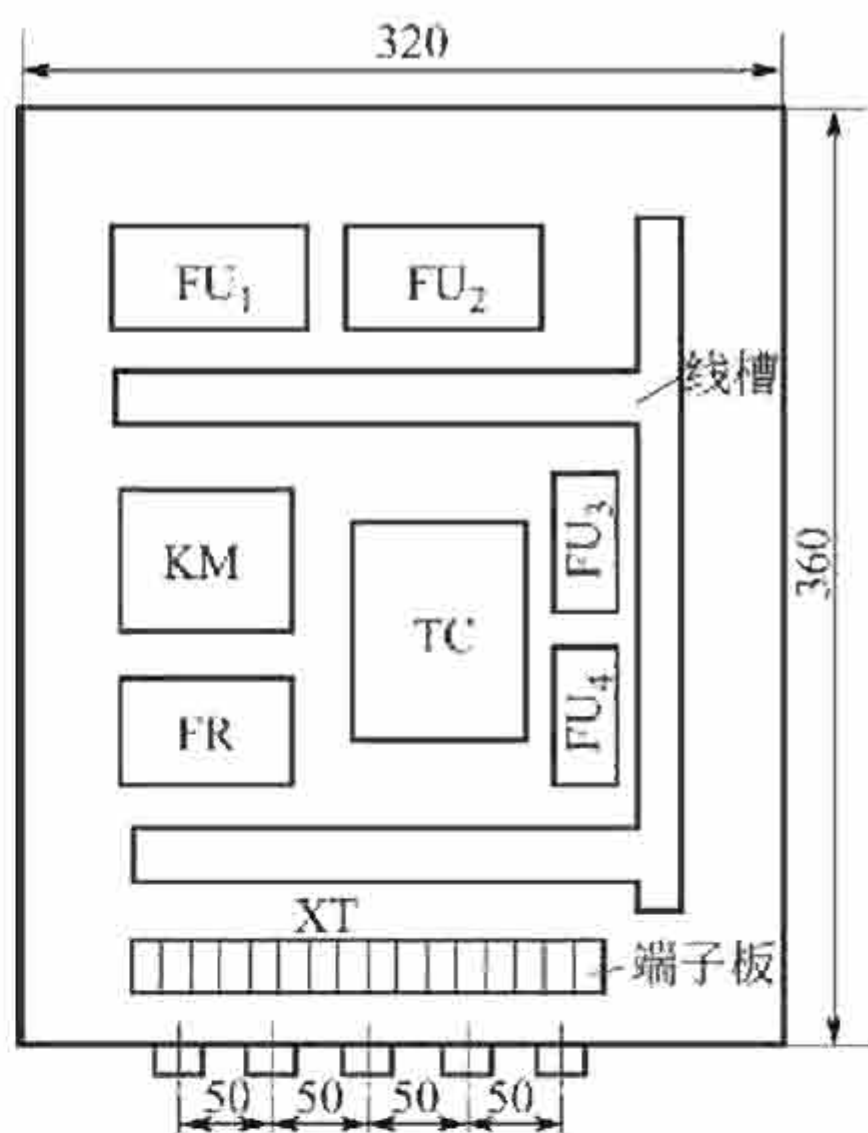


图 6-1 某机床的安装图

设备和电器元件按其所在的实际位置绘制在图纸上, 如接触器或继电器的线圈、主触点和辅助触点是按照实际元器件的结构画在一起的, 再用短长线或虚线框起来, 这样来表示它们是一个电器元件, 图中每个电器元件均用同一项目代号标注。

### (3) 安装图

安装图用来表示电气设备和电器元件的实际安装位置, 是生产机械电气控制设备制造、安装和维修必不可少的技术文件。安装图可集中画在一张图上, 或将控制柜、操作台的电器元件布置图分别画出, 但图中各电器元件的项目代号应与相关原理图和元器件清单上的项目代号相同。在安装图中, 机械设备轮廓是用双点划线画出的。所有可见的和需要表达清楚的电器元件及设备, 用粗实线绘出其简单的外形轮廓, 其中电器元件不需标注尺寸。安装图的识读比较简单, 图 6-1 所示为某机床的安装图。

## 6.1.2 工厂常用电路图的规定

### (1) 电气原理图的电气常态位置

在识读电气原理图时, 一定要注意图中所有电器元件的可动部分通常表示的是在电器非激励或不工作时的状态和位置, 即常态位置。常见器件的常态位置规定如下。

- a. 继电器和接触器的线圈处在非激励状态。
- b. 断路器和隔离开关在断开位置。
- c. 零位操作的手动控制开关在零位状态, 不带零位的手动控制开关在图中规定的位置。
- d. 机械操作开关和按钮在非工作状态或不受力状态。
- e. 保护用电器处在设备正常工作状态。

## (2) 电气原理图中连接端上的标志和编号

在电气原理图中，三相交流电源的引入线采用 L1、L2、L3 来标记，中性线以 N 表示。电源开关之后的三相交流电源主电路分别按 U、V、W 顺序标志，分级三相交流电源主电路采用文字代号 U、V、W 的前面加阿拉伯数字 1、2、3 来标记，如 1U、1V、1W 及 2U、2V、2W 等。电动机定子三相绕组首端分别用 U、V、W 标记，尾端分别用 U'、V'、W' 标记。双绕组的中点则用 U''、V''、W'' 标记。

## (3) 电气原理图中的其他规定

在设计和施工图中，主电路部分以粗实线绘出，辅助电路则以细实线绘制。完整的电气原理图还应标明主要电器的有关技术参数和用途，例如电动机应标明用途、型号、额定功率、额定电压、额定电流、额定转速等。根据电气原理图的简易或复杂程度，既可完整地画在一起，也可按功能分块绘制，但整个电路的连接端统一用字母、数字加以标志，这样可方便地查找和分析其相互关系。

### 6.1.3 工厂电气原理图的识读

识读电气原理图的一般方法是先看主电路，再看辅助电路，并通过辅助电路来分析主电路的控制程序。

#### 6.1.3.1 识读主电路的方法及步骤

① 研究受控电器元件或部件。受控电器元件或部件是控制系统的核心器件，识读电气图时首先要看清楚这些器件的类别、用途、接线方式、特殊要求等。以电动机为例，从类别上讲，有交流电动机和直流电动机之分；而交流电动机又有异步电动机和同步电动机之分；异步电动机又分为笼型异步电动机和绕线转子型异步电动机。

从用途来讲，有的电动机带动机械主轴，有的电动机带动冷却液泵。

② 研究受控电器元件是怎样控制的。控制电器元件的方法很多，有的直接用开关控制，有的用接触器或继电器控制，有的用各种启动器控制。

③ 研究电源。主要研究电源电压和供电方式，电源电压是 380V 还是 220V；供电方式是交流电还是直流电。交流电一般由母线汇流排或配电柜供电，直流电一般由直流发电机直接供电。

#### 6.1.3.2 识读辅助电路的方法步骤

① 研究电源。要搞清楚辅助电路电源的种类（是交流电还是直流电）、电源是从什么地方接来的，以及电压等级。通常辅助电路的电源是从主电路的两根相线上接来的，其电压为 380V；如果是从主电路的一根相线和中性线上接来的，电压就是单相 220V；如果是从控制变压器上接来的，常用电压为 36V。当辅助电源为直流电时，其电压一般为 24V、12V、6V 等。

② 看辅助电路是如何控制主电路的。在电路图中，整个辅助电路可以看成是一个大回路，习惯上称为二次回路。这个大回路又可分成几个具有独立性的小回

路，每个小回路控制一个功能动作。当某个小回路形成闭合回路时，控制主电路的电器元件（如接触器或继电器）就有动作，接通或断开。

③ 研究电器元件之间的相互关系和线路走向、作用。电路中电器元件之间的相互关系不仅表现在同一回路中，有时还表现在不同的几个回路中，这就是控制电路中的电气联锁。

图 6-2 所示为某机床电气控制系统的电气原理图。

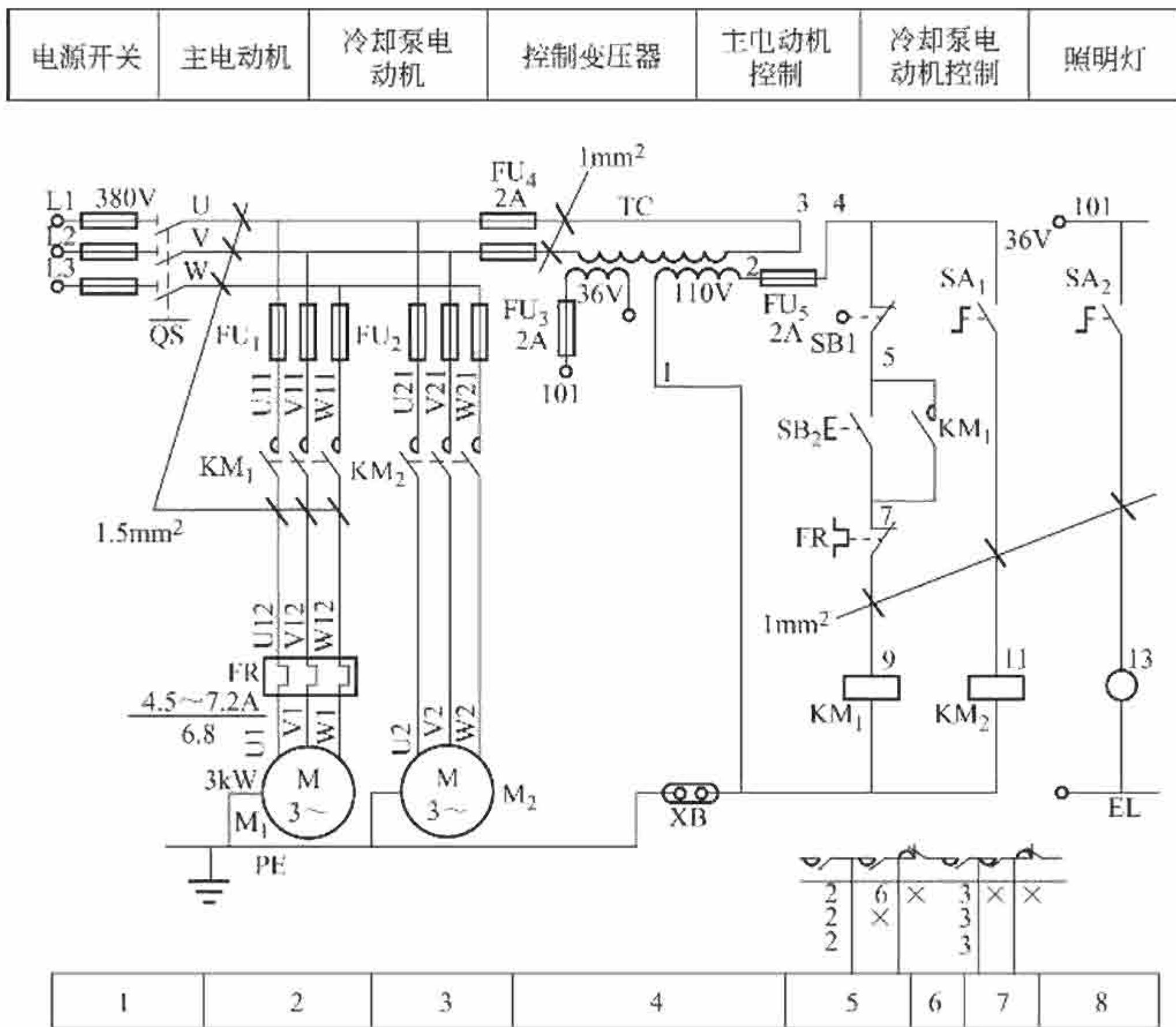


图 6-2 某机床电气控制系统的电气原理图

#### 6.1.4 工厂接线图的识读

识读接线图，一般是先看主电路，再看辅助电路。看主电路是从引入的电源线开始，顺次往下看，直至被控电器元件（如电动机），主要目的是要弄清用电设备是怎样获得三相电源的，三相电源线经过了哪些电器元件才到达用电设备，以及为什么要经过这些电器元件。看辅助电路要按每个小回路去看。看每个小回路时，先从电源起始点（相线）去看，看其经过哪些电器元件而回到另一相电源（或中性线）。按动作顺序对各个小回路逐一分析、研究，具体方法如下。

① 与电气原理图对照着看。虽然接线图是根据电气原理图绘制的，但它并不明显表示电路的工作原理，特别是辅助电路，在接线图上根本分辨不出各个小回

路，因此在看接线图时，必须对照电气原理图，搞清楚各个电器元件的作用；主电路和辅助电路各是由哪些元器件组成的，相互之间是如何接线的，它们是怎样完成电气动作的。

② 根据回路线号了解主电路、辅助电路的走向和连接方法。回路线号是电气设备与电气设备、电器元件与电器元件、导线与导线间的连接标记。连接两个电气设备或电器元件的导线，其两端在图样上具有同一个线号。也就是说，凡是具有同一线号的导线都是同一根导线。线号的作用是：根据线号了解线路走向并进行布线；根据线号了解元器件及电路连接方法；根据线号了解辅助电路是经过哪些电器元件而构成回路的。图 6-3 所示为某电气设备的接线图。

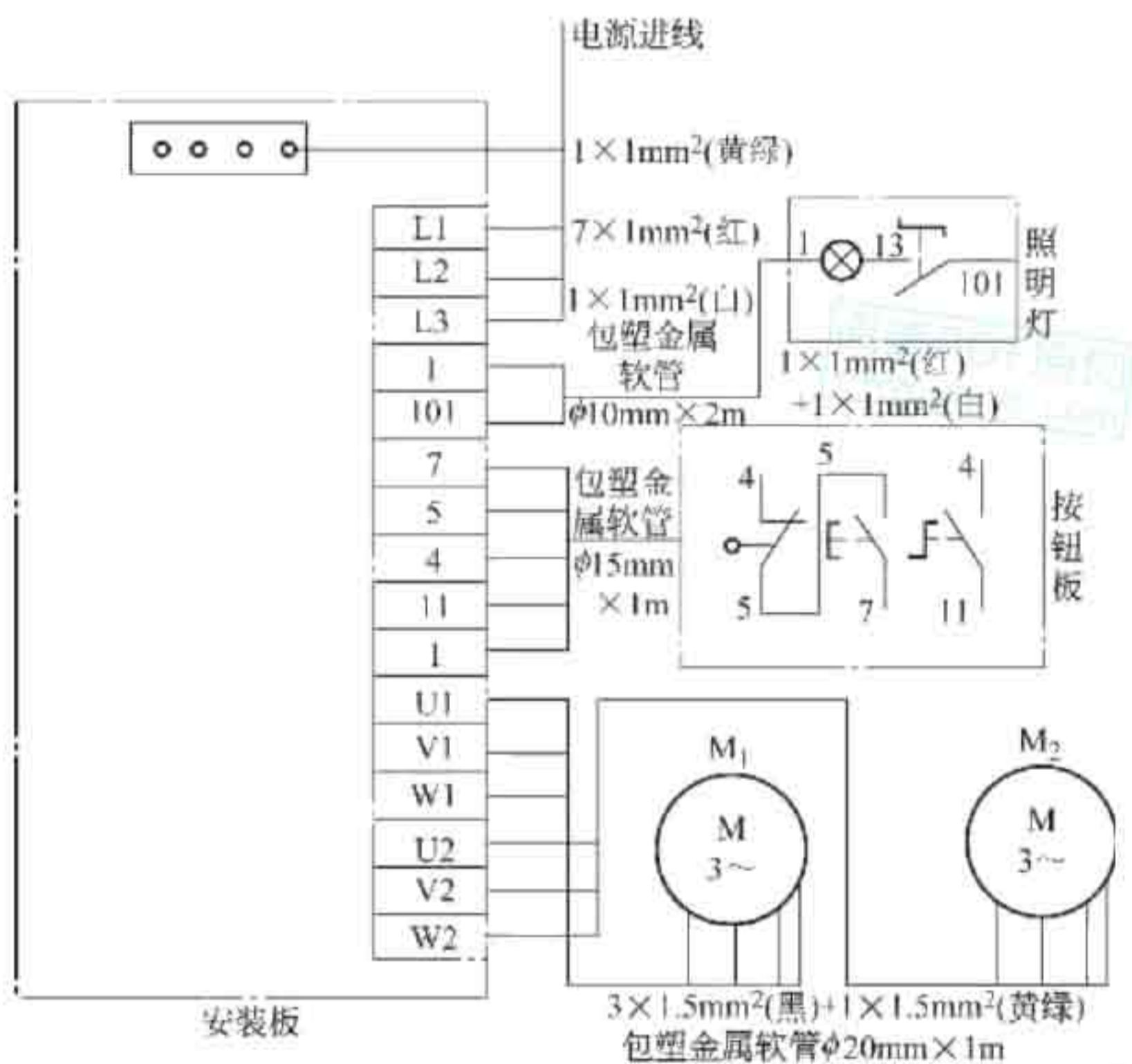


图 6-3 某电气设备的接线图

## 6.2 电气控制电路图中基本环节的识读

任何复杂的控制系统或电路，都是由一些比较简单的基本控制环节、保护环节根据不同控制要求连接而成的，因此掌握和识读这些基本环节的电路图非常必要。

### 6.2.1 三相笼型异步电动机控制电路图的识读

三相笼型异步电动机由于结构简单、坚固耐用、价格便宜、维修方便等特点，获得了广泛的应用。下面就三相笼型异步电动机的启动、制动、正反转控制和调速控制图的识读加以详细说明。



## 6.2.1.1 三相笼型异步电动机启动控制电路

三相笼型异步电动机启动控制电路有直接启动和减压启动两种方式。直接启动控制的优点是电气设备少，电路简单；缺点是启动电流大，易引起供电系统电压波动。在一般情况下，当电动机功率小于 10kW 或不超过供电变压器容量的 15%~20% 时，都允许直接启动；否则应采用减压启动，以减小启动电流对电网的冲击。

## (1) 开关直接启动控制电路

工厂中常见的砂轮机、三相风扇、小型台钻、冷却泵等的电动机常用这种控制电路，如图 6-4(a) 所示。通过操纵手动开关 SA 来控制电动机的启动和停止，熔断器 FU 起短路保护作用。

## (2) 接触器直接启动控制电路

一般中小型机床的主电动机采用这种控制电路，如图 6-4(b) 所示。接触器直接启动控制电路分为两部分，主电路（即动力电路）通过接触器主触点接通与断开；控制电路通过触点组合控制接触器线圈的通断电，实现对主电路的通断控制。接触器 KM 的辅助动合触点称为自锁触点，当松开可复位按钮 SB<sub>2</sub> 时，该触点能保证 KM 线圈不失电。

图 6-4 所示电路工作过程如下。

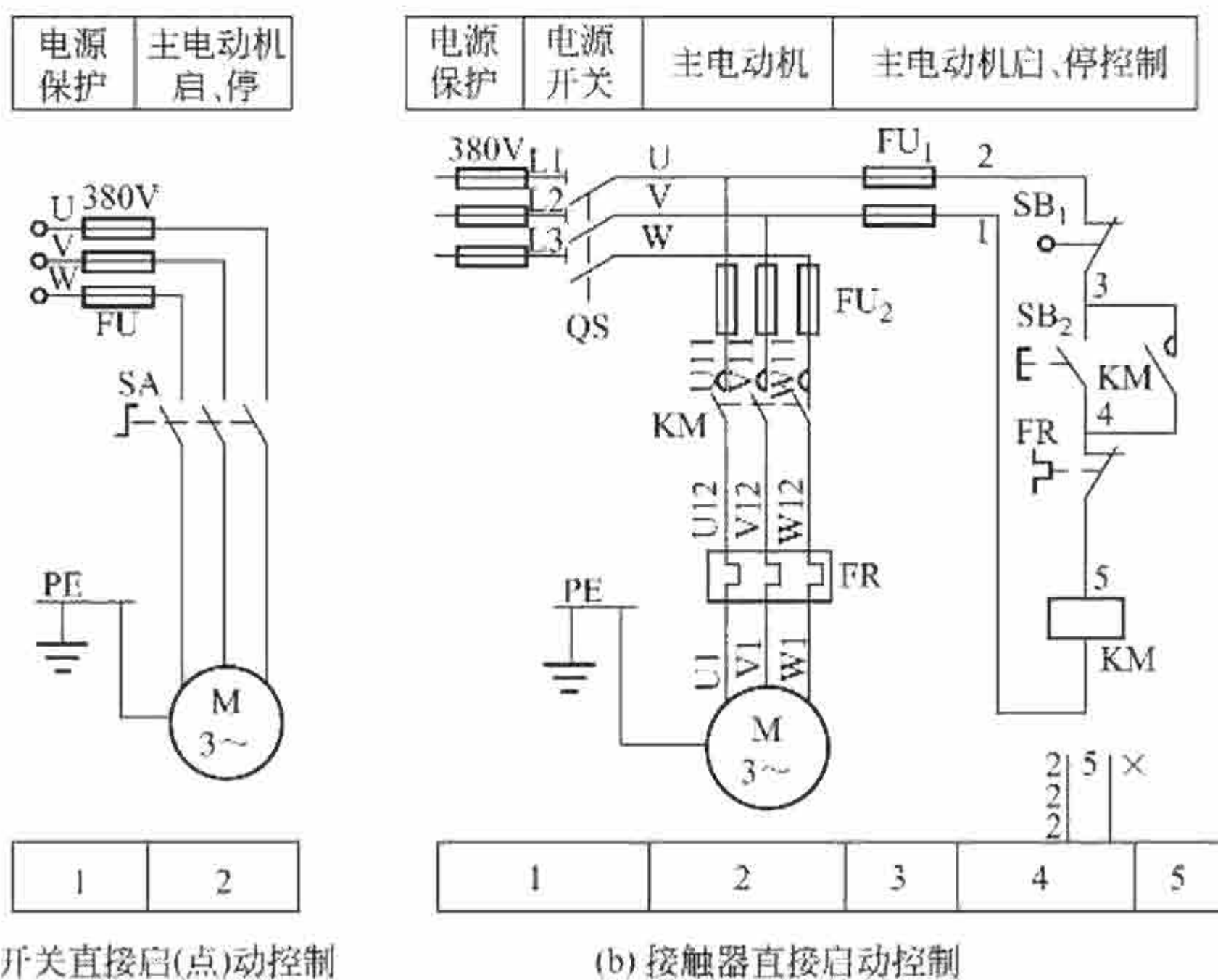


图 6-4 三相笼型异步电动机直接启动控制电路

① 接通隔离开关 QS。

② 启动。按下 SB<sub>2</sub>，KM 线圈得电，KM 的动合触点闭合并自锁，同时 KM 的主触点闭合，电动机启动运转。

③ 停止。按下 SB<sub>1</sub>，KM 线圈失电，自锁解除。同时 KM 主触点断开，电动机自动停转。

当电动机由于过载、缺相运转等故障引起工作电流增大时，经一定的时间，热继电器 FR 的动断触点动作，切断控制电路电源，从而迫使电动机停转，实现电动机的过载保护。FU 仍作为短路保护用。

### (3) 减压启动控制电路

三相笼型异步电动机容量在 10kW 以上且因其他原因不允许直接启动时，应采用减压启动。常用的减压启动方法有 Y- $\Delta$ 减压启动、定子绕组串电阻或电抗器减压启动和自耦变压器减压启动。

① Y- $\Delta$ 减压启动控制电路。Y- $\Delta$ 减压启动是指在电动机启动时，控制定子绕组首先接成星形，至启动即将完成时再换接成三角形进行正常运行的启动方法。用这种方法，在电动机启动时，启动电流仅为直接启动时的 1/3，相应的启动转矩亦为直接启动时的 1/3，因此，Y- $\Delta$ 减压启动仅适用于空载或轻载下启动，且正常运行时电动机定子绕组连接成 $\Delta$ 形的设备。图 6-5 所示为 Y- $\Delta$ 减压启动控制电路，图中主电路通过三组接触器主触点的通断配合，分别将电动机的定子绕组接成星形和三角形。当 KM<sub>1</sub>、KM<sub>3</sub> 线圈得电，其主触点闭合时，绕组接成星形；当 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 线圈得电，其主触点闭合时，绕组接成三角形。两种接线方式的切换是由控制电路中的时间继电器按时间原则定时自动完成的。

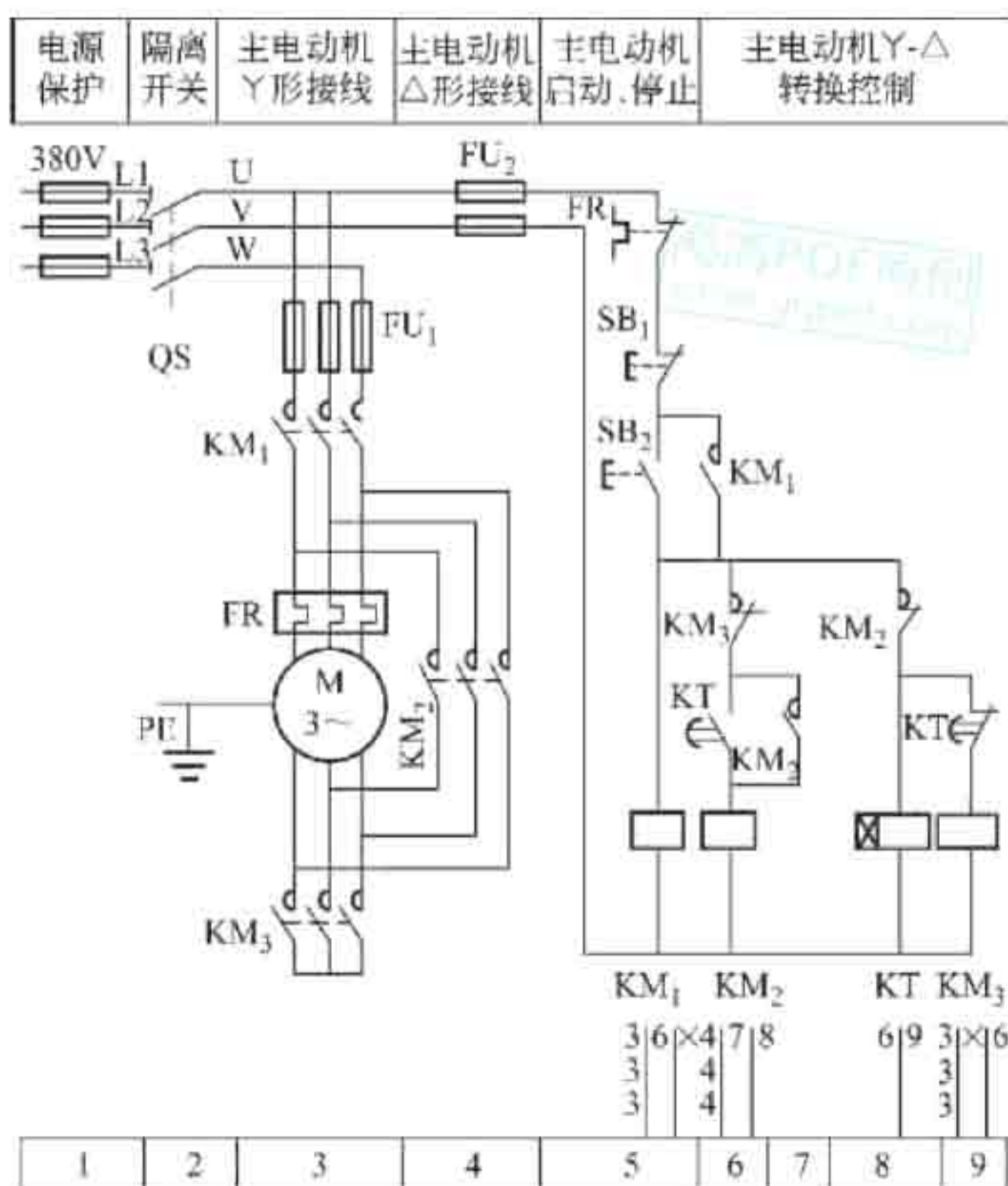


图 6-5 Y- $\Delta$ 减压启动控制电路

图 6-5 所示电路的工作过程如下。

#### a. 启动。



b. 停止。按 SB<sub>1</sub>, 控制电路断电并恢复常态, 电动机停止运转。

在电路图 (图 6-5) 中, 动断触点 KM<sub>2</sub> 和 KM<sub>3</sub> 构成电气联锁, 保证电动机绕组只能采用一种连接形式。

② 定子绕组串电阻减压启动控制电路。电动机三相定子绕组在启动时串接分压电阻, 使定子绕组上的压降降低, 电动机启动后, 再将电阻短接, 使电动机在全压下正常运行, 这就是定子绕组串电阻减压启动方法, 如图 6-6 所示, 该启动方法常用于中小型设备的减压启动和用来限制机床点动调整时的启动电流。对大容量电动机则往往采用串电抗器的方法来实现减压启动。

电路中, 主电路由 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 的主触点构成串接电阻和短接电阻控制, 并由控制电路按时间原则自动切换。

图 6-6 所示电路的工作过程如下。

a. 接通电源开关 QS。

b. 启动。



c. 停止。按 SB<sub>1</sub>, 控制电路断电, KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 释放, 电动机断电停止。

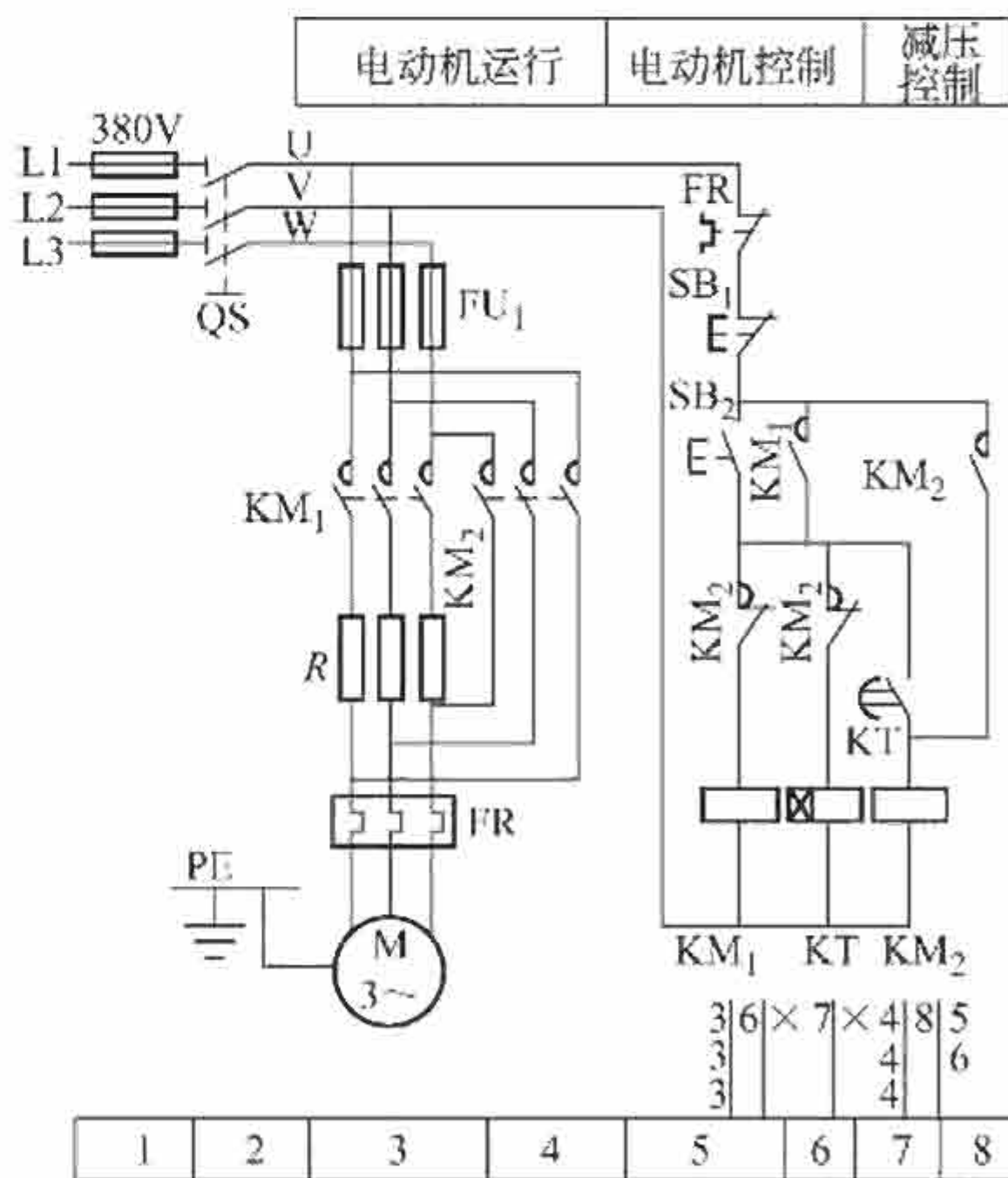
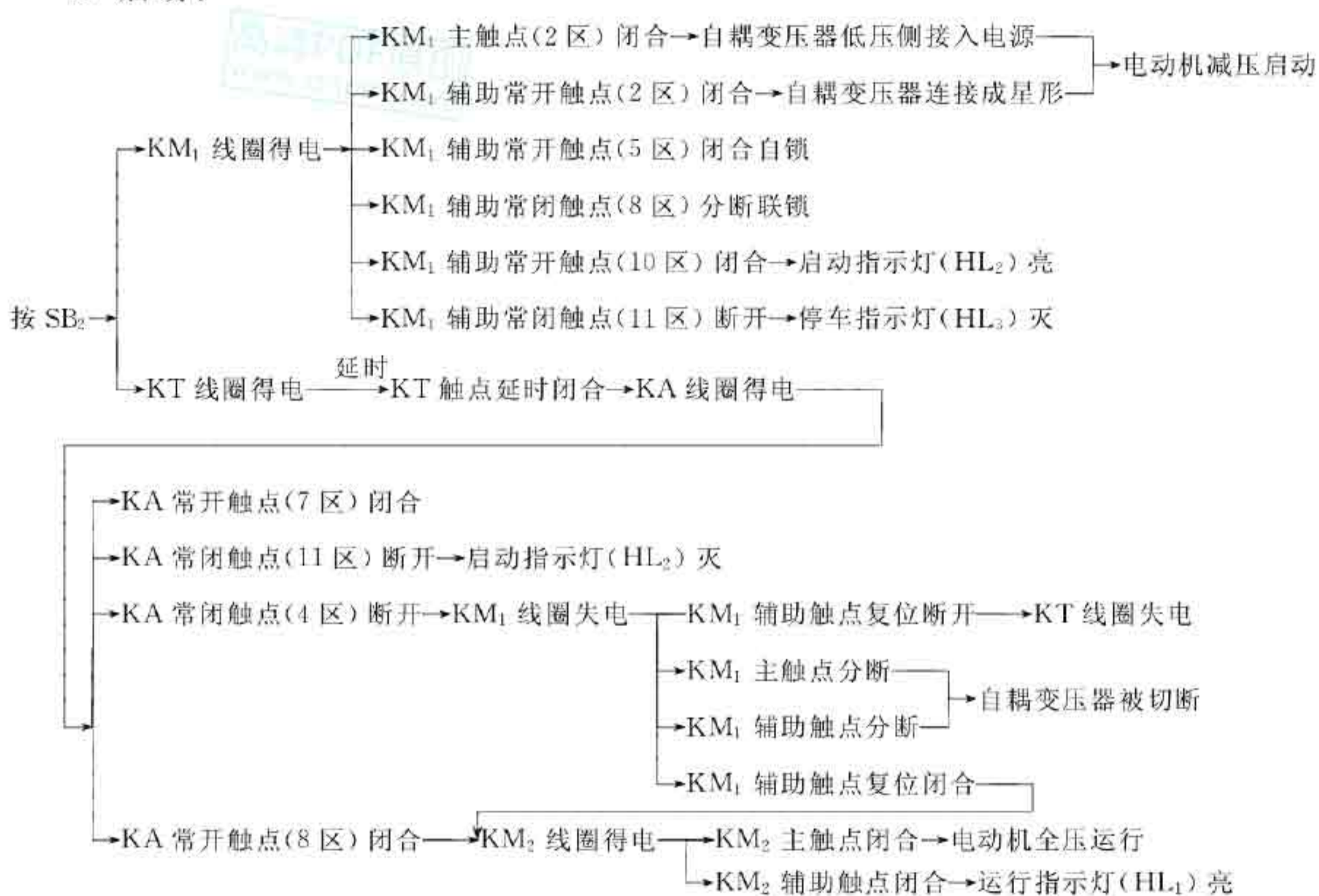


图 6-6 定子绕组串电阻减压启动控制电路

③ 自耦变压器（补偿器）减压启动控制电路。自耦变压器减压启动方法是指，启动时将电源电压加在自耦变压器的高压绕组上，而电动机的定子绕组与自耦变压器的低压绕组连接。电动机启动后，将自耦变压器切除，电动机定子绕组直接与电源连接，在全压下正常运行。图 6-7 所示为用两个接触器控制的自耦变压器减压启动控制电路，由于该电路在电动机启动过程中会出现二次浪涌冲击电流，故仅适用于不频繁启动的场合。对电动机容量在 30kW 以下的设备，工厂中常采用 XJ01 系列的自动补偿器来实现减压启动的自动控制。图 6-7 所示电路的工作过程如下。

a. 接通电源，停车指示灯 HL<sub>3</sub> 亮。

b. 启动。



c. 停止。按下 SB<sub>1</sub>，控制电路断电，所有控制电器恢复常态，电动机停转。

### 6.2.1.2 三相笼型异步电动机正反转控制电路

生产机械往往要求运动部件可以实现正反两个方向的运动，例如大多数机床主轴的正向和反向转动；机床工作台的前进、后退；起重机械吊钩的上升和下降等，这就要求拖动它们的电动机能正反向旋转。对于三相交流电动机，只要改变电动机三相电源的相序，就能改变电动机的转向。构成可逆控制电路时，在主电路中，采用两组接触器主触点构成正转相序和反转相序接线；控制电路中，控制正转接触器线圈得电，其主触点闭合，电动机正转（或反转接触器线圈得电，其主触点闭合，电动机反转），再配置一定的机械联锁、电气联锁等，可使电路可靠工作。

#### (1) 典型正反转控制电路

三相笼型异步电动机典型正反转控制电路如图 6-8 所示。图中，SB<sub>1</sub>、SB<sub>2</sub> 是用

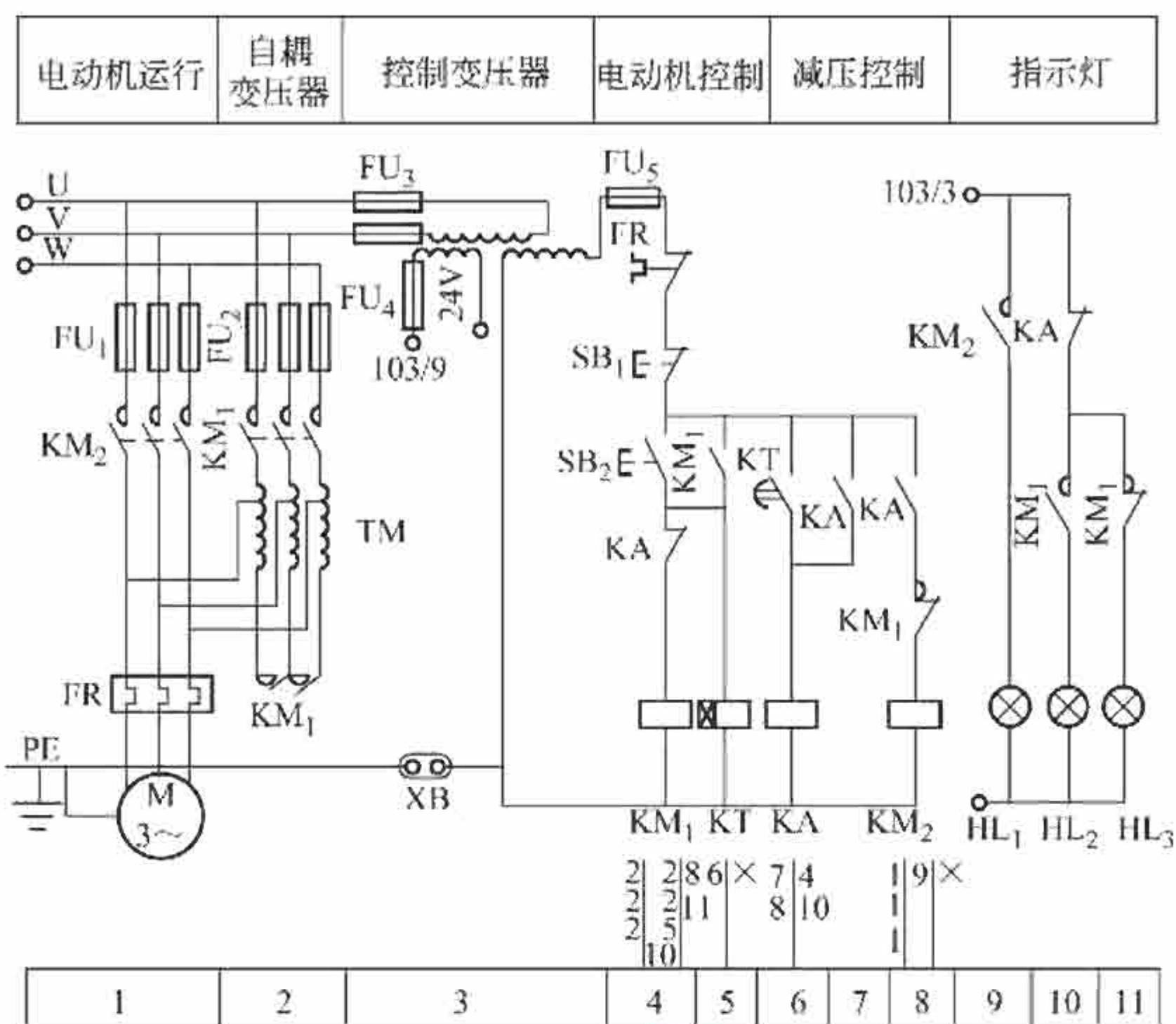


图 6-7 自耦变压器减压启动控制电路

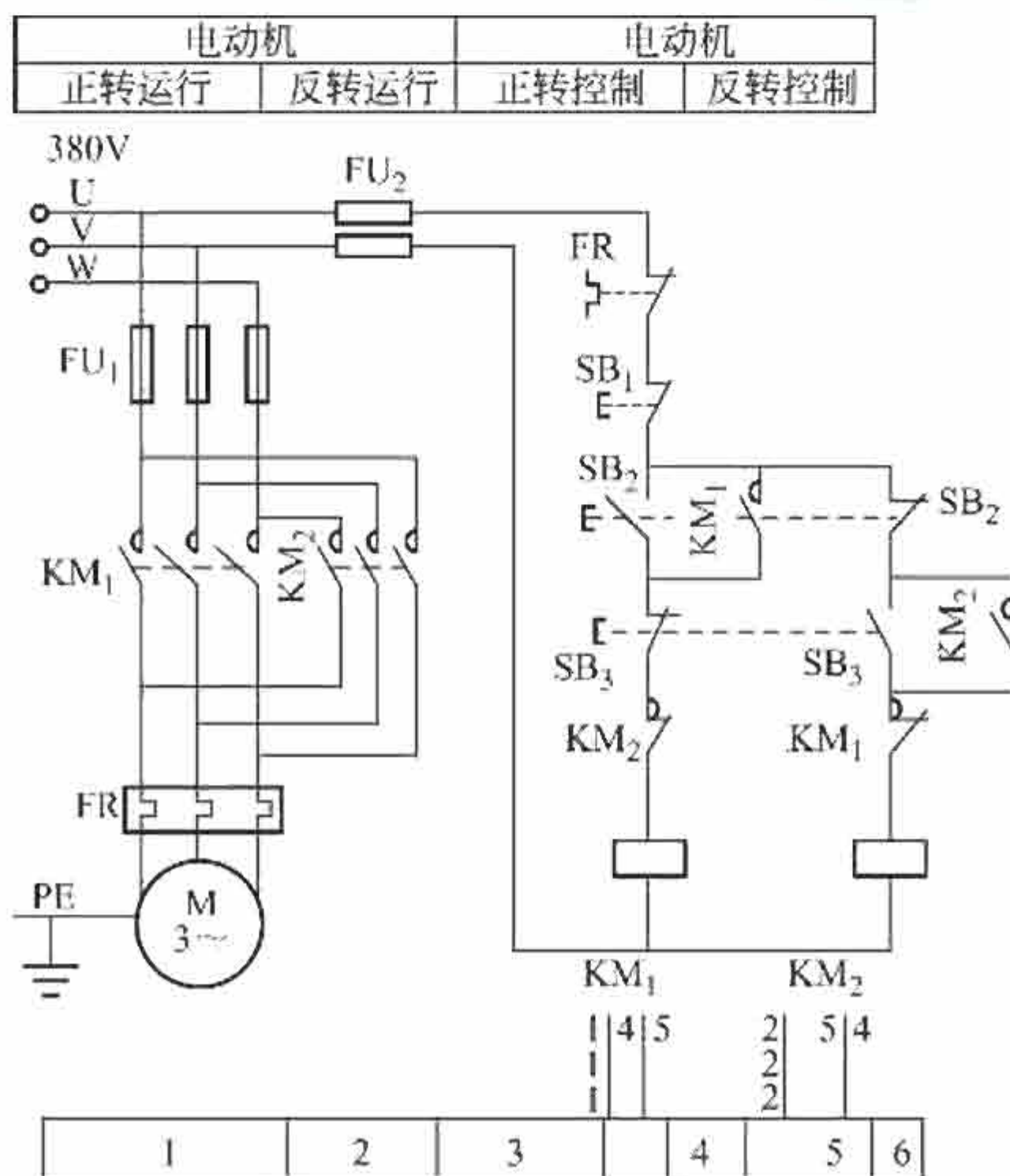
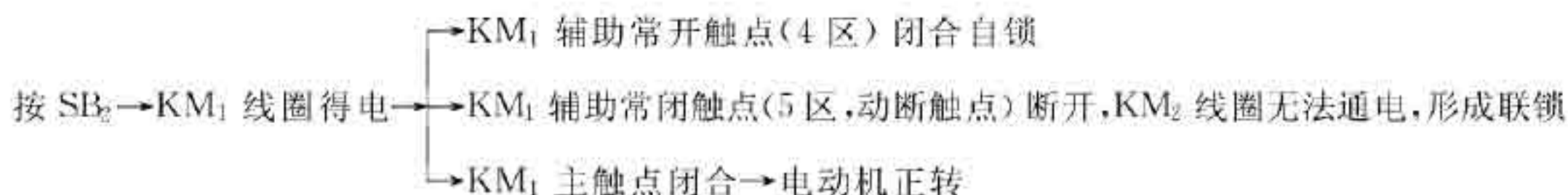


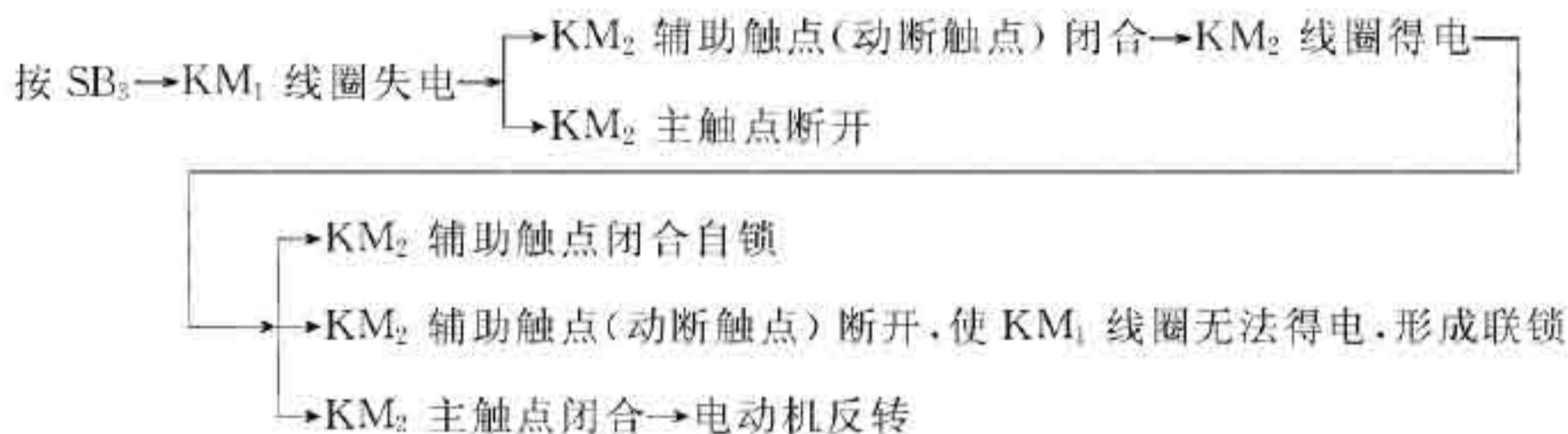
图 6-8 三相笼型异步电动机典型正反转控制电路

来实现正转或反转的复合按钮，具有机械联锁功能。另外，用于正反转控制的接触器  $KM_1$  和  $KM_2$  的动断触点分别串接在对方的工作线圈里，构成电气联锁。电路的工作过程如下。

## ① 正转。



## ② 由正转变为反转。



③ 电动机由停车到反转、由反转到正转控制过程。其原理同上述工作过程。

## (2) 行程开关控制的正反转控制电路

机械设备, 如铣床、刨床的工作台、高炉的加料设备等均需自动往返运行, 而自动往返的可逆运行通常利用行程开关来检测往返运动的相对位置, 进而控制电动机的正反转来实现。

图 6-9 所示为行程开关控制的正反转控制电路, 图中  $SB_1$ 、 $SB_2$ 、 $SB_3$  为手动控制按钮;  $SQ_3$ 、 $SQ_4$  为限位开关, 起限位作用, 避免工作台超越允许极限位置;  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  为反向转正向和正向转反向行程开关。

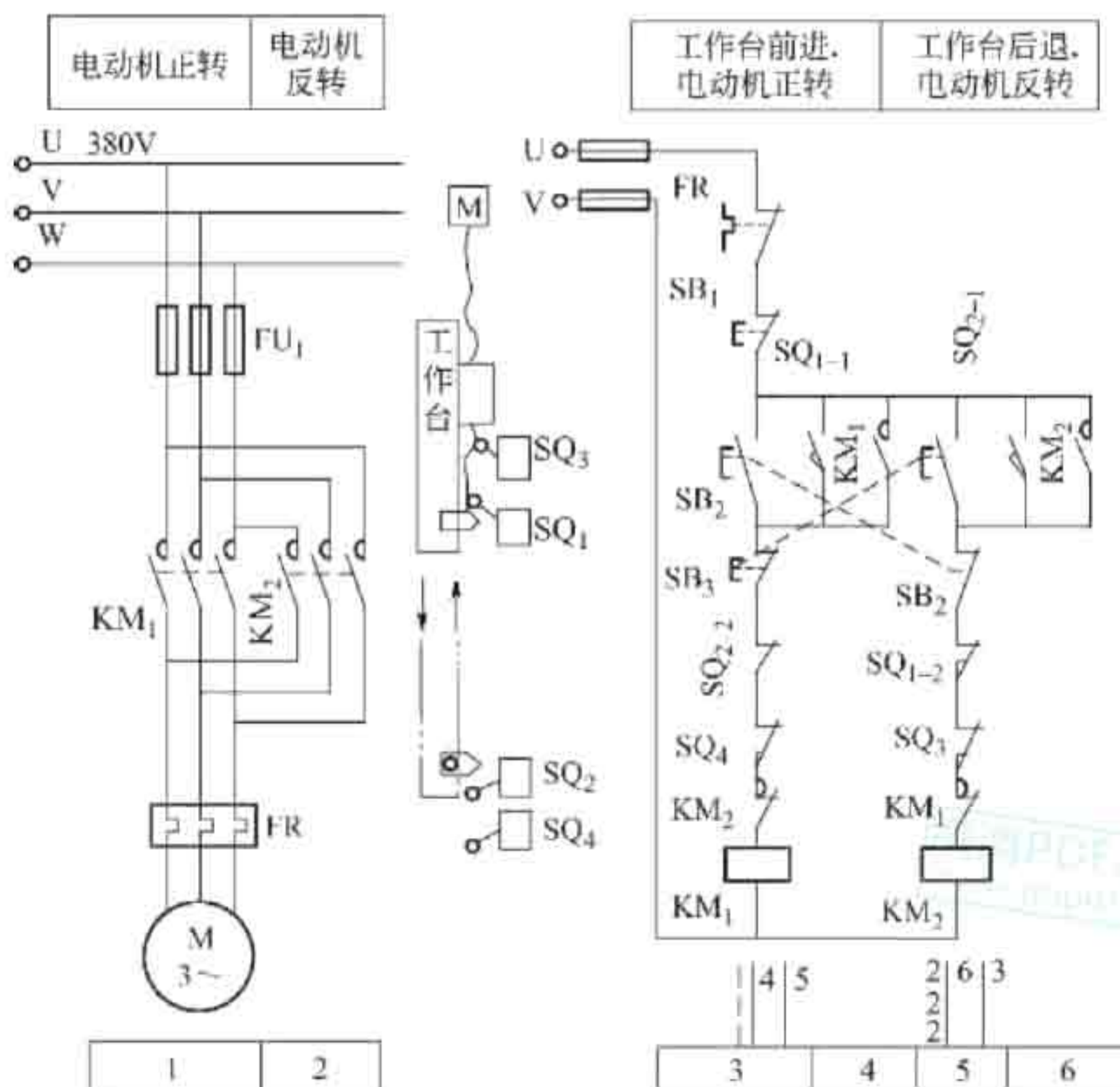


图 6-9 行程开关控制的正反转控制电路

图 6-9 所示电路的正反转控制过程如下。



### 6.2.1.3 三相笼型异步电动机制动控制电路

三相笼型异步电动机从切断电源到完全停止旋转总要经过一段时间（由于惯性作用），影响生产效率，使停机位置不确定，影响准确定位。为缩短辅助时间，提高生产效率和加工精度，必须对电动机实施制动。常用的电气制动方式有反接制动和能耗制动。

#### (1) 反接制动

所谓反接制动，就是改变通入异步电动机定子绕组中的三相电源相序，使定子绕组产生反向旋转磁场，从而使转子受到与其转向相反的制动转矩而制动停转。如图 6-10 所示为反接制动控制电路，图中，KS 为速度继电器，其转子与电动机的轴相连，当电动机转动时，KS 的动合触点闭合，电动机停车或转速接近零时，KS 动合触点打开；KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 为电动机正常运转和反接制动接触器；R 为反接制动电阻，其作用是防止反接制动过程中电流过大。

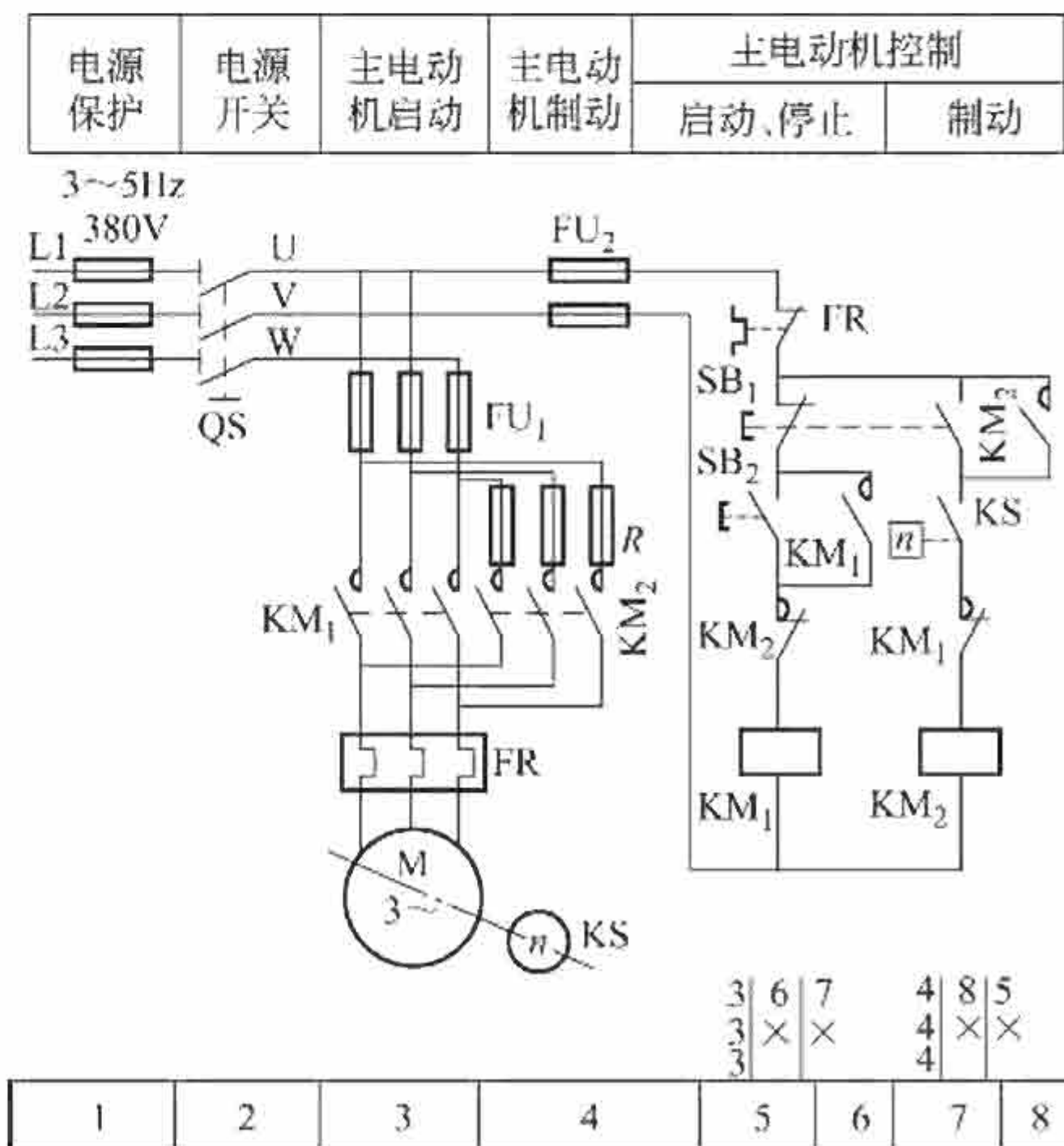


图 6-10 反接制动控制电路

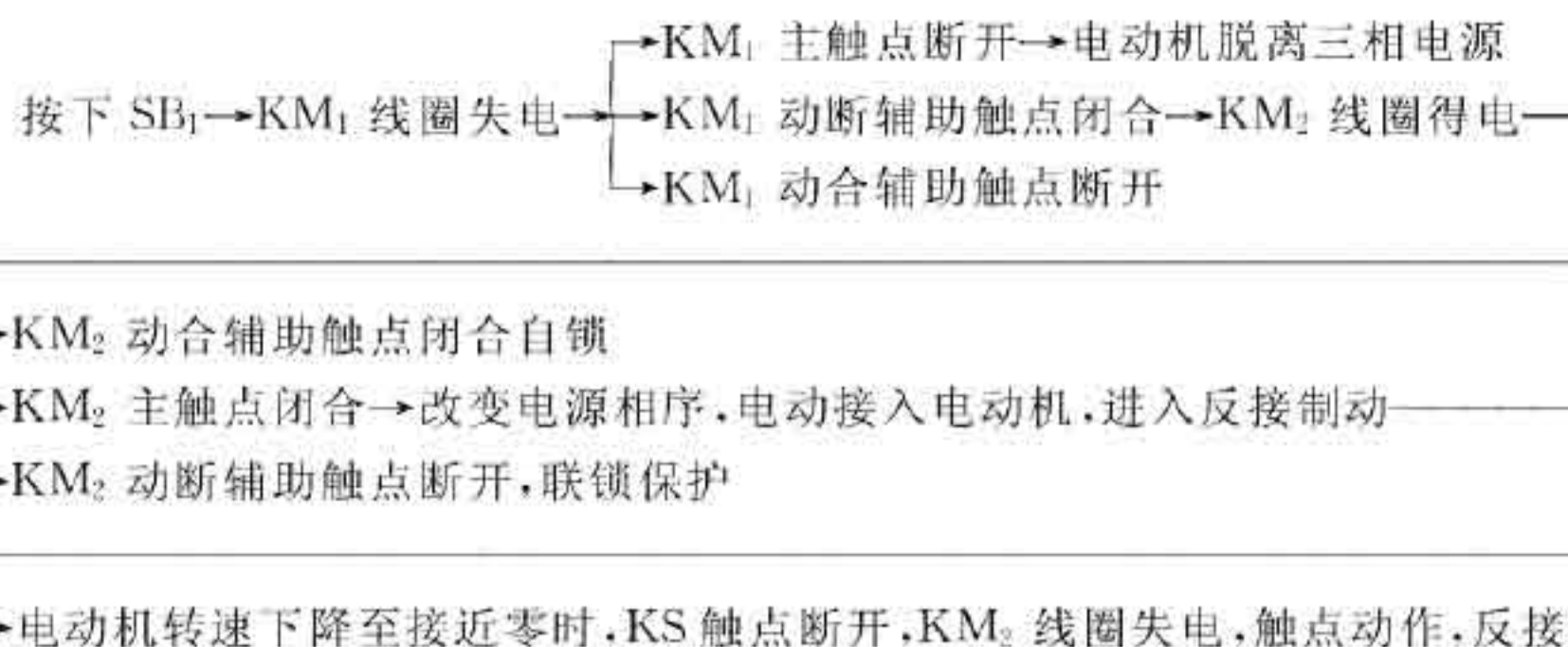
电动机转动时，KS 的动合触点闭合，电动机停车或转速接近零时，KS 动合触点打开；KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 为电动机正常运转和反接制动接触器；R 为反接制动电阻，其作用是防止反接制动过程中电流过大。

图 6-10 所示电路的工作过程如下。

#### ① 正常运转。



#### ② 制动过程（运转中）。



这种制动方式优点是制动力矩大, 制动效果显著, 但在制动时冲击较强烈, 能量消耗大。

## (2) 能耗制动 (动力制动)

能耗制动在三相笼型异步电动机脱离三相交流电源后, 将一直流电源接入定子绕组, 使定子绕组产生一个恒定的静止磁场, 当电动机转子在惯性作用下继续旋转时, 在转子中产生一与其旋转方向相反的电磁转矩, 对转子起制动作用, 电动机将很快制动停车。图 6-11 所示为三相笼型异步电动机能耗制动控制电路。

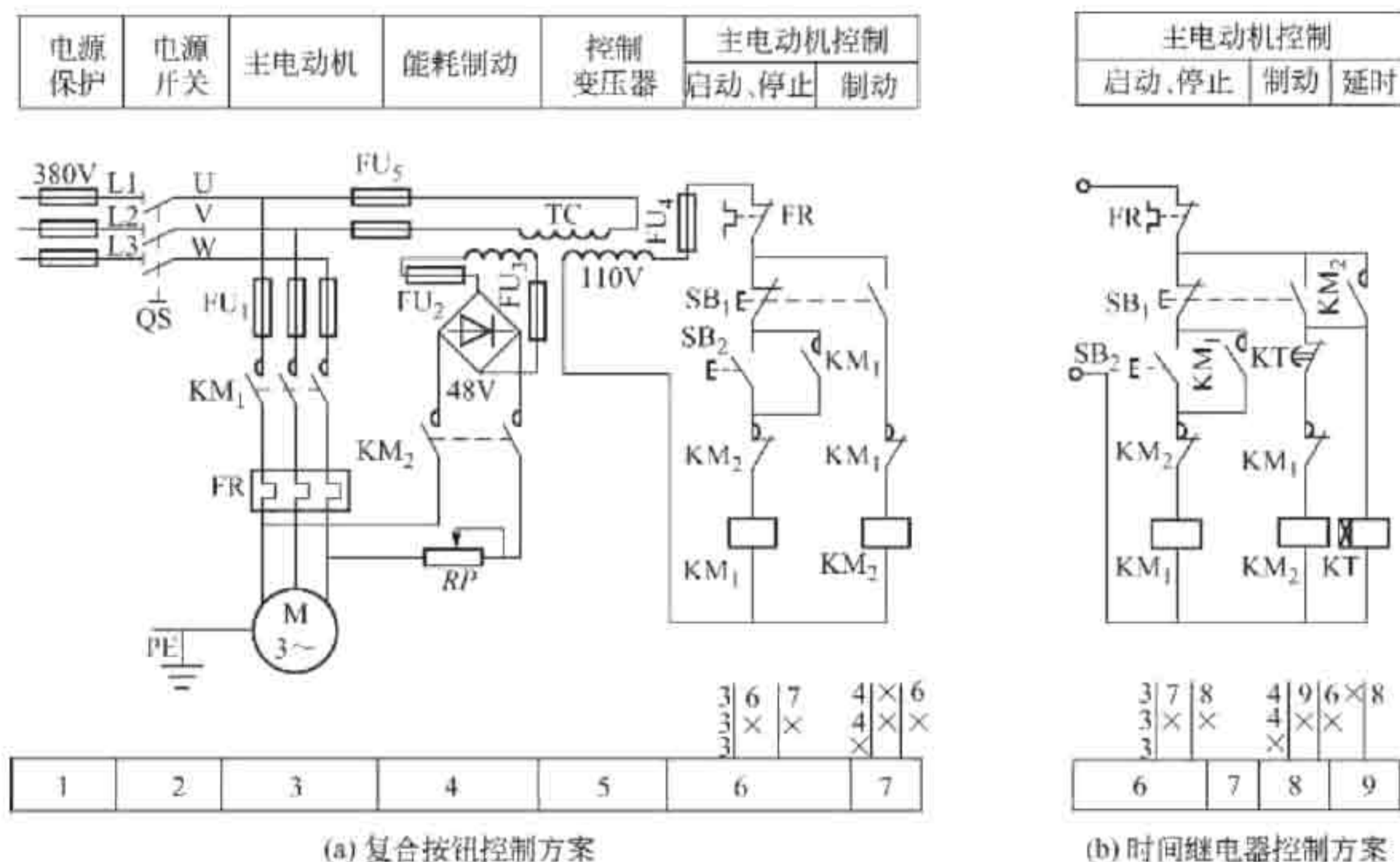


图 6-11 三相笼型异步电动机能耗制动控制电路

### ① 电路识读

a. 主电路。主电路由两部分构成, 一是电动机、热继电器、接触器  $KM_1$  主触点、熔断器、电源开关及三相电源, 这是电动机的运转控制部分; 二是电动机、接触器  $KM_2$  主触点、桥式整流器、控制变压器等, 这是电动机的能耗制动控制部分。

b. 辅助电路。该能耗制动控制电路的辅助电路从 U、V 两相获得电源, 经熔



断器、热继电器保护，到控制电路（ $KM_1$ 、 $KM_2$ 、 $KT$ 、 $TC$ 等电路）。

## ② 电路工作过程。

a. 启动过程。合上电源开关  $QS$ ，按下启动按钮  $SB_2$ ， $KM_1$  得电动作，电动机启动运转。 $KM_2$  回路因联锁而使  $KM_2$  主触点处于常态。

b. 制动过程。按下复合按钮  $SB_1$  时，其动断触点切断  $KM_1$  线圈电源，同时其动合触点将  $KM_2$  线圈电路接通， $KM_1$  和  $KM_2$  主触点使主电路中电动机在断开三相交流电源后接入直流电源进行制动。松开  $SB_1$  时， $KM_2$  线圈断电，制动停止。而图 6-1(b) 中，压下复合按钮  $SB_1$  以后， $KM_1$  线圈失电， $KM_2$  和时间继电器  $KT$  的线圈得电并自锁，电动机制动；松开  $SB_1$  后，由  $KT$  的延时动断触点断开  $KM_2$  线圈回路，制动结束，实现了能耗制动控制。

电路图（图 6-11）中， $RP$  的作用是调节制动电流的大小。 $KT$  的动作时间应保证电动机完全停转后切断直流电源。

能耗制动的优点是制动转矩随电动机的惯性转速下降而减小，因而制动平稳。

### 6.2.1.4 三相笼型异步电动机调速控制电路

图 6-2 所示为双速电动机三角形-双星形调速控制电路，图中主电路接触器  $KM_1$  的主触点闭合，构成三角形连接； $KM_2$  和  $KM_3$  的主触点闭合，构成双星形连接。控制电路有三种，图 6-12(a) 中，控制电路由复合按钮  $SB_2$  接通接触器  $KM_1$  的线圈电路， $KM_1$  主触点闭合，电动机低速运行； $SB_3$  接通  $KM_2$  和  $KM_3$  的线圈电路，其主触点闭合，电动机高速运行。为防止两种接线方式同时存在， $KM_1$

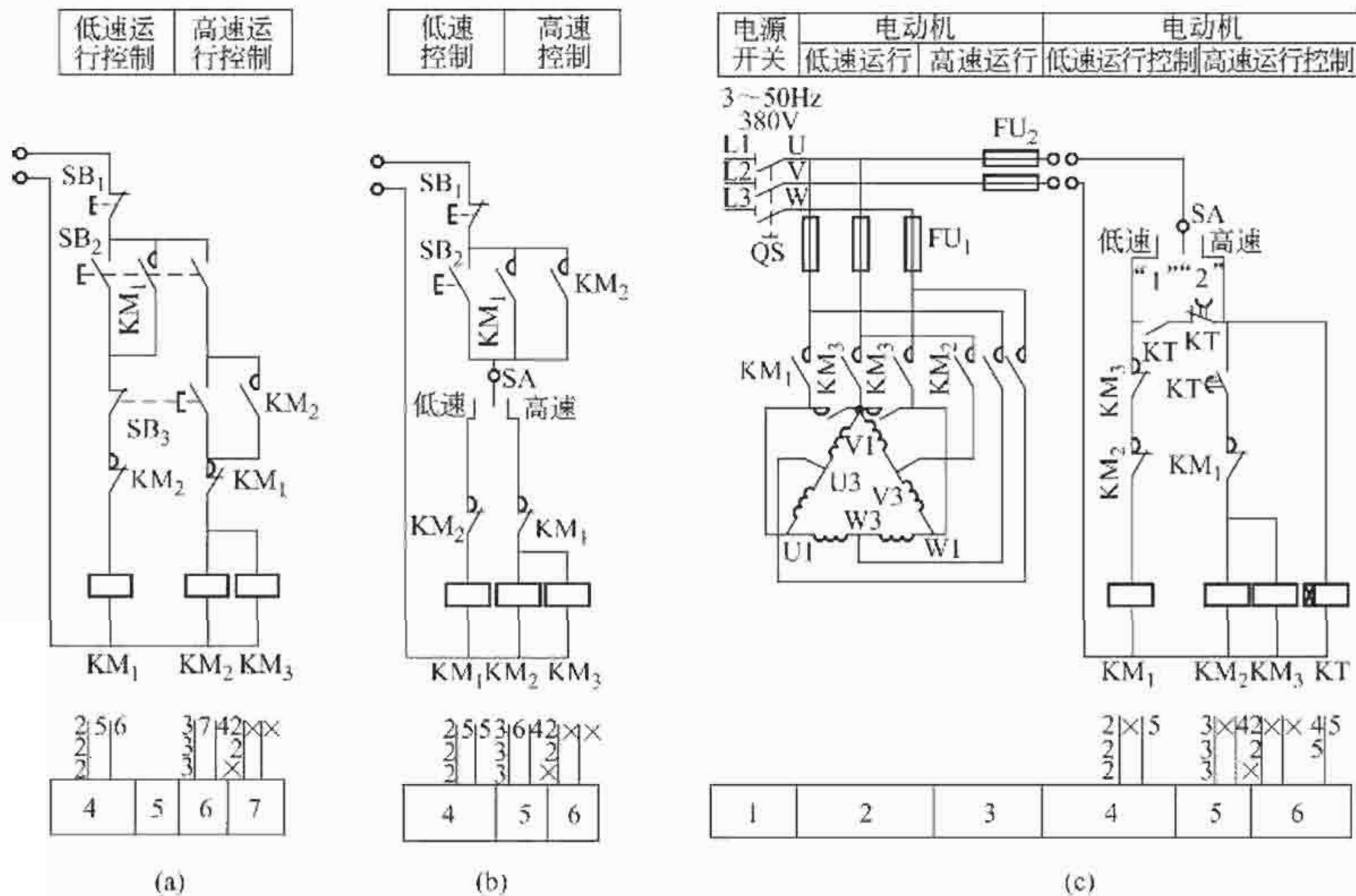


图 6-12 双速电动机三角形-双星形调速控制电路

和  $KM_2$  的动断触点在控制电路中构成联锁。图 6-12(b) 中, 控制电路采用选择开关 SA, 选择接通  $KM_1$  线圈电路或  $KM_2$ 、 $KM_3$  的线圈电路, 即选择低速运行或者高速运行。图 6-12(a)、图 6-12(b) 示出的控制电路用于小功率电动机, 图 6-12(c) 示出的控制电路用于较大功率的电动机。选择开关 SA 用于选择低速运行或高速运行, SA 位于“1”的位置, 选择低速运行, 接通  $KM_1$  线圈电路, 直接启动低速运行; SA 位于“2”的位置, 选择高速运行, 首先接通  $KM_1$  线圈电路, 低速启动, 然后由时间继电器 KT 切断  $KM_1$  的线圈电路, 同时接通  $KM_2$  和  $KM_3$  的线圈电路, 电动机的转速自动由低速切换到高速。

图 6-12 所示电路工作过程如下。



## 6.2.2 其他常用典型控制电路图的识读

实际应用中, 除了上述电动机启动、制动和正反转、调速等控制外, 还有其他一些控制要求, 例如调整时的点动控制、多电动机启动的先后顺序控制、多条件、多地点控制以及自动循环控制等。在设备控制电路中, 常需多种基本控制环节组合, 从而完成所需的控制功能。这里简单介绍其中两个典型控制电路的识读。

### 6.2.2.1 点动与长动控制电路

使电动机持续转动、设备长时间工作的控制称为长动控制。而在试车调整时,

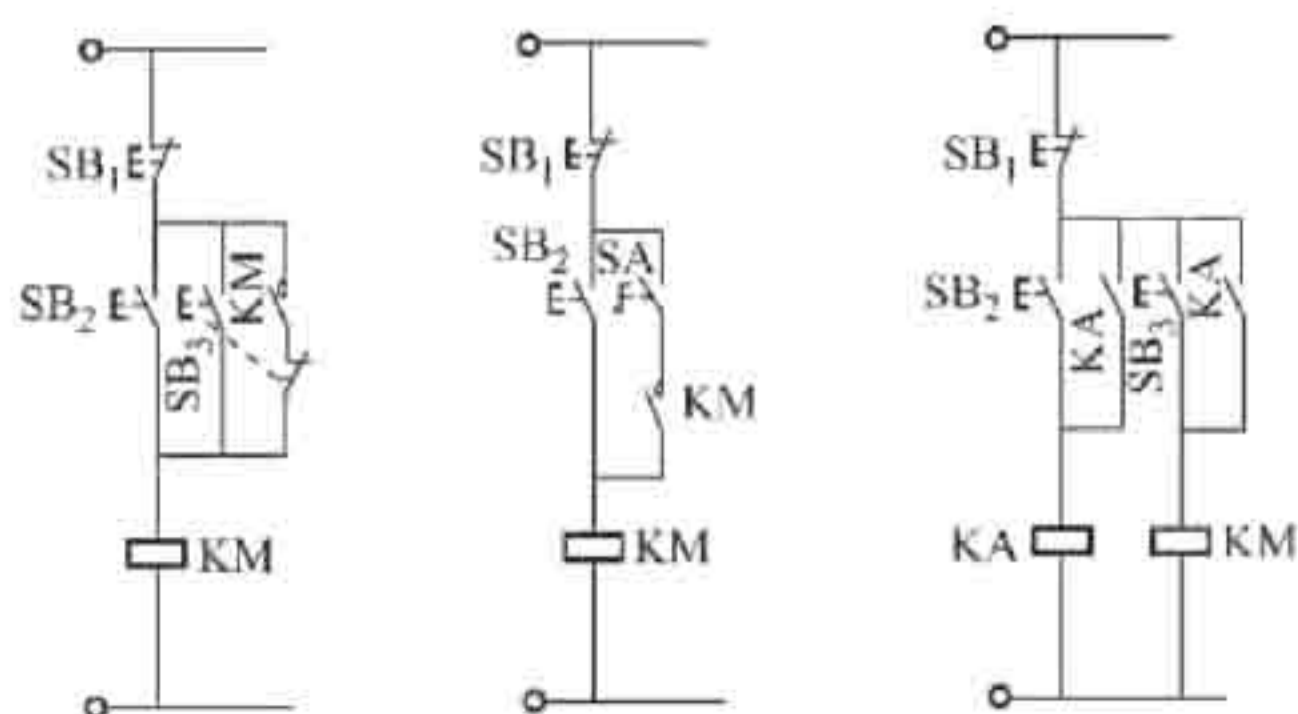


图 6-13 点动与长动控制电路

利用手动控制使电动机断续转动, 称为点动控制。

一般电气设备控制中, 点动控制和长动控制总是联系在一起, 这样既可使设备处于正常工作状态, 又可方便设备的维修和调整。

实现点动和长动控制的电路如图 6-13 所示 (未画出主电

路部分)。

图 6-13(a) 中,  $SB_1$  为停止按钮,  $SB_2$  为长动控制按钮,  $SB_3$  为点动控制按钮。KM 为控制电动机运转的接触器。按下  $SB_2$ , KM 得电并自锁, 其主触点闭合, 电动机接通电源, 启动并运转。松开  $SB_2$ , 因 KM 辅助触点实现了自锁, 所以电动机仍运转。 $SB_1$  按下后, KM 断电释放, 电动机才停转, 从而实现了长动控制。若按下  $SB_3$ , KM 线圈得电, 其主触点闭合, 电动机启动运转, 因  $SB_3$  是复合按钮, 按下时, 其动断触点断开, 故虽 KM 线圈得电, 但并不能自锁, 当松开  $SB_3$  时, KM 即断电释放, 其主触点断开, 电动机停转, 实现了点动控制。

图 6-13(b) 中,  $SB_1$  是停止按钮, SA 为选择长动与点动的选择开关。合上选择开关 SA, 按下启动按钮  $SB_2$ , KM 得电并自锁, 其主触点把电动机与电源接通, 实现长动控制; 断开 SA, 按下启动按钮  $SB_2$ , KM 线圈得电, 但并不能自锁, 电动机启动运转。一旦松开  $SB_2$ , KM 即断电释放, 电动机停转, 实现点动控制。

图 6-13(c) 中, KA 为中间继电器,  $SB_2$  为长动控制按钮,  $SB_3$  为点动控制按钮。按下  $SB_2$ , KA 得电并自锁, 其动合触点闭合, 使 KM 得电动作, 电动机接通电源运转, 因 KA 已自锁, 故松开  $SB_2$ , KM 线圈仍得电, 电动机仍运转, 这样就实现了长动控制。调整时, 按下  $SB_3$ , KM 线圈得电, 电动机接通电源运转, 因 KA 不得电, KM 无法自锁, 所以松开  $SB_3$  后, KM 即断电释放, 电动机停转, 实现了点动控制。

### 6.2.2.2 多地点与多条件控制电路

许多大型设备为了操作方便, 常要求能在两个或多个地点进行控制; 某些设备为保证操作安全, 需要满足若干条件以后, 设备才能开始工作, 这样的控制要求即为多条件控制, 实现的方法通常是在控制电路中串联或并联电器的动断或动合触点。

图 6-14(a)、图 6-14(b) 所示为多地点与多条件控制电路, 图 6-14(a) 中, 按钮  $SB_2$ 、 $SB_3$ 、 $SB_4$  的动合触点并联在一起, 实现“或”逻辑关系。按钮  $SB_1$ 、 $SB_5$ 、 $SB_6$  动断触点串联在一起, 实现“与”逻辑关系。 $SB_2$ 、 $SB_3$ 、 $SB_4$  的任一动合触点闭合, 均可使 KM 得电动作, 接通电路。 $SB_1$ 、 $SB_5$ 、 $SB_6$  中的任一动断触点打开, 都能使 KM 断电释放, 切断电路。这个电路中, 可以将启动按钮和停止按钮两个一组分别安装在三个不同的地方。图 6-14(b) 中,  $SB_4$ 、 $SB_5$ 、 $SB_6$  三个启动按钮的动合触点串联在一起, 实现“与”逻辑关系, 停止

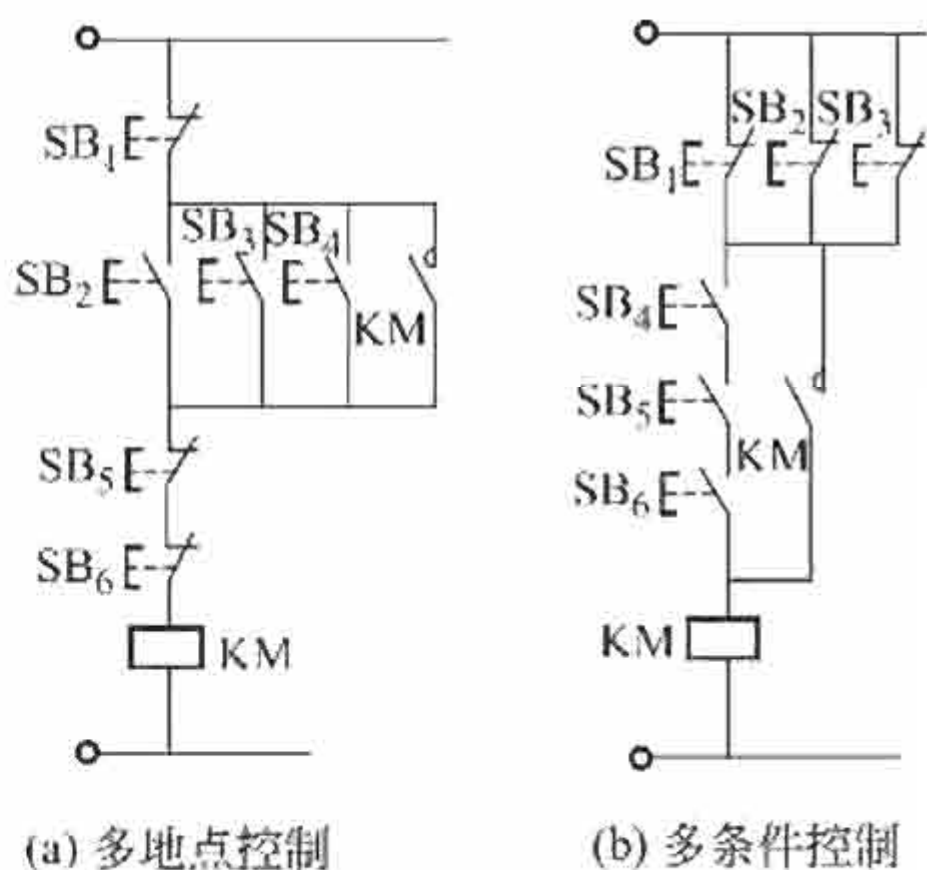


图 6-14 多地点和多条件控制电路

按钮  $SB_1$ 、 $SB_2$ 、 $SB_3$  的动断触点并联在一起，实现“或”逻辑关系。因此，只有  $SB_4$ 、 $SB_5$ 、 $SB_6$  的动合触点全部闭合，KM 线圈才能得电，并依靠其辅助动合触点构成自锁，从而接通电路。同样，要使 KM 线圈失电，切断电路的条件是  $SB_1$ 、 $SB_2$ 、 $SB_3$  的所有动断触点全部打开，这样的控制就是多条件控制。

## 6.3 常用机床控制电路

前面已对常用控制电器与继电器、接触器控制的基本环节进行了读图分析，本节将学习工厂常用机床控制电路，进一步学会阅读与分析工厂电气设备控制电路的方法；加深对典型控制环节的理解；为生产机械电气电路的安装、调整、维修打下一定基础。

学习本节时首先要了解典型生产机械的基本结构和运动情况，按照“化整为零”的方法，把整个控制系统分解成若干个基本控制电路，逐一进行分析，由此总结归纳出生产机械的电气控制规律，达到举一反三的目的。

### 6.3.1 车床电气控制电路

车床是一种应用最为广泛的金属切削机床，它能够切削各种工件的外圆、内圆、平面以及攻螺纹，也可以用钻头、铰刀等进行加工。这里以 C650 型卧式车床为例，介绍车床电气控制电路图的识读方法。

#### 6.3.1.1 了解控制要求

C650 型卧式车床属于中型车床，可加工的最大工件回转直径为 1020mm，最大工件长度为 3000mm。车床的主轴由床身上的主轴电动机拖动旋转，带动装夹在其端头的工件转动；刀具安装在刀架上，与床鞍一起随溜板箱沿主轴轴线方向实现进给移动，主轴的转动和溜板箱的移动均由主轴电动机驱动。由于加工的工件比较大，加工时工件的转动惯量也比较大，因此需停车时不易立即停止，必须有停车制动装置。在加工过程中，还需提供切削液，并且为减轻工人劳动强度和节省辅助工作时间，要求带动刀架移动的溜板箱能快速移动。为加工调整方便，该车床还具有点动功能。

C650 型卧式车床采用三台电动机控制（见图 6-15），其中  $M_1$  为主轴电动机，完成主轴运动和刀具进给运动的驱动，该电动机采用直接启动方式，能正反两个方向旋转，并能正反两方向制动；冷却泵电动机  $M_2$  在加工时提供切削液，采用直接启动方式，并且为连续工作状态；快速移动电动机  $M_3$  完成刀架、溜板箱快速移动的驱动，可随时手动控制启停。

#### 6.3.1.2 C650 型卧式车床控制电路分析

C650 型卧式车床的电气控制电路如图 6-15 所示，图中使用的主要电器元件符号及功能见表 6-1。

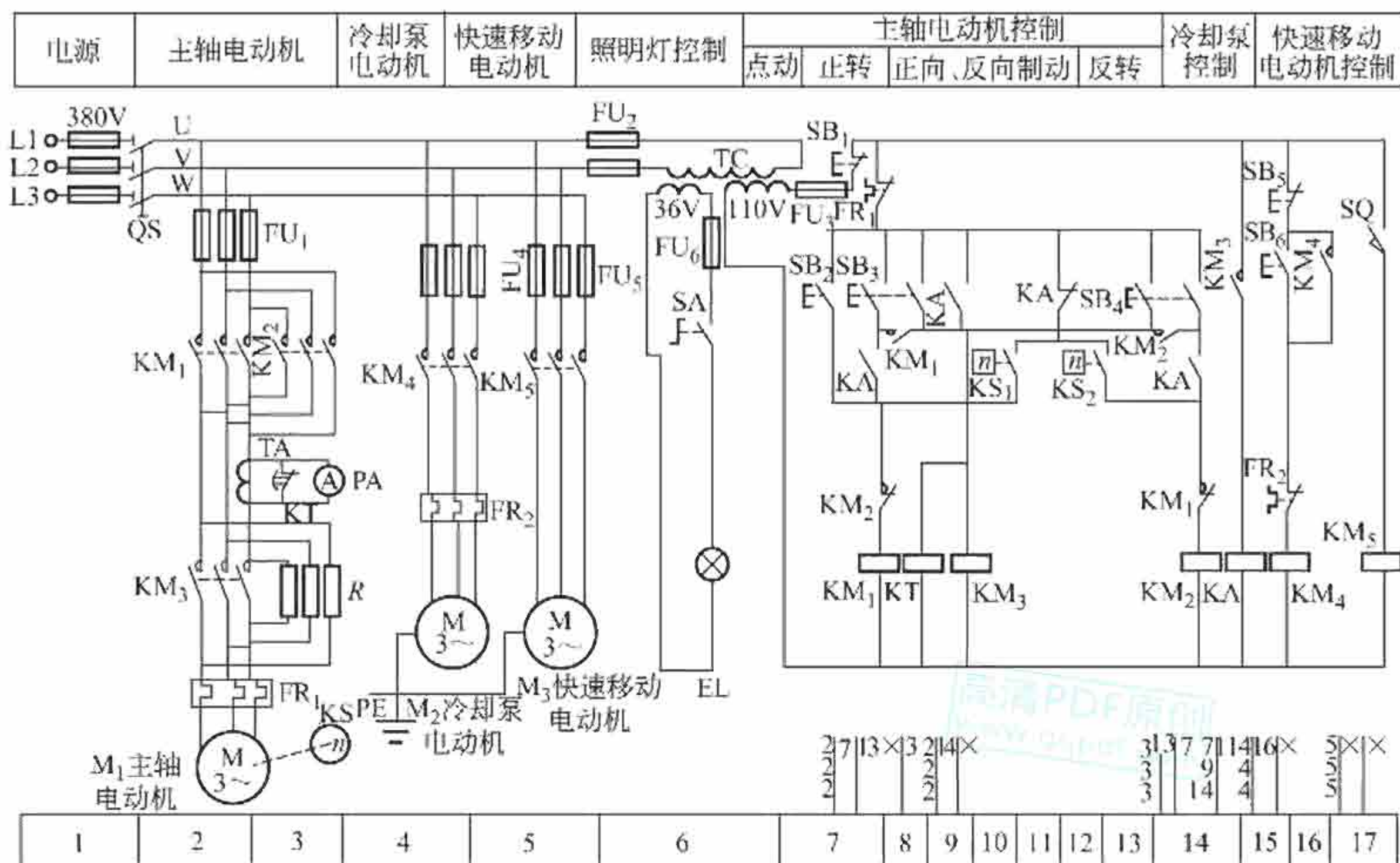


图 6-15 C650 型卧式车床的电气控制电路

表 6-1 主要电器元件符号及功能

符号	名称及用途	符号	名称及用途
M <sub>1</sub>	主轴电动机	SB <sub>1</sub>	总停按钮(停车按钮)
M <sub>2</sub>	冷却泵电动机	SB <sub>2</sub>	主轴电动机点动控制按钮
M <sub>3</sub>	快速移动电动机	SB <sub>3</sub>	主轴电动机正转启动按钮
KM <sub>1</sub>	主轴电动机正转接触器	SB <sub>4</sub>	主轴电动机反转启动按钮
KM <sub>2</sub>	主轴电动机反转接触器	SB <sub>5</sub>	冷却泵电动机止转按钮
KM <sub>3</sub>	短接限流电阻接触器	SB <sub>6</sub>	冷却泵电动机启动按钮
KM <sub>4</sub>	冷却泵电动机启动接触器	TC	控制变压器
KM <sub>5</sub>	快速移动电动机启动接触器	FU <sub>1</sub> ~FU <sub>6</sub>	熔断器
KA	中间继电器	FR <sub>1</sub>	主轴电动机过载保护热继电器
KT	通电延时时间继电器	FR <sub>2</sub>	冷却泵电动机保护热继电器
SQ	快速移动电动机点动行程开关	R	限流电阻
SA	开关	EL	照明灯
KS	速度继电器	TA	电流互感器
PA	电流表	QS	隔离开关

### (1) 主电路分析

图 6-15 所示的主电路中有三台电动机的驱动电路, 隔离开关 QS 将三相电源引入, 电动机 M<sub>1</sub> 电路接线分为三部分, 第一部分为由正转接触器 KM<sub>1</sub> 和反转接

触器  $KM_2$  的两组主触点构成的主轴电动机的正反转控制电路；第二部分为电流表 PA 经电流互感器 TA 接在主轴电动机  $M_1$  的动力电路上，以监视电动机绕组工作时的电流变化，为防止电流表被启动电流冲击而损坏，利用时间继电器 KT 的动断触点，在启动的短时间内将电流表暂时短路；第三部分为串联限流电阻控制部分，接触器  $KM_3$  的主触点控制限流电阻  $R$  的接入和切除，在进行点动调整时，为防止连续的启动电流造成电动机过载，串接限流电阻  $R$ ，以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，在停车制动过程中，当主轴电动机转速为零时，其动合触点可将控制电路中相应的反接制动电路切断，完成停车制动。

电动机  $M_2$  由接触器  $KM_4$  的主触点控制其动力电路的接通与断开，电动机  $M_3$  由接触器  $KM_5$  控制。

为保证主电路的正常运行，主电路中还设置了使用熔断器的短路保护环节和使用热继电器的电动机过载保护环节。

## (2) 控制电路分析

控制电路可划分为主轴电动机  $M_1$  的控制电路和电动机  $M_2$ 、 $M_3$  的控制电路两部分。由于主轴电动机控制电路部分较复杂，因而还可以进一步将主轴电动机控制电路划分为正反转、点动控制电路与反接制动控制电路，如图 6-16 所示。下面对各部分控制电路逐一进行分析。

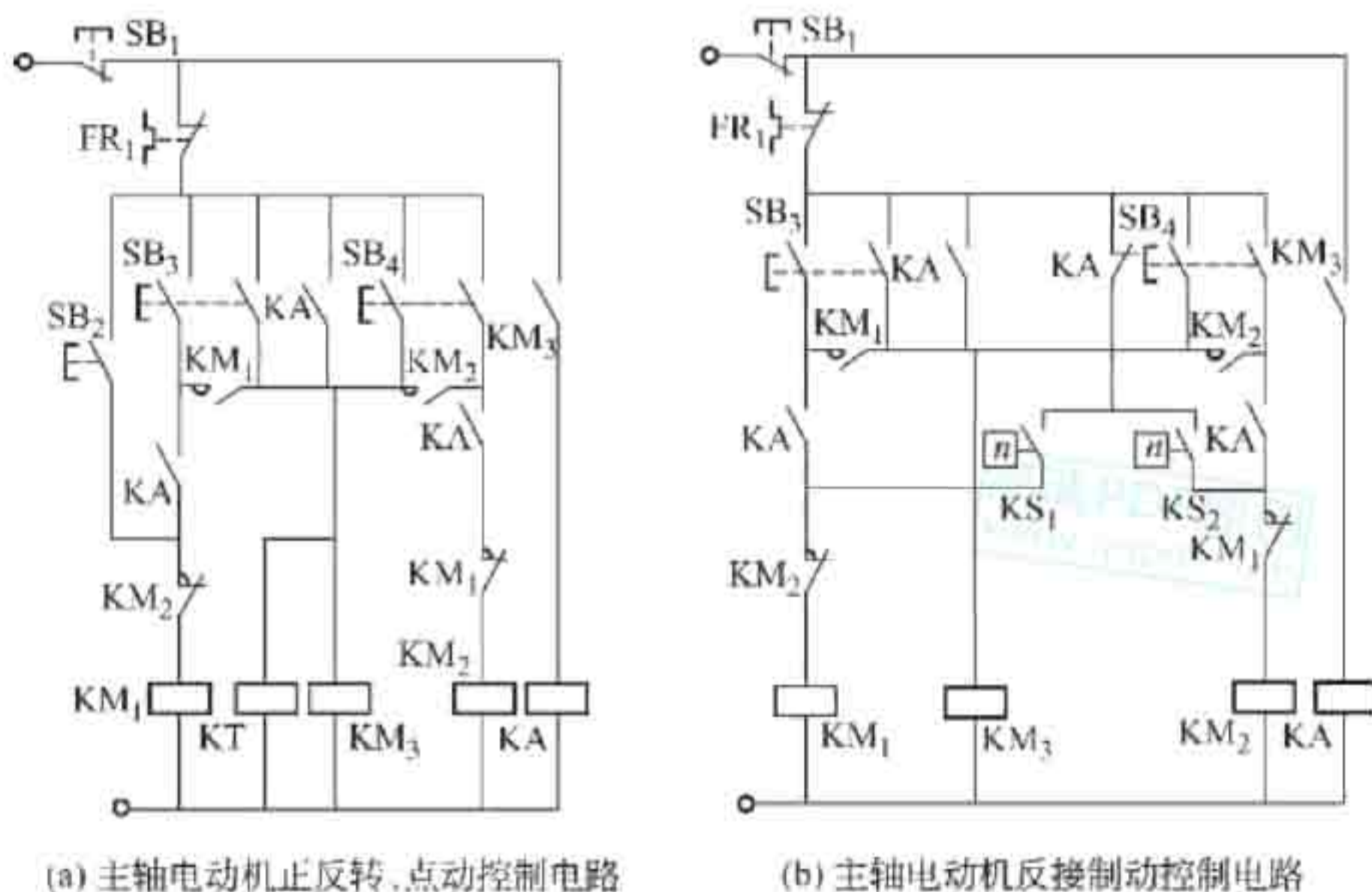


图 6-16 主轴电动机的基本控制电路

① 主轴电动机正反转、点动控制。由图 6-15、图 6-16(a) 可知，当正转启动按钮  $SB_3$  压下时，其两动合触点同时动作闭合，一动合触点接通接触器  $KM_3$  的线圈电路和时间继电器 KT 的线圈电路，时间继电器的动断触点在主电路中短接电流表 PA，经延时断开后，电流表接入电路正常工作； $KM_3$  的主触点将主电路中限流

电阻短接，其辅助动合触点同时将中间继电器 KA 的线圈电路接通，KA 的动断触点将反接制动控制电路切除，其动合触点与 SB<sub>3</sub> 的动合触点均在闭合状态。控制主轴电动机的接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路得电工作，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其相同，只是启动按钮为 SB<sub>4</sub>。

SB<sub>2</sub> 为主轴电动机点动控制按钮。按下 SB<sub>2</sub> 按钮，直接接通 KM<sub>1</sub> 的线圈电路，电动机 M<sub>1</sub> 正向直接启动，这时 KM<sub>3</sub> 线圈电路并没接通，因此其主触点不闭合，限流电阻 R 接入主电路限流，KM<sub>3</sub> 辅助动合触点不闭合，KA 线圈不能得电工作，从而使 KM<sub>1</sub> 线圈电路不能持续通电。松开 SB<sub>2</sub>，M<sub>1</sub> 停转，实现了主轴电动机串联限流电阻的点动控制。

② 主轴电动机反接制动控制电路。图 6-16(b) 所示为主轴电动机反接制动控制电路。C650 型卧式车床采用反接制动的方式进行停车制动，停止按钮按下后开始制动过程。当电动机转速接近零时，速度继电器的触点打开，结束制动。这里以原工作状态为正转时进行停车制动过程为例，说明电路的工作过程。当电动机正向转动时，速度继电器 KS 的动合触点 KS<sub>2</sub> 闭合，制动电路处于准备状态，按下停车按钮 SB<sub>1</sub>，切断电源，KM<sub>1</sub>、KM<sub>3</sub>、KA 线圈均失电，此时控制反接制动电路不工作的 KA 动断触点恢复原闭合状态，与 KS<sub>2</sub> 触点一起将反转接触器 KM<sub>2</sub> 的线圈电路接通，电动机 M<sub>1</sub> 反向启动，反向启动转矩将平衡正向惯性转动转矩，强迫电动机迅速停车。当电动机速度趋于零时，速度继电器 KS<sub>2</sub> 触点复位打开，切断 KM<sub>2</sub> 的线圈电路，完成正转的反接制动。反转时的反接制动工作过程与正转时的相似，在反转状态下，KS<sub>1</sub> 触点闭合，制动时，接通接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路，进行反接制动。

③ 刀架的快速移动和冷却泵电动机的控制。转动刀架手柄，压动行程开关 SQ，接通快速移动电动机 M<sub>3</sub> 的接触器 KM<sub>5</sub> 的线圈电路，使 KM<sub>5</sub> 的主触点闭合，M<sub>3</sub> 电动机启动，经传动系统驱动溜板箱，从而带动刀架快速移动。

冷却泵电动机 M<sub>2</sub> 由启动按钮 SB<sub>6</sub>、停止按钮 SB<sub>5</sub> 控制接触器 KM<sub>4</sub> 线圈电路的通断，以实现电动机 M<sub>3</sub> 的长动工作控制。

## 6.3.2 磨床电气控制电路

磨床是用砂轮的周边或端面进行机械加工的精密机床。根据用途不同，磨床可分为：外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、无心磨床以及专用磨床，如螺纹磨床、球面磨床、齿轮磨床、导轨磨床等。砂轮作为磨床上的主要切削工具，一般不需要调速，都采用三相异步电动机拖动。磨床的加工形式是磨削加工，砂轮的旋转是主运动，辅助运动为砂轮架的上下移动、砂轮架的横向（前后）进给和工作台的纵向（左右）进给。下面以 M7120 型平面磨床电路为例，介绍磨床电气控制电路。

### 6.3.2.1 了解控制要求

平面磨床是一种精密机床，为保证加工精度，使其运行平稳，确保工作台往复

运动换向时惯性小、无冲击，特采用液压传动，实现工作台纵向进给及砂轮架横向进给。

磨削加工时无调速要求，但有高速磨削要求，通常采用两级笼型异步电动机拖动。为提高砂轮主轴刚度，以提高加工精度，常采用装入式笼型异步电动机直接拖动。为减小工件在磨削加工中的热变形，并冲走磨屑，保证加工精度，需使用切削液。为了磨削小工件的需要，也为工件在磨削过程中受热能自由伸缩，采用电磁吸盘来吸持工件。

M7120 型平面磨床由砂轮电动机、液压泵电动机、冷却泵电动机分别拖动，且只需单方向旋转，冷却泵电动机与砂轮电动机具有同时或顺序联锁关系（即砂轮电动机启动后才可以开动冷却泵电动机）；电磁吸盘没有工作时，其他电动机一律不可启动，即应具有电气联锁，以避免加工过程中物件飞出工作台伤人。

为了使操作工人与维修人员知道设备工作处于什么状态，要求设备有各工作状态显示，以便查阅。

### 6.3.2.2 电气控制电路图分析

M7120 型平面磨床的电气控制电路如图 6-17 所示，该电路分为主电路、控制电路、电磁工作台控制电路及照明与指示灯电路四部分。

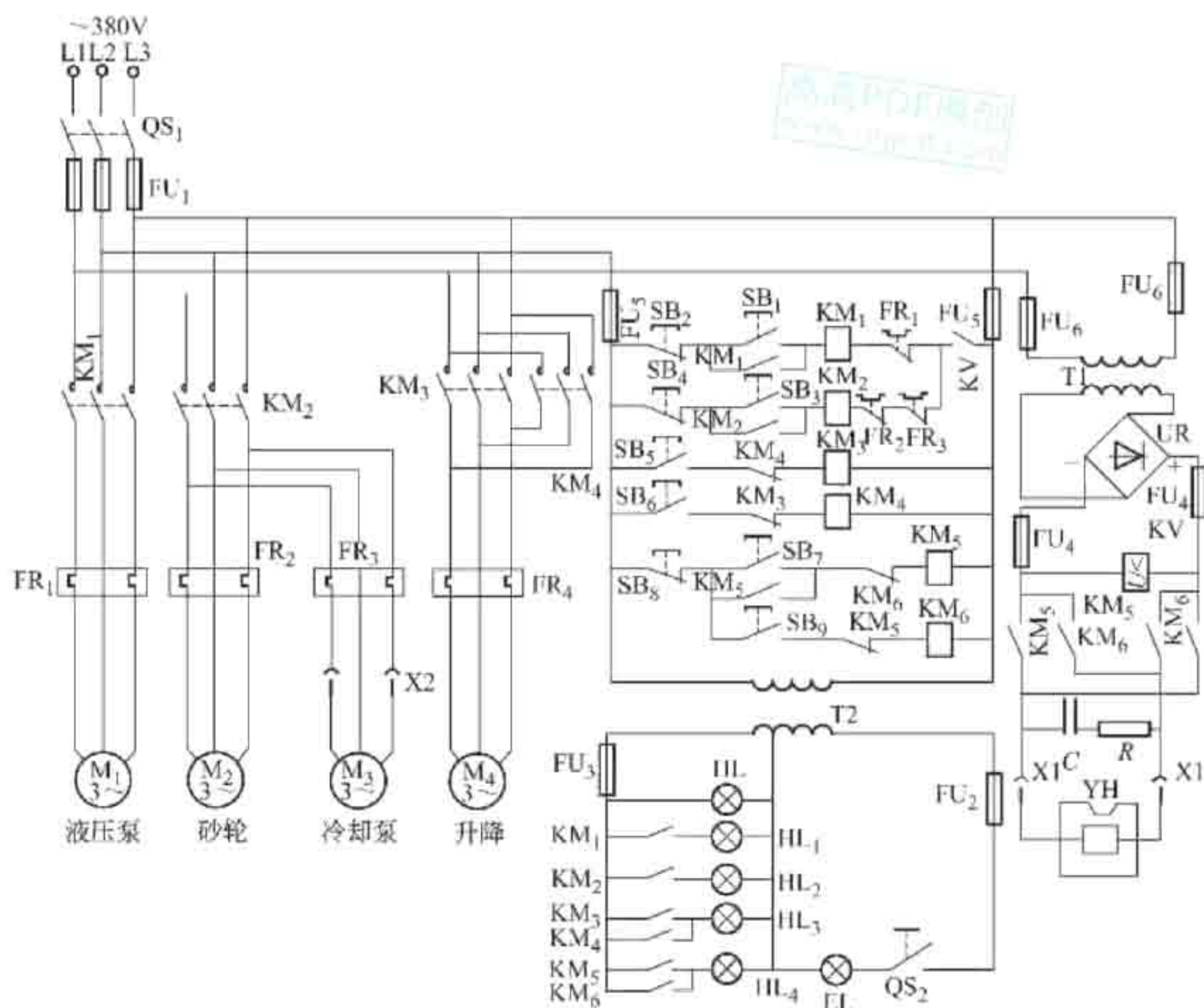


图 6-17 M7120 型平面磨床电气控制电路



### (1) 主电路

主电路中共有四台电动机，其中  $M_1$  是液压泵电动机，实现工作台的纵向进给运动； $M_2$  是砂轮电动机，带动砂轮转动，来完成磨削加工工作； $M_3$  是冷却泵电动机，以上三台电动机只要求单向旋转，分别用接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  控制。冷却泵电动机  $M_3$  只有在砂轮电动机  $M_2$  运转后才能运转。 $M_4$  是砂轮升降电动机，用于磨削过程中调整砂轮与工件之间的位置。

$M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  因长期工作，所以都装有过载保护。 $M_4$  为短期工作，不设过载保护。四台电动机共用一组熔断器  $FU_1$  作短路保护。

### (2) 控制电路

① 液压泵电动机  $M_1$  的控制。合上电源总开关  $QS_1$  后，整流变压器一个二次绕组输出 135V 交流电压，经桥式整流器 UR 整流后得到直流电压，使电压继电器 KV 获电动作，其动合触点闭合，为启动电动机做好准备。如果 KV 不能可靠动作，则各电动机均无法运行。因为平面磨床靠直流电磁吸盘的吸力将工件吸牢在工作台上，只有具备可靠的直流电压，才允许启动砂轮和液压系统，以保证安全。

当 KV 吸合后，按下启动按钮  $SB_3$ ，接触器  $KM_1$  线圈通电吸合并自锁，液压泵电动机  $M_1$  启动运转， $HL_1$  灯亮。若按下停止按钮  $SB_2$ ，接触器  $KM_1$  线圈断电释放，电动机  $M_1$  断电停转。

② 砂轮电动机  $M_2$  及冷却泵电动机  $M_3$  的控制。按下启动按钮  $SB_5$ ，接触器  $KM_2$  线圈获电动作，砂轮电动机  $M_2$  启动运转。由于冷却泵电动机  $M_3$  通过接插器 X1 和  $M_2$  联动控制，所以  $M_3$  与  $M_2$  同时启动运转。当不需要冷却时，可将接插器插头拉出。按下停止按钮  $SB_4$ ，接触器  $KM_2$  线圈断电释放， $M_2$  与  $M_3$  同时断电停转。

两台电动机的热继电器  $FR_2$  和  $FR_3$  的动断触点都串联在  $KM_2$  线圈电路中，只要有一台电动机过载，就会使  $KM_2$  失电。因切削液循环使用，经常混有污垢、杂质，很容易引起电动机  $M_3$  过载，故用热继电器  $FR_3$  进行过载保护。

③ 砂轮升降电动机  $M_4$  的控制。砂轮升降电动机只有在调整工件和砂轮之间位置时才使用，所以采用点动控制。当按下点动按钮  $SB_6$  时，接触器  $KM_3$  线圈获电吸合，电动机  $M_4$  启动正转，砂轮上升。达到所需位置时，松开  $SB_6$ ， $KM_3$  线圈断电释放，电动机  $M_4$  停转，砂轮停止上升。

按下点动按钮  $SB_7$ ，接触器  $KM_4$  线圈获电吸合，电动机  $M_4$  启动反转，砂轮下降。当到达所需位置时，松开  $SB_7$ ，接触器  $KM_4$  线圈断电释放，电动机  $M_4$  停转，砂轮停止下降。

为了防止电动机  $M_4$  的正反转控制电路同时被接通，故在正反转控制电路中串入对方接触器  $KM_4$  和  $KM_3$  的动断触点进行联锁控制。

### (3) 电磁吸盘控制电路

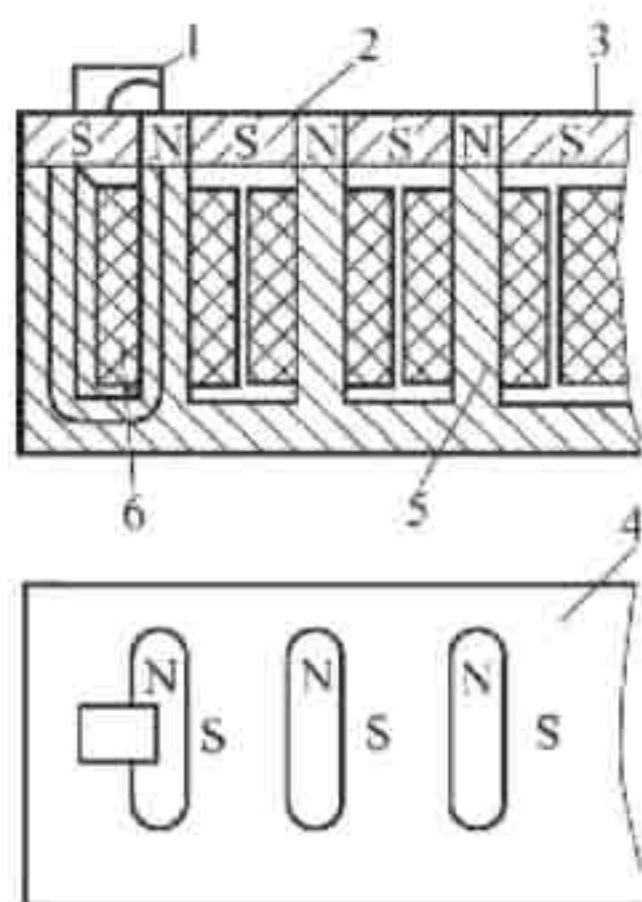


图 6-18 电磁吸盘结构

1—工件；2—绝磁材料；3—工作台；  
4—盖板；5—心体；6—绕组

电磁吸盘是固定加工工件的一种夹具，利用通电导体在铁芯中产生的磁场吸牢铁磁材料的工件，以便加工。与机械夹具比较，它具有夹紧迅速、不损伤工件、一次能吸牢若干个小工件以及工件发热可以自由伸缩等优点，因而电磁吸盘在平面磨床上用得十分广泛。

电磁吸盘结构如图 6-18 所示。其外壳是钢制箱体，中部的心体上绕有线圈，吸盘的盖板用钢板制成，钢制盖板用非磁性材料（如铅锡合金）隔离成若干小块。线圈通上直流电以后，吸盘的心体被磁化，产生磁场，磁通便以心体和工件作回路，工件被牢牢吸住。

电磁吸盘控制电路包括整流装置、控制装置和保护装置三个部分。整流装置由变压器 T1 和单相桥式全波整流器 UR 组成，供给 110V 直流电源。控制装置由按钮 SB<sub>8</sub>、SB<sub>9</sub>、SB<sub>10</sub> 和接触器 KM<sub>5</sub>、KM<sub>6</sub> 等组成。

① 充磁过程。按下充磁按钮 SB<sub>8</sub>，接触器 KM<sub>5</sub> 线圈获电吸合，KM<sub>5</sub> 主触点（18、21 区）闭合，电磁吸盘 YH 线圈获电，工作台充磁吸住工件，同时其自锁触点闭合，联锁触点断开。

磨削加工完毕，在取下加工好的工件前，先按 SB<sub>9</sub>，切断电磁吸盘 YH 的直流电源。由于吸盘和工件都有剩磁，所以需要去磁。

② 去磁过程。按下点动按钮 SB<sub>10</sub>，接触器 KM<sub>6</sub> 线圈获电吸合，KM<sub>6</sub> 的两对触点（18、21 区）闭合，电磁吸盘通入反向直流电，使工作台和工件去磁。去磁时，为防止因时间过长而使工作台反向磁化，再次吸住工件，接触器 KM<sub>6</sub> 采用点动控制。

保护装置由放电电阻 R、电容 C 以及电压继电器 KV 组成。电阻 R 和电容 C 的作用是：电磁吸盘是一个大电感，在充磁吸工件时存储了大量磁场能量，在它脱离电源的瞬间，吸盘 YH 的两端产生较大的自感电动势，会使线圈和其他电器损坏，故用电阻和电容组成放电回路，利用电容 C 两端的电压不能突变的特点，使电磁吸盘线圈两端电压变化缓慢，利用电阻消耗电磁能量。如果参数选配得当，RLC 电路可以组成一个衰减振荡电路，对去磁十分有利。电压继电器 KV 的作用是：在加工过程中，若电源电压不足，则电磁吸盘将不能吸牢工件，会导致工件被砂轮打出，易造成严重事故，因此，在电路中设置了电压继电器 KV，将其线圈并联在直流电源上，其动合触点（7 区）串联在液压泵电动机和砂轮电动机的控制电路中，若电磁吸盘不能吸牢工件，KV 就会释放，使液压泵电动机和砂轮电动机停转，保证了安全。

#### (4) 照明和指示灯电路

EL 为照明灯, 其工作电压为 24V, 由变压器 TC 供给。QS<sub>2</sub> 为照明负荷隔离开关。

HL<sub>1</sub>、HL<sub>2</sub>、HL<sub>3</sub>、HL<sub>4</sub> 和 HL<sub>5</sub> 为指示灯, 其工作电压为 6V, 也由变压器 TC 供给, 五个指示灯的作用如下。

HL<sub>1</sub> 亮, 表示控制电路的电源正常; 不亮, 则表示电源有故障。

HL<sub>2</sub> 亮, 表示液压泵电动机 M<sub>1</sub> 处于运转状态, 工作台正在进行纵向进给; 不亮, 则表示 M<sub>1</sub> 停转。

HL<sub>3</sub> 亮, 表示冷却泵电动机 M<sub>3</sub> 及砂轮电动机 M<sub>2</sub> 处于运转状态; 不亮, 则表示 M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub> 停转。

HL<sub>4</sub> 亮, 表示砂轮升降电动机 M<sub>4</sub> 处于工作状态; 不亮, 则表示 M<sub>4</sub> 停转。

HL<sub>5</sub> 亮, 表示电磁吸盘 YH 处于工作状态 (充磁或去磁); 不亮, 则表示电磁吸盘未工作。

M7120 型平面磨床电器元件明细表见表 6-2。

表 6-2 M7120 型平面磨床电器元件明细表

代号	元件名称	用途	代号	元件名称	用途
M <sub>1</sub>	电动机	驱动液压泵	SB <sub>6</sub>	按钮	砂轮上升
M <sub>2</sub>	电动机	驱动砂轮	SB <sub>7</sub>	按钮	砂轮下降
M <sub>3</sub>	电动机	驱动冷却泵	SB <sub>8</sub>	按钮	电磁吸盘充磁
M <sub>4</sub>	电动机	砂轮升降	SB <sub>9</sub>	按钮	停止充磁
KM <sub>1</sub>	交流接触器	控制 M <sub>1</sub>	SB <sub>10</sub>	按钮	电磁吸盘去磁
KM <sub>2</sub>	交流接触器	控制 M <sub>2</sub>	UR	整流器	整流
KM <sub>3</sub>	交流接触器	点动控制 M <sub>4</sub> 、砂轮架上升	KV	电压继电器	欠电压保护
KM <sub>4</sub>	交流接触器	点动控制 M <sub>4</sub> 、砂轮架下降	R	电阻	放电保护
KM <sub>5</sub>	交流接触器	电磁吸盘充磁	C	电容	放电保护
KM <sub>6</sub>	交流接触器	点动控制电磁吸盘去磁	YH	电磁吸盘	吸牢工作
FR <sub>1</sub>	热继电器	M <sub>1</sub> 过载保护	FU <sub>1</sub>	熔断器	电源总短路保护
FR <sub>2</sub>	热继电器	M <sub>2</sub> 过载保护	FU <sub>2</sub>	熔断器	
FR <sub>3</sub>	热继电器	M <sub>3</sub> 过载保护	FU <sub>3</sub>	熔断器	控制电路短路保护
SB <sub>1</sub>	按钮	总停止	FU <sub>4</sub>	熔断器	
SB <sub>2</sub>	按钮	液压泵停止	FU <sub>5</sub>	熔断器	整流短路保护
SB <sub>3</sub>	按钮	液压泵启动	FU <sub>6</sub>	熔断器	照明指示短路保护
SB <sub>4</sub>	按钮	砂轮停止	QS <sub>1</sub>	开关	电源总开关
SB <sub>5</sub>	按钮	砂轮启动	QS <sub>2</sub>	开关	照明开关

### 6.3.3 钻床电气控制电路

钻床是一种孔加工机床, 可用来进行钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹及修刮端面等

多种形式的加工。钻床按用途和结构可分为立式钻床、台式钻床、多轴钻床、摇臂钻床及其他专用钻床等。在各类钻床中，摇臂钻床操作方便、灵活，适用范围广，具有典型性，特别适用于单件或批量生产中多孔大型零件的孔加工，是一般机械加工车间常见的机床。下面对 Z3040 型摇臂钻床进行重点分析。

### 6.3.3.1 控制要求

根据摇臂钻床的结构及运动情况，对其控制功能提出如下要求。

① 摇臂钻床运动部件较多，为简化传动装置，要求采用多电动机拖动，通常设有主轴电动机、摇臂升降电动机、立柱夹紧放松电动机（液压泵电动机）及冷却泵电动机。

② 摇臂钻床为适应多种形式的加工，要求主轴及进给有较大的调速范围。主轴在一般速度下的钻削加工常为恒功率负载；而低速时主要用于扩孔、铰孔、攻螺纹等加工，这时则为恒转矩负载。

③ 摇臂钻床的主运动与进给运动皆为主轴的运动，为此，这两个运动由一台主轴电动机拖动，分别经主轴与进给传动机构实现主轴旋转和进给。所以主轴变速机构与进给变速机构均装在主轴箱内。

④ 为加工螺纹，要求主轴可以正反转。摇臂钻床主轴正反转一般由机械方法获得，因此，主轴电动机只需单方向旋转。

⑤ 具有必要的联锁与保护。

### 6.3.3.2 电气控制电路图分析

该摇臂钻床具有两套液压控制系统，一个是操纵机构液压系统，一个是夹紧机构液压系统。前者安装主轴箱内，用以实现主轴正反转、停车制动、空挡、预选及变速；后者安装在摇臂背后的电器盒下部，用以夹紧、松开主轴箱、摇臂及立柱。

#### (1) 主电路分析

图 6-19 所示为 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路图。图中， $M_1$  为主轴电动机， $M_2$  为摇臂升降电动机， $M_3$  为液压泵电动机， $M_4$  为冷却泵电动机。 $M_1$  为单方向旋转，由接触器  $KM_1$  控制，主轴的正反转则由机床液压系统操纵机构配合正反转摩擦离合器实现，并由热继电器  $FR_1$  作电动机长期过载保护。

$M_2$  由接触器  $KM_2$ 、 $KM_3$  控制实现正反转。控制电路保证在操纵摇臂升降时，首先使液压泵电动机启动旋转，供出压力油，经液压系统将摇臂松开，然后才使电动机  $M_2$  启动，拖动摇臂上升或下降。当移动到位后，控制电路又保证  $M_2$  先停下，再自动通过液压系统将摇臂夹紧，最后液压泵电动机才停下。 $M_2$  为短时工作，不设长期过载保护。

$M_3$  由接触器  $KM_4$ 、 $KM_5$  实现正反转控制，并由热继电器  $FR_2$  作长期过载保护。

$M_4$  电动机容量小，仅为 0.125kW，由开关 SA 控制。

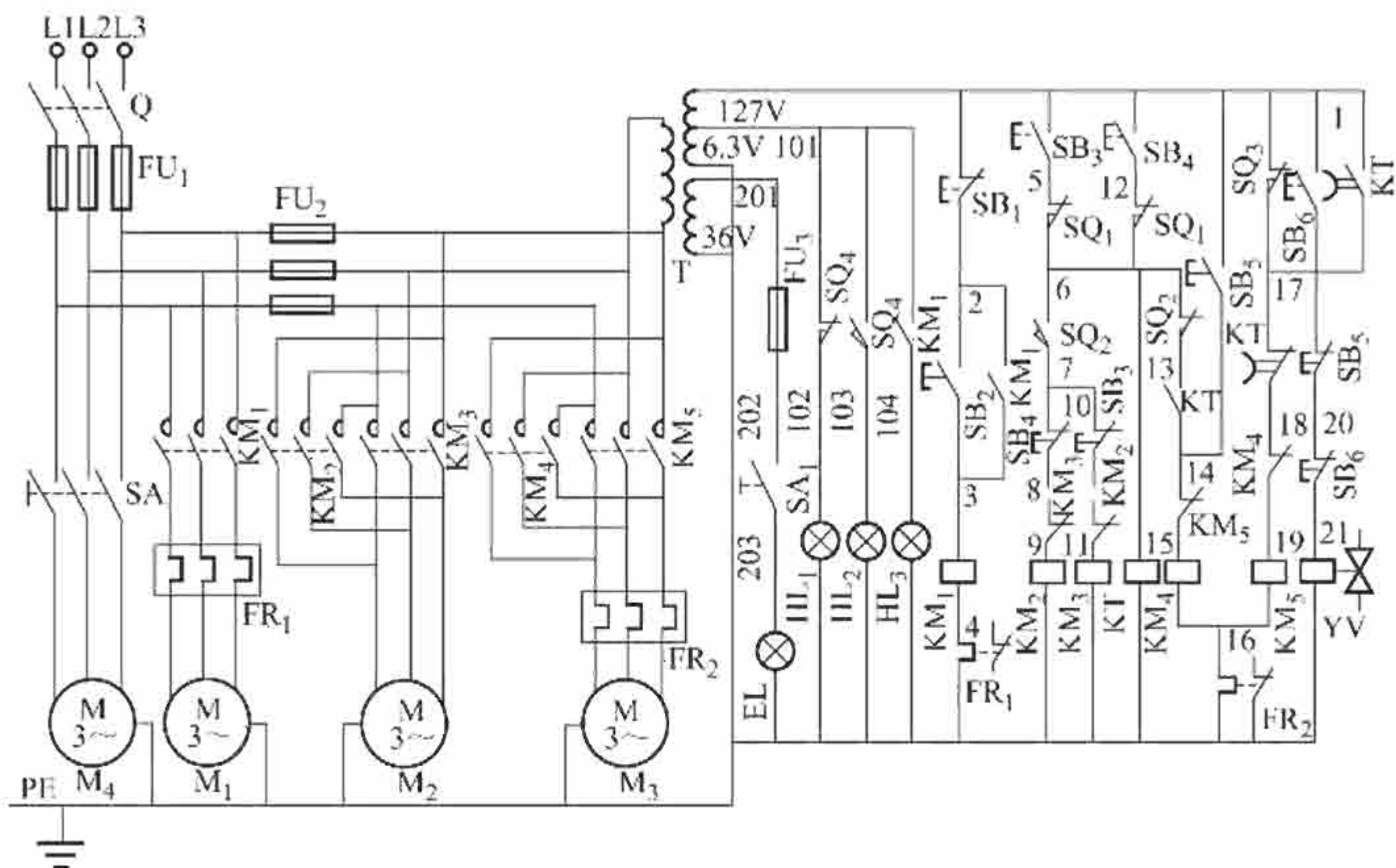


图 6-19 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路图

## (2) 控制电路分析

由按钮  $SB_1$ 、 $SB_2$  与  $KM_1$  构成主轴电动机  $M_1$  的单方向旋转启动-停止电路。 $M_1$  启动后, 指示灯  $HL_3$  亮, 表示主轴电动机在旋转。

由上升按钮  $SB_3$ 、下降按钮  $SB_4$  及正反转接触器  $KM_2$ 、 $KM_3$  组成具有双重联锁的电动机正反转控制电路。由于摇臂的升降控制必须与夹紧机构液压系统紧密配合, 所以与液压泵电动机的控制有密切关系。下面以摇臂的上升为例分析对摇臂升降的控制。

按下上升按钮  $SB_3$ , 时间继电器  $KT$  线圈通电, 触点  $KT$  (1-17)、 $KT$  (13-14) 立即闭合, 使电磁阀  $YV$ 、 $KM_4$  线圈同时通电, 液压泵电动机启动旋转, 拖动液压泵送出压力油, 压力油经二位六通阀进入松开油腔, 推动活塞杆和菱形块, 将摇臂松开。同时, 活塞杆通过弹簧片压上行程开关  $SQ_2$ , 发出摇臂松开信号, 即触点  $SQ_2$  (6-7) 闭合,  $SQ_2$  (6-13) 断开, 使  $KM_2$  通电,  $KM_4$  断电。于是电动机  $M_3$  停止旋转, 油泵停止供油, 摇臂维持松开状态。同时,  $M_2$  启动旋转, 带动摇臂上升。所以,  $SQ_2$  是用来反映摇臂是否松开并发出摇臂松开信号的电器元件。

当摇臂上升到所需位置时, 松开按钮  $SB_3$ ,  $KM_2$  和  $KT$  断电,  $M_2$  电动机停止旋转, 摇臂停止上升。但由于触点  $KT$  (17-18) 经 1~3s 延时闭合, 触点  $KT$  (1-17) 经同样时间延时断开, 所以  $KT$  线圈断电, 且经 1~3s 延时后,  $KM_5$  通电,  $YV$  断电。此时  $M_3$  反向启动, 拖动液压泵供给压力油, 经二位六通阀进入摇臂夹紧油腔, 反向推动活塞杆和菱形块, 将摇臂夹紧。同时, 活塞杆通过弹簧片压下行程开关  $SQ_3$ , 使触点  $SQ_3$  (1-17) 断开, 使  $KM_5$  断电, 油泵电动机  $M_3$  停止旋转, 摇臂夹紧完成, 所以  $SQ_3$  为摇臂夹紧信号开关。

时间继电器 KT 是为保证夹紧动作在摇臂升降电动机停止运转后进行而设的, KT 延时的长短, 依摇臂升降电动机切断电源到停止惯性作用的时间来调整。

摇臂升降的极限保护由组合开关  $SQ_1$  来实现。 $SQ_1$  有两对动断触点, 当摇臂上升或下降到极限位置时, 相应触点动作, 切断对应的接触器  $KM_2$  或  $KM_3$ , 使  $M_2$  停止旋转, 摇臂停止移动, 实现极限位置保护。 $SQ_1$  开关的两对触点平时应调整在同时接通的位置, 一旦动作, 应使一对触点断开, 而另一对触点仍保持闭合。

摇臂自动夹紧程度由行程开关  $SQ_3$  控制。如果夹紧机构液压系统出现故障不能夹紧, 那么触点  $SQ_3$  (1-17) 不能断开; 或者  $SQ_3$  开关安装、调整不当, 摇臂夹紧后仍不能压下  $SQ_3$ , 都会使电动机  $M_3$  处于长期过载状态, 易将电动机烧毁。为此,  $M_3$  采用热继电器  $FR_2$  作过载保护。

主轴箱和立柱的松开与夹紧是同时进行的。按下松开按钮  $SB_5$ ,  $KM_4$  通电,  $M_3$  电动机正转, 拖动液压泵送出压力油, 这时 YV 处于断电状态, 压力油经二位六通阀进入主轴箱松开油腔与立柱松开油腔, 推动活塞杆和菱形块, 使主轴箱和立柱完成松开动作。在松开的同时, 行程开关  $SQ_4$  控制指示灯发出信号。当主轴箱与立柱松开时, 开关  $SQ_4$  不受压, 触点  $SQ_4$  (101-102) 闭合, 指示灯  $HL_1$  亮, 表示确已松开, 可操作主轴箱和立柱移动; 夹紧时, 将压下  $SQ_4$ , 触点  $SQ_4$  (101-103) 闭合, 指示灯  $HL_2$  亮, 表示可以进行钻削加工。

安装机床后, 接通电源, 可利用主轴箱和立柱的夹紧与松开来检查电源相序, 当电源相序正确时, 再调整电动机  $M_2$  的接线。

### 6.3.4 铣床电气控制电路

铣床可用于平面、斜面和沟槽等的加工, 安装分度头后可铣切直齿轮、螺旋面, 使用回转工作台可以铣切凸轮和弧形槽, 是一种常用的通用机床。

一般中小型铣床都采用三相笼型异步电动机拖动, 并且主轴的主运动与工作台进给运动分别由单独的电动机拖动。铣床主轴的主运动为刀具的切削运动, 有顺铣和逆铣两种加工方式; 工作台的进给运动有水平工作台左右(纵向)、前后(横向)以及上下(垂向)方向的运动, 有回转工作台的回转运动, 这里以 X62W 型万能铣床为例来说明。

#### 6.3.4.1 机床运动与传动概述

X62W 型万能铣床主要由床身、主轴、刀杆、横梁、水平工作台、回转工作台、溜板和升降台等几部分组成, 箱形的床身固定在底座上, 在床身内装有主轴的传动机构和变速操纵机构。在床身的顶部有水平导轨, 上面装着带有一或两个刀杆支架的悬梁。刀杆支架用来支承铣刀心轴的一端, 心轴另一端则固定在主轴上, 由主轴带动铣刀切削。悬梁可以水平移动, 刀杆支架可以在悬梁上水平移动, 以便安装不同的心轴。在床身的前面有垂直导轨, 升降台可沿着它上下移动。在升降台上

面的水平导轨上装有可在平行于主轴轴线的方向上移动（横向移动或前后移动）的溜板。溜板上部有可转动部分，工作台就在溜板上部的可转动部分的导轨上做垂直于主轴轴线方向的移动（纵向移动）。工作台上带有 T 形槽，用来固定工件。这样，安装在工作台上的工件就可以在三个坐标轴的六个方向上调整位置或进给。

此外，由于回转工作台可以绕中心转过一个角度（通常是  $\pm 45^\circ$ ），使工作台在水平面上除了能在平行于或垂直于主轴轴线方向进给外，还能在倾斜方向进给，因此可以加工螺旋槽，故称为万能铣床。

#### 6.3.4.2 电气控制电路图分析

图 6-20 所示为 X62W 型万能铣床的电气控制电路。电路分为主电路、控制电路和照明电路三部分。铣床电气控制电路所用电器元件明细表见表 6-3。

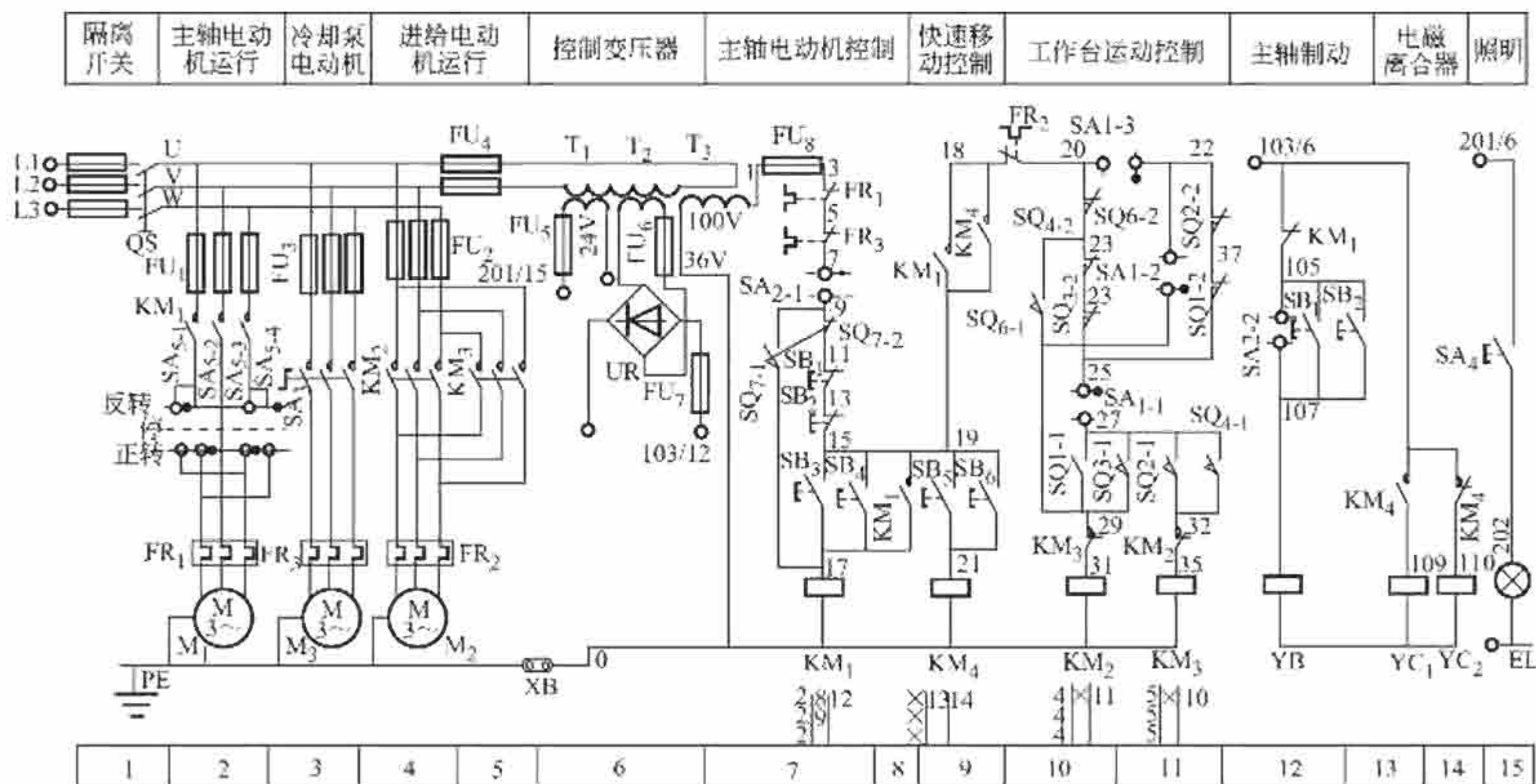


图 6-20 X62W 型万能铣床的电气控制电路

表 6-3 X62W 型万能铣床电器元件明细表

代号	元件名称	用途	代号	元件名称	用途
M <sub>1</sub>	电动机	驱动主轴	T <sub>3</sub>	变压器	控制回路电源
M <sub>2</sub>	电动机	驱动进给	UR	整流器	整流器
M <sub>3</sub>	电动机	驱动冷却泵	KM <sub>1</sub>	接触器	主轴启动
QS	开关	总开关	KM <sub>2</sub>	接触器	快速进给
SA <sub>1</sub>	开关	圆工作台开关	KM <sub>3</sub>	接触器	M <sub>2</sub> 正转
SA <sub>2</sub>	开关	换刀开关	KM <sub>4</sub>	接触器	M <sub>2</sub> 反转
SA <sub>3</sub>	开关	冷却泵开关	SB <sub>1</sub> 、SB <sub>2</sub>	按钮	停止、制动
SA <sub>5</sub>	开关	M <sub>1</sub> 换向开关	SB <sub>3</sub> 、SB <sub>4</sub>	按钮	M <sub>1</sub> 启动
FU <sub>1</sub>	熔断器	M <sub>1</sub> 短路保护	SB <sub>5</sub> 、SB <sub>6</sub>	按钮	快速进给点动
FU <sub>2</sub>	熔断器	M <sub>2</sub> 短路保护	YB	电磁离合器	主轴制动

续表

代号	元件名称	用途	代号	元件名称	用途
FU <sub>3</sub>	熔断器	M <sub>3</sub> 短路保护	YC <sub>1</sub>	电磁离合器	正常进给
FU <sub>4</sub>	熔断器	控制电路总短路保护	YC <sub>2</sub>	电磁离合器	快速进给
FU <sub>5</sub>	熔断器	照明短路保护	SQ <sub>1</sub>	位置开关	主轴冲动开关
FR <sub>1</sub>	热继电器	M <sub>1</sub> 过载保护	SQ <sub>2</sub>	位置开关	进给冲动开关
FR <sub>2</sub>	热继电器	M <sub>2</sub> 过载保护	SQ <sub>3</sub>	位置开关	
FR <sub>3</sub>	热继电器	M <sub>3</sub> 过载保护	SQ <sub>4</sub>	位置开关	
T <sub>1</sub>	变压器	照明电源	SQ <sub>5</sub>	位置开关	M <sub>2</sub> 正反转及联锁
I <sub>2</sub>	变压器	整流电源	SQ <sub>6</sub>	位置开关	

### (1) 主电路分析

铣床的工作方式是逆铣还是顺铣，在开始工作以前即已选定，加工过程中是不改变的。为简化控制电路，主轴电动机 M<sub>1</sub> 正转接线与反转接线是通过组合开关 SA<sub>5</sub> 手动切换的，接触器 KM<sub>1</sub> 的主触点只控制电源的接入与切断。

进给电动机 M<sub>2</sub> 在工作过程中频繁变换转动方向，因而仍采用接触器方式构成正转与反转接线。

冷却泵电动机 M<sub>3</sub> 根据加工需要提供切削液，采用转换开关 SA<sub>3</sub>，在主电路中手动直接接通和断开 M<sub>3</sub> 定子绕组的电源。

### (2) 控制电路分析

#### ① 主轴电动机 M<sub>1</sub> 的控制。

a. 主轴电动机启动控制。主轴电动机空载直接启动前，由组合开关 SA<sub>5</sub> 选定电动机的转向。控制电路中，选择开关 SA<sub>2</sub> 选定主轴电动机为正常工作方式，即 SA<sub>2-1</sub> 触点闭合，SA<sub>2-2</sub> 触点断开，然后通过压动启动按钮 SB<sub>3</sub> 或 SB<sub>4</sub>，接通主轴电动机启动控制接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路，其主触点闭合，主轴电动机按给定方向启动旋转。压动停止按钮 SB<sub>1</sub> 与 SB<sub>2</sub>，主轴电动机停转，SB<sub>3</sub>、SB<sub>4</sub>、SB<sub>1</sub> 与 SB<sub>2</sub> 分别位于两个操作板上，从而实现主轴电动机的两地操作控制。

b. 主轴电动机制动及换刀制动。为使主轴能迅速停车，控制电路采用电磁制动器进行主轴的停车制动。按下停止按钮 SB<sub>1</sub> 或 SB<sub>2</sub>，其动断触点使接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈失电，电动机定子绕组脱离电源，同时其动合触点闭合，接通电磁制动器 YB 的线圈电路，对主轴进行停车制动。

当进行换刀和上刀操作时，为了防止主轴意外转动造成事故以及方便上刀，主轴也需处在断电停车或制动的状态。此时工作状态选择开关 SA<sub>2</sub> 由正常工作状态位置扳到上刀制动状态位置，即 SA<sub>2-1</sub> 触点断开，切断接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路，使主轴电动机不能启动；SA<sub>2-2</sub> 触点闭合，接通电磁制动器 YB 的线圈电路，使主轴处于制动状态，不能转动，保证上刀、换刀工作的顺利进行。



## c. 主轴变速时的瞬时点动控制。

变速时, 变速操作手柄被拉出, 然后转动变速手轮, 选择转速, 转速选定后, 将变速操作手柄复位。因为变速是通过机械变速机构实现的, 变速手轮选定应进入啮合的齿轮后, 齿轮啮合到位, 即可输出选定转速。若齿轮没有进入正常啮合状态, 则需要主轴有瞬时点动的功能, 以调整齿轮位置, 使齿轮进入正常啮合。实现瞬时点动的是由复位手柄与行程开关  $SQ_7$  组合构成的点动控制电路。变速操作手柄在复位的过程中压动瞬时点动行程开关  $SQ_7$ ,  $SQ_7$  的动合触点闭合, 使接触器  $KM_1$  的线圈得电, 主轴电动机  $M_1$  转动,  $SQ_7$  的动断触点切断  $KM_1$  线圈电路的自锁, 使电路随时可被切断。变速操作手柄复位后, 松开行程开关  $SQ_7$ , 电动机  $M_1$  停转, 完成一次瞬时点动。手柄复位时要求迅速、连续, 一次瞬时点动不能实现齿轮良好啮合时, 应立即拉出复位手柄 (以免行程开关  $SQ_7$  没能及时松开, 电动机转速上升, 在齿轮未啮合好的情况下打坏齿轮), 重新进行瞬时点动的操作, 直至完全复位, 保证齿轮正常啮合。

② 进给电动机  $M_2$  的控制。进给电动机  $M_2$  的控制电路分为三部分: 第一部分为顺序控制部分, 当主轴电动机启动后, 其启动控制接触器  $KM_1$  辅助动合触点闭合, 控制进给电动机转动的接触器  $KM_2$  与  $KM_3$  的线圈电路方能通电工作; 第二部分为工作台各进给运动之间的联锁控制部分, 可实现水平工作台各运动之间的联锁, 也可实现水平工作台与回转工作台之间的工作联锁; 第三部分为进给电动机正反转接触器线圈电路部分。

a. 水平工作台纵向进给运动的控制。水平工作台纵向进给运动由操作手柄与行程开关  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  组合控制。纵向操作手柄有左右两个工作位和一个中间不工作位。手柄扳到工作位时, 带动机械离合器, 接通纵向进给运动的机械传动链, 同时压动行程开关, 行程开关的动合触点闭合, 使接触器  $KM_2$  或  $KM_3$  线圈得电, 其主触点闭合, 进给电动机正转或反转, 驱动工作台向左或向右移动进给。行程开关的动断触点在联锁控制部分完成联锁控制功能。通过选择开关  $SA_1$  选择水平工作台或回转工作台工作。 $SA_{1-1}$  与  $SA_{1-3}$  触点闭合, 接通水平工作台控制电路,  $SA_{1-2}$  触点断开, 切断回转工作台控制电路。水平工作台控制电路与回转工作台控制电路分别见图 6-21(a)、图 6-21(b)。电路由  $KM_1$  辅助动合触点开始, 工作电流经  $SQ_{6-2} \rightarrow SQ_{4-2} \rightarrow SQ_{3-2} \rightarrow SA_{1-1} \rightarrow SQ_{1-1} \rightarrow KM_3 \rightarrow KM_2$  线圈或者由  $SA_{1-1}$  经

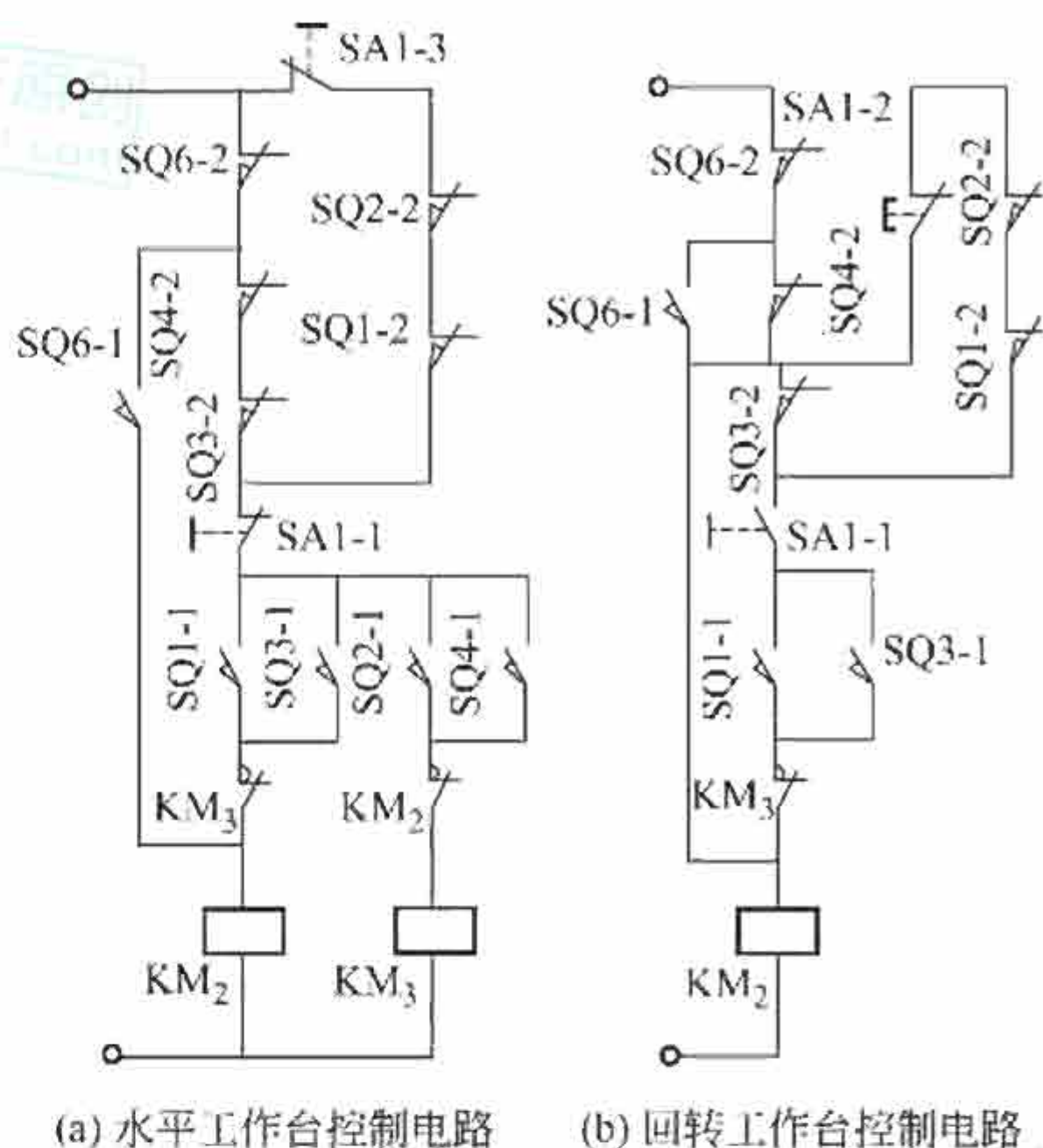


图 6-21 工作台控制电路

$SQ_{2-1} \rightarrow KM_2 \rightarrow KM_3$  线圈。

工作台纵向进给过程如下：

- |                    |   |   |   |
|--------------------|---|---|---|
| 纵向操作<br>手柄扳在<br>右位 | → | 合上纵向进给机械离合器                               |   |
|                    | → | 压下 $SQ_1$ ( $SQ_{1-2}$ 断开、 $SQ_{1-1}$ 闭合) | $\rightarrow KM_2$ 线圈得电 $\rightarrow$ 电动机 $M_2$ 正转, 工作台右移 |
| 纵向操作<br>手柄扳在<br>左位 | → | 合上纵向进给机械离合器                               |   |
|                    | → | 压下 $SQ_2$ ( $SQ_{2-2}$ 断开、 $SQ_{2-1}$ 闭合) | $\rightarrow KM_3$ 线圈得电 $\rightarrow$ 电动机 $M_2$ 反转, 工作台左移 |

手柄扳到中间位时，纵向机械离合器脱开，行程开关  $SQ_1$  与  $SQ_2$  不受压，因此进给电动机不转动，工作台停止移动。工作台的两端安装有撞块，当工作台运行达到终点位置时，撞块撞击手柄，使其回到中间位置，实现工作台的终点停车。

b. 水平工作台横向和垂直进给运动控制。水平工作台横向和垂直进给运动的选择和联锁通过十字复合操作手柄和行程开关  $SQ_3$ 、 $SQ_4$  组合控制，操作手柄上有上、下、前、后四个工作位置和一个中间不工作位置，扳动操作手柄到选定运动方向的工作位置，即可接通该运动方向的机械传动链，同时压动行程开关  $SQ_3$  或  $SQ_4$ ，行程开关的动合触点闭合，使控制进给电动机转动的接触器  $KM_2$  或  $KM_3$  的线圈得电，电动机  $M_2$  转动，工作台在相应的方向上移动；行程开关的动断触点像纵向行程开关一样，在联锁电路中，构成运动的联锁控制。控制电路由主轴电动机启动控制接触器  $KM_1$  的辅助动合触点开始，工作电流经  $SA_{1-3} \rightarrow SQ_{2-2} \rightarrow SQ_{1-2} \rightarrow SA_{1-1} \rightarrow SQ_{3-1} \rightarrow KM_3 \rightarrow KM_2$  线圈，或者由  $SA_{1-1}$  经  $SQ_{4-1} \rightarrow KM_2 \rightarrow KM_3$  线圈。

工作台横向与垂直进给过程如下。

- |                         |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|
| 十字复合<br>操作手柄<br>扳在上方    | → | 合上垂直进给机械离合器                               |   |
|                         | → | 压下 $SQ_3$ ( $SQ_{3-2}$ 断开、 $SQ_{3-1}$ 闭合) | $\rightarrow KM_2$ 线圈得电 $\rightarrow$ 电动机 $M_2$ 正转, 工作台上移 |
| 十字复合<br>操作手柄<br>扳在下方    | → | 合上垂直进给机械离合器                               |   |
|                         | → | 压下 $SQ_4$ ( $SQ_{4-2}$ 断开、 $SQ_{4-1}$ 闭合) | $\rightarrow KM_3$ 线圈得电 $\rightarrow$ 电动机 $M_2$ 反转, 工作台下移 |
| 十字复合<br>操作手柄<br>扳在右方(前) | → | 合上横向进给机械离合器                               |   |
|                         | → | 压下 $SQ_3$ ( $SQ_{3-2}$ 断开、 $SQ_{3-1}$ 闭合) | $\rightarrow KM_2$ 线圈得电 $\rightarrow$ 电动机 $M_2$ 正转, 工作台前移 |
| 十字复合<br>操作手柄<br>扳在左方(后) | → | 合上横向进给机械离合器                               |   |
|                         | → | 压下 $SQ_4$ ( $SQ_{4-2}$ 断开、 $SQ_{4-1}$ 闭合) | $\rightarrow KM_3$ 线圈得电 $\rightarrow$ 电动机 $M_2$ 反转, 工作台后移 |

十字复合操作手柄扳在中间位置时，横向与垂直的机械离合器脱开，行程开关  $SQ_3$  与  $SQ_4$  均不受压，因此进给电动机停转，工作台停止移动。固定在床身上的撞块，当工作台移动到极限位置时撞击十字复合操作手柄，使其回到中间位置，切断电路，工作台在进给终点停车。

c. 水平工作台进给运动的联锁控制。由于操作手柄在工作时只能选择一种工作位置，因此，只要铣床进给运动之间的联锁满足两操作手柄之间的联锁即可实现水平工作台进给运动的联锁控制。联锁控制电路由两条电路并联组成，手柄控制的行程开关  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  的动断触点串联在一条支路上，十字复合操作手柄控制的行程开关  $SQ_3$ 、 $SQ_4$  的动断触点串联在另一条支路上，扳动任一操作手柄，只能切断

其中一条支路,另一条支路仍能正常通电,使接触器  $KM_2$  或  $KM_3$  的线圈不失电。若同时扳动两个操作手柄,则两条支路均被切断,接触器  $KM_2$  或  $KM_3$  断电,工作台立即停止移动,从而防止机床设备发生事故。

d. 水平工作台的快速移动。水平工作台选定进给方向后,可通过电磁离合器接通快速机械传动链,实现工作台空行程的快速移动。快速移动为手动控制,按下启动按钮  $SB_5$  或  $SB_6$ ,接触器  $KM_4$  的线圈得电,其动断触点断开,使正常进给电磁离合器  $YC_1$  线圈失电,接通快速机械传动链,水平工作台沿给定的进给方向快速移动。松开按钮  $SB_5$  或  $SB_6$ , $KM_4$  线圈失电,恢复水平工作台的工作进给。

e. 回转工作台的运动控制。回转工作台工作时,工作台选择开关  $SA_1$  的  $SA_{1-1}$  和  $SA_{1-3}$  两触点断开, $SA_{1-2}$  触点闭合,构成如图 6-21(b) 所示的回转工作台控制电路,此时水平工作台的操作手柄均扳到中间不工作位置。控制电路由主轴电动机启动控制接触器  $KM_1$  的辅助动合触点开始,工作电流经  $SQ_{6-2} \rightarrow SQ_{4-2} \rightarrow SQ_{3-2} \rightarrow SQ_{1-2} \rightarrow SQ_{2-2} \rightarrow SA_{1-2} \rightarrow KM_3 \rightarrow KM_2$  线圈, $KM_2$  主触点闭合,进给电动机  $M_2$  正转,拖动回转工作台转动,回转工作台只能单方向旋转。回转工作台的控制电路串联了水平工作台行程开关  $SQ_{4-1}$  的动断触点,因此水平工作台任一操作手柄扳到工作位置,都会压到行程开关,切断回转工作台的控制电路,使其立即停止转动,从而起到水平工作台进给运动和回转工作台转动之间的联锁保护作用。

f. 水平工作台变速时的点动控制。水平工作台变速瞬时点动控制原理与主轴变速瞬时点动控制相同。操作手柄拉出后选择转速,再将操作手柄复位。操作手柄在复位的过程中压动瞬时点动行程开关  $SQ_6$ , $SQ_6$  的动合触点闭合,接通接触器  $KM_2$  的线圈电路,使进给电动机  $M_2$  转动; $SQ_6$  的动断触点切断  $KM_2$  线圈电路自锁。操作手柄复位后,松开行程开关  $SQ_6$ 。与主轴瞬时点动操作相同,也要求手柄复位时迅速、连续,一次不到位,要立即拉出操作手柄,再重复瞬时点动的操作,直到齿轮处于良好啮合状态,进入正常工作。

### 6.3.5 镗床电气控制电路

镗床是一种精密加工机床,主要用于加工精确的孔和孔间距离要求较为精确的零件。按不同用途,镗床可分为卧式镗床、立式镗床、坐标镗床和专用镗床等。在生产中使用较广泛的有卧式镗床和坐标镗床,其中坐标镗床加工精度很高,适用于加工高精度坐标孔距的多孔零件,而卧式镗床具有万能性特点,它不但能完成孔加工,而且还能完成车端面及内外圆、铣削平面等的加工。下面以 T68 型卧式镗床为例进行分析。

#### 6.3.5.1 电气控制特点

镗床的工艺范围广,因而调速范围大,运动多。其电气控制特点如下。

① 为适应各种工件加工工艺的要求,主轴应在大范围内调速,多采用交流电动机驱动的滑移齿轮变速系统。目前,国内有采用单电动机拖动的,也有采用双速

或三速电动机拖动的，后者可精简机械传动机构。由于镗床主拖动要求恒功率，所以采用“ $\Delta$ -YY”双速电动机。

② 由于采用滑移齿轮变速，因此为防止顶齿现象，要求主轴变速时低速断续冲动。

③ 为适应加工过程中调整的需要，要求主轴可以正反向点动调整，这是通过主电动机低速点动来实现的。同时还要求主轴可以正反向旋转，这是通过主轴电动机的正反转来实现的。

④ 主轴电动机低速时可以直接启动，高速时，控制电路要保证先接通低速系统，经延时再接通高速系统，以减小启动电流。

⑤ 主轴要求快速而准确的制动，所以必须采用效果好的停车制动。卧式镗床常用直流制动（也有的采用电磁铁制动）。

⑥ 由于进给部件多，快速进给用另一台电动机拖动。

### 6.3.5.2 电路分析

图 6-22 所示为 T68 型卧式镗床电气控制电路图，其电器元件明细表见表 6-4。

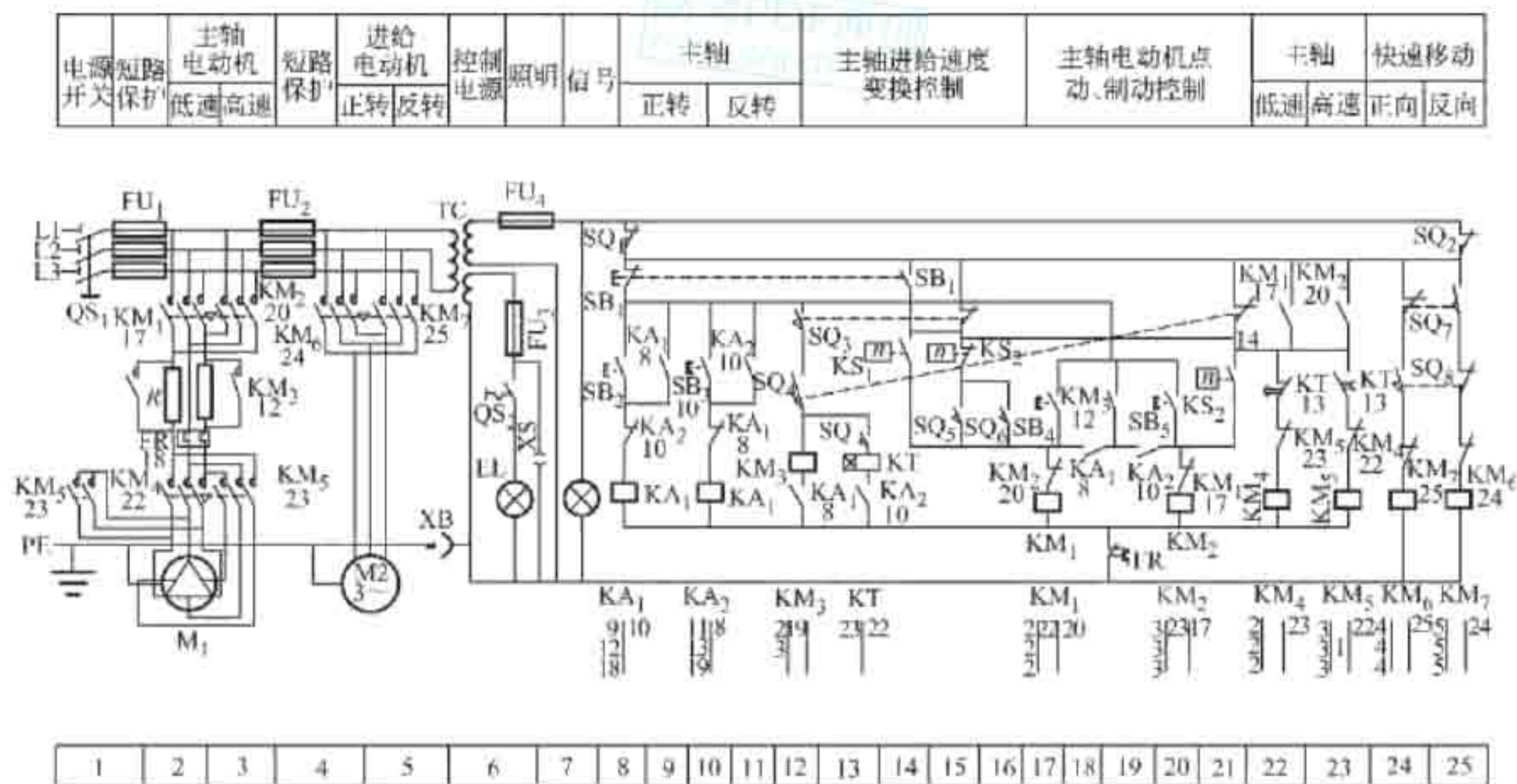


图 6-22 T68 型卧式镗床电气控制电路图

#### (1) 主电路分析

T68 型卧式镗床共由两台三相异步电动机驱动，即主拖动电动机  $M_1$  和快速移动电动机  $M_2$ 。熔断器  $FU_1$  作为电路的总短路保护， $FU_2$  作为快速移动电动机和控制电路的短路保护。 $M_1$  由热继电器作过载保护； $M_2$  是短期工作，所以不设置热继电器。 $M_1$  用接触器  $KM_1$  和  $KM_2$  控制正反转，接触器  $KM_3$ 、 $KM_4$  和  $KM_5$  实现三角形-双星形（ $\Delta$ -YY）变速切换； $M_2$  用接触器  $KM_6$  和  $KM_7$  控制正反转。

#### (2) 控制电路分析

表 6-4 T68 型卧式镗床电器元件明细表

代号	元件名称	用途	代号	元件名称	用途
M <sub>1</sub>	电动机	驱动主轴	SB <sub>4</sub>	按钮	主轴正转点动
M <sub>2</sub>	电动机	驱动快速移动	SB <sub>5</sub>	按钮	主轴反转点动
KM <sub>1</sub>	接触器	主轴正转	SQ	行程开关	接通主电动机高速挡
KM <sub>2</sub>	接触器	主轴反转	SQ <sub>1</sub>	行程开关	主轴自动进刀与工作台自动进给间的联锁
KM <sub>3</sub>	接触器	短路限流电阻	SQ <sub>2</sub>	行程开关	
KM <sub>4</sub>	接触器	主轴低速	SQ <sub>3</sub>	行程开关	主轴变速
KM <sub>5</sub>	接触器	主轴高速	SQ <sub>4</sub>	行程开关	进给变速
KM <sub>6</sub>	接触器	M <sub>2</sub> 正转	SQ <sub>5</sub>	行程开关	进给变速冲动
KM <sub>7</sub>	接触器	M <sub>2</sub> 反转	SQ <sub>6</sub>	行程开关	主轴变速冲动
KA <sub>1</sub>	中间继电器	接通主轴正转	SQ <sub>7</sub>	行程开关	M <sub>2</sub> 反转限位
KA <sub>2</sub>	中间继电器	接通主轴反转	SQ <sub>8</sub>	行程开关	M <sub>2</sub> 正转限位
KT	时间继电器	高速延时启动	TC	控制变压器	控制照明电源
KS <sub>1</sub>	速度继电器	反向速度控制	FR	热继电器	M <sub>1</sub> 过载保护
KS <sub>2</sub>	速度继电器	正向速度控制	FU <sub>1</sub>	熔断器	电源总短路保护
QS <sub>1</sub>	开关	电源总开关	FU <sub>2</sub>	熔断器	M <sub>2</sub> 短路保护
SB <sub>1</sub>	按钮	主轴停止	FU <sub>3</sub>	熔断器	照明短路保护
SB <sub>2</sub>	按钮	主轴正转启动	FU <sub>4</sub>	熔断器	控制电路短路保护
SB <sub>3</sub>	按钮	主轴反转启动	R	电阻	M <sub>1</sub> 反接制动

### ① 主轴电动机 M<sub>1</sub> 的控制。

a. 主轴电动机的正反转控制。按下正转启动按钮 SB<sub>2</sub>，中间继电器 KA<sub>1</sub> 线圈获电吸合，KA<sub>1</sub> 动合触点（12 区）闭合，接触器 KM<sub>3</sub> 线圈得电（此时行程开关 SQ<sub>3</sub> 和 SQ<sub>4</sub> 已被操作手柄压合），KM<sub>3</sub> 主触点闭合，将制动电阻 R 短接，而 KM<sub>3</sub> 辅助动合触点（19 区）闭合，接触器 KM<sub>1</sub> 线圈获电吸合，KM<sub>1</sub> 主触点闭合，接通电源。KM<sub>1</sub> 的动合触点（22 区）闭合，KM<sub>4</sub> 线圈得电吸合，KM<sub>4</sub> 主触点闭合，电动机 M<sub>1</sub> 接成△形正向启动，空载转速为 1500r/min。

反转时只需按下反转启动按钮 SB<sub>3</sub>，动作原理同上，所不同的是中间继电器 KA<sub>2</sub> 和接触器 KM<sub>2</sub> 获电吸合。

b. 主轴电动机 M<sub>1</sub> 的点动控制。按下正转点动按钮 SB<sub>4</sub>，接触器 KM<sub>1</sub> 线圈获电吸合，KM<sub>1</sub> 动合触点（22 区）闭合，接触器 KM<sub>4</sub> 线圈获电吸合。这样，KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>4</sub> 的主触点闭合，便使电动机 M<sub>1</sub> 接成△形，并串电阻 R 点动。

同理，按下反转点动按钮  $SB_5$ ，接触器  $KM_2$  和  $KM_4$  线圈获电吸合， $M_1$  反向点动。

c. 主轴电动机  $M_1$  的停车制动。假设电动机  $M_1$  正转，当速度达到  $120\text{r}/\text{min}$  以上时，速度继电器  $KS_2$  动合触点闭合，为停车制动做好准备。若要  $M_1$  停车，就按  $SB_1$ ，则中间继电器  $KA_1$  和接触器  $KM_3$  断电释放， $KM_3$  动合触点（19区）断开， $KM_1$  线圈断电释放， $KM_4$  线圈也断电释放。由于  $KM_1$  和  $KM_4$  主触点断开，因此电动机  $M_1$  断电，且惯性运转。紧接着，接触器  $KM_2$  和  $KM_4$  线圈获电吸合， $KM_2$  和  $KM_4$  主触点闭合，电动机  $M_1$  串电阻  $R$  反接制动。当转速降至  $120\text{r}/\text{min}$  以下时，速度继电器  $KS_2$  动合触点（21区）断开，接触器  $KM_2$  和  $KM_4$  断电释放，停车制动结束。

如果电动机  $M_1$  反转，当速度达到  $120\text{r}/\text{min}$  以上时，速度继电器  $KS_1$  动合触点闭合，为停车制动做好准备。以后的动作过程与正转制动相似，读者可自行分析。

d. 主轴电动机  $M_1$  的高、低速控制。若选择电动机  $M_1$  低速（ $\Delta$ 形连接）运行，可通过操作手柄使变速行程开关  $SQ$ （13区）处于断开位置，相应的时间继电器  $KT$  线圈断电，接触器  $KM_5$  线圈也断电，电动机  $M_1$  只能由接触器  $KM_4$  接成  $\Delta$ 形。

如果需要电动机高速运行，应首先通过操作手柄使行程开关  $SQ$  压合，然后按正转启动按钮  $SB_2$ （或反转启动按钮  $SB_3$ ）， $KA_1$  线圈（反转时为  $KA_2$  线圈）获电吸合，时间继电器  $KT$  和接触器  $KM_3$  线圈同时获电吸合。由于  $KT$  两触点延时动作，故  $KM_1$  线圈先获电吸合，电动机  $M_1$  接成  $\Delta$ 形低速启动，一段时间后， $KT$  的动合触点（22区）延时断开， $KM_4$  线圈断电释放， $KT$  的动断触点（23区）延时闭合， $KM_5$  线圈获电吸合，电动机  $M_1$   $YY$ 形连接，以高速（空载时为  $3000\text{r}/\text{min}$ ）运行。

e. 主轴变速及进给变速控制。该机床主轴的各种速度是通过变速操纵盘，以改变传动链的传动比来实现的。主轴在工作过程中要变速，不必按停止按钮，可直接进行变速。设  $M_1$  原来运行在正转状态，速度继电器  $KS_2$ （21区）早已闭合。将主轴变速操纵盘的操作手柄拉出，与手柄有机械联系的行程开关  $SQ_3$  不再受压而断开， $KM_3$  和  $KM_4$  线圈先后断电释放，电动机  $M_1$  断电，行程开关  $SQ_3$  动断触点（15区）闭合， $KM_2$  和  $KM_4$  线圈获电吸合，电动机  $M_1$  串接电阻  $R$  反接制动。速度继电器  $KS_2$ （21区）动合触点断开后， $M_1$  停车，便可转动变速操纵盘进行变速。变速后，将手柄推回原位， $SQ_3$  重新压合，接触器  $KM_3$ 、 $KM_1$  和  $KM_4$  线圈获电吸合，电动机  $M_1$  启动，主轴以新选定的速度运转。

变速时，若齿轮卡住手柄，手柄推不上，此时变速冲动行程开关  $SQ_6$  被压合，速度继电器  $KS_2$  的动断触点（15区）已恢复闭合，接触器  $KM_1$  线圈获电吸合，

电动机  $M_1$  启动。当速度高于  $120\text{r}/\text{min}$  时,  $\text{KS}_2$  动合触点 (15 区) 又断开,  $\text{KM}_1$  线圈断电释放, 电动机  $M_1$  又断电。速度达到  $120\text{r}/\text{min}$  时,  $\text{KS}_2$  动断触点又闭合, 从而再次进入低速旋转而重复上述过程。这样, 主轴电动机就被间歇启动和制动而低速旋转, 以便齿轮顺利啮合。直到齿轮啮合好, 手柄推上后, 压下行程开关  $\text{SQ}_3$ , 松开  $\text{SQ}_6$ , 将冲动电源切断。同时, 由于  $\text{SQ}_3$  的动合触点 (13 区) 闭合, 主轴电动机启动旋转, 主轴获得所选定的转速。

进给变速的操作和控制与主轴变速的操作和控制相同, 只是在进给变速时, 拉出的操作手柄是进给变速操纵盘的手柄, 与该手柄有机械联系的是行程开关  $\text{SQ}_4$ , 进给变速冲动的行程开关是  $\text{SQ}_5$ 。

② 快速移动电动机  $M_2$  的控制。主轴的轴向进给、主轴箱 (包括尾座) 的垂向进给、工作台的纵向和横向进给等的快速移动, 是由电动机  $M_2$  通过齿轮、齿条等来完成的。将手柄扳到正向快速位置时, 行程开关  $\text{SQ}_8$  被压合, 接触器  $\text{KM}_6$  线圈获电吸合, 电动机  $M_2$  正转启动, 实现快速正向移动。将手柄扳到反向快速位置, 行程开关  $\text{SQ}_7$  被压合,  $\text{KM}_7$  线圈获电吸合, 电动机  $M_2$  反向快速移动。

③ 联锁保护装置。为了防止在工作台或主轴箱自动快速进给时又将主轴进给手柄扳到自动快速进给的误操作, 采用了与工作台和主轴进给手柄有机械连接的行程开关  $\text{SQ}_1$  (在工作台后面)。当手柄扳到工作台 (或主轴箱) 自动快速进给的位置时,  $\text{SQ}_1$  被压断开。同样, 在主轴箱上还装有另一行程开关  $\text{SQ}_2$ , 它与主轴进给手柄有机械连接, 当手柄动作时,  $\text{SQ}_2$  受压分断。电动机  $M_1$  和  $M_2$  必须在行程开关  $\text{SQ}_1$  和  $\text{SQ}_2$  中有一个处于闭合状态时, 才可以启动。如果工作台 (或主轴箱) 在自动快速进给 (此时  $\text{SQ}_1$  断开) 时, 再将主轴进给手柄扳自动快速进给位置 ( $\text{SQ}_2$  也断开), 那么电动机  $M_1$  和  $M_2$  便都自动停车, 从而达到联锁保护的目。

### 6.3.6 滚齿机电气控制电路

图 6-23 所示为 Y3150 滚齿机电气控制电路图, 由电动机正反点动、单向启动及限位装置三个环节组成。

#### 6.3.6.1 电气控制电路图

如图 6-23 所示,  $M_1$  是主轴电动机, 由交流接触器  $\text{KM}_1$ 、 $\text{KM}_2$  控制刀架上下移动。 $M_2$  是冷却泵电动机, 由转换开关  $\text{Q}_2$  控制。

#### 6.3.6.2 工作过程分析

##### (1) 主电路

合上电源开关  $\text{Q}_1$ , 按下启动按钮  $\text{SB}_2$ , 接触器  $\text{KM}_2$  线圈得电,  $\text{KM}_2$  主触点闭合, 辅助触点  $\text{KM}_2$  闭合自锁, 电动机  $M_1$  带动刀架向下移动。直至加工工序结束, 刀架撞块与终点开关  $\text{SQ}_2$  相碰, 电动机自动停止。

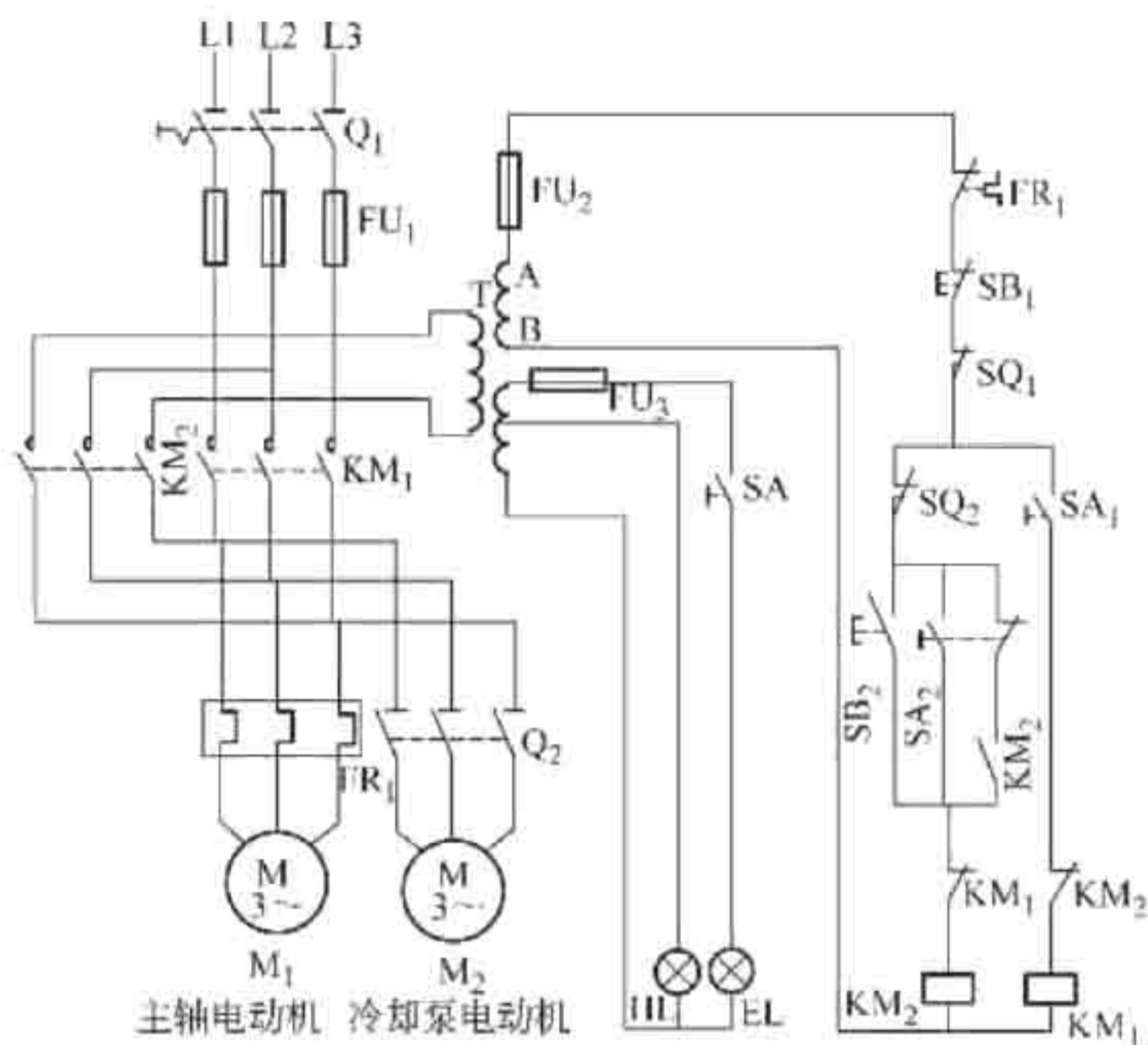


图 6-23 Y3150 滚齿机电气控制电路图

## (2) 控制电路

按下  $SB_2$  启动按钮后, 电路的路径如下: 电源 A 端  $\rightarrow$  热继电器  $FR_1$   $\rightarrow$  停止按钮  $SB_1$   $\rightarrow$  极限开关  $SQ_1$   $\rightarrow$   $SQ_2$   $\rightarrow$   $SB_2$   $\rightarrow$   $KM_1$ 、 $KM_2$  线圈  $\rightarrow$  电源 B 端。

若需刀架向上移动, 可按点动按钮  $SA_1$ , 则接触器  $KM_1$  线圈直接得电,  $KM_1$  主触点闭合, 电动机正向运转, 刀架向上移动。其控制回路如下: 由电源 A 端  $\rightarrow$  热继电器  $FR_1$   $\rightarrow$  停止按钮  $SB_1$   $\rightarrow$  限位开关  $SQ_1$   $\rightarrow$  点动按钮  $SA_1$   $\rightarrow$   $KM_2$  联锁动断触点  $\rightarrow$   $KM_1$  线圈  $\rightarrow$  电源 B 端。

若需刀架向下移动, 可按点动按钮  $SA_2$ , 则接触器线圈  $KM_2$  直接得电,  $KM_2$  主触点闭合, 电动机反向运转, 刀架向下移动, 其控制回路如下: 由电源 A 端  $\rightarrow$  热继电器  $FR_1$   $\rightarrow$  停止按钮  $SB_1$   $\rightarrow$  极限开关  $SQ_1$   $\rightarrow$   $SQ_2$   $\rightarrow$  点动按钮  $SA_2$   $\rightarrow$   $KM_1$  联锁动断触点  $\rightarrow$   $KM_2$  线圈  $\rightarrow$  电源 B 端。

若需冷却泵电动机运转, 只要合上转换开关  $Q_2$  即可。

若需停机, 只要按下停止按钮  $SB_1$  即可。这里要注意以下三点。

① 若极限开关  $SQ_1$  断开, 机床就无法工作。这时必须摇动机械手柄, 把刀架摇到极限开关与撞块分离, 机床才能正常工作。

②  $SQ_2$  是终点开关, 工件加工完毕后就能自动停车。

③ 冷却泵电动机只有在主轴电动机启动后才能用转换开关  $Q_2$  操作。

图 6-23 中, 热继电器  $FR_1$  用于主轴电动机过载保护。熔断器  $FU_1$  用于整个电路的短路保护, 熔断器  $FU_2$  用于指示照明线短路保护。Y3150 滚齿机电气控制电路电器元件见表 6-5。



表 6-5 Y3150 滚齿机电气控制电路电器元件表

代 号	名 称	代 号	名 称	代 号	名 称
Q <sub>1</sub>	电源开关	FU <sub>1</sub>	熔断器	SQ <sub>1</sub>	极限开关
Q <sub>2</sub>	冷却泵电动机开关	FU <sub>2</sub>	熔断器	SQ <sub>2</sub>	终点开关
M <sub>1</sub>	主轴电动机	T	变压器	EL	指示灯
M <sub>2</sub>	冷却泵电动机	SB <sub>1</sub>	停止按钮	HL	工作照明灯
KM <sub>1</sub>	交流接触器	SB <sub>2</sub>	启动按钮	SA	照明灯开关
KM <sub>2</sub>	交流接触器	SA <sub>1</sub>	刀架向上按钮		
FR <sub>1</sub>	热继电器	SA <sub>2</sub>	刀架向下按钮		

# 第7章 供电系统电气图识读

正确识读供电系统电气图在实际工作中非常重要，为了使读者正确识读供电系统电气图，进一步提高识图能力，本章将结合实例简单介绍高低压供配电系统；供电系统主接线图以及供电系统二次电气图。

## 7.1 高低压供配电系统概述

### 7.1.1 变电所与配电所

变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能，而配电所只担负接受电能和分配电能的任务，所以两者是有区别的。变电所比配电所多了变换电压的任务，因此变电所有电力变压器，而配电所除了可能有自用电变压器外，没有其他电力变压器。

变电所和配电所的共同之处在于：一是都担负接受电能和分配电能的任务；二是电气线路中都有引入线（架空线或电缆线）、各种开关电器（如隔离开关、刀开关、高低压断路器）、母线、互感器、避雷器和引出线等。

### 7.1.2 电力系统和电力网

从发电厂到用户的供电过程示意图如图 7-1 所示。由不同电压等级的电力线路，将各种发电厂、变电所和电力用户联系起来组成的发、输、变、配、用电的整体，称为电力系统。

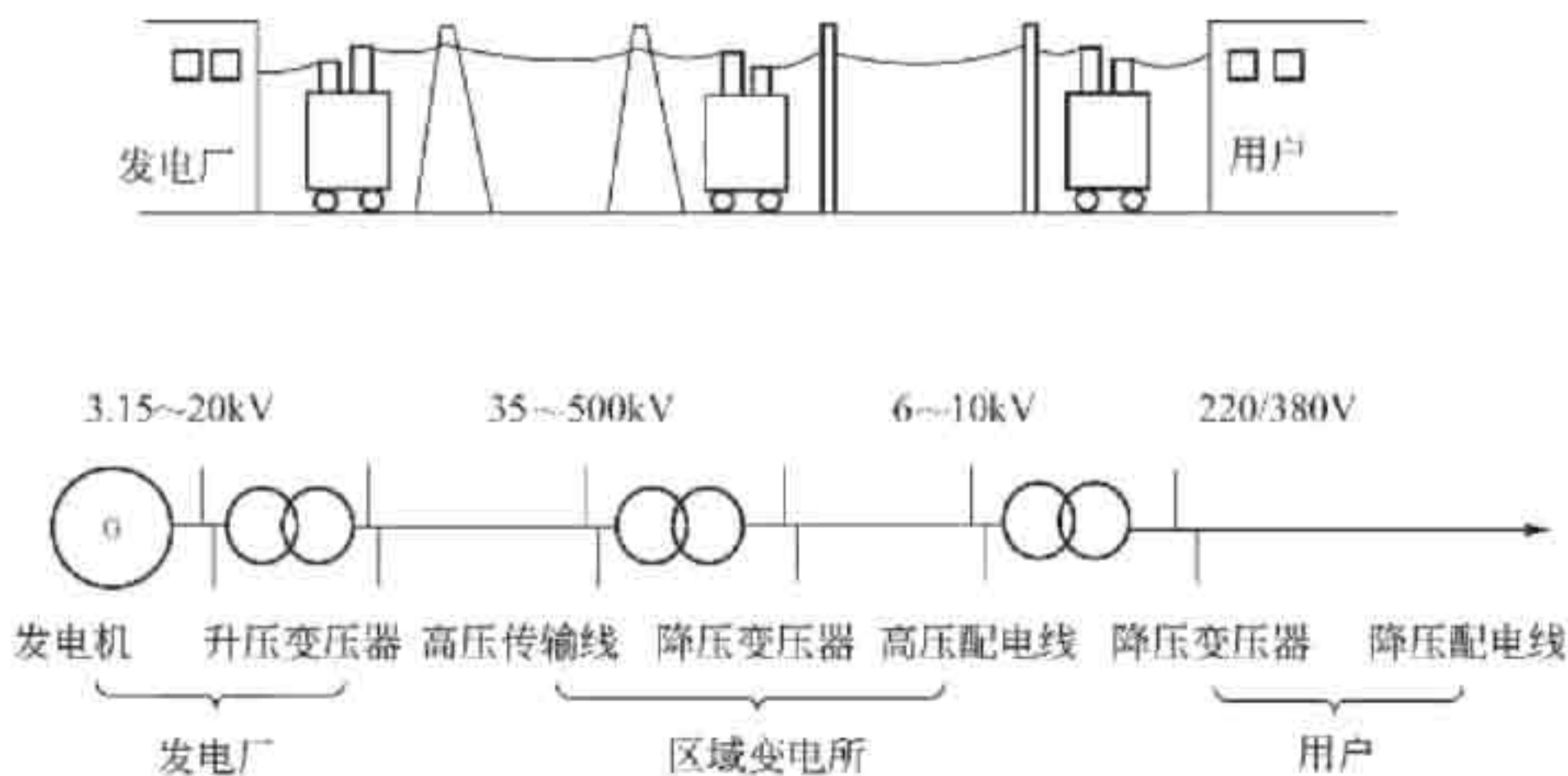


图 7-1 从发电厂到用户的供电过程示意图

电力系统中各级电压线路及与其有联系的变配电所叫做电力网，简称电网。由此可见，电网只是电力系统的一部分，它与电力系统的区别在于不包括发电厂和电力用户。

### 7.1.3 电力系统的电压及工厂常用电压

电压和频率是衡量电力系统电能质量的两个基本参数。电气设备在其额定电压和额定频率条件下工作时，其综合经济效果最好。因此，电力系统中的所有电气设备都规定了一定的工作电压等级。

#### 7.1.3.1 三相交流电网和电力设备的额定电压

国家标准规定的三相交流电网和电力设备的额定电压见表 7-1。

##### (1) 电网（电力线路）的额定电压 $U_{NW}$

电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要及电力工业的水平，经全面的技术经济分析后确定的，它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

##### (2) 电力设备的额定电压 $U_{NL}$

用电设备的额定电压规定为与供电电网额定电压相同，即  $U_{NL} = U_{NW}$ 。

##### (3) 发电机的额定电压 $U_{NG}$

发电机的额定电压高于所供电网额定电压的 5%，即  $U_{NG} \geq 1.05U_{NW}$ 。

##### (4) 电力变压器的额定电压 $U_{NT}$

电力变压器额定电压

- 一次绕组
  - 与发电机直接相连,  $U_{1NT} = U_{NG} \geq 1.05U_{NW}$
  - 与输电线路末端相连,  $U_{1NT} = U_{NW}$
- 二次绕组
  - 供电线路较长(如较大容量的高压电网),  $U_{2NT} = 1.1U_{NW}$
  - 供电线路不长(如容量较小的低压电网),  $U_{2NT} = 1.05U_{NW}$

表 7-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

分类	电网和电力设备 额定电压/kV	发电机额定电压/kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3		3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6		6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	3.15	10 及 10.5	10.5 及 11
		6.3	13.8、15.75、18、20	
		10.5	22、24、26	
	35	13.8、15.75、18、20 22、24、26	35	38.5
	110		110	126
220		220	252	
330		330	362	
500		500	550	

电力变压器的额定电压示意图如图 7-2 所示。

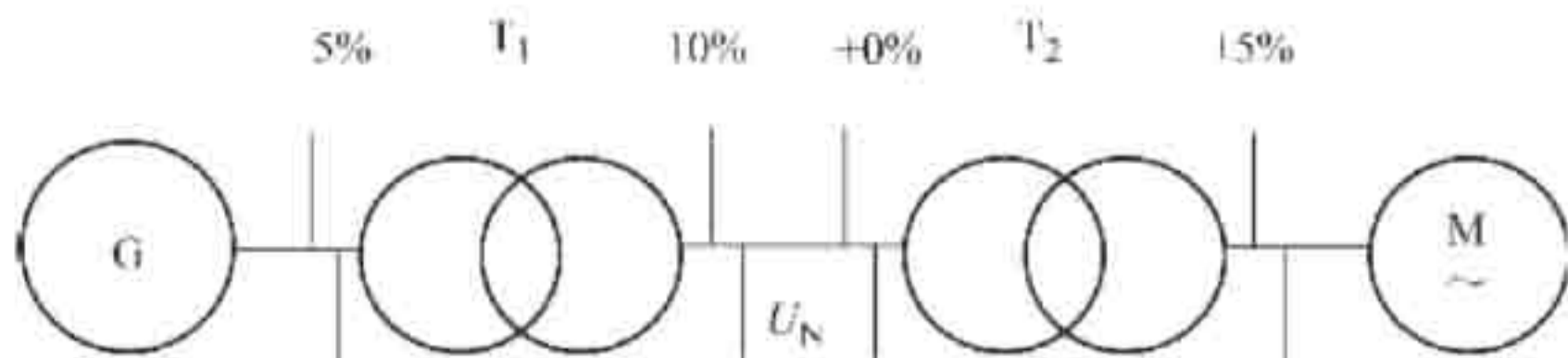


图 7-2 电力变压器的额定电压

### 7.1.3.2 工厂常用电压

工厂常用电压分为以下三种。

① 用电设备常用电压。常用的用电设备，如动力、照明、电焊、电热、空调等，都为低压设备，其额定电压为 220V 或 380V；少数高压电动机的额定电压为 6kV。由此决定了供电、变电的额定电压。

② 电网电压。供电给工厂的区域变电所的输电线路多数为 10kV，只有供电距离远或负荷容量大时，才用 35kV。这就决定了工厂降压电力变压器的一次侧额定电压为 10kV 或 35kV。

③ 自发电设备电压。区域变电所的输电线路因检修或调节负荷，往往要停电，工厂在用电高峰或季节性负荷（如夏季的风扇、空调）多时电力不足，需要弥补，因此，一般工厂都配备自发电装置。

常用的低压柴油发电机额定电压为 400V，可经母线及低压配电线路直接供给低压 220/380V 用电设备；也可经升压变压器（一次绕组  $U_{1NT}=0.4\text{kV}$ ，二次绕组  $U_{2NT}=10.5\text{kV}$ ）输电至高压配电所，然后由配电所各引出线输电给各车间变电所。

通常高压发电机额定电压为 6.3kV，可直接输电给工厂 6kV 高压电动机，并经升压变压器（一次绕组  $U_{1NT}=6.3\text{kV}$ ，二次绕组  $U_{2NT}=10.5\text{kV}$ ）输电至 10kV（或 35kV）高压变配电所，然后经变配电所各引出线输电到各车间变电所。

## 7.1.4 电力负荷的分级及其对供电电源的要求

### 7.1.4.1 负荷分级

根据电力负荷的重要性和中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响程度，电力负荷分为以下三级。

#### (1) 一级负荷

① 中断供电将造成人身伤亡者。

② 中断供电将在政治、经济上造成重大损失者，如：重大设备损坏；重大产品报废；用重要原材料生产的产品大量报废；国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱，并需要长时间才能恢复的重要电力负荷等。

③ 中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作者，如：重要铁路枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、经常用于国际活动的场所及大量人员集中

的公共场所等用电单位中的重要电力负荷。

## (2) 二級負荷

① 中斷供電將在政治、經濟上造成較大損失者，如：主要設備損壞；大量產品報廢；連續生產過程被打亂，需較長時間才能恢復；重點企業大量減產等者。

② 中斷供電將影響重要用電單位的正常工作者，如：鐵路樞紐、通信樞紐等用電單位中的重要電力負荷，以及中斷供電將造成大型影、劇院、大型商場等大量人員集中的重要的公共場所秩序混亂者。

(3) 三級負荷 不屬于一級和二級負荷。

### 7.1.4.2 供電要求及措施

一般中小型機械類工廠都屬于二、三級負荷。

二級負荷也屬重要負荷，只是與一級負荷相比，其中斷供電所造成的后果沒有那么嚴重。然而，二級負荷包括的範圍要比一級負荷廣。所以對二級負荷要求做到：當電力變壓器發生故障或電力線路發生常見故障時不致中斷供電，或中斷后能迅速恢復供電。因此，通常二級負荷采用雙回路供電，供電變壓器應有兩台，但兩台不一定在同一變電所。只有當負荷較小或當地供電條件困難時，才允許用一路6~10kV及以上的專用架空線供電。當供電線路從配電所引出電纜線時，要求采用兩根電纜，每根電纜要能承受全部二級負荷，且互為“熱備用”，即同時處于運行狀態。

三級負荷對供電電源無特殊要求。

電力負荷的等級及其對供電的要求，直接關系到供電系統主接線及繼電保護等裝置的設計。

### 7.1.5 電力系統中性點的連接方式

電力系統中性點的連接方式直接關系到供電系統主接線及二次回路的繼電保護、監察、指示回路的設置。

電力系統中的電源（包括發電機和電力變壓器）中性點有三種連接方式：中性點不接地、中性點經消弧線圈接地、中性點直接接地。

中小型工廠常用中性點不接地和中性點直接接地兩種方式。

#### 7.1.5.1 中性點不接地的電力系統

我國3~63kV的電力系統大多數采用中性點不接地的連接方式。只有當系統單相接地電流大于一定數值（3~10kV時，大于30A；20kV及以上時，大于10A）時，才要求采取中性點經消弧線圈接地的方式。而一般采用10kV、35kV供電電壓的中小型工廠，其單相接地電流大多不會超過規定值。

當中性點不接地的電力系統發生單相接地時，沒有單相短路電流（因中性點不接地，不構成單相回路）；故障相（接地相）相電壓接近零，而非故障相的相電壓升高為線電壓，但系統的三個線電壓無論大小還是相位，都沒有發生變化，因此系

统内的所有设备仍然照常运行。为了防止故障扩大,按规定只可允许暂时继续运行2h,但同时必须通过系统中装设的单相接地保护或绝缘监察装置发出报警信号或指示,以提醒值班人员注意,要求维修人员立即采取措施,查找和消除接地故障。若超过2h未消除故障,应跳闸断开故障电路。

### 7.1.5.2 中性点直接接地的电力系统

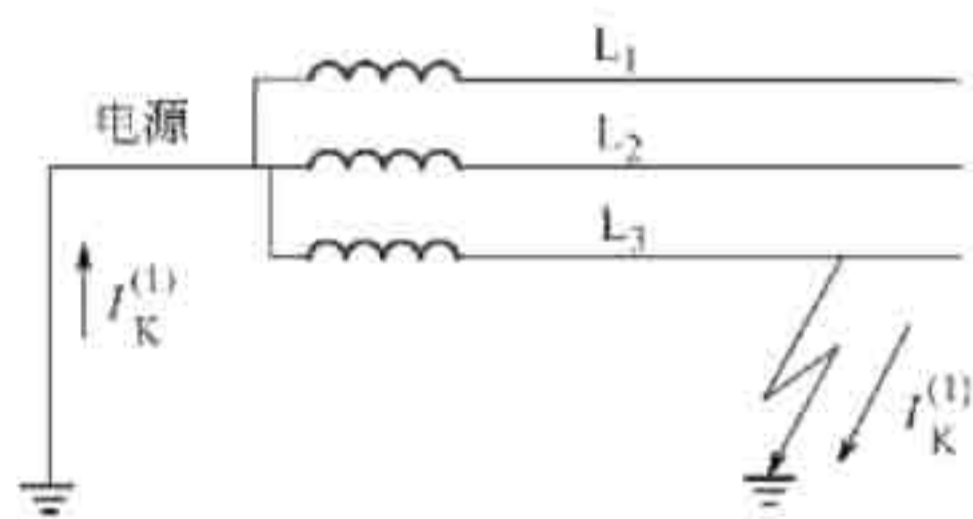


图 7-3 中性点直接接地的电力系统发生一相接地时的情况

图 7-3 所示为中性点直接接地的电力系统发生一相接地时的情形。这种系统发生一相接地时,即造成单相短路,其单相短路电流  $I_K$  比线路的正常负荷电流要大许多倍,使线路中的断路器跳闸或熔断器熔断,从而将短路故障部分切除。

中性点直接接地系统在发生一相接地时,其他两相对地电压不会升高。因此,这种系统中的供用电设备的绝缘只要按相电压考虑即可。

工厂中使用最为普遍的 220/380V 三相四线制低压供电系统即属于中性点直接接地的电力系统。

### 7.1.6 工厂供电系统

工厂供电系统是从电源进厂起,到所有用电设备输入端止的整个电路,即包括电源进厂后的线路、变配电所、各引出线路及至负载引入端各部分。

### 7.1.7 母线

变配电所有几路、十几路,甚至更多的引出线,它们是从主变压器获得电能的。为使众多的接线不致紊乱,必须采用母线。

母线是汇集和分配电能的导线,又称为汇流排。按材料不同,还可称为“铜排”、“铝排”。连接各进出线的母线称为主母线,其余的为分支母线。有无母线及母线的结构,是电气主接线形式的核心问题。

### 7.1.8 内线工程与外线工程

根据电气设计及施工安装内容的不同,电气工程可分为内线工程和外线工程两大类。

#### (1) 内线工程

内线工程包括变配电系统、动力系统、照明系统、防雷接地系统、广播系统、公用天线电视系统、电话工程系统、空调配电系统、消防系统、防盗保安系统等。

#### (2) 外线工程

外线工程包括架空线路、电缆线路、室外电源配电线路等。由于不同工厂供电

系统的负荷等级、容量、规模、电源电压等级、投资条件等相差很大，因此各电气工程的外线工程有很大差别。

## 7.2 供电系统主接线图

### 7.2.1 变配电所电气主接线及其基本形式

变电所的电气主接线是变电所接受电能、变换电压和分配电能的电路。它表示由地区变电所电源引入→变压→各负载（车间等）的变配电过程，且由引入导线（架空线或电力电缆）、变压器、各种开关电器、母线、互感器、避雷器等和载流导体连接组成。而配电所只担负接受电能和分配电能的任务，因此，它只有电源引入和各负载两个环节，相应的主接线中无变压器，其他则与变电所相同。

用国家统一规定的电气图形符号、文字符号表示主接线中各电气设备相互连接顺序的图形，就是电气主接线图。电气主接线图一般都用单线图表示，即一根线就代表三相。但在三相接线不同的局部位置，例如，最为常见的接有电流互感器的部位（电流互感器的接线方案有一相式、两相式和三相式），要用三线图表示。

#### 7.2.1.1 对电气主接线的基本要求

电气主接线是变配电所电气部分的主体，其接线合理与否，将直接影响供电是否安全可靠、操作是否方便灵活、投资是否经济、运行费用是否节省，它与电气设备的选择、配电装置的布置、继电保护和自动装置的配置，以及土建工程的投资及施工等都有着非常密切的关系。因此，确定电气主接线是变配电所电气设计极为重要的环节和任务。对电气主接线的基本要求如下。

① 安全。应符合有关技术规范的要求，能充分保证人身和设备的安全，能避免运行人员的误操作和确保检修工作的安全。

② 可靠。能满足电力负荷对供电可靠性的要求。

③ 灵活。能适应系统所要求的各种运行方式，操作灵活方便。

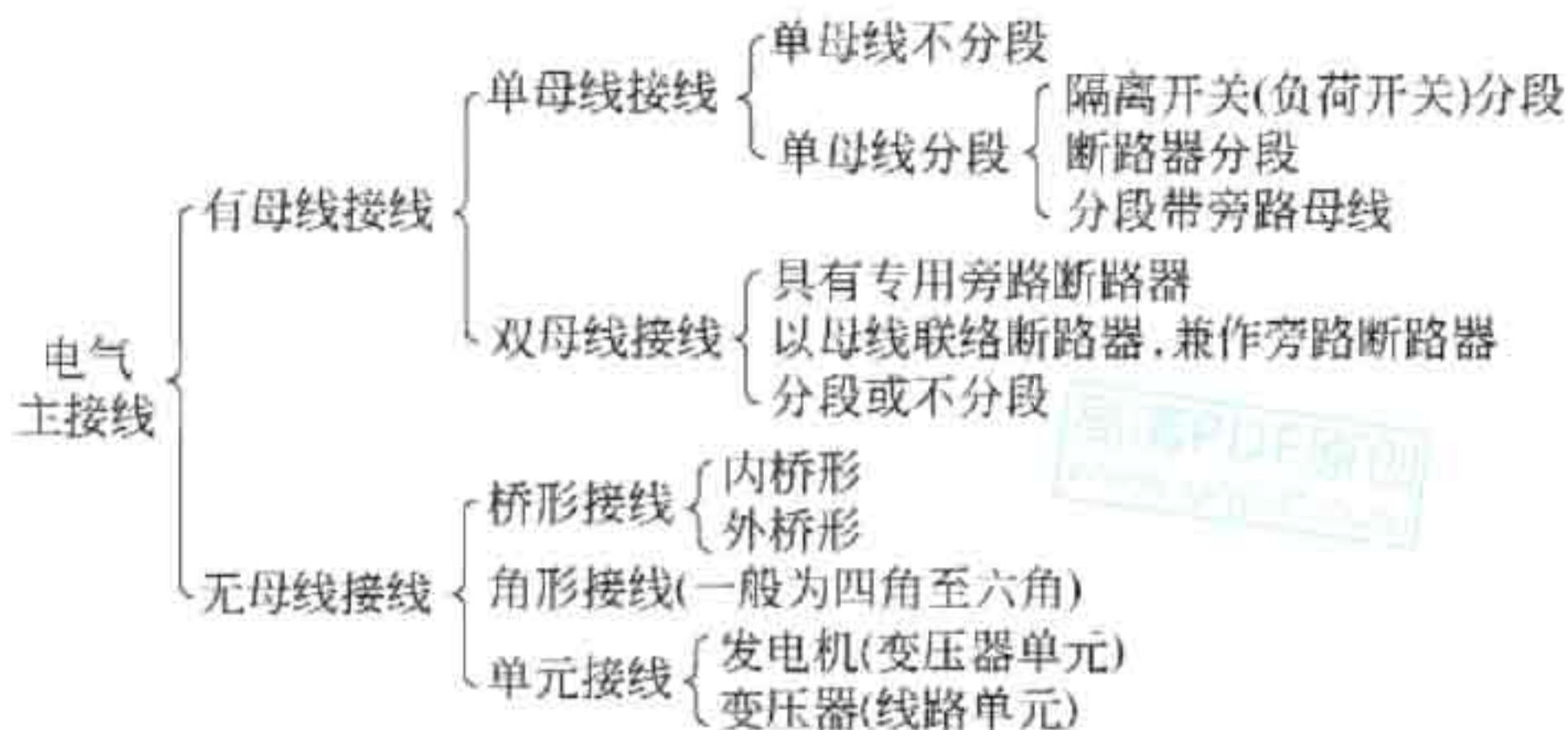
④ 经济。在满足以上要求的前提下，应使投资最省、运行费用最低、有色金属消耗量最少。

⑤ 发展。要考虑近期（5~10年内）负荷发展的可能性。

当然，电气主接线的确定与电力负荷的等级、供配电电压、工程项目的规模、要求及投资条件等因素有相当密切的关联，但以上基本要求并不能一一满足，如满足了安全性、可靠性要求，则难以满足经济性要求；要考虑经济，则可能难以考虑发展的要求，加之有时人为因素影响，因此，电气主接线是由多方面因素综合而定的，应进行详细的技术、经济比较。

#### 7.2.1.2 电气主接线的基本形式

变配电所电气主接线的形式较多，其基本形式如下。



对于中小型工厂的变配电所来说, 其电气主接线大多采用单母线接线, 也可能是单、双母线两种基本接线形式的组合。

现结合中小型工厂变电所的实际情况, 分析常用电气主接线基本形式的结构、优缺点及其适用场合。电气主接线应满足的基本要求即是分析各接线优缺点的依据。

### (1) 单母线不分段

如图 7-4、图 7-5 所示, 母线 WB 是不分段的。单母线不分段是最简单的电气主接线形式, 它的每条引入线和引出线中都安装有隔离开关 (低压线路为负荷开关) 及断路器。

断路器 QK 的作用是正常情况下接通负荷电流, 事故情况下切断故障电流 (短路电流及超过规定动作值的过负荷电流)。

靠母线侧的隔离开关 (或低压负荷开关) 称为母线隔离开关, 如图 7-4 中的  $QS_2$ 、 $QS_3$ , 图 7-5 中的  $QS_1$ 、 $QS_2$ , 它们的作用是隔离电源, 以检修断路器和母线。靠近线路侧的隔离开关称为线路隔离开关, 如图 7-4 中的  $QS_1$ 、 $QS_4$ , 其作用是防止在检修线路断路器时从用户 (负荷) 侧反向供电, 或防止雷电过电压侵入线路负荷, 以保证设备和人员的安全。按设计规范, 对 6~10kV 的引出线, 有电压反馈可能的出线回路及架空线回路, 都应装设隔离开关。

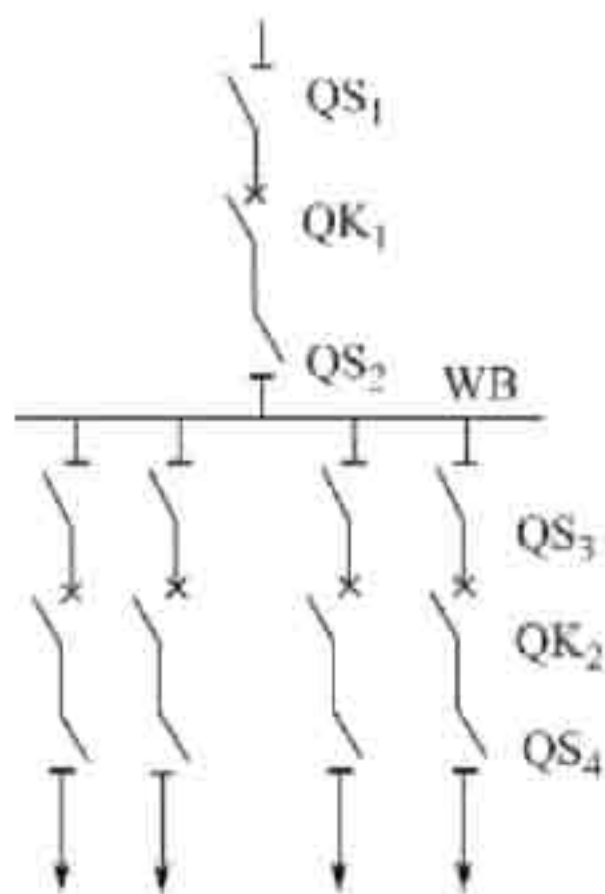


图 7-4 单母线不分段接线示例之一

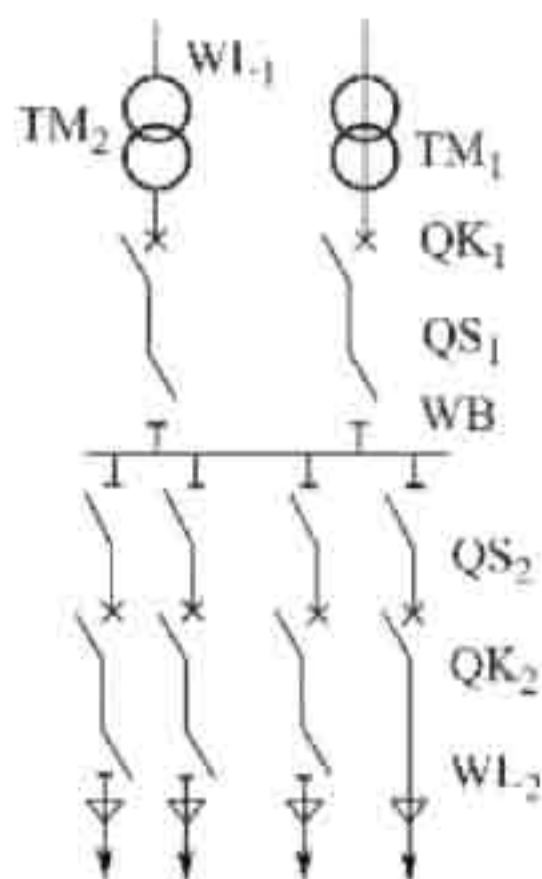


图 7-5 单母线不分段接线示例之二



单母线不分段接线简单,投资经济,操作方便,引起误操作的机会少,安全性较好,而且使用设备少,便于扩建和使用成套装置。但其可靠性和灵活性较差,因为当母线或任何一组母线隔离开关发生故障时,都将会因检修而造成全部负荷停电。因此,它只适用于三类负荷,即出线回路数不超过五个及用电量不大的场合。

## (2) 单母线分段

图 7-6 为用断路器或隔离开关分段的单母线接线图。这种接线的母线中部用隔离或断路器分段,每一段接一个或两个电源,每段母线有若干引出线至各车间。

① 采用隔离开关分段。采用隔离开关分段的单母线可靠性较高,因为当某一段母线或该母线段隔离开关发生故障时,可以分段检修,只影响故障段母线的供电,且经过倒闸操作切除故障段,无故障段可以继续运行;另外,对重要负荷可由两段母线,即两个电源同时供电。

② 采用断路器分段。采用断路器分段的单母线与采用隔离开关分段的一样,提高了供电可靠性,但它比用隔离开关分段可靠性更高。当一段母线发生故障时,分段断路器由继电器保证正常段母线的不间断供电,而不至于造成双母线段供电的重要负荷停电。

无论是采用隔离开关分段还是断路器分段,在母线发生故障或检修时,都不可避免地使该母线的用户停电。检修单母线接线引出线的断路器时,该路负荷也必须停电。

由此可见,单母线分段比单母线不分段提高了供电可靠性和灵活性,但它的接线(尤其是采用断路器分段的)比不分段复杂,投资较多,供电可靠性还不够高。一般适用于三级负荷及二级负荷,但如果采用互不影响的双电源供电,用断路器分段则适用于一、二级负荷用电系统。

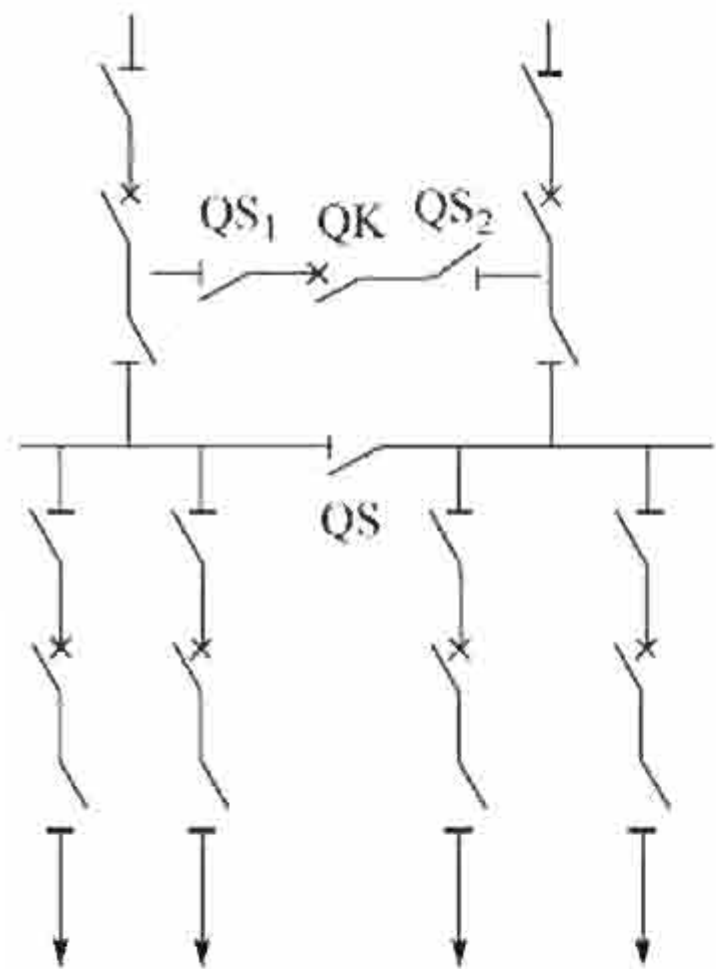


图 7-6 用断路器或隔离开关分段的单母线接线图

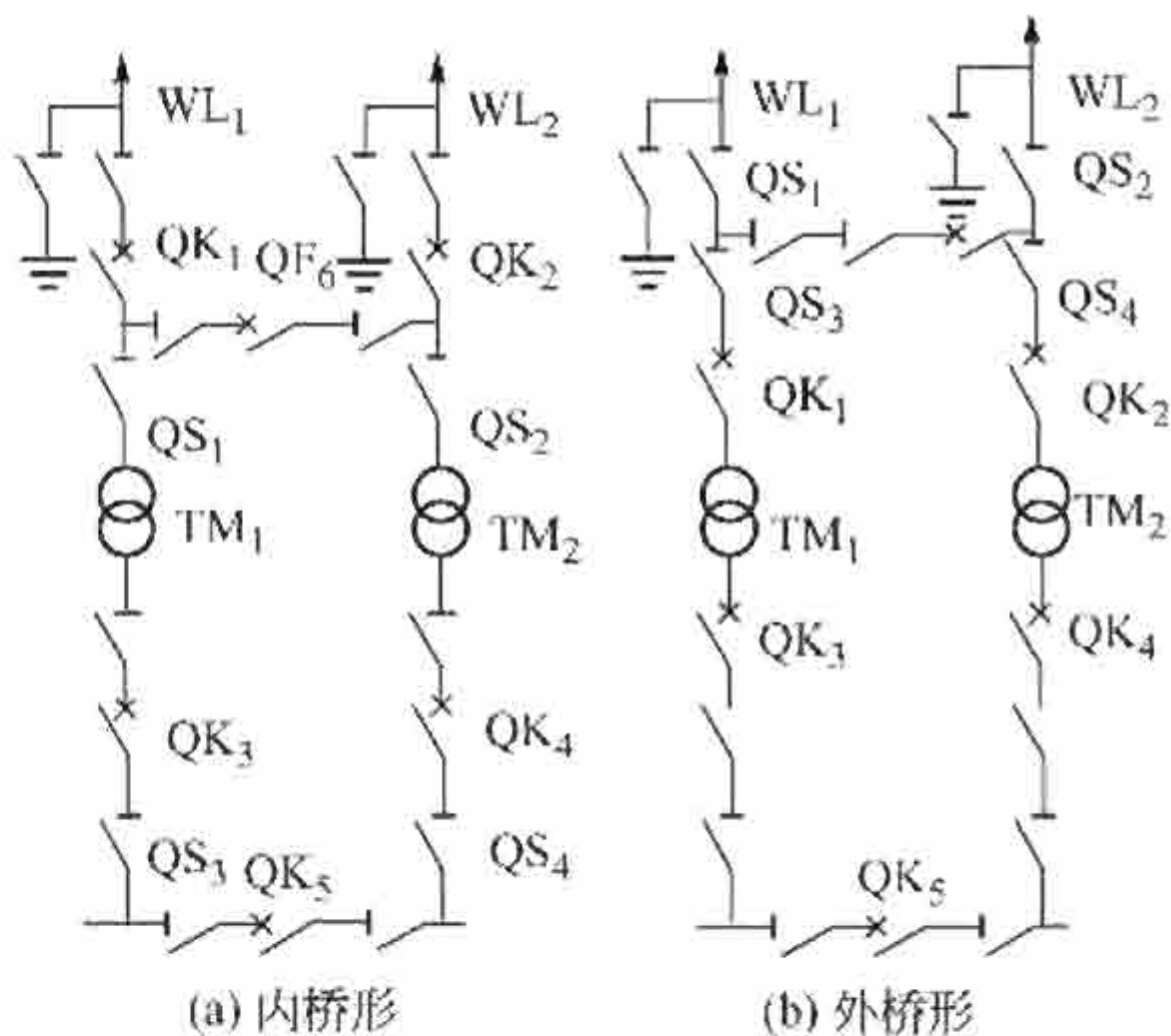


图 7-7 桥形接线

### (3) 桥形接线

高压用户如果采用双回路高压电源进线，有两台电力变压器终端或总降压变电所母线的连接，则采用桥形接线，如图 7-7 所示。因为它连接两个 35~110kV 变压器组的高压侧，呈桥状，所以称为桥形（或桥式）接线。根据连接桥的位置不同，分为内桥形和外桥形两种。

① 内桥形接线。如图 7-7(a) 所示，接线桥位于线路断路器  $QK_1$ 、 $QK_2$  与主变压器  $TM_1$ 、 $TM_2$  之间。

内桥形接线可以提高输配电线路 ( $WL_1$  和  $WL_2$ ) 运行方式的灵活性，例如， $WL_1$  因故障检修时，断开  $QK_1$ ，变压器  $TM_1$  可以由  $WL_2$  经连接桥继续供电。同理，断路器  $QK_1$  或  $QK_2$  需要检修时，利用桥的作用，使两台电力变压器（主变压器） $TM_1$ 、 $TM_2$  均能保持正常运行。如果  $TM_1$  发生故障或检修，经倒闸操作后合  $QS_1$ ，再合  $QK_1$ 、 $QK_2$ ，就可恢复供电。

内桥形接线适用于电源线路较长、线路故障率较高而变压器不需经常切换的总降压变电所，其供电可靠性和灵活性较好，适用于一、二级负荷用电系统。

② 外桥形接线。如图 7-7(b) 所示，这种接线的桥靠近线路一侧，桥的断路器  $QK_3$  安装在断路器  $QK_1$ 、 $QK_2$  的外面，故称为外桥形。

外桥形接线对变压器回路操作较方便，但对电源进线侧的操作不便。它适用于供电线路较短、线路故障率较低而变压器因负荷变动大而需要经常切换的一、二级负荷用电系统。

## 7.2.2 车间变电所电气主接线

车间变电所的电气主接线相当简单，它将 6~10kV 高压降为一般用电设备所需要的低压 220/380V。通常主变压器的容量在 1000kV·A 以下，台数多为一台，少数为两台。

对于建有工厂总降压变电所或高压配电所的车间变电所、用于控制变压器的高压开关及其保护装置和测量仪表等，主变压器通常都装设在高压配电线路的首端，即工厂总降压变电所或高压配电所的 6~10kV 高压配电室里。而车间变电所的高压侧一般不装开关设备，或为方便、安全、可靠起见，只装设简单的隔离开关、熔断器或跌开式熔断器等（也有少数在室内装负荷开关加熔断器的）。因此，这类车间变电所没有高压开关柜。

一般，车间变电所和小型工厂变电所的电气主接线图中，把各引出线上所需配置的测量仪表（电流表、电压表、功率表、功率因数表及电能表）一并画出，以完整表达，给订货及运行等提供依据。

## 7.2.3 小型工厂变电所电气主接线

小型工厂变电所是将 6~10kV 高压将为 220/380V 的终端变电所，其主接线也

比较简单。一般用1~2台主变压器。

小型工厂变电所与车间变电所的主要不同之处如下。

① 变压器高压侧有计量、进线、超作用的高压开关柜，因此必须有高压开关室。一般高压开关室与低压配电室是分设的，但只有一台主变压器，且容量较小的工厂变电所，只有2~3台高压开关柜，故允许两者合在一室，但要符合操作及安全规定。

② 一般来说，小型工厂变电所的电气主接线要比车间变电所复杂（考虑供电的可靠性及自发电等）。

#### 7.2.4 高压配电所电气主接线

图7-8为某中型工厂高压配电所电气主接线图。

##### (1) 主接线形式

该接线为单母线隔离开关分段。

##### (2) 电源进线

电源进线有两路： $WL_1$ 为架空线路（铝绞线LJ-95）， $WL_2$ 为电缆线路（ZLL20-6000-3×120），两者互为备用。

No.101及No.112为按供电规定必须装设的电源进线专用电能计量柜，实际上它是连接计费电能表的专用电源互感器、电流互感器柜。No.102及No.111为电源进线柜（内有隔离开关、断路器及控制、保护、测量、信号等二次设备）。按规定，架空线路的末端要装设避雷器防雷，故 $WL_1$ 末端装有FS4-6型阀型避雷器。

##### (3) 母线

母线电压为6kV，用隔离开关GN6-10/400分段，材料型号为LMY，截面积为50mm×5mm。

##### (4) 母线电压互感器（避雷器柜）

6kV系统属于中性点不接地系统，应进行电压测量及单相接地故障绝缘监视，No.103及No.110柜型号为GG-1A(F)-54，装有JDZJ-6（6000/100V， $Y_0/Y_0/\Delta$ ）电压互感器三只；避雷器FS4-6则是为了防止电源进线端受雷电侵入波余波的影响，对母线侧电气设备造成损坏而装设的。如果是单母线不分段系统，则GG-1A(F)-54柜只需一台即可。

##### (5) 出线柜

No.105~No.108柜分别供电给1号、2号、3号车间变电所（6/0.4kV），均为电缆引出线。各柜中除有隔离开关、断路器、两相式电流互感器外，都安装有控制、测量、保护、指示等二次电路。其中，由于2号车间变电所负荷比较重要（或用电容量大），所以由两段母线同时供电，以保障供电的可靠性。

##### (6) 高压电动机回路

No.109柜为供电给6kV高压电动机的专用柜。

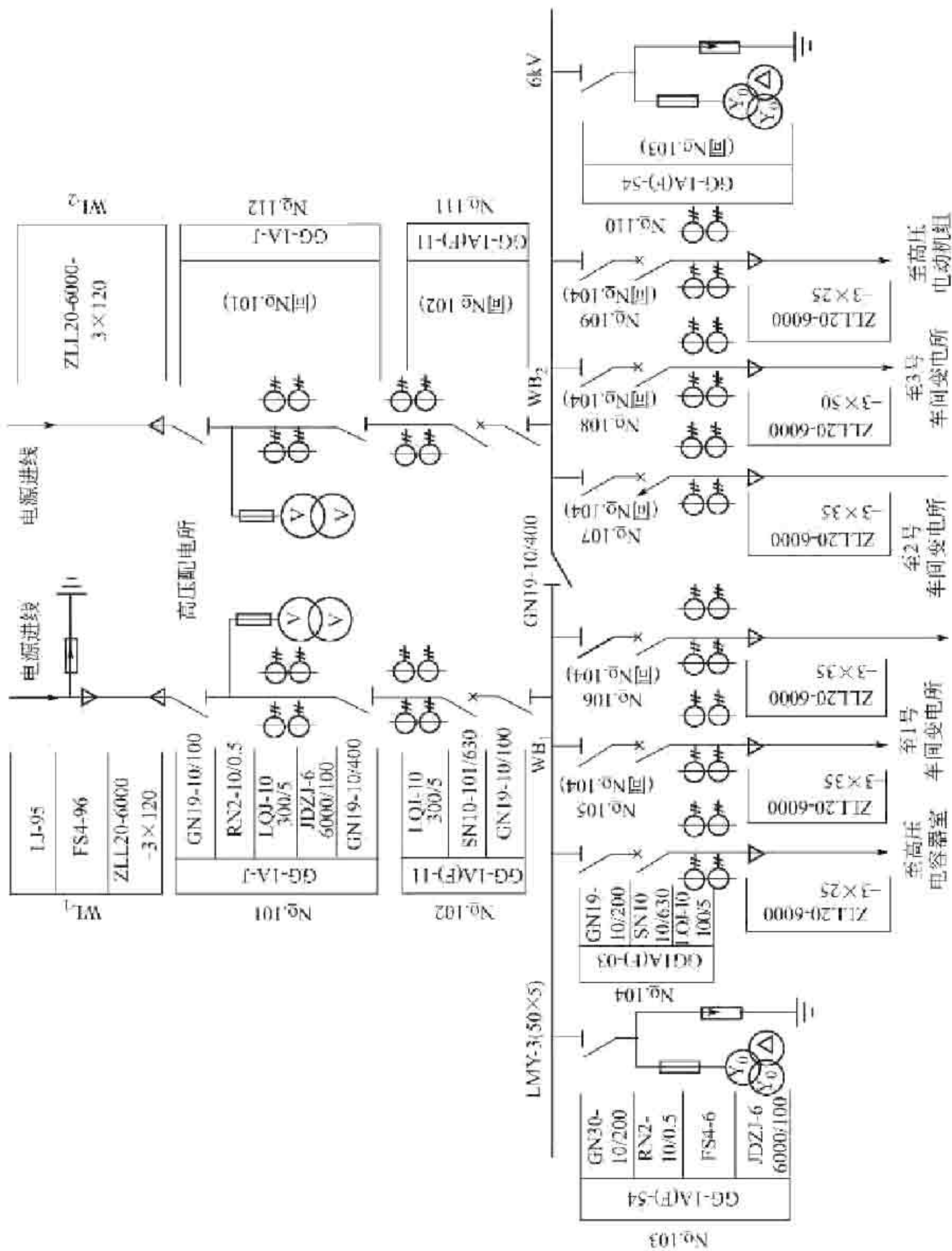


图 7-8 某中型工厂高压配电所电气主接线图

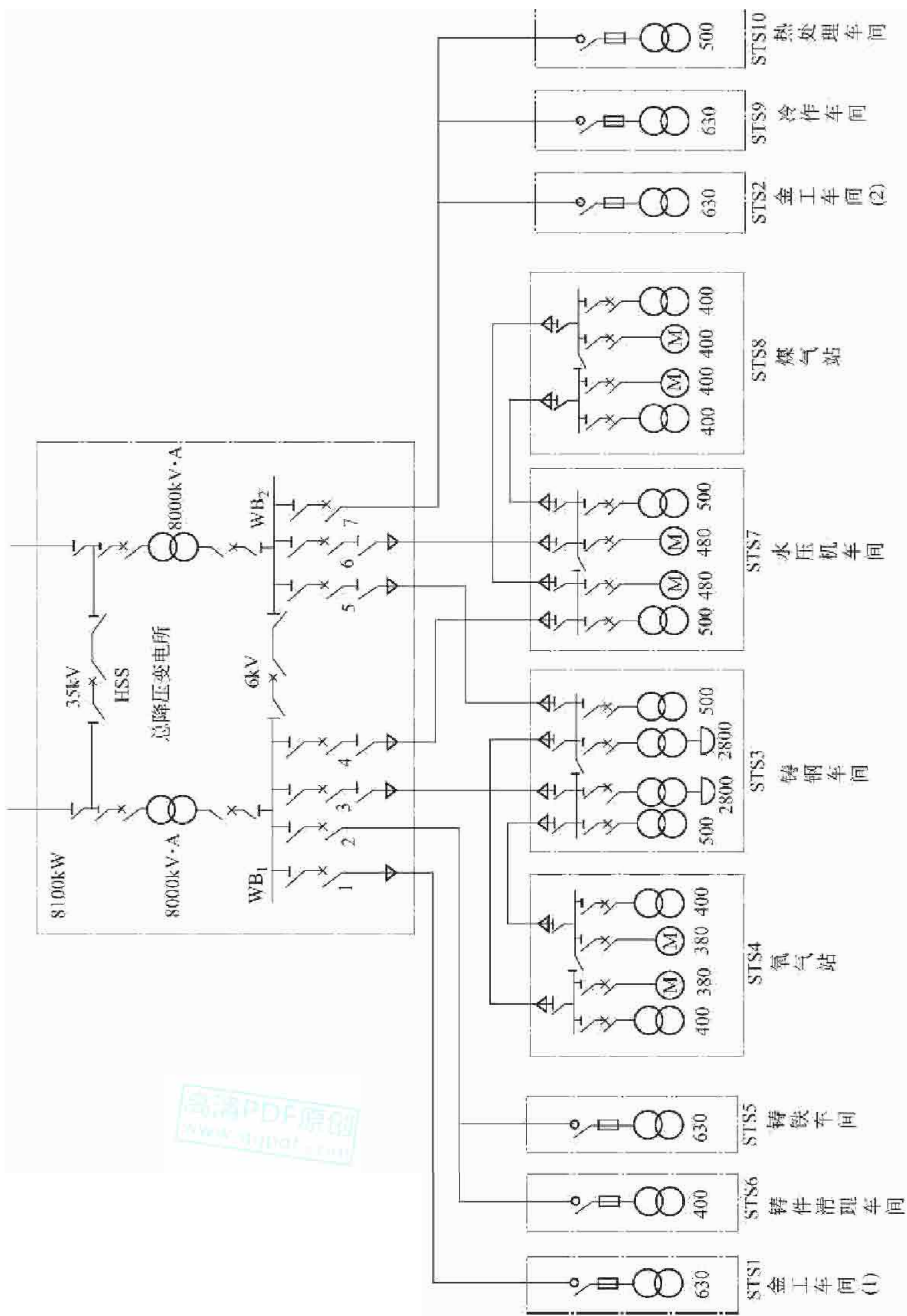


图 7-9 某重型机器厂总降压变电所电气主接线图

### (7) 功率因数的提高

No. 104 柜引至 6kV 高压电容器室，这是为进行无功功率补偿、提高整个配电所功率因数。按规定，高压电容器室必须与高压配电室分开。

图 7-8 中所有一次线路和一次设备都应标明型号及其主要规格：电力变压器要标明型号、额定容量 ( $kV \cdot A$ ) 和一、二次电压、连接组标号（常用 Yyn0，即旧符号 Y/Yo-12；Dyn11，即旧符号  $\Delta/Yo-11$ ）；隔离开关标明型号、电压、额定电流、操动机构型号；高压断路器标明型号、电压、电流、断流容量 ( $MV \cdot A$ )、操动机构型号；电流互感器要标明型号、额定电压及一、二次电流比；电压互感器要标明型号、额定电压及一、二次电压比、接线方案；所有高压开关柜及低压配电屏除标明其型号、一次线路接线方案外，还应分项标明其中所有一次电气设备的型号和主要技术规格；电力电缆及绝缘导线应标明型号、线芯数和线芯截面积、电压等级。

## 7.2.5 总降压变电所电气主接线

图 7-9 为某重型机器厂总降压变电所电气主接线图。

### (1) 负荷概况

该厂为大型工厂，其中铸钢车间、氧气站、水压机车间及煤气站为一级负荷，其他车间为三级负荷。各车间变电所 (STS1~STS10) 的变压器容量 ( $kV \cdot A$ ) 及高压电动机的额定功率 ( $kW$ ) 均已在图中标明。

### (2) 厂区配电电压及电源进线电压的确定

由于该厂有多台 6kV 高压电动机，厂区范围不算大，故确定厂区配电电压为 6kV。又因全厂计算负荷为  $8100kV \cdot A$ ，且该厂距离系统电源 12km，超出 6kV 线路的合理输送功率和距离，因此采用的进线电压为 35kV。

### (3) 进线及主变压器台数

因为该厂有相当数量的一级负荷，故采用两路互相独立的 35kV 线路供电。经负荷计算及技术、经济综合分析，确定用两台容量均为  $8000kV \cdot A$  的 35/6.3kV 降压变压器同时供电。

### (4) 主接线形式

35kV 侧母线为外桥形接线，6kV 母线采用单母线断路器分段。35kV 侧母线采用外桥形接线是因为该厂负荷变动较大，变压器需要经常切换，而电源线路不算长，故障率较低，检修次数较少。6kV 侧单母线用断路器分段，通过继电保护及自动装置，可自动切断故障母线，电源恢复供电快，提高了供电可靠性。

## 7.2.6 配电系统的接线方式

工厂高低压配电系统承担厂区内高压（大多为 6~10kV）和低压（220/380V）

电能传输和分配的任务。配电系统的接线方式有三种基本类型：放射式、树干式和环形。

### (1) 放射式接线

放射式接线的特点是每个用户由独立线路供电。具有供电可靠性较高、运行中互不影响、便于装设自动装置、操作、控制灵活方便等优点。

缺点是使用设备多、耗用金属材料多、占地多、投资多、不适于发展，若要增加用户，则将增加较多的线路和设备。

放射式接线适用于离供电点较近、可靠性要求较高的用户（或车间）。它一般只能用于三级负荷。若要提高供电可靠性，可采用双放射式接线，每个用户由两条独立线路供电或增设公共备用干线，这样就可用于二级负荷。

### (2) 树干式接线

图 7-10、图 7-11 示出的分别为高、低压树干式接线示意图，其特点是多个用户由同一条干线供电。

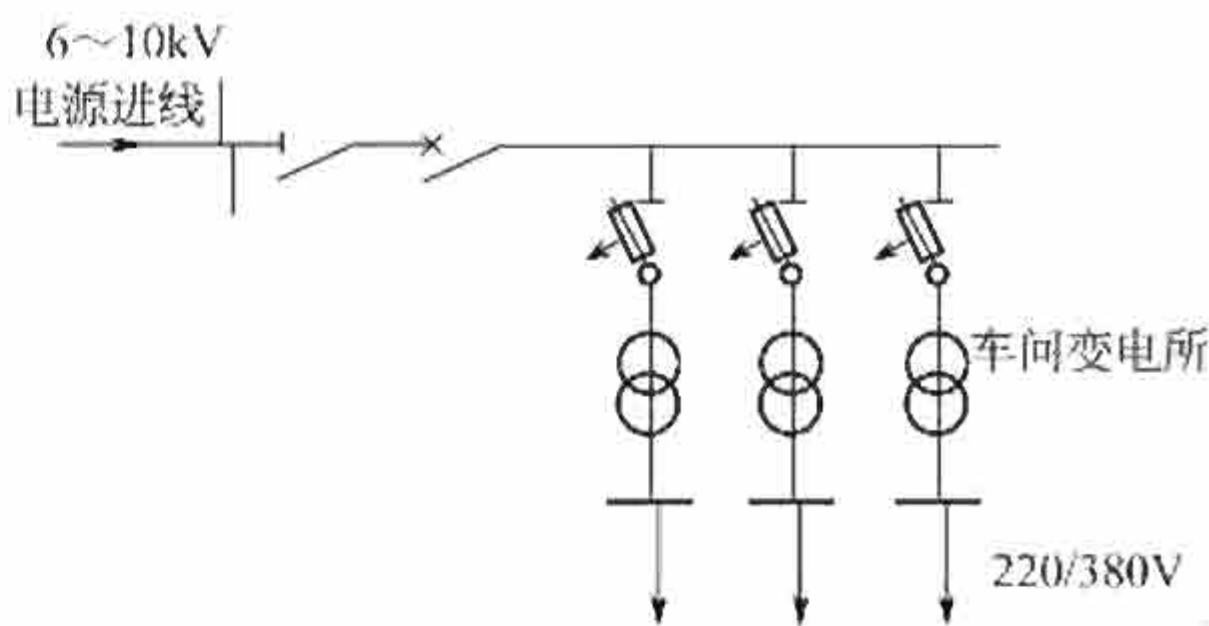


图 7-10 高压树干式接线示意图

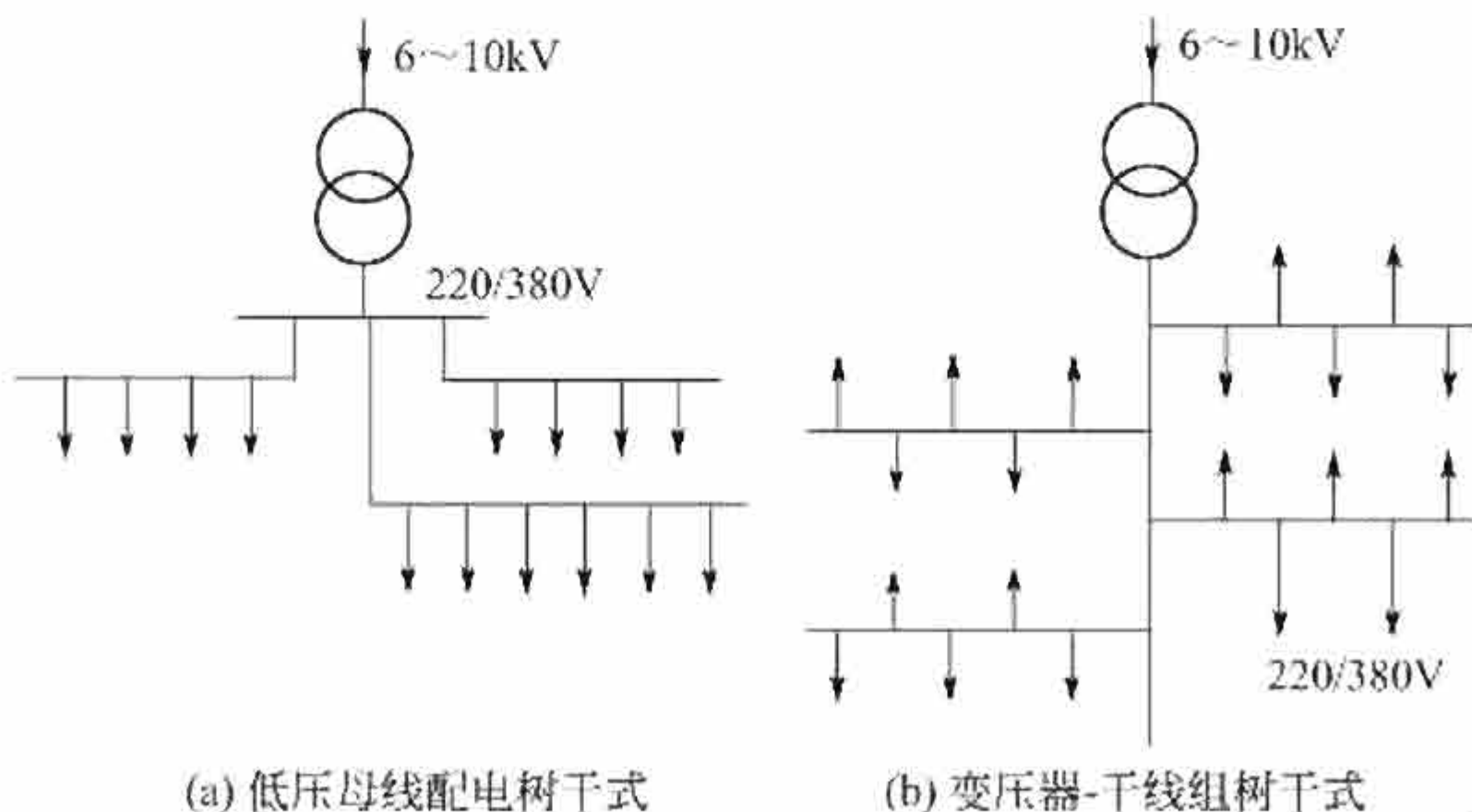


图 7-11 低压树干式接线示意图

树干式接线的优点是使用开关设备少，耗用导线、有色金属材料少，投资省，且适于发展，增加用户时不必另外增加线路；缺点是干线发生故障停电时影响范围大，供电可靠性较差，且操作、控制不够灵活、方便。

树干式接线适用于离供电点较远的容量小且不重要的负荷，厂区内为供电容量小而均匀的三级负荷，如机械加工车间、机修车间等。

### (3) 环形接线

图 7-12 所示为高压环形接线，其特点是运行灵活，供电可靠性高，但使用开关设备及有色金属材料多，投资高。它适用于一、二级负荷。实际运行中一般采用开环运行方式（如把母线用隔离开关断开，事故时切换）。

图 7-13 所示为低压环形接线。它将厂区内所有车间变电所的低压侧通过低压联络线接成环形。其优点是供电可靠性高，任何一段线路发生故障时都不会终止供电，但保护装置比较复杂。使用中一般采用开环运行方式。

环形接线适用于对允许短时间停电的二、三级负荷供电。

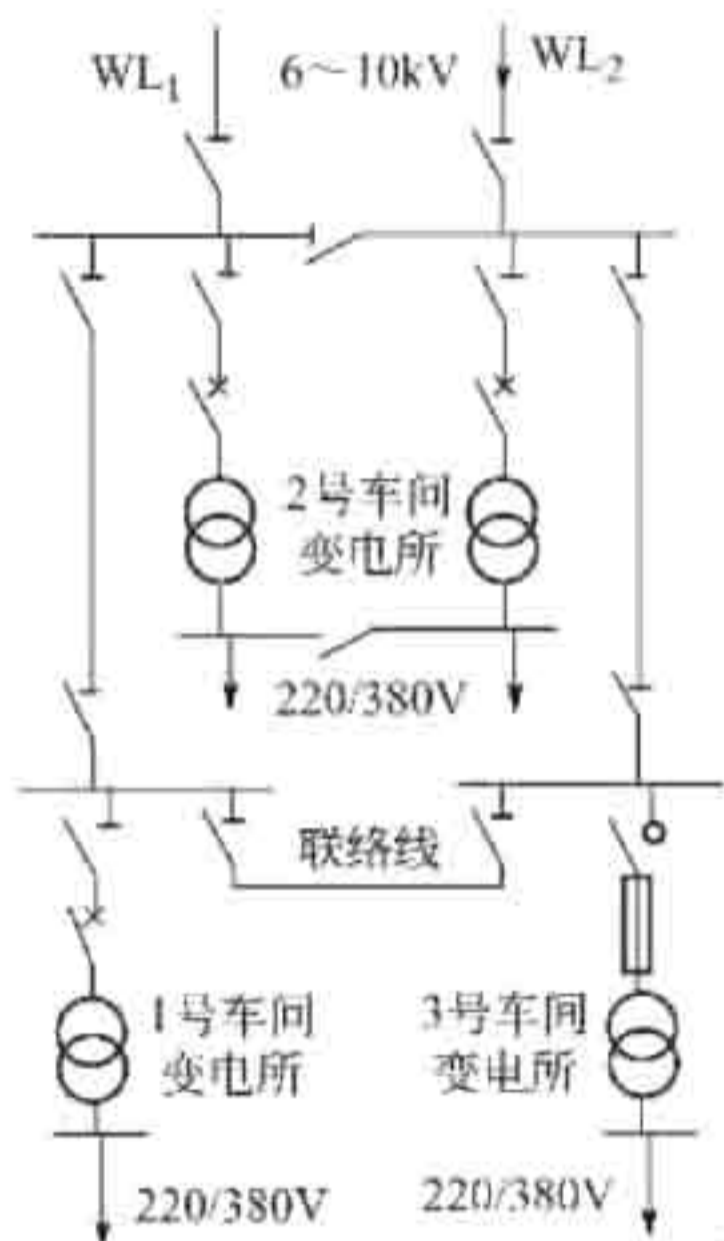
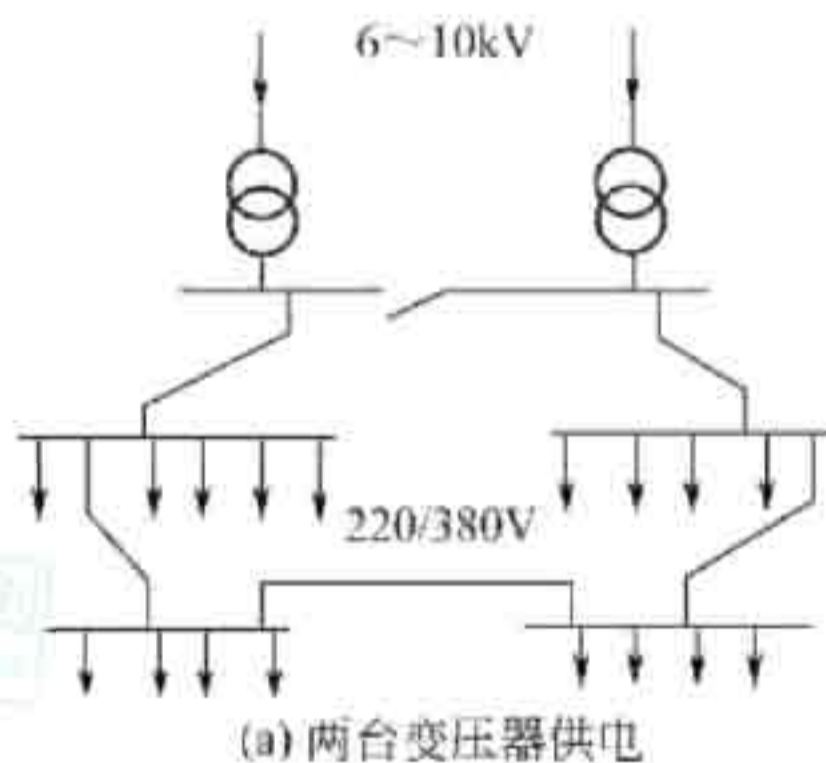
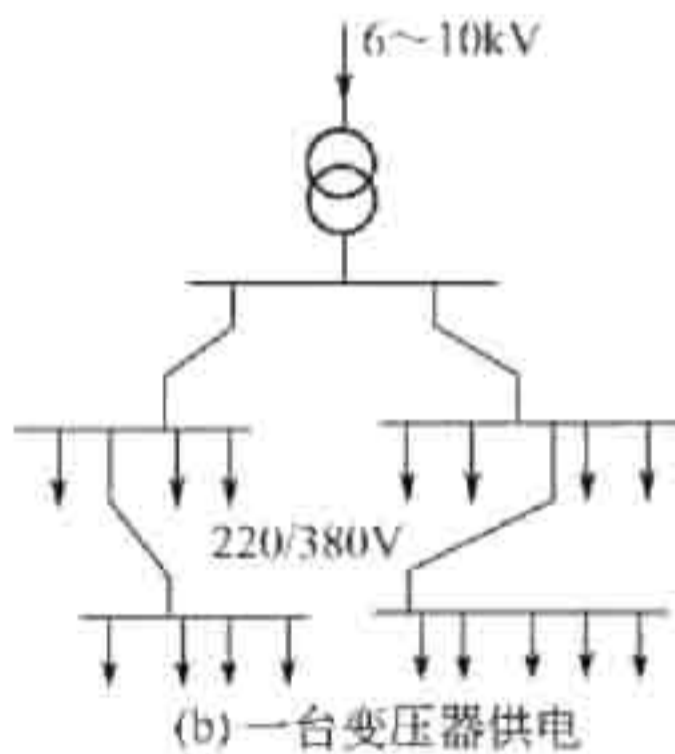


图 7-12 高压环形接线



(a) 两台变压器供电



(b) 一台变压器供电

图 7-13 低压环形接线

### 7.2.7 动力配电系统主接线

动力用电通常采用 380V 三相电源（有的电焊机为 380V 两相电源供电）。

动力配电系统的主接线常有三种形式：放射式、树干式和链式。

#### (1) 放射式动力配电系统主接线

如图 7-14 所示，放射式动力配电系统主接线的特点是每个负荷都由单独的线路供电，线路发生故障时影响范围小，因此可靠性较高，且控制灵活，易于实现集中控制；缺点是线路多，有色金属消耗量多，不满足发展的要求。

放射式动力配电系统主接线的适用范围是：容量大、要求集中控制的设备或要求可靠性高的重要设备。当车间内的动力设备数量不多、容量差别较大、排列不整齐，但运行状况比较

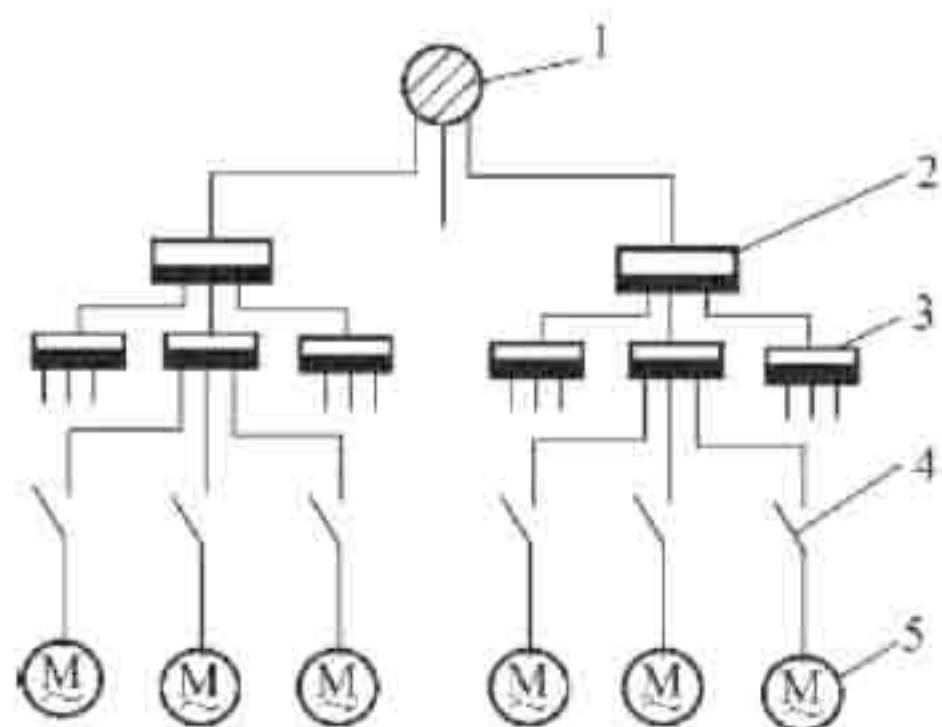


图 7-14 放射式动力配电系统主接线

- 1—车间变电所；2—主配电盘；  
3—分配电盘；4—开关；  
5—电动机



稳定时，一般采用放射式配电。

### (2) 树干式动力配电系统主接线

如图 7-15 所示，树干式动力配电系统主接线线路少，因此开关设备及有色金属消耗量少，投资省，且易于发展；然而一旦干线出现故障，其影响范围大，因此供电可靠性较低。它适用于明敷线路、车间内动力设备分布比较均匀、容量相差不大且相距较近、对可靠性要求不高的较小容量设备。

### (3) 链式动力配电系统主接线

如图 7-16 所示为链式动力配电系统主接线，其特点是一条线路供电给一台设备，再由该台设备引出线路供电给后面相邻的设备，即后面设备的电源引自前面相邻设备的接线端子。其优点是线路上无分支点，适用于穿管敷设或电缆线路，节省有色金属消耗量，投资省；缺点是线路检修或发生故障时，相连设备将全部停电，因此供电可靠性较低。

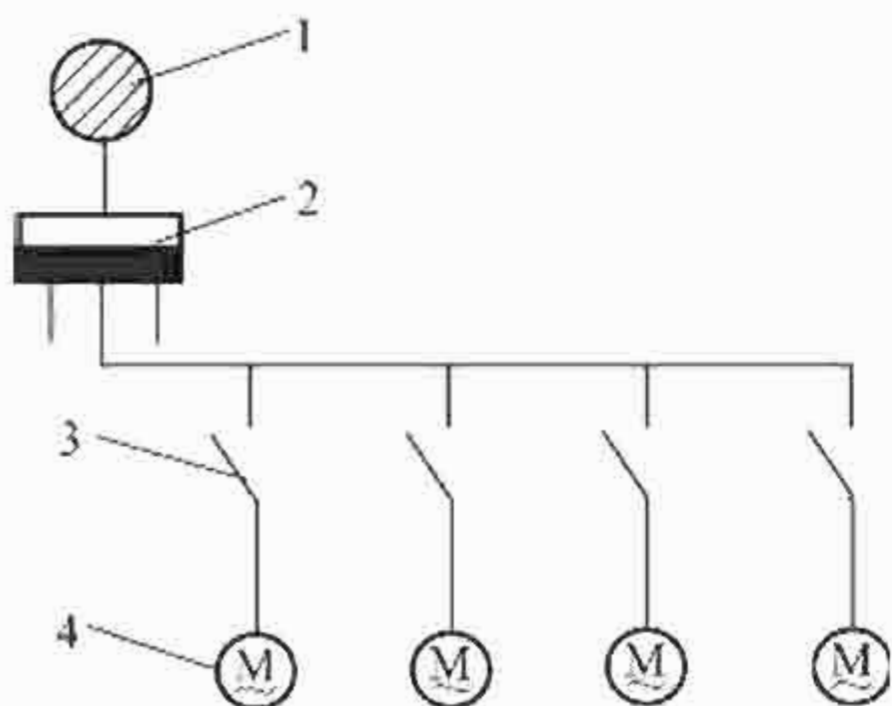


图 7-15 树干式动力配电系统主接线

1—车间变电所；2—主配电盘；  
3—开关；4—电动机

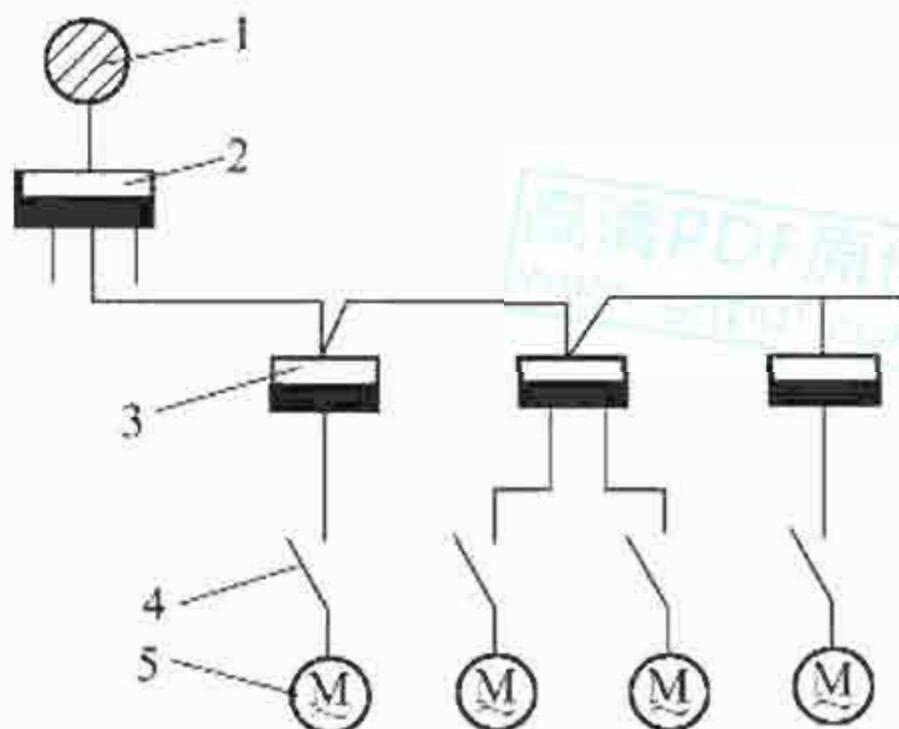


图 7-16 链式动力配电系统主接线

1—车间变电所；2—主配电盘；3—分配电盘；  
4—开关；5—电动机

链式动力配电系统主接线适用于暗敷线路、对供电可靠性要求不高的小容量设备。链式相连的设备不宜多于五台，总容量不超过 10kW。

在上述动力配电系统中，主配电盘一般使用低压配电屏，分配电盘一般采用动力配电箱。

## 7.2.8 照明配电系统主接线

### 7.2.8.1 照明配电系统的分类

照明配电系统常见分类如下。

#### (1) 按接线方式分

工厂的照明配电系统分为 220V 单相制电路和 220/380V 三相四线制电路两种。少数也有因接地线与接零线分开而成单相三线制和三相五线制的。

#### (2) 按工作方式分

有一般照明和局部照明两大类。一般照明是指工作场所的普遍性照明；局部照

明是在需要加强照度的个别工作地点安装的照明。大多数工厂、车间采用混合照明，即既有一般照明，又有局部照明。

### (3) 按工作性质分

有工作照明、事故照明和生活照明三类。工作照明就是正常工作时使用的照明；事故照明是在工作照明发生故障停电时，供暂时继续工作或人员疏散而投入使用的非常照明。在重要的变配电所及其他重要工作场所，应设事故照明。

### (4) 按安装地点分

有室内照明（如车间、办公室、变配电所各室等）和室外照明。其中室外照明有道路交通、警卫（安全保卫）、某些原材料及半成品库料场、厂区运输码头以及室外运动场地等的照明。

## 7.2.8.2 照明配电系统的常用主接线

### (1) 单相制接线

如图 7-17 所示，这种接线十分简单，当照明容量较小、不影响整个工厂供电系统的三相负荷平衡时，可采用此接线方式。

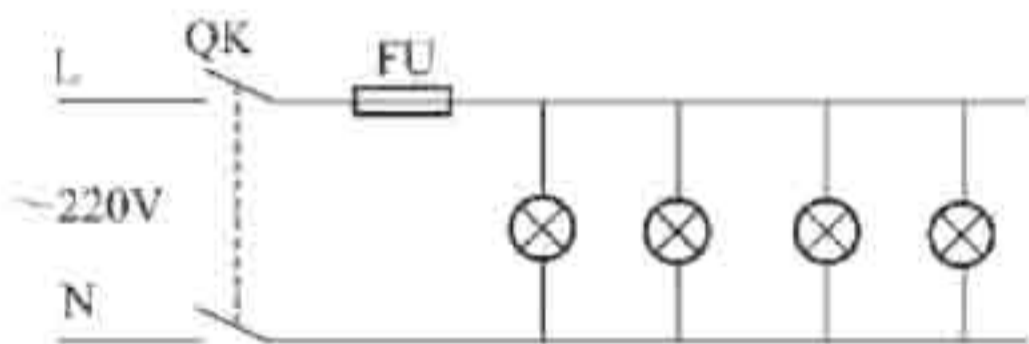


图 7-17 单相制照明配电系统主接线

### (2) 三相四线制接线

如图 7-18 所示，当照明容量较大时，为了使供电系统三相负荷尽可能满足平衡的要求，应把照明负荷均衡（不仅是容量分配，而且还要考虑照明负荷的实际运行情况）分配到三相线路上，采用 220/380V 三相四线制供电。一般厂房、大型车间、住宅楼、影剧院等都采用这种接线方式。

### (3) 事故照明备用电源自动投入装置的接线

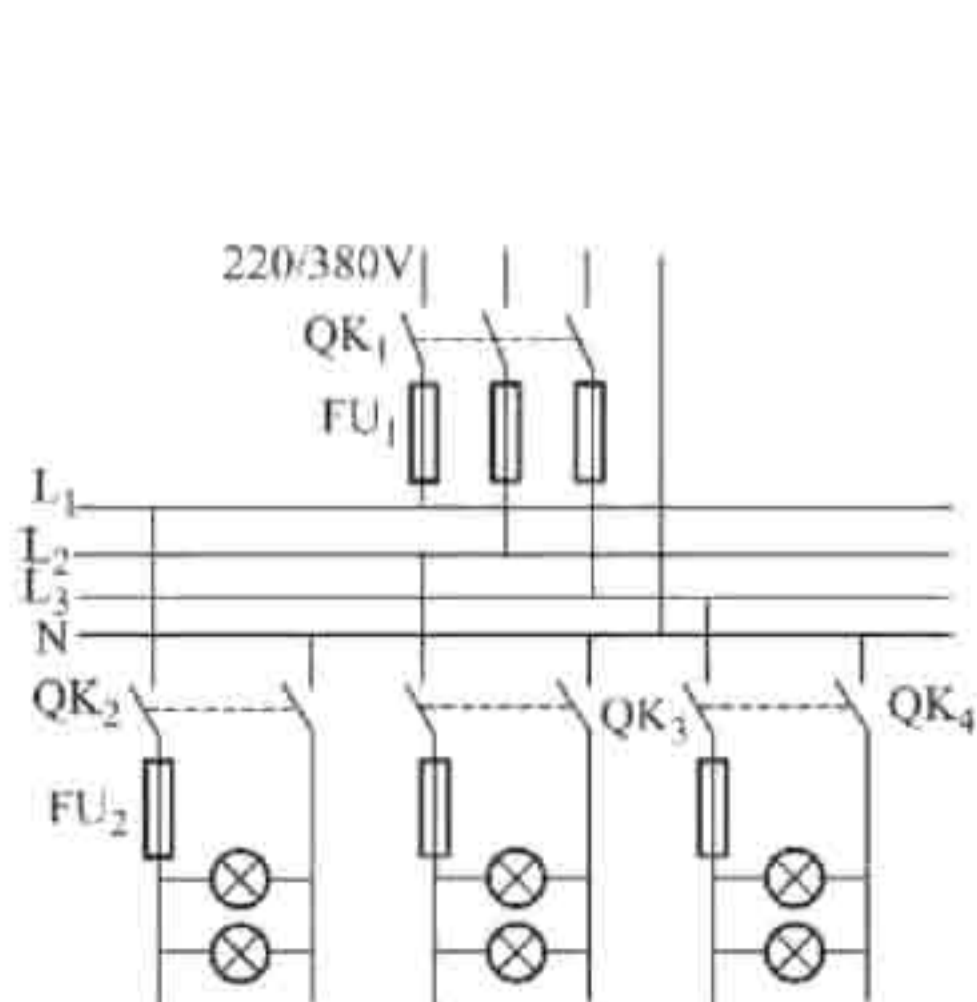


图 7-18 三相四线制照明配电系统主接线

如图 7-19 所示，当照明容量较大时，为了使供电系统三相负荷尽可能满足平衡的要求，应把照明负荷均衡（不仅是容量分配，而且还要考虑照明负荷的实际运行情况）分配到三相线路上，采用 220/380V 三相四线制供电。一般厂房、大型车间、住宅楼、影剧院等都采用这种接线方式。

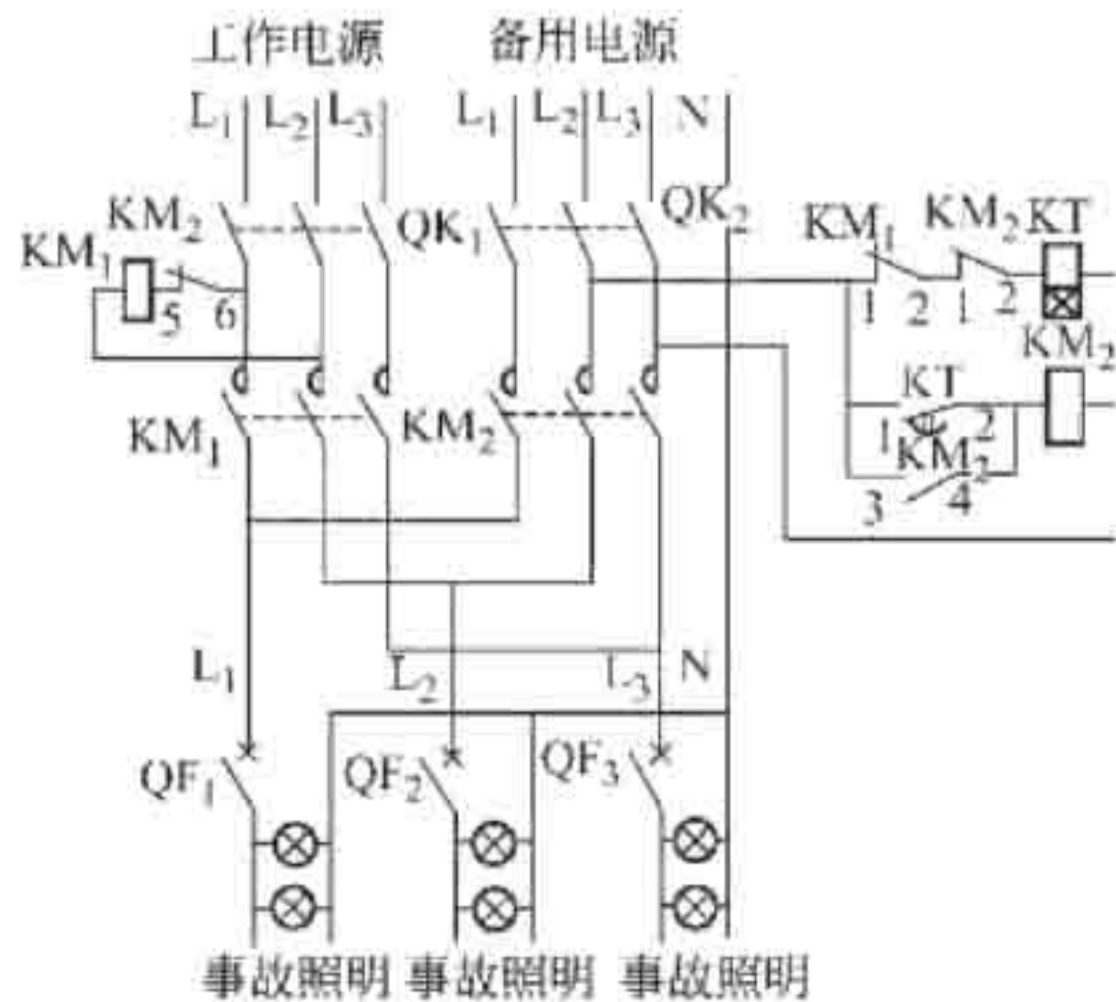
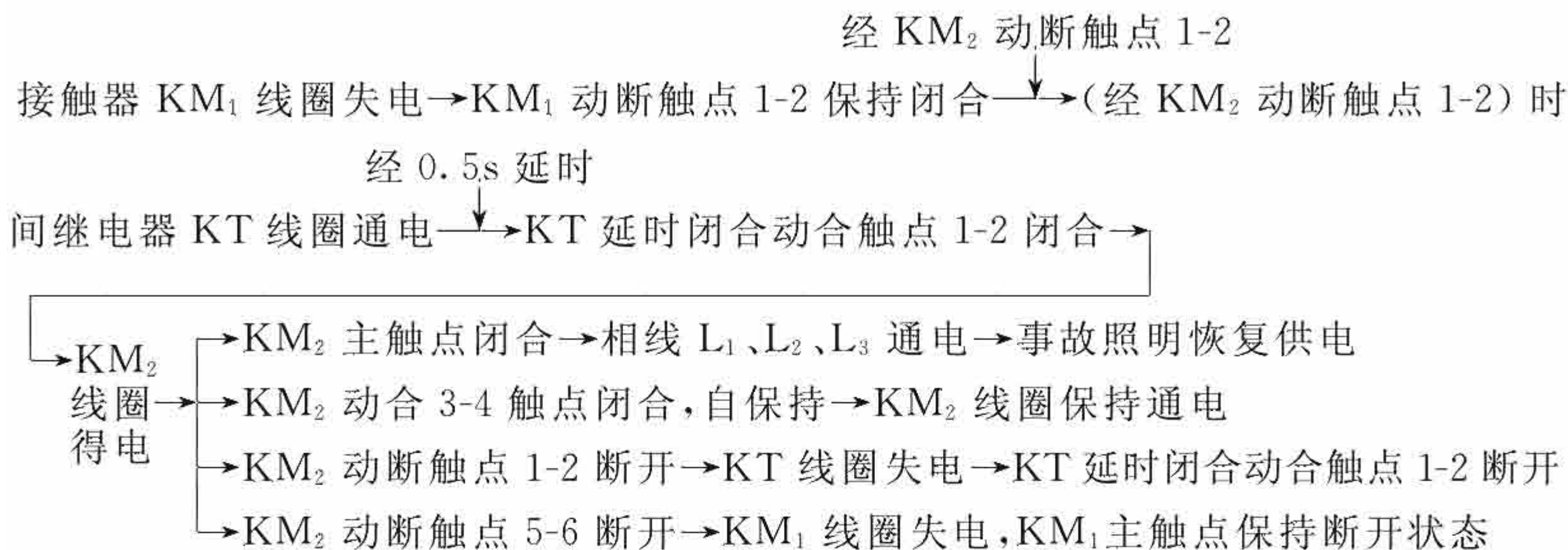


图 7-19 事故照明备用电源自动投入装置接线

图 7-19 所示是利用两只接触器和一只时间继电器组成的备用电源自动投入装置(简称 APD), 它能实现事故照明电源自动切换, 原理如下: 当工作电源被切断时,



## 7.3 供电系统二次电气图

### 7.3.1 概述

#### 7.3.1.1 一次设备与二次设备的关系

一次设备是指主电路中的电气设备, 二次设备是指辅助电路中的电气设备。二次设备是为保证一次设备安全、正常、经济合理运行而装置的辅助设备, 不能简单地判断是一次设备还是二次设备重要, 它们之间是相互依存的关系: 对于一次设备, 没有二次设备就不能安全、正常、经济合理地运行; 对于二次设备, 没有一次设备, 则失去了作用和服务的对象。图 7-20 所示为一次、二次电气设备的组成及相互关系框图。二次设备有以下六类。

##### (1) 控制设备

以控制高电压、大电流开关设备的电气自动控制与电气操作系统的设备称为控制设备, 如 CD10 型电磁操动机构、CT8 型弹簧操动机构中的控制开关、合闸接触器、分合闸线圈、储能电动机、位置开关等。

##### (2) 保护设备

保护设备是指对电气设备(如变压器、高低压电动机等)和线路的故障及其他不正常状态进行保护的装置, 如继电保护、低压断路器的短路、过电流、失压保护、熔断器保护等设备。

##### (3) 测量设备

为了监视一次设备的运行状态和计量一次系统消耗的电能, 保证供配电

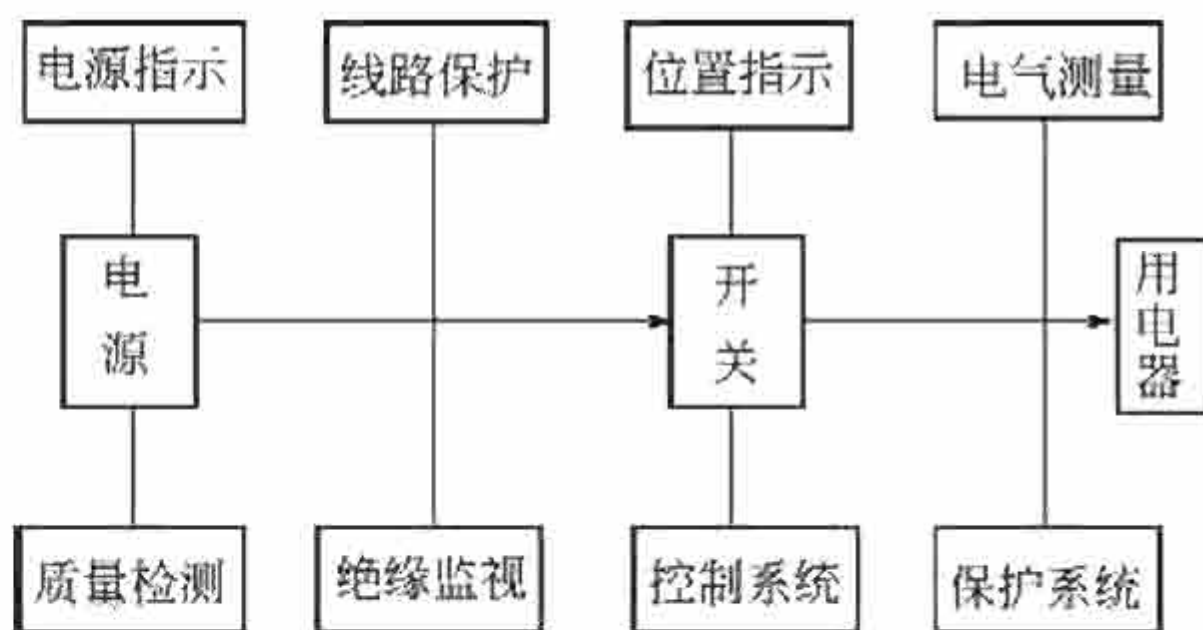


图 7-20 一次、二次电气设备的组成及相互关系框图

系统安全、可靠、优质和经济合理地运行而配置、安装的各种电工测量仪表，如电流表、电压表、功率表、功率因数表、有功及无功电能表等，这些设备属于测量设备。

#### (4) 监察设备

监察设备主要用于对 6~10kV、35kV 中性点不接地系统的单相接地故障进行监察。它通过三只分别测量三相相电压的电压表及  $Y_0/Y_0/\Delta$  连接的三只单相三绕组电压互感器、电压继电器电路来实施。

#### (5) 指示设备

指示设备用来指示一次设备的运行状态，有位置信号、事故信号和预告信号。设备有指示灯、光字牌、音响装置（电铃、警笛、蜂鸣器）等。

#### (6) 操作电源

供电给继电保护装置、自动装置、信号装置、断路器控制等二次电路及事故照明的电源，统称为操作电源。操作电源有交流操作电源和直流操作电源两大类。交流操作电源一般引自高压进线电源计量柜的电压互感器的二次侧，经控制变压器将交流 100V 电压升高为交流 220V，其接线简单、投资少、运行维护方便，但因直接受系统交流电源影响，可靠性较差，一般常用在小型工厂的变配电所。直流操作电源有晶闸管整流电容储能电源、酸性蓄电池电源、碱性镉镍蓄电池电源及免维护铅酸蓄电池电源四种。酸性蓄电池电源是长期以来发电厂及大中型变电所所采用的操作电源，其可靠性高于交流操作电源，但因装置大、占地多、价格贵、腐蚀性强、运行维护复杂，现已被综合性能优于它的碱性镉镍蓄电池电源及免维护铅酸蓄电池电源所取代。操作电源的电压有 220V、110V 和 48V 等。

### 7.3.1.2 二次电气图

二次电气图有以下三类。

#### (1) 二次原理图

也称为二次原理电路图、二次电路图。它是将二次设备按一定的顺序连接起来，用以说明电路工作原理的图。

二次原理图的表示方法有集中表示法、半集中表示法和分开表示法三种。

#### (2) 二次接线图

二次接线图是用于表示二次设备安装接线的图。

二次接线图（接线表）表示了二次设备的连接关系，是进行装接线、调试、检查的依据。二次接线图和二次接线表可单独使用，也可组合使用。在实际应用中，二次接线图常与二次原理图和二次位置图一起使用。二次接线图一般表示出项目的相对位置、项目代号（含端子号）、线号（回路标号）等内容。

二次接线图中设备的相对位置、设备编号应与二次位置图相符，屏面与屏后位置要相符。

导线连接的表示方法有两种：连续线表示法和中断线表示法。接线较复杂时，一般都采用中断线表示法。中断线两端的标记通常采用相对编号法。屏（柜）体设

备与屏(柜)外和屏(柜)顶设备连接、同一屏(柜)中两个单元之间的设备连接时,都应经过端子板(多个相连成一体端子板称为端子排)。同一屏(柜)内同一单元的设备相互连接时,不需要经过端子板。端子板与屏(柜)外设备由二次(控制)电缆连接。

端子排分为普通端子、连接端子、试验端子、终端端子和特殊端子五种,如图7-21所示。

普通端子用来连接由屏(柜)外引入至屏(柜)上,或由屏(柜)上引至屏(柜)外的导线。

终端端子用于固定端子排的上下两端,或隔开不同安装单元的端子排。

试验端子用于在不中断电流的情况下,校验二次回路中的测量仪表和继电器的准确度。把试验端子上的两个连接片拆除,就成为特殊端子。

除上述四种端子外的其余都为连接端子,用于连接或开断与相邻两端子连接的电路。在接线图中,端子板的文字代号为X,端子的前缀符号为“:”。

### (3) 二次位置图

二次位置图是表示成套装置、设备或装置中各个项目的实际位置的一种图,如图7-22所示。该图中略去了屏面各部分尺寸。

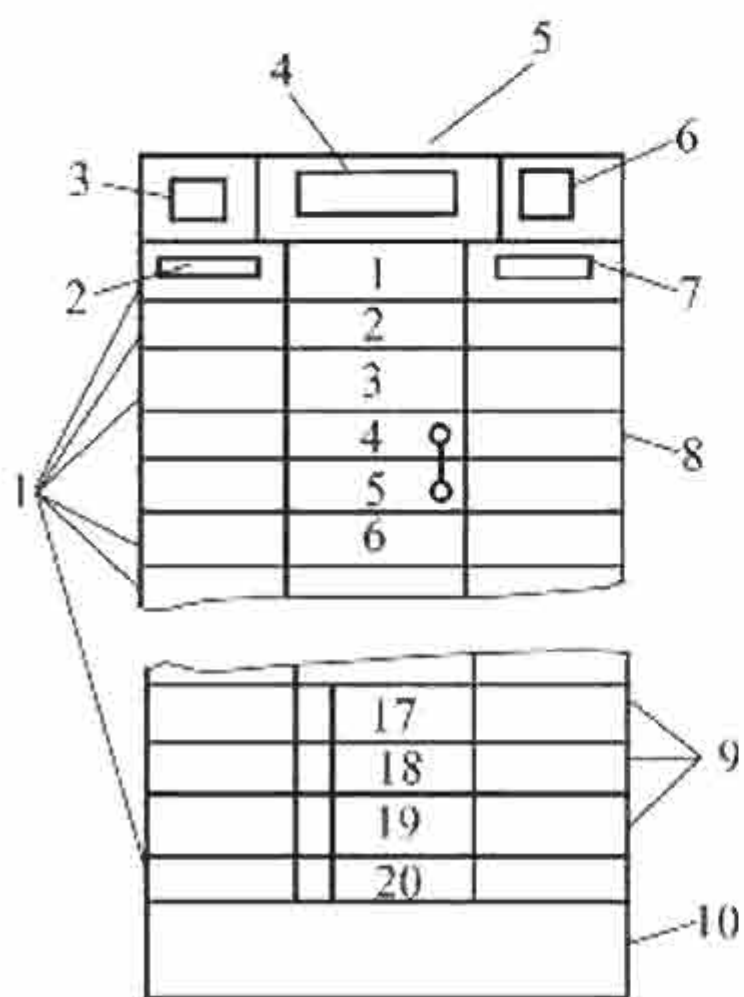


图 7-21 端子排列图

- 1—普通端子; 2—左连设备端子编号;  
3—端子排代号; 4—安装项目名称;  
5, 10—终端端子; 6—安装项目  
代号; 7—右连设备端子编号;  
8—连接端子; 9—试验端子

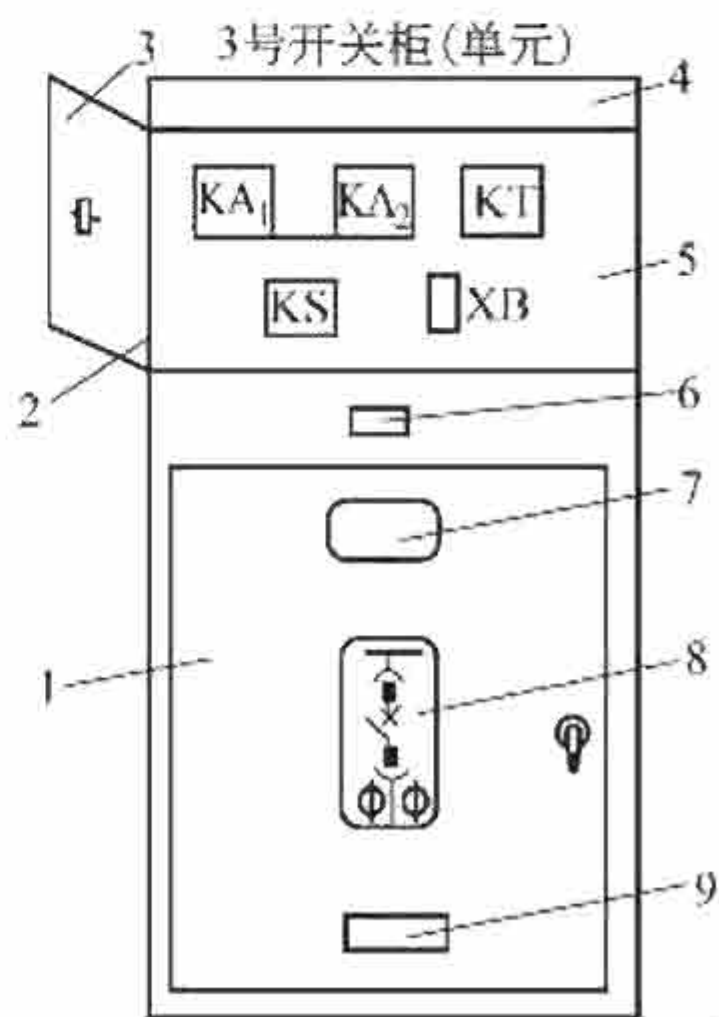


图 7-22 某高压开关柜位置图

- 1—小车间; 2—室左侧端子排; 3—仪表门;  
4—小母线; 5—继电器室; 6—出厂标牌;  
7—观察窗; 8—模拟接线; 9—厂铭牌

二次位置图应按实际尺寸及一定比例画出,用简易外形图表示,并标注尺寸。

二次位置图上二次设备的编号应按一定顺序,从上到下,从左到右(指屏面)用阿拉伯数字1、2、3……编号,并在二次设备的简易外形图内标出它的文字符号。

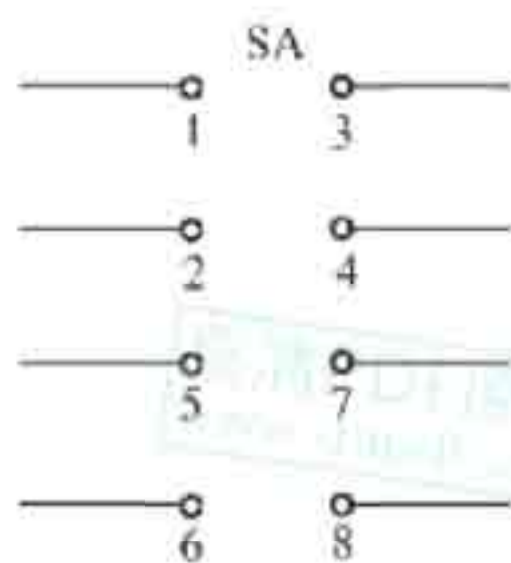


图 7-23 多位开关的一般符号

### 7.3.1.3 多位开关的状态表示法

在二次回路中，常用的多位开关有组合开关、转换开关、滑动开关、鼓形控制器等。这类开关具有多个操作位置和多对触点。在不同的操作位置上，触点的通断状态是不同的，而且触点工作状态的变化规律往往比较复杂。识别多位开关触点的状态，是读图和用图的难点。下面介绍两种表示多位开关触点状态的方法。

#### (1) 一般符号和连接表相结合表示方法

这种方法在二次电路图中画出多位开关（控制开关的一种）的一般符号，将其各端子（触点）编上号码或字符（一般用阿拉伯数字，左侧触点用奇数、右侧触点用偶数编号），在图纸的适当位置画出连接表，如图 7-23 及表 7-2 所示。

由表 7-2 可见，开关在位置 I 时 1-3 通；在位置 II 时，5-7 通；在位置 III 时，2-4、6-8 通。

表 7-2 多位开关连接表

位 置	端子(点)			
	1-3	2-4	5-7	6-8
I	×	—	—	—
II	—	—	×	—
III	—	×	—	×

#### (2) 图形符号表示法

图形符号表示法是将开关的接线端子、操作位置、触点状态表示在图形符号上的方法。

图 7-24(a) 是一具有五对触点、五个位置的多位开关的图形符号。

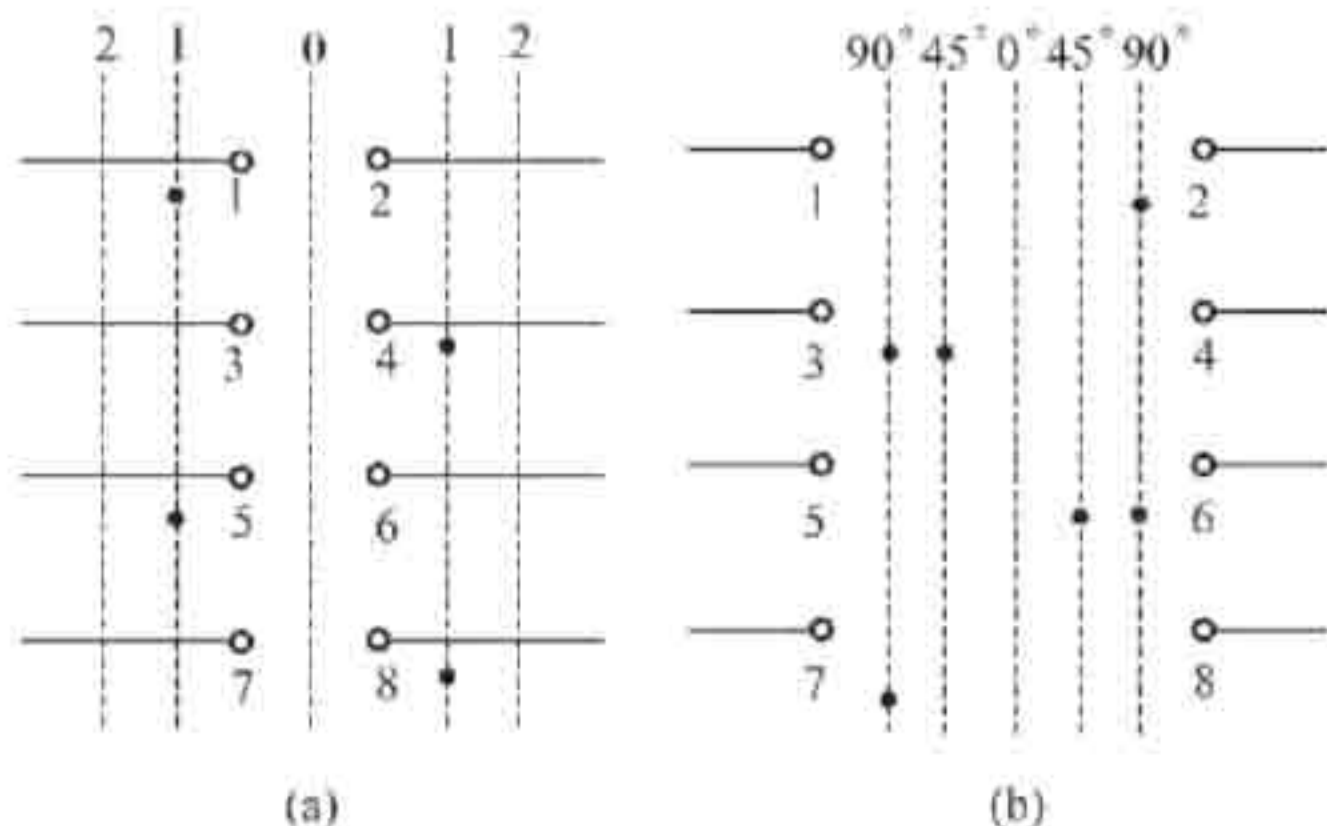


图 7-24 多位开关的图形符号表示法

图中以“0”表示操作手柄在中间位置（停止位置），两侧的数字“1”、“2”表示操作位置。操作位置也可以用“ON”、“OFF”，“正转”、“反转”，“启动”、“停止”表示。垂直的虚线表示手柄操作的位置线。紧靠触点，标在虚线上的黑点“·”表示手柄转在这一位置时，有黑点表示触点接通，无黑点的表示触点不接通。图7-24中，触点1~8的工作状态是：位置0，都不通；右1，3-4、7-8通；右2，不通；左1，1-2、5-6通；左2，不通。

图7-24(b)是多位开关用图形符号表示的另一种形式。图中操作位置用角度 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 表示，位置线画在触点的中间。

### 7.3.2 二次原理图

图7-25所示是小型工厂常用的两相两继电器式接线的反时限过电流保护的二次原理接线图。习惯上，把按集中表示法绘制的图称为原理接线图，把用分开表示法绘制的图称为二次展开图。以图7-25为例进行识图分析。

#### 7.3.2.1 识读图前需弄清的问题

##### (1) 继电保护装置的接线方式

中小型变电所的继电保护装置常用两种接线方式：两相两继电器式接线和两相一继电器式接线。图7-25中采用两相两继电器式（简称两相两继）接线， $L_1$ 、 $L_3$ 相两只电流互感器各有 $TA_1$ 、 $TA_3$ 与 $TA_2$ 、 $TA_4$ 两组二次绕组。其中 $TA_1$ 和 $TA_2$ 为0.5级，接测量仪表， $TA_3$ 和 $TA_4$ 为3级或B级，接继电保护装置。

##### (2) GL型电流继电器

GL型感应式电流继电器是一种综合型继电器，它具有电磁式电流、时间、信号及中间四种继电器的功能，是小型变电所进行反时限过电流保护和电流速断保护最常用的继电器，采用交流操作电源。其动作时限长短与短路电流大小成反比关系，例如，GL-15型、GL-25型电流继电器有动合、动断两对触点，当 $KA_1$ 或 $KA_2$ 线圈通过的电流达到或超过整定值时，其转换触点“先合后断”，即动合触点先闭合后动断触点才断开，跳闸线圈 $YR_1$ 、 $YR_2$ 通电动作，使断路器QF跳闸。

#### 7.3.2.2 工作原理分析

图7-25中，当一次电路发生相间短路时，短路电流经电流互感器 $TA_3$ 、 $TA_4$ 的一次绕组反映到二次绕组，达到或超过整定值的电流通过 $KA_1$ 、 $KA_2$ ，经一定时限， $KA_1$ 、 $KA_2$ 动合触点闭合，动断触点断开，断路器跳闸线圈 $YR_1$ 、 $YR_2$ 因“去分流”而通电，从而使断路器跳闸，将故障部分切除。在继电器去分流跳闸的同时，其红色信号牌自动掉下，由观察窗可见保护装置已经动作。

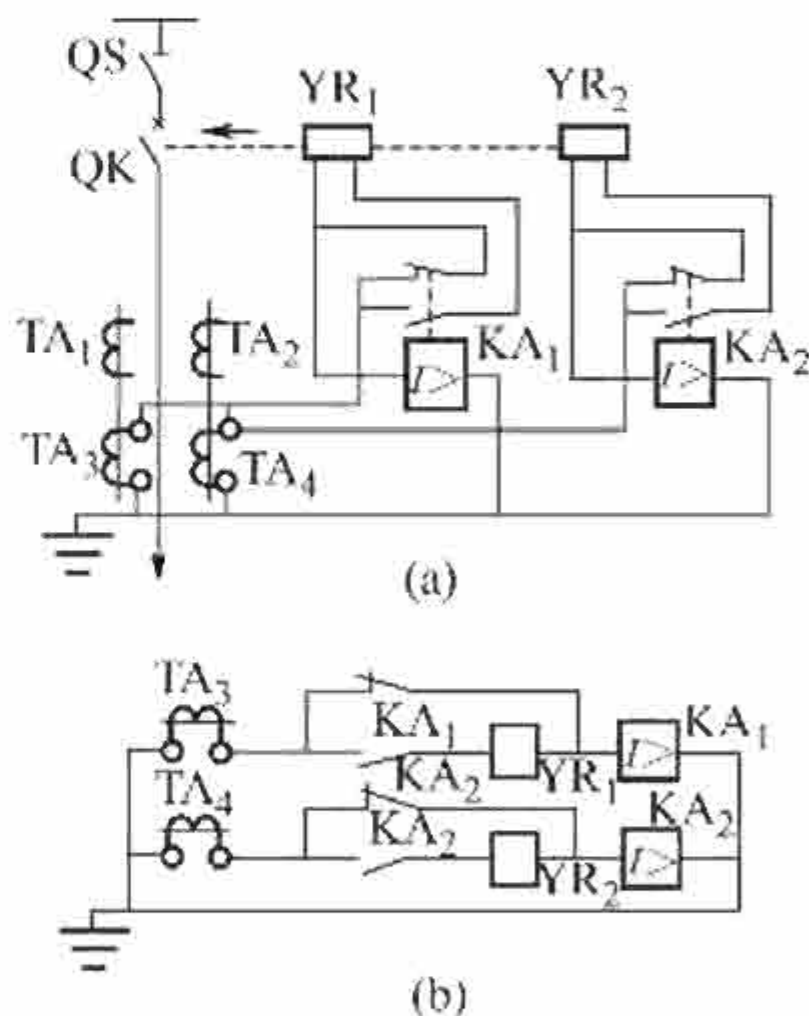


图7-25 反时限过电流保护的二次原理接线图

图 7-26 所示为某 6~10kV 配电线路二次展开图。它采用两只双二次绕组电流互感器，准确度等级为 0.5 级的  $TA_1$ 、 $TA_2$  接测量仪表，准确度等级为 3 级的  $TA_3$ 、 $TA_4$  接保护装置。过电流保护采用两相两继电器式接线，用 GL 型感应式电流继电器。

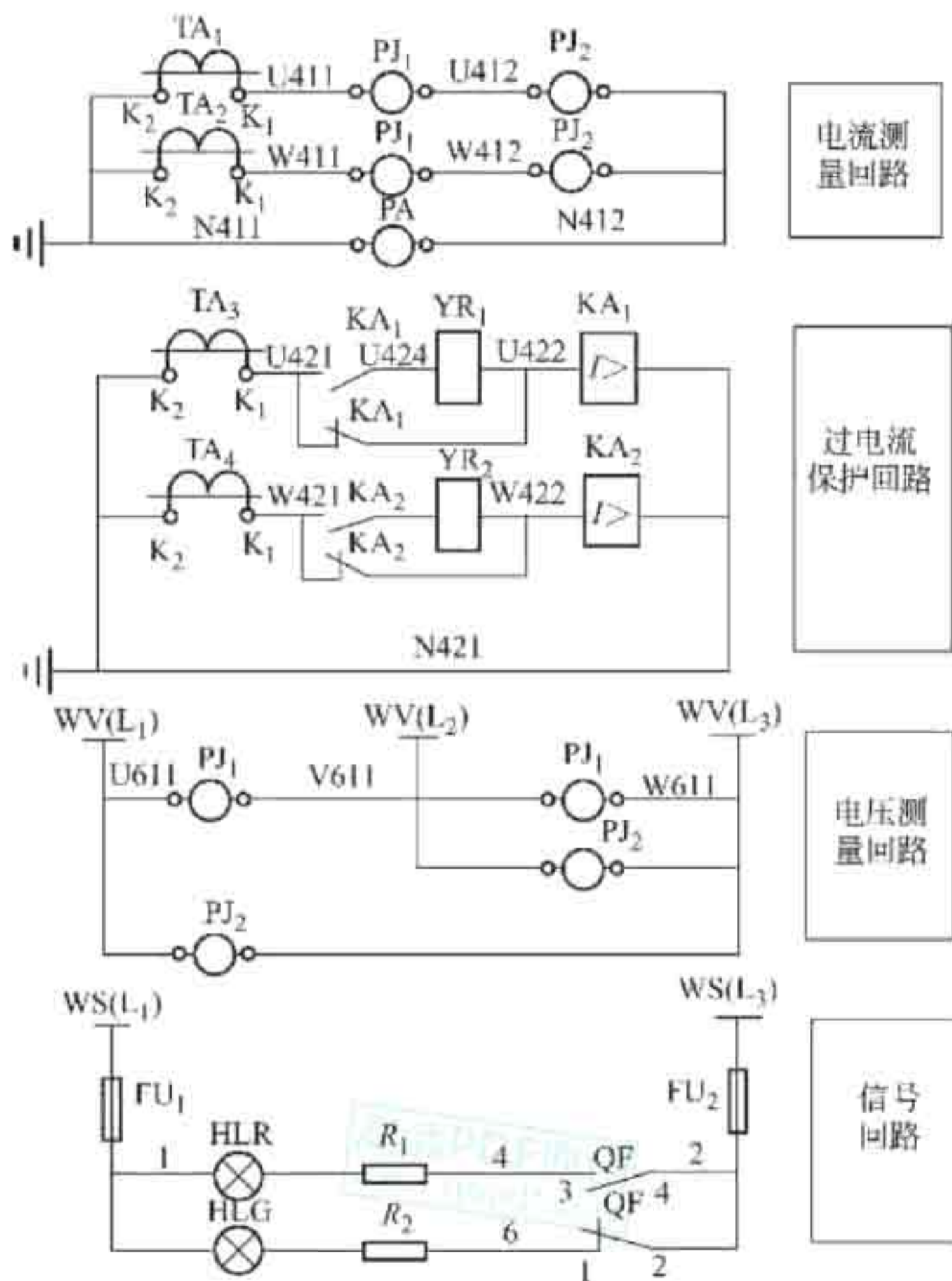


图 7-26 某 6~10kV 配电线路二次展开图

识读图 7-26 时，要结合集中表示法的原理接线图 [参考图 7-25(a)] 一起进行。可首先看右侧标注的各回路名称，再按照从上到下，从左到右的基本步骤识读。

① 电流测量回路。电流测量回路包括有功电能表  $PJ_1$ 、无功电能表  $PJ_2$  和电流表 PA 三只测量仪表。其中  $PJ_1$  和  $PJ_2$  为两元件结构，故各有两个电流线圈，分别串接在  $TA_1$ 、 $TA_2$  的二次侧。由于两相式电流互感器（双二次绕组电流互感器）的公共回路通过的电流即为相电流，为三相平衡系统，故只在公共回路上装一只电流表 PA 即可进行电流测量。电流互感器的二次侧均要接地，连接时极性要相同。

② 过电流保护回路。过电流保护回路与图 7-25 中的相同。

③ 电压测量回路。 $WV(L_1)$ 、 $WV(L_2)$  和  $WV(L_3)$  为电压小母线， $PJ_1$ 、 $PJ_2$  的两个电压线圈分别均匀布置，接入线电压。

④ 信号回路。 $WS(L_1)$ 、 $WS(L_3)$  为信号小母线，QF 触点 1-2、3-4 分别为断



路器 QF 的动断、辅助动合触点。当 QF 未合闸时，绿色指示灯 HLG 经 QF 触点 1-2 通电而亮；当 QF 合闸后，QF 触点 1-2 断开，HLG 灭，QF 触点 3-4 接通，红色指示灯 HLR 通电而亮。

### 7.3.3 二次接线图

图 7-27 所示为高压配电线路二次接线图，以其为例讲解二次接线图的识读。

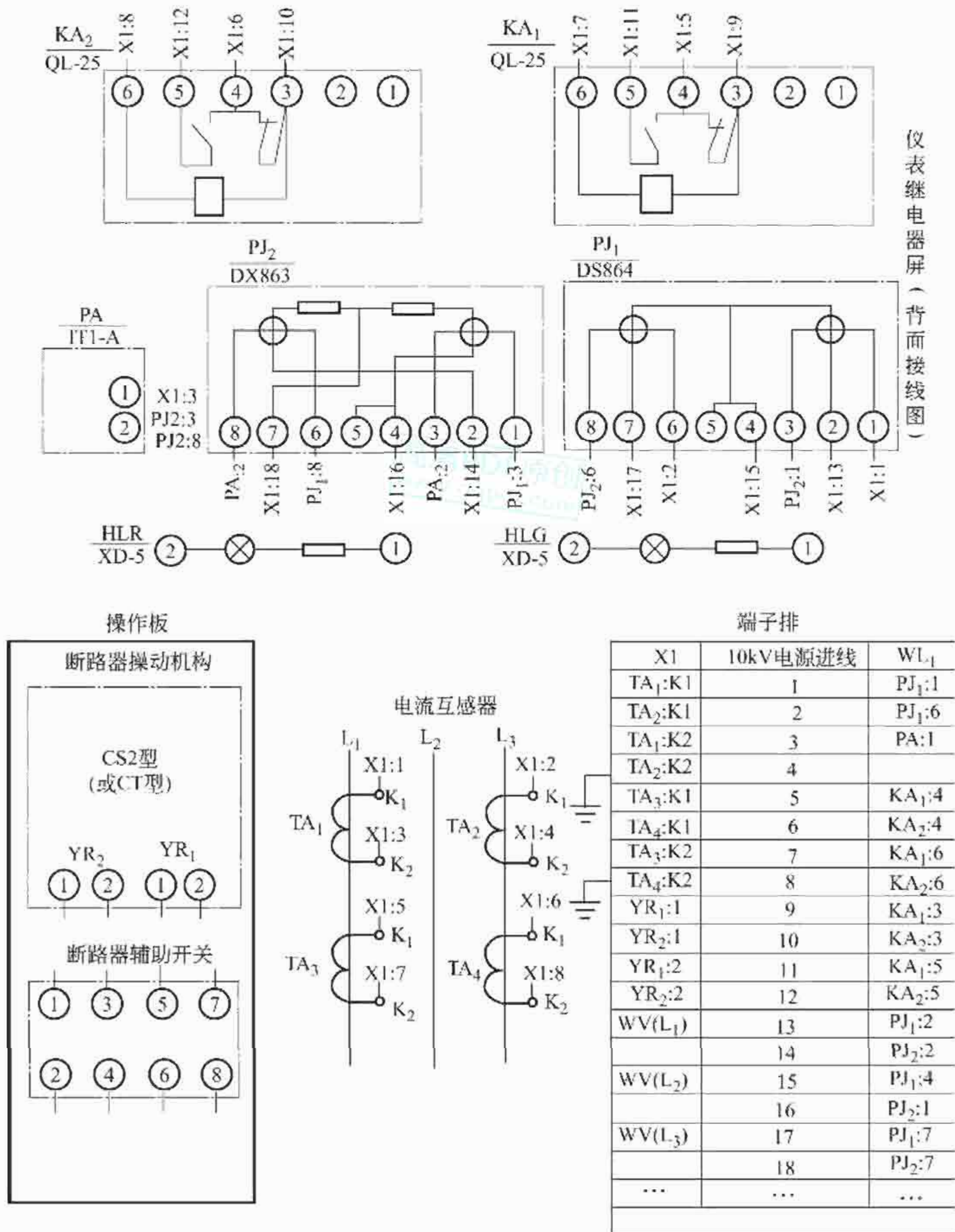


图 7-27 高压配电线路二次接线图

### 7.3.3.1 全图组成

高压配电线路二次接线图由四部分组合而成。

① 主电路。如图 7-25 所示，仅画出了电流互感器接入部分， $TA_1$ 、 $TA_2$  接测量仪表， $TA_3$ 、 $TA_4$  接继电保护装置。

② 仪表继电器屏背面接线图。表示  $KA_1$ 、 $KA_2$ 、 $PJ_1$ 、 $PJ_2$ 、 $PA$  以及指示灯  $HLG$ 、 $HLR$  的相互安装位置和各接线端子的接线。

③ 端子排。按图 7-21 标志。其中 3-4、7-8、13-14、15-16、17-18 为连接端子，其余为屏（柜）内导线相互连接及进行试验的试验端子。

④ 操作板。表示了断路器操动机构及其辅助开关触点的接线。

### 7.3.3.2 屏背面接线图

仪表、继电器的屏后相互位置和接线端子位置应与屏前相符，例如，从屏前看， $KA_1$  在左， $KA_2$  在右，但从屏后看， $KA_1$  在右， $KA_2$  在左；又如，从屏前看， $KA_1$ 、 $KA_2$  的接线端子 1~6 是从左向右排列的，但从屏后看，接线端子 1~6 是从右向左排列的。

每一个元件为一个安装单元，用点划线围框分开。在每一元件上方或其他紧靠元件处标注元件编号及代号，如图 7-28(a) 所示，也有用图 7-28(b) 表示的。

为简略起见，在不至于引起混淆的情况下，也可以不画圆圈。

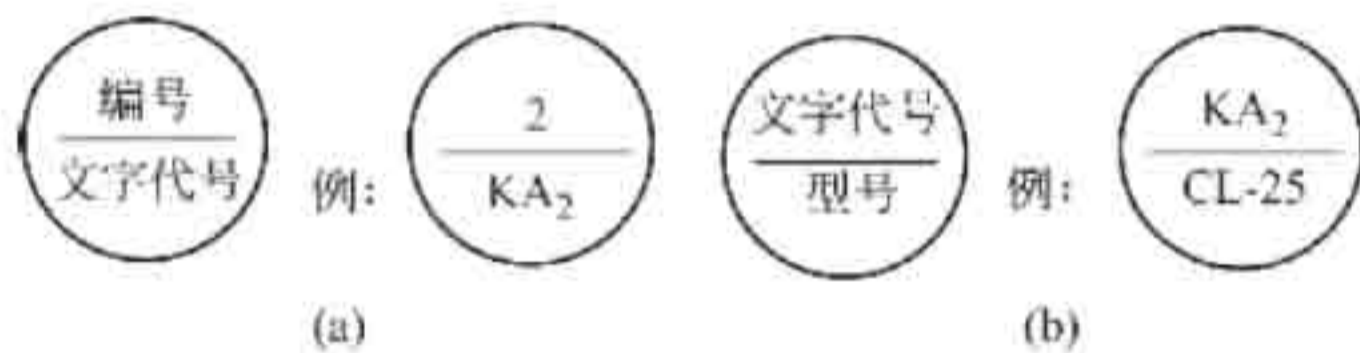


图 7-28 接线图中元件的标注方式

### 7.3.3.3 端子排

端子排图上方标注了安装项目名称（10kV 电源进线）、安装项目代号（ $WL_1$ ）和端子排代号（ $X1$ ）；中列为端子编号（1~18）；左侧为连接各设备（电流互感器、断路器跳闸线圈及电压小母线）的端子编号；右侧为连接各仪表、继电器的端子编号。

### 7.3.3.4 连接线表示

连接线采用中断线表示法，并标注编号，如连接  $TA_1$  的  $K1$  端子与端子排  $X1$  的 1 号端子的导线，分别标注  $X1:1$  和  $TA_1:K1$ ；连接端子排  $X1$  的 1 号端子与有功电能表  $PJ_1$  的 1 号端子的导线，分别标以  $PJ_1:1$  和  $X1:1$  等。

## 7.3.4 二次电气图综合识图示例

### 7.3.4.1 示例一

图 7-29 为采用电磁操动机构的断路器控制电路及其信号系统图。

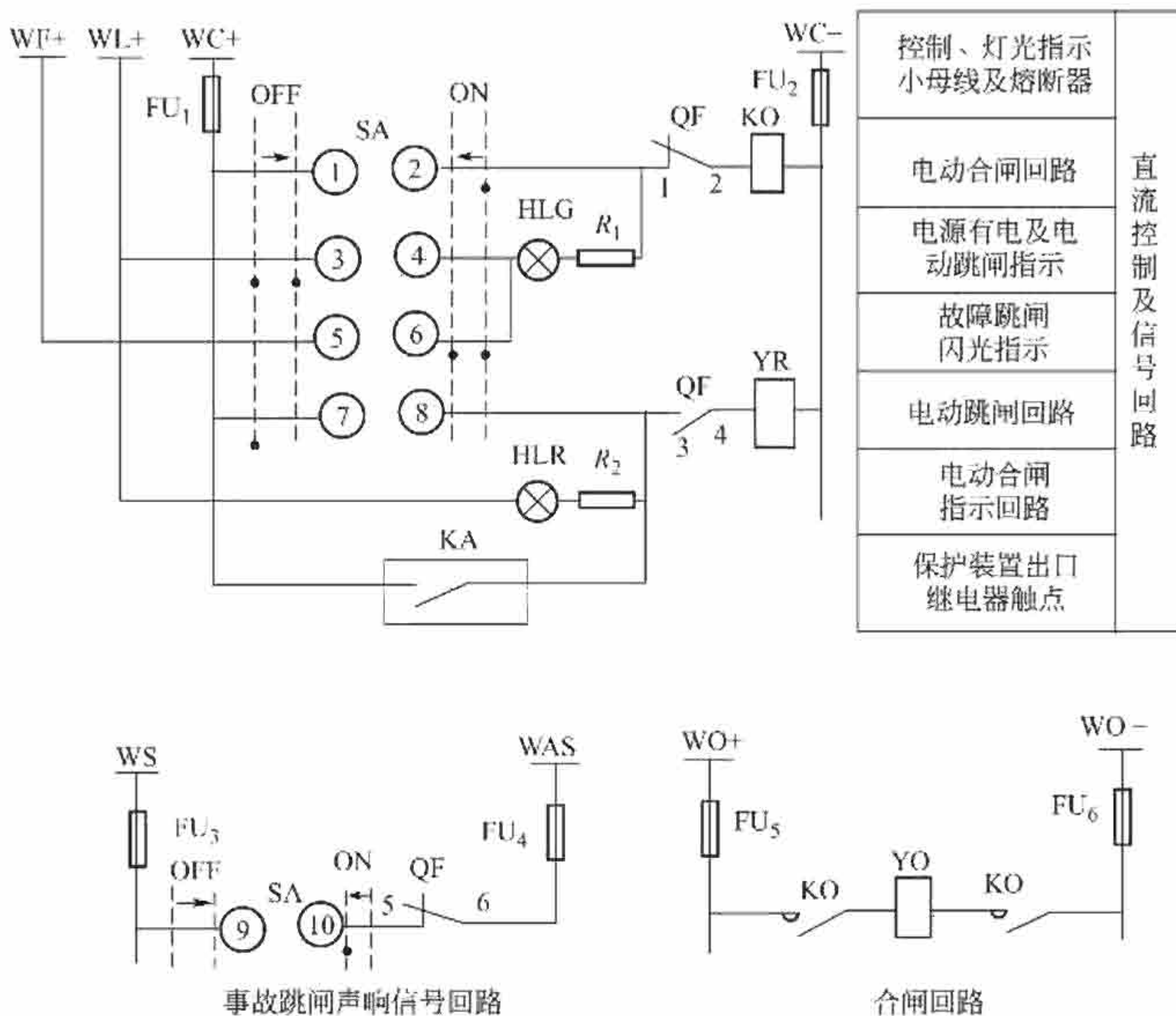
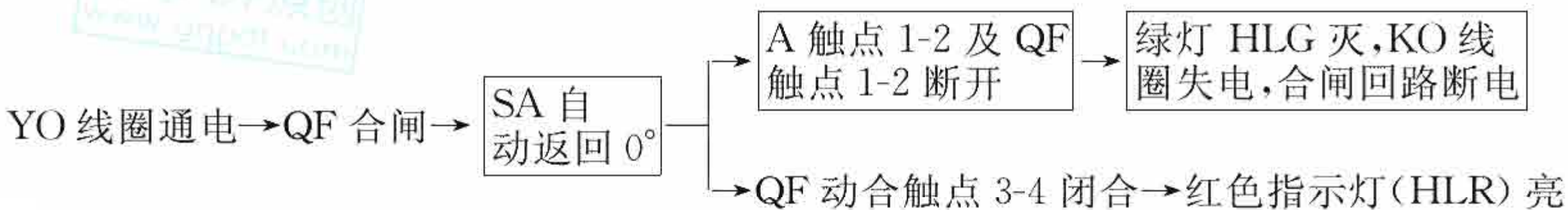


图 7-29 采用电磁操动机构的断路器控制电路及其信号系统图

图 7-29 中，WC 为控制小母线；WL 为灯光指示小母线；WF 为闪光信号小母线；WS 为信号小母线；WAS 为事故音响小母线；WO 为合闸小母线；SA 为控制开关；KO 为合闸接触器；YO 为电磁合闸线圈；YR 为跳闸线圈；ON 为合闸操作位置；OFF 为分闸操作位置；KA 为保护装置出口继电器触点； $QF_1 \sim QF_6$  为断路器辅助触点；HLG 为绿色指示灯；HLR 为红色指示灯。

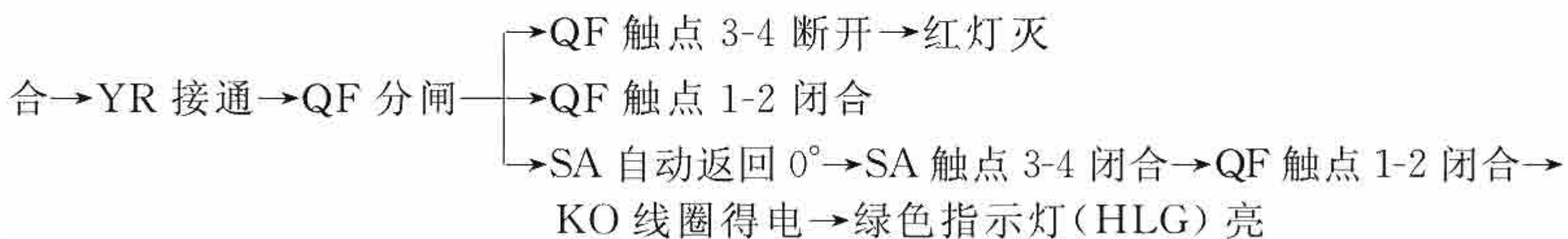
(1) 电动合闸

合闸时，将控制开关 SA 的手柄顺时针转  $45^\circ \rightarrow$  SA 触点 1-2 闭合  $\rightarrow$  KO 线圈通电  $\rightarrow$



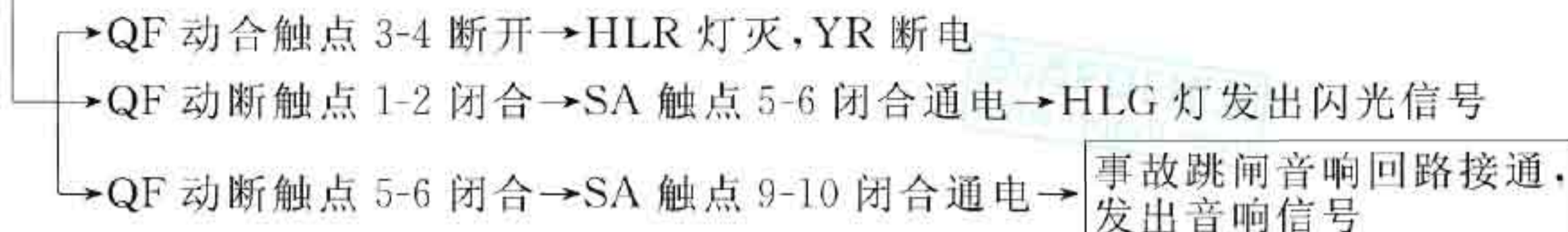
(2) 电动分闸

分闸时，将控制开关 SA 的手柄逆时针转  $45^\circ \rightarrow$  SA 触点 7-8 闭合  $\rightarrow$  QF 触点 3-4 闭



## (3) 事故跳闸

当一次电路发生短路故障时,保护装置动作,其出口继电器KA的动合触点闭合→QF 触点 3-4 闭合→YR 通电→QF 自动跳闸



## (4) 解除信号

要解除事故音响信号,将控制开关 SA 扳向分闸操作位置(逆时针转  $45^\circ$ )即可。

该控制电路采用双向自复式并具有保持触点的 LW5 型控制开关(SA)触点通断状态见表 7-3。

表 7-3 LW5-15B48 □□/3 型万能转换开关触点通断表

触 点	$45^\circ$	$0^\circ$		$45^\circ$
		→	←	
1 ○ —    —    — ○ 2				×
3 ○ —    —    — ○ 4	×	×		
5 ○ —    —    — ○ 6		×	×	
7 ○ —    —    — ○ 8	×			
9 ○ —    —    — ○ 10			×	

注：“×”号表示触点接通。

## 7.3.4.2 示例二

图 7-30 所示为某厂 10kV 变电所 Y4 号高压开关柜二次原理图和二次接线图。识读图 7-30 的步骤如下。

## (1) 首先概略了解图样的全部内容

先看标题栏、技术说明、元件明细表等,然后大致看一下图样的各电路图、接线图,由此对该图总体有大致的了解。

## (2) 看图样各项说明

① 由标题栏知道该电气工程项目名称、图名、设计单位及设计人等。该图是变电所 16 张图样中的第 15 张。最好结合看一下图样目录及施工说明书等相关技术文件,以了解相关内容,有助于识图。

② 由技术说明可了解技术要求、继电保护配置和数据(此处列出的是过电流继电保护的動作电流和速断电流值)。

③ 看元件明细表,了解二次回路中的各元件,尤其要注意看各元件的文字符

号（代号）和名称。

### (3) 看原理电路图

按照先整体后局部、先主后辅助、先电路后元件、从上到下、从左到右的大致顺序进行。

① 看主电路图。主电路图见图 7-30(a)，结合该厂电气主接线图看主电路图可知，该 Y4 高压开关柜（型号 JYN2-10-02）是 1 号变压器（S9 型，容量为  $500\text{kV}\cdot\text{A}$ ，电压为  $10/0.4\text{kV}$ ）的操作柜，内有控制、保护、测量、指示等二次回路。从上到下为  $10\text{kV}$  母线→隔离插头→高压断路器 QF→电流互感器（两相式， $\text{TA}_1$ 、 $\text{TA}_2$  接测量仪表，准确度等级为 0.5 级； $\text{TA}_3$ 、 $\text{TA}_4$  供过电流继电保护，准

准确度等级为 B 级) →  接地刀开关及电压显示装置  
→ 电缆→1 号变压器

② 看电流测量回路、过电流保护回路、电压测量回路。它们均用分开表示法画出。其中，电流测量回路和过电流保护回路见图 7-30(c)，而电压测量回路中只有一只三相三线制两元件结构的有功功率表的两个电压线圈，分别接入  $\text{WV}(\text{L}_1)\text{-WV}(\text{L}_2)$  与  $\text{WV}(\text{L}_2)\text{-WV}(\text{L}_3)$  电压小母线。

③ 看断路器。CT8 型弹簧操动机构的控制原理图及信号回路原理图是该图样的主要部分，也是最难的部分。

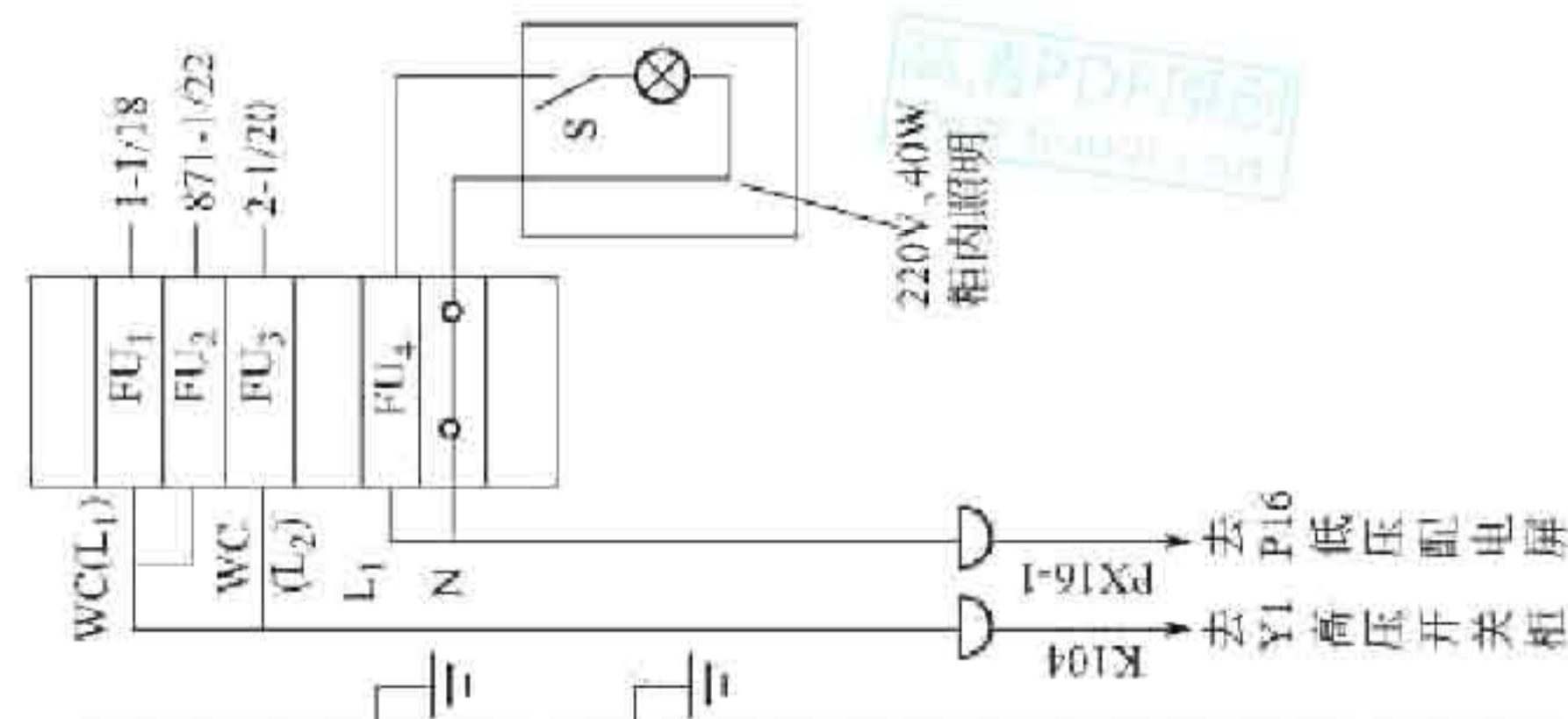
由技术说明及元件明细表（二次回路设备表）可知，该柜 SN10-10I/630 少油断路器采用的是 CT8 型弹簧操动机构。读图时应查阅有关 CT8 型弹簧操动机构的功能、用途、主要构造、工作原理、配套使用的 LW5 型万能转换开关及其触点表等资料，例如，CT8 型弹簧操动机构为交直流两用；CT8 的储能方式有电动机储能和手动储能两种，合闸操作有手动合闸和电动（电磁铁）合闸两种，分闸操作有手动分闸和电动脱扣器分闸两种，而电动脱扣器分闸又有分闸电磁铁（分励脱扣器）分闸、瞬时过电流脱扣器分闸、失压脱扣器分闸三种。该设计图中采用交流  $220\text{V}$  电源，电动机储能，电动合闸，电动脱扣器分闸（SA 触点 1-2），过电流时则通过过电流保护回路的过电流脱扣器  $\text{SLT}_1$  及  $\text{SLT}_2$  作用于断路器跳闸线圈而切除故障；又如，储能电动机 M 的额定电压有交流  $110\text{V}$ 、交流  $220\text{V}$  和交流  $380\text{V}$  三种，这里用交流  $220\text{V}$ ，其额定电压下储能时间不超过  $5\text{s}$ ，图中 SQ 为储能限位开关，当合上组合开关 QS 时，在 M 储能过程（ $0\sim 5\text{s}$ ）中，SQ 触点 1-2 是闭合的，所以 M 通电，使弹簧储能，而 SQ 触点 3-4 是断开的（白灯 HLW 灭），M 储能完毕，SQ 触点 1-2 断开，SQ 触点 3-4 接通，白灯 HLW 亮，表明储能已完成；再如， $\text{ST}_1$  和  $\text{ST}_2$  是与手车联锁的行程开关。当手车推入开关柜柜体而还未完全到位时， $\text{ST}_2$  是闭合的， $\text{ST}_2$  在手车到位后即断开； $\text{ST}_1$  在手车推入到位时闭合接通。

只有掌握了以上知识，才能把 CT8 型弹簧操动机构的原理电路图读懂。现分析如下。

Y4、Y5高压开关柜端子排列图

1	Y4 高压开关柜	= T <sub>1</sub> -A4	
TA <sub>1</sub>	1	U411	W
TA <sub>2</sub>	2	W411	W
TA <sub>1</sub> 、TA <sub>2</sub> 、N	3	N411	PA <sub>3</sub>
	4		
TA <sub>3</sub>	5	U421	KA <sub>1</sub>
TA <sub>4</sub>	6	W421	KA <sub>2</sub>
TA <sub>3</sub> 、TA <sub>4</sub> 、N	7	N421	KA <sub>1</sub> 、KA <sub>2</sub>
	8		
SLT <sub>1</sub>	9	U422	KA <sub>1</sub>
SLT <sub>1</sub>	10	U423	KA <sub>1</sub>
SLT <sub>2</sub>	11	W422	KA <sub>2</sub>
SLT <sub>2</sub>	12	W423	KA <sub>2</sub>
	13		
WV(L <sub>1</sub> )	14	U612	W
WV(L <sub>2</sub> )	15	V611	W
WV(L <sub>3</sub> )	16	W612	W
	17		
SA-1、SA-3	18	1	FU <sub>1</sub>
HLG	19		HLR
YO	20	2	FU <sub>3</sub>
YR	21		QS
SQ	22	871	FU <sub>2</sub>
M	23	872	QS
SQ	24	875	HLW
SA-4	25	3	ST <sub>1</sub>
HLG	26		ST <sub>1</sub>
QF	27	5	ST <sub>1</sub>
SA-2	28	33	ST <sub>2</sub>
HLW	29	33	QF

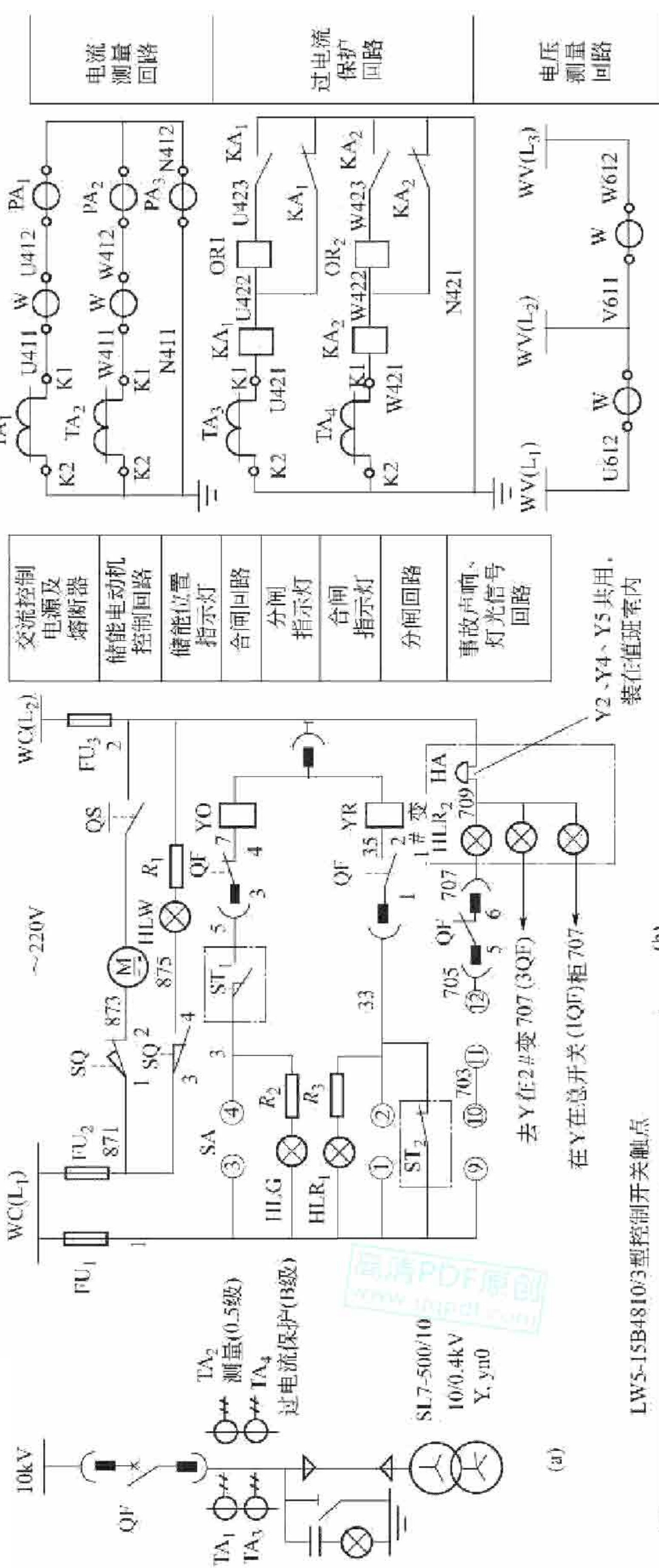
左连设备 端子编号 回路标号 右连设备



二次回路元件明细表

序号	符号	名称	型号 规格	单位	数量	备注
1	PA <sub>1</sub> ~PA <sub>3</sub>	交流电流表	42L6-A, 0~50A	只	3	50/5A
2	W	三相有功功率表	42L6-W, 100V, 5A		1	0~800kW
3	KA <sub>1</sub> , KA <sub>2</sub>	电流继电器	GL-25/5, 5A		2	
4	OR <sub>1</sub> , OR <sub>2</sub>	过电流脱扣器	1型, 5A		2	CT8内附设备
5	YR	分闸脱扣器	4型, ~220V, 1.2A		1	
6	YO	合闸线圈	~220V, 5A		1	
7	M	储能电动机	HDZ-213, ~220V		1	450W, t<5s, 内附
8	QF1-2, QF3-4, QF5-6	断路器 辅助开关	F4-12		3	CT8附
9	SQ	储能限位开关	LX12-2		1	
10	SA	控制开关	LW5-15B4R10/3		1	
11	QS	组合开关	HZ10-10/1		1	
12	HLR <sub>1</sub> , HLR <sub>2</sub>	红色指示灯	XD5-220V, 红		2	
13	HLG	绿色指示灯	XD5-220V, 绿		1	
14	HLW	白色指示灯	XD5-220V, 白		1	
15	FU <sub>1</sub> ~FU <sub>4</sub>	熔断器	R1-10/6		4	FU <sub>4</sub> 为R1-10/4
16	ST <sub>1</sub> , ST <sub>2</sub>	行程开关	JW2-11Z/3		2	由制造厂配置
17						

图 7-30 某厂 10kV 变电所 Y4 号高压开关柜二次原理和二次接线图



(a)

(b)

**LW5-15B4810/3型控制开关触点**

触头号	型号		位置		
	B4810		45°	0°	45°
1-2			×		
3-4					×
5-6			×	×	
7-8				×	×
9-10					×
11-12				×	

技术说明

1. 根据供电局要求, Y2、Y4、Y5号手车式高压开关柜的SN10-10L/630少油断路器采用CT8型弹簧操作机构, 交流操作电源由Y1号柜的电压互感器及BK50-100/220V控制变压器供电。
2. 本设计采用交流操作去分流式继电保护跳闸方式, 用两只GL-25/5型继电器构成反时限过电流保护及速断保护, Y4号柜(1#变压器 $S_N=500\text{kV}\cdot\text{A}$ 的继电器整定值为:  
 $I_{op}=4.5\text{A}$ ,  $I_{qb}=3 \times 4.5\text{A}$ 。

(c)

Y2、Y4、Y5共用,  
装值班室内

a. 合闸弹簧储能。合上组合开关 QS, 使储能电动机 M 通电运转, CT8 型操动机构的合闸弹簧开始储能, 约经过 5s 延时, SQ 动断触点 1-2 断开, 使 M 断电停转, 同时又使 SQ 动合触点 3-4 闭合, 使白灯 HLW 通电亮, 表示合闸弹簧储能完毕。

b. 电动合闸。将控制开关 SA 顺时针转  $45^\circ$ , SA 触点 3-4 闭合, 经行程开关  $ST_1$  (手车推入时已闭合)、QF 动断触点 3-4 (闭合状态), 使合闸线圈 YO 通电, 断路器 QF 合闸, 这样, QF 触点 3-4 断开, 使绿灯 HLG 灭, 同时 QF 触点 1-2 闭合, 使红灯  $HLR_1$  亮 (QF 合闸指示)。

c. 电动脱扣器分闸。把 SA 逆时针转  $45^\circ$ , SA 触点 1-2 闭合, 经 QF 触点 1-2 (闭合状态), 使分闸脱扣器 YR 动作, 断路器 QF 分闸, QF 触点 1-2 断开, 红灯  $HLR_1$  灭, QF 触点 3-4 闭合, 绿灯 HLG 亮。

d. 事故跳闸。过电流保护装置动作, 使断路器跳闸。根据“不对应原理”, SA 顺时针转  $45^\circ$ , 使 SA 触点 3-4 接通后, SA 即自动返回  $0^\circ$  (这里采用的 LW5-15B4810/3 型万用转换开关为双向自复式万能转换开关)。由触点表可知, 这时 SA 触点 9-10、11-12 都是接通的。正常情况下, QF 合闸后 QF 触点 5-6 断开, 事故声响、灯光信号回路不通电, 所以不会发出信号, 但在 QF 跳闸后, QF 触点 5-6 闭合, 则事故声响、灯光信号回路接通,  $HLR_2$  亮 (或光字牌亮), 电铃 HA 发出声响。要解除事故声响、灯光信号, 可把 SA 逆时针转  $45^\circ$ , SA 自动复位后其触点 9-10 断开即可。

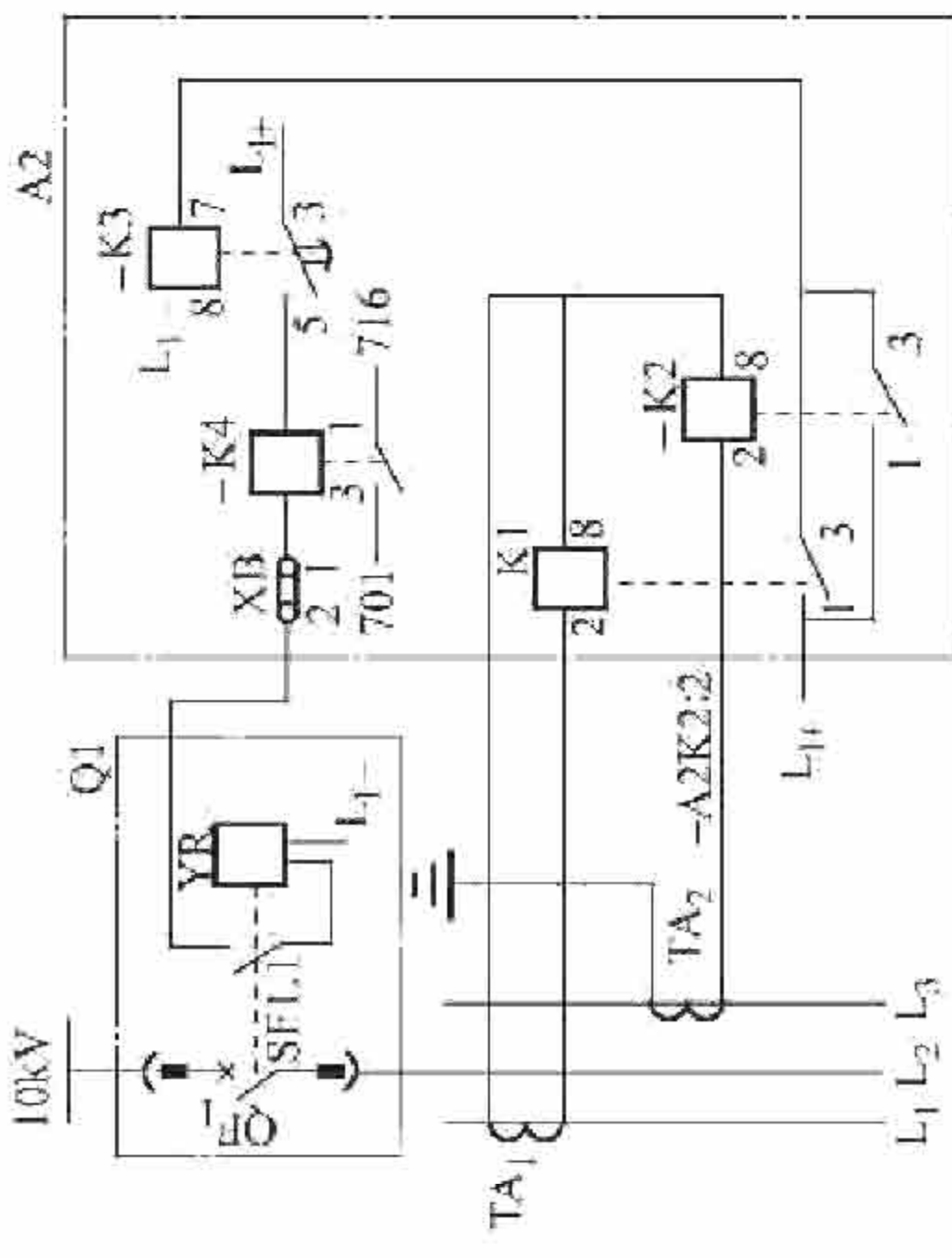
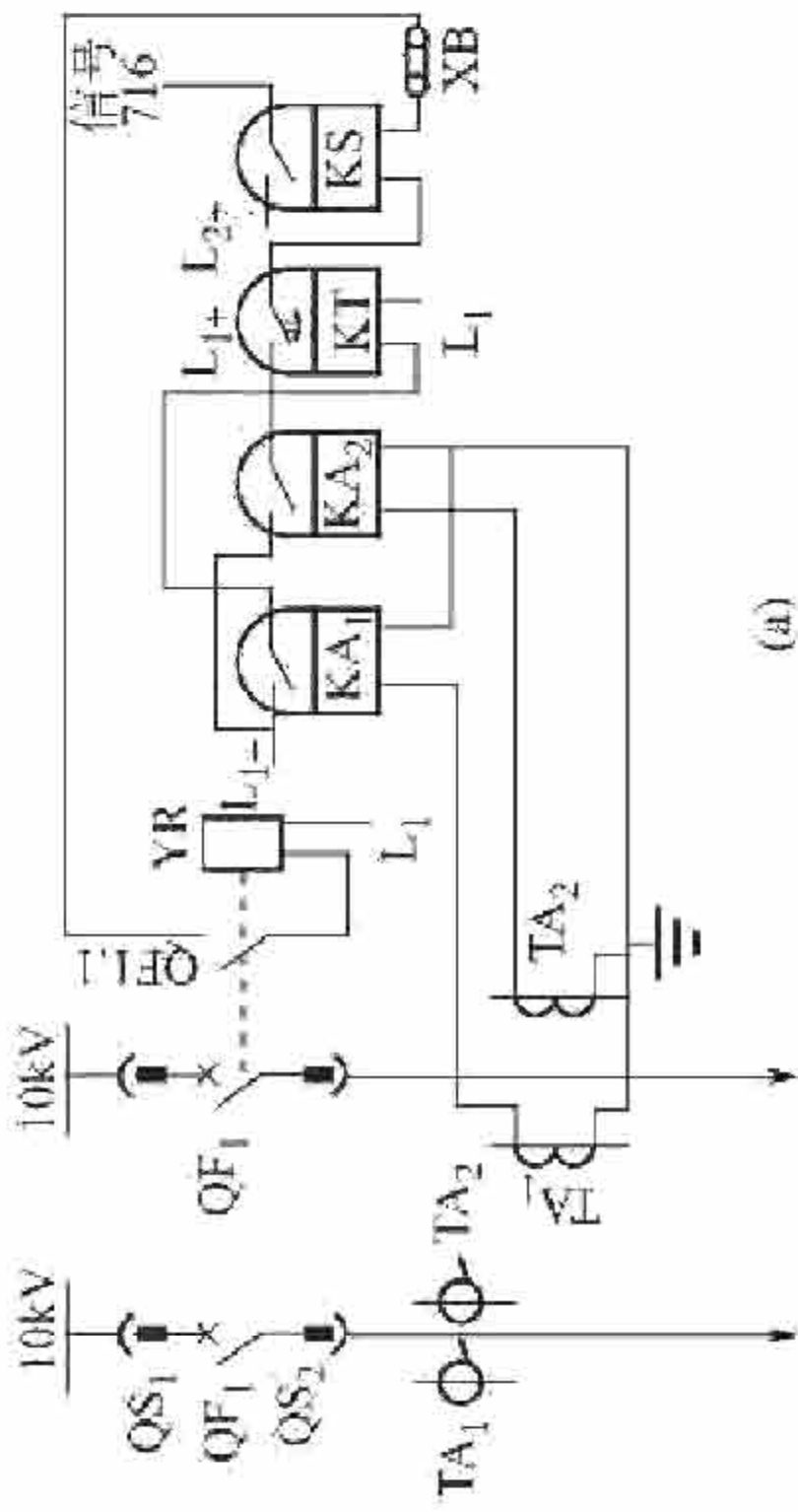
④ 看端子排列图。如图 7-30 所示, Y4、Y5 高压开关柜有 29 个接线端子, 其中 3-4、7-8、18-19、20-21、25-26、28-29 为连接端子, 1、2、5、6、9、10、11、12 为试验端子, 其余为普通端子。端子排右上方为电流互感器二次侧的两处接地, 左侧用控制电缆 K103 将电压小母线与 Y2 高压开关柜相连接。图 7-30 所示的 Y4、Y5 高压开关柜端子排列图垂直四列, 从左至右依次为: 左连设备、端子编号、回路标号、右连设备。

#### 7.3.4.3 示例三

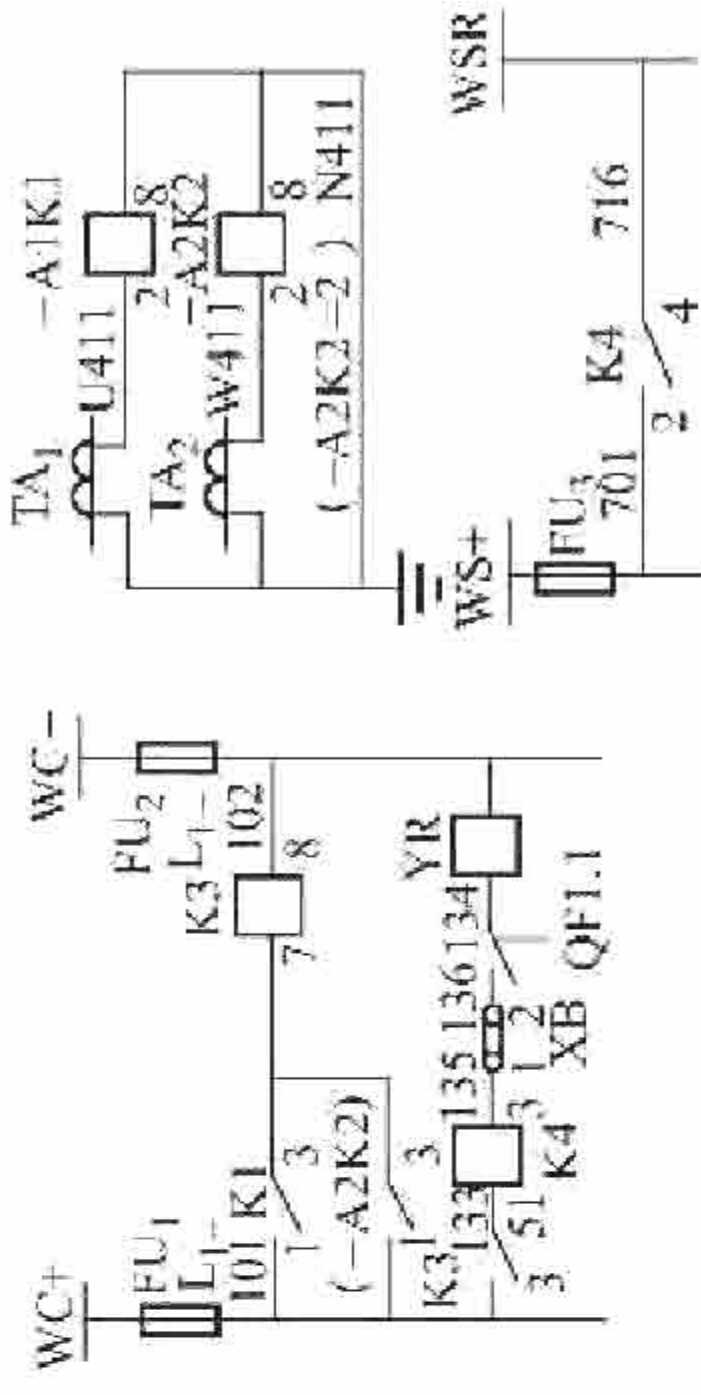
图 7-31 所示为某中型工厂 10kV 线路过电流保护原理图。为便于自学, 现提示如下: 采用直流操作电源; 在图 7-31(b) 中, 把一、二次设备按功能用围框分为两部分: 断路器 QF 等部分 (用种类代号“-Q1”表示) 和继电保护装置部分 (用种类代号“-A2”表示); 在图 7-31(b)、图 7-31(c) 中, 以 2 号继电器 (电流继电器  $KA_2$ ) 为例, 标注了其项目代号 (其中,  $KA_2$  属于变电所第二部分的 1 号线路开关柜, 第 1 段高层代号“-S2W1”省略掉; 该 1 号线路开关柜布置在 10kV 开关室的第 3 号间隔,  $KA_2$  安装在开关柜上编号为 2 的部件 A2, 即继电器室内的 2 号继电器内, 故第 2 段位置代号应表示为“+322”; 因  $KA_2$  位于 A2 内, 故第三段种类代号用“-A2K2”表示)。

其余部分读者可自行分析、阅读。





(b)



(c)

设备表

符号	名称	型号	数量	备注
KA <sub>1</sub> , KA <sub>2</sub>	电流继电器	DL-11/10	2	装屏面
KT	时间继电器	DS-112/220	1	装屏面
KS	信号继电器	DX-11/1	1	装屏面
XB	连接片	YY1-D	1	装屏面
FU <sub>1</sub> , FU <sub>2</sub>	熔断器		2	装屏侧

图 7-31 某中型工厂 10kV 线路过电流保护原理图

# 第 8 章 常用典型电路图识图示例

## 8.1 电动机控制电路图识读示例

前面介绍了笼型交流转子异步电动机的启动、调速和制动电路的识读方法和识读步骤，本节将另外列举直流电动机、绕线转子异步电动机和多台电动机的控制电路进行识读，以加深对电动机控制电路识读方法和识读步骤的理解。

### 8.1.1 直流电动机控制电路

由于直流电动机具有良好的启动、制动与调速性能，容易实现各种运行状态的控制，因此获得了广泛的应用。直流电动机有串励、并励、复励和他励四种，其控制电路基本相同。下面以他励直流电动机的启动和制动电气控制电路为例进行介绍。

#### 8.1.1.1 他励直流电动机的单向旋转启动电路

图 8-1 所示为他励直流电动机的单向旋转启动电路，电动机的电枢串二级电阻，按时间原则启动。图中， $KT_1$ 、 $KT_2$  为时间继电器， $R_1$ 、 $R_2$  为启动电阻， $R_3$  为放电电阻， $KM_1$  为线路接触器， $KM_2$ 、 $KM_3$  为短接启动电阻接触器， $KOC$  为

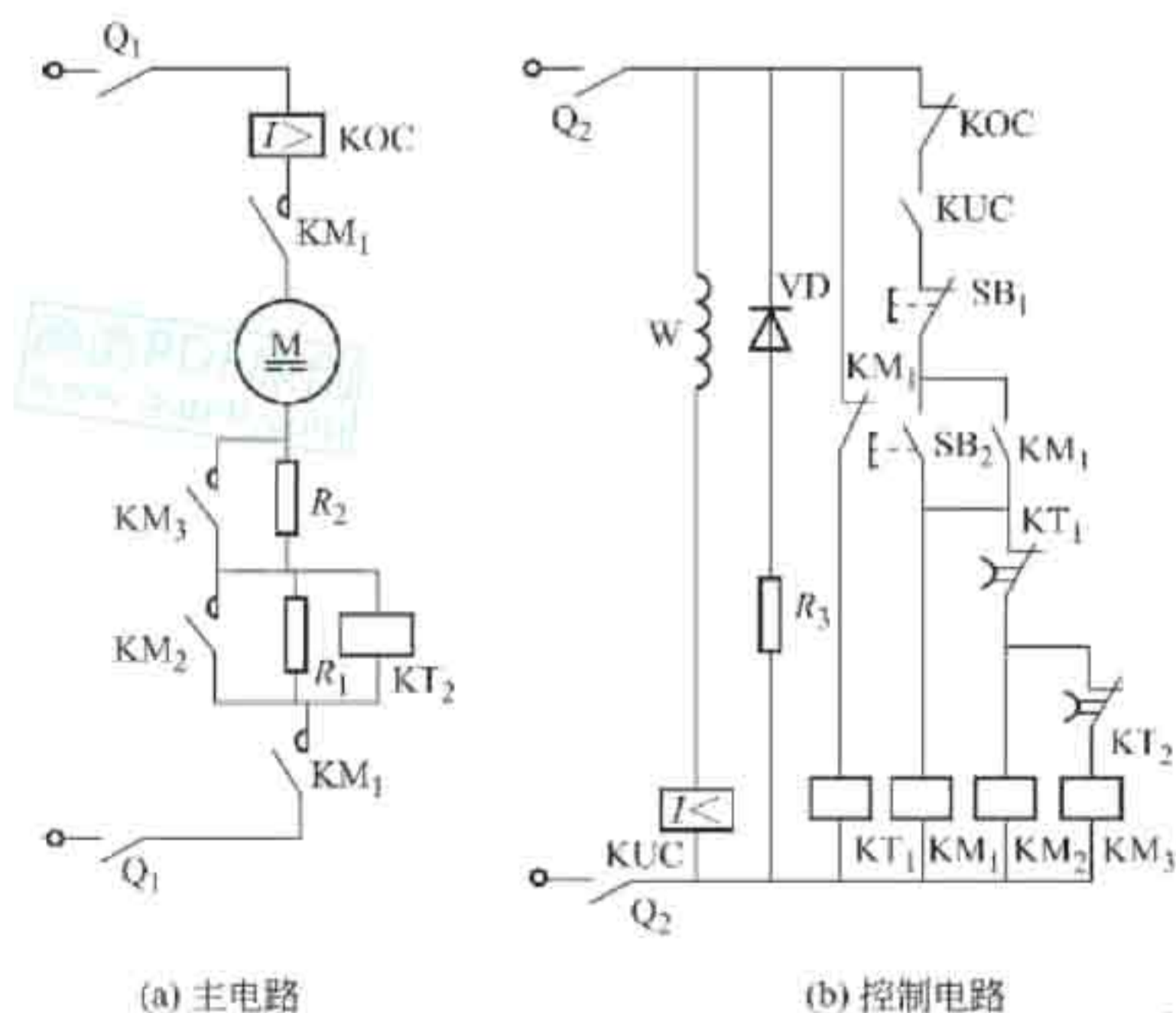


图 8-1 他励直流电动机的单向旋转启动电路

过电流继电器，KUC 为欠电流继电器。

电路工作原理：合上电动机电枢电源开关  $Q_1$  和励磁与控制电路电源开关  $Q_2$ ， $KT_1$  线圈通电，其常闭触点断开，切断  $KM_2$ 、 $KM_3$  线圈电路，将启动电阻  $R_1$ 、 $R_2$  全部串入电枢回路，准备启动。按下启动按钮  $SB_2$ ， $KM_1$  线圈通电并自锁，其主触点闭合，电枢回路接通，电枢在二级启动电阻作用下减压启动。同时由于  $R_1$  的通电，并接在  $R_1$  电阻两端的时间继电器  $KT_2$  线圈通电，使其常闭触点断开，使  $KM_3$  线圈电路处于断电状态，确保  $R_2$  串入电枢回路。

由于  $KM_1$  常闭辅助触点断开，时间继电器  $KT_1$  线圈断电，延时一段时间后可以使  $KM_2$ 、 $KM_3$  线圈通电，短接电枢回路启动电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 。所以经一段时间延时后， $KT_1$  常闭触点延时闭合， $KM_2$  线圈通电吸合，主触点短接电阻  $R_1$ ，电动机转速升高。同时  $KT_2$  线圈断电释放，经延时后， $KT_2$  常闭触点延时闭合，使  $KM_3$  线圈通电吸合， $KM_3$  主触点闭合，短接了启动电阻  $R_2$ ，这样电动机在额定电枢电压下运转，启动过程结束。

在该电路中，继电器 KOC 的作用是实现电动机过载和短路保护，继电器 KUC 的作用是实现电动机欠磁场保护；电阻  $R_3$  与二极管 VD 构成电动机励磁绕组感应电动势的放电回路，在突然切断断开电源时，让励磁绕组产生的感应电动势有放电回路，以免产生过电压。

### 8.1.1.2 单向旋转串电阻启动、能耗制动电路

图 8-2 所示为直流电动机单向旋转串电阻启动、能耗制动电路。图中  $KM_1$ 、

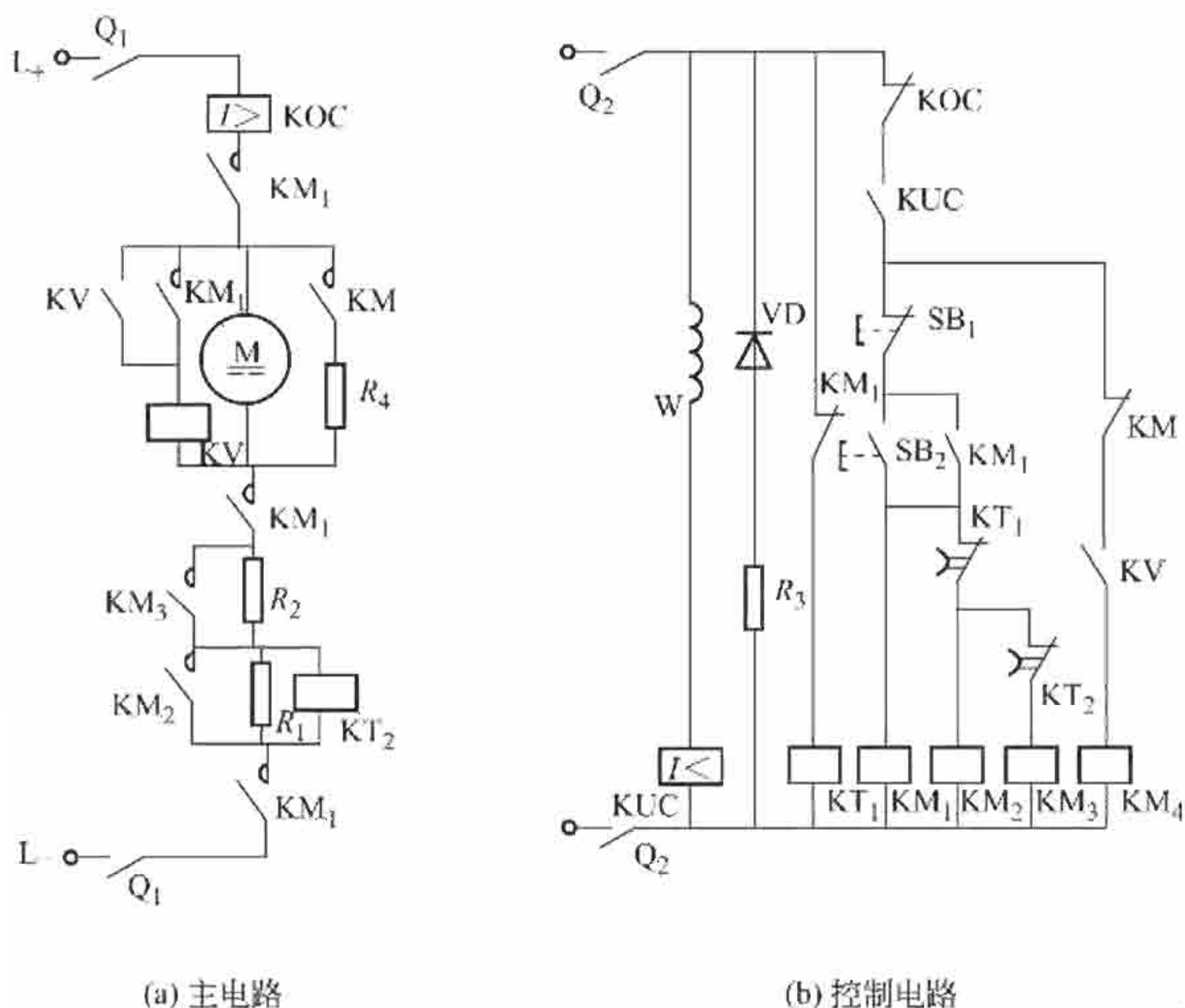


图 8-2 直流电动机单向旋转串电阻启动、能耗制动电路

$KM_2$  为正反转接触器， $KM_3$  为短接电枢电阻接触器， $KT_1$ 、 $KT_2$  为时间继电器， $KOC$  为过电流继电器， $KUC$  为欠电流继电器， $KM_4$  为制动接触器， $KV$  为电压继电器。

启动时电路工作情况与图 8-1 所示电路相同，在此不再重复介绍。制动时，按下停止按钮  $SB_1$ ， $KM_1$  线圈断电释放，其主触点切断电动机电枢直流电源，电动机无电惯性旋转。此时，由于电枢感应电动势的存在，并联在电枢两端的电压继电器  $KV$  触点自锁并保持通电吸合状态，且  $KV$  的常开触点仍闭合，使  $KM_4$  线圈通电吸合，其常开主触点将电阻  $R_4$  并联在电枢两端，使电动机实现能耗制动，电动机转速迅速下降，电枢感应电动势也随之下降，当电枢感应电动势降至一定值时， $KV$  释放， $KM_4$  线圈断电，电动机能耗制动结束，自然停车。

### 8.1.1.3 电动机可逆旋转反接制动电路

图 8-3 所示为电动机可逆旋转反接制动电路。图中  $KM_1$ 、 $KM_2$  为电动机正反转接触器， $KM_3$ 、 $KM_4$  为短接启动电阻接触器， $KM_5$  为反接制动接触器， $KOC$  为过电流继电器， $KUC$  为欠电流继电器， $KV_1$ 、 $KV_2$  为反接制动电压继电器， $KT_1$ 、 $KT_2$  为时间继电器， $SQ_1$  为正转变反转行程开关， $SQ_2$  为反转变正转行程开关， $R_1$ 、 $R_2$  为启动电阻， $R_3$  为放电电阻， $R_4$  为反接制动电阻。

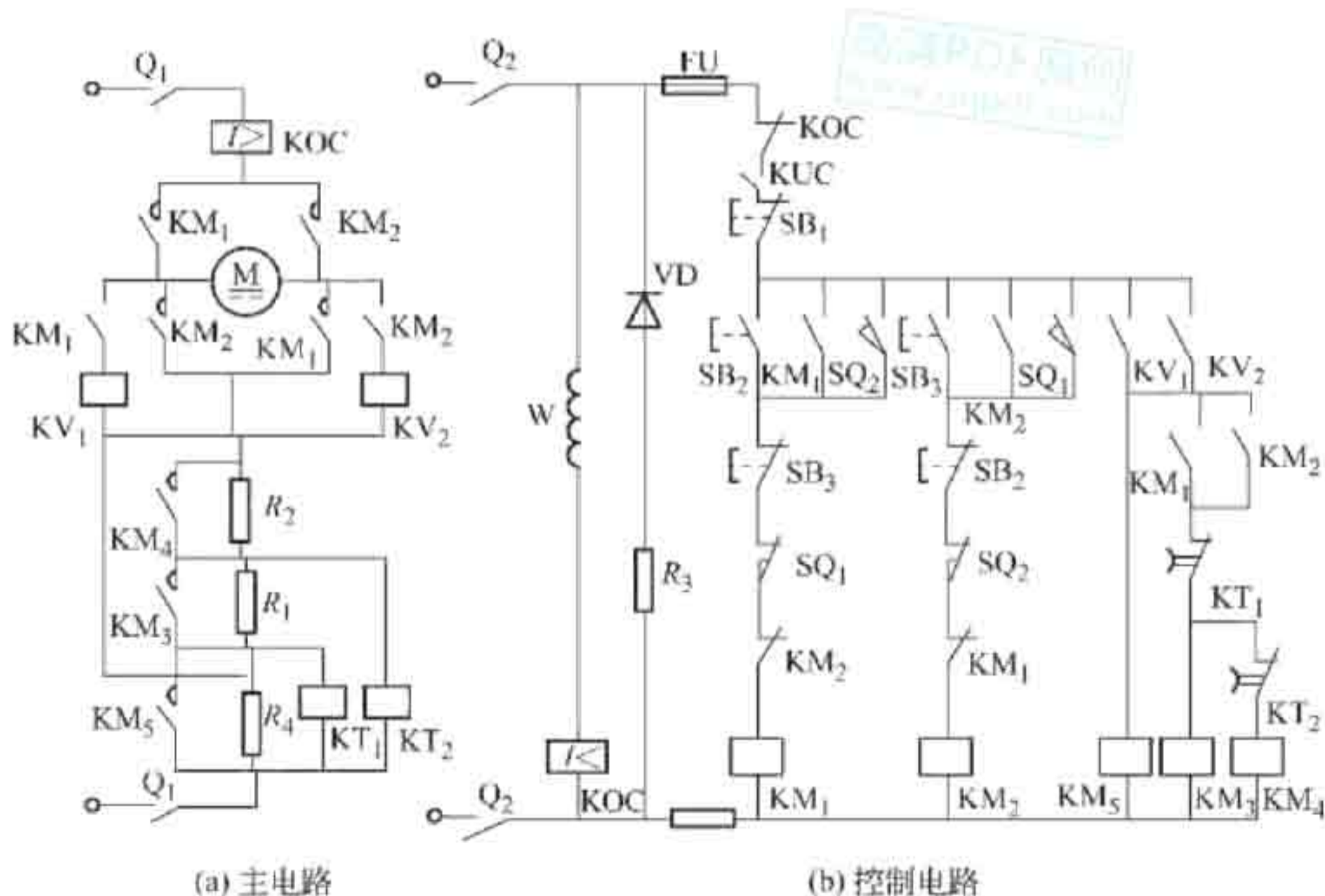


图 8-3 电动机可逆旋转反接制动电路

该电路可以两级减速启动，下面就电动机由正转运行变成反转运行的过程进行介绍。如果电动机正在正向运转，并拖动运动部件正向移动，当运动部件撞到  $SQ_1$  时， $KM_1$ 、 $KM_3$ 、 $KM_4$ 、 $KM_5$ 、 $KV_1$  线圈断电释放， $KM_2$  线圈通电，使电动机电枢两端的电源方向改变（反接时的电枢电路如图 8-4 所示），同时  $KV_2$  线圈通电吸合。

由于机械惯性，电动机感应电动势方向与电枢电动势及电枢所串电阻电压降方向相反，且电动机的转速、感应电动势的大小和方向都来不及变化，电压继电器  $KV_2$  的线圈电压很小，不足以使  $KV_2$  吸合，所以  $KM_3$ 、 $KM_4$ 、 $KM_5$  线圈仍处于

断电状态，电动机电枢串  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_4$  进行反接制动，电动机转速迅速下降。随着电动机转速的下降，感应电动势逐渐减小，电压继电器  $KV_2$  上的电压逐渐增加，当转速约为 0 时，感应电动势也约为 0，使得加在  $KV_2$  线圈上的电压加大，并使其吸合，其常开触点闭合， $KM_5$  线圈通电吸合。 $KM_5$  主触点短接反接制动电阻  $R_4$ ，电动机电枢串接  $R_1$ 、 $R_2$  电阻反向启动，直至反向正常运行，拖动运动部件反向移动。同样，当运动部件反向移动，撞压下行程开关  $SQ_2$  时，进行再一次反向，这次则由电压继电器  $KV_1$  来控制电动机实现反转时的反接制动和正向启动过程。

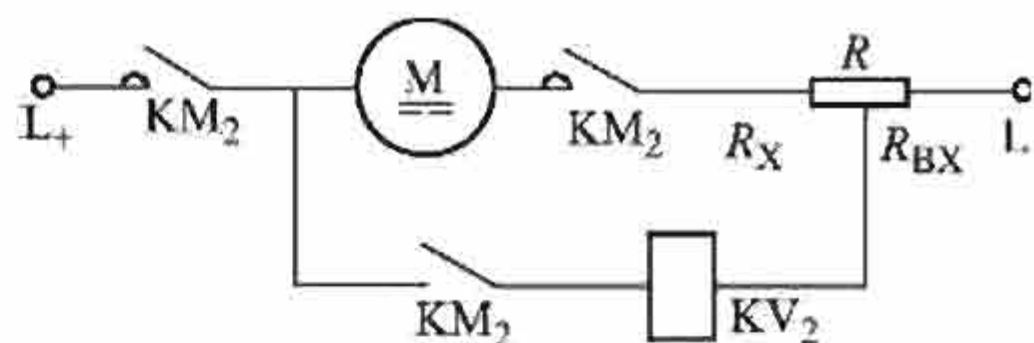
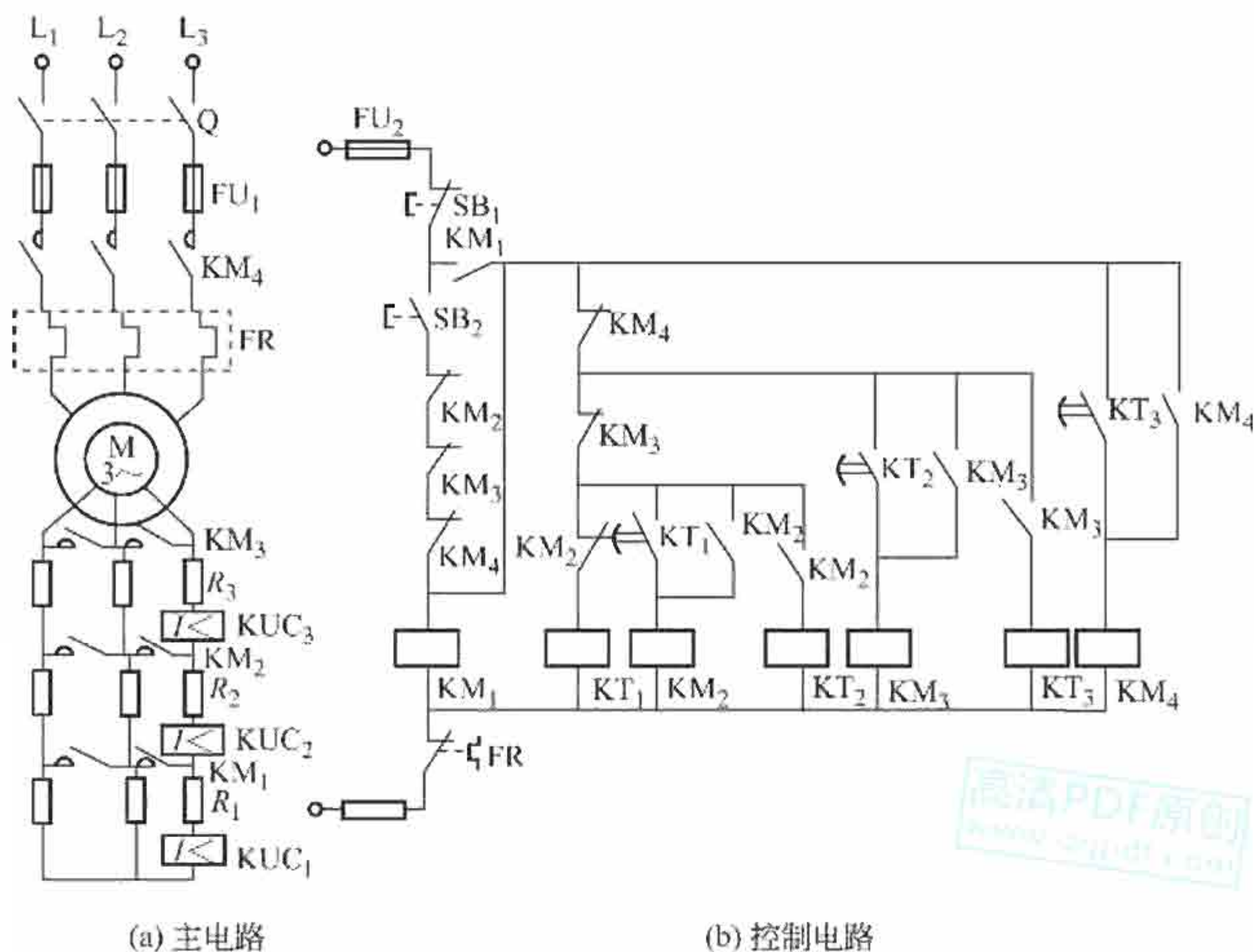


图 8-4 电动机电枢两端的电源反接时的电枢电路

### 8.1.2 绕线转子异步电动机控制电路

当电动机需要重载启动时，一般选用三相绕线转子异步电动机。三相绕线转子异步电动机的转子绕组可以通过集电环经电刷与外电路电阻相接，减小启动电流，从而提高转子电路功率因数和启动转矩，所以适用于重载启动的场合。

按绕线转子异步电动机转子在启动过程中串接装置的不同，三相绕线转子异步电动机的启动分为串电阻启动和串频敏变阻器启动。下面就图 8-5 和图 8-6 所示绕



(a) 主电路

(b) 控制电路

图 8-5 绕线转子异步电动机转子串电阻按时间原则启动电路

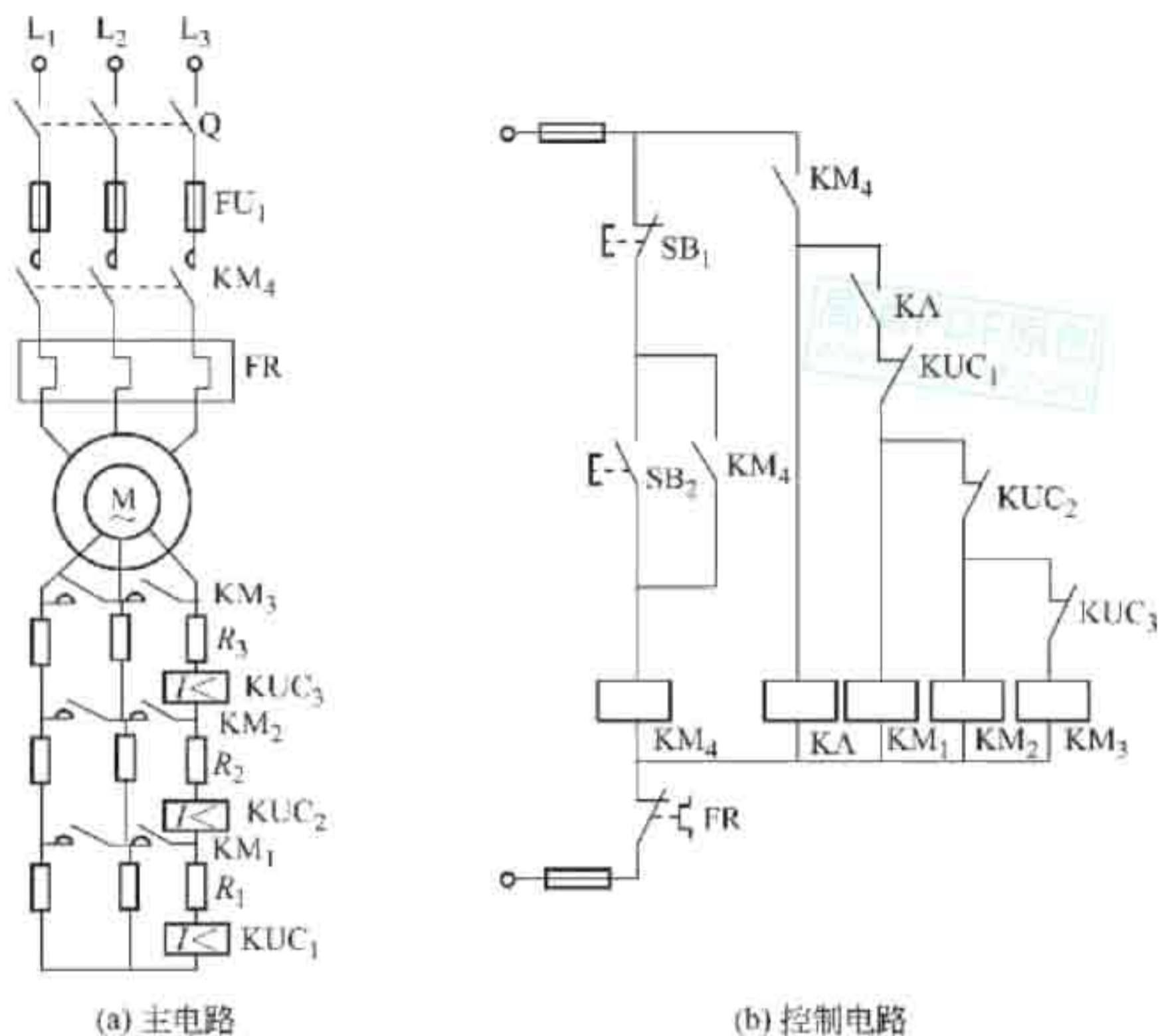


图 8-6 绕线转子异步电动机转子串电阻按电流原则启动电路

线转子异步电动机转子串电阻启动电路分析转子串电阻启动过程。

在图 8-5 中，三相转子绕组中的启动电阻接成了星形（Y 形）。图中， $KM_1$  为线路接触器， $KM_2$ 、 $KM_3$ 、 $KM_4$  为短接启动电阻接触器， $KT_1$ 、 $KT_2$ 、 $KT_3$  为短接电阻时间继电器。该电路的三级电阻按时间原则进行启动控制。随着启动的进行、电动机转速的提高，启动电阻依次被短接。在启动结束时，启动电阻全部被短接。电动机启动后进入正常运行， $KM_1$ 、 $KM_4$  两个接触器处于长期通电状态，而  $KT_1$ 、 $KT_2$ 、 $KT_3$  与  $KM_2$ 、 $KM_3$  线圈的通电时间均很短，这样节省了电能，延长了电器的使用寿命，减少了电路故障，保证了电路安全、可靠地工作。但该电路也存在一些问题，首先，一旦时间继电器损坏，电路将无法实现电动机的正常启动和运行；再者，在电动机的启动过程中，由于逐级短接启动电阻，电动机的电流与电磁转矩突然增大，形成了机械冲击，机器振动加剧。

图 8-6 所示为绕线转子异步电动机转子串电阻按电流原则启动电路。该电路根据启动过程中电流的变化来实现转子电阻的短接控制，而电动机产生的电流是用电流继电器来检测的。图中  $KUC_1$ 、 $KUC_2$ 、 $KUC_3$  为欠电流继电器，其线圈串接在电动机转子电路中，并使这三个欠电流继电器吸合所需要的电流值相同，释放所需要的电流值不同，其中  $KUC_1$  释放电流值最大， $KUC_2$  次之， $KUC_3$  释放值最小； $KA$  为中间继电器； $KM_1$ 、 $KM_2$ 、 $KM_3$  为短接转子电阻接触器； $KM_4$  为线路接触器。

当合上电源开关，按下启动按钮  $SB_2$  后， $KM_4$  线圈通电并自锁，电动机定子

接通三相交流电源，全部电阻接成星形，进行减压启动，同时 KA 线圈通电吸合。由于电动机刚启动时启动电流大，使  $KUC_1$ 、 $KUC_2$ 、 $KUC_3$  同时都吸合， $KUC_1$ 、 $KUC_2$ 、 $KUC_3$  的常闭触点断开； $KM_1$ 、 $KM_2$ 、 $KM_3$  处于断电状态，转子电阻全部接入。随着电动机转速的提高，启动电流减小，当该电流减小到  $KUC_1$  释放电流时， $KUC_1$  释放，其常闭触点闭合，使  $KM_1$  线圈通电吸合， $KM_1$  主触点短接第一段转子电阻  $R_1$ ，由于转子电阻减小，转子电流重新增大，启动转矩加大，电动机转速上升，这又使转子电流下降，当电流降至  $KUC_2$  释放电流时， $KUC_2$  释放， $KUC_2$  常闭触点使  $KM_2$  线圈通电吸合， $KM_2$  主触点短接第二段转子电阻  $R_2$ 。如此重复，直至转子电阻全部短接，电动机启动过程结束。

### 8.1.3 多台电动机控制电路

#### 8.1.3.1 三台电动机同时启动、单独工作的电路

图 8-7 所示为三台电动机同时启动并能单独工作的控制电路。图中， $KM_1$ 、 $KM_2$ 、 $KM_3$  分别为三台电动机的线路接触器， $SA_1$ 、 $SA_2$ 、 $SA_3$  分别为三台电动机单独工作的调整开关， $FR_1$ 、 $FR_2$ 、 $FR_3$  分别为三台电动机的热继电器， $SB_1$  为启动按钮， $SB_2$  为停止按钮。

当需要三台电动机同时启动工作时，扳动调整开关  $SA_1 \sim SA_3$  使其常开触点断开、常闭触点闭合，按下启动按钮  $SB_1$ ，接触器  $KM_1 \sim KM_3$  线圈通电吸合并自锁，三台电动机同时启动。

当需要三台电动机中某一台电动机单独工作，比如需要电动机  $M_1$  单独工作时，则扳动调整开关  $SA_2$ 、 $SA_3$ ，使它们的常闭触点断开，常开触点闭合，然后再按下启动按钮  $SB_1$ ， $KM_1$  线圈通电并经  $SA_2$ 、 $SA_3$  闭合的常开触点自锁， $M_1$  启动运行，实现  $M_1$  的单独工作。

#### 8.1.3.2 两台电动机同时启动，同时或分别停机的控制电路

图 8-8 所示为两台电动机同时启动、同时停止的控制电路。图中  $KM_1$ 、 $KM_2$  分别为两个动力头的线路接触器，KA 为中间继电器， $SQ_1$ 、 $SQ_3$  为电动机  $M_1$  带动的 A 动力头在初始位置上压下的原位开关， $SQ_2$ 、 $SQ_4$  为电动机  $M_2$  带动的 B 动力头在初始位置上压下的原位开关， $SA_1$ 、 $SA_2$  为单独调整开关， $FR_1$ 、 $FR_2$  为两个电动机的热继电器， $SB_1$  为启动按钮， $SB_2$  为停止按钮。启动时，按下启动按钮  $SB_1$ ，接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  线圈经 KA 常闭触点通电吸合并自锁，电动机  $M_1$ 、 $M_2$  同时启动旋转，拖动 A、B 动力头移动。当动力头离开初始位置后，原位开关  $SQ_1 \sim SQ_4$  全部复位，中间继电器 KA 线圈通电并自锁，

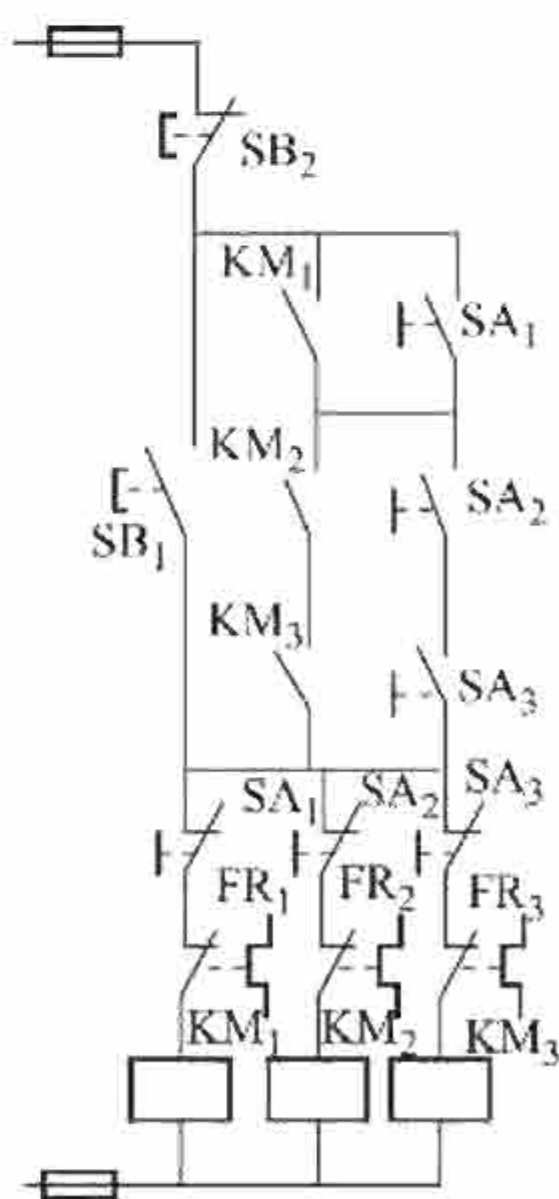


图 8-7 三台电动机同时启动并能单独工作的控制电路

其常闭触点断开,但  $KM_1$ 、 $KM_2$  线圈仍通过  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  常闭触点通电,电动机拖动动力头继续运动。A、B 动力头加工结束,按下停止按钮  $SB_2$ ,  $KM_1$ 、 $KM_2$ 、 $KA$  断电释放,电动机同时停止。也可通过机械传动使动力头在加工结束后返回原位,分别压下  $SQ_1 \sim SQ_4$  原位开关,使  $KM_1$ 、 $KM_2$  线圈断电释放,达到同时停机目的,此时,  $KA$  也断电释放,为下次启动做好准备。另外,操作  $SA_1$  与  $SA_2$  可实现单台动力头的调整。

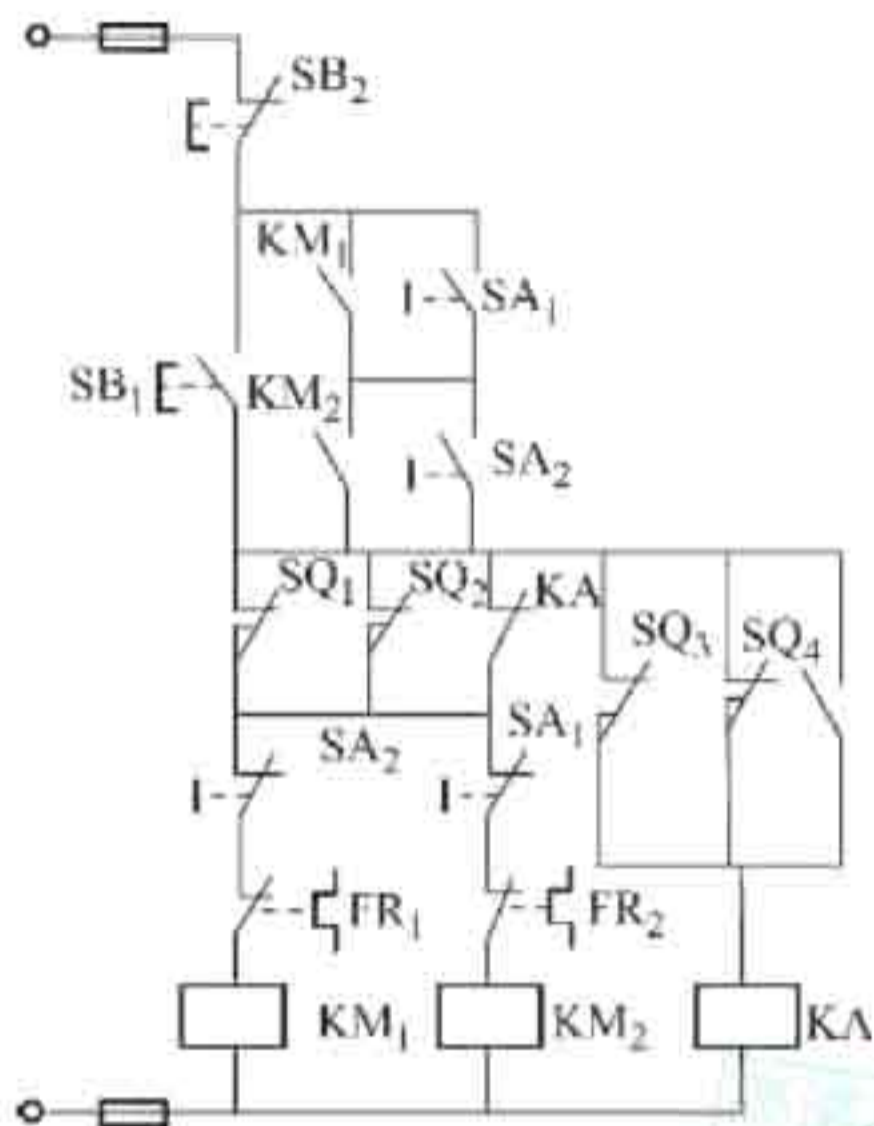


图 8-8 两台电动机同时启动、同时停止的控制电路

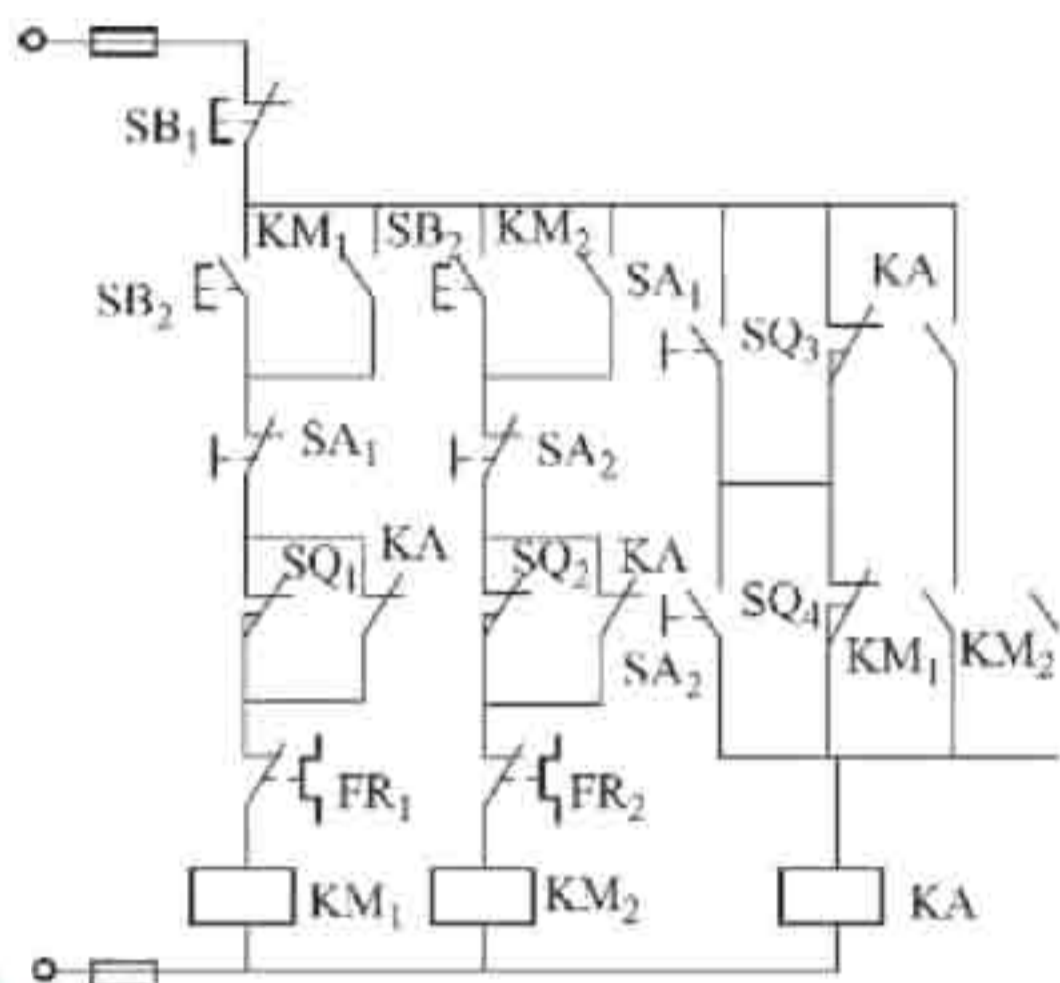


图 8-9 两台电动机同时启动、分别停止的控制电路

图 8-9 所示为两台电动机同时启动、分别停止的控制电路。图中各元件作用与图 8-8 所示电路基本相同,所不同的是采用了复合按钮  $SB_2$  来实现两台电动机的同时启动,而利用中间继电器  $KA$  的两对常闭触点来实现分别停止的控制。

## 8.2 电气设备电路图识读示例

### 8.2.1 组合机床部分电路

图 8-10 所示为组合机床主轴不转时引入和退出的控制电路。图中,  $KM_1$  为主轴电动机的线路接触器,  $KM_2$  为进给电动机的线路接触器,  $SQ_1$  为动力部件接近工件加工部位的行程开关,  $SQ_2$  为动力部件到达加工部位的行程开关,  $SA_1$  为进给电动机单独工作的调整开关,  $SA_2$  为主轴电动机单独工作的调整开关。

启动时按下启动按钮  $SB_2$ ,  $KM_2$  经  $SQ_2$  常闭触点通电吸合并自锁,进给电动机启动旋转,拖动动力部件移动。当主轴移动到接近工件加工部位时,  $SQ_1$  闭合,  $KM_1$  线圈通电吸合,主轴电动机启动旋转,同时  $KM_1$ 、 $KM_2$  辅助触点自锁。

动力部件继续向前移动一段距离后,  $SQ_2$  闭合,开始加工。为了保证在整个加



工过程中进给运动与主轴旋转互为依存的关系,  $KM_1$  线圈通过  $KM_2$  已闭合的常开辅助触点、 $KM_2$  线圈通过  $KM_1$  已闭合的常开辅助触点维持通电吸合状态。加工结束时, 动力部件退回, 首先  $SQ_2$  断开,  $KM_1$  常开辅助触点与  $KM_2$  常开辅助触点并联后供电给  $KM_1$ 、 $KM_2$  线圈, 主轴电动机继续旋转。动力部件继续退回,  $SQ_1$  断开,  $KM_1$  线圈断电释放, 主轴电动机停止旋转,  $KM_2$  继续自锁, 动力头继续退回, 实现了主轴不转退出。直至动力部件退至原位, 按下停止按钮  $SB_1$ , 进给电动机停转, 整个加工过程结束。

图 8-11 示出的是组合机床自动切断电动机的控制电路。组合机床在加工零件过程中, 有时会出现危险, 比如一道工序的加工影响另一道工序的加工, 这时, 需要组合机床自动切断某台电动机, 让另一台电动机继续加工零件, 直至加工结束。图中  $KM_1$ 、 $KM_2$  为 A、B 动力头线路接触器,  $KA_1$ 、 $KA_2$  为中间继电器,  $SQ_1$ 、 $SQ_3$  为 A 动力头原位行程开关,  $SQ_2$ 、 $SQ_4$  为 B 动力头原位行程开关,  $SQ_5$  为保护开关,  $SA_1$ 、 $SA_2$  为单独调整开关。

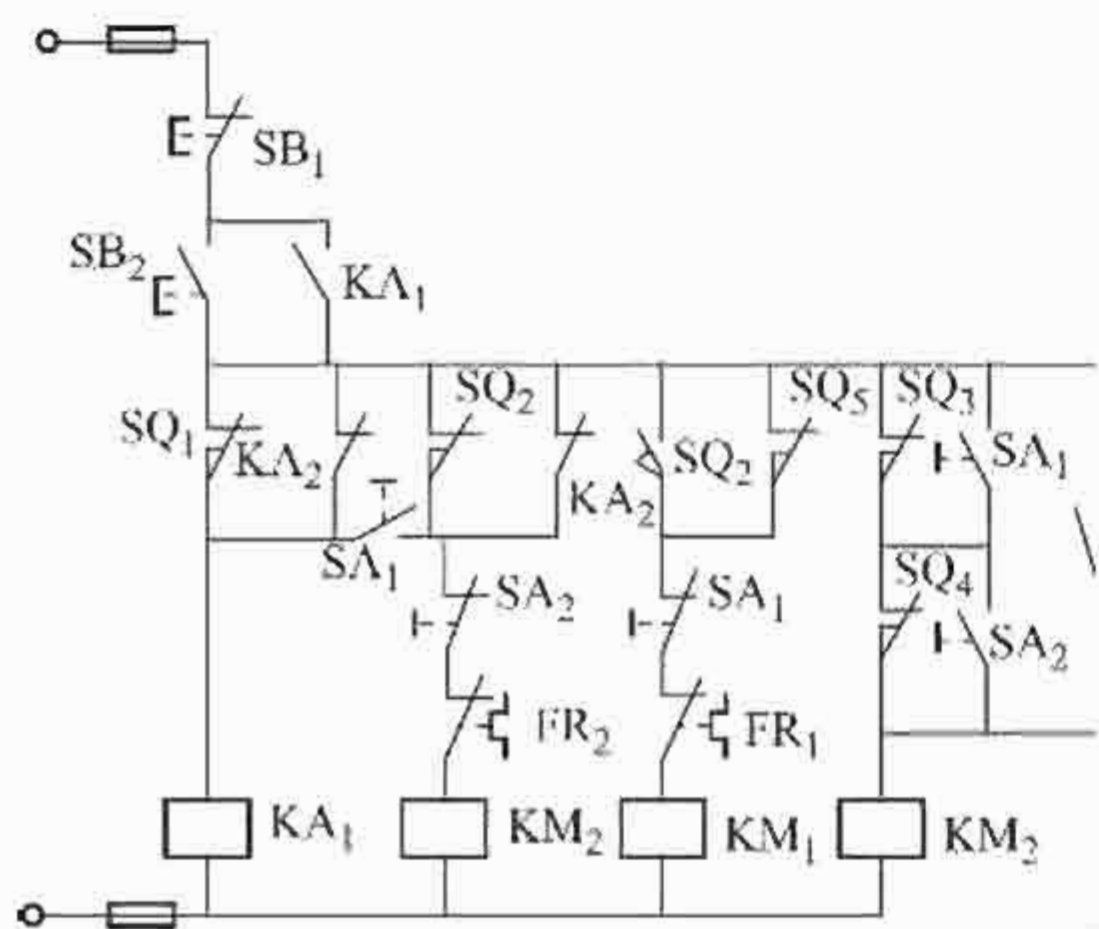


图 8-11 组合机床自动切断电动机的控制电路

启动时按下启动按钮  $SB_2$ ,  $KA_1$  通电吸合并自锁,  $KM_1$ 、 $KM_2$  同时通电吸合, A、B 两个动力头同时启动运行。当动力头离开原位后,  $SQ_1 \sim SQ_4$  开关全部复位,  $KA_2$  通电吸合并自锁,  $KM_1$ 、 $KM_2$  分别经  $SQ_5$ 、 $SQ_2$  常闭触点继续通电吸合。  $KA_2$  常闭辅助触点断开, 为加工结束停机做好准备。当动力头进入加工危险区时, A 动力头使保护开关  $SQ_5$  断开,  $KM_1$  断电释放, A 动力头停止进给, B 动力头仍继续进给加工, 直至加工结束。加工结束, B 动力头退回原位, 使  $SQ_2$ 、 $SQ_4$  断开,  $KM_2$  断电释放。  $KM_1$  因  $SQ_2$  常开触点闭合再次通电吸合, A 动力头重新启动, 继续进给, 直至加工结束。结束后, A 动力头退回原位并压下  $SQ_1$ 、 $SQ_3$ ,  $KA_1$ 、 $KM_1$ 、 $KA_2$  断电释放, 整个加工过程结束。

### 8.2.2 全自动给水设备控制电路

图 8-12 示出的是一个大型水塔全自动给水设备控制电路。在这一电路中, 既有继电器控制, 又有用于信号的晶体管控制。图中,  $KM_1$ 、 $KM_2$ 、 $KM_3$  为交流接触器;  $KT$  为时间继电器;  $KA_1$ 、 $KA_2$  为中间继电器;  $SA$  为手动三位两通转换开

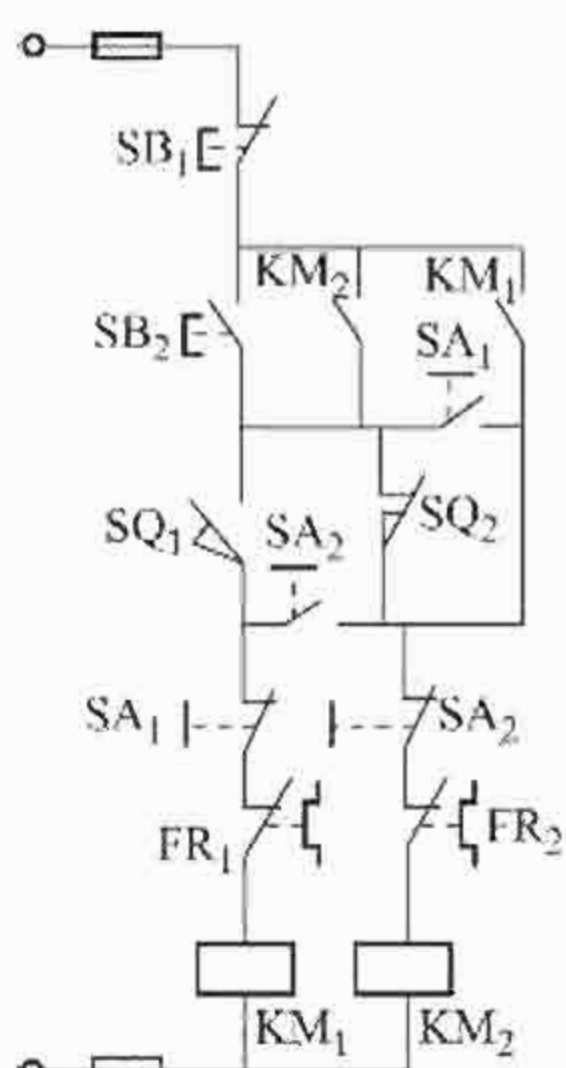


图 8-10 组合机床主轴不转时引入和退出的控制电路

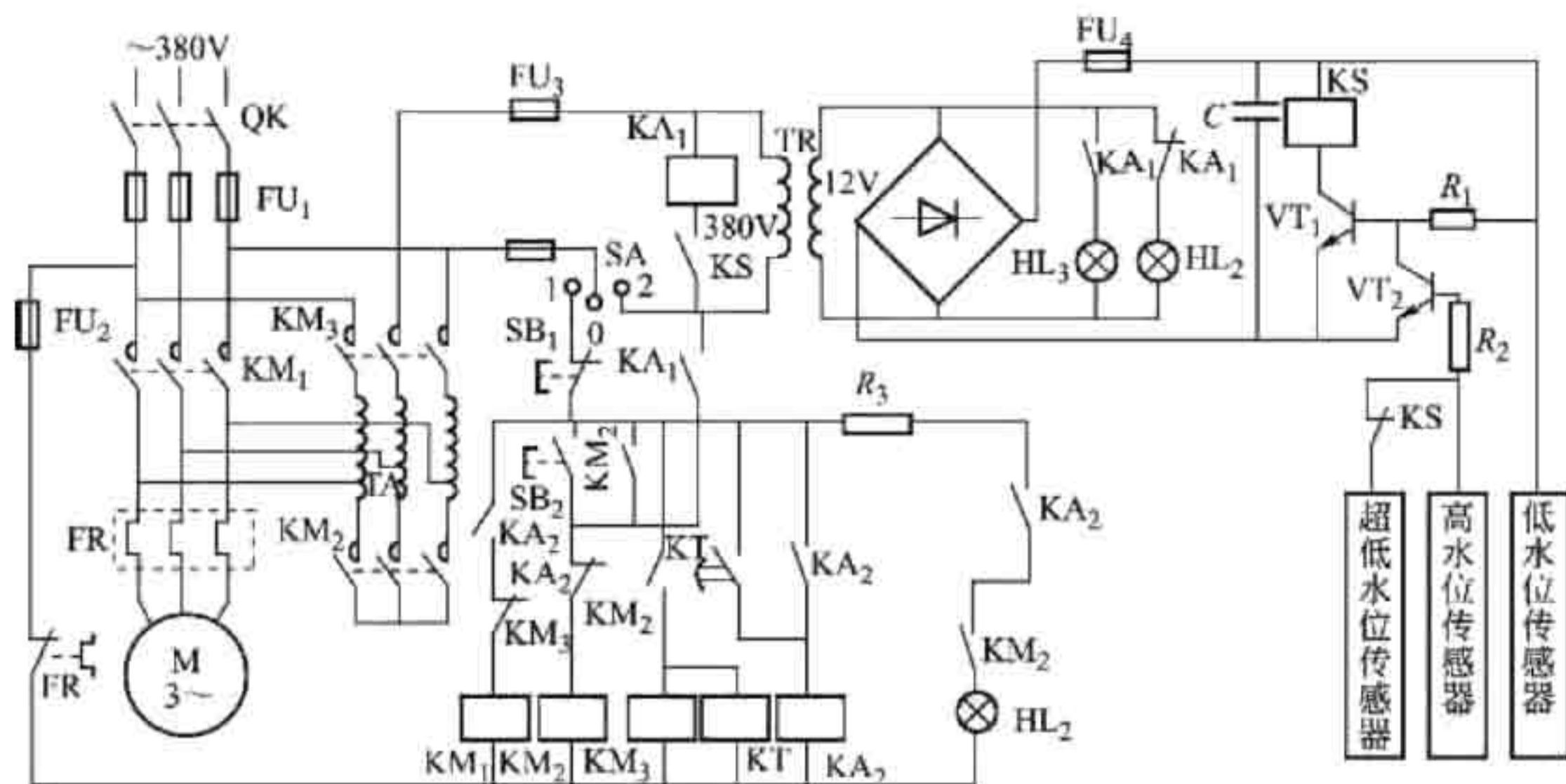


图 8-12 自动给水设备控制电路

关，开关 SA 在“0”位置时，为断开状态；在“1”位置时，为手动控制方式，在“2”位置时，为自动控制方式；SB<sub>1</sub>、SB<sub>2</sub> 为按钮开关，SB<sub>1</sub> 为停止开关，SB<sub>2</sub> 为启动开关。

该电路电源是三相 380V 交流电源，电动机采用减压启动方式。电路中的 TA 是三相自耦变压器，它是供电动机 M 减压启动用的元件。电路中有三相刀开关 QK，有起短路保护作用的熔断器 FU<sub>1</sub>，有起过载保护用的热继电器 FR，及连接 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub>、KM<sub>3</sub> 的常开主触点。电路中的电动机 M 受三个交流接触器 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub>、KM<sub>3</sub> 控制。启动时，KM<sub>2</sub> 和 KM<sub>3</sub> 主触点闭合，电动机 M 减压启动，一段时间后，KM<sub>2</sub> 和 KM<sub>3</sub> 主触点断开，KM<sub>1</sub> 主触点闭合，电动机 M 由减压启动转换为全压启动，最后达到正常运行状态。

当手动开关 SA 扳到手动位置“1”时，电路为手动控制方式。手动方式的控制过程如下：QK 闭合→SA 扳到“1”位置→按动 SB<sub>2</sub>→KM<sub>2</sub> 得电动作→KM<sub>2</sub> 一对常开触点闭合；KM<sub>2</sub> 主触点闭合，使自耦变压器 TA 为星形连接；KM<sub>2</sub> 自锁触点闭合→KM<sub>3</sub> 得电，主触点闭合；KT 进入延时状态→自耦变压器接通电源→电动机 M 减压启动→KT 定时时间到，其延时闭合常开触点闭合→KA<sub>2</sub> 得电动作→KA<sub>2</sub> 串于 KM<sub>1</sub> 线圈回路的常开触点闭合；同时 KA<sub>2</sub> 常闭触点断开，使 KM<sub>2</sub>、KT、KM<sub>3</sub> 失电→KM<sub>1</sub> 得电动作→KM<sub>1</sub> 主触点闭合→电动机全压启动运行。

当手动开关 SA 扳到手动位置“2”时，电路为自动控制方式。自动方式的控制过程如下：QK 闭合→SA 扳到“2”位置→若为低水位→VT<sub>1</sub> 饱和导通→信号继电器 KS 得电动作，其常闭触点断开，常开触点闭合→KA<sub>1</sub> 得电，其常开触点闭合→KM<sub>2</sub> 得电动作→KM<sub>3</sub> 得电→KT 开始计时→电动机通过 TA 减压启动→KT 延时时间到，KT 延时闭合的常开触点闭合→KA<sub>2</sub> 得电，串于 KM<sub>1</sub> 线圈回路的常开触点闭合；KA<sub>2</sub> 常闭触点断开，使 KM<sub>2</sub>、KM<sub>3</sub> 失电→KM<sub>1</sub> 得电，其主触点闭

合→电动机转为全压继续启动，直到转到正常运行状态→水塔水位达到高位→ $VT_2$ 饱和导通→ $VT_1$ 截止→ $KS$ 失电→ $KA_1$ 失电→ $KM_1$ 、 $KA_2$ 失电→电动机  $M$  停止运行→水位降低为低位以下→ $VT_2$ 截止→ $VT_1$ 饱和导通→ $KS$ 得电动作，电路又重复上述过程。

### 8.2.3 蓄电池铲车控制电路

蓄电池铲车是工厂仓库常用的一种搬运设备，图 8-13 所示为某蓄电池铲车的控制电路。 $M_1$  是双速串励直流电动机，是行驶电动机； $M_2$  也是串励直流电动机，用于拖动高压油泵，将高压油液体输送到液压系统，以控制货叉的升降； $KS_2$  为手动方向开关，当扳到“1”时，电动机  $M_1$  反转，扳到“2”时，电动机  $M_1$  正转。

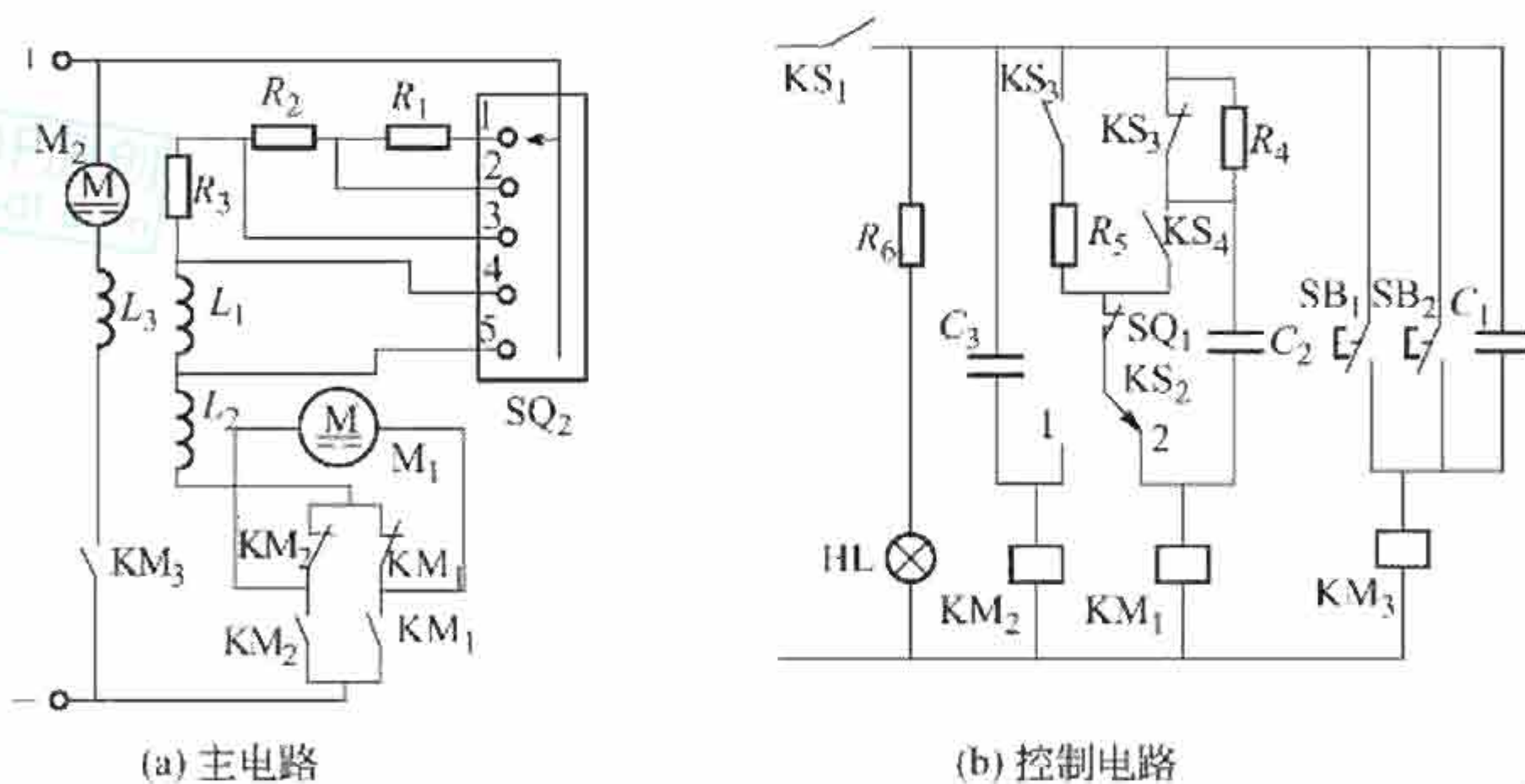


图 8-13 蓄电池铲车的控制电路

工作时，将电锁开关  $KS_1$  闭合，此时电源指示灯  $HL$  亮，表示电源已接入电路。将手动方向开关  $KS_2$  的手柄扳到“1”或“2”，即铲车后退或前进的位置，松开手刹车的手柄，并放开脚刹车，使脚踏开关  $SQ_1$  复位而闭合。然后轻踏速度控制器  $SQ_2$  的踏板，使其动触点与静触点相接触，再使控制开关  $KS_3$  闭合，直流接触器  $KM_1$  或  $KM_2$  根据方向开关  $KS_2$  的位置得电吸合。

电动机  $M_1$  控制电路的通路为：电源的正极→电锁开关  $KS_1$ →控制开关  $KS_4$ （在 1 速启动时）或  $KS_3$ （在 2 速至 5 速时）→脚踏开关  $SQ_1$ →方向开关  $KS_2$ →接触器  $KM_1$  或  $KM_2$  线圈（取决于方向开关  $KS_2$  的位置）→电源负极。

电动机  $M_1$  主回路通路为：电源正极→速度控制器  $SQ_2$  的“1”号静触点→ $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ → $L_1$ 、 $L_2$ →接触器  $KM_1$ （或  $KM_2$ ）的常闭触点→直流电动机  $M_1$  的电枢，即接触器  $KM_2$ （或  $KM_1$ ）的常开触点→电源负极。此时，行驶电动机  $M_1$  接入全部电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  启动，这时前进或后退的速度最慢，为 1 速。将速度控制器  $SQ_2$  的踏板逐渐向下踏，使其动触点与静触点“2”相接触，将电阻  $R_1$  切除，使电动机  $M_1$  的速度增至 2 速；动触点与静触点“3”相接触，将电阻  $R_1$ 、 $R_2$  切除，使电动机  $M_1$  的速度增至 3 速；动触点与静触点“4”相接触，将电阻  $R_1$ 、

$R_2$ 、 $R_3$  切除，使电动机  $M_1$  的速度增至 4 速；动触点与静触点“5”相接触，将全部电阻和串励绕组的一部分  $L_1$  切除，电动机  $M_1$  的速度升至 5 速，全速运行。

为了保证铲车平稳启动，规定必须从 1 速启动，其余各速均不能启动。因此，在控制盘上装有两只控制开关  $KS_3$ 、 $KS_4$  和电阻  $R_5$ ，开关  $KS_3$ 、 $KS_4$  与速度控制器  $SQ_2$  的踏板联动。在 1 速位置时，开关  $KS_4$  闭合， $KS_3$  不动作，电源全部加在接触器  $KM_1$  或  $KM_2$  的线圈上，使其得电吸合，动合触点闭合，动断触点断开，电动机  $M_1$  在 1 速启动。若未经 1 速启动，而直接踏到二至五速，则控制开关  $KS_3$  动作（动合触点闭合、动断触点断开），开关  $KS_4$  断开，此时加在接触器  $KM_1$  或  $KM_2$  线圈上的电压低， $KM_1$  或  $KM_2$  不会动作，电动机  $M_1$  不会启动，铲车也不能前进或后退，所以必须从 1 速开始才能启动，从而达到平稳启动的目的。

液压系统的油循环是由串励电动机  $M_2$  拖动一台油泵来进行的。油泵将油箱中的油液吸入后，使其由低压变成高压，经油管输送到分配阀，再由分配阀根据货叉上升或下降的动作要求，将高压油送到起升缸或倾斜缸内进行工作。分配阀的操纵杆与启动按钮  $SB_1$ 、 $SB_2$  联动，操作时按使用要求“拉”或“压”操纵杆，按钮  $SB_1$  或  $SB_2$  闭合，控制电路接通。

电动机  $M_2$  控制电路的通路为：电源正极→电锁开关  $KS_1$ →按钮  $SB_1$  或  $SB_2$ →直流接触器  $KM_3$  线圈→电源负极。接触器  $KM_3$  得电吸合，其动合触点闭合，液压泵电动机  $M_2$  得电运转。 $M_2$  得电通路为：电源正极→液压泵电动机  $M_2$ →串励线圈  $L_3$ →接触器  $KM_3$  的动合触点→电源负极。当操纵杆推开时，按钮  $SB_1$  或  $SB_2$  断开，接触器  $KM_3$  失电释放，其主触点断开，切断主电路，电动机  $M_2$  停止运转。

## 8.3 电子电路识图示例

### 8.3.1 定时放音和睡眠控制电路

图 8-14 所示为某型号录音机中的定时启动和睡眠控制电路。电路中，IC751 是机内钟控集成电路（电子钟），其 4 脚是定时控制输出端，5 脚是睡眠控制输出端； $VT_1 \sim VT_4$  为 4 只电子开关管； $SW_1$  是整流直流电源开关， $SW_2$  是定时控制开关， $SW_3$  是睡眠控制开关。

当录音机在正常使用，即不使用定时启动和睡眠控制电路时， $SW_2$ 、 $SW_3$  均在“0”位置，表示关闭，这样  $VT_3$ 、 $VT_4$  基极均没有电压，两管均截止，使得  $VT_2$  截止， $VT_1$  也截止。这时，整流电路输出端与整机放大电路之间由电源开关  $SW_1$  来控制。接通  $SW_1$ ，录音机工作，但欲停止录音机工作，必须手动切断电源开关  $SW_1$ ，因为在使用放音功能时，有时自停机构切断放音电源，但只切除了电动机回路的电源，整机放大电路仍然在工作，只有切断  $SW_1$ ，才能使整机放大电路无工作电源。

在使用定时启动功能时,事先按下收音键和其他相应功能键,不必按下电源开关  $SW_1$ ,但调整钟控集成电路,确定启动时间,并将定时控制开关  $SW_2$  拨在“1”位置。当机内电子钟启动时间到时,IC751 4脚输出高电平,经  $R_5$ 、 $SW_2$  加到  $VT_3$  基极,使  $VT_3$  饱和导通,相当于其集电极接地,这样,  $VT_2$  基极经  $R_7$  接地,为低电位,由于  $VT_2$  是 PNP 型管,  $VT_2$  导通,其集电极电位下降,使  $VT_1$  获得饱和导通的基极偏置电压。  $VT_1$  饱和导通,相当于集电极、发射极之间接通,代替了  $SW_1$  的接通,整流电路输出的直流工作电压经  $VT_1$  加到整机放大电路上,完成定时启动的控制过程。

睡眠控制过程与定时启动控制过程基本相似。睡眠工作过程通过电子钟调整,确定关机时间,再将睡眠控制开关  $SW_3$  置于“1”位置,IC751 的(输出高电平经  $R_1$ 、 $SW_3$  加到  $VT_4$  基极,使之饱和导通,又使  $VT_2$ 、 $VT_1$  饱和导通,由  $VT_1$  代替  $SW_1$  电源开关,给整机放大电路提供工作电压。当录音机工作到需要停机的时间时,机内电子钟 IC751 5脚原高电位消失,  $VT_4$  截止,导致  $VT_2$ 、 $VT_1$  均截止,整机放大电路失去工作电压,录音机停机,实现了所谓的睡眠控制。

### 8.3.2 数字电压表电路

如图 8-15 所示为  $3\frac{1}{2}$  位数字电压表逻辑电路图。 $3\frac{1}{2}$  位数字电压表定时对所检验的电压取样,然后通过模/数转换,用 4 位十进制数字显示被测模拟电压值,其最高位数码管只显示“+”、“-”极性和指示 0 或 1,它的电压量程有 1.999V 和 199.9mV 两挡,量程扩展是通过外加电路实现的。

电路中,CC14433 是 CMOS 双积分型 A/D 转换器(即实现模/数转换的器件);CC4511 是七段锁存译码驱动器;5G1413 是七路达林顿驱动器,为显示控制器(这些器件的作用均可从手册中查阅到)。电路中还采用了  $3\frac{1}{2}$  位共阴极 LED 数码显示器和其他一些非逻辑元器件,如电阻、电容等。从图中可以看出,被测电压  $U_x$  经 CC14433 进行 A/D 转换,输出数字量  $Q_3 \sim Q_0$ ,送入 CC4511,CC4511 输出译码信号,驱动数码显示器显示数值,这个通路即为数字信号的传输通路。另外,从图中还可以找出控制信号通路,即 CC14433 输出  $DS_1 \sim DS_4$ ,经 5G1413 再去控制数码显示器,而其最高位由  $Q_2$  和电源控制,CC14433 的  $\overline{QR}$ 、 $DU$  信号经 CC4013 又去控制 CC4511 的  $\overline{BI}$  端。

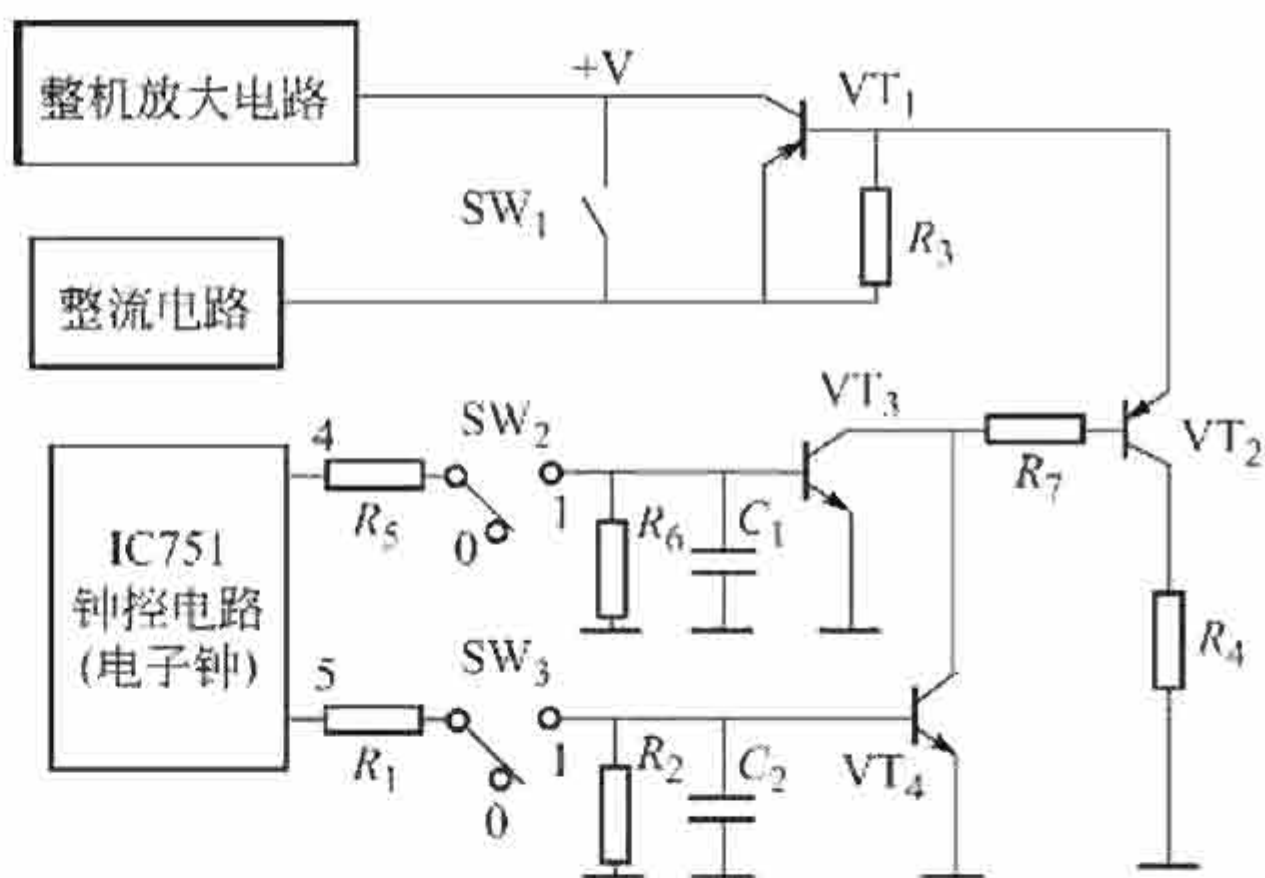


图 8-14 某型号录音机中的定时启动和睡眠控制电路

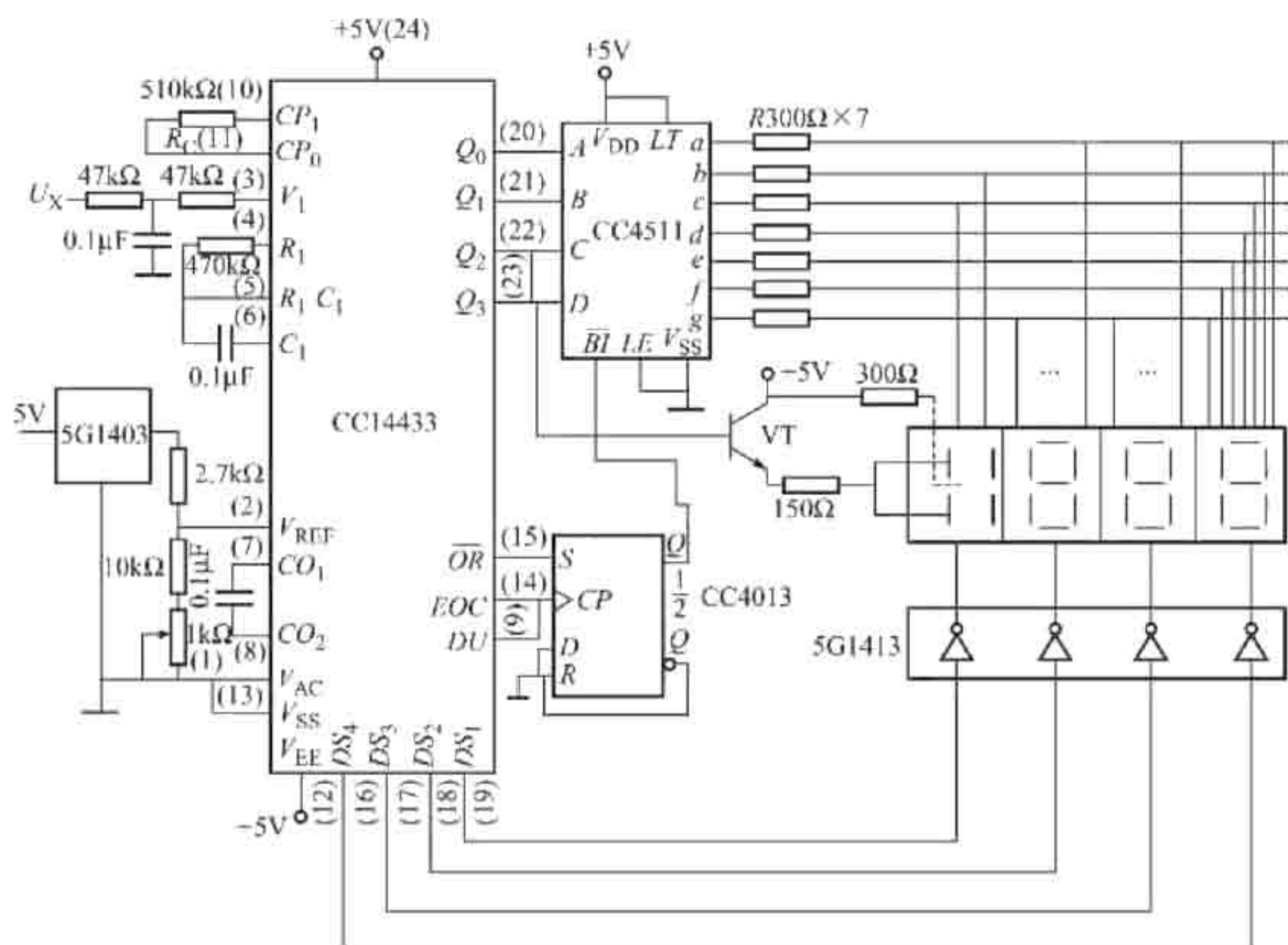


图 8-15 3½位数字电压表逻辑电路图

由上分析可知，该电压表由 CMOS 双积分型 A/D 转换器、基准电压源、七段译码驱动器、数码显示器、译码和显示控制器等单元电路组成，其框图如图 8-16 所示。

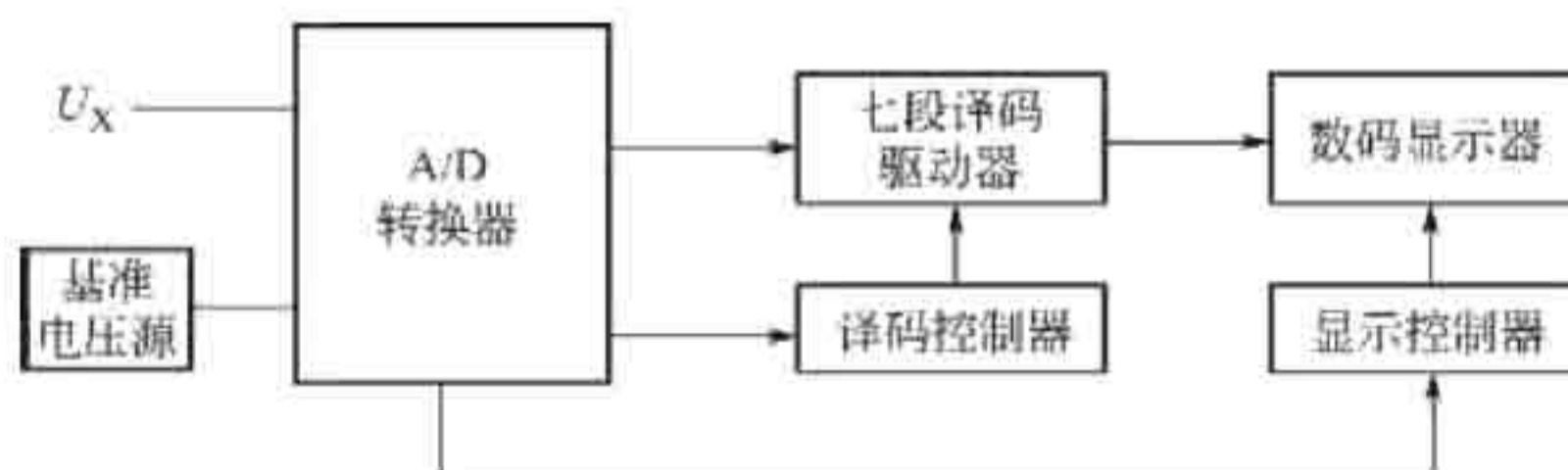


图 8-16 3½位数字电压表框图

在分析电路功能时，首先必须将各单元电路的工作原理分析清楚，此时必须借助电子元器件手册，在此不再详述各单元电路，只列出主要单元电路管脚图或结构图，如图 8-17 所示。下面简要说明电路工作原理。

5G1403 是高精度、低漂移基准电压源，为 CC14433 A/D 转换器提供精密基准电压，提高 A/D 转换精度。CC4511 是 BCD 码七段锁存译码驱动器，是专用于将二十进制代码（BCD 码）转换成七段显示信号的专用标准译码器，其  $LE$  端子为锁存允许端。 $LE=1$  时处于锁存状态， $LE=0$  时处于选通状态； $\overline{LT}$  为灯测试端， $\overline{LT}=0$ ，七段锁存译码器输出全为逻辑 1， $\overline{LT}=1$  时，译码器输出由  $\overline{BI}$  和  $Q_3 \sim Q_0$  共同决定； $\overline{BI}=1$  时，译码器输出由  $Q_3 \sim Q_0$  决定（ $\overline{LT}=1$  时）。

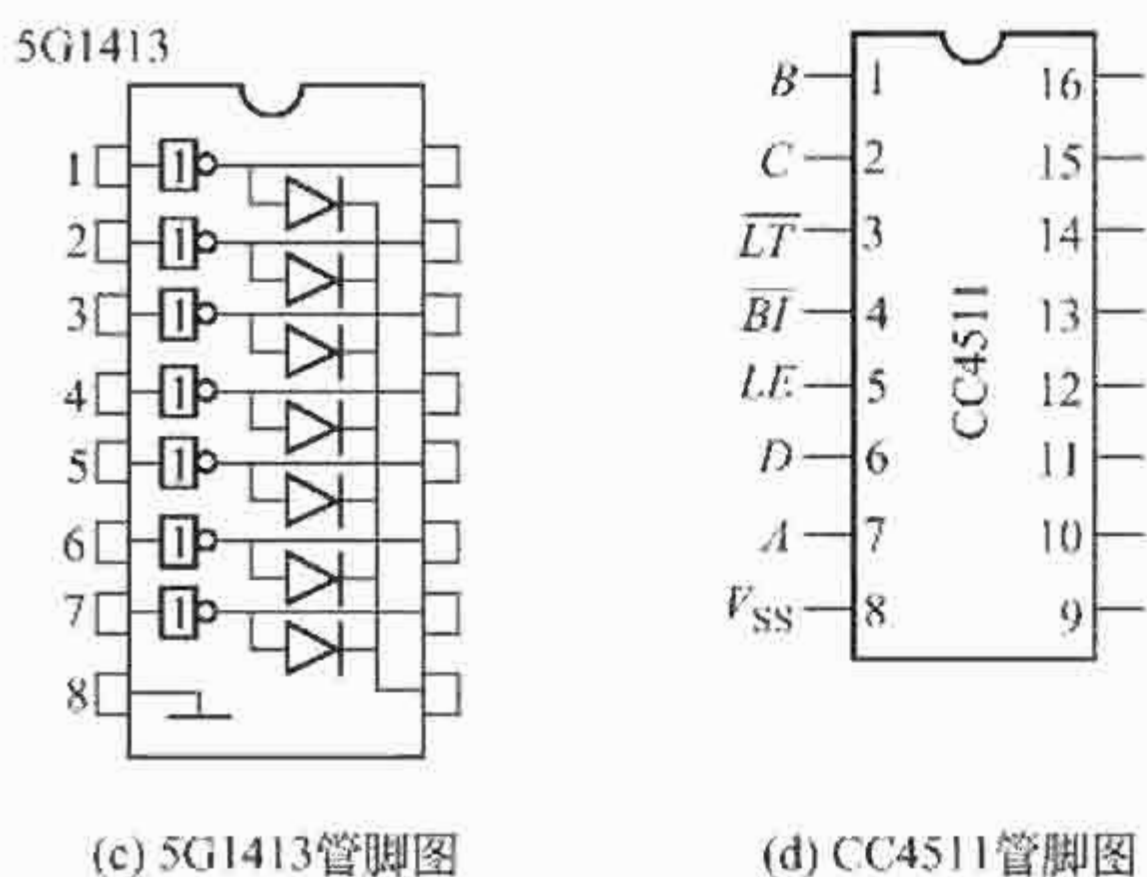
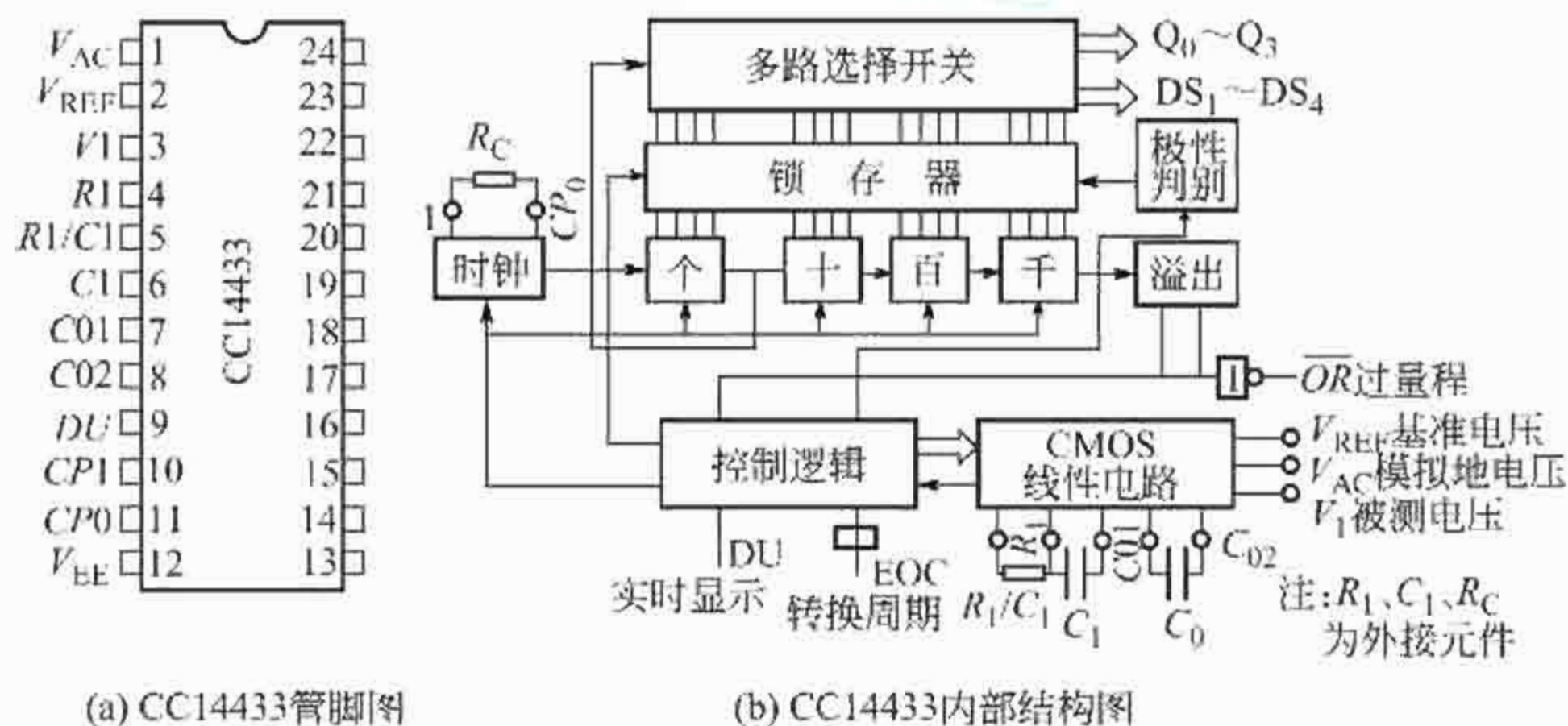


图 8-17 主要单元电路管脚图或结构图

5G1413 是七路达林顿驱动器阵列，它的内部实质上是七个集电极开路的反相器，主要用来控制 LED 数码管显示器的七段显示屏。

当 CC4511 的多路调制选通脉冲输出端  $DS_1 \sim DS_4$  中某一位为 1 时，通过相应的 5G1413 某一路反相驱动器，并使其输出为 0，就使该位数码管的阴极为低电平，可显示数值。当时钟频率为 66kHz 时，每位数码管每秒显示 800 次左右。

在  $DS_1$  选通期间，BCD 码  $Q_3 \sim Q_0$  的真值表见表 8-1。其中  $Q_3$  定义为千位数的值， $Q_3=0$ ，千位数为 1； $Q_3=1$ ，千位数为 0。 $Q_2$  定义为电压极性， $Q_2=1$ ，为“+”极性； $Q_2=0$ ，为“-”极性。 $Q_0$  定义为是否超量程， $Q_0=0$  为正常量程； $Q_0=1$  为超量程。

由图 8-17 可知，在  $DS_1$  选通期间，电压极性由  $Q_2$  控制。当输入负电压时， $Q_2=0$ ，使 5G1413 中该路达林顿管截止，VT 也止，+5V 通过 300Ω 电阻点亮 LED 数码显示器中的负号“-”；若输入为正电压， $Q_2=1$ ，则 VT 导通，显示“+”号。CC14433 的  $\overline{OR}$  端为过量程标志输出，当  $|U_X| \geq V_{REF}$  时， $\overline{OR}$  输出为低电平； $|U_X| \leq V_{REF}$  时， $\overline{OR}$  输出为高电平。CC4013 用作过量程控制译码器，进行报警显示。未过量程时， $\overline{OR}=1$ ，这时 D 触发器（即 CC4013） $Q=1$ ；使

CC4511 的  $\overline{BI}=1$ , 译码器正常工作; 当过量程时,  $\overline{OR}=0$ , D 触发器  $\overline{Q}$  与 D 相连, 构成了二分频电路, 又因其 CP 脉冲来自于 CC14433 的 EOC, 故这时 Q 输出端轮流输出 0 和 1。在  $Q=0$  时, 显示器不亮; 在  $Q=1$  时, 显示器显示, 以 EOC 的二分频频率闪烁作为过量程报警显示。

表 8-1 最高位 BCD 码  $Q_3 \sim Q_0$  真值表

MSD 编码内容	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	七段码显示	MSD 编码内容	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	七段码显示
+0	1	1	1	0	不显示	+1	0	1	0	0	4
-0	1	0	1	0		-1	0	0	0	0	0
+0、欠量程	1	1	1	1		+1、过量程	0	1	1	1	7
-0、欠量程	1	0	1	1		-1、过量程	0	0	1	1	3

最高位只接 b、c 段, 显示 1

图 8-17 中 CC14433、CC4511 采用了管脚示意图法, CC4013 采用的是一般逻辑符号, 5G1413 采用的是等效电路图画法。

### 8.3.3 三相交流无触点开关电路

图 8-18 所示为采用五只双向晶闸管组成的三相交流无触点开关电路。

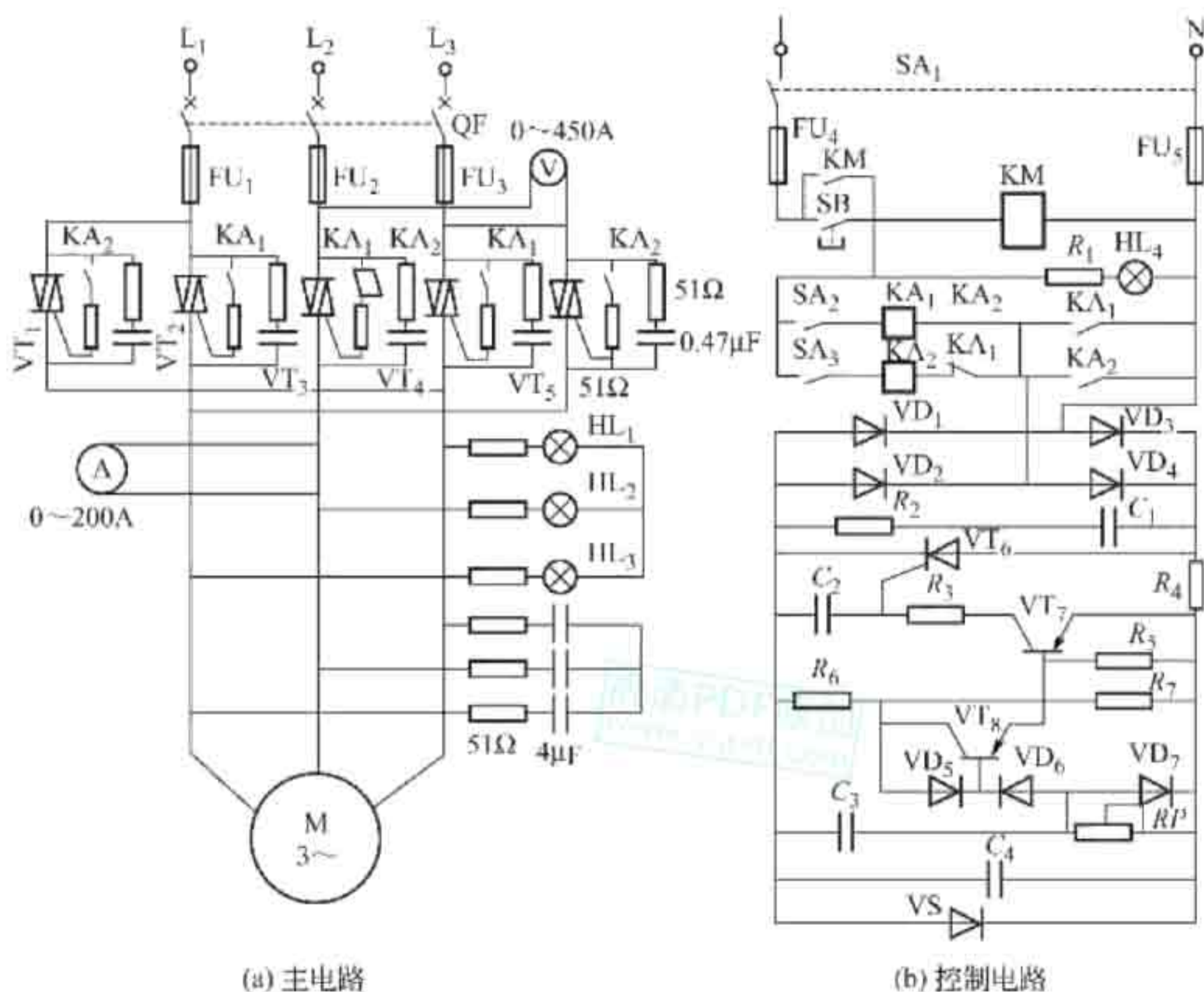


图 8-18 三相交流无触点开关电路

主电路中的双向晶闸管  $VT_1$ 、 $VT_2$ 、 $VT_3$ 、 $VT_4$ 、 $VT_5$  采用电源自行触发方式 (I+、III-)，正弦交流电流在第 I 象限为正 (I+) 和在第 III 象限为负 (III-)



时,双向晶闸管均被触发导通。 $VT_1 \sim VT_5$ 分两组控制电动机的正反转,当 $VT_2$ 、 $VT_3$ 、 $VT_4$ 被触发导通时,电动机正转;当 $VT_1$ 、 $VT_3$ 、 $VT_5$ 被触发导通时,电动机反转,其中 $VT_3$ 在电动机正反转时均被触发导通,其余双向晶闸管绝不允许同时导通,否则将引起相间短路。每只双向晶闸管两端和主电路输出端都接有吸收过电压的RC回路,以防止误触发或元器件击穿。

在每只双向晶闸管门极电路中串了一只 $51\Omega$ 的电阻,以限制门极电流,其通断分别由两个电流继电器 $KA_1$ 、 $KA_2$ 控制。继电器 $KA_1$ 用来控制 $VT_2$ 、 $VT_3$ 、 $VT_4$ 的门极电路,继电器 $KA_2$ 用来控制 $VT_1$ 、 $VT_3$ 、 $VT_5$ 的门极电路。 $KA_1$ 的动断触点串接 $KA_2$ 的线圈, $KA_2$ 的动断触点串接 $KA_1$ 的线圈,使得 $KA_1$ 和 $KA_2$ 互锁,防止继电器 $KA_1$ 、 $KA_2$ 瞬间同时得电吸合,造成相间短路。在 $KA_1$ 、 $KA_2$ 的两个线圈电路中接有延时电路,使双向晶闸管的触发时间延迟约 $0.5s$ 后,相应的继电器才工作,有效地防止了双向晶闸管换向时的误导通。

工作时,首先合上主电路断路器 $QF$ ,再合上控制电路开关 $SA_1$ ,按动按钮 $SB$ ,使接触器 $KM$ 得电吸合并自保。控制电路中的开关 $SA_2$ 和 $SA_3$ 是实现电动机正反转的手动开关。如果要让电动机正转,则合上正转开关 $SA_2$ 。开关 $SA_2$ 合上后,交流电经 $FU_4 \rightarrow SB \rightarrow SA_2 \rightarrow KA_1$ 线圈 $\rightarrow KA_2$ 动断触点与 $FU_5$ 形成供电回路,送至 $VD_1 \sim VD_4$ 组成的桥式整流电路进行整流,通过 $R_4$ 、 $C_4$ 、 $VS$ 滤波稳压,形成直流电压。该直流电压通过 $RP$ 给 $C_3$ 充电, $C_3$ 上的电压不断上升,经 $0.5s$ 左右, $C_3$ 上的电压使 $VT_8$ 导通, $VT_8$ 导通又致 $VT_7$ 导通,触发普通晶闸管 $VT_6$ 导通,继电器 $KA_1$ 通过 $VD_1 \sim VD_4$ 、 $VT_6$ 而得电吸合。继电器 $KA_1$ 得电吸合后,接通 $VT_2$ 、 $VT_3$ 、 $VT_4$ 的门极电路,相应的三只双向晶闸管 $VT_2$ 、 $VT_3$ 、 $VT_4$ 导通,电动机正转。同时,继电器 $KA_1$ 的动合触点闭合,使 $KA_1$ 线圈自锁;其动断触点断开,使继电器 $KA_2$ 不能得电,实现互锁;且整流桥 $VD_1 \sim VD_4$ 的供电电压此时为零,延时电路被切除。若要使电动机反转,则断开开关 $SA_2$ ,闭合开关 $SA_3$ ,其他与正转情况相似。

## 8.4 PLC 梯形图识读示例

### 8.4.1 某电子产品老化房的 PLC 控制

图8-19所示为某电子产品老化房的PLC硬件连接图,该系统选用FX-40MR机型,其控制系统的梯形图如图8-20所示。从硬件连接图上可看出,该老化房共有16个输入信号和13个开关量输出,是一个很小的控制系统。

根据该电子产品生产要求,该老化房的生产工艺过程为:电子产品通过传送带传送至老化房的低温区预热 $15min$ ,再进入高温区继续加热 $8h$ ,然后送出老化房加热区。电子产品送出老化房加热区后,还要由轴流风机(冷却风机)吹冷却

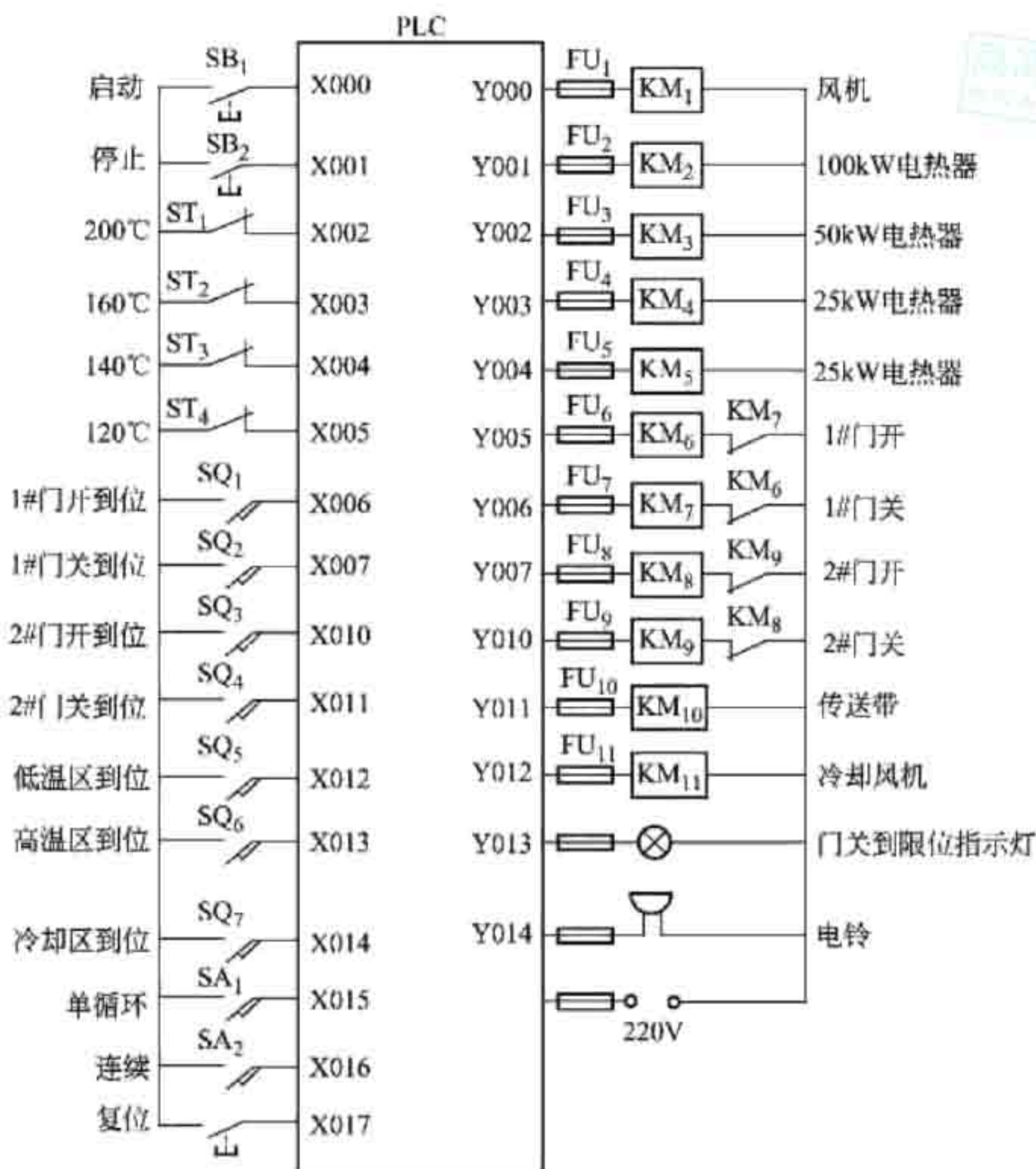


图 8-19 某电子产品老化房的 PLC 硬件连接图

30min, 最后由电铃提醒工作人员卸下电子产品并取走。

该老化房的控制要求如下: 具有单循环和连续循环两种控制方式; 只有老化房门关闭到位时才能加热和送风, 在开门状态下不允许加热、送风; 只有老化房门开到位时才允许传送带运行; 老化房开始加热时, 为了缩短老化房升温时间, 提高老化房升温速度, 四组电热器全部投入加热, 同时老化房能按房内温度自动切除电热器; 当老化房温度超过 40℃ 时, 切除一组 25kW 的电热器; 当老化房温度超过 45℃ 时, 切除两组 25kW 的电热器; 当老化房温度超过 50℃ 时, 切除 50kW 和两组 25kW 的电热器; 当老化房温度超过 55℃ 时, 切除所有电热器。

老化房的生产工艺流程如下: 按下启动按钮 SB<sub>1</sub>, 使输入继电器 X000 得电, 梯形图 8-20 中, X000 接通, 置位状态继电器 S<sub>0</sub>, 使开门的中间继电器 M100 和 M101 得电, 并使开门继电器 Y005、Y007 线圈得电, 接通负载接触器 KM<sub>6</sub> 和 KM<sub>8</sub>。当开门到位时, 压下行程开关 SQ<sub>1</sub> 和 SQ<sub>3</sub>, 使 X006 和 X010 接通, 置位状态继电器 S<sub>1</sub>, 使 S<sub>0</sub> 复位, 进行电子产品装车、通电, 这时中间继电器 M102 激励, 输出继电器 Y011 得电, 接通 KM<sub>10</sub>, 传送带开始运转, 将电子产品传送到低温

区。当电子产品传送低温区时，光电开关  $SQ_5$  动作，停止传送带运行，同时置位状态继电器  $S_2$ ，并进入关门阶段，使关门中间继电器  $M103$ 、 $M104$  得电，接通关门接触器  $KM_7$  和  $KM_9$ 。当关门到位时，压下行程开关  $SQ_2$  和  $SQ_4$ ，停止关门。同时，关门指示灯（关到限位指示灯）亮，并置位状态继电器  $S_3$ ，使输出继电器  $Y000$  得电，风机启动运行。这时四组电热器接通电源，加热，并开始计时。当  $T_0$  计时到 15min 时，再次进入传送电子产品阶段，使  $Y011$  得电，接通  $KM_{10}$ ，使传送带运行。当电子产品由低温区移到高温区，并移到位时，光电开关  $SQ_6$  动作，停止传送带运行，同时  $T_1$  开始计时。当计时时间到时， $T_1$  使状态继电器  $S_3$  复位，从而关掉了风机和电热器，进入开门阶段，这时  $Y005$  和  $Y007$  得电，接通  $KM_6$  和  $KM_8$ 。当门开到位时，压下行程开关  $SQ_1$  和  $SQ_3$ ，停止开门。当电子产品移到位时，光电开关  $SQ_5$  和  $SQ_7$  动作，分别进入关门和冷却阶段， $X014$  置位状态继电器  $S_4$ ，使输出继电器  $Y012$  得电，接通接触  $KM_{11}$ ，冷却风机运行，同时  $T_3$  计时 30min。当计时时间到时， $S_4$  复位，停止冷却风机，同时置位  $S_5$ ，使  $Y014$  激励，接通电铃，提醒工人卸电子产品。若选择开关选在“连续”工作方式，就置位  $S_1$ ，此时工人可以在传送带另一端装载电子产品。若选择开关选在“单循环”位置，则  $X017$  接通，进行清零，系统复位。

#### 8.4.2 四台电动机按时间顺序控制

某系统有四台电动机，要求每隔 10min 启动一台，每台运行 8h 后自动停止，运行中可随时将四台电动机停机。这一控制要求可以用两种方法实现，图 8-21 和图 8-22 分别为定时器编程和移位寄存器编程的梯形图，下面对它们进行分析、比较。

##### 8.4.2.1 定时器编程法

如果不先设定四台电动机依次启动的具体延迟时间和工作时间，只考虑一般的情况。可假设电动机的启动间隔为  $t_1$ ，每台电动机工作时间为  $t_2$ 。根据控制要求可设计出梯形图，如图 8-21 所示。

按下启动按钮，输入点 0 接通，输出；继电器 21 接通并自保，电动机 1 启动， $T600$ 、 $T601$  开始计时。 $T600$  经  $t_1$ s 延时后动作，其动合触点接通输出继电器 22

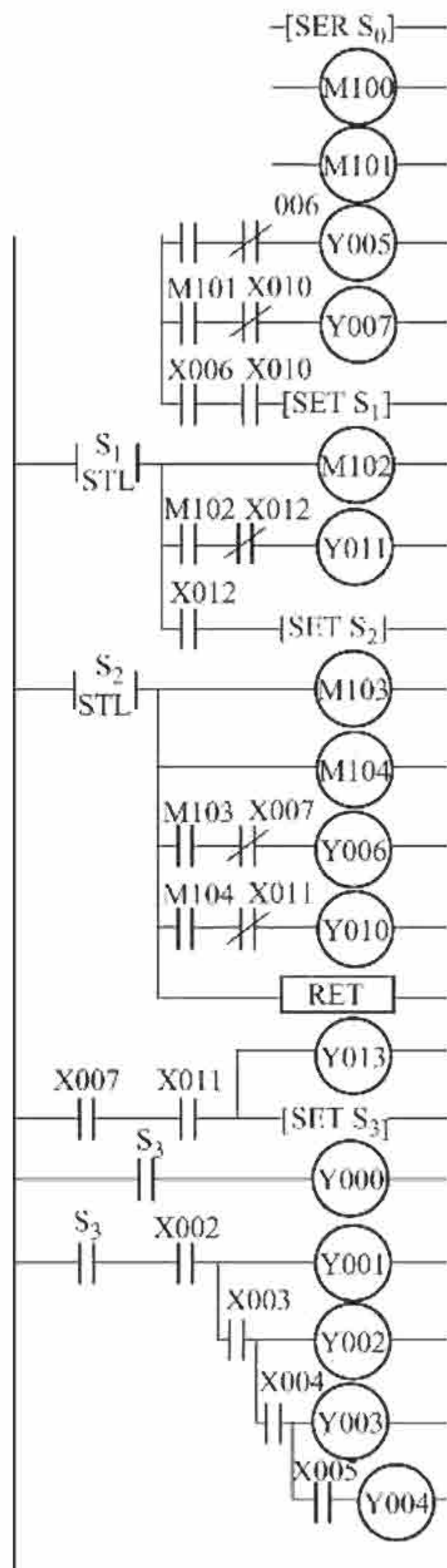


图 8-20 老化房控制系统的梯形图

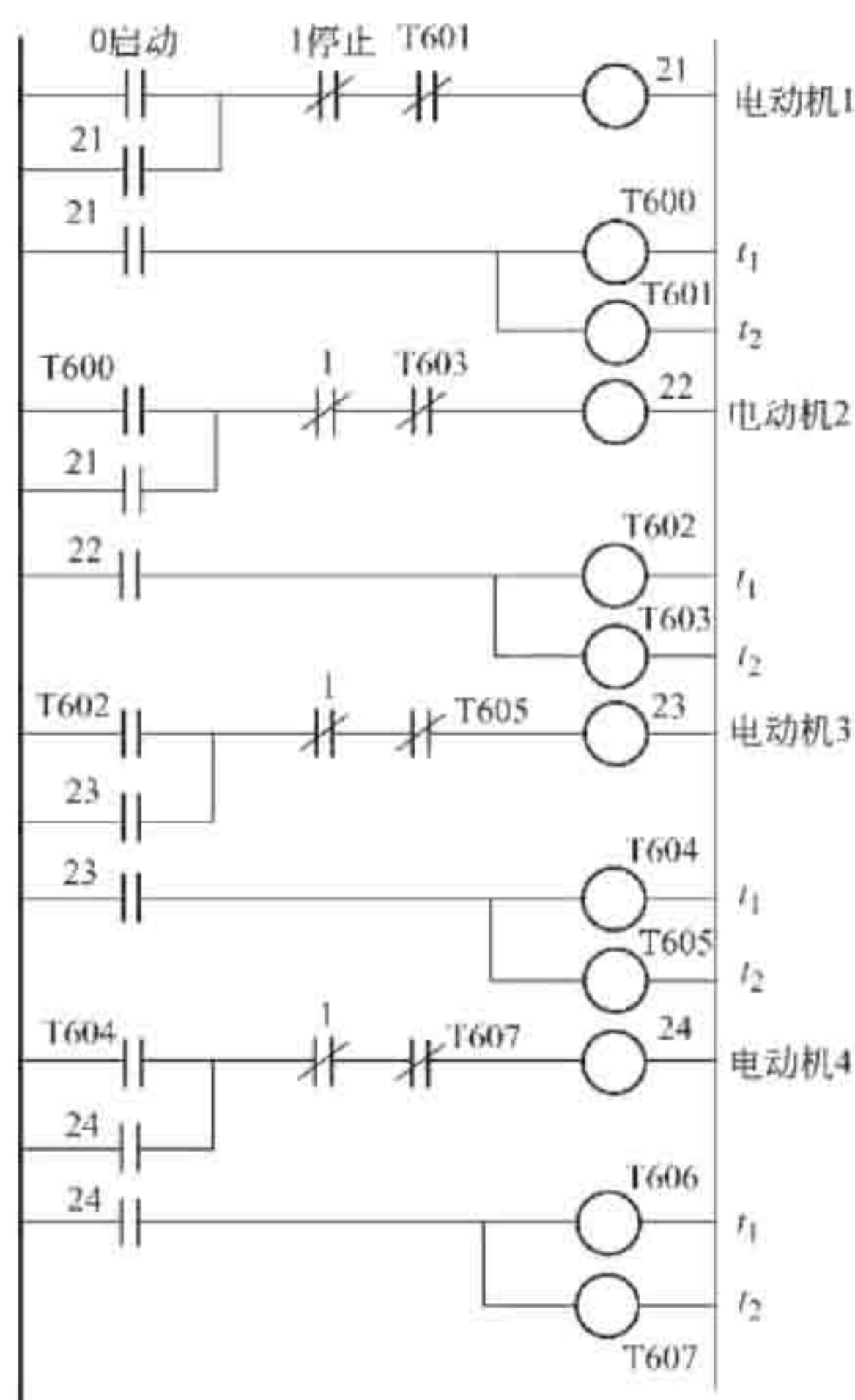


图 8-21 定时器编程的梯形图

并自保，电动机 2 启动，T602、T603 开始计时。T602 经  $t_1$ s 延时后动作，其动合触点接通输出继电器 23 并自保，电动机 3 启动，T604、T605 开始计时。T604 经  $t_1$ s 延时后动作，其动合触点接通输出继电器 24 并自保，电动机 4 启动，T606、T607 开始计时。

T601、T603、T605、T607 分别经过  $t_2$ s 延时后动作，各自的动断触点分别依次断开输出继电器 21、22、23、24，电动机 1、2、3、4 依次停机，各计时器复位，准备好下次重新启动。

运行中按下停止按钮，输入点 1 接通，1 号动断触点断开继电器 21、22、23、24，电动机 1、2、3、4 停机，各计时器复位，准备好下次重新启动。

由于计时器的最大预置值为 999.9s，如  $t_1$ 、 $t_2$  小于该值，则图 8-

21 所示的梯形图是可以实现控制要求的。但该例要求  $t_1 = 10\text{min} = 600\text{s}$ ， $t_2 = 8\text{h} = 28800\text{s} > 999.9\text{s}$ ，要实现  $t_2 = 28800\text{s}$  的延时，采用单个计时器是不行的，必须用计时器、计数器串级使用的方法。这样，T601、T603、T605、T606、T607 每个计时器都要采用计时器、计数器串级使用的梯形图。虽然可行，但使梯形图复杂化，并使程序增多。在这种情况下，可考虑采用移位寄存器编程法。

#### 8.4.2.2 移位寄存器编程法

图 8-22 所示为用移位寄存器编程的梯形图。图中，T600 构成自复位计时器，用以产生 10min 时钟脉冲，以控制电动机 2、3、4 延时启动。计时器 T601 和计数器 C614 串级使用，构成 8h 延时电路。

按下启动按钮，动合触点 0 接通，在移位寄存器时钟端产生一脉冲，将移位寄存器数据端的“1”信号移入 401，接通继电器 21，电动机 1 启动，同时 160 接通并自保，开始产生 10min 时钟脉冲，并送入移位寄存器时钟端。隔 10min，第二个脉冲来到，将 401 的“1”信号移入 402，接通继电器 22，电动机 2 启动。再隔 10min，第三脉冲来到，将 402 的“1”信号移入 403，接通继电器 23，电动机 3 启动。再隔 10min，第四个脉冲来到，将 403 的“1”信号移入 404，接通继电器 24，

电动机4启动。

从启动开始（160接通）就接通8h延时电路。经8h延时，161接通，其动断触点断开，移位寄存器的数据端置“0”，其动合触点接通T602，开始计时；同时第49个脉冲来到（共延时 $48 \times 10\text{min} = 8 \times 60\text{min} = 8\text{h}$ ），将移位寄存器数据端的“0”信号移入401，断开继电器21，电动机1停机。隔10min，第50个脉冲来到，将401的“0”信号移入402，断开继电器22，电动机2停机。再隔10min，第51个脉冲来到，将402的“0”信号移入403，断开继电器23，电动机3停机。再隔10min，第52个脉冲来到，将403的“0”信号移入404，断开继电器24，将电动机4停机。

当T602计时到2400s（此时电动机已全部停止）时，T602的动断触点断开，使160复位，T602的动合触点接通，使C614复位，计数值复零，准备好下次重新启动。

运行中按下停止按钮，输入点1接通，动断触点1断开，使160复位，动合触点1接通，使移位寄存器和计数器复位，准备好下次重新启动。

由于移位寄存器和计数器都有停电记忆的功能，为了使四台电动机在停电后再复电时重新启动，特在移位寄存器和计数器的复位端并联上初始化脉冲继电器374的动合触点，用以在通电开始时对移位寄存器和计数器清零。

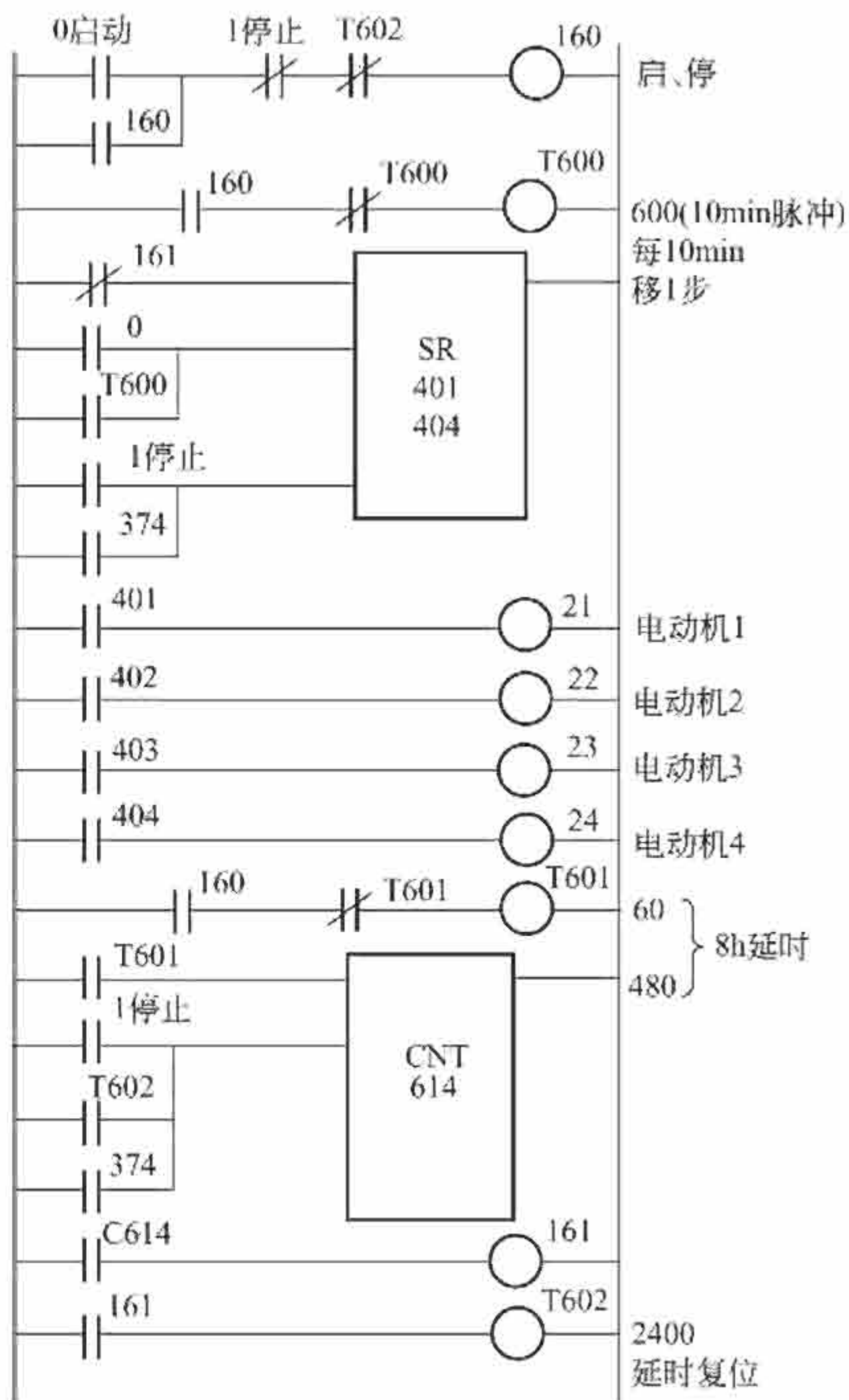


图 8-22 移位寄存器编程

## 参 考 文 献

- [1] 赵清. 新电工识图. 北京: 电子工业出版社.
- [2] 蔡建军. 电工识图. 北京: 机械工业出版社.
- [3] 周新云. 电工技术. 北京: 科学出版社.
- [4] 赵清, 于喜恒等. 新电工识图. 北京: 电子工业出版社.
- [5] 机械工业职业技能鉴定指导中心编. 电工识图. 北京: 机械工业出版社.



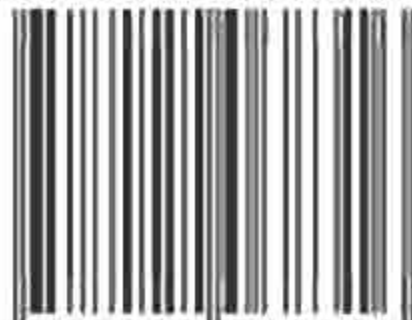
看学图艺

职业篇

KANTU XUUEYI ZHIYEPIAN

电工识图

ISBN 978-7-122-06831-6



9 787122 068316 >

定价：38.00元