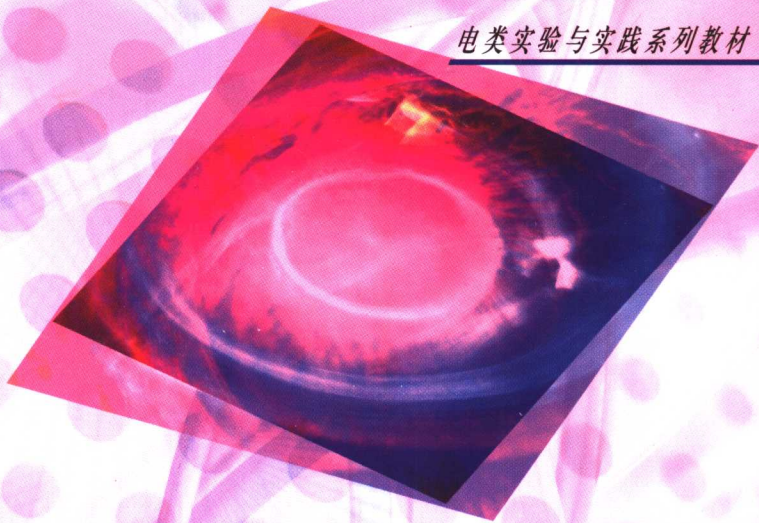


电类实验与实践系列教材



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

电气控制实验与实践

付家才 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育科学“十五”国家规划课题研究成果
电类实验与实践系列教材

电气控制实验与实践

付家才	主 编
卢文生 姜志成	副主编
金鸿章	主 审

高等教育出版社

内容提要

本书主要介绍电气控制基础、电气控制实验、低压电器、电气控制线路设计方法、电气配线与安装、电气控制实践等内容。本书以电气控制实践为主线,突出电气控制设计和安装配线,强调理论与实验相结合。

本书总结了多年教学和实践经验,内容深入浅出,图文并茂,实用性强。

本书既适用于本科院校有关专业学生的实验、实践技能培训,又可作为相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制实验与实践 / 付家才主编. —北京: 高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014556-1

I. 电... II. 付... III. 电气控制-实验-高等学校-教材 IV. TM921.5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045947 号

策划编辑 李 慧 责任编辑 许海平 封面设计 李卫青
责任绘图 朱 静 版式设计 史新薇 责任校对 杨凤玲
责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 13.75
字 数 250 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 17.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用

型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

根据教育部本科应用型人才培养目标的精神,为满足本科电类相关专业实验、实习和工程能力培养的需要,我们组织编写了一套电气方面实验与实践的系列教材,涵盖电工、电子、电机、电气控制、PLC、单片机等内容。

本套教材立足于本科应用型人才培养目标,适应于社会发展需要,提高学生工程实践能力。本套教材既注意到实验方法和过程介绍,同时对工业设计和过程也作了具体介绍,是通向现场的一座桥梁。本套教材有《电机实验与实践》、《电子实验与实践》、《电工实验与实践》、《电气控制实验与实践》、《单片机实验与实践》、《PLC 实验与实践》6 本书。

《电气控制实验与实践》在编写上充分考虑了《电气控制》等理论课的特点,在内容上自成体系,突出了实验与实践相结合,验证性实验与设计性实验相结合的教学方法。本书侧重于电气控制设计方法和实践技能,强调电气配线工艺和安装。

本书由付家才教授主编,卢文生、姜志成任副主编。第 1 章、第 3 章、第 4 章由卢文生编写,第 2 章由姜志成编写,第 5 章由李忠勤编写,第 6 章由付家才编写,全书由付家才策划和统稿。

哈尔滨工程大学金鸿章教授对本书进行了审阅并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月

目 录

第 1 章 电气控制基础	1
1.1 控制元、器件符号	1
1.2 电气原理图的绘制原则	3
1.2.1 电气原理图的绘制原则	3
1.2.2 图上位置的表示方法	4
1.3 电路图的简化	5
1.3.1 主电路的简化	5
1.3.2 并联电路的简化	6
1.3.3 相同电路的简化	6
1.4 电路图的分析	7
1.4.1 电气控制线路分析	7
1.4.2 电气原理图的阅读分析	8
1.5 接线图和接线表	12
1.5.1 表示方法	12
1.5.2 单元接线图与单元接线表	15
1.5.3 互连接线图和互连接线表	17
1.5.4 端子接线图和端子接线表	19
1.5.5 电缆配置图和电缆配置表	20
本章小结	21
思考题与习题	22
第 2 章 电气控制实验	23
2.1 验证性实验	23
2.1.1 三相笼型异步电动机起动、运转控制	23
2.1.2 三相笼型异步电动机点动和自锁	24
2.1.3 三相异步电动机 Y- Δ 降压起动	26
2.1.4 能耗制动控制	27
2.1.5 三相异步电动机正、反转互锁控制	28
2.2 设计型实验	30

2.2.1 工作台往返自动控制	30
2.2.2 C620 车床电气控制	31
2.2.3 电动葫芦电气控制	33
2.2.4 X62W 铣床模拟控制	34
2.3 控制微电机实验	37
2.3.1 力矩式自整角机	37
2.3.2 控制式自整角机	40
2.3.3 正、余弦旋转变压器	43
2.3.4 步进电机	46
2.3.5 直流伺服电机	50
本章小结	52
思考题与习题	53

第3章 低压电器	56
3.1 熔断器	56
3.1.1 熔断器的用途	56
3.1.2 熔断器的特性及参数	56
3.1.3 熔断器的分类及使用	58
3.2 低压开关	60
3.2.1 刀开关	61
3.2.2 低压断路器	64
3.3 接触器	67
3.3.1 接触器的用途	67
3.3.2 接触器的主要技术指标	67
3.3.3 接触器的类型及主要技术参数	68
3.3.4 交流接触器的结构	70
3.3.5 直流接触器	74
3.3.6 接触器的使用	74
3.4 控制继电器	74
3.4.1 中间继电器	75
3.4.2 时间继电器	75
3.4.3 热继电器	77
3.4.4 速度继电器	78
3.4.5 控制继电器的使用	80
本章小结	80
思考题与习题	81

第4章 电气控制线路设计方法	82
4.1 经验设计法	82
4.2 逻辑分析设计法	86
4.2.1 逻辑电路的基本类型及对应的设计方法	87
4.2.2 原理图设计中应注意的问题	89
4.3 典型控制环节的设计	92
4.3.1 三相笼型异步电动机全压起动控制	92
4.3.2 三相笼型异步电动机降压起动控制	97
4.3.3 三相绕线转子异步电动机的起动控制	99
4.3.4 三相异步电动机的制动控制	102
4.4 保护环节的设计	105
4.5 电器的选择	110
4.5.1 自动空气断路器的选择	110
4.5.2 熔断器的选择	111
4.5.3 接触器的选择	111
4.5.4 继电器的选择	112
4.5.5 其他电器的选择	113
4.6 设计举例	114
本章小结	117
思考题与习题	117
第5章 电气配线与安装	118
5.1 常用配线安装工具及测量工具	118
5.1.1 常用配线安装工具	118
5.1.2 常用测量工具	123
5.2 电气安装工艺	128
5.2.1 安装前的准备工作	128
5.2.2 电气设备的总体布置	129
5.2.3 绘制电气控制装置的电器元件布置图	130
5.2.4 绘制电气控制装置的接线图	131
5.3 电气配线工艺	132
5.3.1 电气配线的基本要求	132
5.3.2 电气控制箱的布线	132
5.3.3 线头绝缘层的剖削	133
5.3.4 导线线头的连接	136
5.3.5 线头与接线桩的连接	138

5.3.6	导线在端子排上的排列工艺	141
5.3.7	导线的穿管敷设	142
5.3.8	电气配线的检查	143
5.3.9	电气控制电路的绝缘电阻的测定	145
5.4	常用低压电器的安装	145
5.4.1	熔断器的安装	145
5.4.2	刀开关的安装	147
5.4.3	接触器的安装	150
5.4.4	控制继电器的安装	153
5.4.5	低压断路器的安装	160
5.4.6	电磁铁的安装	165
5.4.7	主令电器的安装	166
5.4.8	漏电保护断路器的安装	169
5.5	电动机的安装与接线	170
5.5.1	电动机的安装与校正	170
5.5.2	电动机的检查	170
5.5.3	电动机的接线	171
5.5.4	电动机起动器的安装	172
	本章小结	179
	思考题与习题	179

第6章	电气控制实践	181
6.1	电气控制实践的内容	181
6.1.1	设计性实践目的及要求	181
6.1.2	设计性实践的教学过程	181
6.2	交流电动机控制	183
6.2.1	可逆旋转控制电路	183
6.2.2	自动往返的可逆控制电路	183
6.2.3	两处操作一台电动机的控制电路	183
6.2.4	双速电动机按钮控制电路	184
6.2.5	双速电动机自动加速的控制电路	184
6.2.6	手动变速、自动加速的双速电动机控制电路	184
6.2.7	多种运行功能的双速电动机控制电路	185
6.3	交流电动机起动	185
6.3.1	交流电动机串电阻起动电路	185
6.3.2	交流电动机串电抗器起动	185
6.3.3	交流电动机 Y/ Δ 降压起动	186

6.3.4	交流电动机延边三角形降压起动	186
6.3.5	交流电动机自耦变压器降压起动(一)	186
6.3.6	交流电动机自耦变压器降压起动(二)	186
6.3.7	交流电动机转子串电阻起动(一)	187
6.3.8	交流电动机转子串电阻起动(二)	187
6.3.9	交流电动机频敏电阻器起动	187
6.4	交流电动机的制动	188
6.4.1	交流电动机单向反接制动	188
6.4.2	交流电动机可逆运行反接	188
6.4.3	交流电动机时间控制的单向运行能耗制动	188
6.4.4	交流电动机时间控制的可逆运行能耗制动	189
6.4.5	交流电动机速度控制的单向运行能耗制动	189
6.4.6	交流电动机速度控制的可逆运行能耗制动	189
6.4.7	交流电动机单管能耗制动	189
6.5	直流电动机控制	190
6.5.1	直流电动机单向运转起动	190
6.5.2	直流电动机可逆运转起动	190
6.5.3	直流电动机单向运转能耗制动	190
6.5.4	直流电动机可逆运转能耗制动	191
6.5.5	直流电动机单向运转反接制动	191
6.5.6	直流电动机可逆运转反接制动	191
6.6	同步电动机控制	192
6.6.1	同步电动机单向运转自耦变压器起动	192
6.6.2	同步电动机可逆运转自耦变压器起动	192
6.6.3	同步电动机单向运转转子串电阻起动	192
6.6.4	同步电动机可逆运转转子串电阻起动	193
6.6.5	同步电动机可逆运转 Y/ Δ 起动	193
6.7	顺序控制	193
6.7.1	交流异步电动机顺序起动逆序停止	193
6.7.2	交流异步电动机顺序起动、顺序停止	194
6.7.3	交流异步电动机可单机操作的顺序控制(一)	194
6.7.4	可单机操作的顺序控制(二)	194
6.7.5	可逆运行顺序控制(一)	195
6.7.6	可逆运行顺序控制(二)	195
6.8	工业应用	195
6.8.1	送料装置的控制	195
6.8.2	小绞车控制	196
6.8.3	C620-1 型车床的电气控制	196

6.8.4 C650 - 2 型车床电气控制	196
6.8.5 水塔水位自动控制	197
6.8.6 锅炉来煤系统电气控制	197
本章小结	197
附录	198
参考文献	206

第 1 章

电气控制基础

一个电气系统或一种电气装置是由各种元、器件组成的,在以简图形式表达的电气图中,无论是表示构成、功能还是电器接线等,都没有必要一一画出各种元、器件的外形结构,通常是用一种简单的图形符号表示。但是,在同一系统中或同一张电气图中若有两个以上同一类型电器时,还必须在符号旁边标注不同的文字符号以示区别不同用途的同一类型电器,使人们一看就可以知道其名称、功能、状态、特征及安装位置等信息。

1.1 控制元、器件符号

电气控制线路图是电气工程技术的通用语言,它由各种电器元件的图形符号、文字符号组成。为了便于交流与沟通,国家标准局参照国际电工委员会(IEC)颁布的有关文件,制定了我国电气设备的有关国家标准,颁布了 GB/T 4728.1—1985《电气图用图形符号总则》、GB/T 4728.2 ~ .13—1996 ~ 2000《电气简图用图形符号》、GB/T 7159—1987《电气技术中的文字符号制订通则》。设计电气图中的图形符号、文字符号必须符合最新的国家标准。附表 1-1 ~ 1-6 列出了常用的电气图形符号、文字符号,以供选用。

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。它由一般符号、符号要素、限定符号等组成。图形符号如附表 1-1 所示。

(1) 一般符号

用以表示一类产品或此类产品特征的一种通常很简单的符号称为一般符号。如电动机的一般符号为 $\textcircled{*}$,其中 * 号用 M 代替表示电动机,用 G 代替可表

示发电机。

(2) 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。如电动机符号就是由表示装置的符号○要素加上英文名称的字头 M 组成的。符号要素如附表 1-2 所示。

(3) 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。限定符号一般不能单独使用,但它可以使图形符号更具多样性。例如在电阻器一般符号的基础上加上不同的限定符号,则可得到可变电阻器、压敏电阻器、热敏电阻器等。限定符号如附表 1-3 所示。

2. 文字符号

(1) 单字母符号

单字母符号采用拉丁字母将各种电气设备、装置和元器件划分为 23 大类,每大类有一个专用单字母符号表示,如 R 表示电阻器类,Q 表示电力电路的开关器件等。单字母符号如附表 1-4 所示。

(2) 双字母符号

双字母符号是由单字母符号与另一字母组成,其组合形式应以单字母符号在前,另一个字母在后的次序列出。如 GB 表示蓄电池,G 为电源的单字母符号。双字母符号可以较详细和更具体地表述电气设备、装置和元器件的名称。常用双字母符号举例如附表 1-5 所示。

(3) 辅助文字符号

辅助文字符号是用以表示电气设备、装置和元器件以及线路的功能、状态和特征的。通常也是由英文单词的前一、两个字母构成。例如 RD 表示红色(Red),F 表示快速(Fast)。常用辅助文字符号如附表 1-6 所示。

辅助文字符号一般放在基本文字符号的后边,构成组合文字符号,如 Y 是电气操作的机械器件类的基本文字符号,B 是表示制动的辅助文字符号,则 YB 是制动电磁铁的组符号。辅助文字符号也可以单独使用,如 OFF 表示关闭。

(4) 补充文字符号

在电气图和其他电气技术文件中,若基本文字符号和辅助文字符号不够使用,可按文字符号组成规律和下述原则予以补充。

① 在不违背前面所述原则的基础上,可采用国际标准中规定的电气技术文字符号。

② 在优先采用规定的单字母符号、双字母符号和辅助文字符号的前提下,可补充有关的双字母符号和辅助文字符号。

③ 文字符号应按有关电气名词术语国家标准或专业标准中规定的英文术

语缩写而成。基本文字符号不得超过两个字母,辅助文字符号一般不能超过三个字母。

④ 因 I、O 易同 1 和 0 混淆,因此不允许单独作为文字符号使用。

⑤ 文字符号的字母采用拉丁字母大写正体字。

1.2 电气原理图的绘制原则

系统图和框图对于从整体上理解系统或装置的基本组成和主要特征是十分重要的。然而,要达到详细了解电气作用原理,进行电气接线,分析和计算电路特性,还必须有另一种图,这就是电气原理图。

用图形符号并按工作顺序排列,详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系,而不考虑其实际位置的简图,称为电气原理图。如图 1-1 所示。

□ 1.2.1 电气原理图的绘制原则

① 原理图一般分为主电路和辅助电路两部分。主电路就是从电源到电动机通过的路径。辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路及保护电路等,由继电器和接触器的线圈、继电器的触点、接触器的辅助触点、按钮、照明灯、信号灯、控制变压器等电器元件组成。

② 控制系统内的全部电动机、电器和其他器械的带电部件,都应在原理图中表示出来。

③ 原理图中各电器元件不画实际的外形图,而采用国家规定的统一标准图形符号和文字符号。

④ 原理图中各个电气元件和部件在控制线路中的位置,应根据便于读图和功能顺序的原则安排。同一电气元件的各个部分可以不画在一起。例如接触器、继电器的线圈和触点可以不画在一起或一张图上。

⑤ 图中元件、器件和设备的可动部分,都按没有通电和没有外力作用时的开关状态画出。

⑥ 原理图的绘制应布局合理、排列均匀,可以水平布置,也可以垂直布置。

⑦ 电器元件应按功能布置,相关功能器件应尽量画在一起;也可以按工作顺序排列,其布局顺序应该是从上到下,从左到右。电路垂直布置时,类似项目宜横向对齐;水平布置时,类似项目应纵向对齐。例如图 1-1 中,由于线路采用垂直布置,接触器线圈应横向对齐。

⑧ 电气原理图中,有直接联系的十字交叉导线连接点,要用黑圆点表示;无

直接联系的十字交叉导线连接点不画黑圆点。

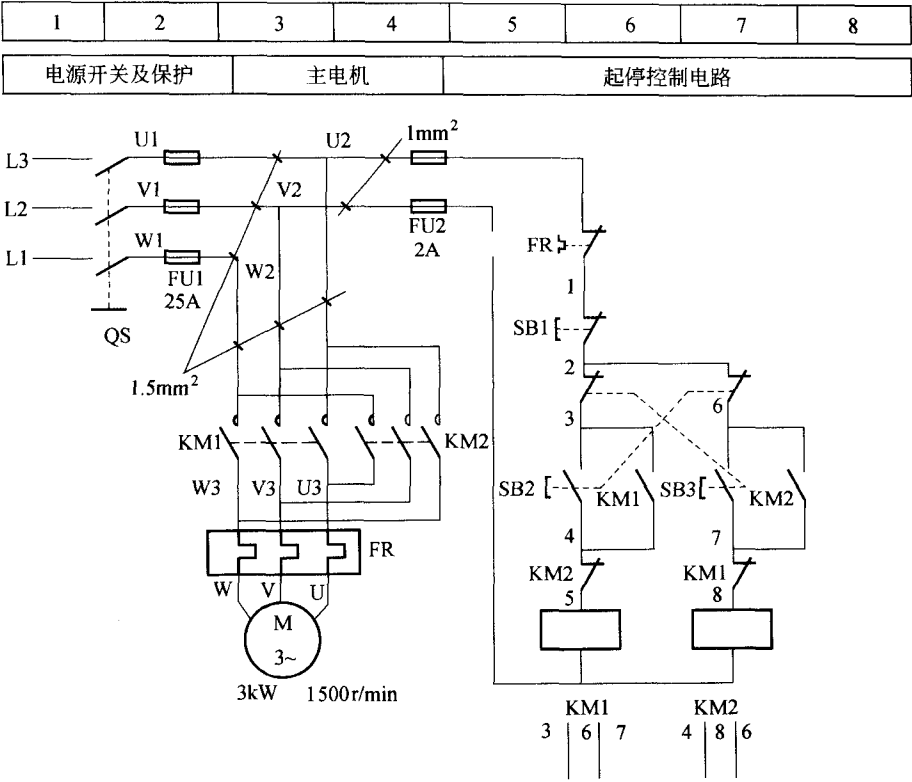


图 1 - 1 三相异步电动机可逆运行电气原理图

□ 1.2.2 图上位置的表示方法

在绘制、阅读和使用电路图时,往往需要确定元件、器件、连接线等的图形符号在图上的位置。在供使用、维护的技术文件(如说明书)中,有时需要对某一元件或器件作注释、说明,为了找到图中相应的元、器件的图形符号,也需要注明这些符号在图上的位置。

图上位置的表示方法采用图幅分区法。图幅分区法是在图的边框处,竖边方向用拉丁字母编号,横边方向用阿拉伯数字编号,编号顺序从左上角为分区编号的起始位置。图幅分区后,相当于在图上建立了一个坐标。项目和连接的位置可用如下方式表示:

- ① 用行的代号表示。
- ② 用列的代号表示。
- ③ 用区的代号表示。区的代号为字母和数字的组合,字母在前,数字在后。

在具体使用时,对水平布置的电路,一般只需要标明行的标记;对垂直布置的电路,一般只需要标明列的标记;复杂的电路需要标明组合标记。如图 1-1 所示中只标明了列的标记。

在图 1-1 中,图区编号下方的“电源开关及保护”等字样,表明它对应的下方元件或电路的功能,使读者能清楚地知道某个元件或某部分电路的功能,以利于理解全部电路的工作原理。

图 1-1 中 KM1 和 KM2 线圈下方的标注

KM1			KM2		
3	6	7	4	8	6

是接触器 KM1 和 KM2 相对应触点的索引。它表示接触器 KM1 的主触点在图区 3,动合辅助触点在图区 6,动断辅助触点在图区 7;接触器 KM2 的主触点在图区 4,动断辅助触点在图区 6,动合辅助触点在图区 8 等。

在电气原理图中,接触器和继电器线圈与触点的从属关系应用附图表示,即在原理图中相应线圈的下方,给出触点的文字符号,并在其下面注明相应触点的索引代号,对未使用的触点用“×”表明,有时也可以省略。

接触器上述表示法中各栏的含义如下:

左栏	中栏	右栏
主触点所在图区号	辅助动合触点所在图区号	辅助动断触点所在图区号

继电器表示方法中各栏的含义如下:

左栏	右栏
动合触点所在图区号	动断触点所在图区号

1.3 电路图的简化

在不致引起混淆的情况下,电路图应尽量予以简化,一般可从以下几个方面对电路图进行简化。

□ 1.3.1 主电路的简化

在发电厂、变电所和工厂控制设备的电路中,主电路通常为三相三线或三相