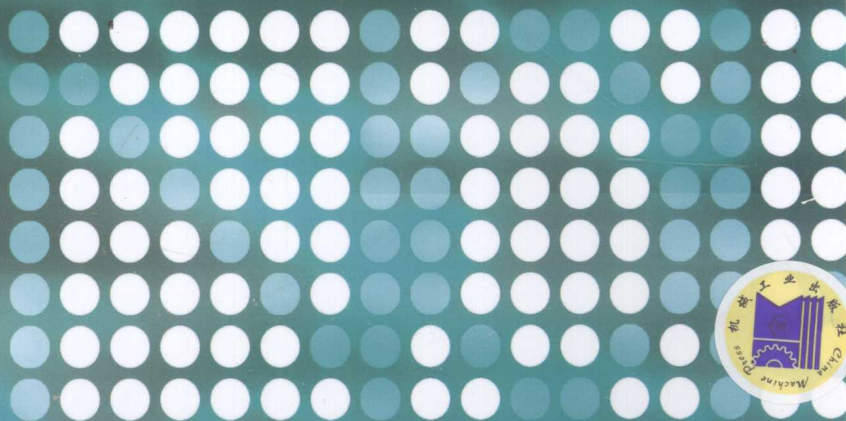





高等职业技术教育机电类专业规划教材

电气控制 与PLC应用技术

王烈准 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件

高等职业技术教育机电类专业规划教材

电气控制与 PLC 应用技术

主 编 王烈准
副主编 黄 敏
参 编 刘荣富 汪良益 孙吴松
主 审 蒋永明



机械工业出版社

本书以职业岗位能力需求为依据,从工程实际应用出发,系统地介绍了工厂电气控制设备的电气控制原理、典型机床控制电路分析及故障排除;同时以应用较为广泛的三菱 FX 系列 PLC 为例,介绍了 PLC 的结构、工作原理、指令系统、程序设计及应用。本书内容包括:常用低压电器、继电-接触器控制电路的基本环节、典型机床电气控制、三菱 FX 系列 PLC 及指令系统、PLC 程序设计和 PLC 控制系统设计六个模块。

本书在内容编排上,既注重介绍电气控制领域的最新技术,又注重高等职业教育对学生知识和能力的培养,强调理论联系实际,着重培养学生的动手能力、分析解决实际问题的能力、工程设计能力和创新意识。

本书是编者在多年从事电气控制与 PLC 及相关领域的教学、教改及科研基础上编写的,内容结构较新颖,采用“模块化”的理论与实践一体化结构体系安排内容,每个模块均包括知识目标、能力目标、理论知识、基本技能训练和综合项目实训,并附有适量的思考题与习题,便于知识和技能的学习。

本书既可作为高职高专机电类、自动化类及电子信息类等专业的教学用书,也可作为应用型本科院校、成人教育、技师学院、函授学院、中职学校等院校相关专业的教材,还可作为电气技术人员的参考工具书及电气行业培训用教材。

为方便教学,本书备电子课件、模拟试卷及习题解答等,凡选用本书作为教材的学校,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379375; Email: cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用技术/王烈准主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 8
高等职业技术教育机电类专业规划教材
ISBN 978-7-111-31203-1

I. ①电… II. ①王… III. ①电气控制 - 高等学校: 技术学校 - 教材
②可编程控制器 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. ① TM571.2 ②
TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 128260 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 于宁 责任编辑: 王宗锋

版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣

封面设计: 鞠杨 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 398 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-31203-1

定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者服务部: (010) 68993821

封面防伪标均为盗版

前 言

本书根据高等职业教育“淡化理论、必需够用、培养技能、重在应用”的原则；以培养电气控制领域高素质技能型人才为目标，结合安徽省教学研究项目“电气控制与 PLC”课程改革研究与实践的成果和工学结合的经验，以职业岗位能力对专业知识的需求确定教材内容体系，以生产实践中的典型设备为导向，在注重基础理论教育的同时，突出技能的培养，力求做到深入浅出、层次分明、详略得当，尽可能体现高职教育的特点。

本书的突出特点是采用“模块化”的理论实践一体化结构体系。为了方便老师教、学生学，以“知识目标、能力目标、理论知识、基本技能训练、综合项目实训”的形式设置每个模块的内容。在教学方法上，建议授课老师根据各校具体情况，既可以采用传统的理论讲授和实践教学分开的形式施教，又可以根据教材特点，采用“以学生为中心”和“以项目为导向”灵活多样的教学方法。课程全程采用讲练结合的教学方式，课程的大部分内容可安排到实训室进行，实现仿真生产环境下的“教、学、做”三位一体教学，实现理论实践一体化（即课堂与实训地点一体化）教学模式，达到“课堂小企业”的教学目标。

本书以模块式结构编排，共有六个模块，包括常用低压电器、继电器-接触器控制电路的基本环节、典型机床电气控制、三菱 FX 系列 PLC 及指令系统、PLC 程序设计和 PLC 控制系统设计。在讲授可编程序控制器时，本书以三菱 FX 系列 PLC 为例，对其指令系统和基本应用做了详细的介绍。通过基本技能训练和综合项目训练等实践教学环节，让学生熟练掌握常用低压电器、典型机床电气控制和 PLC 技术的基础知识，在专业技能上达到对电气控制系统会分析、会安装施工、会调试、会维修、会一般设计的“五会”能力目标。

本书由六安职业技术学院王烈准主编，安徽水利水电职业技术学院蒋永明主审。其中，黄敏编写了模块 1 和模块 3；刘荣富编写了模块 2 和附录；江淮电机股份有限公司汪良益编写了模块 5，并对教材内容体系提出了很多建议；王烈准编写了前言、绪论、模块 4 和模块 6，并对全部书稿进行统稿和定稿。孙吴松参与了附录部分内容的编写和资料的收集整理工作。本书在编写过程中，得到了六安职业技术学院教务处和机电工程系领导的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。编者联系方式：Email: wlzh2006@sina.com。

目 录

前言

绪论	1
模块 1 常用低压电器	3
第一部分 理论知识	3
1.1 低压电器的基本知识	3
1.1.1 低压电器的分类	3
1.1.2 电磁式低压电器的基本结构	3
1.2 接触器	7
1.2.1 交流接触器	7
1.2.2 直流接触器	10
1.2.3 接触器的选用	10
1.2.4 接触器的安装与使用	11
1.3 继电器	11
1.3.1 电磁式继电器的基本知识	11
1.3.2 电磁式电压继电器、电流继电器 与中间继电器	12
1.3.3 时间继电器	14
1.3.4 热继电器	18
1.3.5 速度继电器	21
1.4 熔断器	22
1.4.1 熔断器的结构及工作原理	23
1.4.2 熔断器的保护特性	23
1.4.3 熔断器的主要技术参数及典型 产品	23
1.4.4 熔断器的选用	24
1.5 低压开关和低压断路器	25
1.5.1 低压开关	25
1.5.2 低压断路器	26
1.6 主令电器	29
1.6.1 控制按钮	29
1.6.2 行程开关	29
1.6.3 万能转换开关	31
第二部分 基本技能训练	32
实训项目一 交流接触器的识别与拆装	32
实训项目二 热继电器的调整	33
小结	34
思考题与习题	35

模块 2 继电-接触器控制电路的

基本环节	36
第一部分 理论知识	36
2.1 电气控制系统图的基本知识	36
2.1.1 电气图中的图形符号、文字符号 及接线端子标记	36
2.1.2 电气控制系统图	37
2.2 电气控制电路的基本控制规律	39
2.2.1 单向点动与连续控制	39
2.2.2 可逆运行控制	41
2.2.3 多地联锁控制	42
2.2.4 顺序控制	43
2.2.5 自动往返控制	43
2.3 三相异步电动机起动控制	44
2.3.1 定子绕组串电阻减压起动控制	44
2.3.2 星形-三角形减压起动控制	45
2.3.3 自耦变压器减压起动控制	46
2.3.4 三相绕线转子异步电动机起动控制	46
2.4 三相异步电动机制动控制	47
2.4.1 反接制动控制	47
2.4.2 能耗制动控制	49
2.5 三相异步电动机调速控制	51
2.5.1 三相异步电动机变极调速控制	52
2.5.2 三相异步电动机变频调速控制	53
2.6 电动机控制常用的保护环节	54
2.6.1 短路保护	54
2.6.2 过电流保护	54
2.6.3 过载保护	54
2.6.4 失电压、欠电压保护	55
2.6.5 其他保护	55
第二部分 基本技能训练	55
实训项目一 三相笼型异步电动机单向点动 与连续运行控制	55
实训项目二 三相笼型异步电动机可逆运行 控制	57
实训项目三 三相笼型异步电动机Y- Δ 减压起动控制	59

实训项目四 三相笼型异步电动机能耗 制动控制	61	第二部分 基本技能训练	94
小结	63	实训项目 Z3040 型摇臂钻床电气控制故障 排除	94
思考题与习题	64	小结	96
模块3 典型机床电气控制	66	思考题与习题	97
第一部分 理论知识	66	模块4 三菱FX系列PLC及指令系统 ..	99
3.1 机床电气控制电路分析概述	66	第一部分 理论知识	99
3.1.1 机床电气控制电路分析的内容	66	4.1 可编程序控制器概述	99
3.1.2 机床电气控制电路分析的方法与 步骤	67	4.1.1 可编程序控制器的产生与发展	99
3.2 CA6140 型车床的电气控制	67	4.1.2 PLC 的特点及应用领域	100
3.2.1 CA6140 型车床的主要结构及 控制要求	67	4.1.3 PLC 的分类	101
3.2.2 CA6140 型车床的电气控制电路 分析	68	4.2 PLC 的基本组成及工作原理	103
3.2.3 CA6140 型车床电气控制电路常见 故障分析与检修	70	4.2.1 PLC 的硬件组成	103
3.3 M7120 型平面磨床的电气控制	70	4.2.2 PLC 的软件组成	107
3.3.1 M7120 型平面磨床的主要结构 及控制要求	71	4.2.3 PLC 的工作原理	108
3.3.2 M7120 型平面磨床的电气控制 电路分析	72	4.3 FX 系列 PLC 的编程元件	110
3.3.3 M7120 型平面磨床电气控制电 路常见故障分析与检修	75	4.3.1 输入继电器	111
3.4 Z3040 型摇臂钻床的电气控制	76	4.3.2 输出继电器	112
3.4.1 Z3040 型摇臂钻床的主要结构 及控制要求	76	4.3.3 辅助继电器	112
3.4.2 Z3040 型摇臂钻床的电气控制 电路分析	77	4.3.4 状态继电器	113
3.4.3 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路 常见故障分析与检修	80	4.3.5 定时器	114
3.5 XA6132 型卧式万能铣床的电气控制 ..	81	4.3.6 计数器	116
3.5.1 XA6132 型卧式万能铣床的主要 结构及控制要求	81	4.3.7 数据寄存器	119
3.5.2 电磁离合器	82	4.3.8 指针	119
3.5.3 XA6132 型卧式万能铣床的电气控 制电路分析	83	4.3.9 常数	119
3.5.4 XA6132 型卧式万能铣床电气控制 电路常见故障分析与检修	88	4.4 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	120
3.6 机床电气控制系统故障排除的方法	89	4.4.1 逻辑取和线圈驱动指令 LD、LDI、OUT	120
3.6.1 检修工具和仪器仪表	89	4.4.2 触点串联指令 AND、ANI	121
3.6.2 机床电气控制电路检修步骤	89	4.4.3 触点并联指令 OR、ORI	121
3.6.3 机床电气控制电路检修的方法	90	4.4.4 上升沿检测指令 LDP、 ANDP、ORP	122
		4.4.5 下降沿检测指令 LDF、 ANDF、ORF	123
		4.4.6 脉冲微分指令 PLS、PLF	124
		4.4.7 电路块串并联指令 ANB、ORB	124
		4.4.8 栈指令 MPS、MRD、MPP	125
		4.4.9 主控指令 MC、MCR	126
		4.4.10 置位与复位指令 SET、RST	127
		4.4.11 取反、空操作与程序结束指令 INV、NOP、END	128
		4.5 FX 系列 PLC 的步进指令及编程	129
		4.5.1 顺序控制功能图	129

4.5.2 步进指令	133	6.1 PLC 控制系统设计的内容和步骤	200
4.5.3 步进指令的编程方法	134	6.1.1 PLC 控制系统设计的基本原则	200
4.6 FX 系列 PLC 的主要功能指令及编程	141	6.1.2 PLC 控制系统设计的基本内容	200
4.6.1 功能指令概述	141	6.1.3 PLC 控制系统设计的一般步骤	201
4.6.2 程序流程控制指令	142	6.2 PLC 的选择	203
4.6.3 传送与比较指令	146	6.2.1 PLC 机型的选择	203
4.6.4 算术运算指令	150	6.2.2 PLC 容量的选择	204
4.6.5 程序循环与移位指令	152	6.2.3 I/O 模块的选择	204
4.6.6 区间复位指令	154	6.2.4 电源模块及其他外设的选择	205
4.6.7 功能指令编程举例	155	6.3 PLC 与电源及输入、输出的连接	206
第二部分 基本技能训练	158	6.3.1 FX 系列 PLC 电源的连接	206
实训项目一 基本指令编程练习	158	6.3.2 FX 系列 PLC 输入信号的连接	206
实训项目二 十字路口交通灯的 PLC 控制	162	6.3.3 FX 系列 PLC 输出信号的连接	206
实训项目三 LED 数码显示控制	164	6.4 节省 I/O 点数的方法	207
小结	169	6.4.1 减少输入点数的方法	207
思考题与习题	169	6.4.2 减少输出点数的方法	209
模块 5 PLC 程序设计	173	6.5 PLC 应用中的若干问题	210
第一部分 理论知识	173	6.5.1 对 PLC 某些输入信号的处理	210
5.1 梯形图编程的规则	173	6.5.2 PLC 的安全保护	210
5.1.1 梯形图的特点	173	6.5.3 PLC 的接地要求	211
5.1.2 梯形图的编程规则	174	6.5.4 PLC 的维护与故障诊断	212
5.2 典型单元梯形图分析	175	6.6 PLC 在逻辑控制系统中的应用	214
5.2.1 起动、保持和停止程序	175	6.6.1 带式运输机的 PLC 控制	214
5.2.2 自锁与互锁程序	175	6.6.2 Z3040 型摇臂钻床继电器-接触器控制系统的 PLC 改造	216
5.2.3 延时闭合、延时断开程序	176	6.6.3 装卸料小车多方式运行的 PLC 控制	218
5.2.4 定时时间的扩展	176	6.6.4 PLC 在化学反应过程中的应用	221
5.2.5 闪烁程序的实现	178	第二部分 基本技能训练	224
5.3 PLC 程序设计方法	178	实训项目一 运料小车控制模拟	224
5.3.1 根据继电器控制电路设计梯形图的方法	178	实训项目二 机械手动作的模拟	228
5.3.2 经验设计法	180	第三部分 综合项目 三层电梯的 PLC 控制	230
5.3.3 顺序控制设计法	181	小结	232
第二部分 基本技能训练	189	思考题与习题	232
实训项目一 两种液体混合的控制	189	附录	234
实训项目二 四节传输带的控制	191	附录 A 常用电气简图图形符号及文字符号一览表	234
第三部分 综合项目 智力竞赛抢答器显示系统的 PLC 控制	197	附录 B GX Developer 编程软件的使用方法	238
小结	198	附录 C FX 系列 PLC 功能指令汇总表	246
思考题与习题	198	参考文献	251
模块 6 PLC 控制系统设计	200		
第一部分 理论知识	200		

绪 论

1. 电气控制与 PLC 技术发展概况

电气控制技术是以各类电动机拖动的传动装置与系统为对象，以实现生产过程自动化为目标的控制技术。电气控制系统是其中的主干部分，在国民经济中的许多领域得到了广泛应用，是实现工业生产自动化的重要技术手段。

随着科学技术的不断发展、生产工艺的不断改进，特别是计算机技术的应用，新型控制设备的出现，不断改变着电气控制技术的面貌。在控制方法上，从手动控制发展到自动控制；在控制功能上，从简单控制发展到智能化控制；在操作上，从笨重发展到信息化处理；在控制原理上，从单一的有触点硬接线继电器逻辑控制系统发展到以微处理器或微型计算机为中心的网络化自动控制系统。现代电气控制技术综合应用了计算机技术、微电子技术、检测技术、自动控制技术、智能技术、通信技术和网络技术等先进的科学技术成果。

继电—接触器控制系统至今仍是许多生产机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制系统的基础。它主要由继电器、接触器、按钮和行程开关等组成，由于其控制方式是断续的，故称为断续控制系统，具有控制简单、方便实用、价格低廉、易于维护、抗干扰能力强等优点。但由于其接线方式固定，灵活性差，难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要，且工作频率低，触点易损坏，可靠性差。

以软件手段实现各种控制功能、以微处理器为核心的可编程序控制器（PLC），是 20 世纪 60 年代诞生并开始发展起来的一种新型工业控制装置。它具有通用性强、可靠性高、能适应恶劣的工业环境、指令系统简单、编程简便易学、易于掌握、体积小、维修工作少、现场连接安装方便等一系列优点，正逐步取代传统的继电器控制系统，广泛应用于冶金、采矿、建材、机械制造、石油、化工、汽车、电力、造纸、纺织、装卸、环保等行业的控制中。在自动化领域，可编程序控制器与 CAD/CAM、工业机器人并称为工业自动化的三大支柱，其应用日益广泛。可编程序控制器技术是以硬接线的继电—接触器控制为基础，逐步发展为既有逻辑控制、计时、计数，又有运算、数据处理、模拟量调节、联网通信等功能的控制装置。它可通过数字量或者模拟量的输入、输出满足各种类型机械控制的需要。可编程序控制器及有关外部设备，均按既易于与工业控制系统联成一个整体，又易于扩充其功能的原则设计。可编程序控制器已成为生产机械设备中开关量控制的主要电气控制装置。

2. “电气控制与 PLC 应用技术”课程的性质与教学目标

“电气控制与 PLC 应用技术”是机电类及自动化类专业实践性较强的专业核心课程之一，通常在学习“电工基础”、“电子技术”和“电机及电气控制”课程之后进行讲授。

本课程的主要内容是以电动机及其他执行电器为控制对象，介绍常用低压电器的结构、工作原理、型号、技术参数及选用、电气控制电路的工作原理、典型机床电气控制电路的分析方法与故障排除，着重介绍三菱 FX 系列 PLC 的工作原理、指令系统、程序设计方法和在工业生产中的应用。

通过本课程的学习，应达到以下教学目标：



- 1) 熟悉常用低压电器的结构、工作原理、用途、型号和技术参数，并能正确选用。
- 2) 熟练掌握电气控制电路的基本环节，具有对一般电气控制电路的分析、安装和常见故障排除的能力。
- 3) 掌握典型机床电气控制电路的工作原理、分析方法，初步具有一般故障处理维护的能力。
- 4) 熟悉 PLC 的工作原理和基本组成。
- 5) 熟练掌握 PLC 的指令系统和编程方法。
- 6) 能正确使用和选用 PLC，具有一般程序设计和调试的能力。
- 7) 初步具有继电—接触器控制系统的 PLC 技术改造的能力。
- 8) 能根据生产工艺过程和控制要求，初步具有 PLC 控制系统的设计、调试和维护的能力。

模块1 常用低压电器

知识目标：熟悉常用低压电器的用途、结构、工作原理、型号及技术参数；掌握常用低压电器的功能、用途及电气符号。

能力目标：能正确选择和使用常用低压电器；初步具有常用低压电器的安装和维护的能力。

第一部分 理论知识

1.1 低压电器的基本知识

低压电器是指工作在交流额定电压 1200V 及以下，直流额定电压 1500V 及以下的电路中，实现通断、保护、控制或调节功能的电器设备。低压电器作为基本器件，广泛应用于发电厂、变电所、工矿企业、交通运输等的电力输配电系统和电力拖动控制系统中。

低压电器是构成控制系统最常用的器件，了解它的分类、作用和用途，对设计、分析和维护控制系统都是十分必要的。

1.1.1 低压电器的分类

控制系统和输配电系统中用的低压电器种类繁多，按它所控制的对象分类，可分为低压配电电器和低压控制电器。低压配电电器：用于低压供配电系统中，如低压断路器、低压隔离器等。低压控制电器：用于电气控制电路中，如继电器、接触器等。按它所起作用分类，可分为控制电器、主令电器、保护电器和执行电器。控制电器：用来控制电路的通断，如开关、继电器、接触器等。主令电器：用来发送控制指令以控制其他自动电器的动作，如按钮、主令开关、行程开关等。保护电器：用于对电路和电气设备进行安全保护，如熔断器、热继电器等。执行电器：用来执行某种动作或传动功能，如电磁铁、电磁离合器等。按其动作性质分类，可分为自动控制电器和非自动控制电器。自动控制电器：按照电信号或非电信号的变化而自动动作的电器，如继电器、接触器等。非自动控制电器：由人工直接操作而动作的电器，如按钮、开关等。按其工作原理分类，可分为电磁式电器和非电量控制电器。电磁式电器：根据电磁感应原理工作的电器，如继电器、接触器等。非电量控制电器：依靠外力或非电量的变化而动作的电器，如按钮、温度继电器等。

1.1.2 电磁式低压电器的基本结构

电磁式低压电器是电气控制系统中最常见的低压电器，从其基本结构上看，一般由电磁机构、触头系统和灭弧装置三个部分组成，如图 1-1 所示。



1. 电磁机构

(1) 电磁机构的结构形式 电磁机构是电磁式低压电器的感测部分，其作用是将电磁能转换为机械能，从而带动触头动作，达到接通或分断电路的目的。电磁机构由吸引线圈和磁路两部分组成，其中磁路包括铁心、衔铁和气隙。其工作原理是：当吸引线圈通入一定的电流后，产生磁场，磁通经铁心、衔铁和气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，衔铁即被吸向铁心，从而带动衔铁上的触头动作，完成触头的断开和闭合。电磁机构的结构形式有多种分类

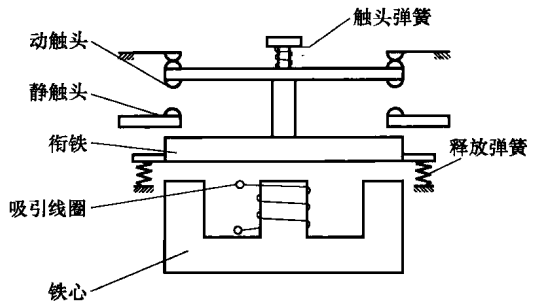


图 1-1 电磁式低压电器的基本结构

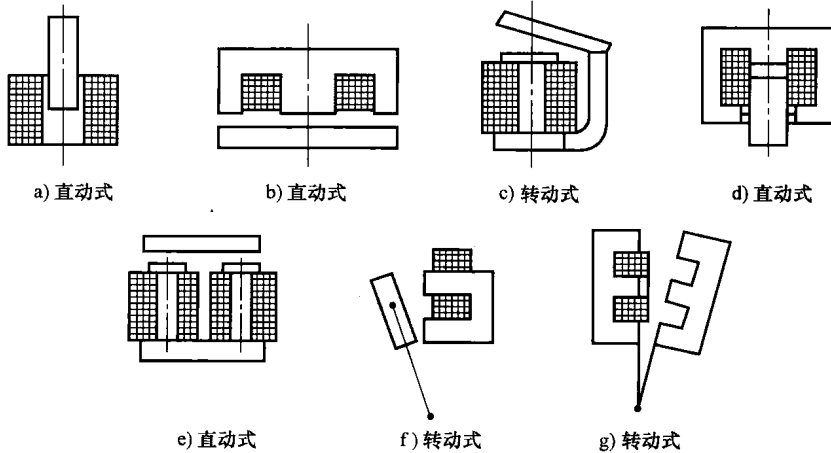


图 1-2 电磁机构的结构形式

方法：按铁心形式分，有单 E 形、单 U 形、螺管形、双 E 形等；按衔铁动作方式分，有直动式和转动式，如图 1-2 所示；根据吸引线圈通电电流的性质不同，可分为直流电磁线圈式和交流电磁线圈式。对于直流电磁线圈式，铁心和衔铁可以用整块电工软钢制成。对于交流电磁线圈式，为了减少因涡流等造成的能量损失和温升，铁心和衔铁用硅钢片叠成。当线圈并联于电路工作时，称为电压线圈，其特点是线圈的匝数多、线径细；当线圈串联于电路工作时，称为电流线圈，其特点是线圈的匝数少、线径粗。

(2) 电磁机构的工作原理 电磁机构的工作原理常用吸力特性和反力特性来描述，如图 1-3 所示。

吸力特性：是指电磁吸力随衔铁与铁心间气隙 δ 变化的关系曲线。

反力特性：是指反作用力 F_r （使衔铁释放的力）与气隙 δ 的关系曲线。

在衔铁吸合过程中，其吸力特性必须始终处于反力特性上方，即吸力要大于反力；反之衔铁释放时，吸力特性必须位于反力特性下方，即反力要大于吸力（此时的吸力是由剩磁产生的）。在吸合过程中还须注意吸力特性位于反力特性上方不能太高，否则会影响到电

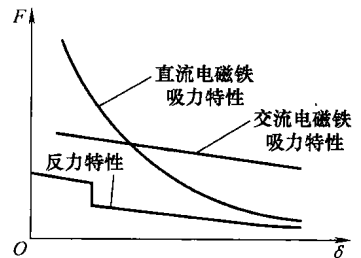


图 1-3 电磁机构的吸力特性与反力特性

磁机构的寿命。

直流电磁线圈通入的是恒定的直流电流，即在外加电压和线圈电阻 R 一定的条件下其电流值 I 也一定，与空气气隙的大小无关。但作用在衔铁上的吸力 F 却与空气气隙 δ 的大小有关。当衔铁刚起动时，气隙最大，此时磁路中磁阻最大，磁感应强度较小，故吸力最小；当衔铁完全吸合后，气隙最小，此时磁路中磁阻最小，磁感应强度较大，吸力最大。

交流电磁线圈通入的是交变电流，磁感应强度为交变量，其产生的吸力为脉动值。由于吸力是脉动的，使得衔铁以两倍的电源频率振动，既会引起噪声，又会使电器结构松散、触头接触不良，容易被电弧火花熔焊与蚀损。因此，必须采取有效措施，使线圈在交流电变小时和过零时仍有一定的电磁吸力，从而消除衔铁的振动。为此，在铁心的部分端面上嵌入一个铜环，称为短路环（或分磁环），如图 1-4 所示。

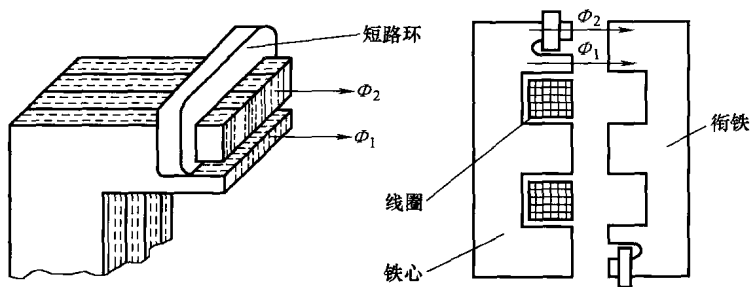


图 1-4 交流电磁机构的短路环

当铁心的主磁通发生变化时，由于在短路环中产生感应电流和磁通，将阻碍主磁通的变化，使得铁心两部分中的磁通之间产生相位差，因而铁心各部分的磁通不会同时降为零，铁心一直具有一定的电磁吸力，这就消除了衔铁的振动，也除去了噪声。

交流电磁机构刚起动时，气隙最大，磁阻最大，电感和感抗最小，因而这时的电流最大；在吸合过程中，随着气隙的减小，磁阻减小，线圈电感和感抗增大，电流逐渐减小；当衔铁完全吸合后，电流为最小。在衔铁起动时，线圈的电流虽为最大，但这时的磁阻要增大几百倍，而线圈的电流受到漏阻抗的限制，不能增加相应的倍数，因此磁动势的增加小于磁阻的增加，于是磁通、磁感应强度小，吸力较小。当衔铁吸合后，磁阻减小较多，磁动势减小较小，于是磁通、磁感应强度增大，吸力增大。

交流电磁机构工作时，衔铁与铁心之间一定要吸合好。如果由于某种机械故障，使衔铁或机械可动部分被卡住，通电后衔铁吸合不上，线圈中会流过超过额定值的较大电流，将使线圈严重发热，甚至烧坏。

2. 触头系统

触头是电器的执行机构，它在衔铁的带动下起接通和分断电路的作用。在闭合状态下，动、静触头完全接触，并有工作电流通过时，称为电接触。电接触的情况将影响触头的工作可靠性和使用寿命。影响电接触状况的主要因素是触头的接触电阻。若接触电阻过大，则容易使触头发热而温度升高，从而使触头产生熔焊现象，这样既影响工作可靠性又降低触头的寿命。触头的接触电阻不仅与触头的接触形式有关，还与接触压力、触头材料及触头的表面



状况有关。减小接触电阻的方法有：①触头材料选用电阻率小的材料；②增加触头的接触压力；③改善触头表面状况。

触头接触形式有点接触、面接触和线接触三种，如图 1-5 所示。点接触式适用于小电流的场合；面接触式适用于大电流的场合；线接触式（又称指形接触）适用于通断次数多、大电流的场合。

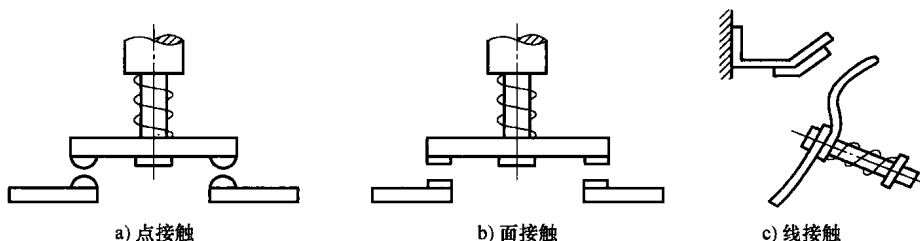


图 1-5 触头的三种接触形式

触头按其运动情况分为动触头和静触头，如图 1-6 所示。固定不动的称为静触头，由连杆带着移动的称为动触头。接触头控制的电路分为主触头和辅助触头。主触头用于接通和断开主电路，允许通过较大的电流；辅助触头用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。接触头的原始状态可分为常开触头和常闭触头。在电器未通电或没有受到外力作用时处于闭合位置的触头称为常闭（又称动断）触头；常态时相互分开的触头称为常开（又称动合）触头。接触头的结构形式可分为桥式触头和指形触头。

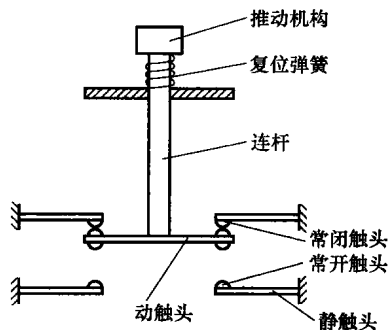


图 1-6 触头的分类

3. 电弧的产生和灭弧方法

电弧是在触头由闭合状态过渡到断开状态的过程中产生的，是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象，是一种带电质子的急流。电弧的特点是外部有白炽弧光，内部有很高的温度和密度很大的电流。电弧产生的原因主要有强电场放射、撞击电离、热电子发射、高温游离等。

灭弧的基本方法有：①拉长电弧，从而降低电场强度；②用电磁力使电弧在冷却介质中运动，降低弧柱周围的温度；③将电弧挤入绝缘壁组成的窄缝中以冷却电弧；④将电弧分成许多串联的短弧，增加维持电弧所需的临界电压降。常用的灭弧装置有电动力吹弧、磁吹灭弧、栅片灭弧、窄缝灭弧等，分别如图 1-7、图 1-8、图 1-9 和图 1-10 所示。

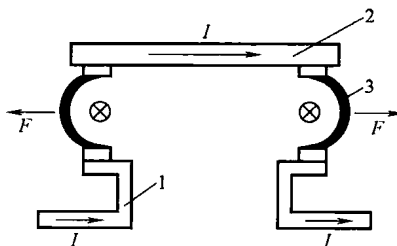
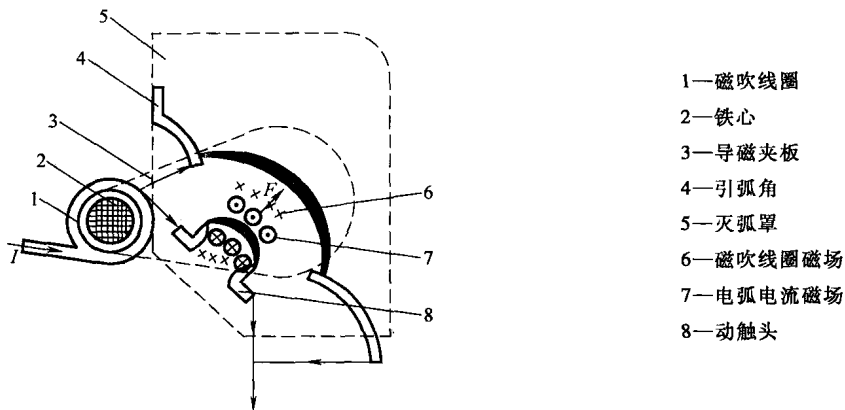


图 1-7 电动力吹弧

1—静触头 2—动触头 3—电弧



- 1—磁吹线圈
- 2—铁心
- 3—导磁夹板
- 4—引弧角
- 5—灭弧罩
- 6—磁吹线圈磁场
- 7—电弧电流磁场
- 8—动触头

图 1-8 磁吹灭弧原理

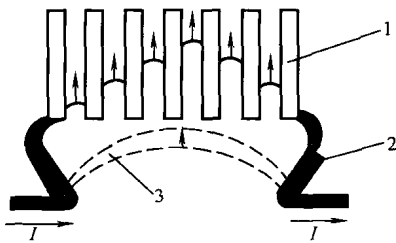


图 1-9 栅片灭弧示意图

- 1—灭弧栅片
- 2—触头
- 3—电弧

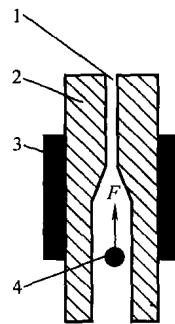


图 1-10 窄缝灭弧示意图

- 1—纵缝
- 2—介质
- 3—磁性夹板
- 4—电弧

1.2 接触器

接触器是一种自动接通或断开大电流电路的电器，可以频繁地接通或断开交直流电路，并可实现远距离控制。其主要控制对象是电动机，也可用于控制电热设备、电焊机、电容器组等其他负载，具有低电压释放保护功能。接触器具有控制容量大、过载能力强、寿命长、设备简单经济等特点，是电力拖动自动控制电路中使用最广泛的低压电器。按照主触头所控制电路的电流性质种类，接触器可分为交流接触器和直流接触器两类；按操作方式可分为电磁接触器、气动接触器和电磁气动接触器；按灭弧介质可分为空气电磁式接触器、油浸式接触器和真空接触器等；按电磁机构的励磁方式可分为直流励磁操作与交流励磁操作两种。

1.2.1 交流接触器

1. 交流接触器的结构与工作原理

交流接触器主要由电磁机构、触头系统、灭弧装置等组成。交流接触器的结构示意图如图 1-11 所示。

电磁机构由线圈、静铁心和动铁心（衔铁）组成，其作用是将电磁能转换为机械能，



产生电磁吸力带动触头动作。触头系统包括主触头和辅助触头。主触头用于通断主电路，通常为三对常开触头；辅助触头用于控制电路，起电气联锁作用，故又称为联锁触头，一般有常开、常闭触头各两对。容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用电动力吹弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧。对于大容量的接触器，采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧装置灭弧。除了电磁机构、触头系统和灭弧装置以外，交流接触器还有其他部件，主要包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构及外壳等。

电磁式接触器的工作原理：当电磁线圈通电后，线圈电流产生磁场使静铁心产生电磁吸力吸引衔铁，并带动触头动作，使常闭触头断开、常开触头闭合，两者是联动的。当电磁线圈断电时，电磁力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触头复原，即常开触头断开、常闭触头闭合。

2. 交流接触器的分类

交流接触器的种类很多，其分类方法也不尽相同，大致有以下几种。

1) 按主触头极数分，可分为单极、双极、三极、四极和五极接触器。单极接触器主要用于单相负载，如照明负荷、电焊机等；双极接触器用于绕线转子异步电动机的转子回路中，启动时用于短接起动绕组；三极接触器用于三相负荷，例如在电动机的控制场合，使用最为广泛；四极接触器主要用于三相四线制的照明电路，也可用来控制双回路电动机负载；五极交流接触器用来组成自耦补偿起动器或控制笼型异步电动机，以变换绕组接法。

2) 按灭弧介质分，可分为空气式接触器和真空式接触器等。依靠空气绝缘的接触器常用于一般负载，而采用真空绝缘的接触器则常用在煤矿、石油、化工企业及电压为 660V 和 1140V 等的一些特殊场合。

3) 按有无触头分，可分为有触头接触器和无触头接触器。常见的接触器多为有触头接触器，而无触头接触器属于电子技术应用的产物，一般采用晶闸管作为回路的通断器件。由于晶闸管导通时所需的触发电压很小，而且回路通断时无火花产生，因而可用于高操作频率的设备和易燃、易爆、无噪声的场合。

3. 交流接触器的基本参数

(1) 额定电压 指主触头的额定工作电压，应等于负载的额定电压。一只接触器常规定几个额定电压，同时列出相应的额定电流或控制功率。常用的额定电压值为 220V、380V、660V 等。

(2) 额定电流 接触器主触头在额定工作条件下的电流值。常用额定电流等级为 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A 和 600A。

(3) 通断能力 可分为最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触头闭合时不会造成触头熔焊的最大电流值；最大分断电流是指触头断开时可靠灭弧的最大电流。一般

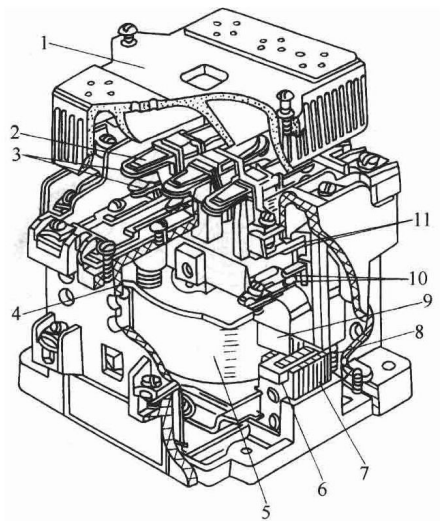


图 1-11 交流接触器的结构示意图

- 1—灭弧罩 2—触头压力弹簧片 3—主触头
4—反作用弹簧 5—线圈 6—短路环 7—静铁心
8—触头弹簧 9—动铁心 10—辅助常开触头 11—辅助常闭触头

通断能力是额定电流的5~10倍。当然，这一数值与开断电路的电压等级有关，电压越高，通断能力越小。

(4) 动作值 可分为吸合电压和释放电压。吸合电压是指接触器吸合前，缓慢增加吸合线圈两端的电压，接触器可以吸合时的最小电压。释放电压是指接触器吸合后，缓慢降低吸合线圈的电压，接触器释放时的最大电压。一般规定，吸合电压不低于线圈额定电压的85%，释放电压不高于线圈额定电压的70%。

(5) 吸引线圈额定电压 接触器正常工作时，吸引线圈上所加的电压值。一般该电压数值以及线圈的匝数、线径等数据均标于线包上，而不是标于接触器外壳铭牌上，使用时应加以注意。

(6) 操作频率 接触器在吸合瞬间，吸引线圈需消耗比额定电流大5~7倍的电流，如果操作频率过高，则会使线圈严重发热，直接影响接触器的正常使用。为此，规定了接触器的允许操作频率，一般为每小时允许操作次数的最大值。

(7) 寿命 包括电气寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命已达到一千万次以上，电气寿命约为机械寿命的5%~20%。

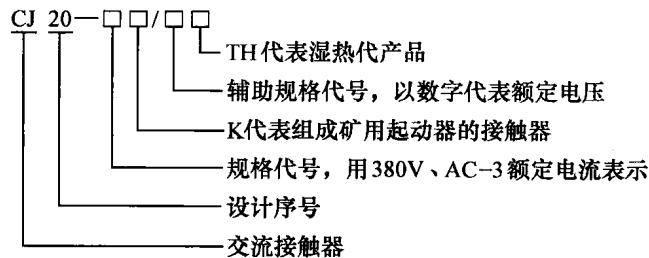
4. 常用典型交流接触器

(1) 空气电磁式交流接触器 典型产品有CJ20、CJ21、CJ26、CJ35、CJ40、NC、B、LC1—D、3TB、3TF系列交流接触器等。

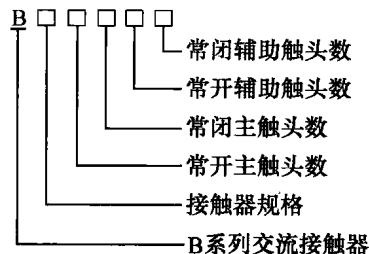
(2) 切换电容器接触器 专用于低压无功补偿设备中投入或切除并联电容器组，以调整用电系统的功率因数。

常用产品有CJ16、CJ19、CJ39、CJ41、CJX2A、CJX4、6C系列等。

CJ20系列型号含义：



B系列型号含义：



(3) 真空交流接触器 以真空为灭弧介质，其主触头密封在真空开关管内。它可用于条件恶劣的危险环境中。常用的真空交流接触器有3RT12、CKJ和EVS系列等。

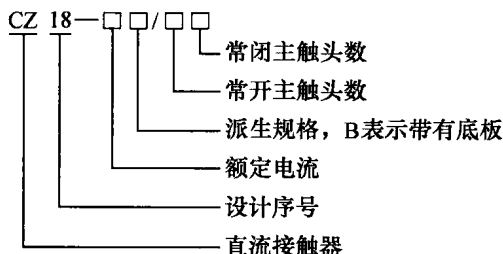


1.2.2 直流接触器

直流接触器主要应用于远距离接通与分断直流电路及直流电动机的频繁起动、停止、反转或反接制动控制，还用于 CD 系列电磁操作机构合闸线圈、频繁接通和断开电磁铁、电磁阀、离合器和电磁线圈等。直流接触器的结构与交流接触器基本相同，也由电磁机构、触头系统和灭弧装置组成。电磁机构采用沿棱角转动拍合式铁心，由于线圈中通入直流电流，铁心不会产生涡流，因此可用整块铸铁或铸钢制成铁心，不需要短路环。触头系统有主触头和辅助触头，主触头通断电流大，采用滚动接触的指形触头；辅助触头通断电流小，采用点接触的桥式触头。由于直流电弧比交流电弧更难以熄灭，故直流接触器多采用磁吹式灭弧装置和石棉水泥灭弧罩。直流接触器通入的是直流电，吸合时没有冲击起动电流，不会产生猛烈撞击现象，因此使用寿命长，适用于频繁操作的场合。

常用直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22、CZ0 和 CZT 系列等。

CZ18 系列接触器型号含义：



接触器的符号如图 1-12 所示。

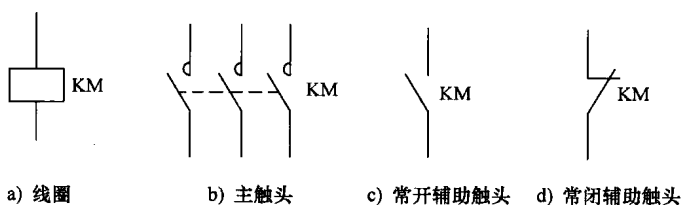


图 1-12 接触器的符号

1.2.3 接触器的选用

1) 接触器极数和电流种类的确定。接触器的极数根据用途确定，接触器的类型应根据电路中负载电流的种类来选择。

2) 根据接触器所控制负载的工作任务来选择相应的接触器。

3) 根据负载功率和操作情况来确定接触器主触头的电流等级。

应根据控制对象类型和使用场合，合理选择接触器主触头的额定电流。当控制电阻性负载时，主触头的额定电流应等于负载的额定电流。当控制电动机时，主触头的额定电流应大于或稍大于电动机的额定电流。当接触器使用在频繁起动、制动及正反转的场合时，应将主触头的额定电流降低一个等级使用。

4) 根据接触器主触头接通与分断主电路的电压等级来决定接触器的额定电压。

所选接触器主触头的额定电压应大于或等于控制电路的电压。