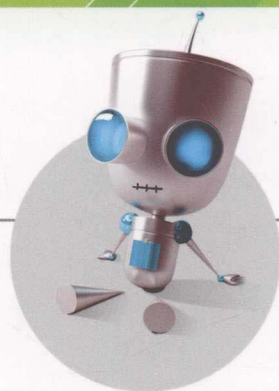




普通高等教育“十三五”规划教材
电气工程、自动化专业规划教材

电气控制与PLC应用 (第4版)

◆ 陈建明 王亭岭 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

业规划教材

电气控制与 PLC 应用

(第 4 版)

主 编 陈建明 王亭岭
副主编 孙 标 赵明明 郭香静
参 编 熊军华 白 磊 王成凤

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书由3部分组成。第一部分由第1~2章组成,介绍电气控制中常用的低压电器、典型控制线路、典型电气控制系统分析和设计方法。第二部分由第3~6章组成,介绍可编程控制器基础,以西门子公司S7-200型PLC为重点,介绍西门子S7系列可编程控制器结构原理、指令系统及其应用、控制系统程序分析和设计方法。第三部分由第7~9章组成,介绍可编程控制器的通信与网络控制、与变频器结合在电气传动系统中的应用。

本书可作为高等院校自动化、电气技术及相近专业的“现代电气控制”或类似课程的本科生教材,也可作为专科层次相关专业类似课程的教材,并可作为电子技术、电气技术、自动化技术工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与PLC应用 / 陈建明,王亭岭主编. — 4版. — 北京:电子工业出版社,2019.1

电气工程、自动化专业规划教材

ISBN 978-7-121-35682-7

I. ①电… II. ①陈… ②王… III. ①电气控制—高等学校—教材②PLC技术—高等学校—教材 IV. ①TM571.2
②TM571.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第277296号

策划编辑:凌毅

责任编辑:凌毅

印刷:三河市华成印务有限公司

装订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开本:787×1092 1/16 印张:20.75 字数:558千字

版次:2006年8月第1版

2019年1月第4版

印次:2019年1月第1次印刷

定价:49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254528,lingyi@phei.com.cn。

第 4 版前言

电气控制与 PLC 应用是综合了继电器-接触器控制、计算机技术、自动控制技术和通信技术的新兴技术,应用十分广泛。由于电气控制与可编程控制器本起源于同一体系,只是发展的阶段不同,在理论和应用上是一脉相承的。因此,本书在编写过程中力求做到:

(1) 注重实际。精选传统电器及继电器-接触器控制内容,删除应用越来越少的电机扩大机及其控制系统、磁放大器和顺序控制器的内容,大幅度增加应用越来越广泛的可编程序控制器的内容,这是本书的一个特点。

(2) 强调应用。着重介绍常用低压电器、电气控制基本线路、典型生产机械电气控制线路、可编程序控制器实际应用线路,包括采用可编程序控制器对电动机进行控制的多种实用基本线路,这就把电动机的继电器-接触器控制和 PLC 控制两种线路对应起来,这是本书的另一个特点。

(3) 方便教学。尽可能深入浅出,通俗易懂,附有实验指导书、课程设计指导书、课程设计任务书,同时针对以往在组织教学时,有些课程重复介绍可编程序控制器相关知识的情况,在本书中较全面、系统地介绍了可编程序控制器及其应用技术,这不仅节省学时,而且也是进行教学改革与课程建设的有益尝试。鉴于上述这些特点,本书也便于有一定电气技术基础的人员自学。

为了适应教学、科研需要,我们对 2014 年出版的《电气控制与 PLC 应用(第 3 版)》进行了全面的修订。本次修订,除保持本书深入浅出、系统性强、富有工程性及便于自学的特点外,删除了第 1 章中的 1.7 节“低压电器的产品型号”,补充、修正了第 2 章中的部分图表,缩编、简化了第 9 章“PLC 与电气传动系统”的内容,并对全书案例、习题和部分描述做了全面的补充与修正,力求奉献给读者一本更专业、较完美的西门子 S7 系列 PLC 教科书。

本书可作为高等院校本科自动化、电气技术及相近专业的“现代电气控制”或类似课程的教材,也可作为各类院校专科层次相关专业类似课程的选用教材,并可作为电子技术、电气技术、自动化技术工程技术人员的参考书。

本书提供配套的电子课件和习题参考解答,可登录华信教育资源网 www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

本书由陈建明、王亭岭担任主编,孙标、赵明明、郭香静担任副主编,熊军华、白磊和王成凤参编。具体分工如下:第 1、2 章和 5.1 节、5.2 节由陈建明编写;第 4 章和 5.3 节、7.4 节由王亭岭编写;第 3、8 章由孙标编写;6.5~6.6 节和实验指导书由熊军华编写;6.1~6.4 节和课程设计指导书、课程设计任务书由郭香静编写;7.1~7.3 节、9.1~9.2 节由白磊编写;9.3~9.4 节、附录 A~C 由赵明明和王成凤编写;全书由陈建明和王亭岭统稿、定稿。本书由陕西科技大学王孟效教授审阅。

本书在编写过程中,参考了兄弟院校的资料及其他相关教材,并得到许多同仁的关心和帮助,在此谨致谢意。

限于篇幅及编者的业务水平,书中难免有局限和欠妥之处,竭诚希望同行和读者赐予宝贵的意见。

编者
2018 年 9 月

目 录

绪论	1	2.1.2 电气原理图	39
第 1 章 常用低压控制电器	3	2.1.3 电气元件布置图	41
1.1 概述	3	2.1.4 电气安装接线图	42
1.1.1 电器的分类	3	2.2 三相异步电动机的启动控制	43
1.1.2 电力拖动自动控制系统中常用的低压控制电器	4	2.2.1 三相笼型电动机直接启动控制	43
1.1.3 我国低压控制电器的发展概况	4	2.2.2 三相笼型电动机减压启动控制	45
1.2 接触器	6	2.2.3 三相绕线转子电动机的启动控制	49
1.2.1 结构和工作原理	6	2.3 三相异步电动机的正、反转控制	52
1.2.2 交、直流接触器的特点	9	2.4 三相异步电动机的调速控制	53
1.2.3 接触器的主要技术参数与选用原则	10	2.4.1 三相笼型电动机的变极调速控制	53
1.3 继电器	12	2.4.2 绕线转子电动机转子串电阻的调速控制	54
1.3.1 电磁式继电器	12	2.4.3 电磁调速异步电动机的控制	55
1.3.2 热继电器	14	2.5 三相异步电动机的制动控制	56
1.3.3 时间继电器	17	2.5.1 三相异步电动机反接制动控制	57
1.3.4 速度继电器	19	2.5.2 三相异步电动机能耗制动控制	57
1.4 熔断器	20	2.5.3 三相异步电动机电容制动控制	59
1.4.1 熔断器的工作原理	20	2.6 其他典型控制环节	59
1.4.2 熔断器的选用	21	2.6.1 多地点控制	60
1.5 低压开关和低压断路器	23	2.6.2 多台电动机先后顺序控制	60
1.5.1 低压断路器	23	2.6.3 自动循环控制	61
1.5.2 漏电保护器	24	2.7 电气控制线路的设计方法	62
1.5.3 低压隔离器	26	2.7.1 经验设计法	62
1.6 主令电器	30	2.7.2 逻辑设计法	67
1.6.1 按钮	30	习题与思考题	72
1.6.2 位置开关	30	第 3 章 可编程控制器基础	74
1.6.3 凸轮控制器与主令控制器	32	3.1 可编程控制器概述	74
习题与思考题	33		
第 2 章 电气控制线路的基本原则和基本环节	34		
2.1 电气控制线路的绘制	34		
2.1.1 电气控制线路常用的图形、文字符号	34		

3.1.1 可编程控制器的产生与发展	74	4.4.6 程序的调试及运行监控	107
3.1.2 可编程控制器的特点	76	习题与思考题	108
3.2 可编程控制器的组成	76	第5章 S7-200 PLC的指令系统	109
3.2.1 中央处理单元(CPU)	77	5.1 S7-200 PLC编程基础	109
3.2.2 存储器单元	77	5.1.1 编程语言	109
3.2.3 电源单元	78	5.1.2 数据类型	110
3.2.4 输入/输出单元	78	5.1.3 存储器区域	112
3.2.5 接口单元	78	5.1.4 寻址方式	116
3.2.6 外部设备	79	5.1.5 用户程序结构	118
3.3 可编程控制器的工作原理	80	5.1.6 编程的一般规则	119
3.3.1 可编程控制器的等效电路	80	5.2 S7-200 PLC的基本指令及编程方法	119
3.3.2 可编程控制器的工作过程	81	5.2.1 基本逻辑指令	121
3.4 可编程控制器的硬件基础	82	5.2.2 立即操作指令	126
3.4.1 可编程控制器的I/O模块	82	5.2.3 复杂逻辑指令	127
3.4.2 可编程控制器的配置	84	5.2.4 取非触点指令和空操作指令	130
3.5 可编程控制器的软件基础	85	5.2.5 定时器和计数器指令	130
3.5.1 系统监控程序	85	5.2.6 顺序控制继电器指令	137
3.5.2 用户应用程序	86	5.2.7 移位寄存器指令	138
3.6 可编程控制器的性能指标及分类	87	5.2.8 比较指令	143
3.6.1 可编程控制器的性能指标	87	5.3 S7-200 PLC的功能指令及编程方法	145
3.6.2 可编程控制器的分类	88	5.3.1 数学运算指令	145
习题与思考题	89	5.3.2 逻辑运算指令	152
第4章 S7-200 PLC的系统配置与开发环境	90	5.3.3 其他数据处理指令	155
4.1 S7-200 PLC系统的基本组成	90	5.3.4 转换指令	157
4.2 S7-200 PLC的接口模块	94	5.3.5 表功能指令	162
4.2.1 数字量I/O模块	94	5.3.6 程序控制指令	165
4.2.2 模拟量I/O模块	97	5.3.7 特殊指令	169
4.2.3 智能模块	98	习题与思考题	174
4.3 S7-200 PLC的系统配置	102	第6章 可编程控制器系统设计与应用	177
4.3.1 S7-200 PLC的基本配置	102	6.1 PLC控制系统设计	177
4.3.2 S7-200 PLC的扩展配置	102	6.1.1 PLC控制系统设计的基本原则	177
4.3.3 内部电源的负载能力	103	6.1.2 PLC控制系统设计的内容	177
4.4 STEP 7-Micro/WIN开发环境简介	104	6.1.3 PLC控制系统设计的一般步骤	179
4.4.1 系统要求	104	6.2 PLC控制系统硬件配置	179
4.4.2 硬件连接	104		
4.4.3 设置和修改PLC通信参数	105		
4.4.4 软件功能与界面	105		
4.4.5 程序文件来源	106		

6.2.1	PLC 的选型	180	7.3.1	网络指令及应用	230
6.2.2	I/O 地址分配	181	7.3.2	自由口指令及应用	234
6.2.3	响应时间	181	7.4	自由口模式下 PLC 与计算机 的通信	241
6.3	PLC 控制系统软件设计	182	7.4.1	自由口模式下 PLC 串行 通信编程要点	241
6.3.1	经验设计法	182	7.4.2	自由口模式下 PLC 与计算机 通信应用实例	244
6.3.2	逻辑设计法	182	习题与思考题	256	
6.3.3	顺序功能图法	182			
6.4	PLC 应用程序的典型环节及 设计技巧	184	第 8 章 基于 SIMATIC S7 的工业 网络	257	
6.4.1	PLC 应用程序的典型环节	184	8.1	概述	257
6.4.2	PLC 控制程序的设计技巧	191	8.2	MPI 网络	260
6.5	PLC 在工业控制中的应用	193	8.2.1	全局数据通信	261
6.5.1	4 台电动机的顺序启动、停止 控制	193	8.2.2	S7 基本通信	264
6.5.2	电动机 Y- Δ 减压启动控制	197	8.2.3	MPI 网络实现 S7 通信	266
6.5.3	节日彩灯的 PLC 控制	198	8.2.4	MPI 网络的其他通信功能	268
6.5.4	十字路口交通信号灯的 PLC 控制	201	8.3	Profibus 网络	268
6.5.5	造纸厂碱回收蒸发工段 PLC 控制	205	8.3.1	Profibus 网络简介	268
6.6	提高 PLC 控制系统可靠性的 措施	207	8.3.2	Profibus 光缆通信网络	269
6.6.1	PLC 安装的环境条件	207	8.3.3	Profibus 的总线存取技术	269
6.6.2	抗干扰措施	208	8.3.4	Profibus-DP 总线的设备 分类	270
6.6.3	PLC 系统的故障检查	210	8.3.5	Profibus-DP 网络组态	271
6.6.4	PLC 系统的试运行与维护	211	8.3.6	Profibus 网络中的其他 通信	275
习题与思考题		212	8.4	工业以太网	275
			8.4.1	网络方案	276
			8.4.2	网络部件	276
			8.4.3	网卡和通信处理器	277
			8.4.4	工业以太网的 STEP 7 组态	277
			8.4.5	PROFINET 简介	279
			习题与思考题	279	
第 7 章 S7-200 可编程控制器的通信与 网络		213	第 9 章 PLC 与电气传动系统	280	
7.1	通信及网络基础	213	9.1	电气传动系统简述	280
7.1.1	数据通信方式	213	9.2	直流拖动系统简述	280
7.1.2	网络概述	217	9.3	交流拖动系统及 MM440 变频器	283
7.2	S7-200 系列 PLC 的网络类型 及配置	220	9.3.1	MM440 变频器的外部端口	284
7.2.1	PLC 网络类型	220	9.3.2	MM440 变频器参数简介	285
7.2.2	通信协议	220			
7.2.3	通信设备	222			
7.2.4	S7-200 PLC 组建的几种 典型网络	226			
7.2.5	通信参数的设置	228			
7.2.6	S7-200 的参数设置	229			
7.3	S7-200 网络及应用	230			

9.3.3 变频器的参数组	286	附录 A 特殊寄存器(SM)标志位	300
9.3.4 外部设备与变频器内部参数的 关联	287	附录 B 错误代码信息	304
9.3.5 MM440 变频器的 USS 通信 ...	288	附录 C S7-200 可编程控制器指令集 ...	307
9.4 MM440 变频器与 S7-200 PLC 的 系统组成及应用	289	附录 D 实验指导书	312
9.4.1 几种常见控制系统的拓扑 结构	289	附录 E 课程设计指导书	319
9.4.2 应用举例	292	附录 F 课程设计任务书	320
习题与思考题	299	参考文献	323

绪 论

工业生产的各个领域,无论是过程控制系统还是传动控制系统,都包含着大量的开关量和模拟量。开关量也称数字量,如电动机的启停、电灯的亮灭、阀门的开闭、电子线路的置位与复位、计时、计数等;模拟量也称连续量,如不断变化的温度、压力、速度、流量、液位等。

从生产机械所应用的电器与控制方法看,最初是采用一些手动电器来控制执行电器,这类手动控制适用于一些容量小、操作单一的场所。随后发展为采用自动控制电器的继电器-接触器控制系统。这种控制系统主要由一些继电器、接触器、按钮、行程开关等组成,其特点是结构简单,价格低廉,维护方便,抗干扰强,因此广泛应用于各类机械设备上。采用继电器-接触器控制系统,不仅可以方便地实现生产过程自动化,而且还可以实现集中控制和远距离控制。目前,继电器-接触器控制仍然是最基本的电气控制形式之一。但由于该控制形式是固定接线,通用性和灵活性差,又由于采用有触点的开关动作,工作频率低,触点易损坏,可靠性差。

随着生产力的发展和科学技术的进步,人们对所用控制设备不断提出新的要求。在实际生产中,由于大量存在一些以开关量控制的程序控制过程,而生产工艺及流程经常变化,因而应用前述的继电器-接触器控制电路,就不能满足这种需要了。于是由集成电路组成的顺序控制器应运而生,它具有程序变更容易、程序存储量大、通用性强等优点。

20世纪60年代,出现了板式顺序控制器 SC(Sequence Controller)。所谓顺序控制,是以预先规定好的时间或条件为依据,按预先规定好的动作次序,对控制过程各阶段顺序地进行以开关量为主的自动控制。曾经流行的顺序控制器主要有3种类型:基本逻辑型、条件步进型和时间步进型。其特点是:通用性和灵活性强,通过更改程序可以很方便地适应经常更改的控制要求,容易对大型、复杂系统进行控制,但程序的实现和更改方式并没有从本质上改变,仍然是对硬件进行设置和更改。

1969年,出现了可编程逻辑控制器 PLC(Programmable Logic Controller),它是计算机技术与继电器-接触器控制技术相结合的产物,具有逻辑控制、定时、计数等功能,并取代了继电器-接触器控制。PLC采用计算机存储程序和顺序执行的原理;编程语言采用直观的类型继电器-接触器控制电路图的梯形图语言,这使得控制现场的工作人员可以很容易地学习和使用。控制程序的更改可以通过直接改变存储器中的应用软件来实现,由于软件的更改极易实现,从而在实现方式上有了本质的飞跃,其通用性和灵活性进一步增强。

20世纪70年代,出现了以一位微处理器为核心的可编程序控制器,又称为工业控制单元 ICU(Industrial Control Unit)。它是基于逻辑型和步进型顺序控制器的工作原理和目的而开发的,专门应用于工业逻辑控制的微处理器,并组成以ICU为核心的可编程序顺序控制器。它将原来顺序控制器中程序的编制和执行改由计算机软件来实现,成为一种新型的工业控制装置,在顺序控制领域开辟了新的途径。

1980年前后,出现了可编程控制器 PC(Programmable Controller),它是在可编程逻辑控制器 PLC基础上进一步发展而来的。它是由中央微处理器(CPU)、大规模集成电路、电子开关、功率输出器件等组成的专用微型电子计算机,不但继承了PLC原有的功能,而且具有顺序控制、算术运算、数据转换和通信等更为强大的功能,指令系统丰富,程序结构灵活,用它可代

替大量的继电器,且功耗低,体积小,在电气自动控制上获得了广泛应用。采用 CPU 技术使电动机的运行从断续控制步入了连续控制。

为了有别于个人计算机 PC(Personal Computer),人们通常仍习惯地称可编程控制器(PC)为 PLC。

虽然可编程控制器的功能极为强大,既可实现开关量(数字量)的控制,也可实现连续量(模拟量)的控制,但它最初是为了在数字量控制中取代继电器-接触器控制系统而产生的,设计思想源自继电器、接触器,两者有许多相同和相似之处。因此,熟悉继电器-接触器控制技术后,就很容易接受可编程控制器的编程语言,为进一步学习可编程序控制器奠定基础。

另一方面,许多控制要求不太复杂的场合仍在使用继电器-接触器控制系统。如电动机拖动中,主电路的通断仍由接触器来完成。另外,机床、电力设备和工业配电设备仍以继电器、接触器等为主。继电器-接触器控制与 PLC 控制各有特点,并不因为 PLC 的高性能而完全取代继电器、接触器等传统器件。可以预见,在今后相当长时间内,PLC 与继电器、接触器等传统器件仍将会是电气自动控制装置的主要器件。

目前可编程控制器 PLC 主要朝着小型化、廉价化、标准化、高速化、智能化、大容量化、网络化的方向发展,与计算机技术相结合,形成工业控制机系统、分布式控制系统 DCS(Distributed Control System)、现场总线控制系统 FCS(Fieldbus Control System),这将使 PLC 功能更强,可靠性更高,使用更方便,适用面更广。

第1章 常用低压控制电器

本章简要介绍继电器-接触器控制的基本知识,是了解和掌握基本电气控制的必修内容。本章介绍的低压控制电气元件,多数由专业化的元件制造厂家生产,就自动化专业的技术人员来说,主要是能正确地选用电气元件,因此本章不涉及元件的设计,而着重于应用。

本章主要内容:

- 常用的低压控制电器;
- 控制电器的结构与原理;
- 控制电器的选用原则。

核心是掌握接触器、继电器、断路器、按钮开关、主令电器等常规控制电器的动作特点,并能够正确选择使用。

1.1 概 述

随着科技进步与经济发展,电能的应用越来越广泛,电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测和保护的作用,在电力输配电系统和电力拖动自动控制系统中应用极为广泛。

随着电子技术、自动化技术和计算机应用的迅猛发展,一些电气元件可能被电子线路所取代,但是由于电气元件本身也朝着新的领域扩展(表现在提高元件的性能、生产新型的元件,实现机、电、仪一体化,扩展元件的应用范围等),且有些电气元件有其特殊性,故是不可能完全被取代的。

1.1.1 电器的分类

电器是接通和断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备用的电工器具。

电器的功能多,用途广,品种规格繁多,为了系统地掌握,必须加以分类。

1. 按工作电压等级分

① 高压电器 用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上电路中的电器,如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

② 低压电器 用于交流 50Hz(或 60Hz)额定电压为 1200V 以下、直流额定电压为 1500V 以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器(简称电器),如接触器、继电器等。

2. 按动作原理分

① 手动电器 手工操作发出动作指令的电器,如刀开关、按钮等。

② 自动电器 产生电磁吸力而自动完成动作指令的电器,如接触器、继电器、电磁阀等。

3. 按用途分

① 控制电器 用于各种控制电路和控制系统的电器,如接触器、继电器、电动机启动器等。

② 配电器 用于电能的输送和分配的电器,如高压断路器等。

- ③ 主令电器 用于自动控制系统中发送动作指令的电器,如按钮、转换开关等。
- ④ 保护电器 用于保护电路及用电设备的电器,如熔断器、热继电器等。
- ⑤ 执行电器 用于完成某种动作或传送功能的电器,如电磁铁、电磁离合器等。

1.1.2 电力拖动自动控制系统中常用的低压控制电器

1. 接触器

- ① 交流接触器 采用交流励磁,主触头用于交流主电路的通、断控制。
- ② 直流接触器 采用直流励磁,主触头用于直流主电路的通、断控制。

2. 继电器

- ① 电磁式电压继电器 它是当电路中电压达到预定值时而动作的继电器。
- ② 电磁式电流继电器 若通过线圈的电流高于额定值时,触头动作;反之,不动作。
- ③ 电磁式中间继电器 用于自动控制装置中,以扩大被控制的电路并提高接通能力。
- ④ 直流电磁阻尼式时间继电器 利用阻尼的方法来延缓磁通变化的速度,以达到延时目的。
- ⑤ 空气阻尼式时间继电器 利用空气阻尼原理获得延时目的。
- ⑥ 电子式时间继电器 采用电容充放电再配合电子元件的原理来实现延时动作。
- ⑦ 热继电器 它是用于过载保护(不能做短路保护)的继电器。
- ⑧ 干簧继电器 能在磁力驱动下使触点接通或断开,以达到控制外电路的目的。
- ⑨ 速度继电器 是一种以转速为输入量的非电信号检测电器,它能在被测转速升或降至某一预先设定的动作时输出开关信号。

3. 熔断器

熔断器是一种用于过载和短路保护的电器,有瓷插式、螺旋式、有填料密闭管式、无填料密闭管式、快速熔断式、自复式等。

4. 低压断路器

- ① 框架式断路器 有绝缘衬垫的框架结构底座将所有的构件组装在一起,用于配电网络的保护。
- ② 塑料外壳式断路器 用模压绝缘材料制成的封闭型外壳将所有的构件组装在一起,用于配电网络的保护和电动机、照明电路及电热器等控制开关。
- ③ 快速直流断路器 具有快速电磁铁和强有力的灭弧装置,用于元件和整流保护。
- ④ 限流式断路器 能在交流短路电流尚未达到峰值之前就把故障电路切断。
- ⑤ 漏电保护器 用以对低压电网直接接触电和间接触电进行有效保护。

5. 位置开关

将运动部件的位移变成电信号以控制运动的方向或行程,有直动式、滚动式和微动式3种。

6. 按钮、刀开关等

按钮在低压控制电路中用于手动发出控制信号;刀开关用作电路的电源开关和小容量电动机非频繁启动的操作开关。

1.1.3 我国低压控制电器的发展概况

低压电器是组成电气成套设备的基础配套元件。低压电器使用量大且面广,可分为低压配电电器和低压控制电器。

由发电厂生产的电能 80% 以上是以低压电形式付诸使用的,每生产 1kW 的发电设备,需生产 4 万件各种低压电气元件与之配套使用。一套 1700mm 连轧机的电气设备中,需使用成千上万件品种、规格不同的低压电气元件。

从刀开关、熔断器等最简单的低压电器算起,到多种规格的低压断路器、接触器、继电器及由它们组成的成套电气控制设备,都随着国民经济的发展而发展。

目前我国低压电器产品约 1000 个系列,生产企业 1500 家左右,年产值约 200 亿元人民币。但国内低压电器生产企业规模偏小、数量过多,90% 以上企业处于中、低档产品的重复生产中。产品三代共存,按照产值计算,第一代产品市场占有率为 15%,第二代产品市场占有率为 45%,第三代产品市场占有率为 40%。根据国家政策走向,在今后一段时间内,低压电器产品的结构需要进一步调整,工艺落后、体积大、能耗高又污染环境的产品将被淘汰。

在低压电器行业中,国有、民营、外资企业“三足鼎立”的局面已持续多年。ABB、西门子、施耐德电气等国际电气企业已悉数进入中国市场,并在占领高端产品市场的同时,积极进发国内中、低档市场。随着市场全球化,外资企业与国内企业相互渗透是低压电器行业发展的另一个必然趋向。这种渗透包括国内企业的高端产品向国外市场渗透;外资企业的产品向国内中、低档市场渗透。但就国内市场而言,外资企业研发、设计、管理能力较强,而国内企业,特别是民营企业,虽然经营思路灵活、销售渠道强大,但在企业规模、产品质量等方面良莠不齐,企业设计研发能力仍有待加强。低压电器企业向“专、精、特”方向发展,形成若干各具特色、重点突出的产业链,从而带动产业升级是必然趋势。

我们必须加速我国第三代、第四代高性能产品开发,尽快完善产品系列,加大我国产品的推广力度,明显提高产品可靠性和外观质量。具体体现在:提高电气元件的性能,大力发展机电一体化产品,研制开发智能化电器、电动机综合保护电器、有触头和无触头的混合式电器、模数化终端组合电器和节能电器。模数化终端组合电器是一种安装终端电器的装置,主要特点是实现了电器尺寸模数化、安装轨道化、外形艺术化和使用安全化,是理想的新一代配电装置。过程控制、生产自动化、配电系统及智能化楼宇等场合采用现场总线系统,对低压电器提出了可通信的要求。现场总线系统的发展与应用将从根本上改变传统的低压配电与控制系统及其装置,给传统低压电器带来改革性变化。发展智能化可通信低压电器势在必行,其特征是:①装有微处理器;②带通信接口,能与现场总线连接;③采用标准化结构,具有互换性,采用模数化结构;④保护功能齐全,具有外部故障记录显示、内部故障自诊断、双向通信等功能。

低压电器系统集成和整体解决方案已引起行业的高度重视。在系统集成与总体方案上领先一步,就有可能在市场竞争中步步领先。为此,应在以下几个方面开展深入研究:①低压配电系统典型方案、各类低压断路器选用原则和性能协调研究;②低压配电与控制网络系统研究,包括网络系统、系统整体解决方案、各类可通信低压电器,以及其他配套元件选用和相互协调配合;③配电系统过电流保护整体解决方案,其目标是在极短时间内实现全范围、全电流选择性保护;④配电系统(包括新能源系统)过电压保护整体解决方案;⑤各类电动机启动、控制与保护整体解决方案;⑥双电源系统自动转换开关电器选用整体解决方案。

随着国民经济的发展,我国的电器工业将会大大缩短与世界先进国家的差距,发展到更高的水平,以满足国内外市场的需要。

1.2 接 触 器

接触器是电力拖动自动控制系统中使用量大且面广的一种低压控制电器,用来频繁地接通和分断交直流主回路和大容量控制电路。主要控制对象是电动机,能实现远距离控制,并具有欠(零)电压保护。

1.2.1 结构和工作原理

接触器主要由电磁系统、触头系统和灭弧装置组成,结构简图如图 1-1 所示。

1. 电磁系统

电磁系统包括动铁心(衔铁)、静铁心和电磁线圈 3 部分,其作用是将电磁能转换成机械能,产生电磁吸力带动触头动作。

① 电磁系统的结构形式根据铁心形状和衔铁运动方式,可分为 3 种:衔铁绕棱角转动拍合式、衔铁绕轴转动拍合式、衔铁直线运动螺管式,如图 1-2 所示。

图 1-2(a)中,衔铁绕磁轭的棱角转动,磨损较小,铁心用软铁做成,适用于直流接触器;图 1-2(b)中,衔铁绕轴转动,铁心用硅钢片叠成,用于交流接触器;图 1-2(c)中,衔铁在线圈内做直线运动,用于交流接触器。

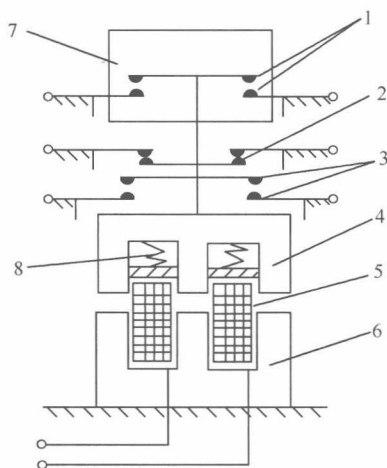


图 1-1 接触器结构简图

- 1—主触头；2—常闭辅助触头；3—常开辅助触头；
4—动铁心；5—电磁线圈；6—静铁心；
7—灭弧罩；8—弹簧

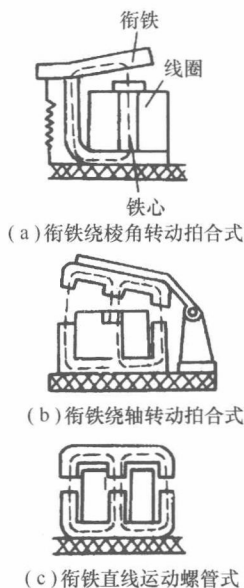


图 1-2 接触器电磁系统的结构图

② 电磁系统按铁心形状分为 U 形(见图 1-2(a))和 E 形(见图 1-2(b)、(c))。

③ 电磁系统按电磁线圈的种类可分为直流线圈和交流线圈两种。

作用在衔铁上的力有两个:电磁吸力与反力。电磁吸力由电磁机构产生,反力则由释放弹簧和触点弹簧所产生。电磁系统的工作情况常用吸力特性和反力特性来表示。

电磁系统的电磁吸力 F 与气隙 δ 的关系曲线称为吸力特性。吸力特性随励磁电流的种类(交流或直流)、励磁线圈的连接方式(并联或串联)不同而不同,电磁吸力可按式求得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中, F 为电磁吸力(N); B 为气隙磁感应强度(T); S 为铁心截面积(m^2)。

如果气隙 δ 不变,当线圈中通以直流电时,电磁吸力 F 为恒定值。当线圈中通以交流电时,由于外加正弦交流电压,其气隙磁感应强度亦按正弦规律变化,即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

代入式(1-1)可得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \quad (1-3)$$

由式(1-3)可见,电磁吸力最大值为

$$F_{\max} = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \quad (1-4)$$

电磁吸力的最小值为

$$F_{\min} = 0 \quad (1-5)$$

不同的电磁机构,有不同的吸力特性。电磁机构动作时,其气隙 δ 是变化的, $F \propto B^2 \propto \Phi^2$ 。

对于直流电磁机构,其励磁电流的大小与气隙无关,衔铁动作过程中为恒磁动势工作。根据磁路定律 $\Phi = IN/R_m \propto 1/R_m$, 式中, R_m 为气隙磁阻, 则 $F \propto \Phi^2 \propto 1/R_m^2 \propto 1/\delta^2$, 电磁吸力随气隙的减小而增大, 所以吸力特性比较陡峭, 如图 1-3 中的曲线 1 所示。而对交流电磁机构, 设线圈外加电压 U 不变, 交流电磁线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗, 若电阻忽略不计, 则 $U \approx E = 4.44 f \Phi N$, $\Phi = U/(4.44 f N)$, 当电压频率 f 、线圈匝数 N 、外加电压 U 为常数时, 气隙磁通 Φ 也为常数, 即励磁电流与气隙成正比, 衔铁动作过程中为恒磁通工作, 但考虑到漏磁通的影响, 其电磁吸力随气隙的减小略有增大, 所以吸力特性比较平坦, 如图 1-3 中的曲线 2 所示。

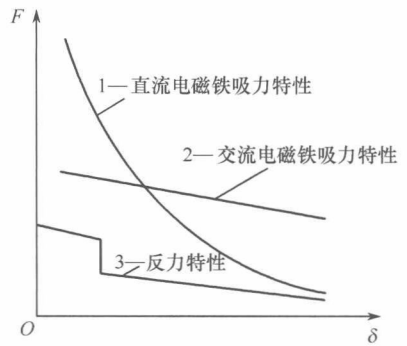


图 1-3 吸力特性与反力特性的配合

所谓反力特性,是指反作用力与气隙 δ 的关系曲线,如图 1-3 中的曲线 3 所示。为了保证使衔铁能牢牢吸合,反作用力特性必须与吸力特性配合好,如图 1-3 所示。在整个吸合过程中,吸力都必须大于反作用力,即吸力特性高于反力特性,但不能过大或过小。吸力过大时,动、静触头接触时及衔铁与铁心接触时的冲击力也大,会使触头和衔铁发生弹跳,导致触头熔焊或烧毁,影响电器的机械寿命;吸力过小时,会使衔铁运动速度降低,难以满足高操作频率的要求。因此,吸力特性与反力特性必须配合得当,才有助于电器性能的改善。在实际应用中,可调整反力弹簧或触头初压力以改变反力特性,使之与吸力特性有良好配合。

2. 触头系统

触头是接触器的执行元件,用来接通或断开被控制电路。

触头的结构形式很多,按其所控制的电路,可分为主触头和辅助触头。主触头用于接通或断开主电路,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。

触头按其原始状态可分为常开触头和常闭触头:原始状态时(即线圈未通电)断开,线圈通电后闭合的触头称为常开触头;原始状态闭合,线圈通电后断开的触头称为常闭触头(线圈断

电后所有触头复原)。

触头按其结构形式可分为桥形触头和指形触头,如图 1-4 所示。

触头按其接触形式可分为点接触、线接触和面接触 3 种,如图 1-5 所示。

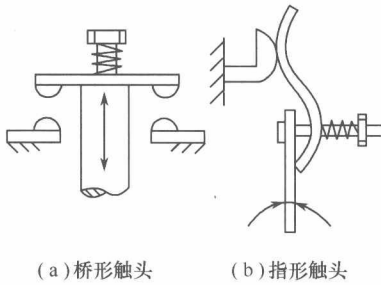


图 1-4 触头结构形式

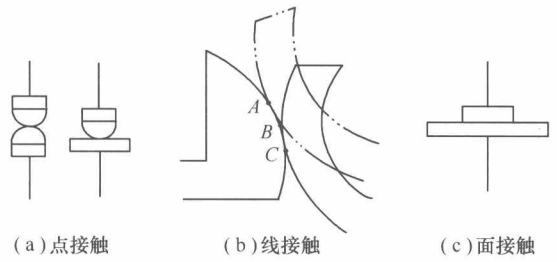


图 1-5 触头接触形式

图 1-5(a)为点接触,它由两个半球形触头或一个半球形与一个平面形触头构成,常用于小电流的电器中,如接触器的辅助触头或继电器触头。图 1-5(b)为线接触,它的接触区域是一条直线,触头的通断过程是滚动式进行的。开始接通时,静、动触头在 A 点处接触,靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点;断开时做相反运动。这样可以自动清除触头表面的氧化物。线接触多用于中容量的电器,如接触器的主触头。图 1-5(c)为面接触,它允许通过较大的电流。这种触头一般在接触表面上镶有合金,以减小触头接触电阻并提高耐磨性,多用于大容量接触器的触头。

3. 灭弧装置

当触头断开瞬间,触头间距离极小,电场强度极大,触头间产生大量的带电粒子,形成炽热的电子流,产生弧光放电现象,称为电弧。电弧的出现,既妨碍电路的正常分断,又会使触头受到严重腐蚀,为此必须采取有效的措施进行灭弧,以保证电路和电气元件工作安全可靠。要使电弧熄灭,应设法降低电弧的温度和电场强度。常用的灭弧装置有电动力灭弧、灭弧栅和磁吹灭弧。

(1) 电动力灭弧

这种方法主要用于交流电器的灭弧。如图 1-6 所示为一种桥式结构双断口触头,当触头打开时,在断口处产生电弧,电弧电流在两电弧间产生于图中以 \otimes 表示的磁场,根据左手定则,电弧电流要产生一个指向外侧的电动力 F ,使电弧向外运动并拉长,迅速穿越冷却介质而加快冷却并熄灭。

(2) 灭弧栅灭弧

灭弧栅的灭弧原理如图 1-7 所示。灭弧栅片由许多镀铜薄钢片组成,片间距离为 2~3mm,安放在触头上方的灭弧罩内。一旦出现电弧,电弧周围产生磁场,电弧被导磁钢片吸入栅片内,且被栅片分割成许多串联的短弧,当交流电压过零时电弧自然熄灭,两栅片间必须有 150~250V 电压,电弧才能重燃。这样,一方面电源电压不足以维持电弧,同时由于栅片的散热作用,电弧熄灭后就很难重燃,它常用于交流接触器。

(3) 磁吹灭弧装置

磁吹灭弧装置的工作原理如图 1-8 所示,在触头电路中串入一吹弧线圈,它产生的磁通通过导磁夹片引向触头周围;电弧所产生的磁通方向如图 1-8 所示。

可见,在弧柱下吹弧线圈产生的磁通与电弧产生的磁通是相加的,而在弧柱上面的磁通彼此抵消,因此,就产生一个向上运动的力将电弧拉长并吹入灭弧罩中,熄弧角和静触头相连接,其作用是引导电弧向上运动,将热量传递给灭弧罩壁,促使电弧熄灭。由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧的,故电弧电流越大,灭弧的能力也越强。它广泛应用于直流接触器。

接触器的图形、文字符号如图 1-9 所示。

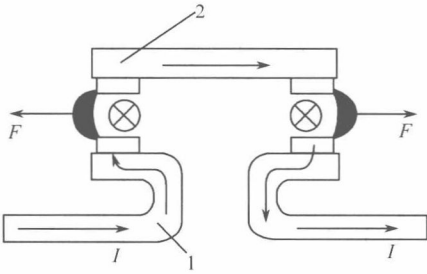


图 1-6 电动力灭弧原理
1—静触头；2—动触头

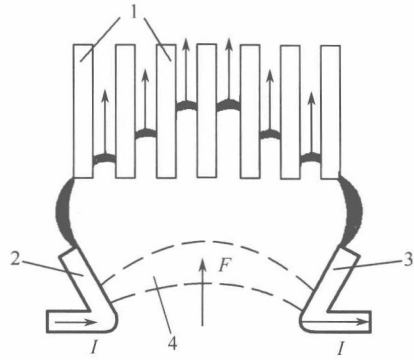


图 1-7 灭弧栅灭弧原理
1—灭弧栅片；2—静触头；3—动触头；4—电弧

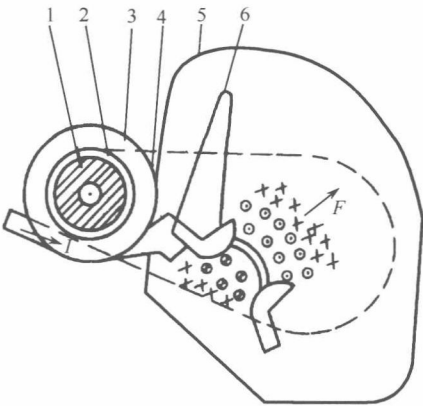


图 1-8 磁吹灭弧原理

1—铁心；2—绝缘管；3—吹弧线圈；
4—导磁夹片；5—灭弧罩；6—熄弧角

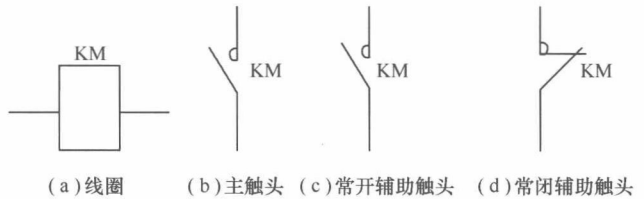


图 1-9 接触器的图形、文字符号

4. 接触器的工作原理

掌握了接触器的结构，就容易了解其工作原理。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：常闭触头断开，常开触头闭合，两者是联动的。当线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触头复原：常开触头断开，常闭触头闭合。

1.2.2 交、直流接触器的特点

接触器按其主触头所控制主电路电流的种类可分为交流接触器和直流接触器两种。

1. 交流接触器

交流接触器线圈通以交流电，主触头接通、分断交流主电路。

当交变磁通穿过铁心时，将产生涡流和磁滞损耗，使铁心发热。为减少铁损，铁心用硅钢片冲压而成。为便于散热，线圈做成短而粗的圆筒状绕在骨架上。

由于交流接触器铁心的磁通是交变的，故当磁通过零时，电磁吸力也为零，吸合后的衔铁在反力弹簧的作用下将被拉开，磁通过零后电磁吸力又增大，当吸力大于反力时，衔铁又被吸合。