

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

电气控制与PLC应用

陈建明 主编

巫付专 朱晓东 熊军华 副主编

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

新编电气与电子信息类本科规划教材

电气控制与 PLC 应用

陈建明 主编

巫付专 朱晓东 熊军华 副主编

孙 标 王亭岭 裴素萍 参编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书由3部分组成,共10章。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3~8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,以及控制系统程序分析和设计方法;第三部分由第9~10章组成,简介PLC通信与网络及三菱FX_{2N}系列和欧姆龙CPM1A系列PLC。

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”或类似课程的教材,也可作为专科层次相关专业的教材,并可作为电子技术、电气技术、自动化方面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/陈建明主编. —北京:电子工业出版社,2006.8

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 7-121-02984-7

I. 电… II. 陈… III. ①电气控制—高等学校—教材②可编程序控制器—高等学校—教材
IV. TM921.5②TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第088160号

责任编辑:凌毅 姚晓竟

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市万和装订厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:22.75 字数:582千字

印 次:2006年8月第1次印刷

印 数:5000册 定价:29.00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。联系电话:(010)68279077;邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

电气控制与 PLC 应用是综合了继电接触控制、计算机技术、自动控制技术和通信技术的一门新兴技术,应用十分广泛。由于电气控制与可编程控制器本是起源于同一体系,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,力求做到以下几个方面:

(1)讲究实际。精选传统电器及继电-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接触控制和 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,附有试验指导书、课程设计任务书、指导书,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,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。

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 3~8 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,以及控制系统程序分析和设计方法。第三部分由第 9~10 章组成,简介 PLC 通信与网络及三菱 FX_{2N} 系列和欧姆龙 CPM1A 系列 PLC。

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的教材,并可作为电子技术、电气技术、自动化方面工程技术人员的参考书。

本书由陈建明担任主编,巫付专、朱晓东、熊军华任副主编,孙标、王亭岭、裴素萍任参编。具体分工如下:第 1、2 章和 5.1、5.2 节由陈建明编写;第 3、7 章由孙标编写;第 4 章、8.5 节和附录 D 由熊军华编写;第 6 章、8.1~8.4 节、8.6 节、附录 E、附录 F 由裴素萍编写;第 9 章由巫付专编写;第 10 章由朱晓东编写;5.3 节和全书图稿的编辑由王亭岭编写;全书最后由陈建明统稿、定稿。

陕西科技大学王孟效教授担任本书的主审,提出了许多宝贵的指导意见。在编写过程中,编者参阅了国内外许多专家、同行的教材、著作和论文。对此,谨致诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在缺点甚至错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 7 月

目 录

绪论	1
第 1 章 常用低压控制电器	3
1.1 概述	3
1.1.1 电器的分类	3
1.1.2 电力拖动自动控制系统中常用的低压控制电器	4
1.1.3 我国低压控制电器的发展概况	5
1.2 接触器	6
1.2.1 结构和工作原理	6
1.2.2 交、直流接触器的特点	9
1.2.3 接触器的主要技术参数与选用原则	11
1.3 继电器	12
1.3.1 电磁式继电器	12
1.3.2 热继电器	15
1.3.3 时间继电器	17
1.3.4 速度继电器	20
1.4 熔断器	21
1.4.1 熔断器的工作原理	21
1.4.2 熔断器的选用	22
1.5 低压开关和低压断路器	24
1.5.1 低压断路器	24
1.5.2 漏电保护器	25
1.5.3 低压隔离器	27
1.6 主令电器	31
1.6.1 按钮	31
1.6.2 位置开关	31
1.6.3 凸轮控制器与主令控制器	33
1.7 低压电器的产品型号	34
1.7.1 全型号组成形式	34
1.7.2 全型号各组成部分的确定	34
习题与思考题	36
第 2 章 电气控制线路的基本原则和基本环节	37
2.1 电气控制线路的绘制	37
2.1.1 电气控制线路常用的图形、文字符号	37
2.1.2 电气原理图	42

2.1.3	电气元件布置图	44
2.1.4	电气安装接线图	45
2.2	三相异步电动机的启动控制	46
2.2.1	三相笼型电动机直接启动控制	46
2.2.2	三相笼型电动机减压启动控制	48
2.2.3	三相绕线转子电动机的启动控制	52
2.3	三相异步电动机的正、反转控制	55
2.4	三相异步电动机的调速控制	56
2.4.1	三相笼型电动机的变极调速控制	56
2.4.2	绕线转子电动机转子串电阻的调速控制	57
2.4.3	电磁调速异步电动机的控制	58
2.5	三相异步电动机的制动控制	59
2.5.1	三相异步电动机反接制动控制	60
2.5.2	三相异步电动机能耗制动控制	60
2.5.3	三相异步电动机电容制动控制	62
2.6	其他典型控制环节	62
2.6.1	多地点控制	63
2.6.2	多台电动机先后顺序工作的控制	63
2.6.3	自动循环控制	64
2.7	电气控制线路的设计方法	65
2.7.1	经验设计法	65
2.7.2	逻辑设计法	70
	习题与思考题	75
第3章	可编程控制器基础	77
3.1	可编程控制器概述	77
3.1.1	可编程控制器的产生与发展	77
3.1.2	可编程控制器的特点	79
3.2	可编程控制器的组成	79
3.2.1	中央处理单元(CPU)	80
3.2.2	存储器单元	80
3.2.3	电源单元	81
3.2.4	输入/输出单元	81
3.2.5	接口单元	81
3.2.6	外部设备	82
3.3	可编程控制器的工作原理	83
3.3.1	可编程控制器的等效电路	83
3.3.2	可编程控制器的工作过程	84
3.4	可编程控制器的硬件基础	85
3.4.1	可编程控制器的 I/O 模块	85
3.4.2	可编程控制器的配置	87

3.5	可编程控制器的软件基础	88
3.5.1	系统监控程序	88
3.5.2	用户应用程序	89
3.6	可编程控制器的性能指标及分类	91
3.6.1	可编程控制器的性能指标	91
3.6.2	可编程控制器的分类	92
	习题与思考题	93
第4章	S7-200 PLC 的系统配置	94
4.1	S7-200 PLC 系统的基本组成	94
4.1.1	基本单元	94
4.1.2	个人计算机或编程器	97
4.1.3	STEP 7-Micro/WIN32 编程软件	97
4.1.4	通信电缆	97
4.1.5	人机界面	97
4.2	S7-200 PLC 的接口模块	98
4.2.1	数字量 I/O 模块	98
4.2.2	模拟量 I/O 模块	102
4.2.3	智能模块	103
4.3	S7-200 PLC 的系统配置	103
4.3.1	S7-200 PLC 的基本配置	103
4.3.2	S7-200 PLC 的扩展配置	104
4.3.3	内部电源的负载能力	105
	习题与思考题	106
第5章	S7-200 PLC 的指令系统	107
5.1	S7-200 PLC 编程基础	107
5.1.1	编程语言	107
5.1.2	数据类型	108
5.1.3	存储器区域	110
5.1.4	寻址方式	114
5.1.5	用户程序结构	116
5.1.6	编程的一般规则	117
5.2	S7-200 PLC 的基本指令及编程方法	118
5.2.1	基本逻辑指令	119
5.2.2	立即操作指令	124
5.2.3	复杂逻辑指令	125
5.2.4	取非触点指令和空操作指令	127
5.2.5	定时器和计数器指令	128
5.2.6	顺序控制继电器指令	135
5.2.7	移位寄存器指令	136
5.2.8	比较操作指令	141

5.3	S7-200 PLC 的功能指令及编程方法	143
5.3.1	数学运算指令	144
5.3.2	逻辑运算指令	150
5.3.3	其他数据处理指令	153
5.3.4	转换指令	156
5.3.5	表功能指令	161
5.3.6	程序控制指令	164
5.3.7	特殊指令	168
	习题与思考题	172
第6章	STEP 7-Micro/WIN32 编程软件	174
6.1	编程软件的安装	174
6.1.1	系统要求	174
6.1.2	软件安装	174
6.1.3	硬件连接	175
6.1.4	参数设置	175
6.1.5	在线联系	176
6.1.6	设置和修改 PLC 通信参数	176
6.2	编程软件的功能	176
6.2.1	基本功能	176
6.2.2	主界面各部分的功能	177
6.2.3	系统组态	179
6.3	编程软件的使用	180
6.3.1	程序来源	180
6.3.2	编辑程序	181
6.4	程序的调试及运行监控	184
6.4.1	选择扫描次数	184
6.4.2	用状态表监控程序	184
6.4.3	运行模式下编辑程序	186
6.4.4	梯形图程序的状态监视	186
6.4.5	S7-200 的出错处理	187
	习题与思考题	188
第7章	S7-300 和 S7-400 PLC 系统配置与编程	190
7.1	S7-300 PLC 和 S7-400 PLC 的系统配置	190
7.1.1	S7-300 PLC 的基本组成	190
7.1.2	S7-300 PLC 的结构及功能特点	191
7.1.3	S7-300 的系统配置	192
7.1.4	S7-300 的 CPU 模块	193
7.1.5	S7-300 的数字量模块	195
7.1.6	S7-300 的模拟量模块	196
7.1.7	S7-300 的电源模块(PS)	197

7.1.8	S7-300 的 I/O 编址	197
7.1.9	S7-400 系统简介	199
7.2	S7-300 和 S7-400 的指令系统	200
7.2.1	基本概念	201
7.2.2	基本指令	203
7.3	S7-300 和 S7-400 应用系统的编程	207
7.3.1	STEP 7 软件包	208
7.3.2	应用系统的程序结构	208
7.3.3	组织块功能	209
7.3.4	循环程序的处理过程	209
7.3.5	编程的基本方法和步骤	210
	习题与思考题	217
第 8 章	可编程控制器系统设计与应用	218
8.1	PLC 控制系统设计	218
8.1.1	PLC 控制系统设计的基本原则	218
8.1.2	PLC 控制系统设计的内容	218
8.1.3	PLC 控制系统设计的一般步骤	220
8.2	PLC 控制系统硬件配置	220
8.2.1	PLC 的选型	221
8.2.2	I/O 地址分配	222
8.2.3	响应时间	222
8.3	PLC 控制系统软件设计	223
8.3.1	经验设计法	223
8.3.2	逻辑设计法	223
8.3.3	顺序功能图法	223
8.4	PLC 应用程序的典型环节及设计技巧	225
8.4.1	应用程序的典型环节	225
8.4.2	PLC 控制程序及设计技巧	232
8.5	PLC 在工业控制中的应用	234
8.5.1	4 台电动机的顺序启、停控制	234
8.5.2	电动机 Y- Δ 减压启动控制	238
8.5.3	节日彩灯的 PLC 控制	239
8.5.4	十字路口交通信号灯的 PLC 控制	242
8.5.5	造纸厂碱回收蒸发工段 PLC 控制	246
8.6	提高 PLC 控制系统可靠性的措施	248
8.6.1	PLC 安装的环境条件	248
8.6.2	抗干扰措施	249
8.6.3	PLC 系统的故障检查	251
8.6.4	PLC 系统的试运行与维护	252
	习题与思考题	253

第 9 章 可编程控制器的通信与网络	255
9.1 通信及网络基础	255
9.1.1 数据通信方式	255
9.1.2 网络概述	259
9.2 S7 系列 PLC 的网络类型及配置	262
9.2.1 PLC 网络类型	262
9.2.2 通信协议	262
9.2.3 通信设备	265
9.2.4 S7 系列 PLC 产品组建的几种典型网络	268
9.2.5 通信参数的设置	272
9.2.6 S7-200 的参数设置	274
9.3 S7-200 网络及应用	275
9.3.1 网络指令及应用	275
9.3.2 自由口指令及应用	279
习题与思考题	286
第 10 章 三菱和欧姆龙系列 PLC	288
10.1 三菱小型可编程控制器	288
10.1.1 FX 系列 PLC 简介	288
10.1.2 FX _{2N} 系列 PLC 的器件及编号	290
10.1.3 FX _{2N} 系列 PLC 指令系统	294
10.2 欧姆龙(OMRON)小型可编程控制器	301
10.2.1 CPM1A 系列 PLC 简介	301
10.2.2 CPM1A 型 PLC 的器件及编号	304
10.2.3 CPM1A 型 PLC 的指令系统	307
习题与思考题	326
附录 A 特殊寄存器(SM)标志位	328
附录 B 错误代码信息	332
附录 C S7-200 可编程控制器指令集	335
附录 D 实验指导书	340
实验一 基本指令练习	340
实验二 熟悉 S7-200 PLC 编程软件	342
实验三 直流电机正、反转控制	342
实验四 抢答器程序设计	343
实验五 运料小车的程序控制	344
实验六 彩灯的程序控制	345
实验七 十字路口交通灯程序控制	346
实验八 PLC 的通信编程	346
附录 E 课程设计指导书	348
附录 F 课程设计任务书	349
参考文献	352

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-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-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-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-接触器控制电路,就不能满足这种需要。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控制技术相结合的产物,具备逻辑控制、定时、计数等功能,并取代了继电-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似继电-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机为核心的可编程序控制器,又称为工业控制单元 ICU(Industrial Control Unit)。它是基于逻辑式和步进式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(PLC)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。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元器件。

目前可编程控制器 PLC 主要是朝着小型化、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-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器元件,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器元件,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,一些电器元件可能被电子线路所取代,但是由于电器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),且有些电器元件有其特殊性,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 60 Hz)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 人手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和提高接通能力。

(4) 直流电磁式时间继电器 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 具有绝缘衬垫的框架结构底座将所有的构件组装在一起,用于配电网路的保护。

(2) 塑料外壳式断路器 具有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,用于配电网路的保护和电动机、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；刀开关用做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，每生产 1kW 的发电设备，需生产 4 万件各种低压电器元件与之配套使用。一套 1700mm 连轧机的电气设备中，需使用成千上万件品种、规格不同的低压电器元件。

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。

20 世纪 50 年代前，我国的低压电器工业基本上是一片空白。1953~1957 年试制成功低压断路器、接触器等 12 大类，几百种产品。20 世纪 60 年代，大功率半导体器件与有触头电器相互结合协调发展。

目前我国低压电器产品约 600 多个系列，生产企业 1000 多家，产值约 120 亿元，市场销售的产品可谓“三代同堂”。第一代产品：20 世纪 60~70 年代初，仅有 17 个系列，自行开发，填补我国低压电器工业空白；第二代产品：20 世纪 70 年代末~80 年代，产品进入更新换代的时期，分自行开发、技术引进、达标攻关 3 条线进行，开发新产品技术指标明显提高，保护特性较完善，体积缩小，适应成套装置要求；第三代产品：20 世纪 90 年代，抓住主要产品系列，跟踪国外先进技术，开发生产高性能、小型化、电子化、智能化、组合化、模块化、多功能化产品。

至今，我国低压电器经过 50 多年的发展，目前已形成比较完善的体系，品种、规格、性能、产量上基本满足国民经济的发展需要。同时先进技术的引进，加快了新产品问世，从德国 BBC 公司、AEG 公司和美国西屋公司引进的 ME 系列低压断路器、B 系列交流接触器、T 系列热继电器、NT 和 NGT 系列熔断器等产品制造技术，基本上实现了国产化，有的产品还远销到国外。我国开发生产的大容量智能化的“万能式断路器”，DW45 系列分别有智能型、多功能型和一般型。CJ45 系列交流接触器，电流等级分别有 9~800A、12~14 个规格，采用积木模块化结构。模块包括辅助触头、延时、机械联锁、过电压保护、节能、通信接口等。智能型电子式继电器带有通信接口，并能与第三代交流接触器组合成智能型启动器。

进入 21 世纪，我国的低压电器如何适应新形势，如何跟上发达国家的先进水平，如何更好地满足我国现代化发展的需要，这是一个重大的课题。新世纪发展指导思想，应考虑我国低压电器现状、国外新技术发展趋势及面临的市场需要的形势。外国产品大量进入中国电器市场，带来了一定的冲击。目前外国产品占领我国高档产品市场达 80% 以上，并向中档市场渗透。随着我国加入 WTO，更进一步促进外国产品的进入。所以，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。具体体现在提高电器元件的性能,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革命性变化。发展智能化可通信低压电器势在必行,其特征是:①产品中装有微处理器;②产品带有通信接口,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、进行双向通信等。

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

接触器是电力拖动和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,衔铁绕磁轭的棱角而转动,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;

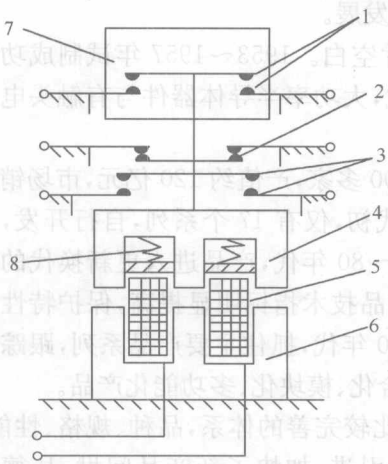
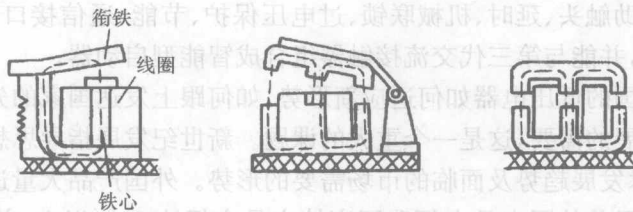


图 1-1 接触器结构简图

- 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



(a) 衔铁绕棱角转动拍合式 (b) 衔铁绕轴转动拍合式 (c) 衔铁直线运动螺管式

图 1-2 接触器电磁系统的结构图

图 1-2(c)中,衔铁在线圈内作直线运动,用于交流接触器。

(2)电磁系统按铁心形状分为 U 型(见图 1-2(a))和 E 型(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,电磁吸力可按下式求得

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

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少而增加,所以吸力特性比较陡峭,如图 1-3 中的曲线 1 所示。而交流电磁机构,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少略有增加,所以吸力特性比较平坦,如图 1-3 中的曲线 2 所示。

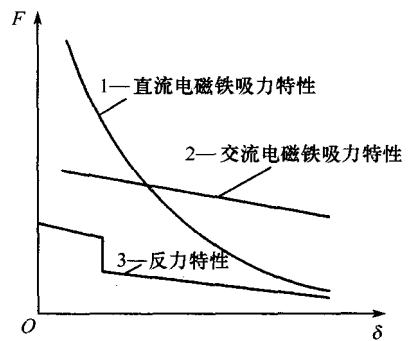


图 1-3 吸力特性与反力特性的配合

所谓反力特性,是指反作用力 F_r 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。