

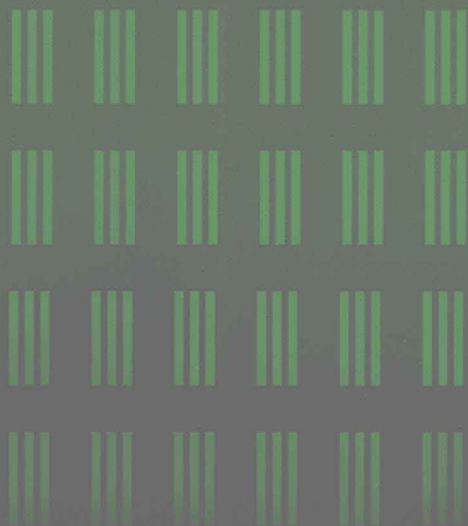
21 世纪普通高等教育  
电气信息类规划教材

# 电气与可编程控制器 原理及应用

■ 王华忠 郭丙君 孙京浩 编著



化学工业出版社



21 世纪普通高等教育电气信息类规划教材

# 电气与可编程控制器原理及应用

王华忠 郭丙君 孙京浩 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书首先介绍了常用的低压电器和电气控制系统，然后系统地介绍了 PLC 的基本组成、工作原理及其应用技术。以西门子 S7-200 系列小型 PLC 为主，深入介绍了其组成、指令系统、I/O 系统和特殊功能 I/O 模块。对 S7-200 的编程语言、编程方法和 PLC 的网络与通信技术也作了分析和介绍。对组态软件、SCADA 系统及将组态软件与 PLC 用于 SCADA 系统开发也作了阐述。本书通过对应用实例的深入分析可使读者掌握 PLC 的基本原理和编程方法，熟练利用 PLC 和组态软件进行计算机控制系统的开发。

本书可作为普通高等学校电气工程及其自动化、自动化、机械设计制造及其自动化、电子信息工程等相关专业的教材，也可作为各类成人教育 PLC 课程的教材。对于从事 PLC 应用的工程技术人员也是一本实用的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电气与可编程控制器原理及应用/王华忠, 郭丙君, 孙京浩编著. —北京: 化学工业出版社, 2011. 12.  
21 世纪普通高等教育电气信息类规划教材  
ISBN 978-7-122-12830-0

I. 电… II. ①王… ②郭… ③孙… III. ①电气控制器-高等学校-教材②可编程序控制器-高等学校-教材  
IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 237303 号

---

责任编辑: 郝英华  
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 徐卿华  
装帧设计: 史利平

---

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  
787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 509 千字 2012 年 2 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: 35.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

可编程序控制器 (PLC) 自 20 世纪 70 年代诞生以来, 得到了极其高速的发展, 在各行各业都得到了广泛的应用。它综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术, 是一种新型的、通用的自动控制装置。它以功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程和适于在工业环境下应用等一系列优点, 成为现代工业控制的三大支柱之一。目前 PLC 在我国的应用相当广泛, 尤其是小型和微型 PLC 产品, 使用十分方便, 备受电气工程技术人员欢迎。

近年来 PLC 的新产品、新技术不断涌现, 为了适应这种情况, 使读者尽快地了解并掌握这些新技术, 并将其应用于实践中去, 我们几位长期从事 PLC 控制系统应用的教师合作撰写了该书。本书系统地介绍了 PLC 的工作原理、特点与硬件结构, 以目前广泛使用的西门子 S7-200 系列小型 PLC 为主, 介绍 PLC 的编程元件与指令系统、分析各种 PLC 程序设计方法, 给出大量的常用基本环节编程。对于 PLC 的联网通信、PLC 控制系统的设计与调试、组态软件及其应用与 SCADA 系统的设计与开发也作了重点介绍。对 PLC 的应用实例进行了详细分析。

本书由浅入深, 通俗易懂, 案例丰富; 从单台 PLC 过渡到 PLC 网络; 从指令学习过渡到利用 PLC 进行控制系统设计与应用软件开发; 从 PLC 控制到利用组态软件和 PLC 开发计算机控制系统, 使读者对于 PLC 的应用从设备和装置级过渡到系统级, 应用的广度和深度逐步深入。

为方便教学, 本书配套的电子课件可免费提供给采用本书作为教材的相关院校使用, 如有需要, 请发邮件至 [cipedu@163.com](mailto:cipedu@163.com) 索取。

本书的第 1、2、3、5、6 章和附录由郭丙君编著, 第 4 章由郭丙君和王华忠编著, 第 7 章由孙京浩编著, 第 8 章由王华忠编著。全书由王华忠统稿。

本书的出版得到了华东理工大学教材出版基金和教务处的支持, 在此表示感谢。

由于编者水平有限, 加之时间仓促, 书中难免存在不当之处, 恳请有关专家和广大读者不吝赐教。

编 者

2011 年 12 月于华东理工大学

# 目 录

绪论 .....	1
0.1 控制装置的发展 .....	1
0.2 课程的性质、内容与任务 .....	2
<b>1 常用低压电器 .....</b>	<b>4</b>
1.1 概述 .....	4
1.1.1 电器的定义与分类 .....	4
1.1.2 低压电器发展概况 .....	4
1.1.3 低压电器电磁机构及执行机构 .....	5
1.1.4 触点系统 .....	6
1.1.5 灭弧系统 .....	6
1.2 接触器 .....	7
1.2.1 接触器结构和工作原理 .....	7
1.2.2 接触器的型号及主要技术参数 .....	8
1.3 继电器 .....	9
1.3.1 电流电压继电器 .....	9
1.3.2 中间继电器 .....	10
1.3.3 热继电器 .....	11
1.3.4 时间继电器 .....	12
1.3.5 速度继电器 .....	13
1.3.6 液位继电器 .....	14
1.4 熔断器 .....	14
1.5 低压开关和低压断路器 .....	16
1.5.1 低压断路器 .....	16
1.5.2 漏电保护器 .....	17
1.5.3 低压隔离器 .....	18
1.6 主令电器 .....	19
1.6.1 按钮 .....	19
1.6.2 行程开关 .....	20
1.6.3 接近开关 .....	21
1.6.4 凸轮控制器 .....	22
1.6.5 主令控制器 .....	22
习题与思考题 .....	22
<b>2 电气控制基本线路与设计 .....</b>	<b>23</b>
2.1 电气控制线路的绘制 .....	23
2.1.1 电气原理图 .....	27
2.1.2 电气元件布置图 .....	30
2.1.3 电气安装接线图 .....	30

2.2	三相异步电动机的全压启动控制	31
2.2.1	启动、点动和停止控制环节	31
2.2.2	可逆控制和互锁环节	32
2.2.3	顺序控制环节	33
2.3	三相异步电动机的降压启动控制	35
2.4	三相异步电动机的调速控制	38
2.4.1	三相笼型电动机的变极调速控制	38
2.4.2	绕线转子电动机转子串电阻的调速控制	39
2.5	三相异步电动机的制动控制	41
2.5.1	三相异步电动机反接制动控制	41
2.5.2	三相异步电动机能耗制动控制	42
2.6	其他典型控制环节	43
2.7	电气控制线路的设计方法	45
2.7.1	经验设计法	45
2.7.2	逻辑设计法	48
2.7.3	原理图设计中应注意的问题	49
	习题与思考题	50
<b>3</b>	<b>PLC 的组成与工作原理</b>	<b>51</b>
3.1	可编程控制器概述	51
3.2	可编程控制器的组成	55
3.3	可编程控制器的工作原理	59
3.4	主要的可编程控制器产品及其分类	61
3.5	S7-200 PLC 系统的基本组成	63
3.5.1	基本单元	63
3.5.2	个人计算机或编程器	65
3.5.3	STEP 7-Micro/WIN32 编程软件	65
3.5.4	通信电缆	65
3.5.5	人机界面	66
3.6	S7-200 PLC 的接口模块	66
3.6.1	数字量扩展模块	66
3.6.2	模拟量输入输出扩展模块	70
3.6.3	热电偶、热电阻扩展模块	71
3.6.4	PROFIBUS-DP 扩展模块	71
3.6.5	SIMATIC NET CP243-2 通信处理器	71
3.6.6	智能扩展模块	72
3.7	S7-200 PLC 的系统配置	72
3.7.1	S7-200 PLC 的基本配置	72
3.7.2	S7-200 PLC 的扩展配置	73
	习题与思考题	74
<b>4</b>	<b>PLC 基本指令</b>	<b>75</b>
4.1	可编程控制器的编程语言与 IEC61131-3 标准	75
4.1.1	传统的可编程控制器编程语言及不足	75

4.1.2	IEC 61131-3 标准的产生 .....	76
4.1.3	IEC 61131-3 标准的特点 .....	77
4.1.4	IEC61131-3 标准的 5 种编程语言 .....	79
4.1.5	基于 IEC61131-3 标准的编程软件 .....	83
4.1.6	SIMATIC 指令集与 IEC61131-3 指令集 .....	84
4.1.7	可编程控制器的程序结构 .....	84
4.2	存储器的数据类型与寻址方式 .....	84
4.2.1	数据在存储器中存取的方式 .....	84
4.2.2	不同存储区的寻址 .....	85
4.2.3	直接寻址与间接寻址 .....	87
4.2.4	绝对地址与符号地址 .....	88
4.3	S7-200PLC 的基本指令及编程方法 .....	88
4.3.1	位逻辑指令 .....	88
4.3.2	定时器与计数器指令 .....	93
4.3.3	比较操作指令 .....	97
4.4	功能图及步进控制指令 .....	99
4.4.1	功能图主要类型 .....	101
4.4.2	功能图及步进控制指令应用实例 .....	101
	习题与思考题 .....	118
<b>5</b>	<b>PLC 功能指令</b> .....	<b>120</b>
5.1	功能指令的基本形式 .....	120
5.2	功能指令及其应用 .....	122
5.2.1	运算指令 .....	122
5.2.2	数据处理指令 .....	133
5.2.3	表功能指令 .....	139
5.2.4	转换指令 .....	142
5.2.5	程序控制类指令 .....	146
5.2.6	特殊指令 .....	153
	习题与思考题 .....	161
<b>6</b>	<b>PLC 控制系统设计</b> .....	<b>162</b>
6.1	PLC 程序设计的常用方法 .....	162
6.1.1	经验设计法 .....	162
6.1.2	逻辑设计法 .....	162
6.1.3	状态分析法 .....	163
6.1.4	利用状态转移图设计法 .....	164
6.2	PLC 应用程序设计基础 .....	166
6.2.1	应用程序设计步骤 .....	166
6.2.2	应用程序设计流程 .....	168
6.3	常用基本环节编程 .....	168
6.4	PLC 控制系统设计内容与步骤 .....	173
6.4.1	控制设计原则 .....	173

6.4.2	控制设计内容	173
6.4.3	系统设计和调试的主要步骤	173
6.5	PLC 控制系统硬件设计	175
6.5.1	PLC 的选型	175
6.5.2	PLC 容量估算	176
6.5.3	I/O 模块的选择	176
6.5.4	分配输入/输出点	178
6.6	PLC 在全自动洗衣机控制系统中的应用	178
6.6.1	全自动洗衣机控制系统的控制要求	178
6.6.2	全自动洗衣机控制系统的 PLC 选型和资源配置	179
6.6.3	全自动洗衣机控制系统的程序设计和调试	179
6.6.4	全自动洗衣机控制系统 PLC 程序	179
6.7	自动生产线控制系统	183
6.7.1	自动生产线穿销钉单元	184
6.7.2	自动生产线检测单元	189
6.7.3	自动生产线加盖单元	189
	习题与思考题	199
<b>7</b>	<b>PLC 通信与网络技术</b>	<b>201</b>
7.1	PLC 通信的基本概念	201
7.1.1	基本概念和术语	201
7.1.2	差错控制	203
7.1.3	通信介质	204
7.1.4	串行通信接口标准	206
7.2	工业局域网基础	208
7.2.1	局域网的拓扑结构	208
7.2.2	网络协议和体系结构	209
7.2.3	IEEE802 通信标准	210
7.2.4	现场总线	211
7.3	S7-200 CPU 所支持的通信协议	211
7.3.1	PPI 协议	212
7.3.2	MPI 协议	212
7.3.3	PROFIBUS 协议	212
7.3.4	TCP/IP 协议	213
7.4	S7-200 通信部件介绍	213
7.4.1	通信端口	213
7.4.2	PC/PPI 电缆	214
7.4.3	网络连接器	215
7.4.4	PROFIBUS 网络电缆	215
7.4.5	网络中继器	215
7.4.6	EM277 PROFIBUS-DP 模块	216
7.4.7	S7-200 通信的硬件选择	217
7.5	S7-200 PLC 的通信	217



7.5.1	概述	217
7.5.2	利用 PPI 协议进行网络通信	219
7.5.3	利用 MPI 协议进行网络通信	221
7.5.4	利用 PROFIBUS 协议进行网络通信	221
7.5.5	利用 ModBus 协议进行网络通信	224
7.5.6	工业以太网	226
	习题与思考题	227
<b>8</b>	<b>组态软件及其在 SCADA 系统开发中的应用</b>	<b>228</b>
8.1	SCADA 系统概述	228
8.1.1	什么是 SCADA 系统	228
8.1.2	SCADA 系统组成	228
8.1.3	SCADA 系统的发展	232
8.1.4	SCADA 系统应用	232
8.2	组态软件技术	233
8.2.1	组态软件概述	233
8.2.2	组态软件结构与功能部件	235
8.2.3	用组态软件开发 SCADA 系统上位机人机界面	238
8.3	组态王及其应用	242
8.3.1	组态王软件介绍	242
8.3.2	组态王软件结构	244
8.3.3	用组态王开发上位机人机界面一般过程	245
8.4	组态王与外部设备通信及配置	246
8.4.1	组态王与外部设备通信概述	246
8.4.2	组态王与 S7-200 的通信方式	246
8.4.3	组态王与外部设备通信配置举例	248
8.5	组态王人机界面开发实例分析	259
8.5.1	人机界面开发概述	259
8.5.2	人机界面开发实例分析	260
	习题与思考题	274
<b>附录 A</b>	<b>特殊寄存器 (SM) 标志位</b>	<b>275</b>
<b>附录 B</b>	<b>STEP7-Micro/WIN32 编程软件使用</b>	<b>279</b>
<b>附录 C</b>	<b>S7-200 仿真软件的使用</b>	<b>287</b>
<b>附录 D</b>	<b>课程设计</b>	<b>290</b>
	参考文献	296

# 绪 论

## 0.1 控制装置的发展

工业生产的各个领域，无论是过程控制系统还是电气传动控制系统，都包含着大量的开关量和模拟量。开关量又称数字量，如电机的启停、阀门的开闭、电子元件的置位与复位、计时、产品的计数等；模拟量又称连续量，如温度、压力、流量、液位等。

最初，数字量和模拟量的控制主要用继电器、接触器或分立元件的电子线路来实现，它取代了原来的手动控制方式，并迅速成为工业控制的主流，这是自动控制的开始，也是以后诸多形式控制设备产生的基础。

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，要求设备更加通用、灵活、易变、经济、可靠，固定接线式的老装置显然不能满足这种需要。电子和集成制造技术的不断发展和控制理论的不完善，特别是计算机技术的诞生和发展，使自控装置在飞速发展，历经多次变革，这种要求不断变为现实，而且又不断成为过去。

以电气传动自控装置的发展为例，可将发展过程大致分为以下几代。

### (1) 继电接触器控制系统

继电接触器控制系统产生于 20 世纪 20 年代，是自动控制的开端。它由为数不多继电器、接触器和保护元件等组成。这种控制系统是为实现某一专门控制要求而设计的，通过电气元件之间的固定连线构成控制电路。它简单、经济，成本低，适用于动作比较简单、控制规模较小的场合，曾一度占据工业控制的主导地位。但是在动作复杂、规模较大的场合，暴露出明显的缺点：体积庞大、耗电量高、接线复杂、可靠性差、维修困难，在今天控制对象经常变化的情况下，就越来越难以适应了，也就是灵活性差。

### (2) 顺序控制器

顺序控制器产生于 20 世纪 60 年代。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三种类型：基本逻辑型、条件步进型和时间步进型。

它们是直接从继电接触器控制系统演变而来，并首次采用了程序的思想。由固定位置的电子元件排列成的矩阵电路，控制程序通过元件间连线的接插来实现，程序的运行是通过在不同时间接通不同回路来实现的。改变矩阵板的配线就可以很容易地改变控制程序，增加了程序的灵活性，大大方便了用户的使用。

其特点是：通用性和灵活性强，通过更改程序可以很容易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。

### (3) 可编程控制器

可编程控制器 PLC (Programmable Logic Controller) 产生于 1969 年，它是计算机技术与继电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，并取代了继电接触器控制。

它采用了计算机存储程序和顺序执行的原理；编程语言采用的是直观的类似继电接触器控制电路图的梯形图语言，这使得原来的工厂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。

目前, 可编程控制器已经具有了顺序控制、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, 不但可以完成开关量及顺序控制, 而且可以用来实现模拟量等复杂的控制。运行可靠, 通用性和适应性强, 发展非常迅速, 既可以用来单独构成控制系统, 其系统也可作为 DCS 系统中主要现场控制系统, 是目前工业自动化应用最广的控制设备。

#### (4) 数控加工中心

数控机床 CNC (Center of Numerical Control) 产生于 20 世纪 50 年代, 它是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床, 它综合应用了电子技术、检测技术、计算机技术、自动控制和机床结构设计等各个技术领域的最新技术成就。目前仍然广泛应用, 并且在一般数控机床的基础上发展成为附带自动换刀、自适应等功能的复杂数控系列产品, 称为加工中心。它能够对多道工序的工件进行连续加工, 节省了夹具, 缩短了装夹定位、对刀等辅助时间, 解决了占机械加工总量 80% 左右的单件和小批量生产的自动化, 提高了工效和产品质量。

#### (5) 分布式计算机控制系统

分布式计算机控制系统 DCS (Distributed Control System) 是随着计算机通信和网络技术的发展而发展起来的。它包含多台相对独立的计算机控制系统, 分散布置, 并行工作, 独立或协同地完成不同的子功能。

在大型计算机控制系统中, 通常采用分级多级系统而形成工厂自动化网络系统。它是根据对数据处理量实时性要求不同, 将计算机控制系统分为多级, 下级接受上级的指令和控制, 各级相对独立地完成不同性质的任务。多级分布控制系统的最低级目前通常由可编程控制器及其他现场控制设备构成, 接受上级计算机或人工设定值, 对生产机械或生产过程的某些参数直接进行控制。

分布式控制系统大大提高了控制系统的可靠性和灵活性, 成本低, 是当前工厂自动化大规模控制系统的主要形式, 目前应用广泛, 发展迅速, 技术日渐完善。

## 0.2 课程的性质、内容与任务

### (1) 课程的性质和内容

“电气与可编程控制器原理及应用”是一门实践性较强的专业课。电气控制技术在生产过程、科学研究及其他各领域的应用十分广泛。本课程主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象, 介绍电气控制基本原理、线路、程序及控制装置的设计方法。电气控制技术涉及面很广, 各种电气设备种类繁多, 功能各异, 但就其控制原理、基本线路、设计基础而言是类似的。本课程从应用角度出发, 以方法论为手段, 讲授上述几方面内容, 以培养学生对电气控制系统的分析和设计的基本能力。

本课程以传统的继电器接触器控制系统为开端, 主要有以下原因。

① 继电器接触器控制是可控编程控制器产生的基础。虽然目前的可编程控制器的功能极为强大, 既可实现数字量的控制, 又可实现模拟量的控制, 但它最初是为了在数字量控制中取代继电器接触控制系统而产生的, 源自继电器接触控制系统的思想, 两者有许多相同和相似之处。熟悉继电器接触器控制元件和控制电路, 就很容易从思想上接受可编程控制器的组成结构和编程语言, 而后作进一步的学习和使用。

② 目前工业生产继电器接触器等传统设备仍大量应用。一方面, 目前工厂为降低设备投资, 不少控制要求不太复杂的场合仍在使用继电器接触器。另一方面, 如电机拖动中, 主电路的

通断仍由接触器来完成。另外，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、接触器等传统设备，当今工厂自动控制往往是传统与现代控制设备并存的状态。特别是作为电气工程专业的学生掌握继电器接触控制技术是很有必要的。

③ 有利于在比较中学习掌握设备的使用。通过学习继电器接触控制系统和可编程控制器，比较两者在各方面的异同，便于掌握各种设备的应用知识，而且有利于将原有的较完善的继电器接触控制系统很容易地改造为可编程控制系统。这一点特别适合我国的国情。

PLC 是目前应用越来越广泛的一种工业控制器，由于它将计算机的编程灵活、功能齐全、应用面广等优点与继电器系统的控制简单、使用方便、抗干扰能力强、价格便宜等优点结合起来，而本身又具有体积小、重量轻、耗电省等特点，作为电气工程技术人员很有必要掌握 PLC 的基本原理与应用技术。本课程主要介绍占据工业自动化控制装置中支柱地位的可编程控制器。包括可编程控制器的一般知识、西门子 S7-200 系列可编程控制器的原理、指令系统、编程及相关配套设备的使用方法，重点内容是掌握它的使用、程序设计、应用设计和仿真技术。

## (2) 课程任务

通过本课程的学习，使得学生熟悉工厂常用控制电器的原理、结构及使用，熟练掌握电气控制的基本环节，能够分析和设计一般规模的继电器接触器的电气控制系统。

了解可编程控制器的结构、工作原理及主要技术指标，掌握可编程控制器的梯形图和语句表两种编程语言，掌握常用指令，能够根据工艺过程和控制要求完成可编程控制器的程序设计和应用设计，而且能够进行程序的调试和修改，而后可用于实际应用。

切实加强实践环节，熟练使用可编程控制器的主机、计算机编程软件及常用模块。

对可编程控制器的系统扩展、现场技术、通信知识、仿真技术以及工业网络有一定的了解，能够完成简单的通信任务。

# 1 常用低压电器

本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、型号、规格及用途等有关知识，同时介绍它们的图形符号及文字符号，为正确选择和合理使用这些电器打下基础。

## 1.1 概述

### 1.1.1 电器的定义与分类

凡是自动或手动接通和断开电路，以及能实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的电气元件统称为电器。

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，构造各异。其分类方法很多，下面介绍几种常用的分类方法。

(1) 按照工作电压等级分

① 低压电器：工作电压在交流 1000V 或直流 1200V 以下的各种电器。例如接触器、控制器、启动器、刀开关、自动开关、熔断器、继电器、电阻器、主令电器等。

② 高压电器：工作电压高于交流 1000V 或直流 1200V 以上的各种电器。例如高压断路器、隔离开关、高压熔断器、避雷器等。

(2) 按动作原理分

① 手动电器：指需要人工直接操作才能完成指令任务的电器。例如刀开关、控制器、转换开关、控制按钮等。

② 自动电器：指不需人工操作，而是按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器。例如自动开关、交直流接触器、继电器、高压断路器等。

(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。例如接触器、各种控制继电器、控制器、启动器等。

② 主令电器：用于自动控制系统中发送控制指令的电器。如控制按钮、主令开关、行程开关、万能转换开关等。

③ 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、各种保护继电器、避雷器等。

④ 配电电器：用于电能的输送和分配的电器。例如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关等。

⑤ 执行电器：指用于完成某种动作或传动功能的电器。如电磁铁、电磁离合器等。

### 1.1.2 低压电器发展概况

低压电器的生产和发展是和电的发明和广泛应用分不开的，从按钮、刀开关、熔断器等简单的低压电器开始，到各种规格的低压断路器、接触器以及由它们组成的成套电气控制设备，都是随着生产的需要而发展的。

自建国以来，我国随着国民经济的恢复和大规模经济建设的进行，国民经济各部门

对低压电器的种类、品种、质量提出了越来越高的要求。低压电器的品种也从少到多，产品质量从低到高逐渐发展。但是产品与电工行业的国际标准 IEC 仍有一定的差距。

改革开放以后，我国低压电器制造工业有了飞速发展。一方面，国产产品如 CJ20 系列接触器、RJ20 系列热继电器、DZ20 系列塑料外壳式断路器都是国内 20 世纪 80 年代更新换代的产品，符合国家新标准（参考 IEC 标准制订），有的甚至符合 IEC 标准。另一方面，积极从德国 BBC 公司、AEC 公司及西门子公司、美国西屋公司、日本寺崎公司等引进了接触器、热继电器、启动器、断路器等先进的产品制造技术，并基本实现国产化，使我国低压电器的产品质量有较大的提高。

当前，我国低压电器的发展总是不断提高其技术参数的性能指标，并在其经济性能上下功夫。其间，使用新材料、新工艺、新技术对产品质量的提高、性能的改善有着十分重要的作用。同时我国大力开发新产品，特别是多功能化产品及机电一体化产品，如电子化的新型控制电器（如接近开关、光电开关、固态继电器与接触器、电子式电机保护器等）正不断研制、开发出来。总之，低压电器正向高性能、高可靠性、多功能、小型化、使用方便等方向发展。

### 1.1.3 低压电器电磁机构及执行机构

电磁机构的作用是将电磁能转换为机械能并带动触点的闭合或断开，完成通断电路的控制作用。

电磁机构由吸引线圈、铁芯和衔铁组成，其结构形式按衔铁的运动方式可分为直动式和拍合式，图 1-1 是直动式和拍合式电磁机构的常用结构形式。

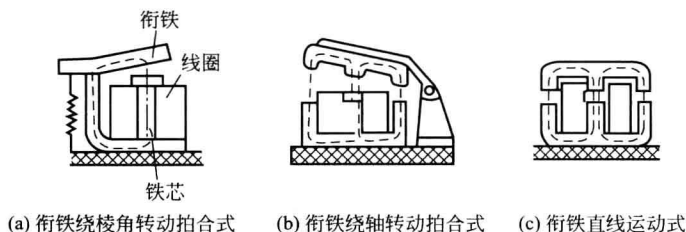


图 1-1 电磁机构

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能，即产生磁通，衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移使铁芯吸合。通入直流电流的线圈称为直流线圈，通入交流电的线圈称为交流线圈。

对于直流线圈，铁芯不发热，只是线圈发热，因此线圈与铁芯接触以利散热。线圈做成无骨架、高而薄的瘦高型，以改善线圈自身散热。铁芯和衔铁由软钢或工程纯铁制成。

对于交流线圈，除线圈发热外，由于铁芯中有涡流和磁滞损耗，铁芯也会发热。为了改善线圈和铁芯的散热情况，在铁芯与线圈之间留有散热间隙，而且把线圈做成有骨架的矮胖型。铁芯用硅钢片叠成，以减少涡流。当线圈通过工作电流时产生足够的磁动势，从而在磁路中形成磁通，使衔铁获得足够的电磁力，克服反作用力而吸合。在交流电流产生的交变磁场中，为避免因磁通过零点造成衔铁的抖动，需在交流电器铁芯的端部开槽，嵌入一铜短路环，使环内感应电流产生的磁通与环外磁通不同时过零，使电磁吸力总是大于弹簧的反作用力，因而可以消除铁芯的抖动。

另外，根据线圈在电路中的连接方式可分为串联线圈（即电流线圈）和并联线圈（即电压线圈）。串联（电流）线圈串接在线路中，流过的电流大，为减少对电路的影响，线圈的导线粗、匝数少，线圈的阻抗较小。并联（电压）线圈并联在线路上，为减少分流作用，降低对原

电路的影响，需要较大的阻抗，因此线圈的导线细而匝数多。

### 1.1.4 触点系统

触点的作用是接通或分断电路，因此要求触点具有良好的接触性能和导电性能，电流容量较小的电器，其触点通常采用银质材料。这是因为银质触点具有较低和较稳定的接触电阻，其氧化膜电阻率与纯银相似，可以避免触点表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良。电流容量较大的电器，其触点通常采用铜质材料。

触点的结构形式有桥式和指形两种，图 1-2 为触点结构形式。

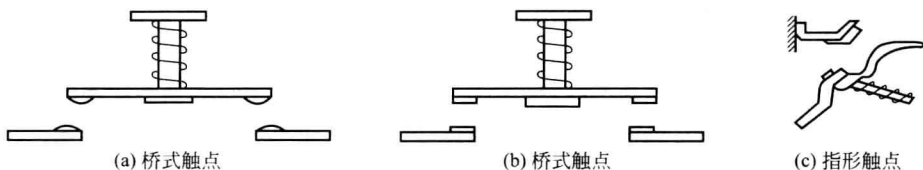


图 1-2 触点结构形式

桥式触点又分为点接触式和面接触式。点接触式适用于电流不大并且触点压力小的场合，面接触式适用于大电流的场合。指形触点在接通与分断时产生滚动摩擦，可以去掉氧化膜，故其触点可以用紫铜制造，它适合于触点分合次数多、电流大的场合。

### 1.1.5 灭弧系统

触点分断电路时，由于热电子发射和强电场的作用，使气体游离，从而在分断瞬间产生电弧。电弧的高温能将触点烧损，缩短电器的使用寿命，又延长了电路的分断时间。因此，应采用适当措施迅速熄灭电弧。

低压控制电器常用的灭弧方法有以下三种。

#### (1) 电动力吹弧

电动力吹弧如图 1-3 所示。桥式触点在分断时本身具有电动力吹弧功能，不用任何附加装置，就可使电弧迅速熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

#### (2) 磁吹灭弧

磁吹灭弧是在触点电路中串入吹弧线圈，如图 1-4 所示。该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围，其方向由右手定则确定（如图 1-4 中  $\times$  所示）。触点间的电弧所产生的磁场，其方向如图中  $\otimes$ 、 $\odot$  所示。这两个磁场在电弧下方方向相向（叠加），在弧柱上方

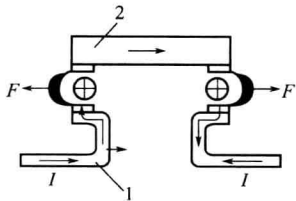


图 1-3 电动力灭弧示意图

1—静触点；2—动触点

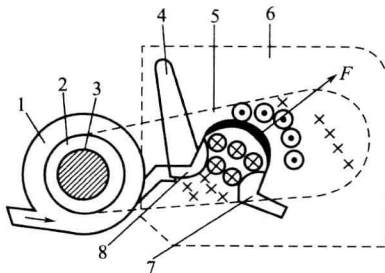


图 1-4 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈；2—绝缘套；3—铁芯；  
4—引弧角；5—导磁夹板；6—灭  
弧罩；7—动触点；8—静触点

方向相反（相减），所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下，电弧受力的方向为  $F$  所指的方向，在  $F$  的作用下，电弧被吹离触点，经引弧角引进灭弧罩，使电弧熄灭。

### (3) 栅片灭弧

灭弧栅片是一组薄铜片，它们彼此间相互绝缘，如图 1-5 所示。当电弧进入栅片被分割成一段段串联的短弧，而栅片就是这些短弧的电极。每两片电弧之间都有  $150 \sim 250\text{V}$  的绝缘强度，使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强，以致外电压无法维持，电弧迅速熄灭。由于栅片灭弧效应在交流时要比直流强得多，所以交流电器常常采用栅片灭弧。

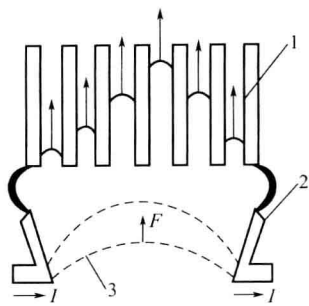


图 1-5 栅片灭弧示意图  
1—灭弧栅片；2—触点；3—电弧

## 1.2 接触器

接触器是一种自动的电磁式电器，适用于远距离频繁接通或断开交直流主电路及大容量控制电路。其主要控制对象是电动机，也可用于控制其他负荷，如电焊机、电容器、电阻炉等。它不仅能实现远距离自动操作和欠电压释放保护及零电压保护功能，而且有控制容量大、工作可靠、操作频率高、使用寿命长等优点。常用的接触器分为交流接触器和直流接触器两类。

### 1.2.1 接触器结构和工作原理

图 1-6 为接触器结构示意图，接触器主要由电磁机构、触点系统和灭弧装置组成。

#### (1) 电磁机构

电磁机构由电磁线圈、铁芯和衔铁组成，其功能是操作触点的闭合和断开。

#### (2) 触点系统

触点系统包括主触点和辅助触点。主触点用在通断电流较大的主电路中，一般由三对动合触点组成，体积较大。辅助触点用以通断小电流的控制电路，体积较小，它有“动合”、“动断”触点的组成。动合触点（又称常开触点）是指线圈未通电时，其动、静触点是处于断开状态的；当线圈通电后就闭合。动断触点（又称常闭触点）是指在线圈未通电时，其动、静触点是处于闭合状态的；当线圈通电后，则断开。

线圈通电时，常闭触点先断开，常开触点后闭合；线圈断电时，常开触点先复位（断开），常闭触点后复位（闭合），其中间存在一个很短的时间间隔。分析电路时，应注意这个时间间隔。

#### (3) 灭弧装置

容量在  $10\text{A}$  以下的接触器都有灭弧装置，常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧结构。

#### (4) 其他部分

其他部分包括弹簧、传动机构、接线柱及外壳等。

当交流接触器线圈通电后，在铁芯中产生磁通。由此在衔铁气隙处产生吸力，使衔铁向下运动（产生闭合作用），在衔铁带动下，使常闭触点断开，常开触点闭合。当线圈断电

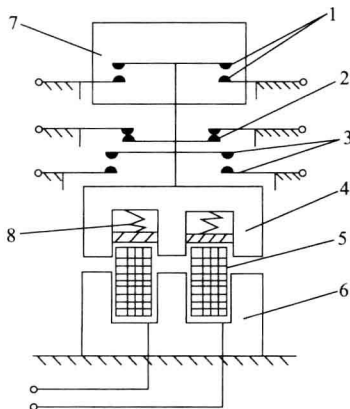


图 1-6 接触器结构示意图

1—主触点；2—常闭辅助触点；3—常开辅助触点；4—铁芯；5—电磁线圈；6—衔铁；7—灭弧罩；8—弹簧



或电压显著降低时,吸力消失或减弱,衔铁在弹簧的作用下释放,各触点恢复原来位置。这就是接触器的工作原理。

接触器的图形符号如图 1-7 所示,文字符号为 KM。

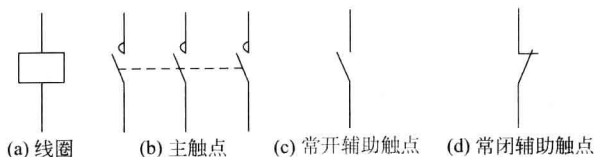


图 1-7 接触器图形符号

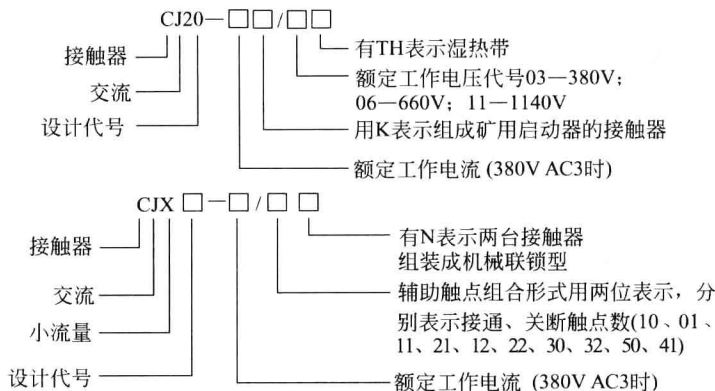
直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同,仅有电磁机构方面不同。

### 1.2.2 接触器的型号及主要技术参数

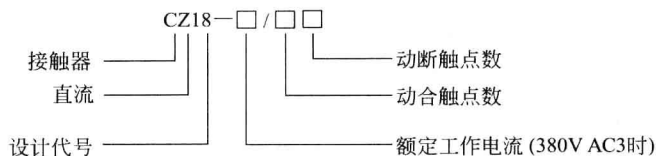
目前我国常用的交流接触器主要有 CJ20、CJX1、CJX2、CJ12 和 CJ10 等系列,引进产品应用较多的有引进德国 BBC 公司制造技术生产的 B 系列,德国西门子公司 3TB 系列、法国 TE 公司的 LC1 系列等;常用的直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22 和 CZ10、CZ2 等系列,CZ18 系列是取代 CZ0 系列的新产品。

#### (1) 型号含义

交流接触器型号的含义如下。



直流接触器型号的含义如下。



#### (2) 主要技术参数

① 额定电压是指主触点的额定工作电压。

② 额定电流是指主触点的额定电流。

接触器额定电压和额定电流如表 1-1 所示。

③ 线圈额定电压是指电磁线圈的额定电压,常用的额定电压等级,如表 1-2 所示。

表 1-1 接触器额定电压和额定电流等级

项 目	直流接触器	交流接触器
额定电压/V	110、220、440、660	220、380、500、660
额定电流/A	5、10、20、40、60、100、150、250、400、600	5、10、20、40、60、100、150、250、400、600、1140