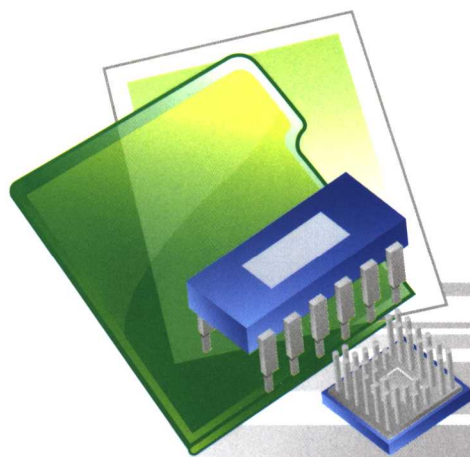




21st CENTURY
十一·五规划教材

21世纪全国高等院校

自动化系列 实用规划教材



电器与PLC控制技术

主 编 陈志新 宗学军
副主编 武 丽 谢云敏

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

电器与 PLC 控制技术

主 编 陈志新 宗学军
副主编 武 丽 谢云敏
参 编 刘 彬 李国厚
陈景文

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

全书共分 10 章。分别介绍了电器控制和 PLC 控制技术两部分内容。前一部分主要介绍常用的低压电器的基本类型、工作原理、主要用途,以及由低压电器构成的典型电气控制系统。后一部分选择了西门子 S7 系列和三菱 FX 系列 PLC 介绍了 PLC 的原理、控制技术以及 PLC 应用系统的设计方法。为了便于教学,在每章之后还附有适量的习题与思考题,便于读者学习和掌握本章的内容。

本书可作为高等院校本科自动化、电气工程及其自动化专业及相近专业的教材,也可作为电气、机电等领域的工程技术人员的参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电器与 PLC 控制技术/陈志新,宗学军主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社, 2006.8

(21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4403-5

I. 电… II. ①陈… ②宗… III. ①电气设备—自动控制—高等学校—教材②可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TM762

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090053 号

书 名: 电器与 PLC 控制技术

著作责任者: 陈志新 宗学军 主编

策划编辑: 李娉婷

责任编辑: 李虎 曹岚 何蕊

标准书号: ISBN 7-5038-4403-5

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编: 100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail:cfphz@public.bta.net.cn

电话: 编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京汇林印务有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 26 印张 599 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

《21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

专家编审委员会

主任委员 张德江

副主任委员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈 静 丁坚勇 侯媛彬

纪志成 任庆昌 吴 斌

秘书长 于微波

委 员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈志新 戴文进 段晨旭 樊立萍

范立南 公茂法 关根志 嵇启春

蒋 中 雷 霞 刘德辉 刘永信

刘 原 马永翔 孟祥萍 孟彦京

聂诗良 王忠庆 吴旭云 燕庆明

杨新华 尤 文 张桂青 张井岗

《21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

联合编写学校名单 (按拼音顺序排名)

- | | |
|---------------|-------------|
| 1 安徽建筑工业学院 | 30 南昌工程学院 |
| 2 安徽科技学院 | 31 平顶山工学院 |
| 3 北华大学 | 32 平顶山学院 |
| 4 北京工商大学 | 33 青岛科技大学 |
| 5 北京建筑工程学院 | 34 山东建筑工程学院 |
| 6 长春大学 | 35 山东科技大学 |
| 7 长春工程学院 | 36 陕西科技大学 |
| 8 长春工业大学 | 37 陕西理工学院 |
| 9 长春理工大学 | 38 沈阳大学 |
| 10 成都理工大学 | 39 沈阳工程学院 |
| 11 东北电力学院 | 40 沈阳工业大学 |
| 12 福州大学 | 41 沈阳化工学院 |
| 13 广东工业大学 | 42 四川理工学院 |
| 14 桂林工学院 | 43 太原科技大学 |
| 15 合肥工业大学 | 44 潍坊学院 |
| 16 河南工业大学 | 45 武汉大学 |
| 17 河南科技学院 | 46 武汉理工大学 |
| 18 河南农业大学 | 47 西安工程科技学院 |
| 19 华东交通大学 | 48 西安建筑科技大学 |
| 20 黄石理工学院 | 49 西安科技大学 |
| 21 吉林工程技术师范学院 | 50 西安理工大学 |
| 22 吉林化工学院 | 51 西安石油大学 |
| 23 吉林建筑工程学院 | 52 西安外事学院 |
| 24 江南大学 | 53 西安邮电学院 |
| 25 焦作大学 | 54 西南大学 |
| 26 兰州理工大学 | 55 西南科技大学 |
| 27 聊城大学 | 56 浙江大学 |
| 28 辽宁大学 | 57 中北大学 |
| 29 内蒙古大学 | 58 中北大学分校 |

总 序

我们所处的时代被称为信息时代。信息科学与技术的迅速发展和广泛应用，深深地改变着人类生产、生活的各个方面。人类社会生产力发展和人们生活质量的提高越来越得益于和依赖于信息科学与技术的发展。自动化科学与技术涉及到信息的检测、分析、处理、控制和应用等各个方面，是信息科学与技术领域的重要组成部分。在我国经济建设的进程中，工业化是不可逾越的发展阶段。面对全面建设小康社会的发展目标，党和国家提出走新型工业化道路的战略决策，这是一条我国当代工业化进程的必由之路。实现新型工业化，就是要坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的可持续发展的科学发展之路。在这个过程中，自动化科学与技术起着不可替代的重要作用，高等学校的自动化学科肩负着人才培养和科学研究的光荣的历史使命。

我国高等教育中工科在校大学生数占在校大学生总数的 35%~40%，其中自动化类的学生是工科各专业中学生人数最多的专业之一。在我国高等教育已走进大众化阶段的今天，人才培养模式多样化已成为必然的趋势，其中应用型人才是我国经济建设和社会发展需求最多的一大类人才。为了促进自动化领域应用型人才培养，发挥院校之间相互合作的优势，北京大学出版社组织了此套《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》。

参加这一系列教材编写的基本上都是来自地方工科院校自动化学科的专家学者，由此确定了教材的使用范围，也为“实用教材”的定位找到了落脚点。本系列教材具有如下特点：

(1) 注重实用性。地方工科院校的人才培养规格大多定位在高级应用型，对这一大类人才的培养要注重面向工程实践，培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。从这一教学原则出发，本系列教材注重实用性，注意引用工程中的实例，培养学生的工程意识和工程应用能力，因此将更适合地方工科院校的教学要求。

(2) 体现新颖性。更新教材内容，跟进时代，加入一些新的先进实用的知识，同时淘汰一些陈旧过时的内容。

(3) 院校间合作交流的成果。每一本教材都有几所院校的教师参加编写。北大出版社先在西安市和长春市召开了编写计划会和审纲会，来自各院校的教师比较充分地交流了情况，在相互借鉴、取长补短的基础上，形成了编写大纲，确定了编写原则。因此，这一系列教材可以反映出各参编院校一些好的经验和做法。

(4) 这一系列教材几乎涵盖了自动化类专业从技术基础课到专业课的各门课程，到目前为止，列入计划的已有 30 多门，教材门数多，参与的院校多，参加编写人员多。

地方工科院校是我国高等院校中比例最大的一部分。本系列教材面向地方工科院校自动化类专业教学之用，将拥有众多的读者。教材专家编审委员会深感教材的编写质量对教学质量的重要性，在审纲会上强调了“质量第一，明确责任，统筹兼顾，严格把关”的原则，要求各位主编加强协调，认真负责，努力保证和提高教材质量。各位主编和编者也将尽职尽责，密切合作，努力使自己的作品受到读者的认可和欢迎。尽管如此，由于院校之间、编者之间的差异性，教材中还是难免会出现一些问题和不足，欢迎选用本系列教材的教师、学生提出批评和建议。

张德江

2006年1月

前 言

电气控制技术是高等学校电类专业的一门传统课程，主要介绍由继电器、接触器、按钮、行程开关等电器构成的控制系统。由于这些电气器件的控制方式是断续的，所以又称为断续控制系统。该系统结构简单、价格低廉、抗干扰性强，至今仍是机床和其他机械设备、拖动系统广泛采用的基本电气控制形式。计算机技术的发展，特别是可编程控制器的出现，对电气控制技术产生了重大影响。20世纪80年代末，在我国一些高校的电类专业、机电一体化专业陆续开始设置可编程控制技术课程。由于这是一门实用性很强的课程，因此受到各高校特别是培养应用型人才的高校的普遍欢迎，很快得到了普及。

1998年，教育部对我国高校的专业进行了调整，将相应的课程和教学时数进行了调整和压缩。很多高校相应调整了教学大纲和课程体系，将以上两门课程整合为“电器与可编程控制技术”一门课程，本书正是在这个前提下编写的。全书理论联系实际，突出学生工程应用能力的训练和培养，便于组织教学。在内容安排上，电器控制与可编程控制两部分既相互联系，又相互独立，以便于一些分别开设这两门课的院校使用。

全书共分两部分，第一部分为电器控制部分，共分3章，建议教学16学时。主要要求学生熟练掌握常用低压电器的基本类型、原理、用途，能合理选用控制电器，掌握继电器、接触器控制线路的基本环节，学会阅读、分析由继电器、接触器构成的典型电气控制线路，并具有初步的设计能力。第二部分为PLC控制技术部分，共分7章，建议教学32学时。本书选择了在我国使用较为广泛的西门子S7-200系列、S7-300系列及三菱FX系列的PLC产品，教师可根据学校的实验条件，选择一种PLC的机型介绍其原理和编程指令。在此基础上再学习PLC的程序设计方法，以及由PLC构成的控制系统。全书各章之后还留有一些习题与思考题，便于学生课后复习掌握。

本书由北京建筑工程学院陈志新任第一主编，沈阳化工学院宗学军任第二主编，西南科技大学武丽和南昌工程学院谢云敏任副主编，中北大学分校刘彬、河南科技学院李国厚和陕西科技大学陈景文参加了编写。全书共分10章。第1章由陈志新编写，第2章由陈景文编写，第3、10章由武丽编写，第4、5章由李国厚编写，第6、7章由刘彬编写，第8章由宗学军编写，第9章由谢云敏编写。陈志新对全书各章进行了修改并统稿。

由于编者水平有限，书中难免存在不当之处，敬请各位专家和读者批评指正。

编 者

2006年6月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1	1.8.2 熔断器的选用	31
1.1 概述	1	1.9 低压开关和低压断路器	32
1.1.1 电器的分类	1	1.9.1 低压开关	32
1.1.2 电器的作用	2	1.9.2 低压断路器	33
1.2 电磁式电器结构及工作原理	3	1.10 常用电子电器	35
1.2.1 电磁机构原理	3	1.10.1 晶体管时间继电器	35
1.2.2 电磁吸力及其特性	4	1.10.2 固态继电器	37
1.2.3 电弧的产生及灭弧方法	6	1.10.3 无触头行程开关	38
1.3 电磁式接触器	9	思考题与习题	39
1.3.1 接触器的结构及原理	9	第 2 章 继电接触器与电动机的	
1.3.2 接触器的主要技术参数	10	电气控制	40
1.3.3 接触器的型号	11	2.1 电气控制系统的电路图及	
1.3.4 接触器的选用	12	绘制原则	40
1.4 电磁式继电器	12	2.1.1 电器控制线路常用的图形、	
1.4.1 电磁式继电器的结构与特性	13	文字符号	40
1.4.2 电压继电器	14	2.1.2 电气原理图	44
1.4.3 电流继电器	15	2.1.3 电气安装接线图	47
1.4.4 时间继电器	15	2.2 电气控制的基本环节及规律	48
1.4.5 中间继电器	17	2.2.1 点动控制环节	48
1.5 热继电器	18	2.2.2 连续运转控制环节	49
1.5.1 热继电器的作用及工作原理	18	2.2.3 启动、保护和停止控制环节	50
1.5.2 热继电器型号及选用	20	2.2.4 电气控制常用的保护环节	50
1.6 信号继电器	21	2.2.5 自锁控制与互锁控制	52
1.6.1 温度继电器	22	2.2.6 多地联锁控制	53
1.6.2 速度继电器	23	2.2.7 多台电动机先后顺序	
1.6.3 压力继电器	24	工作的控制	54
1.6.4 干簧继电器	24	2.2.8 自动循环控制	55
1.7 主令电器	25	2.3 三相异步电动机的启动控制	55
1.7.1 控制按钮	25	2.3.1 三相笼型电动机直接	
1.7.2 行程开关	26	启动控制	55
1.7.3 万能转换开关	28	2.3.2 星-三角形减压启动控制	56
1.7.4 主令控制器	29	2.3.3 延边三角形减压启动控制	57
1.8 熔断器	29	2.3.4 定子绕组串电阻减压	
1.8.1 熔断器的结构与分类	29	启动控制	57

2.3.5 自耦变压器减压启动的控制.....	58	5.1.6 电源	93
2.3.6 绕线转子绕组电动机的电路.....	59	5.2 可编程控制器的资源与编程语言	93
2.4 三相异步电动机的制动控制	61	5.2.1 可编程控制器的硬件资源	93
2.4.1 电磁机械制动控制线路.....	61	5.2.2 可编程控制器的编程语言	96
2.4.2 三相异步电动机反接 制动控制.....	63	5.3 可编程控制器的工作原理	97
2.4.3 三相异步电动机能耗 制动控制.....	63	5.3.1 可编程控制器的工作过程	98
思考题与习题	64	5.3.2 可编程控制器的 输入/输出过程	100
第 3 章 电气控制系统的设计	65	思考题与习题	101
3.1 电气控制系统设计的基本原则	65	第 6 章 SIMATIC S7-200 系列 PLC	
3.1.1 电气控制系统设计要求.....	65	系统特性及硬件构成	102
3.1.2 电气控制系统设计的 基本内容.....	71	6.1 SIMATIC S7-200 系列 PLC 的 硬件系统.....	102
3.1.3 电气控制系统设计步骤.....	72	6.1.1 概述	102
3.2 电气控制系统的设计方法	73	6.1.2 SIMATIC S7-200 系列 PLC 系统基本构成	102
3.2.1 分析设计法.....	73	6.2 SIMATIC S7-200 系列 PLC	
3.2.2 逻辑设计法.....	75	模块性能简介.....	104
思考题与习题	79	6.2.1 CPU 模块.....	104
第 4 章 可编程控制器概述	81	6.2.2 数字量模块	107
4.1 可编程控制器的产生与发展	81	6.2.3 模拟量模块	109
4.1.1 可编程控制器的产生.....	81	6.2.4 温度测量模块	115
4.1.2 可编程控制器的发展.....	82	6.2.5 智能接口模块	117
4.2 可编程控制器的分类及特点	84	思考题与习题	123
4.2.1 可编程控制器的分类.....	84	第 7 章 SIMATIC S7-200 系列	
4.2.2 可编程控制器的特点.....	85	PLC 基本指令系统	124
4.2.3 PLC 的主要功能.....	87	7.1 编程软件 STEP7-Micro/WIN32	
4.2.4 PLC 的性能指标	88	简介.....	124
思考题与习题	89	7.2 指令及其结构	126
第 5 章 可编程控制器的结构		7.2.1 指令的组成	126
和工作原理	90	7.2.2 寻址方式	127
5.1 可编程控制器的基本结构	90	7.2.3 操作数	132
5.1.1 CPU(中央处理器).....	90	7.2.4 状态字	134
5.1.2 存储器.....	91	7.3 位逻辑指令	135
5.1.3 输入/输出模块	92	7.3.1 位操作指令	135
5.1.4 智能模块.....	93	7.3.2 位逻辑运算指令	141
5.1.5 编程设备.....	93	7.3.3 立即指令	147

7.3.4 位逻辑指令编程举例.....	147	8.1.3 系统结构	251
7.4 定时器与计数器指令	152	8.1.4 I/O 模块地址的确定	252
7.4.1 定时器指令	152	8.2 S7-300 的 CPU 模块	253
7.4.2 计数器指令	156	8.3 S7-300 的输入/输出模块	254
7.4.3 定时器与计数器编程举例.....	159	8.3.1 数字量输入模块	254
7.5 数据处理功能指令	164	8.3.2 数字量输出模块	255
7.5.1 传送指令和表功能指令	165	8.3.3 数字量输入/输出模块	255
7.5.2 转换指令	173	8.3.4 模拟量模块	256
7.5.3 比较指令	183	8.3.5 模拟量输入/输出模块	259
7.5.4 移位和循环移位指令	184	8.3.6 模拟量模块的诊断与中断	260
7.5.5 数据处理功能指令 编程举例	189	8.4 S7-300 的编程语言	261
7.6 数据运算指令	190	8.5 STEP 7 指令系统简介	263
7.6.1 算术运算指令	190	8.5.1 LAD/FBD 指令系统	263
7.6.2 逻辑运算指令	197	8.5.2 STL 指令系统	269
7.6.3 数据运算指令编程举例	200	8.6 编程方式与程序块、数据块	274
7.7 程序控制指令	202	8.6.1 编程方式简介	274
7.7.1 END、MEND、STOP 及 WDR 指令	202	8.6.2 关于功能块	277
7.7.2 跳转及循环指令	204	8.6.3 功能块编程与调用	280
7.7.3 子程序指令	208	8.6.4 数据块	282
7.7.4 中断程序控制指令	211	8.7 S7-300 的网络通信	285
7.7.5 程序控制指令编程举例	215	8.7.1 MPI 通信介绍	286
7.8 S7 系列 PLC 的顺序控制指令	218	8.7.2 PROFIBUS 通信介绍	288
7.8.1 状态转移图	218	8.7.3 Industrial Ethernet 通信介绍	289
7.8.2 顺序控制指令	219	8.8 S7-300 的程序设计	289
7.8.3 顺序控制指令编程要点	220	8.8.1 程序结构设计	289
7.8.4 多流程顺序控制	221	8.8.2 程序设计实例	290
7.9 其他重要功能指令	224	思考题与习题	303
7.9.1 高速计数器指令	224		
7.9.2 高速脉冲输出指令	230	第 9 章 三菱 FX 系列 PLC 及其 指令系统	304
7.9.3 PID 回路指令	236	9.1 FX 系列 PLC 简介	304
7.9.4 时钟功能指令	243	9.1.1 FX 系列 PLC 的特点	304
思考题与习题	245	9.1.2 FX 系列 PLC 型号 名称的含义	304
第 8 章 SIMATIC S7-300 PLC 硬件特性与软件设计	246	9.1.3 FX 系列 PLC 的技术指标	305
8.1 S7-300 概述	246	9.2 FX 系列 PLC 的编程元件	306
8.1.1 概述	246	9.2.1 FX 系列 PLC 的用户 数据结构	306
8.1.2 组成部件	247		

9.2.2 输入继电器和输出继电器.....	307	思考题与习题	359
9.2.3 辅助继电器(M)	308	第 10 章 可编程控制器应用	
9.2.4 状态继电器(S).....	310	系统设计	361
9.2.5 定时器(T)	310	10.1 PLC 应用系统设计的	
9.2.6 计数器(C).....	312	内容和步骤.....	361
9.2.7 数据寄存器(D).....	314	10.1.1 系统设计的原则与内容	361
9.2.8 指针(P/T).....	315	10.1.2 系统设计和调试的	
9.3 FX 系列 PLC 的基本指令	315	主要步骤	362
9.3.1 LD, LDI, OUT 指令	316	10.2 PLC 应用系统的硬件设计	363
9.3.2 AND, ANI 指令	316	10.2.1 PLC 选型	363
9.3.3 OR, ORI 指令	317	10.2.2 PLC 容量估算	365
9.3.4 ANB, ORB 指令	317	10.2.3 I/O 模块的选择	366
9.3.5 栈操作指令.....	318	10.2.4 分配 I/O 点	368
9.3.6 主控与主控复位指令.....	319	10.2.5 安全回路设计	369
9.3.7 取反指令.....	321	10.2.6 可靠性设计	370
9.3.8 PLS 与 PLF 指令.....	321	10.3 PLC 应用系统的程序设计	377
9.3.9 边沿检测触点指令	322	10.3.1 PLC 应用程序的内容	377
9.3.10 置位与复位指令.....	322	10.3.2 PLC 应用系统的程序	
9.3.11 NOP 与 END 指令	323	设计步骤	377
9.4 FX 系列 PLC 功能指令	323	10.4 常用程序分析	379
9.4.1 功能指令的基本表示方法.....	324	10.4.1 自锁程序	379
9.4.2 比较与传送指令.....	325	10.4.2 优先程序	380
9.4.3 算术运算与逻辑运算指令.....	328	10.4.3 顺序循环执行程序	380
9.4.4 程序流向控制指令.....	330	10.4.4 振荡程序	382
9.4.5 循环移位与移位指令.....	333	10.4.5 分频程序	383
9.4.6 数据处理指令.....	336	10.4.6 PLC 编程中常见错误	384
9.4.7 浮点数运算指令.....	340	10.5 PLC 应用系统设计实例	385
9.4.8 时钟运算与格林码变换		10.5.1 旋转流管式膜微滤(MF)	
指令.....	342	系统 PLC 控制系统设计	385
9.4.9 触点型比较指令.....	344	10.5.2 组合机床机械滑台 PLC	
9.4.10 高速处理指令.....	345	控制系统设计	394
9.4.11 方便指令.....	349	思考题与习题	397
9.4.12 外部 I/O 设备指令	352	参考文献	399
9.4.13 外部设备指令.....	356		

第 1 章 常用低压电器

电器分为高压电器和低压电器。低压电器一般是指在交流 50Hz、额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。由于在大多数用电行业及人们的日常生活中一般都使用低压设备，采用低压供电。而低压供电的输送、分配和保护，以及设备的运行和控制是靠低压电器来实现的，因此低压电器的应用十分广泛，直接影响低压供电系统和控制系统的质量。本章主要介绍用于电力拖动及控制系统领域中的常用低压电器。

1.1 概 述

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 电器的分类

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，结构各异，工作原理也各有不同。电器有多种分类方法：按工作电压的等级可分为高压电器和低压电器；按动作原理可分为手动电器和自动电器；按工作原理可分为电磁式电器和非电量控制电器；按用途可分为以下几类。

1) 配电电器

配电电器主要用于供、配电系统中，进行电能输送和分配。这类电器有刀开关、自动开关、隔离开关、转换开关以及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性性能好。

2) 控制电器

控制电器主要用于各种控制电路和控制系统。这类电器有接触器、继电器、转换开关、电磁阀等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率要高，电器和机械寿命要长。

3) 主令电器

主令电器主要用于发送控制指令。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等。对这类电器的主要技术要求是操作频率要高，抗冲击，电器和机械寿命要长。

4) 保护电器

保护电器主要用于对电路和电气设备进行安全保护。这类低压电器有熔断器、热继电器、安全继电器、电压继电器、电流继电器和避雷器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，反应要灵敏，可靠性要高。

5) 执行电器

执行电器主要用于执行某种动作和传动功能。这类低压电器有电磁铁、电磁离合器等。随着电子技术和计算机技术的进步，近几年又出现了利用集成电路或电子元件构成的

电子式电器，利用单片机构成的智能化电器，以及可直接与现场总线连接的具有通信功能的电器。

1.1.2 电器的作用

电器是构成控制系统的最基本元件，它的性能将直接影响控制系统能否正常工作。电器能够依据操作信号或外界现场信号的要求，自动或手动地改变系统的状态、参数，实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示、调节。它的工作过程是将一些电量信号或非电信号转变为非通即断的开关信号或随信号变化的模拟量信号，实现对被控对象的控制。电器的主要作用如下。

- (1) 控制作用。如电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。
 - (2) 保护作用。能根据设备的特点，对设备、环境以及人身安全实行自动保护，如电动机的过热保护、电网的短路保护、漏电保护等。
 - (3) 测量作用。利用仪表及与之相适应的电器，对设备、电网或其他非电参数进行测量，如电流、电压、功率、转速、温度、压力等。
 - (4) 调节作用。低压电器可对一些电量和非电量进行调整，以满足用户的要求，如电动机速度的调节、柴油机油门的调整、房间温度和湿度的调节、光照度的自动调节等。
 - (5) 指示作用。利用电器的控制、保护等功能，显示检测出的设备运行状况与电气电路工作情况。
 - (6) 转换作用。在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行。以实现功能切换，如被控装置操作的手动与自动的转换、供电系统的市电与自备电源的切换等。
- 当然，电器的作用远不止这些，随着科学技术的发展，新功能、新设备会不断出现。常用低压电器的主要种类及用途见表 1-1。

表 1-1 常用低压电器的主要种类及用途表

序 号	类 别	主要品种	主要用途
1	断路器	框架式断路器	主要用于电路的过载、短路、欠电压、漏电保护，也可用于不需要频繁接通和断开的电路
		塑料外壳式断路器	
		快速直流断路器	
		限流式断路器	
2	接触器	漏电保护式断路器	主要用于远距离频繁控制负载，切断带负荷电路
		交流接触器	
3	继电器	直流接触器	主要用于控制电路中，将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		电磁式继电器	
		时间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	
		速度继电器	
4	熔断器	干簧继电器	主要用于电路短路保护，也用于电路的过载保护
		瓷插式熔断器	
		螺旋式熔断器	
		有填料封闭管式熔断器	
		无填料封闭管式熔断器	
		快速熔断器	
自复式熔断器			

(续)

序 号	类 别	主要品种	主要用途
5	主令电器	控制按钮	主要用于发布控制命令, 改变控制系统的工作状态
		位置开关	
		万能转换开关	
		主令控制器	
6	刀开关	胶盖闸刀开关	主要用于不频繁地接通和分断电路
		封闭式负荷开关	
		熔断器式刀开关	
7	转换开关	组合开关	主要用于电源切换, 也可用于负荷通断或电路切换
		换向开关	
8	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		平面控制器	
9	起动机	电磁起动机	主要用于电动机的启动
		星/三角起动机	
		自耦减压起动机	
10	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等场合
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	

1.2 电磁式电器结构及工作原理

电磁式电器是低压电器中最典型也是应用最广泛的一种电器。控制系统中的接触器和继电器就是两种最常用的电磁式电器。虽然电磁式电器的类型很多, 但它的工作原理和构造基本相同。其结构大都是由两个主要部分组成, 即感应部分(电磁机构)和执行部分(触头系统)。

1.2.1 电磁机构原理

1. 电磁机构

电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成, 主要作用是通过电磁感应原理将电能转换成机械能, 带动触头动作, 完成接通或分断电路的功能。根据衔铁相对铁心的运动方式, 电磁机构可分为直动式和拍合式两种, 如图 1.1 及图 1.2 所示。在图 1.2 中, 拍合式又分为衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。

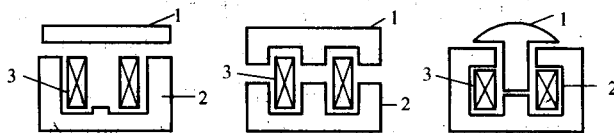


图 1.1 直动式电磁机构

1—衔铁; 2—铁心; 3—吸引线圈

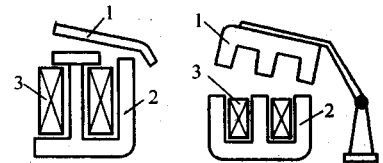


图 1.2 拍合式电磁机构

1—衔铁; 2—铁心; 3—吸引线圈

直动式电磁机构多用于交流接触器、继电器中。衔铁沿棱角转动的拍合式电磁机构广泛应用于直流电器中。衔铁沿轴转动的拍合式电磁机构的铁心形状有 E 形和 U 形两种，多用于触头容量大的交流电器中。

电磁式电器分为直流和交流两类，都是利用电磁铁的原理而制成。通常，直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成，而交流电磁铁的铁心则是用硅钢片叠铆而成。

2. 吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能。按通入电流种类不同可分为直流型线圈和交流型线圈。直流型线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，使线圈与铁心直接接触，易于散热；交流型线圈由于铁心存在磁滞和涡流损耗，铁心会发热。为了改善线圈和铁心的散热情况，线圈设有骨架，使铁心与线圈隔离，并将线圈制成短而厚的矮胖型。另外，根据线圈在电路中的连接形式，可分为串联线圈和并联线圈。串联线圈主要用于电流检测类电磁式电器中，大多数电磁式电器线圈都按照并联接入方式设计。为减少对电路电压分配的影响，串联线圈采用粗导线制造，匝数少，线圈的阻抗较小。并联线圈为减少电路的分流作用，需要较大的阻抗，一般线圈的导线细，匝数多。

1.2.2 电磁吸力及其特性

电磁吸力由电磁机构(如图 1.3 所示)产生。当电磁线圈断电时使触点恢复常态的力称为反力。电磁电器中反力由复位弹簧和触头产生，衔铁吸合时要求电磁吸力大于反力，衔铁复位时要求反力大于电磁吸力(此时是剩磁产生的电磁吸力)。

电磁式电器是根据电磁铁的基本原理设计的，电磁吸力是决定其能否可靠工作的一个重要参数。电磁吸力 $F \propto B^2 S$ (B 为气隙磁感应强度)，可由式(1-1)表示。

$$F = \frac{\mu_0 S}{2\delta^2} I^2 N^2 \quad (1-1)$$

式中： I ——线圈中通过的电流(A)；

N ——线圈的匝数(匝)；

S ——气隙截面积(m^2)；

δ ——气隙宽度(m)；

F ——电磁吸力(N)；

μ_0 ——真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。

1. 直流电磁机构的电磁吸力特性

从式(1-1)可以看出，对于固定线圈通以恒定直流电流时，其电磁力 F 仅与 δ^2 成反比。吸力特性曲线如图 1.4 所示。由此看出，衔铁闭合前后吸力很大，气隙越小，吸力越大。但衔铁吸合前后吸引线圈励磁电流不便，故直流电磁机构适用于运动频繁的场所，且衔铁吸合后电磁吸力大，工作可靠。但是对于依靠弹簧复位的电磁铁来说，在线圈断电时，由于剩磁产生吸力，使复位比较困难，会造成一些保护用继电器的性能不能满足要求。在吸力较小的直流电压型电器中，衔铁上一般都装有一片 0.1mm 厚非磁性磷钢片，增加在吸合时的空气间隙，使衔铁易于复位。在吸力较大的直流电压型电器中，如直流接触器，铁心的端面上加有极靴，减小在闭合状态下的吸力，使衔铁复位自如。

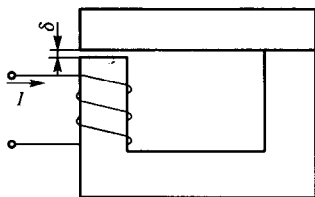


图 1.3 电磁机构

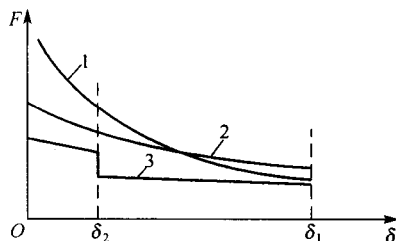


图 1.4 电磁吸力特性

1—直流电磁机构 2—交流电磁机构 3—反力特性

2. 交流电磁机构的电磁吸力特性

与直流电磁机构相比，交流电磁机构的吸力特性有较大的不同。交流电磁机构多与电路并联使用，当外加电压 U 及频率 f 为常数时，忽略线圈电阻压降。

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad (1-2)$$

式中： U ——线圈电压(V)；

E ——线圈感应电动势(V)；

f ——线圈电压的频率(Hz)；

N ——线圈匝数；

Φ ——气隙磁通(Wb)。

当外加电压 U 、频率 f 和线圈匝数 N 为常数时，则气隙磁通 Φ 也为常数，由式(1-1)可知电磁吸力 $F \propto B^2 S$ 也为常数，即交流电磁机构的吸力特性为一条与气隙长度无关的直线。实际上，考虑衔铁吸合前后漏磁的变化时， F 随 δ 的减小而略有增加。对于并联电磁机构，由磁路欧姆定律 $NI \approx \Phi R_m$ 可知(R_m 为气隙磁阻，随 δ 的变化成正比变化)，在线圈通电而衔铁尚未吸合瞬间，吸合电流随 δ 的变化成正比变化，为衔铁吸合后的额定电流的很多倍，U 形电磁机构可达 5~6 倍，E 形电磁机构可达 10~15 倍。若衔铁卡住不能吸合，或衔铁频繁动作，交流励磁线圈很可能因电流过大而烧毁。所以，在可靠性要求较高或要求频繁动作的控制系统中，一般采用直流电磁机构而不采用交流电磁机构。

电磁机构的复位是依靠弹簧的弹力实现的，因此在吸合过程中，电磁吸力必须克服弹簧的弹力 F_r 。电磁吸力 F 与弹力 F_r 相比应大一些，但不宜相差太大。对于交流电磁机构，由于电流是交变的，吸力也是脉动的，电流为 0 时，吸力也为 0。所以 50Hz 的电源加在线圈上时，吸力为 100Hz 的脉动吸力。当脉动的吸力 F 小于弹力 F_r 时，衔铁将在弹簧的作用下移动，而当吸力 F 大于弹力 F_r 时，衔铁将克服弹簧力而吸合。如此周而复始，使衔铁产生振动，发出噪声，不能正常工作。实际吸力曲线如图 1.5 所示。解决该问题的具体办法是在铁心端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环(或称分磁环)的铜环，如图 1.6 所示。当励磁线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流产生，该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁心中的磁通分为两部分，即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 ，由于短路的作用，使 Φ_1 与 Φ_2 产生相移，即不同时为零，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。