

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
世纪高职高专电子技术规划教材

电气控制与PLC 实训教程

阮友德 主编
邓 松 张迎辉 副主编
刘守义 主审

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供
电子教案
习题解答



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电气控制与 PLC 实训教程

阮友德 主编

邓 松 张迎辉 副主编

刘守义 主审

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 实训教程 / 阮友德主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006.10

21 世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 7-115-14839-2

I. 电... II. 阮... III. ①电气控制—高等学校: 技术学校—教材

②可编程序控制器—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TM921.5②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 078282 号

内 容 提 要

本书以能力培养为核心, 以实践教学为主, 理论教学为辅, 突出理论与实践的结合。

本书共分 9 章、39 个实训和 5 个附录。理论教学方面, 本书介绍常用的低压电器、电路分析方法、基本控制电路及典型电路分析, PLC 的特点、结构、工作原理, 基本指令、步进顺控指令和常用的功能指令以及它们的应用, 模拟量控制、联网通信等特殊功能模块及其应用。实践教学方面, 介绍电力拖动、PLC 硬件、PLC 程序设计、FX-20P-E 编程器和最新编程软件 GX Developer, PLC 与变频器综合应用, PLC、变频器、触摸屏、特殊模块的综合应用。

本书集理论与实践于一体, 集实验、实训、实习于一体, 集技术应用能力、工程设计能力和创新能力的培养于一体, 可作为高职高专院校电子类、机电类等相关专业的理论与实训教材, 也可以作为技能鉴定的培训教材, 还可供相关工程技术人员参考。

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电气控制与 PLC 实训教程

◆ 主 编 阮友德

副 主 编 邓 松 张迎辉

主 审 刘守义

责任编辑 赵慧君

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京铭成印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 24.25

字数: 582 千字

印数: 1—3 000 册

2006 年 10 月第 1 版

2006 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-14839-2/TP · 5445

定价: 31.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

21 世纪高职高专电子技术规划教材

编 委 会

主 任 王俊鹏

副 主 任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 琰 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

丛书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向, 高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想, 人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国不断深化, 各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置, 越来越关心学生将来的就业岗位, 并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到, 高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时, 能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点, 为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典, 及知识点又相对统一、固定的特点, 采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式, 借助本科老师在理论方面深厚的功底, 在写作质量上进行把关, 高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度, 力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线的技术型人才, 基础课程的教学应以必需、够用为原则, 以掌握概念、强化应用为教学重点, 注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时, 掌握“突出基本概念, 注重技能训练, 强调理论联系实际, 加强实践性教学环节”的原则, 在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例, 强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程, 并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣, 并了解开发过程, 最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训, 从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作, 出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望, 关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正, 提出修改意见, 同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系, 共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress.com.cn。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会

2005 年 8 月

编者的话

电气控制与 PLC 源于同一体系,在理论和应用上一脉相承,而变频器与触摸屏则是当今电气控制领域的新器件,应用广泛。因此,本书将上述三部分内容编在一起,既体现了知识的系统性和完整性,又遵循了技术的发展过程。

本书在编写过程中,总结了几年来深圳职业技术学院和其他院校电气控制与 PLC 课程的理论与实践教学经验,打破了以往教材的编写思路,立足应用型人才的培养目标,具有如下特点。

(1) 体现“以能力培养为核心,以实践教学为主,理论教学为辅”的教学新思路,加强理论与实践的结合。本书理论部分以章节编排,体现了理论知识的系统性和连贯性;实践教学部分以课题为模块,以实训项目为载体,按照技能形成的顺序编排,符合技能的学习规律;在此基础上,将基本技能实训和对应的理论安排在一个章节,最后集中进行大型综合实训,这样既实现了理论与实践的完美结合,又遵循了递进式、模块化的教学原则。

(2) 站在技术发展的前沿,注重对学生新技术应用能力的培养,以实现学校和企业无缝对接。本书采用国内应用广泛、具有很高性价比的三菱 FX_{2N} 系列 PLC 作为实训用机;介绍了一大批如 FX_{0N}-3A 模块、RS485-BD 板、FX_{2N}-4AD-PT 模块、F940GOT 触摸屏、FX_{2N}-16CCL-M 模块等现代新器件和应用前景广泛的如 PLC 与变频器的通信技术、CC-Link 现场总线技术等新技术;同时还介绍了一批具有一定工程量、一定技术难度的如中央空调循环水节能系统的综合控制、电动机群组的 CC-Link 网络控制等实训项目。通过学习这些新器件、新技术及其应用,学生毕业后即可上岗,实现学校和企业零距离接轨。

(3) 实训课题实行“三级指导”(即全指导、半指导和零指导),使教、学、练紧密结合。每个实训课题一般安排两个实训项目,第一个项目按照实训目的、实训器材、实训要求、硬件电路、软件程序、系统调试、实训报告等内容编写,将实训的全部过程写下来,即实行全指导;第二个项目则按照实训目的、实训器材、实训要求、简单的硬件电路、系统调试步骤、实训报告等内容编写,而软件程序、实训电路、调试内容等由学生完成,即实行半指导;零指导就是在实训报告中只给出一个控制要求,其余内容由学生自行设计。通过全指导、半指导使学生举一反三,触类旁通;通过零指导,可以培养和提高学生的设计能力、创新意识和创新能力。

此外,本书在内容阐述上,力求简明扼要,层次清楚,图文并茂,通俗易懂;在知识介绍上,循序渐进,由浅入深;在实训项目的安排上,强调实用性、可操作性和可选择性。

本书由深圳职业技术学院阮友德主编,并编写了第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 9 章、实训 1~21、28~36、38 及附录,邓松编写了第 7 章、第 8 章及实训 27、37、39,张迎辉编写了第 3 章及实训 22~26,林玲编写了第 2 章,第 1 章由林玲、邓松共同编写,全书由阮友德统稿,刘守义对本书进行了审定。

在本书的编写过程中，得到了深圳职业技术学院电工技术实训室、三菱驻深圳代理深圳市泰达科技设备有限公司的大力帮助，本书还收录了由陈铁俭、吴启红提供的部分图稿，曹扣成校对了本书的部分章节在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中的错误和不足在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者
2006年6月

目 录

第 1 章 常用的低压电器	1
1.1 概述	1
1.1.1 低压电器的分类	1
1.1.2 低压电器的主要技术数据	1
1.1.3 选择低压电器的注意事项	2
1.1.4 低压电器的型号表示法	2
1.2 电磁式低压电器的结构和工作原理	3
1.2.1 电磁机构	3
1.2.2 触头系统	4
1.2.3 灭弧系统	4
1.3 配电电器	5
1.3.1 刀开关	5
1.3.2 低压断路器	6
1.3.3 漏电保护开关	8
1.3.4 低压熔断器	10
1.4 控制电器	12
1.4.1 接触器	12
1.4.2 主令电器	14
1.5 继电器	16
1.5.1 电磁式继电器	16
1.5.2 时间继电器	17
1.5.3 热继电器	19
1.6 无触点电器	21
1.6.1 接近开关	21
1.6.2 温度继电器	22
1.6.3 固态继电器	22
1.6.4 光电继电器	23
1.7 电动机	24
1.7.1 三相异步电动机	24
1.7.2 直流电机	29
习题	31
第 2 章 基本的电气控制系统	32
2.1 电气工程图及绘制	32

2.1.1	图形符号和文字符号	32
2.1.2	电路图	33
2.1.3	电器元件布置图	35
2.1.4	接线图	35
2.2	电气控制线路的分析方法	35
2.2.1	查线读图法	35
2.2.2	逻辑代数法	36
2.3	电动机直接起动控制线路	37
2.3.1	点动及单向连续运转控制	37
2.3.2	正反转控制	38
2.3.3	顺序控制	38
2.3.4	行程控制	39
2.4	电动机降压起动控制线路	41
2.4.1	Y/Δ降压起动	41
2.4.2	定子串接电阻降压起动	43
2.4.3	定子串接自耦变压器降压起动	43
2.4.4	转子绕组串接电阻起动	44
2.4.5	转子绕组串接频敏变阻器起动	45
2.5	异步电动机的制动控制线路	46
2.5.1	反接制动	46
2.5.2	能耗制动	47
2.6	异步电动机的调速控制线路	47
2.6.1	双速电动机的控制	47
2.6.2	三速电动机的控制	49
2.7	直流电动机的控制线路	50
2.8	典型机械控制线路	52
2.8.1	车床电气控制线路	52
2.8.2	钻床电气控制线路	54
	习题	57
	实训课题 1 继电控制实训	58
	实训 1 电动机的起保停控制	58
	实训 2 电动机的两地控制	60
	实训 3 电动机的能耗制动控制	62
	实训 4 电动机的正反转控制	64
	实训 5 电动机的自动顺序控制	66
	实训 6 电动机的 Y/Δ降压起动控制	67
第 3 章	可编程控制器概述	71
3.1	可编程控制器的产生	71
3.1.1	PLC 的由来	71

3.1.2 PLC 的定义	72
3.2 可编程控制器的特点	72
3.3 可编程控制器的分类	73
3.3.1 按输入/输出点数分	73
3.3.2 按结构形式分	74
3.3.3 按生产厂家分	74
3.4 可编程控制器的编程语言	75
3.4.1 PLC 编程语言的国际标准	75
3.4.2 梯形图的主要特点	76
3.5 可编程控制器的技术性能指标	76
3.6 可编程控制器的应用领域及发展趋势	77
3.6.1 PLC 的应用领域	77
3.6.2 PLC 的发展趋势	78
习题	78
第 4 章 FX 系列可编程控制器	80
4.1 FX 系列可编程控制器概述	80
4.1.1 三菱小型 PLC 的发展历史	80
4.1.2 FX 系列型号的含义	80
4.1.3 FX 系列 PLC 的一般技术指标	80
4.2 FX 系列可编程控制器的子系列	82
4.2.1 FX _{1S} 系列 PLC	82
4.2.2 FX _{1N} 系列 PLC	82
4.2.3 FX _{2N} 系列 PLC	83
4.2.4 FX _{2NC} 系列 PLC	83
4.2.5 FX 系列扩展单元、扩展模块	84
4.3 FX 系列可编程控制器的基本组成	85
4.3.1 硬件	85
4.3.2 软件	88
4.4 FX 系列可编程控制器的软元件	88
4.4.1 PLC 的软元件概述	88
4.4.2 FX _{2N} 的软元件	88
4.5 FX 系列可编程控制器的工作原理	96
4.5.1 扫描工作方式	96
4.5.2 扫描周期	98
4.5.3 输入/输出滞后时间	98
习题	98
实训课题 2 FX 系列 PLC 的硬件	99
实训 7 FX _{2N} 系列 PLC 的认识	99
实训 8 FX-20P-E 手持编程器的操作	101

第 5 章 基本逻辑指令及其应用	118
5.1 基本逻辑指令	118
5.1.1 逻辑取及驱动线圈指令 LD/LDI/OUT	118
5.1.2 触点串、并联指令 AND/ANI/OR/ORI	119
5.1.3 电路块连接指令 ORB/ANB	121
5.1.4 多重输出电路指令 MPS/MPD/MPP	122
5.1.5 置位与复位指令 SET/RST	124
5.1.6 脉冲输出指令 PLS/PLF	125
5.1.7 脉冲式触点指令 LDP/LDF/ANP/ANF/ORP/ORF	126
5.1.8 主控触点指令 MC/MCR	127
5.1.9 逻辑运算结果取反指令 INV	128
5.1.10 空操作和程序结束指令 NOP/END	128
5.2 梯形图的基本规则	129
5.3 基本电路的编程	131
5.4 梯形图程序设计的技巧	138
5.4.1 转换法	138
5.4.2 逻辑法	144
5.4.3 经验法	149
习题	152
实训课题 3 编程软件的使用	154
实训 9 GX Developer 编程软件的使用	154
实训课题 4 电动机的 PLC 控制	161
实训 10 电动机循环正反转的 PLC 控制	161
实训 11 电动机正反转能耗制动的 PLC 控制 (1)	163
实训 12 电动机 Y/ Δ 起动的 PLC 控制	165
实训课题 5 基本逻辑指令的应用	167
实训 13 数码管循环点亮的 PLC 控制	167
实训 14 彩灯循环点亮的 PLC 控制	169
第 6 章 步进顺控指令及其应用	172
6.1 状态转移图及步进顺控指令	172
6.1.1 流程图	172
6.1.2 状态转移图	172
6.1.3 状态继电器	174
6.1.4 步进顺控指令	175
6.2 步进顺控的编程方法	176
6.2.1 状态转移图的编程方法	176
6.2.2 编程注意事项	177
6.2.3 单流程状态转移图的编程	179
6.3 选择性流程与并行性流程的程序编制	184

6.3.1 选择性流程及其编程	185
6.3.2 并行性流程及其编程	189
6.4 复杂流程及跳转流程的程序编制	192
6.4.1 复杂流程的程序编制	192
6.4.2 跳转流程的程序编制	196
6.5 用辅助继电器实现顺序控制的程序编制	196
6.5.1 用辅助继电器实现顺序控制的设计思想	197
6.5.2 使用起保停电路的编程方法	197
6.5.3 使用置位复位指令的编程方法	200
习题	202
实训课题 6 单流程的控制	204
实训 15 机械手的 PLC 控制	204
实训 16 自动焊锡机的 PLC 控制	206
实训 17 工业洗衣机的 PLC 控制	207
实训课题 7 选择性流程的控制	209
实训 18 电动机正反转能耗制动的 PLC 控制 (2)	209
实训 19 皮带运输机的 PLC 控制	209
实训课题 8 并行性流程的控制	211
实训 20 自动交通灯的 PLC 控制	211
实训 21 双头钻床的 PLC 控制	215
第 7 章 功能指令及其应用	218
7.1 功能指令的基本规则	218
7.1.1 功能指令的表示形式	218
7.1.2 数据长度和指令类型	219
7.1.3 操作数	220
7.2 功能指令介绍	221
7.2.1 程序流程指令	221
7.2.2 传送与比较指令	226
7.2.3 算术与逻辑运算指令	228
7.2.4 循环与移位指令	233
7.2.5 数据处理指令	234
7.2.6 高速处理指令	237
7.2.7 方便指令	238
7.2.8 外部设备 I/O 指令	241
7.2.9 外部设备 SER 指令	243
7.2.10 触点比较指令	249
习题	251
实训课题 9 功能指令的应用	251
实训 22 功能指令实现数码管循环点亮	251

实训 23 功能指令实现交通灯的控制·····	253
实训 24 8 站小车的呼叫控制·····	255
第 8 章 特殊功能模块及其应用 ·····	258
8.1 模拟量处理模块·····	258
8.1.1 普通 A/D 输入模块·····	258
8.1.2 温度 A/D 输入模块·····	264
8.1.3 D/A 输出模块·····	267
8.1.4 模拟输入/输出模块 FX _{0N} -3A·····	268
8.2 通信扩展板·····	270
8.2.1 FX _{2N} -232-BD·····	271
8.2.2 FX _{2N} -485-BD·····	273
8.3 CC-Link 现场总线模块·····	274
8.3.1 FX _{2N} -16CCL-M·····	274
8.3.2 FX _{2N} -32CCL·····	279
8.4 其他特殊功能模块·····	281
8.4.1 定位控制模块·····	281
8.4.2 人机界面·····	284
习题·····	284
实训课题 10 模拟量控制模块的应用·····	285
实训 25 FX _{2N} -4AD 的应用·····	285
实训 26 FX _{2N} -2DA 的应用·····	287
实训课题 11 触摸屏的使用·····	289
实训 27 触摸屏控制电动机的正反转·····	289
第 9 章 PLC 与变频器综合实训 ·····	297
9.1 变频器实训·····	297
实训课题 12 变频器基础实训·····	297
实训 28 A500 系列变频器的基本操作·····	297
实训 29 操作面板与外部信号的组合控制·····	304
9.2 PLC 与变频器的综合实训·····	309
实训课题 13 变频器多段调速的应用·····	309
实训 30 三相异步电动机多速运行的综合控制·····	309
实训 31 恒压供水系统的综合控制·····	312
实训课题 14 变频器程序运行的应用·····	315
实训 32 工业洗衣机的综合控制·····	315
实训 33 刨床的综合控制·····	319
实训课题 15 PLC 与变频器在电梯上的综合应用·····	322
实训 34 PLC 与变频器在三层电梯中的综合控制·····	322
实训 35 PLC 与变频器在四层电梯中的综合控制·····	328
9.3 PLC、变频器、触摸屏、特殊功能模块的综合应用·····	331

实训课题 16 PLC、变频器、触摸屏、模拟量模块的综合应用	331
实训 36 中央空调循环水节能系统的综合控制	331
实训 37 恒压供水的 PID 控制	342
实训课题 17 PLC、变频器通信的综合应用	347
实训 38 PLC 与变频器的 RS-485 通信	347
实训 39 电动机群组的 CC-Link 网络控制	352
附录 A 低压断路器、熔断器的技术参数	358
附录 B FX _{2N} 性能规格	360
附录 C FX 系列 PLC 的软元件	362
附录 D FX 系列 PLC 功能指令一览表	363
附录 E 变频器参数表	367
参考文献	373

第 1 章

常用的低压电器

1.1 概 述

凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电气设备都可称为电器。电器是所有电工器械的简称。我国现行标准将工作在交流 50Hz、额定电压 1 200V 及以下和直流额定电压 1 500V 及以下电路中的电器称为低压电器。低压电器种类繁多，它作为基本元器件已广泛用于发电厂、变电所、工矿企业、交通运输和国防工业等电力输配电系统和电力拖动控制系统中。随着科学技术的不断发展，低压电器将会沿着体积小、质量轻、安全可靠、使用方便及性价比高的方向发展。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器的品种、规格很多，作用、构造及工作原理各不相同，因而有多种分类方法。

1. 按用途分

低压电器按它在电路中所处的地位和作用可分为低压控制电器和低压配电电器两大类。低压控制电器是指电动机完成生产机械要求的起动、调速、反转和停止所用的电器，低压配电电器是指正常或事故状态下接通和断开用电设备和供电电网所用的电器。

2. 按动作方式分

低压电器按它的动作方式可分为自动切换电器和非自动切换电器。前者是依靠本身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作；后者主要是用手直接操作来进行切换。

3. 按执行机理分

低压电器按它有无触点可分为有触点电器和无触点电器两大类。目前有触点的电器仍占多数，有触点电器有动触点和静触点之分，利用触点的合与分来实现电路的通与断。无触点电器没有触点，主要利用晶体管的开关效应，即导通或截止来实现电路的通断。

1.1.2 低压电器的主要技术数据

1. 额定电流

(1) 额定工作电流：在规定条件下，保证开关电器正常工作的电流值。

(2) 额定发热电流：在规定条件下，电器处于非封闭状态，开关电器在 8 小时工作制下，各部件温升不超过极限值时所能承载的最大电流。

(3) 额定封闭发热电流：在规定条件下，电器处于封闭状态，在所规定的最小外壳内，

开关电器在 8 小时工作制下，各部件的温升不超过极限值时所能承载的最大电流。

(4) 额定持续电流：在规定的条件下，开关电器在长期工作制下，各部件的温升不超过规定极限值时所能承载的最大电流值。

2. 额定电压

(1) 额定工作电压：在规定条件下，保证电器正常工作的工作电压值。

(2) 额定绝缘电压：在规定条件下，用来度量电器及其部件的绝缘强度、电气间隙和漏电流距离的标称电压值。除非另有规定，一般为电器最大额定工作电压。

(3) 额定脉冲耐受电压：反映电器当其所在系统发生最大过电压时所能耐受的能力。额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定绝缘水平。

3. 操作频率及通电持续率

开关电器每小时可能实现的最高操作循环次数称为操作频率。通电持续率是电器工作于断续周期工作制时负载时间与工作周期之比，通常以百分数表示。

4. 机械寿命和电气寿命

机械开关电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数，称为机械寿命。在正常工作条件下，机械开关电器无需修理或更换零件的负载操作次数称为电寿命。

对于有触点的电器，其触头在工作中除机械磨损外，尚有比机械磨损更为严重的电磨损。因而，电器的电寿命一般小于其机械寿命。设计电器时，要求其电寿命为机械寿命的 20%~50%。

1.1.3 选择低压电器的注意事项

我国生产的低压电器品种规格较多，在选择时首先考虑安全原则，安全可靠是对任何电器的基本要求，保证电路和用电设备的可靠运行是正常生活与生产的前提。其次是经济性，即电器本身的经济价值和使用该电器产生的价值。另外，在选择低压电器时还应注意以下几点。

(1) 了解电器的正常工作条件，如环境温度、湿度、海拔高度、振动和防御有害气体等方面的能力。

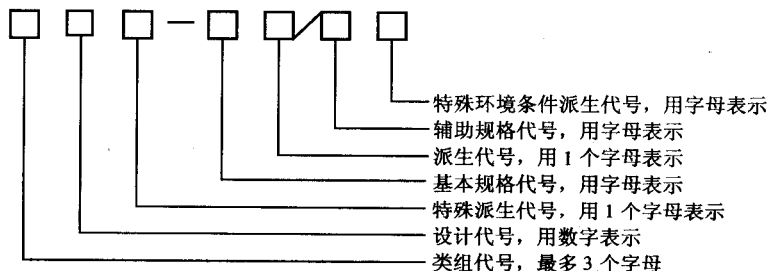
(2) 了解电器的主要技术性能，如用途、种类、通断能力和使用寿命等。

(3) 明确控制对象及使用环境。

(4) 明确相关的技术数据，如控制对象的额定电压、额定功率、操作特性、起动电流及工作制度等。

1.1.4 低压电器的型号表示法

国产常用低压电器的全型号组成形式如下：



1.2 电磁式低压电器的结构和工作原理

低压电器一般都有两个基本部分，即感受部分和执行部分。感受部分感受外界信号，并做出反应。自控电器中，感受部分大多由电磁机构组成；手动电器中，感受部分通常为电器的操作手柄。执行部分根据指令，执行接通、断开电路的任务。下面简单介绍电磁式低压电器的结构和工作原理。

1.2.1 电磁机构

1. 组成

电磁机构一般由铁芯、衔铁及线圈等几部分组成。按通过线圈的电流种类分有交流电磁机构和直流电磁机构；按电磁机构的形状分有E形和U形两种；按衔铁的运动形式分有拍合式和直动式两大类，如图1-1所示。图1-1(a)为衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯，铁芯材料为电工软铁，主要用于直流电器中。图1-1(b)为衔铁沿轴转动的拍合式铁芯，主要用于触头容量大的交流电器中。图1-1(c)为衔铁直线运动的双E形直动式铁芯，多用于中、小容量的交流电器中。

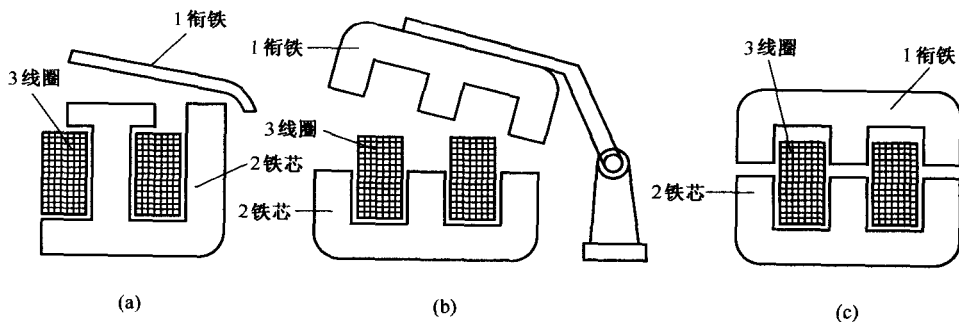


图 1-1 常用的电磁机构

交流电磁机构和直流电磁机构的铁芯（衔铁）有所不同，直流电磁机构的铁芯为整体结构，以增加磁导率和增强散热；交流电磁机构的铁芯采用硅钢片叠制而成，目的是减少在铁芯中产生的涡流，使铁芯发热。此外交流电磁机构的铁芯有短路环，以防止电流过零时（滞后 90° ）电磁吸力不足使衔铁振动。

线圈是电磁机构的“心脏”，按接入线圈电源种类的不同，可分为直流线圈和交流线圈。根据励磁的需要，线圈可分串联和并联两种，前者称为电流线圈，后者称为电压线圈。从结构上看，线圈可分为有骨架和无骨架两种。交流电磁机构多为有骨架结构，主要用来散发铁芯中的磁滞和涡流损耗产生的热量；直流电磁机构的线圈多为无骨架的。

2. 原理

当线圈中有工作电流通过时，通电线圈产生磁场，于是电磁吸力克服弹簧的反作用力使得衔铁与铁芯闭合，由连接机构带动相应的触头动作。