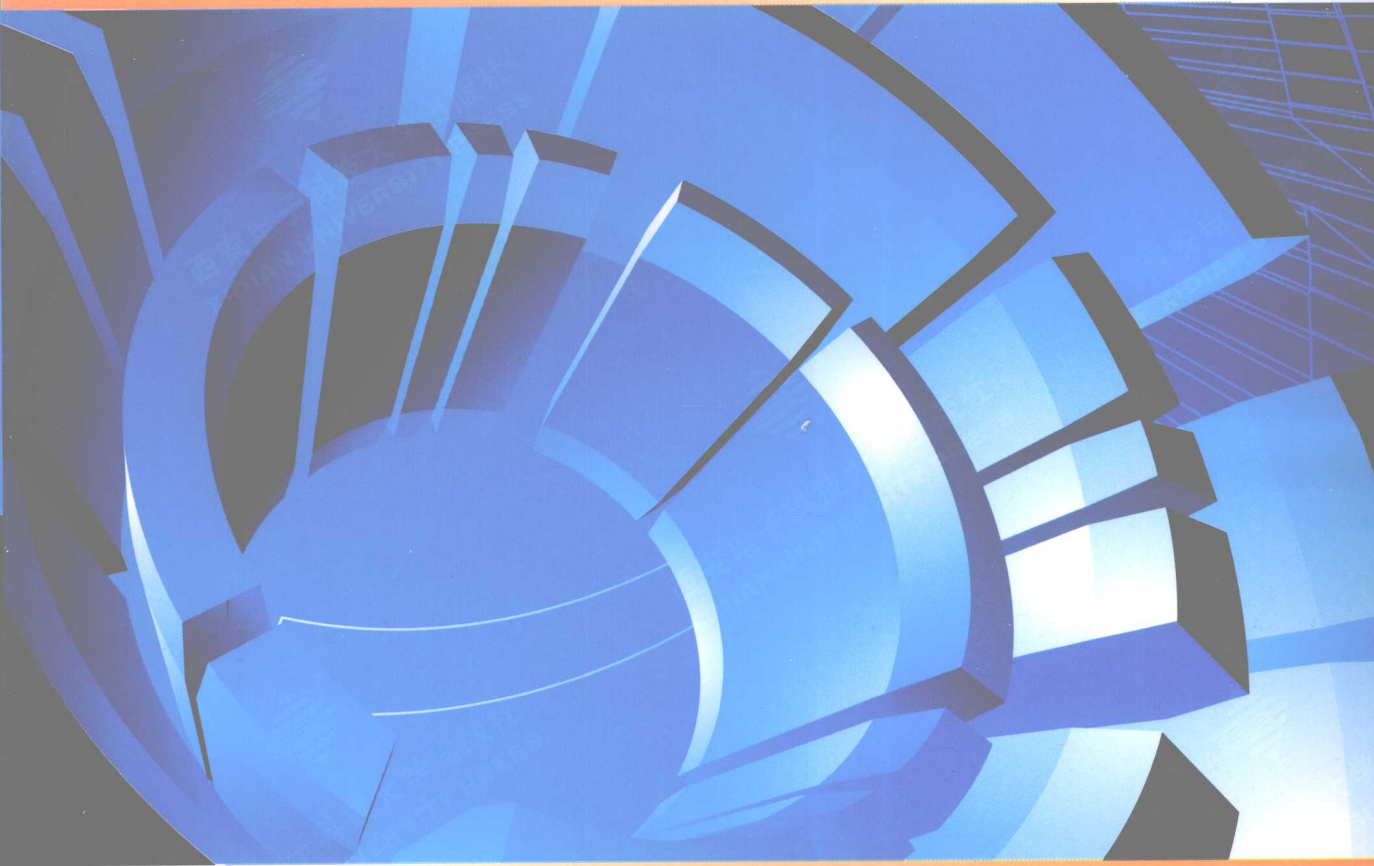


- 中国高等职业技术教育研究会推荐
- 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

电气控制与PLC技术

主 编 林春方
副主编 刘 涛
主 审 张 玲



 西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

电气控制与 PLC 技术

主 编 林春方

副主编 刘 涛

主 审 张 玲

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书共分9章,分别介绍了电气控制电路中的常用电器、电气控制电路、PLC的基础知识、PLC的编程语言及基本指令、功能指令及应用、PLC特殊功能模块的应用、程序设计、PLC系统设计与应用、实验与实训及维修电工考证指导等内容。

本书以实用为宗旨,以应用为目的;内容深入浅出,叙述简洁明了;可作为高职高专院校电气工程类、机电一体化类、应用电子技术类专业学生的教学用书,也可作为工程技术人员自学及培训参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 技术 / 林春方主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.8

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2260-6

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

② 可编程控制器—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 125201 号

策 划 张 媛

责任编辑 张 媛

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.875

字 数 411千字

印 数 1~4000册

定 价 25.00元

ISBN 978-7-5606-2260-6/TM · 0056

XDUP 2552001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位群任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位需求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2009 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2007 年 6 月



高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主任：温希东（深圳职业技术学院副校长 教授）

副主任：马晓明（深圳职业技术学院通信工程系主任 教授）

余 华（武汉船舶职业技术学院电子电气工程系主任 副教授）

电子组 组长：余 华(兼)（成员按姓氏笔画排列）

于宝明（南京信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副研究员）

马建如（常州信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副教授）

刘 科（苏州职业大学信息工程系 副教授）

刘守义（深圳职业技术学院 教授）

许秀林（南通职业大学电子系副主任 副教授）

高恭娴（南京信息职业技术学院电子信息工程系 副教授）

余红娟（金华职业技术学院电子系主任 副教授）

宋 烨（长沙航空职业技术学院 副教授）

李思政（淮安信息职业技术学院电子工程系主任 讲师）

苏家健（上海第二工业大学电子电气工程学院 教授）

张宗平（深圳信息职业技术学院电子通信技术系 高级工程师）

陈传军（金陵科技学院电子系主任 副教授）

姚建永（武汉职业技术学院电信学院院长 副教授）

徐丽萍（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

涂用军（广东科学技术职业学院机电学院副院长 副教授）

郭再泉（无锡职业技术学院自动控制与电子工程系主任 副教授）

曹光跃（安徽电子信息职业技术学院电子工程系主任 副教授）

梁长垠（深圳职业技术学院电子工程系 副教授）

通信组 组长：马晓明(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王巧明（广东邮电职业技术学院通信工程系主任 副教授）

江 力（安徽电子信息职业技术学院信息工程系主任 副教授）

余 华（南京信息职业技术学院通信工程系 副教授）

吴 永（广东科学技术职业学院电子系 高级工程师）

张立中（常州信息职业技术学院 高级工程师）

李立高（长沙通信职业技术学院 副教授）

林植平（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

杨 俊（武汉职业技术学院通信工程系主任 副教授）

俞兴明（苏州职业大学电子信息工程系 副教授）

项目策划 马乐惠

策 划 张 媛 薛 媛 张晓燕

前 言

随着科学技术的发展,电气控制技术在各个领域得到越来越广泛的应用。可编程序控制器(PLC)作为电气控制领域的一项新技术,经过 30 多年的发展,已经形成了完整的工业产品系列,功能及技术指标等各个方面都达到了成熟的工业控制计算机的软硬件水平,现已广泛地应用在逻辑运算、数值运算、数据传送、过程控制、位置控制、人机对话、网络通信等各种场合。

本书立足高等职业教育人才培养目标,本着“理论与实践一体化”的原则,在内容安排上力求由浅入深、循序渐进,以实用为宗旨、以应用为目的;在内容叙述上力求阐述清楚、通俗易懂、概念清晰;在内容结构上,将重点放在电气控制线路和可编程序控制器梯形图的设计与读图能力上,力求图文并茂,插图细腻完备;在使用上力求便于自学和教学。

本书的重点内容是电气控制技术和可编程序控制器在生产中的应用。书中将电气控制技术与可编程序控制器控制技术相互贯通,并加入了国家职业技能鉴定及中、高级技术工人等级考核内容与要求。本书主要内容有:电气控制电路中的常用电器、电气控制电路、PLC 的基础知识、PLC 的编程语言及基本指令、功能指令及应用、PLC 特殊功能模块的应用、程序设计、PLC 系统设计与应用、实验与实训及维修电工考证指导等。

本书由上海电子信息职业技术学院林春方任主编,负责全书的统稿工作,并编写了第 5 章;安徽电子信息职业技术学院刘涛任副主编,并编写了第 7、8、9 章;安徽电子信息职业技术学院周凤胜编写了第 1、2 章;安徽电子信息职业技术学院徐明利编写了第 3、4、6 章。在编写过程中,得到了上海电子信息职业技术学院和安徽电子信息职业技术学院的领导和老师们的的大力帮助和支持,在此向他们表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2009 年 6 月

第 1 章 电气控制电路中的常用电器	1
1.1 低压控制电器概述	1
1.1.1 电器的分类	1
1.1.2 电器的作用	2
1.2 电磁式控制电器的基本原理	2
1.2.1 电磁式低压电器的基本组成	2
1.2.2 电磁机构	3
1.2.3 触头系统	4
1.2.4 灭弧系统	4
1.3 交流接触器	5
1.3.1 交流接触器的结构和工作原理	5
1.3.2 交流接触器的型号和基本参数	6
1.3.3 交流接触器的选用方法	6
1.4 继电器	7
1.4.1 继电器的工作原理和特性	7
1.4.2 继电器主要产品技术参数	8
1.4.3 继电器测试	8
1.4.4 继电器的电符号和触点形式	9
1.4.5 继电器的选用	9
1.4.6 时间继电器	9
1.5 熔断器	11
1.5.1 圆筒帽形熔断器的概述	11
1.5.2 熔断器的选择	12
1.5.3 高压交流熔断器的选择	12
1.6 热继电器	15
1.6.1 热继电器的工作原理	15
1.6.2 热继电器的应用	15
1.6.3 热继电器的型号及含义	16
1.6.4 热继电器的常见故障及解决办法	17
1.7 自动空气开关	18

1.7.1	自动空气开关的工作原理.....	18
1.7.2	自动空气开关的型号含义及主要特性.....	19
1.7.3	自动空气开关的选用原则.....	20
1.8	温度继电器.....	20
1.8.1	机械式温度继电器.....	20
1.8.2	电子式温度继电器和其他温度继电器.....	21
1.8.3	温度继电器的常见故障.....	21
1.9	感应式速度继电器.....	21
1.9.1	感应式速度继电器的工作原理.....	21
1.9.2	感应式速度继电器的应用.....	22
1.9.3	感应式速度继电器的常见故障.....	22
1.10	漏电继电器.....	22
1.10.1	漏电继电器的结构和工作原理.....	23
1.10.2	漏电继电器的使用及常见故障.....	24
1.11	主令电器.....	25
1.11.1	按钮.....	25
1.11.2	行程开关.....	26
1.11.3	接近开关.....	28
	小结.....	28
	思考与练习.....	28
第2章	电气控制电路	30
2.1	电气控制电路的绘图规则及常用符号.....	30
2.1.1	电气原理图的布局.....	30
2.1.2	电气原理图的线条.....	31
2.1.3	元器件符号.....	31
2.1.4	标注文字.....	33
2.2	基本电气控制电路.....	33
2.2.1	点动控制电路.....	33
2.2.2	自锁控制电路.....	33
2.2.3	多地控制电路.....	34
2.2.4	可逆控制电路.....	34
2.2.5	顺序启动控制电路.....	37
2.2.6	顺序停止控制电路.....	38
2.2.7	延时控制电路.....	39
2.2.8	电气控制电路中的保护电路.....	40
2.3	电气控制线路设计基础.....	41
2.3.1	电气设计的主要内容.....	41
2.3.2	电气设计的一般原则.....	42
2.3.3	经验设计法.....	42

2.3.4 逻辑设计法.....	44
2.3.5 用经验设计法设计机床电气控制电路实例	44
2.4 常用机床电气控制线路分析.....	48
2.4.1 普通铣床的电气控制线路分析.....	48
2.4.2 普通钻床的电气控制线路分析.....	52
2.5 维修电工考证指导(中级工)——电机与电气控制部分	54
2.5.1 电工考证电机部分.....	55
2.5.2 电工考证电气控制部分.....	56
2.5.3 电气控制线路的故障检查.....	58
小结.....	59
思考与练习.....	60
第3章 PLC 的基础知识	62
3.1 概述.....	62
3.1.1 什么是 PLC	62
3.1.2 PLC 的产生与发展	62
3.1.3 PLC 的特点与应用领域	63
3.2 PLC 控制系统与其他控制系统的比较	65
3.2.1 PLC 控制系统与继电器控制系统的比较	65
3.2.2 PLC 控制系统与计算机控制系统的比较	66
3.2.3 PLC 控制系统与集散控制系统的比较	66
3.3 PLC 的基本结构	67
3.3.1 PLC 的硬件系统	67
3.3.2 PLC 的软件系统	72
3.4 PLC 的工作原理	72
3.4.1 PLC 的等效电路	72
3.4.2 PLC 的扫描工作方式	74
3.4.3 PLC 的扫描工作过程	74
3.4.4 扫描周期与输入/输出滞后	76
3.5 PLC 的分类及性能指标	78
3.5.1 PLC 的分类	78
3.5.2 PLC 的主要性能指标	80
3.6 FX 系列 PLC 简介	81
3.6.1 FX 系列 PLC 的特点	81
3.6.2 FX 系列 PLC 的型号名称含义	81
3.6.3 FX 系列 PLC 的一般技术指标	82
小结.....	83
思考与练习.....	84
第4章 PLC 的编程语言及基本指令	85
4.1 PLC 的编程语言概述	85

4.2 FX 系列 PLC 的编程元件	88
4.2.1 FX 系列 PLC 的用户数据结构	88
4.2.2 输入继电器和输出继电器	89
4.2.3 辅助继电器	90
4.2.4 状态继电器	92
4.2.5 定时器	92
4.2.6 计数器	94
4.2.7 数据寄存器	96
4.2.8 变址寄存器	97
4.2.9 指针(P/I)	97
4.2.10 常数(K/H)	98
4.3 FX 系列 PLC 的基本指令	98
4.3.1 LD、LDI、OUT 指令	98
4.3.2 AND、ANI 指令	99
4.3.3 OR、ORI 指令	100
4.3.4 ANB、ORB 指令	100
4.3.5 栈操作指令	101
4.3.6 主控与主控复位指令	102
4.3.7 取反指令	103
4.3.8 PLS 与 PLF 指令	104
4.3.9 边沿触发器	104
4.3.10 置位与复位指令	105
4.3.11 NOP 与 END 指令	106
小结	107
思考与练习	107
第 5 章 功能指令及应用	109
5.1 FX _{2N} 系列 PLC 功能指令概述	109
5.1.1 功能指令的基本表示方法	109
5.1.2 数据长度与指令执行形式	110
5.2 程序流控制类指令	110
5.2.1 条件跳转指令	110
5.2.2 子程序调用与返回指令	111
5.2.3 中断返回、允许与禁止中断指令	112
5.2.4 主程序结束指令	113
5.2.5 监控定时器指令	113
5.2.6 循环指令	114
5.3 数据处理类指令	114
5.3.1 比较与传送指令	114
5.3.2 运算指令	119

5.3.3 循环移位与移位指令.....	126
5.3.4 其他数据处理指令.....	129
5.4 特殊功能类指令.....	133
5.4.1 高速处理指令.....	133
5.4.2 方便指令.....	138
5.5 外部设备类指令.....	143
5.5.1 外部 I/O 设备指令.....	143
5.5.2 外部设备指令.....	150
小结.....	154
思考与练习.....	155
第 6 章 PLC 特殊功能模块的应用	157
6.1 FX 系列 PLC 的特殊功能模块.....	157
6.2 FX-4AD 的应用.....	157
6.3 FX-2DA 的应用.....	160
6.4 FX-1N-5DM 的应用.....	162
6.5 PLC 在模拟量闭环控制中的应用.....	165
小结.....	170
思考与练习.....	170
第 7 章 程序设计.....	171
7.1 根据电气控制图设计梯形图.....	171
7.1.1 概述.....	171
7.1.2 基本方法.....	171
7.1.3 设计注意事项.....	173
7.2 常见程序分析.....	174
7.2.1 自锁和连锁程序.....	174
7.2.2 优先程序.....	175
7.2.3 顺序循环执行程序.....	176
7.2.4 振荡程序.....	178
7.2.5 二分频程序.....	178
7.3 顺序控制设计方法.....	179
7.4 使用 STL 指令编写顺序控制梯形图	185
7.4.1 STL 指令	185
7.4.2 单序列的编程方法.....	186
7.4.3 选择序列的编程方法.....	188
7.4.4 并行序列的编程方法.....	190
7.5 使用启保停电路的编程方法.....	191
7.5.1 单序列的编程方法.....	192
7.5.2 选择序列的编程方法.....	193
7.5.3 并行序列的编程方法.....	195

7.5.4 两步闭环的处理.....	195
7.6 以转换为中心的编程方法.....	196
7.6.1 单序列的编程方法.....	196
7.6.2 选择序列的编程方法.....	197
7.6.3 并行序列的编程方法.....	198
小结.....	200
思考与练习.....	201
第8章 PLC 系统设计与应用	204
8.1 PLC 应用系统设计调试方法	204
8.1.1 系统规划.....	204
8.1.2 系统设计.....	205
8.1.3 PLC 及其组件的选型	205
8.1.4 软、硬件的调试.....	207
8.2 降低 PLC 系统费用的方法	209
8.2.1 减少输入点数.....	209
8.2.2 减少输出点数.....	212
8.3 提高系统的可靠性.....	214
8.3.1 运行环境的改善.....	214
8.3.2 控制系统的冗余.....	215
8.3.3 控制系统的供电.....	216
8.3.4 系统的抗干扰措施.....	217
8.4 PLC 的数据通信	219
8.4.1 概述.....	219
8.4.2 下位连接系统.....	224
8.4.3 同位连接系统.....	225
8.4.4 上位连接系统.....	226
8.4.5 现场总线在 PLC 中的应用	227
8.4.6 工控组态软件的应用.....	230
8.5 高级应用程序的设计、调试经验与技巧.....	233
8.5.1 可编程序控制器高级应用程序的特点.....	233
8.5.2 梯形图程序的优化设计.....	233
8.5.3 高级应用程序的模拟调试方法.....	236
8.6 维修电工考证指导(高级工)——PLC 部分	236
8.6.1 概述.....	236
8.6.2 试题选解.....	236
小结.....	241
思考与练习.....	242
第9章 实验与实训	243
9.1 电气控制部分.....	243

9.1.1 低压电器的识别.....	243
9.1.2 直流电动机的控制.....	243
9.1.3 三相异步电动机的控制.....	243
9.1.4 位置控制与自动循环控制.....	245
9.1.5 顺序控制的实现.....	246
9.2 PLC 部分	246
9.2.1 基本指令编程.....	246
9.2.2 功能指令编程.....	251
9.2.3 使用 STL 指令实现顺序控制	254
9.2.4 舞台艺术灯饰的 PLC 控制	257
9.2.5 运料小车的自动控制.....	260
附录 A FX 系列 PLC 功能指令一览表.....	261
附录 B 中华人民共和国职业技能鉴定规范(中级维修电工).....	266
参考文献.....	271

第1章 电气控制电路中的常用电器

本章主要介绍电气控制领域中常用低压电器的工作原理、用途、型号、规格、符号以及电气控制线路的基本环节。通过对典型电气控制系统的分析,掌握正确选择和合理使用常用电器以及分析和设计电气控制线路的基本方法,为后续章节的学习打下基础。

1.1 低压控制电器概述

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。完全由控制电器组成的自动控制系统,称为继电器-接触器控制系统,简称电气控制系统。

电器的用途广泛,功能多样,种类繁多,结构各异。下面是几种常见的电器分类方法。

1. 按工作电压等级分类

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

(2) 低压电器:用于交流 50 Hz(或 60 Hz)、额定电压为 1200 V 以下,直流额定电压 1500 V 及以下的电路中的电器,例如接触器、继电器等。

2. 按动作原理分类

(1) 手动电器:用手或依靠机械力进行操作的电器,如手动开关、控制按钮、行程开关等主令电器。

(2) 自动电器:借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器,如接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

3. 按用途分类

(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、继电器、电动机启动器等。

(2) 主令电器:用于自动控制系统中发送动作指令的电器,例如按钮、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) 执行电器: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。

(5) 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、自动空气开关等。

4. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器：依据电磁感应原理来工作，如接触器、各种类型的电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器：依靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

1.1.2 电器的作用

低压电器能够依据操作信号或外界现场信号的要求，自动或手动地改变电路的状态、参数，实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示、调节。低压电器的作用有：

(1) 控制作用。如控制电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。

(2) 保护作用。根据设备的特点，对设备、环境以及人身实行自动保护，如电机的过热保护、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，如电流、电压、功率、转速、温度、湿度等进行测量。

(4) 调节作用。可对一些电量和非电量进行调整，以满足用户的要求，如柴油机油门的调整、房间温湿度的调节、照度的自动调节等。

(5) 指示作用。利用低压电器的控制、保护等功能，检测出设备运行状况与电气电路工作情况，如绝缘监测、保护状态指示等。

(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，如励磁装置手动与自动的转换，供电的市电与自备电的切换等。

当然，低压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。

1.2 电磁式控制电器的基本原理

电磁式低压电器是利用电磁系统控制动作的低压器件。其基本原理是当某一电压或电流达到某一数值时，对应电磁吸力足以克服反力弹簧弹力，从而使得连杆带动触头闭合或断开，完成相应功能。电磁式低压电器属于开关的范畴。它的作用是用低电压小电流去控制大电流或高电压的转接。

1.2.1 电磁式低压电器的基本组成

电磁式低压电器是利用电磁现象完成电气电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、指示等功能的。电磁式低压电器的结构示意图如图 1.1 所示，它由以下几部分组成。

(1) 固定支架系统：为触头、线圈、铁芯、弹簧等提供支撑、保护、固定等。

(2) 电磁系统：依靠线圈通电产生的磁通，使铁芯产生吸引力，作为触头动作的力量来源。

(3) 触头系统：用来对电气回路进行切断或接通的电气部分，是电磁低压电器的执行部分。

(4) 灭弧系统：在负荷较重时，触头动作会产生较强的电弧，灭弧系统就是专门用来熄灭电弧的。

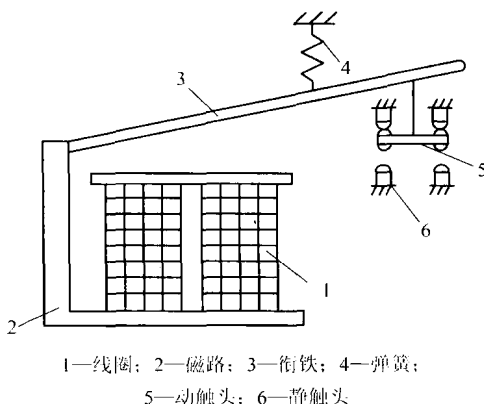


图 1.1 电磁式低压电器的结构示意图

电磁式低压电器的动作过程为：当线圈 1 通电后，将会在磁路 2 中产生磁通 Φ ，因此产生一吸力吸引衔铁 3 向下移动，并带动触头 5 动作，接通或断开电路。当线圈失电后，衔铁在弹簧 4 弹力的作用下，恢复到线圈通电前的状态，触头也同时复位。

1.2.2 电磁机构

电磁机构也称电磁系统，由吸引线圈和磁路两个部分组成。磁路包括铁芯、铁轭、衔铁和空气隙。吸引线圈通以一定电压或电流产生激励磁场及吸力，并通过气隙转换为机械能，从而带动衔铁运动使触头动作，以完成触头的断开和闭合。图 1.2 是几种常用的电磁机构示意图，由图可见衔铁在电磁力的作用下可以直动，也可以绕某一支点转动。电磁吸力是指电磁铁线圈通电后，铁芯吸引衔铁的力，其表达式为：

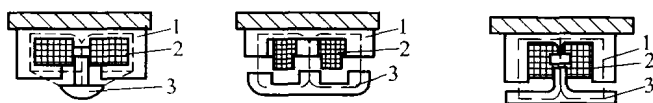
$$F = \frac{S_0 B_0^2}{2\mu_0} \quad (1-1)$$

式中： S_0 ——磁路中气隙的横截面积；

B_0 ——磁路中气隙的磁感应强度；

μ_0 ——真空磁导率。

式(1-1)是在稳恒磁场中的作用关系式，如果是在交变磁场中，需要考虑其等效值。电磁吸力的大小与气隙的横截面积和气隙的磁感应强度的平方成正比。所以，我们要产生足够的吸力，除了要考虑磁感应强度的大小即磁场的强弱以外，还要考虑到气隙的横截面积大小。



1—铁芯；2—线圈；3—衔铁

图 1.2 常用电磁机构示意图

1.2.3 触头系统

触头(也称触点)是用于切断或接通电器回路的部分,按其接触情况可以分为点接触式、线接触式和面接触式三种,如图 1.3 所示。根据用途不同,触点分为主触点和辅助触点两种。主触点用以通断电流较大的主电路,一般由接触面较大的常开触点组成。辅助触点用以通断电流较小的控制电路,它由常开触点和常闭触点成对组成。当触头未动作时处于断开状态的触点称为常开(或动合)触点;当触头未动作时处于接通状态的触点称为常闭(或动断)触点。触点材料一般采用银或银的合金,常用的有银-氧化镉、银-钨或铜-钨等。

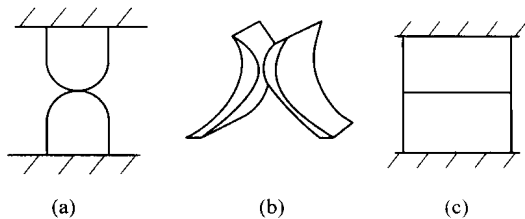


图 1.3 电磁式继电器的触头

(a) 点接触式; (b) 线接触式; (c) 面接触式

对触头的基本性能要求是:接触电阻尽可能小。为了使触头接触得更加紧密,以减小接触电阻,消除开始接触时产生的振动,一般制造时,在触头上装有接触弹簧,使触头在刚刚接触时产生初压力,并且随着触头的闭合逐渐增大触头互压力。

1.2.4 灭弧系统

电器的触头在闭合或断开(包括熔体在熔断时)的瞬间,都会在触头间隙中产生弧状的花,这种由电器原因产生的火花称为电弧。电弧的产生主要经历以下四个物理过程:

(1) 强电场放射。触头刚开始分离时,其间隙很小,电路电压几乎全部降落在触头间很小的间隙上,因此该处的电场强度很大,可以达到 10^7 甚至 10^9 V/m。如此的强电场可以将阴极表面的自由电子拉到气隙中,使触头间隙的气体中存在大量的电子,这就是强电场放射过程。

(2) 撞击电离。触头间隙中的自由电子在电场作用下,向正极加速运动,同时获得了足够的动能。自由电子在前进途中撞击气体原子,将气体原子分裂为电子和正离子。电子在向正极运动中撞击其他原子,使触头间隙中气体越来越多的现象,称为撞击电离。

(3) 热电子发射。撞击电离产生的正离子向阴极运动,撞在阴极上会使阴极温度迅速升高,使阴极电子的动能增加。当阴极温度达到一定程度时,一部分有足够动能的电子将从阴极表面逸出,再参与撞击电离。由于高温使电极发射电子的现象称为热电子发射。

(4) 高温游离。当电弧间隙中的气体温度升高时,气体分子热运动速度加快。当电弧的温度达到 3000°C 或更高时,气体分子将发生强烈的不规则运动并造成相互碰撞,结果使气体分子游离为电子和正离子。

以上的四个过程会产生大量的热,从而会烧坏触头,引起接触不良。大容量电器应迅速灭弧。灭弧的基本原理是将电弧拉长、切短、隔离、冷却,以降低电弧温度和电弧强度。常用的灭弧方法有以下几种:

(1) 灭弧罩灭弧。灭弧罩由陶土材料制成,其结构如图 1.4 所示。安装时用灭弧罩将触头罩住,当电

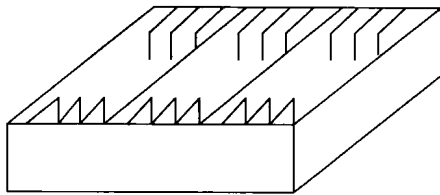


图 1.4 灭弧罩的结构