

21世纪高职高专系列教材

自动化类专业

省级精品课程配套教材

电气控制 与PLC应用技术

主 编 吴 丽

副主编 梅 杨



免费提供
电子教案

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



END

21 世纪高职高专系列教材

自动化类专业

省级精品课程配套教材

电气控制与 PLC 应用技术

主 编 吴 丽

副主编 梅 杨



机械工业出版社

全书共分 13 章, 主要内容包括常用低压电器、电气控制电路的基本控制环节、机床电气控制系统、PLC 的基本原理、逻辑元件、指令系统、编程方法、应用设计技术、编程器和编程软件的使用、特殊模块和网络等知识。

本书前半部分讲述了常用的电气控制技术, 后半部分详细叙述了 PLC 的应用技术, 并通过一些实例介绍了 PLC 的设计方法和技巧。本书大部分章节都配有相关技能训练项目, 以突出实践技能和应用能力的培养。

本书可作为高职高专院校电气自动化、楼宇自动化、机电一体化、机械制造与自动化、数控机床等专业的教材用书, 也可作为电气技术人员的参考书和培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用技术/吴丽主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 2

(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 978 - 7 - 111 - 23265 - 0

I. 电… II. 吴… 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. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002397 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 祝 伟 版式设计: 冉晓华

责任校对: 吴美英 责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.25 印张 · 448 千字

0 001—5 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 23265 - 0

定价: 27.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位，促进学生技能的培养，以及教材内容要紧密结合生产实际，并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神，机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补，并更名为“21 世纪高职高专系列教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师，针对相关专业的课程设置，融合教学中的实践经验，同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的，具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中，本系列教材获得了较高的评价，并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中，除了保持原有特色外，针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中，核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时，增加实训和习题；实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合；涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时，根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来，本系列教材具有以下特点：

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度，强调专业技术应用能力的训练，适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁，多用图表来表达信息；增加相关技术在生产中的应用实例，引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新，及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念，并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合，提高教学服务水平，为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快，加之我们的水平和经验有限，因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息，以利于我们今后不断提高教材的出版质量，为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本书根据高等职业教育的特点和培养目标进行编写，融入了“工学结合”的教学理念，突出应用，淡化理论，力求内容全面、语言简捷、通俗易懂、实例丰富、图文并茂。在大部分章节后面都有技能训练项目，供实习、实训和职业技能培训参考。

全书内容分为两大部分：

第一部分为电气控制技术（第1章~第4章），主要包括常用低压电器的结构、原理及使用的有关知识、继电器—接触器控制电路的基本控制环节、工厂常用机床电气控制的原理分析和故障诊断方法及桥式起重机电气控制的原理分析。

第二部分为PLC应用技术（第5章~第13章），主要以三菱电机公司的FX_{2N}系列PLC为蓝本，介绍小型PLC的特点、结构组成、工作原理、内部逻辑元件、指令系统、编程规则与技巧、应用技术、编程器使用、编程软件使用、模块应用与网络技术等。

本书为2006年河南省精品课程使用教材，配有多媒体电子课件，同时提供大量相关的技术资料，为教师教学和学生自学带来方便。精品课程网站为<http://jpkc.yrceti.edu.cn/2007/dqkz>。

本书由黄河水利职业技术学院吴丽任主编，并编写绪论、第8章和附录部分；河南工程学院梅杨任副主编，并编写第4章和第6章；黄河水利职业技术学院贾磊编写第2章，牛双国编写第3章，何瑞编写第9章和第12章，刘晓玲编写第5章和第13章；河南工程学院查蔓莉编写第1章和第11章，程辉编写第7章和第10章。

由于编者水平有限，书中难免出现不妥与错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007年10月

目 录

出版说明

前言

绪论 1

第1章 常用低压电器 3

1.1 低压电器的基本知识 3

1.1.1 低压电器的分类 3

1.1.2 电磁式电器 3

1.1.3 电弧的产生和灭弧方法 5

1.1.4 低压电器的主要技术参数 6

1.1.5 低压电器的型号 6

1.2 开关电器 7

1.2.1 刀开关 7

1.2.2 组合开关 8

1.2.3 低压断路器 8

1.3 接触器 10

1.3.1 交流接触器 10

1.3.2 直流接触器 11

1.3.3 接触器的主要技术指标 11

1.3.4 接触器的选择 12

1.3.5 接触器的安装与使用 12

1.4 继电器 12

1.4.1 电磁式继电器 13

1.4.2 热继电器 14

1.4.3 时间继电器 15

1.4.4 速度继电器 17

1.4.5 其他继电器 18

1.5 熔断器 18

1.5.1 熔断器的结构和原理 18

1.5.2 熔断器的分类 18

1.5.3 熔断器的性能指标与选择 19

1.5.4 熔断器的使用、安装及维修 20

注意事项 20

1.6 主令电器 20

1.6.1 控制按钮 20

1.6.2 位置开关 20

1.6.3 接近开关 21

1.6.4 万能转换开关 21

1.7 技能训练 22

1.7.1 训练项目一：交流接触器拆装 与测试 22

1.7.2 训练项目二：时间继电器测试 23

小结 24

习题 30

第2章 电气控制电路的基本控制

环节 32

2.1 电气控制系统图的基本知识 32

2.2 三相笼型异步电动机全压起动 控制电路 36

2.2.1 单向运转控制电路 36

2.2.2 可逆旋转控制电路 39

2.3 三相笼型异步电动机减压起动 控制 42

2.3.1 定子串电阻起动控制电路 42

2.3.2 自耦变压器减压起动控制 43

2.3.3 星形—三角形减压起动控制 电路 44

2.3.4 延边三角形减压起动控制电路 44

2.4 三相绕线式异步电动机起动 控制 46

2.4.1 转子绕组串电阻起动控制电路 46

2.4.2 转子绕组串频敏变阻器起动控制 电路 48

2.5 感应式双速异步电动机变速控制 电路 50

2.6 三相异步电动机电气制动 控制 51

2.6.1 反接制动控制 51

2.6.2 能耗制动控制 52

2.7 直流电动机控制 54

2.8 技能训练 58

2.8.1 训练项目一：电动机连续运转

| | | | |
|--|----|--|-----|
| 控制 | 58 | 电气故障检测 | 86 |
| 2.8.2 训练项目二:电动机既能点动 又能连续运转控制 | 60 | 3.7.2 训练项目二: T68 型卧式镗床 电气故障检测 | 88 |
| 2.8.3 训练项目三:电动机顺序启动 逆序停止控制 | 60 | 小结 | 91 |
| 2.8.4 训练项目四:电动机两地控制 | 60 | 习题 | 91 |
| 2.8.5 训练项目五:电动机正反转 控制 | 61 | 第4章 桥式起重机电气控制 | 93 |
| 2.8.6 训练项目六:自动往返行程 控制 | 61 | 4.1 概述 | 93 |
| 2.8.7 训练项目七:电动机Y- Δ 减压起动控制 | 61 | 4.1.1 桥式起重机的结构 | 93 |
| 小结 | 61 | 4.1.2 桥式起重机对电力拖动和电气 控制的要求 | 94 |
| 习题 | 61 | 4.2 起重机电动机的工作状态 | 95 |
| 第3章 机床电气控制系统 | 63 | 4.2.1 提升物品时电动机的工作状态 | 95 |
| 3.1 电气控制系统分析基础 | 63 | 4.2.2 下放物品时电动机的工作状态 | 95 |
| 3.2 M7120 型平面磨床的电气 控制 | 64 | 4.3 凸轮控制器控制原理 | 96 |
| 3.2.1 M7120 型平面磨床概述 | 64 | 4.3.1 凸轮控制器的结构 | 96 |
| 3.2.2 M7120 型平面磨床电气控制 分析 | 65 | 4.3.2 凸轮控制器的型号与主要技术 性能 | 97 |
| 3.3 Z3040 型摇臂钻床的电气 控制 | 68 | 4.3.3 凸轮控制器控制电路 | 97 |
| 3.3.1 Z3040 型摇臂钻床概述 | 68 | 4.4 主令控制器工作原理 | 99 |
| 3.3.2 Z3040 型摇臂钻床电气控制 分析 | 70 | 4.4.1 主令控制器的结构 | 99 |
| 3.4 X62W 型万能铣床的电气 控制 | 73 | 4.4.2 型号与技术性能 | 100 |
| 3.4.1 X62W 型万能铣床概述 | 73 | 4.4.3 提升机构磁力控制器控制 系统 | 100 |
| 3.4.2 X62W 型万能铣床电气控制 分析 | 74 | 4.5 15/3t (重级) 桥式起重机电气 控制电路 | 104 |
| 3.5 T68 型卧式镗床的电气控制 | 80 | 4.5.1 供电特点 | 104 |
| 3.5.1 T68 型卧式镗床概述 | 80 | 4.5.2 15/3t (重级) 桥式起重机电气 控制 | 104 |
| 3.5.2 T68 型卧式镗床电气控制分析 | 81 | 4.5.3 电气控制中的保护设备 | 106 |
| 3.6 机床电气控制系统故障分析 | 84 | 小结 | 108 |
| 3.6.1 检修方法 | 84 | 习题 | 108 |
| 3.6.2 检修工具、仪表、器材 | 85 | 第5章 FX 系列 PLC 的基本原理 | 109 |
| 3.6.3 检修步骤 | 85 | 5.1 PLC 概述 | 109 |
| 3.6.4 注意事项 | 86 | 5.1.1 PLC 的产生和定义 | 109 |
| 3.7 技能训练 | 86 | 5.1.2 PLC 的结构与特点 | 110 |
| 3.7.1 训练项目一: X62W 型万能铣床 | | 5.1.3 PLC 的应用与发展 | 112 |
| | | 5.2 PLC 的工作原理 | 113 |
| | | 5.3 PLC 的组成 | 114 |
| | | 5.3.1 型号及意义 | 114 |
| | | 5.3.2 硬件组成 | 115 |
| | | 5.3.3 软件组成 | 118 |

| | | | |
|----------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 5.4 PLC 的性能指标 | 126 | 控制(并行性流程编程练习) | 160 |
| 小结 | 128 | 7.5.3 其他训练项目 | 161 |
| 习题 | 128 | 小结 | 161 |
| 第6章 基本逻辑指令与编程 | 129 | 习题 | 162 |
| 6.1 基本逻辑指令 | 129 | 第8章 功能指令 | 163 |
| 6.1.1 触点起始/输出线圈指令 | 129 | 8.1 功能指令的基本知识 | 163 |
| 6.1.2 触点串联/并联指令 | 130 | 8.2 程序流控制 (FNC00 ~ | |
| 6.1.3 电路块指令 | 131 | FNC09) | 165 |
| 6.1.4 多重输出电路/主控触点指令 | 132 | 8.3 比较和传送指令 (FNC10 ~ | |
| 6.1.5 置位、复位指令 | 135 | FNC19) | 168 |
| 6.1.6 脉冲上升沿、下降沿检出的 | | 8.4 算术与逻辑运算指令 (FNC20 ~ | |
| 触点指令 | 136 | FNC29) | 172 |
| 6.1.7 脉冲输出指令 | 137 | 8.5 循环与移位指令 (FNC30 ~ | |
| 6.1.8 取反/空操作/程序结束指令 | 138 | FNC39) | 174 |
| 6.2 编程的基本规则和技巧 | 139 | 8.6 数据处理指令 (FNC40 ~ | |
| 6.2.1 编程的基本规则 | 139 | FNC49) | 178 |
| 6.2.2 编程技巧 | 140 | 8.7 高速处理指令 (FNC50 ~ | |
| 6.3 基本逻辑指令应用实例 | 141 | FNC59) | 181 |
| 6.3.1 电动机控制实例 | 141 | 8.8 方便功能指令 | 186 |
| 6.3.2 定时器的应用 | 142 | 8.9 技能训练 | 194 |
| 6.3.3 振荡与分频电路 | 144 | 8.9.1 训练项目一: 控制小车运行方向 | |
| 6.4 技能训练 | 145 | (功能指令应用编程练习) | 194 |
| 6.4.1 训练项目一: 电动机正反转 | | 8.9.2 训练项目二: 节日彩灯控制 | 196 |
| 控制 | 145 | 小结 | 197 |
| 6.4.2 训练项目二: 电动机星形— | | 习题 | 199 |
| 三角形减压起动控制 | 146 | 第9章 PLC 的应用 | 202 |
| 6.4.3 其他训练项目 | 148 | 9.1 PLC 控制系统设计概述 | 202 |
| 小结 | 148 | 9.1.1 PLC 控制系统设计的基本原则 | 202 |
| 习题 | 148 | 9.1.2 PLC 控制系统设计步骤 | 202 |
| 第7章 步进指令 | 151 | 9.2 PLC 的硬件设计 | 203 |
| 7.1 状态转移图 | 151 | 9.3 PLC 的软件设计 | 204 |
| 7.2 步进指令和步进梯形图 | 151 | 9.4 PLC 在机床控制中的应用 | 206 |
| 7.3 状态转移图的主要类型 | 152 | 9.5 PLC 在机械手中的应用 | 209 |
| 7.4 步进指令的应用 | 155 | 9.6 PLC 在电梯控制中的应用 | 216 |
| 7.4.1 小球分类传送系统 | 155 | 9.7 技能训练 | 220 |
| 7.4.2 按钮式人行横道控制系统 | 156 | 9.7.1 训练项目一: PLC 在三面铣组合 | |
| 7.4.3 工件移送控制系统 | 157 | 机床控制系统中的应用 | 220 |
| 7.5 技能训练 | 159 | 9.7.2 训练项目二: PLC 控制变频 | |
| 7.5.1 训练项目一: 电动机顺序起动 | | 调速系统设计与调试 | 222 |
| 控制(单流程编程练习) | 159 | 9.7.3 训练项目三: 自动门控制装置 | 222 |
| 7.5.2 训练项目二: 十字路口交通灯 | | | |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| 9.7.4 训练项目四：汽车自动清洗装置 PLC 控制 | 223 |
| 小结 | 223 |
| 习题 | 224 |
| 第 10 章 FX-20P-E 编程器的使用 | 226 |
| 10.1 FX-20P-E 编程器概述 | 226 |
| 10.1.1 编程器的组成 | 226 |
| 10.1.2 编程器的操作面板 | 227 |
| 10.2 编程器的使用 | 228 |
| 10.2.1 编程器的操作准备 | 229 |
| 10.2.2 在线编程方式 | 229 |
| 10.2.3 对用户程序初始化 | 229 |
| 10.2.4 编程操作 | 230 |
| 10.2.5 监视/测试操作 | 237 |
| 10.3 技能训练 | 241 |
| 10.3.1 训练项目一：编程器的使用（一） | 241 |
| 10.3.2 训练项目二：编程器的使用（二） | 243 |
| 习题 | 243 |
| 第 11 章 PLC 编程软件的使用 | 244 |
| 11.1 系统配置 | 244 |
| 11.2 编程软件 | 244 |
| 11.2.1 软件功能 | 244 |
| 11.2.2 编程操作 | 245 |
| 11.3 技能训练 | 251 |
| 11.3.1 训练项目一：编程软件的使用（一） | 251 |
| 11.3.2 训练项目二：编程软件的使用（二） | 253 |
| 习题 | 253 |
| 第 12 章 PLC 的特殊功能模块 | 254 |
| 12.1 模拟量控制模块 | 254 |
| 12.1.1 模拟量输入/输出模块 | 254 |
| 12.1.2 应用举例 | 257 |
| 12.2 其他模块 | 261 |
| 12.2.1 脉冲输出模块 | 261 |
| 12.2.2 运动控制模块 | 263 |
| 习题 | 265 |
| 第 13 章 PLC 的通信与网络 | 266 |
| 13.1 PLC 与计算机通信 | 266 |
| 13.1.1 数据通信的基本概念 | 266 |
| 13.1.2 PLC 与计算机的数据通信方式 | 268 |
| 13.1.3 PLC 与上位机的通信 | 269 |
| 13.2 PLC 网络 | 272 |
| 13.2.1 MELSEC NET 网络 | 272 |
| 13.2.2 MELSEC NET/MINI 网络 | 274 |
| 习题 | 275 |
| 附录 常用特殊辅助继电器功能编号一览表 | 276 |
| 参考文献 | 281 |

绪 论

1. 电气控制技术与 PLC 的发展

随着科学技术的不断发展,生产工艺的要求不断提高,电气控制技术经历了从手动到自动、从简单到复杂、从单一到多功能、从硬件控制到软件控制的不断变革。

19 世纪末到 20 世纪初为生产机械电力拖动的初期,常以一台电动机拖动多台设备,或使一台机床的多个运动部件由一台电动机拖动,称为集中拖动。此拖动系统传动机构较为复杂,不能满足生产机械自动控制的需要。随后出现了单机拖动,至 20 世纪 30 年代发展成为分散拖动,即各运动部件分别用不同的电动机拖动,不仅简化了机械传动机构,提高了传动效率,也为生产机械各部分能够选择最合理的运行速度和自动控制创造了良好条件。因此,目前绝大多数生产机械都采用分散控制。

随着拖动方式的不断演变,电力拖动的控制方式也经历了不断的变革,从手动控制逐步向自动控制方向发展。继电器接触器控制产生于 20 世纪 20~30 年代,最初是采用一些手动控制电器,通过人力操作实现电动机的起动、停止和正反转控制。这种控制方式只能适合容量小、不频繁起动的场合。后来发展为采用继电器、接触器、位置开关和保护电器组成的自动控制方式,这种控制方式由操作者发出信号,通过主令电器接通继电器和接触器电路,实现电动机的起动、停止、正反转、制动、调速和各种保护控制。由于继电器控制系统逐步成熟完善,并且具有控制方法简单、工作稳定、成本低等优点,使其至今仍然广泛应用于工矿企业。但是由于继电器控制系统的接线固定、使用单一,无法满足生产工艺的不断改变和控制程序不断改变的需要。人们把目标转向计算机控制系统,计算机控制使系统灵活性和通用性提高,控制功能和控制精度大大提高,同时也带来了系统复杂、抗干扰能力差、成本高等缺陷。20 世纪 60 年代出现了顺序控制器,这种以逻辑元件插接方式组成的控制系统,编程简单,成本也大大降低,然而却仍然属于硬件手段,并且体积较大。

20 世纪 70 年代,一种新型工业控制器——可编程序控制器(PLC)问世,它以微处理技术为核心,综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术,以软件手段实现各种控制功能,具有极高的抗干扰能力,适宜各种恶劣的生产环境,兼备了计算机和继电器两种控制方式的优点,形成一套以继电器梯形图为基础的形象编程语言和模块化的软件结构,使用户程序的编制清晰直观、方便易学,调试和查错容易,其本身结构简单、性能优越、体积小、重量轻、耗电省,同时价格便宜,使其在电气控制领域异军突起,并迅速发展起来。目前,PLC 已作为一种标准化通用设备应用于机械加工、自动机床、木材加工、冶金工业、建筑施工、交通运输、纺织、造纸、化工等行业,对传统的控制系统进行技术改造,使工厂自动控制技术产生了很大的飞跃。因此,作为一个电气技术人员必须掌握 PLC 的基本原理、编程方法和应用技术,才能适应目前自动控制技术领域的飞快发展。

自动控制技术发展的另一分支——数控技术也在 20 世纪 50 年代研制成功,并随着计算机技术的发展而不断走向完善。它是一种具有广泛通用性的高效率、高精度且能适应小批量复杂零件加工的自动化机床,综合应用了计算机技术、电子技术、检测技术、自动控制技术

等各个领域的最新技术成就。

展望未来, PLC、数控技术和工业机器人将成为自动控制领域的三大支柱。

2. “电气控制与 PLC 应用技术”课程的性质和任务

“电气控制与 PLC 应用技术”是实践性较强的主要专业课之一。本课程是在学习“电机原理”和“电力拖动基础”课程之后进行授课的。

本课程的主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍电气控制的基本原理、控制电路及设计方法,同时着重介绍 PLC 的功能、指令系统、编程方法和应用技术。

电气控制技术涉及面很广,本课程从应用角度出发,以培养学生对电气控制系统的分析能力和设计能力为主要目的,讲授电气控制技术领域内的新技术。PLC 是近一二十年来发展起来的一种新型工业控制器,它集计算机控制系统与继电器控制系统的优点于一体,同时避开了两者的弊端,因而在工业生产过程控制中得到极其广泛的应用。

本课程的任务是:

- (1) 熟悉常用低压电器的基本结构、工作原理、用途和型号,达到能正确使用和选用的目的。
- (2) 熟练掌握常用电气控制电路的基本控制环节,具有对一般电气控制电路的独立分析能力。
- (3) 熟悉典型生产设备电气控制电路的工作原理、分析方法,具有处理一般故障的初步能力。
- (4) 掌握 PLC 的基本原理、指令系统和编程方法。
- (5) 能正确使用和选用 PLC,具有一般程序设计能力和调试修改能力、对传统继电器控制系统进行技术改造的能力、初步技术开发能力。

本课程除理论教学外,还有实验教学、现场教学、课程设计、生产实习和毕业设计等实践性教学环节。使学生在学习中能理论和实践相结合,除掌握电气技术人员所必需的理论知识外,还应具有较强的实践能力。

第1章 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、规格、型号、用途、使用方法及各种电器的图形符号和文字符号。

1.1 低压电器的基本知识

低压电器是指在交、直流电压为1200V及以下电路中起通断、控制、保护与调节等作用的电器。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器种类繁多，结构各异，用途不同。其分类如下：

(1) 按电器的动作性质分为手动电器和自动电器两大类。手动电器是由人手操纵的电器，如刀开关、按钮、手动Y— Δ 起动器等。自动电器是按指令信号或某个物理量（如电压、电流、时间、速度、位移等）的变化而自动工作的电器，如接触器、继电器等。

(2) 按电器的性能和用途分为控制电器和保护电器两大类。控制电器用于控制电路通断或控制电动机的各种运行状态，如刀开关、按钮、接触器等。保护电器用于保护电源、电路和电动机，如熔断器、热继电器等。

(3) 按有无触点分为有触点电器和无触点电器。有触点电器具有可分离的动触点和静触点，利用触点的接触和分离来实现电路的通断控制。上述的电器均为有触点电器。无触点电器没有可分离的触点，如现代电力拖动系统中的晶体管无触点逻辑元件、电子程序控制器件、数字控制系统以及计算机控制系统等。

(4) 按工作原理分为电磁式电器和非电量控制电器。电磁式电器根据电磁感应原理来工作，如交流接触器、电磁式继电器等。非电量控制电器根据非电量（如压力、温度、时间、速度等）的变化而工作，如按钮、行程开关、压力继电器、时间继电器、热继电器、速度继电器等。

1.1.2 电磁式电器

电磁式电器大都由感测部分和执行部分组成。感测部分接受外界输入信号并做出一定的反应。执行部分根据感测部分做出的反应而动作，执行电路接通、断开等控制。对于有触点的电磁式电器，感测部分指电磁机构，执行部分指触头系统。

1. 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能转换为机械能并带动触头动作，以接通或断开电路。电磁机构由吸引线圈、铁心和衔铁组成。吸引线圈绕在铁心柱上，静止不动。其工作原理是：当线圈通入电流时产生磁场，磁场的磁通经铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，将衔铁吸向铁心。当电磁吸力大于反作用弹簧拉力时，衔铁被铁心可靠地吸住。但电

磁吸力过大，会使衔铁与铁心发生严重的碰击。

常见的电磁机构可分为三种类型，其结构形式如图 1-1 所示。铁心有 E 形、双 E 形、U 形、甲壳螺管形，衔铁动作方式分为直动式、转动式。

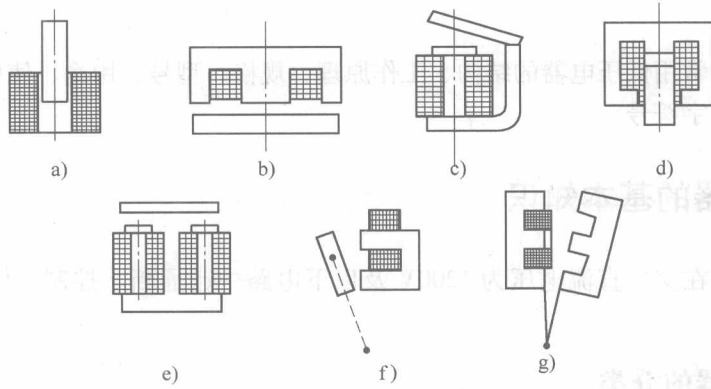


图 1-1 电磁机构的结构形式

a)、d) 螺管式 c)、f)、g) 转动式 b)、e) 直动式

1) 衔铁沿直线运动的双 E 形直动式铁心 如图 1-1b、e 所示，一般用于交流接触器、继电器。

2) 衔铁沿轴转动的拍合式铁心 如图 1-1f、g 所示，多用于触点容量较大的交流电器中。

3) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心 如图 1-1c 所示，一般用于直流电器中。

吸引线圈的作用是将电能转化为磁场能，按线圈的接线形式分为电压线圈和电流线圈。电压线圈并联在电源两端，电流大小由电源电压和线圈本身的阻抗决定，其匝数多、导线细、阻抗大、电流小，一般用绝缘性能好的漆包线绕成。电流线圈串联在电路中，反应电路中的电流，其匝数少、导线粗，一般用扁铜带或粗铜线绕成。

吸引线圈按通入线圈的电流种类分为直流线圈和交流线圈。直流线圈做成瘦高型，不设骨架，线圈和铁心直接接触，以利于散热。交流线圈和铁心都发热，线圈做成短粗型，设有骨架，使铁心和线圈隔离，以利于散热。

电磁机构通入交流电时，产生的电磁吸力是脉动的，电磁吸力时而大于反作用弹簧拉力，时而小于反作用弹簧拉力，使衔铁在吸合过程中产生振动。消除振动的措施是在铁心中引用短路环。具体方法为：

在交流电磁机构铁心柱距端面 1/3 处开一个槽，槽内嵌入铜环（又称短路环或分磁环），如图 1-2 所示。吸引线圈通入交流电时，由于短路环的作用，使铁心中的磁通分为两部分，即通过短路环的磁通和不通过短路环的磁通。两部分磁通存在相位差，二者不会同时为零，如果短路环设计合理，合成电磁吸力总大于反作用弹簧拉力，衔铁吸合时不会产生振动和噪声。

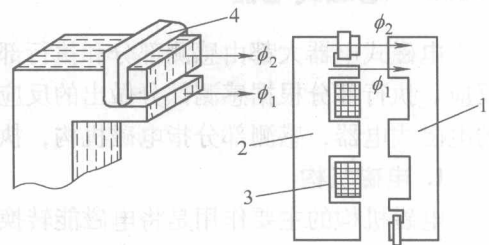


图 1-2 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

2. 触头系统

触头是有触点电器的执行部分，通过触头的动作控制电路接通或断开。触头通常有以下几种形式：

1) 桥式触头 图 1-3a 为两个点接触的桥式触头，图 1-3b 是两个面接触的桥式触头。两个触头串联在同一电路，共同完成电路的通、断。点接触型适用于小电流、触头压力小的场合。面接触型适用于大电流的场合。

2) 指式触头 图 1-3c 为指式触头，其接触区为一直线，触头动作时产生滚动摩擦，以利于去掉氧化膜，适用于接通次数多、电流大的场合。

触头通常采用具有良好导电、导热性能的铜材料制成，但铜的表面易生成氧化膜，增大触头表面的接触电阻，使损耗增大，温度升高。对于一些继电器或容量小的电器，触点常用银质材料制成，可以增加导电、导热性能，降低氧化膜电阻率（银质氧化膜的电阻率和纯银相似），这是因为银质氧化膜只有在高温下才能形成，又容易被粉化。对于容量大的电器，触头采用滚动接触时，可将氧化膜去掉，故也常用铜质触头。

触头上通常装有接触弹簧，在触头刚刚接触时产生初压力，随着触头的闭合压力增大，使接触电阻减小，触头接触更加紧密，并消除触头开始闭合时产生的振动。

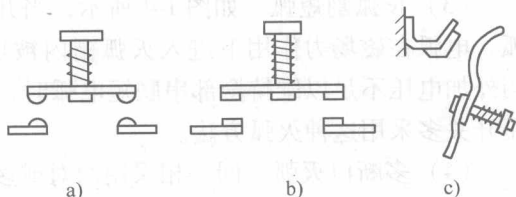


图 1-3 触头的结构形式

1.1.3 电弧的产生和灭弧方法

实践证明，开关电器切断有电流的电路时，如果触头间电压大于 10 ~ 20V，电流超过 80mA，触头间会产生强烈而耀眼的光柱，即电弧。电弧是电流流过空间气隙的现象，说明电路中仍有电流通过。当电弧持续不熄时，会产生以下危害：① 延长了开关电器切断故障的时间；② 由于电弧的温度很高（表面温度可达 3000 ~ 4000℃，中心温度可达 10000℃），如果电弧长时间燃烧，不仅将触头表面的金属熔化或蒸发，而且会引起电弧附近电气绝缘材料烧坏，引起事故；③ 使油开关的内部温度和压力剧增引起爆炸；④ 形成飞弧造成电源短路事故。因此，应在开关电器中采用有效措施，使电弧迅速熄灭。

1. 电弧的形成

当开关电器的触头分离时，触头间的距离很小，即使触头间电压很低，电场强度也很大 ($E = U/d$)，在触头表面由于强电场发射和热电子发射产生的自由电子，逐渐加速运动，并在间隙中不断与介质的中性质点产生碰撞游离，使自由电子的数量不断增加，导致介质被击穿，引起弧光放电，弧隙温度剧增，产生热游离，不断有大量自由电子产生，间隙由绝缘变成导电通道，电弧持续燃烧。

2. 电弧的熄灭

在电弧产生的同时，还伴随着一个去游离的过程，即异性带电质点相互中和成中性质点。它主要表现在正负离子的复合和离子向弧道周围的扩散。因此，电弧的产生和熄灭，是游离和去游离作用的结果。当游离作用大于去游离作用时，电弧电流越来越大，电弧持续燃烧；当游离作用小于去游离作用时，电弧电流越来越小，直至电弧熄灭。因此，为迅速灭

弧，要人为增大去游离的作用。

3. 灭弧方法

为了加速电弧熄灭，常采用以下灭弧方法。

(1) 吹弧 利用气体或液体介质吹动电弧，使之拉长、冷却。按照吹弧的方向，分纵吹和横吹。另外还有两者兼有的纵横吹，大电流横吹，小电流纵吹。

(2) 拉弧 加快触头的分离速度，使电弧迅速拉长，表面积增大而迅速冷却。如开关电器中通过加装强力开断弹簧来实现此目的。

(3) 长弧割短弧 如图 1-4 所示，当开关分断时触头间产生电弧，电弧在磁场力作用下进入灭弧栅内被切割成几个串联的短弧。当外加电压不足以维持全部串联短电弧时，电弧迅速熄灭。交流低压开关多采用这种灭弧方法。

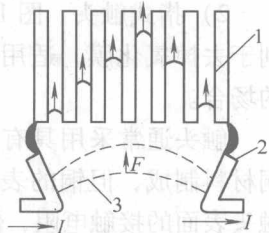


图 1-4 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—触头
3—电弧

(4) 多断口灭弧 同一相采用两对或多对触头，使电弧分成几个串联的短弧，使每个断口的弧隙电压降低，触头的灭弧行程缩短，提高灭弧能力。

(5) 利用介质灭弧 电弧中去游离的强度，在很大程度上决定于所在介质的特性（如导热系数、介电强度、热游离温度和热容量等）。气体介质中氢气具有良好的灭弧性能和导热性能，其灭弧能力是空气的 7.5 倍；六氟化硫（ FS_6 ）气体的灭弧能力更强，是空气的 100 倍。把电弧引入充满特殊气体介质的灭弧室中，使游离过程大大减弱，快速灭弧。

(6) 改善触头表面材料 触头应采用高熔点、导电导热能力强和热容量大的金属材料，以减少热电子发射、金属熔化和蒸发。目前，许多触头的端部镶有耐高温的银钨合金或铜钨合金。

1.1.4 低压电器的主要技术参数

(1) 额定电压 额定电压指在规定的条件下，能保证电器正常工作的电压值，通常指触点的额定电压值。对于电磁式电器还规定了电磁线圈的额定工作电压。

(2) 额定电流 额定电流是指在额定电压、额定频率和额定工作制下所允许通过的电流。它与使用类别、触点寿命、防护等级等因素有关，同一开关可以对应不同使用条件下规定的不同工作电流。

(3) 使用类别 使用类别是指有关操作条件的规定组合，通常用额定电压和额定电流的倍数及其相应的功率因数或时间常数等来表征电器额定通、断能力的类别。

(4) 通断能力 通断能力包括接通能力和断开能力，以非正常负载时接通和断开的电流值来衡量。接通能力是指开关闭合时不会造成触点熔焊的能力。断开能力指断开时能可靠灭弧的能力。

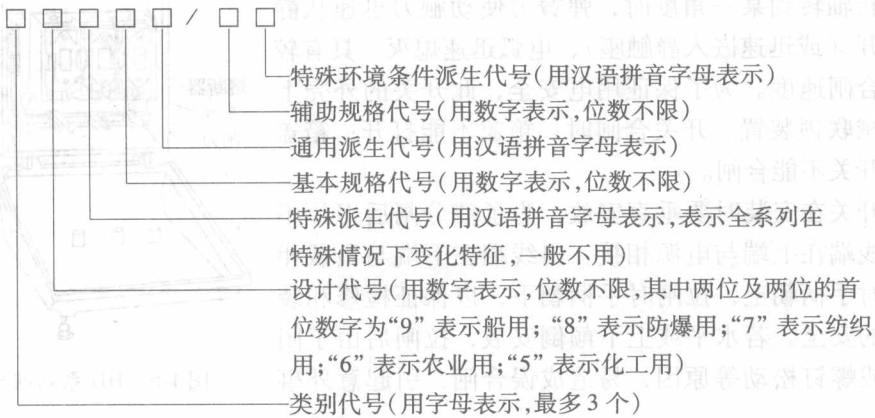
(5) 寿命 寿命包括电寿命和机械寿命。电寿命是电器在所规定使用条件下不需修理或更换零件的操作次数。机械寿命是电器在无电流情况下能操作的次数。

1.1.5 低压电器的型号

我国编制的低压电器产品型号适用于下列 12 大类产品：刀开关和转换开关、熔断器、

断路器、控制器、接触器、起动器、控制继电器、主令电器、电阻器、变阻器、调整器和电磁铁。

低压电器产品型号的组成形式及含义如下：



1.2 开关电器

开关电器的主要作用是实现对电路通、断控制，常作为电源的引入开关、局部照明电路控制开关，也可直接控制小容量电动机的起动、停止和正反转。它有下列几种类型。

1.2.1 刀开关

刀开关的主要作用是隔离电源，或作不频繁接通和断开电路用。刀开关的种类很多。按刀的级数分为单极、双极和三极；按灭弧装置分为带灭弧装置和不带灭弧装置；按刀的转换方向分为单掷和双掷；按接线方式分为板前接线式和板后接线式；按操作方式分为直接手柄操作和远距离联杆操作；按有无熔断器分为带熔断器式刀开关和不带熔断器式刀开关。在电力拖动控制电路中最常用的是由刀开关和熔断器组合的负荷开关。负荷开关分为开启式负荷开关和封闭式负荷开关两种。

1. 开启式负荷开关

开启式负荷开关（HK 系列）又称闸刀开关，常用于照明、电热设备及小容量电动机控制电路中，在短路电流不大的电路中作手动不频繁带负荷操作和短路保护用。

HK 系列开启式负荷开关由刀开关和熔断器组合而成，开关的瓷底板上装有进线座、静触头、熔丝、出线座及刀片式动触头。此系列闸刀开关不设专门灭弧装置，整个工作部分用胶木盖罩住，分闸和合闸时应动作迅速，使电弧较快地熄灭，以防电弧灼伤人手，同时减少电弧对刀片和触座的灼损。开关分单相双极和三相三极两种，图 1-5 为其图形符号。

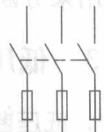


图 1-5 开启式负荷开关符号

2. 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关（HH 系列）又称铁壳开关，具有铸铁或铸钢制成的全封闭外壳，防护能力较好，用于手动不频繁通、断带负载的电路，以及作为电路末端短路保护，也可用于控制 15kW 以下的交流电动机不频繁直接起动和停止。

图 1-6 所示为常用 HH 系列铁壳开关结构，由刀开关、熔断器操作机构和外壳组成。为了迅速熄灭电弧，在开关上装有速断弹簧，用钩子扣在转轴上，当转动手柄开始分闸（或合闸）时，U 形动触刀并不移动，只拉伸了弹簧，积累了能量。当转轴转到某一角度时，弹簧力使动触刀迅速从静触座中拉开（或迅速嵌入静触座），电弧迅速熄灭，具有较高的分、合闸速度。为了保证用电安全，此开关的外壳上还装有机械联锁装置。开关合闸时，箱盖不能打开；箱盖打开时，开关不能合闸。

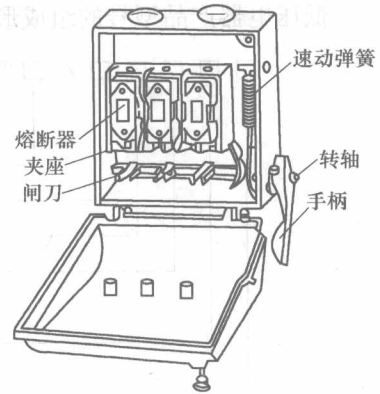


图 1-6 HH 系列铁壳开关

负荷开关在安装时要垂直安放，为了使分闸后刀片不带电，进线端在上端与电源相接，出线端在下端与负载相接。合闸时手柄朝上，拉闸时手柄朝下，以保证检修和更换熔丝时的安全。若水平或上下颠倒安放，拉闸后由于闸刀的自重或螺钉松动等原因，易造成误合闸，引起意外事故。

负荷开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、极数、通断能力、寿命等。

1.2.2 组合开关

组合开关又称转换开关，其体积小、触头对数多。常用的组合开关有 HZ10 系列，其结构和符号如图 1-7 所示。开关的三对静触头分别装在三层绝缘垫板上，并附有接线柱，用于与电源和用电设备相接。三个动触头是由磷铜片（或硬紫铜片）和消弧性能良好的绝缘钢纸板铆合而成，并和绝缘方杆一起套在附有手柄的绝缘方杆上。绝缘方杆可正或反方向每次作 90°的转动，带动三个动触片分别与三对静触头接通或断开，实现通、断电路的目的。

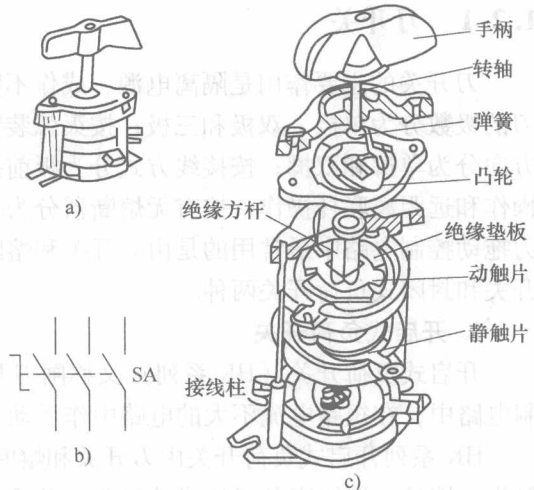


图 1-7 HZ 系列转换开关

a) 外形 b) 结构 c) 符号

组合开关结构紧凑，安装面积小，操作方便，广泛用于机床上作电源的引入开关，也可用来接通和分断小电流电路。用于控制 5kW 以下的电动机，其额定电流一般选择为电动机额定电流的 1.5 ~ 2.5 倍。其通断能力较低，不可用来分断故障电流。

1.2.3 低压断路器

1. 低压断路器的用途

低压断路器又称自动空气开关或自动空气断路器，分为框架式 DW 系列（又称万能式）和塑壳式 DZ 系列（又称装置式）两大类。低压断路器在正常工作条件下作为电路的不频繁接通和分断用，并在电路发生过载、短路及失压时能自动分断电路，保护电路和电气设备。它具有操作安全、分断能力较高、兼有多种保护功能、动作值可调整等优点，且一旦发生短路故障，故障排除一般不需要更换部件，因此应用较为广泛。