

电气控制 应用技术

DIANQI KONGZHI YINGYONG JISHU

刘法治 杨青杰 王超 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电气控制应用技术

刘法治 杨青杰 王 超 等编著



机械工业出版社

本书是以电气类、机械类、电子类等相关专业大学生所必须掌握的电气控制知识和应用技术为主要内容编写的。主要内容包括：常用低压电器、基本电气控制电路、典型电气控制系统分析、电气控制系统设计基础、PLC 的基本知识、松下电工 FP1 系列 PLC 及其指令系统、PLC 控制系统设计等。

本书从电气控制技术的应用出发，既系统地介绍了传统的继电-接触器系统与先进的 PLC 系统的结构原理、基本电路和典型系统分析方法，又详细介绍了两种控制系统的应用设计方法，展现了继电-接触器控制技术与 PLC 技术互相融合、综合化和开放性的发展趋势，体现了实用性与先进性。

本书可作为电气类、机械类、电子类等相关专业大学生教材，也可作为电工技术爱好者自学用书和相关应用领域工程技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

高职高专“十二五”规划教材

电气控制应用技术/刘法治, 杨青杰, 王超等编著. —北京: 机械工业出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-111-40642-6

I. ①电… II. ①刘… ②杨… ③王… III. ①电气控制—高等学校—教材

IV. ①TM921. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 288086 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 林春泉 责任编辑: 吕 潇

版式设计: 霍永明 责任校对: 刘秀芝

封面设计: 路恩中 责任印制: 张 楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17 印张 · 418 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 40642 - 6

定价: 39.90 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国工业化进程的加快,各行各业中机械设备大量增加,机电一体化产品越来越多,机电液一体化技术的应用越来越广泛。对电气类、机械类和电子类等专业的学生而言,掌握电气控制知识和应用技术显得十分必要。进入新世纪以来,虽然高校的教材大都能够反映新技术、新工艺和新成果,但在大学生总体知识结构的设计方面,仍然需要进行不断改革,以培养能够适应社会进步的创新型人才。就电气控制方面的教材而言,多数教材偏重介绍 PLC (可编程序控制器) 原理与应用,介绍继电-接触器控制方面的知识偏少,对电气控制系统的结构设计不够重视,而继电-接触器控制方面的系统知识是学习更先进电气控制系统的基础。于是导致学生学完电气控制技术课程后,对电气控制系统的设计问题依然非常陌生,对于如何根据生产工艺要求设计电气控制原理图,如何选用电气元件等硬件组装成实际的电气控制系统等,均知之甚少。因此,加强电气控制系统设计方面的训练,使学生真正成为具有机电一体化知识的复合型创新人才,仍是教学改革中需要深入探索的实际问题。本书试图从教材改革的角度在这方面进行尝试。

本书从电气控制技术的应用出发,系统地介绍了传统的继电-接触器系统与先进的 PLC 系统的结构原理、基本电路、典型系统分析方法等知识,比较详细地讨论了继电-接触器控制系统的设计方法,并结合实例系统地介绍了设计步骤。同时结合实际应用,较为详细地讨论 PLC 控制系统的设计方法和设计过程,以及 PLC 控制系统与继电-接触器控制系统的异同。使学生学完本课程后,能够正确选用电气元件,设计电气控制系统原理图,熟悉电气元件的选用、安装、接线和调试,从而加强学生对原理图与实际电气元件结构的认识与选用,培养学生的动手能力和创新能力。

全书共八章。第 1~4 章重点介绍了常用低压电器、基本电气控制电路、典型电气控制系统分析、电动机的保护、电气控制电路的设计及电气元件的选择。第 5~8 章介绍了 PLC 及其应用,讲述其基础知识、基本原理。介绍了 PLC 的结构、工作方式、编程语言、编程指令,从应用角度出发,介绍了 PLC 控制系统的设计内容、步骤及应用实例。

本书在编写过程中,既注意反映我国控制技术的现状,也注意了新技术发展的需要。在内容上,尤其注重基础理论和实践相结合,电气元件工作原理、性能特点与基本控制电路相结合,基本控制电路与典型控制系统相结合,突出应用性,强调系统性,力求先进性。

本书由刘法治、杨青杰、王超等编著。编写分工如下:刘法治、魏秋红共同编写第 1、6 章,王超、王红军共同编写绪论、第 2 章,孙志辉、李余钱共同编写第 3 章,王占合编写第 4 章,乔卫红编写第 5 章,杨青杰、薛海莉共同编写第 7 章,田丰庆缩写第 8 章,刘法治编写附录。

编者在本书编写过程中，参考了大量的书刊、技术资料、图片等相关文献，得到多位有经验同事和朋友的大力支持和热情帮助，在本书出版之际，对相关文献资料的作者、同仁及朋友的鼎力相助表示衷心感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中不妥和错漏之处，恳请广大同行和读者给予批评指正。

作 者

2012 年 10 月

目 录

前言

绪论	1
第1章 常用低压电器	4
1.1 概述	4
1.1.1 低压电器的分类与应用	4
1.1.2 低压电器的主要技术参数	5
1.1.3 低压电器选用的一般原则	5
1.1.4 低压电器选用的注意事项	6
1.2 电磁式电器的结构和工作原理	6
1.2.1 电磁系统组成	6
1.2.2 电磁特性	7
1.2.3 触点	8
1.2.4 灭弧装置	9
1.3 低压配电电器	10
1.3.1 刀开关	10
1.3.2 负荷开关	12
1.3.3 组合开关	15
1.3.4 低压断路器	16
1.3.5 低压熔断器	18
1.4 接触器	21
1.4.1 接触器的类型	21
1.4.2 交流电磁接触器的结构、原理及技术参数	21
1.4.3 交流接触器与直流接触器的差异	23
1.4.4 交流接触器的选用与使用安全注意事项	24
1.5 继电器	25
1.5.1 中间继电器	25
1.5.2 电流、电压继电器	27
1.5.3 固体继电器	28
1.5.4 时间继电器	29
1.5.5 热继电器	32
1.5.6 速度继电器	34
1.5.7 漏电保护器	35
1.6 低压主令电器	37
1.6.1 按钮	37
1.6.2 位置开关	39
1.6.3 接近开关	40
1.6.4 万能转换开关	42

习题与思考题	43
第2章 基本电气控制电路	44
2.1 概述	44
2.1.1 按控制功能分类	44
2.1.2 按控制规律分类	44
2.2 电气控制电路基本知识	45
2.2.1 电气控制电路图绘制原则、图形和文字符号	45
2.2.2 电气控制电路图绘制方法	47
2.2.3 电路图的阅读方法	55
2.3 三相笼型异步电动机的起动控制电路	58
2.3.1 直接起动控制电路	58
2.3.2 减压起动控制电路	59
2.4 三相笼型异步电动机正反转控制电路	64
2.4.1 正反转控制电路	65
2.4.2 行程控制电路	67
2.5 三相笼型异步电动机制动控制电路	68
2.5.1 机械制动控制电路	68
2.5.2 电气制动控制电路	70
2.6 双速异步电动机高低速控制电路	73
2.6.1 Δ -YY双速异步电动机定子绕组的联结	73
2.6.2 双速异步电动机手动变速控制电路	73
2.6.3 双速异步电动机自动变速的控制电路	74
2.7 机床液压系统的电气控制电路	75
2.7.1 机床中常用的液压元件	76
2.7.2 液压动力部件控制电路	81
2.8 其他基本控制电路	84
2.8.1 点动控制	84
2.8.2 联锁与互锁	85
2.8.3 多点控制	87
习题与思考题	87
第3章 典型电气控制系统分析	89
3.1 分析电气控制系统的方法与步骤	89
3.1.1 分析电气控制系统的方法	89
3.1.2 分析电气控制系统的步骤	90
3.2 车床的电气控制系统	90
3.2.1 卧式车床结构和运动	90
3.2.2 电力拖动特点与控制要求	91
3.2.3 CD6140A 型卧式车床电气控制系统分析	91
3.2.4 C650 型卧式车床电气控制系统分析	93
3.3 摇臂钻床电气控制系统	96
3.3.1 主要结构及运动形式	96
3.3.2 拖动方式与控制要求	97
3.3.3 电气控制系统分析	97

3.4 铣床电气控制系统	101
3.4.1 卧式铣床的主要结构和运动	101
3.4.2 电力拖动特点及控制要求	102
3.4.3 电气控制系统分析	102
习题与思考题	108
第4章 电气控制系统设计基础	109
4.1 电气控制系统设计的内容和原则	109
4.1.1 电气控制系统设计的基本内容	109
4.1.2 电气控制系统设计的一般原则	109
4.1.3 电力拖动方案确定的原则	110
4.1.4 电气控制方案确定的原则	111
4.2 电气控制系统的设计方法和步骤	111
4.2.1 电气控制系统的设计方法	111
4.2.2 电气控制系统设计的一般步骤	112
4.3 继电-接触器控制系统的设计	113
4.3.1 继电-接触器控制系统电气原理图的设计	113
4.3.2 电气原理图设计中应注意的技术问题	115
4.4 电气控制电路设计中的元器件选择	120
4.4.1 电动机的选择	120
4.4.2 机床常用电器的选择	122
4.5 电气控制电路设计举例	126
4.5.1 单电动机控制电路	126
4.5.2 设计 CA6140 型卧式车床的电气控制电路	129
习题与思考题	133
第5章 PLC 的基本知识	136
5.1 PLC 的产生与发展	136
5.2 PLC 的特点及分类	137
5.2.1 PLC 的特点	137
5.2.2 PLC 的分类	138
5.3 PLC 的主要技术指标和应用场合	140
5.3.1 PLC 的主要技术指标	140
5.3.2 PLC 的应用场合	141
5.4 PLC 的基本结构、工作原理和编程语言	142
5.4.1 PLC 的系统结构	142
5.4.2 PLC 的各部分作用	143
5.4.3 PLC 的工作原理	146
5.4.4 PLC 的编程语言	148
习题与思考题	150
第6章 松下电工 FP1 系列 PLC	151
6.1 FP1 系列 PLC 性能简介	151
6.2 FP1 的内部寄存器及 I/O 配置	153
6.2.1 FP1 的内部寄存器配置	153

6.2.2 FP1 的 I/O 地址分配	157
习题与思考题	158
第7章 FP1 的指令系统	159
7.1 FP1 的基本指令	160
7.1.1 基本顺序指令	160
7.1.2 基本功能指令	168
7.1.3 基本控制指令	172
7.1.4 比较指令	182
7.2 FP1 的高级指令概述	185
7.2.1 FP1 高级指令的一般格式及操作数	185
7.2.2 高级指令的类型	186
7.3 FP1 的高级指令	187
7.3.1 数据传送指令	187
7.3.2 算术运算指令	193
7.3.3 数据比较指令	197
7.3.4 逻辑运算指令	199
7.3.5 数据转换指令	200
7.3.6 数据移位指令	209
7.3.7 位操作指令	213
7.3.8 特殊指令	215
习题与思考题	218
第8章 PLC 控制系统设计	220
8.1 PLC 控制系统设计概述	220
8.1.1 PLC 控制系统设计的方法和原则	220
8.1.2 PLC 控制系统设计的内容和步骤	221
8.2 PLC 控制系统硬件设计	222
8.2.1 PLC 控制系统主电路和控制电路设计	222
8.2.2 PLC 的选型	223
8.3 PLC 控制系统软件设计	226
8.3.1 程序设计内容和原则	226
8.3.2 编程技巧举例	228
8.4 PLC 代替继电-接触器控制系统的应用	230
8.4.1 电动机正反转控制电路	230
8.4.2 电动机间歇运动	231
8.4.3 电动机减压起动控制电路	232
8.4.4 电动机制动控制电路	233
8.5 PLC 控制系统的典型应用	236
8.5.1 设备顺序起动-循环控制	236
8.5.2 锅炉点火和熄火控制	238
8.5.3 行车方向控制	239
8.6 调试与测试	241
习题与思考题	241

附录 A Y 系列三相异步电动机型号规格	243
附录 B 常用电器主要型号规格	246
附录 C 特殊内部继电器表	253
附录 D 特殊数据寄存器表	255
附录 E FP1 系统寄存器表	258
参考文献	261

绪 论

电气控制技术是随着科学技术的不断发展及生产工艺的不断提高而得到飞速发展的。从最早的手动控制发展到自动控制，从简单的控制线路发展到复杂的控制系统，从有触点硬接线的继电-接触器控制系统发展到以计算机为中心的软控制控制系统。随着新的电气元件的不断出现和计算机技术的发展，电气控制技术也在持续发展。现代电气控制技术正是综合应用了计算机、自动控制、电子技术、精密测量等许多先进的科学技术成果而迅速发展起来的。

1. 电气控制技术的发展概况

作为生产机械动力的电动机拖动，已由最早的采用成组拖动方式→单独拖动方式→生产机械的不同运动部件分别由不同的电动机拖动多电动机拖动方式，发展成今天无论是自动化功能还是生产安全性方面都相当完善的电气自动化系统。

19 世纪末，直流发电机、交流发电机和直流电动机、异步电动机的相继问世，揭开了电气控制技术的序幕。20 世纪初，电动机逐步取代蒸汽机用来驱动生产机械。最初用一台电动机经大轴（或地轴）由皮带传动，用来驱动若干台生产设备，因此传动路线长、效率低、结构复杂。为了简化机械传动系统，出现了一台机器的几个运动部件由几台电动机分别拖动，这种方式称为多电动机拖动。在这种情况下，机械的电气控制系统不但可对各台电动机的起动、制动、反转和停车等进行控制，还具有对各台电动机之间实行协调、联锁、顺序切换和显示工作状态的功能。对生产过程比较复杂的系统还要求对影响产品质量的各种工艺参数，如温度、压力、流量、速度和时间等能够自动测量和自动调节，这样就构成了功能相当完善的电气自动化系统。到 20 世纪 30 年代，电气控制技术的发展推动了电器产品的进步，继电器、接触器、按钮和开关等元器件形成了功能齐全的多种系列，基本控制已形成规范，并可以实现远距离控制。这种主要用于控制交流电动机的系统通常称为继电-接触器控制系统。

继电-接触器控制具有使用的单一性，即一台控制装置只能针对某一种固定程序的设备，其控制方式是断续的，所以又称为断续控制系统。其优点是控制器件结构简单、价格低廉，维护容易，抗干扰能力强，控制方式简单直接等，至今仍是机床和其他许多机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制系统的基础。这种控制系统的缺点是采用固定接线方式，灵活性差，控制装置体积大、功耗大、工作频率低、触点易损坏，可靠性差。

20 世纪 30 年代中后期，机械加工企业为了提高生产效率，采用机械化流水作业的生产方式，对不同类型的零件分别组成自动生产线。随着产品机型的更新换代，生产线承担的加工对象也随之改变，这就需要改变控制程序，使生产线的机械设备按新的工艺过程运行，而继电-接触器控制系统是采用固定接线的，很难适应这个要求。大型自动生产线的控制系统使用的继电器数量很多，这种有触点的电器工作频率较低，在频繁动作情况下寿命较短，而造成系统故障，使生产线的运行可靠性降低。为了解决这个问题，20 世纪 60 年代初期利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统来代替继电-接触器控制系统，

对复杂的自动控制系统则采用电子计算机控制, 由于这些控制装置本身存在某些不足, 均未能获得广泛应用。1968 年美国最大的汽车制造商——通用汽车 (GM) 公司为适应汽车型号的不断更新, 提出将计算机的完备功能以及灵活性、通用性好等优点与继电-接触器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来, 做成一种能适应工业环境的通用控制装置, 同时, 依据现场电气操作维护人员和工程技术人员的技能和习惯, 把编程方法和程序输入方式加以简化, 使得不熟悉计算机的人员也能很快地掌握它的使用技术。根据这一设想, 美国数字设备公司 (DEC) 于 1969 年率先研制出第一台可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC), 在通用汽车公司的自动装配线上试用获得成功。从此以后, 许多国家的著名厂商竞相研制, 各自形成系列, 而且品种更新很快, 功能不断增强, 从最初的以逻辑控制为主发展到能进行模拟量控制, 具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC 的另一个突出优点是可靠性很高, 平均无故障运行时间可达 10 万小时以上, 可以大大减少设备维修费用和因停产造成的经济损失。当前, PLC 已经成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置, 在工业自动控制领域占有十分重要的地位。

数控技术也是电气自动控制的一个重要分支, 它综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的最新技术成就。它既有专用机床生产率高的优点, 又兼有通用机床工艺范围广、使用灵活的特点, 能实现自动加工复杂表面、精度高, 发展前景广阔。20 世纪 40 年代末, 为了适应中小批量机械加工生产自动化的需要, 人们应用近代科学成就, 成功研制出数控机床。数控机床的控制系统, 最初是由硬件逻辑电路构成的专用数控装置 (Numerical Control, NC), 因其成本昂贵, 工作可靠性差, 逻辑功能固定, 后来研制成功直接数字控制 (Direct Numerical Control, DNC)、计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC) 系统等数控系统。最近 20 多年来, 机电一体化、机电光仪一体化等交叉学科的发展, 使得数控技术进入了一个崭新的阶段。随着微电子技术的发展, 由小型或微型计算机再加上通用或专用大规模集成电路组成的 CNC 性能更为完善, 在机械制造、电气控制及自动化领域相继出现了自适应控制 (Adaptive Control, AC) 系统, 柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS), 计算机集成制造 (Computer Integrated Manufacturing, CIM) 系统, 综合运用计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM)、智能机器人、集散控制系统 (Distributed Control System, DCS)、现场总线控制系统等多项高新技术, 形成了从产品设计与制造和生产管理的智能化生产的完整体系, 将自动制造技术推进到更高的水平。

2. 本课程的性质与任务

本课程是一门实践性很强的专业课。电气控制技术在生产过程、科学研究和其他各个领域中的应用十分广泛。其主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象, 介绍和讲解继电-接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、基本控制电路、典型机械的电气控制电路、电气控制系统的设计方法和实际应用。

继电-接触器控制系统是学习更先进电气控制系统的基础。首先, 继电-接触器控制系统在小型电气系统中仍普遍使用, 而且是组成电气控制系统的基础; 其次, 在大型电气系统中尽管 PLC 取代了继电器, 但它所取代的主要是逻辑控制部分, 而电气控制系统中的信号采集和驱动输出部分仍然要由电气元器件及控制电路来完成。继电-接触器控制系统是该门课程相当重要的内容。

PLC 是近几十年来发展起来的一种新型工业控制器, 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-接触器系统的控制简单、使用方便、抗干扰能力强、价格便宜等优点结合起来, 其本身又具有体积小、重量轻、耗电省等特点, 因此在工业生产过程控制中的应用越来越广泛。PLC 也是该门课程的重要内容。

该课程的目标是让学生掌握一门非常实用的工业控制技术, 并且着力培养和提高学生对电气控制系统的分析和设计的基本能力。

变频调速是通过改变定子的供电频率以改变同步转速来实现调速的方法。在调速过程中从高速到低速都可以保持有不大的转差率, 因而具有高效率、宽范围、高精度的调速性能。变频调速是异步电动机的一种比较合理和理想的调速方法。异步电动机变频调速类似于直流电动机改变电枢电压和磁场磁通的调速, 但异步电动机本身具有体积小、重量轻、成本低、惯性小、效率高和工作可靠等一系列宝贵优点, 因此异步电动机的变频调速得到快速发展并受到极大的重视, 在电动机调速领域内占据了最重要的地位。随着电力半导体器件特别是可关断器件的发展, 变频调速装置的性能/价格比在不断提高, 其应用范围也在不断扩大。特别是在长期需要以较低转速运转、工作在环境恶劣下的设备以及需要多台电机共用一套变频电源或多台电机需要精确协调运转等场合, 异步电动机变频调速更是应当优先选用的方案。因此, 书中也介绍和讨论了各种变频装置和系统的组成原理。

电气控制技术是机电类专业学生所必须掌握的最基础的实际应用课程之一, 具体要求如下:

- 1) 熟悉常用控制电器的工作原理和用途, 达到能正确地使用和选用的目的, 并了解一些新型元器件的用途。
- 2) 熟练掌握电气控制电路的基本环节, 并具备阅读和分析电气控制电路的能力, 从而能设计简单的电气控制电路, 较好地掌握电气控制电路的简单设计方法。
- 3) 了解电气控制电路分析的步骤, 熟悉典型生产设备的电气控制系统的工作原理, 具有从事电气设备的安装调试、运行和维护等技术工作能力。
- 4) 了解电气控制电路设计的基础, 能够根据要求设计一般的电气控制电路。
- 5) 掌握 PLC 的基本原理及编程方法, 能够根据工艺过程和控制要求正确地选用 PLC, 设计控制系统, 编制用户程序, 经调试应用于生产过程控制。
- 6) 具有设计和改进一般机械设备电气控制电路的基本能力。

第1章 常用低压电器

1.1 概述

在工业、农业、交通运输等部门中使用的各种生产机械，多数是靠电动机拖动运行，电动机的开停、调速等通常是由低压电器构成的继电-接触器控制系统进行控制的。因此，熟练掌握电气元件的结构和工作原理，将有助于掌握电气控制电路的分析和设计的方法。

电器是根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非用电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气器件。电器的种类繁多，构造各异。根据其工作电压高低，电器可分为高压电器和低压电器。低压电器是指工作在交流电压小于1200V，直流电压小于1500V的电路中的电器。

低压电器广泛应用于发电厂、变电站、工矿企业、交通运输、农业、国防工业等电力配电系统与电气自动控制设备以及计算机控制系统等领域中。它对电能的产生、输送、分配与应用起着开关、控制、保护与调节等作用。

1.1.1 低压电器的分类与应用

常用低压电器的分类。由于低压电器的职能、品种和规格的多样化，其分类方法有多种。

1. 按动作方式的不同分为自动切换电器和手动切换电器

1) 自动切换电器指依靠电器本身参数的变化而自动完成动作或状态变化的电器，如接触器、继电器等。

2) 手动切换电器指依靠人工直接操作完成动作切换的电器，如按钮、刀开关等。

2. 按用途的不同分为配电电器、控制电器、主令电器、保护电器、执行电器

1) 低压配电电器：主要用于低压供电系统。如刀开关、负荷开关、组合开关、断路器以及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动态稳定及热稳定性好。

2) 低压控制电器：主要用于电力拖动控制系统。如接触器、继电器、控制器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率高，电器和机械寿命要长。

3) 低压主令电器：主要用于发送控制指令的电器。如按钮、主令开关、行程开关和万能开关等。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) 低压保护电器：主要用于对电路和电气设备进行安全保护的电器。如熔断器、热继电器、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) 低压执行电器：主要用于执行某种动作和传动功能的电器。如电磁铁、电磁离合器等。大多数电器既可作控制电器，也可作保护电器，它们之间没有明显的界线。如电流继电

器既可按“电流”参量来控制电动机，又可用来保护电动机不致过载；又如行程开关既可用于控制工作台的往返运动及行程长度，又可作为终端开关保护工作台不致闯到导轨外面去。

另外，低压电器按工作原理分电磁式电器、非电量控制电器；按输出触点的工作形式分有触点电器、无触点电器；按灭弧介质分空气、真空、油等低压电器；按工作条件分一般工业用电器、船用电器、化工用电器、矿用电器、牵引用电器、航空用电器等。也有按外壳防护等级、安装类别等来分类的。

1.1.2 低压电器的主要技术参数

1. 额定电压

- 1) 额定工作电压：指在规定条件下，保证电器正常工作的工作电压值。
- 2) 额定绝缘电压：指规定条件下，用来度量电器及其部件的绝缘强度距离的标称电压值。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：指在系统发生最大过电压时，电器能够耐受电压的能力，额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定绝缘水平。

2. 额定电流

- 1) 额定工作电流：指在规定条件下，保证开关电器正常工作的电流值。
- 2) 额定发热电流：指在规定条件下，电器处于非封闭状态，开关电器在8h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：指电器处于封闭状态下，在所规定的最小外壳内，开关电器在8h工作制下，各部件的温升不超过极限值时所承载的最大电流。
- 4) 额定持续电流：指在规定的条件下，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。

3. 操作频率与通电持续率

开关电器每小时内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有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，其触点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 低压电器选用的一般原则

目前，我国大约生产的低压电器有130多个系列，品种近千种，规格上万类，用途多样。如何正确地选用低压电器（选用合理、使用正确、技术和经济相互兼顾）非常重要。由于品种繁多，低压电器的选用方法有其特殊性，选用时应遵循的基本原则如下：

- 1) 安全原则：使用安全可靠是对任何电路的基本要求，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。

2) 经济原则: 经济性包括电器本身的经济价值和使用该种电器产生的价值。前者要求合理适用, 后者必须保证运行可靠, 不致因故障而引起各类经济损失。

1.1.4 低压电器选用的注意事项

- 1) 了解控制对象(如电动机或其他用电设备)的分类和使用环境。
- 2) 确认有关的技术数据。如控制对象的额定电压、额定功率、操作特性、启动电流倍数、操作频度和工作制等。
- 3) 了解电器的正常工作条件。如环境空气温度、相对湿度、海拔、允许安装方位、震动和有害气体等方面的能力。
- 4) 了解电器的主要技术性能。如用途、种类、额定电压、控制能力、接通能力、分断能力、工作制和使用寿命等。

1.2 电磁式电器的结构和工作原理

各类电磁式电器在工作原理和结构上基本相同, 从结构上来看, 主要由两部分组成, 其一为检测部分, 即电磁系统; 其二为执行部分, 即触点系统。

1.2.1 电磁系统组成

电磁系统实质上是一种电磁铁, 一般由电磁线圈(吸力线圈)、动铁心(衔铁)和静铁心等组成, 主要作用是通过电磁感应原理将电能转换成机械能, 带动触点动作, 完成接通或分断电路的功能。电磁式电器触点在线圈未通电状态时有常开(或称动合)和常闭(或称动断)两种状态, 分别称为常开(或称动合)触点和常闭(或称动断)触点。当电磁线圈有电流通过, 电磁系统动作时, 触点改变原来的状态, 常开(或称动合)触点将闭合, 使其与相连电路接通; 常闭(或称动断)触点将断开, 使其与相连电路断开。

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 所示为

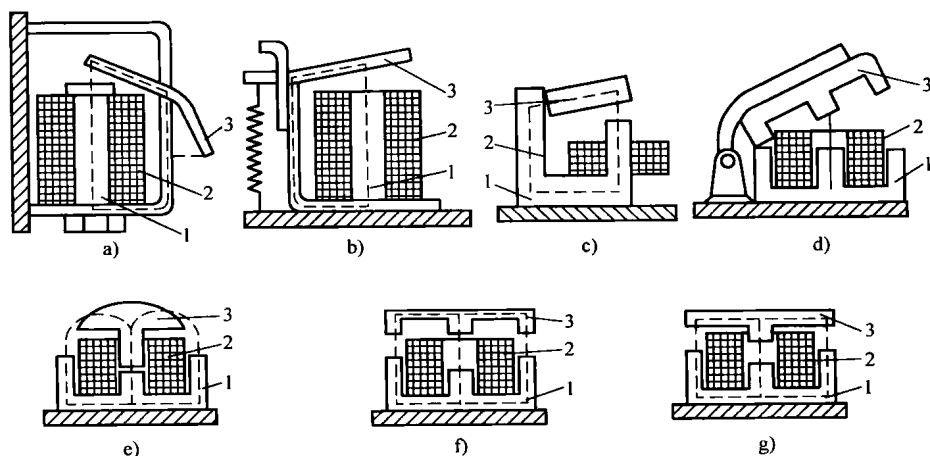


图 1-1 不同结构的电磁系统

1—铁心 2—线圈 3—衔铁

不同结构的电磁系统，其中图 a、b、c 和 d 为拍合式电磁铁，其中图 a 和 b 的铁心是螺管式结构，其衔铁绕铁轭的棱角转动，磨损较小，铁心用软铁制成，适用于直流继电器和接触器。图 c 和 d 的衔铁绕定轴转动，用于交流接触器，铁心用硅钢片叠成，图 c 的铁心是 U 形结构，图 d 的铁心为双山形结构。e、f 和 g 为直动式电磁铁，其衔铁在线圈内作直线运动，多用于交流接触器和继电器，图 e 和 g 的铁心为单山形，也可以做成螺管式结构，图 f 的铁心为双山形结构。

吸引线圈是电磁铁的心脏，其作用是将电能转换为磁能，是产生磁力的装置。按通入电流种类的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，铁心也会发热，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。为了减少对电路电压分配的影响，串联线圈常采用扁铜条或粗铜线绕制，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，常采用绝缘较好的细电磁线绕制，匝数多。

1.2.2 电磁特性

1. 电磁吸力与吸力特性

电磁铁线圈通电以后，铁心吸引衔铁带动触点改变原来状态进而接通或分断电路的力称为电磁吸力。电磁吸力是影响电磁式电器可靠工作的一个重要参数，电磁吸力可按下式计算，即

$$F = \frac{B^2 S \times 10^7}{8\pi} \quad (1-1)$$

式中， F 为电磁吸力 (N)； B 为气隙中的磁感应强度 (T)； S 为磁极截面积 (m^2)。当截面积为常数时，吸力 F 与气隙中的磁感应强度 B^2 成正比，也可以认为 F 与磁通 Φ^2 成正比。电磁系统的吸力特性反映了电磁吸力与气隙的关系。磁感应强度 B 与气隙宽度 δ 及外加电压大小有关，所以，对于直流电磁铁，外加电压恒定，电磁吸力的大小只与气隙有关。但对于交流电磁铁，由于外加正弦交流电压，在气隙宽度一定时，其气隙磁感应强度也按正弦规律变化，即 $B = B_m \sin \omega t$ 。所以，吸力公式为

$$F = \frac{10^7 S B_m^2 \sin^2 \omega t}{8\pi} \quad (1-2)$$

电磁吸力也按正弦规律变化，最小值为零，最大值为

$$F_m = \frac{10^7 S B_m^2}{8\pi} \quad (1-3)$$

电磁式电器在吸合或释放过程中，气隙是变化的，电磁吸力也将随气隙的变化而变化，这种特性称为吸力特性，电磁铁吸力特性曲线如图 1-2 所示。

2. 交流接触器短路环的作用

电磁吸力由电磁机构产生，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