



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

Control Technology of
Building Electric

建筑电气 控制技术

◎ 主 编 何 波
◎ 副主编 冯增喜 李 喆



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

电路基础	张立臣	电力网继电保护及自动化装置	高亮
模拟电子技术	翟丽芳	电网监控及自动化	张永健
数字电子技术	朱幼莲	可再生能源发电技术	李先允
电子技术实验与课程设计	李震梅	楼宇自动化技术	王再英
EDA技术与应用	陈海宴	建筑供配电	王辉
AutoCAD电气工程绘图教程	吴秀华	电梯控制技术	陈登峰
MATLAB电气工程应用基础	赵巧峨	建筑电气照明技术	王佳
通信原理简明教程	邬正义	建筑电气控制技术	何波
信号与系统	王瑞兰	综合布线技术	刘国林
数字信号处理	张维玺	现代民用建筑电气工程设计	胡国文
DSP原理及应用	郭殿林	电机与拖动基础	王丁
微机原理及接口技术	胡蕾	电力拖动自动控制系统	周渊深
单片机原理及应用	张兰红	运动控制系统	徐建英
单片微机原理及应用	罗印升	计算机控制技术	罗文广
计算机软件技术基础	杨建军	过程控制工程	袁德成
自动控制理论	陈虹	检测技术及应用	尚丽平
现代控制理论基础	王立国	控制系统仿真与CAD	王燕平
电力电子技术	黄家善	人工智能原理及应用	罗兵
电力拖动基础	孙克军	嵌入式系统设计	李秀娟
电气工程概论	蔡子亮	自动控制原理 第2版	李晓秀
电气控制与PLC系统	任胜杰	单片机原理与应用 第2版	王迎旭
现代电气控制技术	任振辉	控制系统CAD	张晋格
供配电技术	张苓	——基于MATLAB语言 第2版	郑华耀
电器学	郭凤仪	检测技术 第2版	汤天浩
电力系统分析	朱一纶	电机与拖动基础 第2版	李建兴
电力系统自动装置	李凤荣	可编程序控制器应用技术 第2版	翁双安
发电厂电气部分	陈元新	供电工程 第2版	魏艳君
配电网和配电自动化系统	董张卓	电力电子电路仿真	
电力系统继电保护	韩笑	——MATLAB和PSpice应用	

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-42874-9

策划编辑◎于苏华 / 封面设计◎张静

ISBN 978-7-111-42874-9



9 787111 428749 >

定价:42.00元

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十二五”规划教材

建筑电气控制技术

主 编 何 波

副主编 冯增喜 李 喆

参 编 孟月波 徐胜军 张小红

主 审 于军琪



机械工业出版社

定价

本书为建筑电气与智能化专业的核心课程教材，内容的设置立足于工程实际，旨在培养学生独立分析和系统设计能力。全书共分为9章，主要包括常用低压电器、电气控制的基本环节和典型应用、电气控制系统的设计方法、可编程控制器（PLC）及其工作原理、S7-200系列PLC的硬件结构及程序设计、S7-200系列PLC的网络与通信、建筑电气控制系统常用的控制设备与装置、建筑给排水系统的电气控制和空气调节系统的电气控制等。

通过本课程的教学与实践，能够使学生熟练运用联锁控制、逻辑设计及顺序控制的思想，完成简单的建筑电气控制电路设计，并能根据工艺过程和工程设计要求进行PLC控制系统设计，进而加强学生实践技能的锻炼。

本书可作为普通高等院校建筑电气与智能化、电气工程及其自动化、自动化等专业及电气信息类相关专业的教学用书，也可供从事建筑电气控制系统设计的工程技术人员参考和使用。

图书在版编目（CIP）数据

建筑电气控制技术/何波主编. —北京：机械工业出版社，2013.7
普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-42874-9

I. ①建… II. ①何… III. ①房屋建筑设备—电气控制—高等学校—教材 IV. ①TU85

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第127705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：于苏华 责任编辑：于苏华 卢若薇

版式设计：霍永明 责任校对：肖琳

封面设计：张静 责任印制：李洋

北京华正印刷有限公司印刷

2013年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21印张·521千字

标准书号：ISBN 978-7-111-42874-9

定价：42.00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 封面防伪标均为盗版

前 言

“建筑电气控制技术”是针对国民经济重点领域——现代建筑业的核心技术课程，也是建筑电气与智能化、电气工程及其自动化、自动化等本科专业实用性较强的一门主干课程。长期以来，工程行业与人才培养都亟待理论联系实际、突出行业特色、内容先进、可读性强的教科书，以满足高校人才培养与工程技术人员自学与提高的需求。

本教材面向需求，注重对大学生专业理论知识的获取与工程实践能力的培养，教材内容主要包括电气控制系统设计、可编程序控制器（PLC）及应用技术、典型建筑电气控制系统设计等，突出了实用性和先进性的结合，知识结构的安排符合认知与学习规律，各章节佐以大量的工程实例，帮助学生对所学知识的理解和掌握，锻炼其分析和解决实际问题的能力。

本教材分为九章，第1章讲述常用低压电器的结构、原理和用途；第2章、第3章讲述电气控制电路基本环节、典型控制电路，以及电气控制系统常用设计方法；第4章讲述PLC的结构和工作原理；第5章以西门子S7-200系列PLC为例，着重讲述该系列PLC的硬件结构、指令系统、程序设计方法；第6章讲述S7-200系列PLC的网络与通信功能；第7章讲述建筑电气控制系统中常用的控制设备及装置；第8章、第9章针对建筑设备自动化系统，重点讲述建筑给排水系统、空调系统的电气控制及其监控系统设计。各章的结尾部分均附有习题与思考题。

本教材由西安建筑科技大学何波老师任主编，冯增喜、李喆任副主编。其中，第2章、第3章由何波编写；第1章、第9章由冯增喜编写；第4章由李喆编写；第6章由张小红编写；第7章由孟月波编写；第8章由徐胜军编写；第5章由何波、孟月波、徐胜军编写。全书由何波统稿，西安建筑科技大学于军琪教授对本教材进行了审阅，并提出了宝贵建议。西安科技大学张小红为本教材做了大量的文字编辑和校正工作，教材中部分内容也参考了相关文献资料，在此编者对他们一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不当之处，敬请各位专家、读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 常用低压电器	1
1.1 低压电器的定义与分类	1
1.1.1 低压电器的定义	1
1.1.2 低压电器的分类	1
1.1.3 常用的低压控制电器	2
1.2 电磁式低压电器	2
1.2.1 电磁机构	2
1.2.2 触点系统及常用的灭弧装置	3
1.2.3 吸力特性与反力特性	6
1.2.4 电磁式接触器	7
1.2.5 电磁式继电器	9
1.2.6 时间继电器	11
1.2.7 感应式速度继电器	13
1.3 主令电器	14
1.3.1 控制按钮	14
1.3.2 行程开关	14
1.3.3 万能转换开关	16
1.3.4 主令控制器	17
1.4 低压保护电器	17
1.4.1 熔断器	17
1.4.2 热继电器	20
1.4.3 电压继电器	23
1.4.4 电流继电器	24
1.4.5 低压开关和低压断路器	25
习题及思考题	28
第2章 电气控制的基本环节和典型应用	29
2.1 电气控制电路图的绘制原则	29
2.1.1 常用的电气控制图形符号和文字符号	29
2.1.2 电气原理图的绘制原则	32
2.1.3 电气原理图的组成	33
2.1.4 电气原理图的阅读和分析	34
2.1.5 电气控制电路的组成	34
2.2 电动机的基本起停控制	35
2.2.1 电动机的点动控制	35

2.2.2 电动机的连续运行控制	36
2.3 电气控制电路的联锁控制规律	37
2.3.1 电动机的正反转控制	37
2.3.2 按顺序工作的联锁控制	38
2.3.3 电动机的点动与连续运行的联锁	40
2.3.4 多地控制	42
2.4 三相异步电动机的减压起动控制	42
2.4.1 定子串电阻器(或电抗器)的减压起动方式	43
2.4.2 串接自耦变压器的减压起动方式	44
2.4.3 改变定子绕组联结的减压起动方式	46
2.4.4 绕线转子异步电动机转子串电阻的起动方式	48
2.4.5 绕线转子异步电动机转子串频敏变阻器的起动方式	50
2.4.6 异步电动机的软起动方式	52
2.5 三相异步电动机的制动控制	57
2.5.1 反接制动控制	57
2.5.2 能耗制动控制	60
2.6 异步电动机的调速控制	62
2.6.1 变磁极对数调速	62
2.6.2 绕线转子异步电动机转子串电阻的调速控制	64
2.7 电气控制电路设计举例	66
习题及思考题	70
第3章 电气控制系统的设计方法	72
3.1 电气控制系统设计的基本原则与步骤	72
3.1.1 电气控制系统设计的基本原则	72
3.1.2 电气控制系统设计的基本任务	72
3.1.3 电气控制系统设计的基本步骤	73
3.2 电气控制系统的经验设计方法	74
3.2.1 经验设计方法的基本原则	74
3.2.2 经验设计方法实例分析	82

3.3 电气控制系统的逻辑设计方法	86	5.2.2 内部元件及其编址方式	139
3.3.1 逻辑变量的约定	87	5.2.3 寻址方式	145
3.3.2 基本的逻辑运算	87	5.2.4 硬件系统配置	146
3.3.3 逻辑运算规律及逻辑关系式的 化简	89	5.3 S7-200 系列 PLC 的基本逻辑指令	147
3.3.4 继电器开关函数	91	5.3.1 位逻辑指令	147
3.3.5 逻辑设计方法的一般步骤	94	5.3.2 输出指令	149
3.4 顺序控制设计方法	98	5.3.3 逻辑块操作指令	150
3.4.1 顺序控制的设计思想	99	5.3.4 堆栈指令与堆栈操作	151
3.4.2 顺序控制设计方法的基本步骤	102	5.3.5 RS 触发器指令	152
习题及思考题	108	5.3.6 基本逻辑指令程序举例	153
第 4 章 PLC 及其工作原理	110	5.4 S7-200 系列 PLC 的定时器指令与 计数器指令	155
4.1 PLC 概述	110	5.4.1 定时器指令	155
4.1.1 PLC 的产生和发展	110	5.4.2 计数器指令	158
4.1.2 PLC 的定义	111	5.4.3 定时器与计数器指令举例	159
4.1.3 PLC 的分类	112	5.5 S7-200 系列 PLC 的比较指令	161
4.1.4 PLC 的应用领域	113	5.5.1 比较指令的指令形式	161
4.2 PLC 的组成及系统配置	114	5.5.2 比较指令程序举例	162
4.2.1 PLC 的基本组成	114	5.6 S7-200 系列 PLC 的一般功能指令	164
4.2.2 PLC 硬件系统的配置	116	5.6.1 数据处理指令	164
4.2.3 PLC 的远程扩展方式	118	5.6.2 数学运算指令	168
4.3 PLC 的工作原理	121	5.6.3 逻辑运算指令	175
4.3.1 PLC 的等效工作电路	122	5.6.4 移位指令	177
4.3.2 PLC 的工作方式	124	5.7 S7-200 系列 PLC 的步进控制指令及 顺序控制	181
4.3.3 PLC 的扫描过程	125	5.7.1 步进控制指令	182
4.3.4 PLC 的输入/输出方式	126	5.7.2 功能图与顺序控制程序设计	183
4.3.5 PLC 的响应时间	127	5.7.3 步进控制指令应用举例	185
4.4 PLC 的主要特点和发展趋势	129	5.8 S7-200 系列 PLC 的程序控制指令	189
4.4.1 PLC 的主要特点	129	5.8.1 主程序及主程序结束指令	190
4.4.2 PLC 的发展趋势	131	5.8.2 子程序及子程序调用与返回 指令	190
习题及思考题	132	5.8.3 中断服务程序与中断指令	191
第 5 章 S7-200 系列 PLC 的硬件结构 及程序设计	133	5.9 S7-200 系列 PLC 的 PID 回路控制 指令	194
5.1 S7-200 系列 PLC 的硬件组成	133	5.9.1 PID 算法概述	194
5.1.1 系统的基本构成	133	5.9.2 PID 回路控制指令及其应用 方法	196
5.1.2 CPU 模块	134	5.9.3 PID 指令应用举例	198
5.1.3 数字量扩展模块	136	习题及思考题	200
5.1.4 模拟量扩展模块	137	第 6 章 S7-200 系列 PLC 的网络与 通信	202
5.1.5 其他扩展模块	138	6.1 网络通信基础	202
5.2 S7-200 系列 PLC 的内部元件及其 编址方式	139		
5.2.1 数据类型	139		

6.1.1 通信的基本方式	202	8.1.1 给水系统的组成和给水方式	258
6.1.2 串行通信的传送方式	203	8.1.2 给水泵供电电源控制	260
6.1.3 异步串行通信的标准接口	205	8.1.3 水位信号的检测	262
6.2 S7-200 系列 PLC 的网络模型及通信协议	209	8.1.4 给水泵的电气控制	266
6.2.1 西门子公司 S7 系列自动化产品网络模型	209	8.2 建筑排水系统的电气控制	274
6.2.2 S7-200 系列 PLC 的通信协议	210	8.2.1 排水泵的电气控制	274
6.3 S7-200 系列 PLC 的通信网络配置	212	8.2.2 排污泵的电气控制	276
6.3.1 常用的通信组件	212	8.3 消防水泵的电气控制	277
6.3.2 通信网络结构	214	8.3.1 室内消火栓水泵的控制	277
6.4 S7-200 系列 PLC 的通信指令	220	8.3.2 自动喷淋装置的控制	279
6.4.1 自由口模式下的发送与接收指令	220	8.4 建筑给排水系统的计算机监控	281
6.4.2 网络通信指令	226	8.4.1 建筑给排水系统的主要监控对象和参数	281
习题及思考题	230	8.4.2 建筑给水系统的监控	282
第 7 章 建筑电气控制系统常用的控制设备与装置	232	8.4.3 排水系统的监控	284
7.1 传感器	232	8.4.4 分区给水方式监控系统举例	285
7.1.1 传感器概述	232	习题及思考题	291
7.1.2 温度传感器	235	第 9 章 空气调节系统的电气控制	293
7.1.3 压力和压差传感器	239	9.1 空调系统的分类及组成	293
7.1.4 湿度传感器	241	9.1.1 空调系统的分类	293
7.1.5 流量传感器	243	9.1.2 空调系统的组成	295
7.1.6 液位传感器	244	9.2 空调系统的电气控制	298
7.1.7 空气质量传感器	245	9.2.1 空调系统的调节装置	298
7.2 控制器	246	9.2.2 分散式空调系统的电气控制	299
7.2.1 控制器的控制规律	246	9.2.3 半集中式空调系统的电气控制	302
7.2.2 常用控制器的功能与结构	248	9.2.4 集中式空调系统的电气控制	305
7.3 执行器	252	9.3 中央空调系统的监控	310
7.3.1 执行器概述	252	9.3.1 空调机组的监控原理	311
7.3.2 电磁阀	253	9.3.2 空调水系统的监控原理	312
7.3.3 电动阀	254	9.3.3 基于 S7-200 系列 PLC 的中央空调监控系统举例	313
7.3.4 其他类型执行器	256	习题及思考题	320
习题及思考题	257	附录 STEP7 Micro/WIN 编程软件及使用简介	321
第 8 章 建筑给排水系统的电气控制	258	参考文献	330
8.1 建筑给水系统的电气控制	258		

第 1 章 常用低压电器

随着社会的发展，电能在国民经济发展的各领域及人们的日常生活中起着非常重要的作用。在这些领域中，大多采用的供电方式是低压供电。低压供电的输送、分配和保护，以及电气设备的运行和控制都是靠各类低压电器来实现的。因此，低压电器在人们生产、生活中的应用十分广泛。本章将主要介绍在电力拖动自动控制系统中常用的低压电器，如接触器、继电器、主令电器等的机械结构以及工作原理、特性、用途和技术参数等，旨在为电气控制系统和 PLC 控制系统的设计奠定基础。

1.1 低压电器的定义与分类

低压电器是构成电气控制系统最常用的器件，了解它的定义、分类、作用和用途，对于系统的设计、分析和维护都是十分必要的。

1.1.1 低压电器的定义

低压电器是指工作在交、直流额定电压 1200V 以下，能根据外界信号（如机械力、电力或其他物理量）和要求，自动或手动地接通或断开电路，断续或连续地改变电路参数，以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节作用的电气设备。

近年来，随着电子技术、自动控制技术和计算机技术的发展，低压电器的种类越来越多，性能越来越好。由于在多数工业控制系统中，电气控制技术仍然占有相当重要的地位，因此低压电器的使用非常普遍。低压电器性能的优劣、状态的好坏、维修是否方便将直接影响到控制系统能否正常工作。

1.1.2 低压电器的分类

由于低压电器的种类繁多、功能多样、规格和性能各异，结构和工作原理也各不相同，因此有不同的分类方法。通常按用途可将低压电器划分为以下几类：

1) 低压配电电器。指用于低压供电系统，完成电能输送和分配的电器。这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动、热稳定性好，如低压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关及转换开关等。

2) 低压控制电器。指在电力拖动自动控制系统中，能实现某种控制功能的电器。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，电气和机械寿命长，如接触器、继电器、电磁阀和各种控制器等。

3) 低压主令电器。指控制系统中用于发送控制指令或动作命令的电器。这类电器的主要技术要求是操作频率高，抗冲击能力强，电气和机械寿命长，如按钮、主令控制器、行程开关和万能转换开关等。

4) 低压保护电器。指用于对电路和电气设备实施电气保护的电器。这类电器的主要技

术要求是有一定的通断能力,可靠性高,反应灵敏,动作时间短,如熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器和安全继电器等。

5) 低压执行电器。指用于执行某种动作和传动功能的电器。这类电器要求结构紧凑,操作灵活,动作能力强等,如电磁铁、电磁离合器等。

另外,低压电器按使用场合可分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、安全电器、农用电器等;按操作方式可分为手动电器和自动电器;按工作原理可分为电磁式低压电器、非电量控制低压电器等。其中,电磁式低压电器是采用电磁现象完成信号的检测和工作状态转换的,这类电器是低压电器中应用最为广泛、结构最典型的一类。

1.1.3 常用的低压控制电器

在电气控制电路设计中,常用低压控制电器如图 1-1 所示。

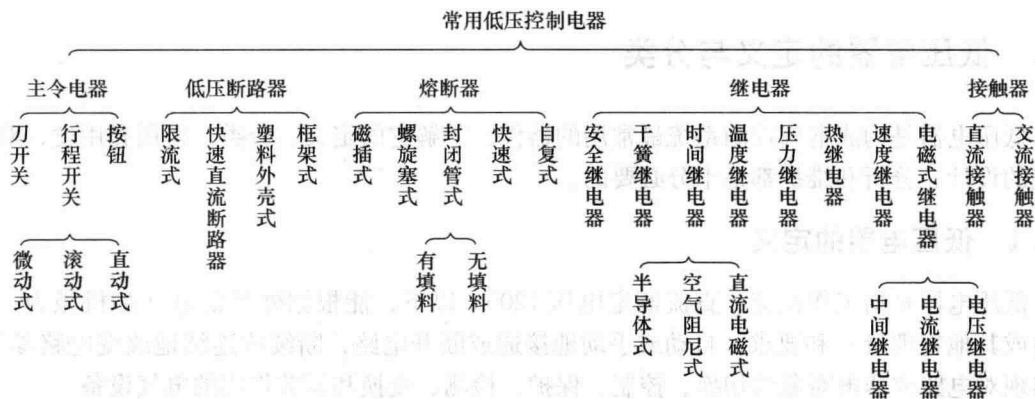


图 1-1 常用低压控制电器

各类低压电器的结构、动作特性、技术参数等将在后续各节中详细介绍。

1.2 电磁式低压电器

电磁式电器是低压电器中最典型、也是应用最广泛的一类电器。在电气控制电路中,接触器和继电器是两类最为常用的电磁式低压电器。电磁式低压电器的构造和工作原理基本相同,主要由电磁机构(感测部分)和触点系统(执行部分)组成。

1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的关键部件,其作用是通过电磁感应将电能转换成机械能,带动触点系统动作,从而实现接通或断开电路的功能。电磁机构主要由吸引线圈、铁心和衔铁组成,其结构形式按衔铁相对铁心的运动方式可分为直动式和拍合式,如图 1-2 和图 1-3 所示。在图 1-3 中,拍合式又分为衔铁沿棱角转动和沿轴转动两种形式。

直动式电磁机构多用于交流接触器和交流继电器,触点允许的容量较大。衔铁沿棱角转动的拍合式电磁机构多用于容量较小的电器,如直流低压电器。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,多用于触点容量较大的交流低压电器中。

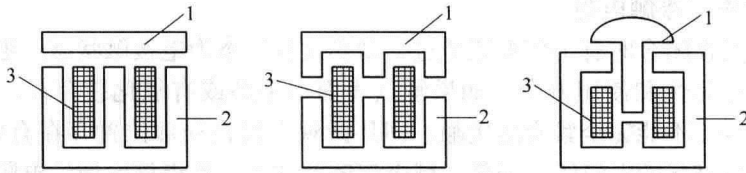


图 1-2 直动式电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能。吸引线圈通入电流时，会在铁心上产生磁通，衔铁在电磁吸力的作用下产生位移，从而带动触点系统动作。

按照吸引线圈通入电流种类的不同，可分为直流线圈和交流线圈。对于直流线圈，铁心不发热，只有线圈发热，所以直流电磁式低压电器的线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高形，使线圈与铁心直接接触，易于线圈散热。铁心和衔铁通常由铸钢、铸铁或软钢制成。对于交流线圈，除线圈发热外，由于铁心存在涡流和磁滞损耗，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，将线圈制成短而厚的矮胖形，并将铁心与线圈隔开，以增加铁心的散热面积。铁心通常由硅钢片叠压制成，以减小交变磁场在铁心中产生的涡流及磁滞损耗。

按照吸引线圈在电路中的连接形式，可分为串联线圈（电流型线圈）和并联线圈（电压型线圈）。串联线圈串接在电路中，可用于电流检测，为减少对电路分压的影响，串联线圈采用的导线较粗、匝数少，线圈的阻抗较小。并联线圈并接在电路中，为减少电路的分流作用，需较大的阻抗，通常线圈的导线细、匝数多。

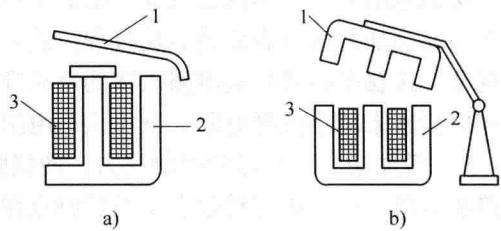


图 1-3 拍合式电磁机构

a) 衔铁沿棱角转动 b) 衔铁沿轴转动

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

1.2.2 触点系统及常用的灭弧装置

触点也称为触头，是电磁式低压电器的执行部分，用于接通或断开被控制的电路。

1. 触点的接触形式

触点的结构形式很多，按其接触形式可分三种，即点接触、线接触和面接触，如图 1-4 所示。

1) 点接触。触点间的接触面小，常用于通断电流较小的电路，如继电器触点。

2) 线接触。触点间的接触区域为一条直线，这类触点也称为指形触点，为保证良好接触常采用滚动接触的方法。这类触点多用于中等容量电器中。

3) 面接触。触点间接触面很大，允许通过较大的电流。

通常，一对触点由动触点和静触点组成。

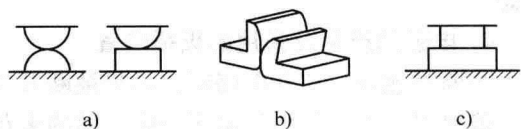


图 1-4 触点的接触形式

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

2. 电接触状态与接触电阻

若动、静触点在闭合时有工作电流通过，则称这种状态为电接触状态。电接触状态的好坏将影响触点的可靠性和使用寿命。如果触点表面不平整或有氧化膜存在，则很可能使得动、静触点在闭合后不能完全紧密地接触，即从微观上仅在局部位置存在有效接触。这时，工作电流会形成收缩状的电流线，局部区域电流密度加大，使得该区域的电阻远远大于金属导体的电阻。这类电阻称为接触电阻。接触电阻的大小与触点形式、触点的接触压力、触点使用的材料、触点表面的状态、所处的环境条件及操作频率等因素均有关系。

接触电阻的存在不仅会造成一定的电压损失，还会增加铜耗，造成触点温度升高，而温度升高又会加快触点表面的氧化过程，进一步使接触电阻增加，极端情况下易使触点产生熔焊现象。接触电阻既影响电路工作的可靠性，又降低了触点的寿命，因此实际应用中必须采取相应措施来减小接触电阻。减小接触电阻常用的方法如下：

1) 增加动、静触点的接触压力，使接触时的凸起点发生形变而增加有效接触面积，减小接触电阻。通常可在动触点上安装触点弹簧，如图 1-5 所示。

2) 触点材料的电阻率越小，接触电阻也越小。金属中，银的电阻率最小，而且其氧化物与银本身的电导率非常接近，因此，银是制作触点的理想材料。但银的价格较高，所以触点在制造时常采用在铜质底座上镀银或嵌银的方法，以减小接触电阻。

3) 温度的升高会加速触点金属表面的氧化过程，尤其在大容量的低压电器中，严重的氧化甚至会使接触点之间形成绝缘而导致电路断路。这种情况可采用滚动接触的指形触点，每次闭合时动、静触点间的相对摩擦过程可有效去除氧化膜，从而增加了触点的导电性。

另外，现场恶劣的工作环境也有可能影响触点的导电性，如环境中的尘埃、悬浮在空气中的油渍等。所以应定期使用无水乙醇或其他清洁剂进行擦拭，保持触点表面的清洁。

3. 触点的分类

按照可承担负载电流的大小，可将触点分为主触点和辅助触点。主触点允许流过的电流大，常用于接通或断开主电路；辅助触点允许流过的电流小，常用于控制电路中。

按照动作特点划分，可将触点分为常开触点和常闭触点。常开触点也称为动合触点，此类触点在线圈失电时（电磁机构不动作）处于断开状态，而在线圈得电时处于闭合状态。常闭触点也称为动断触点，此类触点在线圈失电时处于闭合状态，而在线圈得电时处于断开状态。

4. 电弧的产生及常用的灭弧装置

当断开触点、切断电路时，如果被断开电路的电流（或电压）超过一定数值，就会在动、静触点间由于气体放电而产生强烈的火花，称为电弧。电弧会产生高温并发出强光，较大的电弧会烧损触点表面，影响电器的工作状态，降低电器的使用寿命，严重时会引起火灾或造成人身伤害事故。电弧的产生对供电系统和设备的安全运行有很大影响，它延长了电路的分断时间，尤其是在分断短路电流时，会增大短路电流对电气设备的伤害，甚至造成永久性破坏。因此，在开关设备的结构设计上应保证在操作时能迅速熄灭电弧。

为使电弧熄灭，应设法降低电弧的温度和电场强度，常用方法有增大电弧长度、加大散

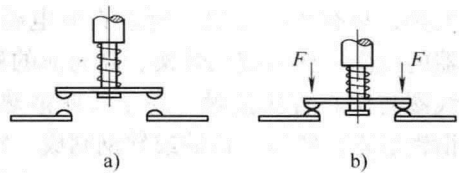


图 1-5 增加接触压力时触点的位置示意
a) 触点断开状态 b) 触点闭合状态

热面积、加快分断速度等。低压电器中常用的灭弧装置有下面几种。

(1) 磁吹式灭弧装置

磁吹式灭弧装置是在触点电路中串入吹弧线圈，如图 1-6 所示。这种方法也称为吹弧灭弧法。吹弧线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围，其方向如图 1-6 中“×”符号所示。触点间产生电弧时，设其磁场方向为“⊗”和“⊙”。可见，在电弧下方两磁通由于方向相同而彼此叠加，电弧上方两磁通由于方向相反而彼此抵消，因此产生向上运动的力 F 将电弧拉长，并通过引弧角吹入灭弧罩中，热量传递给罩壁，促使电弧熄灭。

由于这种灭弧装置是利用电弧电流来灭弧的，因而电弧电流越大，吹弧的能力越强，灭弧效果也越好。磁吹式灭弧装置广泛应用于直流低压电器中。

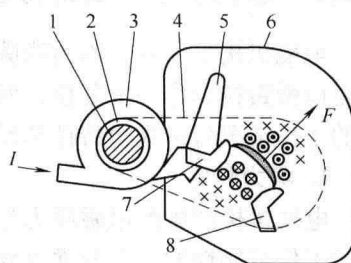


图 1-6 磁吹式灭弧装置示意

1—铁心 2—绝缘管 3—吹弧线圈
4—导磁夹板 5—引弧角 6—灭弧罩
7—静触点 8—动触点

(2) 灭弧栅

灭弧栅由一组薄钢片组成，彼此间相互绝缘，安放在触点上方，灭弧原理如图 1-7 所示。当电弧靠近栅片时，引起电弧产生的磁场发生变化（进入栅片的部分磁力线较为稀疏），在该磁场作用下，长电弧受到力 F 的作用而向上运动，进入栅片后被分割成许多串联的短电弧。在交流电路中，当电压过零时电弧自然熄灭，而电弧重燃必须有 150 ~ 250V 的电压，而且对于所有的短电弧来说，若想重燃，每段短电弧都必须有这么大的电压。显然，电源电压不足以维持电弧重燃，再加上栅片的散热作用，电弧进入栅片后很快被熄灭。

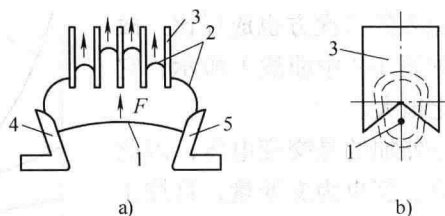


图 1-7 灭弧栅灭弧原理

a) 灭弧原理 b) 电弧进入栅片时磁场示意

1—长电弧 2—短电弧 3—灭弧栅片 4—静触点 5—动触点

灭弧栅是一种常用的交流灭弧装置。

(3) 多断点灭弧

多断点灭弧如图 1-8 所示，其桥式触点在断开时本身就具有吹弧能力。由于相邻的两根导体通入方向相反的电流时两导体相互排斥，两侧的电弧在力 F 的作用下被向外拉长，因此也称为电动力吹弧。同时，由于有两处断开点，对于交流电路，每处断点要使电弧熄灭后重燃均需 150 ~ 250V 的电压，显然电源电压也无法维持。

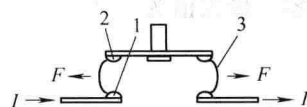


图 1-8 多断点灭弧示意

1—静触点 2—动触点 3—电弧

这种方法不需要任何附加装置，常用于交流电路中。为加强灭弧效果，可将同一电器的

两个或多个触点串联起来当作一个触点使用，这组触点便形成多断点。

1.2.3 吸力特性与反力特性

电磁机构工作时，因为线圈通电产生磁通并作用于衔铁产生电磁吸力，线圈断电时衔铁在复位弹簧拉力作用下复位，所以作用于衔铁的力有两个：电磁吸力和反力。因此，电磁机构的工作情况可由吸力特性和反力特性来表征。

1. 吸力特性

电磁机构产生的电磁吸力与气隙之间的关系称为吸力特性。电磁吸力是反映电磁式低压电器工作可靠性的一个非常重要的参数，可由下式表示：

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

式中， F 为电磁吸力； B 为气隙磁感应强度； S 为磁极（或气隙）的截面积。

由式 (1-1) 可知，当 S 为常数时， F 与 B^2 成正比。

对于直流电磁机构，当外加电压和线路电阻恒定时，流过线圈的电流为常数，与磁路的气隙大小无关。根据磁路定律

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m} \quad (1-2)$$

$$F \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m}\right)^2 \quad (1-3)$$

式中， I 为线圈中流过的电流； N 为线圈匝数。

由于 R_m 与气隙 δ 成正比，电磁吸力 F 与磁阻 R_m 的二次方成反比，所以 F 与气隙 δ 的二次方也成反比，故吸力特性为二次曲线形状，如图 1-9 中曲线 1 所示，它表明衔铁闭合前后吸力的变化很大。

对于交流电磁机构，由于外加的是交变电压，因此当气隙一定时，其气隙磁感应强度也为交变量，且按正弦规律变化，即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-4)$$

由吸力公式得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \sin^2 \omega t \quad (1-5)$$

电磁吸力按正弦函数二次方的规律变化，其最小值为零，最大值为

$$F_m = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \quad (1-6)$$

交流电磁机构的励磁电流与气隙成正比，在动作过程中为恒磁通工作，虽然因漏磁通的影响，吸力随气隙的减小会略有增加，但综合起来，其吸力特性仍比较平坦，如图 1-9 中的曲线 2 所示。

2. 反力特性

衔铁受到的反作用力（包括电磁机构转动部分的静阻力）与气隙之间的关系称为反力

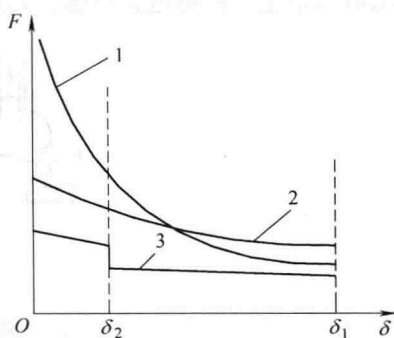


图 1-9 吸力特性与反力特性

1—直流电磁机构吸力特性

2—交流电磁机构吸力特性 3—反力特性

特性。反力的大小与复位弹簧的力、摩擦阻力、转动部分的卡阻力及衔铁的重量等有关，可见反力是始终存在的，反力特性如图 1-9 中曲线 3 所示。

为了保证电磁机构能正常工作，其吸力特性与反力特性必须配合恰当。在衔铁吸合过程中，其吸力必须始终大于反力。但要注意不能过大，否则会影响到电磁机构的寿命。在使用中可以通过调节复位弹簧或触点的初压力来改变反力特性，使之与吸力特性配合良好。

3. 单相交流电磁机构中短路环的使用

对于单相交流电磁机构，由于磁通是交变的，当磁通为零时电磁吸力也为零，也就是说，电磁吸力每个周期有两次过零点。过零时，吸合后的衔铁会在反力的作用下被拉开，过零后吸力又随之增大，当吸力大于反力时衔铁又再次吸合。所以，衔铁将产生强烈的振动和噪声（嗡嗡声），甚至导致铁心松动，使电器无法正常工作。

解决的方法是在铁心的端部开一个槽，槽内嵌入铜环（或闭合的线圈），称为短路环（或分磁环），如图 1-10 所示。短路环将铁心端面分成 S1 和 S2 两部分，其中 S1 部分穿过短路环。当线圈通入交流电时，在短路环中就有感应电流（涡流）产生，进而产生磁通 Φ_m 。根据电磁感应定律，在 Φ 与 Φ_m 的作用下，铁心端面上会产生两个相位不同的交变磁通 Φ_1 和 Φ_2 ，相应的电磁吸力为 f_1 和 f_2 ，则作用在衔铁上的吸力合力为 $f_1 + f_2$ 。由于两个磁通不同时为零，所以合力始终大于零。只要此合力始终大于反力，衔铁的振动现象就会消除。

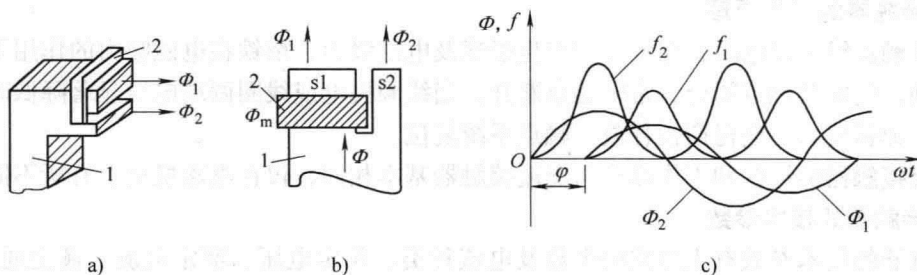


图 1-10 短路环结构及工作原理
a) 短路环安装 b) 分磁原理 c) 电磁吸力波形
1—铁心 2—短路环

磁通 Φ_1 和 Φ_2 之间的相位差 φ 可通过改变开槽位置或短路环的匝数来调整，进而调整吸力合力的大小。

1.2.4 电磁式接触器

接触器是用来接通和断开电动机或其他主电路的一种控制电器，它具有控制容量大、分断能力强、寿命长、操作频率高、设备简单经济等特点，是电力拖动自动控制系统中使用量大且涉及面较广的控制电器之一。其中，电磁式接触器的使用最为广泛。

接触器的触点系统分为主触点和辅助触点。主触点允许流过的电流较大，用于通、断主电路；辅助触点允许流过的电流较小，常用在控制电路中。

接触器按其主触点所控制电路的电流种类可分为交流接触器与直流接触器。接触器线圈的电流种类可以与主触点的电流种类相同，也可以不同。例如，某些场合使用的交流接触器，为使其工作更加可靠，其线圈可采用直流励磁方式。接触器按其主触点的个数来分，直

流接触器有单极和双极两种，而交流接触器有三极、四极、五极三种。

1. 交流接触器的结构

交流接触器的结构如图 1-11 所示，它由以下四个部分组成：

1) 电磁机构。电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力，吸引衔铁运动并带动触点系统动作。

2) 触点系统。包括主触点和辅助触点。主触点通常为常开触点并带有灭弧装置；辅助触点容量较小，无灭弧装置，一般有多对常开触点和常闭触点。

3) 灭弧装置。容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置。

4) 其他辅助部件。包括反作用弹簧、释放弹簧、触点压力弹簧、传动机构、支架及外壳等。

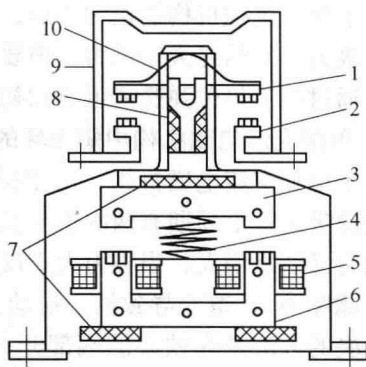


图 1-11 交流接触器的结构

- 1—动触点 2—静触点 3—衔铁 4—复位弹簧
5—线圈 6—铁心 7—垫毡 8—触点弹簧
9—灭弧罩 10—触点压力弹簧

2. 接触器的工作原理

当接触器线圈得电时，在铁心中产生磁通及电磁吸力，衔铁在电磁吸力的作用下带动触点移动，使常开触点闭合、常闭触点断开。当线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧反力，使得衔铁释放，触点系统复位。

直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同，仅在电磁机构上有所不同。

3. 接触器的技术参数

接触器的技术参数有主触点的个数及电流种类、额定电压、额定电流、额定通断能力、线圈额定电压、操作频率、寿命等。

1) 主触点的个数及电流种类。按接触器主触点的个数（极数）来分，有两极、三极、四极和五极接触器。按电流种类分有直流接触器和交流接触器。

2) 额定电压。接触器铭牌的额定电压是指主触点的额定工作电压。常用的电压等级如下：

直流接触器：110V、220V、440V、660V；

交流接触器：127V、220V、380V、500V、660V。

3) 额定电流。接触器铭牌的额定电流是指主触点的额定工作电流。常用的电流等级如下：

直流接触器：25A、40A、60A、80A、100A、150A、250A、400A、600A；

交流接触器：5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A。

4) 额定通断能力。指接触器主触点在规定条件下能可靠接通和断开的电流值。在此电流值下，接通电路时，主触点不应造成熔焊；断开电路时，主触点不应发生长时间燃弧。

5) 线圈额定电压。指接触器正常工作时线圈上所加的电压值。选用时，一般交流负载用交流接触器，直流负载用直流接触器，但对动作频繁的交流负载也可采用使用直流线圈的交流接触器。线圈常用的电压等级如下：

直流线圈：24V、48V、110V、220V、440V；

交流线圈：36V、110V、127V、220V、380V。

直流接触器断开时产生的过电压可达10~20倍，所以不宜采用高电压等级。但电压太低可能导致触点动作不可靠，故常采用110V和220V。

6) 操作频率。指接触器每小时允许的操作次数。交流接触器最高为600次/h，直流接触器最高为1200次/h。操作频率会影响到接触器的电寿命和灭弧罩的工作条件，对于交流接触器还会影响到线圈的温升。

7) 寿命。主要包括电寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命可达1000万次以上，电气寿命约是机械寿命的5%~20%。

4. 接触器的符号表示

在电气控制电路设计中，为表示不同电器以及电器的不同部位，均采用国家标准规定的文字符号和图形符号加以区分。接触器用文字符号KM表示，其图形符号如图1-12所示。

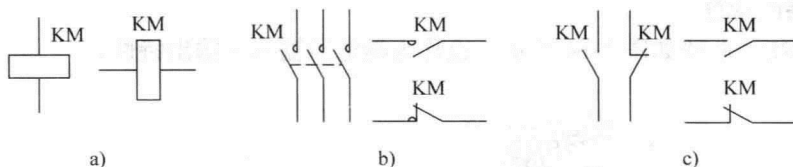


图1-12 接触器的图形符号和文字符号

a) 线圈 b) 主触点 c) 辅助触点

电器的图形符号可以水平绘制，也可以垂直绘制。

5. 接触器的选用

接触器应用广泛，其额定电流或额定功率是随使用条件的不同而变化的，只有根据不同使用条件正确选用，才能保证接触器安全可靠地运行。

1) 接触器主触点的个数（极数）与电流种类的确定。主电路的电流种类决定了是选择直流接触器还是交流接触器。三相交流系统中一般选用三极接触器，当需要同时控制中性线时，选用四极交流接触器。单相交流和直流系统中常选用两极或三级并联。一般场合选用电磁式接触器，易燃易爆场合应选用防爆型及真空接触器。

2) 根据负载的功率和操作情况来确定接触器主触点的额定电流。当接触器使用类别与所控制负载的工作任务相对应时，可按控制负载电流值来决定接触器主触点的额定电流等级；若不对应，应降级使用。

3) 根据接触器主触点接通与断开主电路的电压等级来决定接触器的额定电压。

4) 接触器吸引线圈的额定电压由所连接的控制电路确定。

5) 接触器的触点数（主触点和辅助触点）和种类（常开或常闭）应按照主电路和控制电路的具体要求来选用。

1.2.5 电磁式继电器

继电器是根据某种特定输入信号的变化来接通或断开电路的控制电器。与接触器不同，继电器不能用于接通或断开主电路，只能用于控制电路中，实现电路的自动控制和保护功能。继电器的输入参量可以是电压、电流等电气量，也可以是温度、压力、时间、速度等非