

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育智能建筑规划教材

电气控制 与PLC应用

◎ 王岷 裘皓杰 编

Electrical Control and PLC Application



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育
普通高等教育

教材

电气控制与 PLC 应用

王 岷 裘皓杰 编

机械工业出版社

本书由两部分组成，共七章。第一部分由第一～三章组成，介绍电气控制中常用的低压电器、典型控制电路、典型电气控制系统分析和设计方法；第二部分由第四～七章组成，以西门子公司 S7-200 系列 PLC 机型介绍可编程序控制器结构原理、指令系统及其应用，控制系统程序分析和设计方法，PLC 网络通信技术以及可编程序控制器系统综合设计。

本书注重少学时、应用型，可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化、机械电子工程、建筑电气与智能化等专业的课程教材，也可作为电子技术、电气技术、自动化方面工程技术人员的参考书。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作为教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用/王岷，裘皓杰编. —北京：机械工业出版社，2016.12

普通高等教育智能建筑规划教材 普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-55172-0

I. ①电… II. ①王…②裘… III. ①电气控制—高等学校—教材
②PLC 技术—高等学校—教材 IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 248098 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：贡克勤 责任编辑：贡克勤 王康

责任校对：佟瑞鑫 封面设计：马精明

责任印制：李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.75 印张 · 334 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-55172-0

定价：29.80 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

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

智能建筑教材编委员

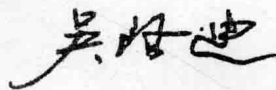
主任	吴启迪		
副主任	徐德淦	温伯银	陈瑞藻
委员	程大章	张公忠	王元恺
	龙惟定	王 忱	张振昭

序

20 世纪, 电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展, 并渗透到各个领域, 深刻地影响着人类的生产方式和生活方式, 给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外, 智能化建筑在这一背景下走进了人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术, 并加以研发和整合成智能装备, 为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境, 并日益成为主导现代建筑的主流。近年来, 人们不难发现, 凡是按现代化、信息化运作的机构与行业, 如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等; 他们所建造的新建筑物, 都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了宽广的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统, 更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用, 使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场, 促进了社会对智能建筑技术专业人才的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求, 调整教学计划, 更新课程内容, 致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才, 以适应国民经济高速发展的需要。这正是本套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现, 参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个姐妹学校, 不论是主编者还是主审者, 均是这个领域有突出成就的专家。因此, 我深信这套系列教材将会反映各姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明了一个问题, 时代需要协作精神, 时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者, 是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园

前 言

本书是针对目前高等院校普遍将继电器接触器控制系统与 PLC 控制技术进行整合的教学实际,以及各高校面临的专业课时被大大压缩的共同问题,并充分考虑电气控制技术在建筑行业的应用与发展及对应用型人才培养的要求而编写的。在编写过程中,编者力求做到语言通畅,叙述简洁,讲解清晰,所有内容都围绕着便于应用与教学这个中心,尽可能多地融入自己多年的教学与应用经验,从侧重应用培养的角度出发,对一些传统的教学内容进行了较大的删减和调整,使得本书更加适合“少学时、重应用”型教学的要求。

本书结合建筑电气控制技术的发展和形势,除了介绍传统的分离式保护、开关电器,还讲解了当前市场上先进的新型控制器件 KBO:控制与保护开关电器(CPS)的应用技术。书中的电气元件符号及文字标识均符合现行的相关国家标准及行业标准,并以建筑用电设备为例详细讲解了各类常用建筑设备的 KBO 电气控制线路的设计。

全书共分七章。前三章主要介绍常用低压电器以及电气控制线路基本控制环节的工作原理,并对有代表性的常用建筑设备电气控制线路进行分析,培养学生电气控制系统设计、制造与维护的基本能力。第四~七章为 PLC 控制技术部分,以西门子公司 S7-200 系列 PLC 为主讲机型,系统地介绍了 PLC 的组成、工作原理、内部编程元件、基本指令、功能指令、PLC 程序设计方法、网络通信技术和 PLC 控制系统的综合设计,培养学生的 PLC 编程及应用能力。

本书由山东建筑大学王岷和山东省广播电视大学裘皓杰合编,王岷统稿并编写第三~七章,裘皓杰编写第一、二章。

本书在编写过程中,得到了浙江中凯科技有限公司总工程师李华民的大力支持和协助,他还提供了宝贵的资料,在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在错误与不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

序	
前言	
第一章 常用低压电器	1
第一节 概述	1
第二节 接触器	11
第三节 继电器	16
第四节 主令电器	25
第五节 熔断器	32
第六节 低压断路器	40
第七节 控制与保护开关电器	45
习题	55
第二章 电气控制系统基本控制环节	57
第一节 电气控制电路的绘制原则	57
第二节 电气控制电路中的基本环节	61
第三节 三相交流异步电动机起动 控制电路	68
第四节 三相交流异步电动机的制动 控制电路	72
习题	74
第三章 电气控制系统设计	75
第一节 电气控制系统设计基础	75
第二节 常用建筑设备的电气控制 电路设计	78
习题	107
第四章 可编程序控制器概述	108
第一节 可编程序控制器的产生与定义	108
第二节 PLC 的编程语言	118
第三节 S7-200 系列 PLC 的内部资源与 寻址方式	121
第四节 S7-200 PLC 主机及扩展模块	124
第五节 CPU226 及其扩展模块的应用	128
习题	131
第五章 S7-200 PLC 指令系统	133
第一节 基本逻辑指令	133
第二节 定时器指令	138
第三节 计数器指令	140
第四节 逻辑堆栈指令	142
第五节 程序控制指令	143
第六节 比较指令	147
第七节 时钟指令	149
第八节 数学运算指令	149
第九节 传送、移位与交换指令	153
第十节 表功能指令	156
第十一节 转换指令	157
第十二节 中断指令	160
第十三节 通信指令	163
习题	164
第六章 PLC 控制程序的设计	166
第一节 梯形图程序设计	166
第二节 顺序功能图设计法	177
第三节 PLC 控制程序设计实例	188
习题	197
第七章 PLC 网络通信	199
第一节 S7-200 通信的基础知识	199
第二节 S7-200 系列 PLC 的通信协议	204
第三节 S7-200 PLC CPU 通信口 参数设置	205
习题	206
附录	207
附录 A KBO 基本型控制与保护开关电器主 要技术参数与性能指标	207
附录 B S7-200 系列 PLC 的技术规范	209
参考文献	214

第一章 常用低压电器

第一节 概 述

在我国经济建设事业和日常生活中，电能的应用越来越广泛。在工业、农业、交通、国防以及人民生活等一切用电过程中，大多采用低压供电。为了安全、可靠地使用电能，电路中必须装有各种起调节、分配、控制和保护作用的接触器、继电器等低压电器。即无论是低压供电系统还是控制生产过程的电力拖动控制系统，均是由用途不同的各类低压电器所组成。随着科学技术和生产的发展，电器的种类不断增多，用量也不断增大，用途更为广泛。

一、低压电器的定义与分类

我国现行标准将工作电压交流 1000V、直流 1500V 以下的电气电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。低压电器的种类繁多，工作原理也各异，因而有不同的分类方法。以下介绍三种分类方式：

1. 按用途和控制对象不同，可将低压电器分为配电电器和控制电器

(1) 用于低压电力网的配电电器

这类低压电器主要用于低压供电系统，它包括刀开关、转换开关、隔离开关、空气断路器和熔断器等。对配电电器的主要技术要求是断流能力强、限流效果好；在系统发生故障时保护动作准确，工作可靠；有足够的热稳定性和动稳定性。

(2) 低压控制电器

这类电器主要用于电力拖动及自动控制系统，它包括接触器、起动器和各种控制继电器等。对控制电器的主要技术要求是操作频率高、电和机械寿命长、具有相应的转换能力。

2. 按操作方式不同，可将低压电器分为自动电器和手动电器

(1) 自动电器

通过电磁（或压缩空气）做功来完成接通、分断、起动、反向和停止等动作的电器称为自动电器。常用的自动电器有接触器、继电器等。

(2) 手动电器

通过人力做功来完成接通、分断、起动、反向和停止等动作的电器称为手动电器。常用的手动电器有刀开关、转换开关和主令电器等。

3. 按工作原理可分为电磁式电器和非电量控制电器

(1) 电磁式电器

这类电器是根据电磁感应原理进行工作的，它包括交流接触器、直流接触器和电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器

这类电器是以非电物理量作为控制量进行工作的，它包括按钮、行程开关、刀开关、热

继电器、速度继电器等。

另外，低压电器按工作条件还可划分为一般工业电器、船用电器、化工电器、矿用电器、牵引电器及航空电器等几类。

下面，我们将重点介绍最典型的几类低压电器，如刀开关、熔断器、空气断路器、接触器、继电器、主令电器和起动器等。

二、低压电器的基本用途

在输送电能的输电电路和各种用电的场合，需要使用不同的电器来控制电路的通、断，并对电路的各项参数进行调节。低压电器在电路中的用途就是根据外界控制信号或控制要求，通过一个或多个器件组合，自动或手动接通、分断电路，连续或断续地改变电路状态，对电路进行切换、控制、保护、检测和调节。

三、低压电器的结构要求

低压电器产品的种类多、数量大，用途极为广泛。为了保证不同产地、不同企业生产的低压电器产品的规格、性能和质量一致，通用和互换性好，低压电器的设计和制造必须严格按照国家的有关标准，尤其是基本系列的各类开关电器必须保证执行三化，即标准化、系列化、通用化；四统一，即型号规格、技术条件、外形及安装尺寸、易损零部件统一的原则。在购置和选用低压电器元件时，也要特别注意检查其结构是否符合标准，防止给今后的运行和维修工作留下隐患和麻烦。

四、电磁式控制电器的基本原理

电磁式控制电器是低压电器中最典型也是应用最广泛的一种电器。控制系统中的接触器和电磁式继电器就是两种最常用的电磁式电器。虽然电磁式电器的类型很多，但它的工作原理和构造基本相同。其基本结构是由电磁机构和触头系统组成。触头是电磁式电器的执行部分，电器通过触头的动作来分合被控电路。触头在闭合状态下，动、静触头完全接触，并有工作电流通过时，称为电接触。电接触时会存在接触电阻，动、静触头在分离时，会产生电弧，触头系统存在的接触电阻和电弧的物理现象，对电器系统的安全运行影响较大；另外电磁机构的电磁吸力和反力特性是决定电器性能的主要因素之一。低压电器的主要技术性能指标与参数就是在这些基础上制定的。因此，触头结构、电弧、灭弧装置以及电磁吸力和反力特性等是构成低压电器的基本问题，也是研究电器元件结构和工作原理的基础。

（一）电磁机构

电磁机构是电磁式继电器和接触器等低压器件的主要组成部件之一，其工作原理是将电磁能转换为机械能，从而带动触头动作。

1. 电磁机构的结构形式

电磁机构由吸引线圈（励磁线圈）和磁路两部分组成。其中磁路包括铁心、铁轭、衔铁和空气隙。当吸引线圈通过一定的电压或电流时，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 1-1 是几种常用的电磁机构结构示意图。由图可见，衔铁可以直动，也可以绕支点转动。按磁系统形状分类，电磁机构可分为 U 形（见图 1-1a）和 E 形（见图 1-1b）两种。铁

心按衔铁的运动方式分为如下几类:

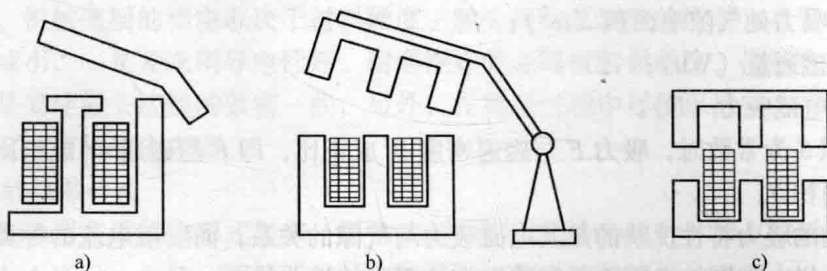


图 1-1 常用电磁机构的型式

a) 衔铁沿棱角转动 b) 衔铁沿轴转动 c) 直动式

1) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心如图 1-1a 所示, 其衔铁绕铁轭的棱角转动, 磨损较小, 铁心一般用电工软铁制成, 适用于直流继电器和接触器。

2) 衔铁沿轴转动的拍合式铁心如图 1-1b 所示, 其衔铁绕轴转动, 铁心一般用硅钢片叠成, 常用于较大容量的交流接触器。

3) 衔铁做直线运动的直动式铁心如图 1-1c 所示, 衔铁在线圈内成直线运动, 较多用于中小容量交流接触器和继电器中。

吸引线圈按其通电种类一般分为交流电磁线圈和直流电磁线圈。对于交流电磁线圈, 当通交流电时, 为了减小因涡流造成的能量损失和温升, 铁心和衔铁用硅钢片叠成。对于直流电磁线圈, 铁心和衔铁可以用整块电工软钢做成。当线圈并联于电源工作时, 称为电压线圈, 它的特点是线圈匝数多, 导线线径较细。当线圈串联于电路工作时, 称为电流线圈, 它的特点是线圈匝数少, 导线线径较粗。

2. 电磁机构的工作原理

电磁机构的工作特性常用反力特性和吸力特性来描述。

(1) 反力特性

电磁机构使衔铁释放的力与气隙之间的关系曲线称为反力特性。电磁机构使衔铁释放的力一般有两种: 一种是利用弹簧的反力; 一种是利用衔铁的自身重力。弹簧的反力 $F_{\text{弹}}$ 与其机械形变的位移量 x 成正比, 自重的反力 $F_{\text{重}}$ 与气隙大小无关。考虑到动合触头闭合时超行程机构的弹力作用, 上述两种反力特性曲线如图 1-2 所示。其中 δ_1 为电磁机构气隙的初始值; δ_2 为动、静触头开始接触时的气隙长度。由于超行程机构的弹力作用, 反力特性在 δ_1 处有一突变。

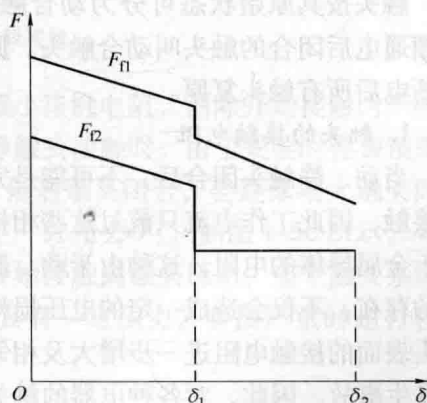


图 1-2 反力特性

(2) 吸力特性

电磁机构的吸力与气隙之间的关系曲线称为吸力特性。电磁机构的吸力与很多因素有关, 当铁心与衔铁端面互相平行, 且气隙 δ 比较小时, 吸力可近似地按下式求得:

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S = 4 \times 10^5 \frac{\Phi^2}{S} \quad (1-1)$$

式中 B ——气隙间磁通密度 (T);
 S ——吸力处气隙端面积 (m^2);
 Φ ——磁通量 (Wb);
 F ——电磁吸力 (N)。

当端面积 S 为常数时, 吸力 F 与磁通密度 B^2 成正比, 即 F 与磁通 Φ^2 成正比, 反比于吸力处气隙端面积 S 。

电磁机构的吸力特性反映的是其电磁吸力与气隙的关系, 而励磁电流的种类不同, 其吸力特性也不一样。如图 1-3 所示为交流和直流吸力特性曲线。

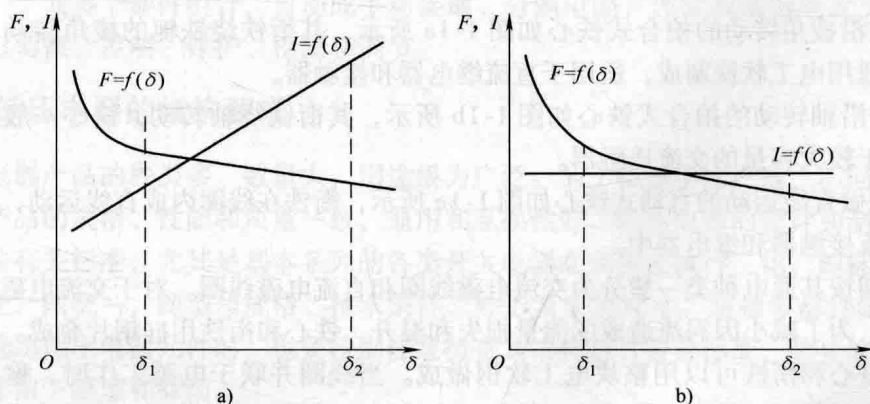


图 1-3 吸力特性

a) 交流吸力特性 b) 直流吸力特性

(二) 触头系统

触头按其原始状态可分为动合触头和动断触头。原始状态时 (即线圈未通电) 断开, 线圈通电后闭合的触头叫动合触头。原始状态闭合, 线圈通电后断开的触头叫动断触头。线圈断电后所有触头复原。

1. 触头的接触电阻

当动、静触头闭合后, 不可能是完全紧密地接触, 从微观看, 只是一些凸起点之间的有效接触, 因此工作电流只流过这些相接触的凸起点, 使有效导电面积减小, 该区域的电阻远大于金属导体的电阻。这种由于动、静触头闭合时形成的电阻, 称为接触电阻。由于接触电阻的存在, 不仅会造成一定的电压损耗, 还会使铜耗增加, 造成触头温升超过允许值, 导致触头表面的接触电阻进一步增大及相邻绝缘材料的老化, 严重时可使触头熔焊, 造成电气系统发生事故。因此, 对各种电器的触头都规定了它的最高环境温度和允许温升。

为确保导电、导热性能良好, 触头通常由铜、银、镍及其合金材料制成, 有时也在铜触头表面电镀锡、银或镍。对于有些特殊用途的电器 (如微型继电器和小容量的电器), 其触头常采用银质材料, 以减小其接触电阻; 对于中大容量的低压电器, 在结构设计上, 采用滚动接触结构的触头, 可将氧化膜去掉。

除此之外, 触头在运行时还存在触头的磨损。触头的磨损包括电磨损和机械磨损。电磨损是由于在通断过程中触头间的放电作用使触头材料发生物理性能和化学性能变化而引起

的。电磨损是引起触头材料损耗的主要原因之一。机械磨损是由于机械作用使触头材料发生磨损和消耗。机械磨损的程度取决于材料硬度、触头压力及触头的滑动方式等。为了使接触电阻尽可能减小，一是要选用导电性好、耐磨性好的金属材料做触头，使触头本身的电阻尽量减小；二是要使触头接触的紧密一些，另外，在使用过程中尽量保持触头清洁，在有条件的情况下应定期清扫触头表面。

2. 触头的接触形式

触头的接触形式及结构形式很多，通常按其接触形式分为三种：即点接触、面接触和线接触，如图 1-4 所示。显然，面接触时的实际接触面积要比线接触的面积大，而线接触的面积又比点接触的面积大。

图 1-4a 所示为点接触型，它由两个半球形触头或一个半球形与一个平面形触头构成，这种结构有利于提高单位面积上的压力，减小触头表面电阻。它常用于小电流的电器中，如接触器的辅助触头和继电器触头。图 1-4b 所示为面接触，这种触头一般在接触表面上镶有合金，以减小触头的接触电阻，提高触头的抗熔焊、抗磨损能力，允许通过较大的电流。中小容量的接触器的主触头多采用这种结构。图 1-4c 所示为线接触，通常被做成指形触头结构，其接触区是一条直线。触头通、断过程是滚动接触并产生滚动摩擦，以利于去掉氧化膜。这种滚动线接触适用于通电次数多，电流大的场合，多用于中等容量电器。

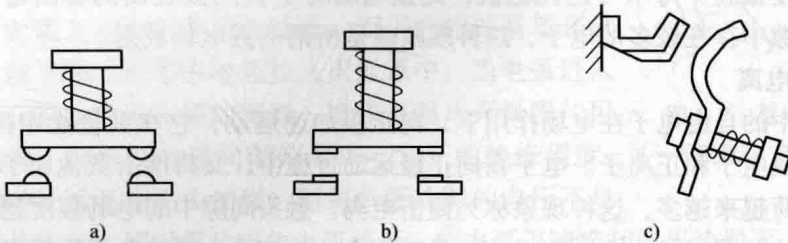


图 1-4 触头的接触形式

a) 点接触 b) 面接触 c) 线接触

触头在接触时，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，一般在触头上都装有接触弹簧，当动触头刚与静触头接触时，由于安装时弹簧预先压缩了一段，因此产生一个初压力 F_1 ，如图 1-5b 所示。随着触头闭合，会逐渐增大触头间的压力。触头闭合后由于弹簧在超行程内继续变形而产生一终压力 F_2 ，如图 1-5c 所示。弹簧被压缩的距离 a 称为触头的超行程，即从静、动触头开始接触到触头压紧，整个触头系统向前压紧的距离。有了超行程，在触头磨损情况下，仍具有一定压力，磨损严重时超行程将失效。

(三) 电弧的产生及灭弧方法

1. 电弧的产生及其物理过程

电弧是由于电场过强，气体发生电崩溃而持续形成等离子体，使得电流通过了通常状态下的绝缘介质（例如空气）所产生的瞬间火花现象。在自然环境中分断电路时，如果电路的电流（或电压）超过某一数值时（根据触头材料不同，此值约为 $0.25 \sim 1\text{A}$ ， $12 \sim 20\text{V}$ ），触头在分断的时候产生电弧。

电弧实际上是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象。所谓气体放电，就是触头间

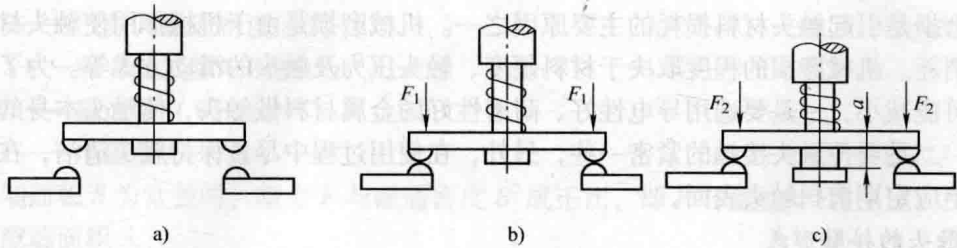


图 1-5 桥式触头闭合过程位置示意图

a) 最终断开位置 b) 刚刚接触位置 c) 最终闭合位置

隙中的气体被游离产生大量的电子和离子，在强电场作用下，大量的带电粒子做定向运动，于是绝缘的气体就变成了导体。电流通过这个游离区时所消耗的电能转换为热能和光能，而光和热的效应，又会产生高温并发出强光，使触头烧损，并使电路的切断时间延长，甚至不能断开，造成严重事故。所以，必须采取措施熄灭或减小电弧，为此首先要了解电弧产生的原因。

电弧的产生主要经历以下 4 个物理过程：

(1) 强电场放射

触头开始分离时，其间隙很小，电路电压几乎全部降落在触头间很小很小的间隙上，因此该处电场强度很高，每米可达几亿伏，此强电场将触头阴极表面的自由电子拉出到气隙中，使触头间隙中存在较多的电子，这种现象就是所谓的强电场放射。

(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，它在前进途中撞击气体原子，该原子被分裂成电子和正离子。电子在向正极运动过程中，又将撞击其他原子，使触头间隙中气体中的电荷越来越多，这种现象称为撞击电离。触头间隙中的电场强度越强，电子在加速过程中所走的路程越长，它所获得的能量就越大，故撞击电离的电子就越多。

(3) 热电子发射

撞击电离产生的正离子向阴极运动，撞击在阴极上会使阴极温度逐渐升高，使阴极金属中电子动能增加，当阴极温度达到一定程度时，一部分电子有足够动能将从阴极表面逸出，再参与撞击电离。由于高温而使电极发射电子的现象称为热电子发射。

(4) 高温游离

当电弧间隙中气体的温度升高时，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热运动并造成相互碰撞，结果使中性分子游离成为电子和正离子。这种因高温使分子撞击所产生的游离称为高温游离。当电弧间隙中有金属蒸气时，高温游离大大增加。

另外，伴随着电离的进行，还存在着消电离作用。消电离是指正负带电粒子接近时结合成为中性粒子的同时，削弱了电离的过程。消电离过程可分为复合和扩散两种。电离和消电离作用是同时存在的。当电离速度快于消电离速度，电弧就增强；当电离与消电离速度相等时，电弧就稳定燃烧；当消电离速度大于电离速度时，电弧就熄灭。因此，要使电弧熄灭，一方面是减弱电离作用，另一方面是增强消电离作用。

2. 电弧的熄灭及灭弧方法

对于需要通断大电流电路的电器，如接触器、低压断路器等，要有较完善的灭弧装置。

对于小容量继电器、主令电器等，由于它们的触头是通断小电流电路的，因此不要求有完善的灭弧装置。根据上述分析，常用的灭弧方法和装置有以下几种：

(1) 电力吹弧

图 1-6 是一种桥式结构双断口触头，流过触头两端的电流方向相反，将产生互相排斥的电动力。当触头打开时，在断口中产生电弧。电弧电流在两电弧之间产生图中以“ \oplus ”表示的磁场，根据左手定则，电弧电流受到一个指向外侧的电动力 F 的作用，使电弧向外运动并拉长，使其迅速穿越冷却介质，从而加快电弧冷却并熄灭。这种灭弧方法一般多用于小功率的电器中，当配合栅片灭弧时，也可用于大功率的电器中。交流接触器通常采用这种灭弧方法。

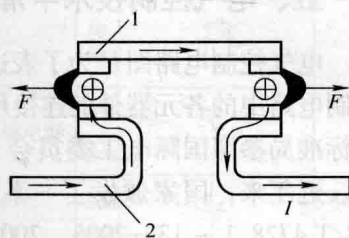


图 1-6 桥式触头灭弧原理

1—动触头 2—静触头

(2) 栅片灭弧

图 1-7 为栅片灭弧示意图。灭弧栅一般由多片镀铜薄钢片（称为栅片）和石棉绝缘板组成。它们通常在电器触头上方的灭弧室内，彼此之间互相绝缘。当触头分断电路时，在触头之间产生电弧，电弧电流产生磁场，由于钢片磁阻比空气磁阻小得多，因此，电弧上方的磁通非常稀疏，而下方的磁通却非常密集，这种上疏下密的磁场将电弧拉入灭弧罩中，当电弧进入灭弧栅后，被分割成数段串联的短弧。这样每两片灭弧栅片可以看作一对电极，而每对电极间都有 150 ~ 250V 的绝缘强度，使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强，而每个栅片间的电压不足以达到电弧燃烧电压，同时栅片吸收电弧热量，使电弧迅速冷却而很快熄灭。

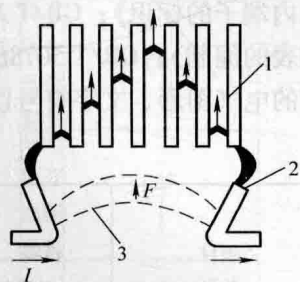


图 1-7 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

(3) 磁吹灭弧

磁吹灭弧方法是利用电弧在磁场中受力，将电弧拉长，并使电弧在冷却的灭弧罩窄缝隙中运动，产生强烈的消电离作用，从而将电弧熄灭。其原理如图 1-8 所示。

图 1-8 中，在触头电路中串入吹弧线圈 3，当主电流 I 通过线圈时，产生磁通 Φ ，根据右手螺旋定则可知，该磁通从导磁体通过导磁夹片，在触头间隙中形成磁场。图中“ \times ”符号表示磁通 Φ 方向为进入纸面。当触头断开时在触头间隙中产生电弧，电弧自身也产生一个磁场，该磁场在电弧

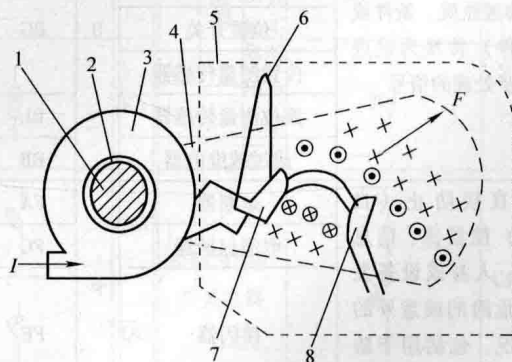


图 1-8 磁吹灭弧装置

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

上侧，方向为从纸面出来，用“ \odot ”符号表示，它与线圈产生的磁场方向相反。而在电弧下侧，电弧磁场方向进入纸面，用“ \otimes ”符号表示，它与线圈产生的磁场方向相同。这样，两侧的合成磁通就不相等，下侧大于上侧，因此，产生强烈的电磁力将电弧推向灭弧罩，使电弧急速进入灭弧罩，电弧被拉长并受到冷却而很快被熄灭。此外，由于这种灭弧装

置是利用电弧电流本身灭弧，因而电弧电流越大，吹弧能力也越强，它广泛应用于直流灭弧装置中（如直流接触器）。

五、电气控制技术中常用的图形、文字符号

电气控制电路图是为了表达电器设备的电气控制系统的结构、原理等设计意图，将电气控制电路中的各元器件的连接用一定的图形及文字符号表示出来。为了便于交流与沟通，国家标准局参照国际电工委员会（IEC）颁布的有关文件，制定了我国电气设备有关国家标准。近年来，国家颁发了一系列与 IEC 接口的国家系列标准，如：2005、2008 年颁发的 GB/T 4728.1 ~ 13—2005、2008 《电气简图用图形符号》；2002 ~ 2005 年颁布的 GB/T 5094.1 ~ 4 《工业系统、装置与设备以及工业产品——结构原则与参照代号》；GB/T 6988.1—2008 《电气技术用文件的编制 第 1 部分：规则》；GB/T 6988.5—2006 《电气技术用文件的编制 第 5 部分：索引》；GB18656—2002 《工业系统、装置与设备以及工业产品系统内端子的标识》；GB/T 18135—2008 《电气工程 CAD 制图规则》；GB/T 19045—2003 《明细表的编制》；GB/T 50786—2012 《建筑电气制图标准》。表 1-1、表 1-2、表 1-3 列出了常用的电气图形、文字符号以供参考。

表 1-1 电气技术中常用的基本文字符号

项目 种类	设备、装置、 元器件举例	参数代号的 字母代码		项目 种类	设备、装置、 元器件举例	参数代号的 字母代码	
		主类 代码	含子类 代码			主类 代码	含子类 代码
把某一输入变量 (物理性质、条件或 事件) 转换为供进 一步处理的信号	电压互感器	B	BE	提供信息	无色信号灯	P	PG
	电流互感器				铃、钟		PB
	接近开关	BG	受控切换或改变 能量流、信号流或 材料流(对于控制 电路中的信号, 见 K 类和 S 类)	隔离器	Q	QB	
	位置开关			隔离开关		QAS	
	位置测量传感器			软起动器		QAC	
	液位测量传感器			接触器		QA	
	热过载继电器			断路器			
直接防止(自 动) 能量流、信息 流、人身或设备发 生危险的或意外的 情况, 包括用于防 护的系统设备	熔断器	F	FA	把手动操作转变 为进一步处理的特 定信号	按钮	S	SF
	电涌保护器		FC		控制开关		SAC
	接闪器	FE	多位开关(选择开关)		SF		
					起动按钮	SS	
处理(接收、加 工和提供) 信号或 信息(用于防护的 物体除外, 见 F 类)	继电器	K	KF	保持能量性质不 变的能量变换, 已 建立的信号保持信 息内容不变的变换, 材料形态或形状的 变换	隔离变压器	T	TF
	时间继电器		KC		控制变压器		TC
	电流继电器		KV		自耦变压器		TT
	电压继电器		KS		变频器		TA
	信号继电器		KPR				
	压力继电器						

表 1-2 常用电气图形、文字符号表

名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	
三极刀闸开关		QC	线圈			继电器	线圈		
低压断路器		QA	主触头		QAC		动合触头		KA
			动合辅助触头				动断触头		
行程开关	动合触头	SQ	速度继电器	动合触头	KS	时间继电器	线圈		
	动断触头						得电延时型	延时闭合动合触头	
	复合触头			动断触头			失电延时型	延时断开动合触头	
自动复位手动按钮	启动	SF	转换开关		SAC	线圈	线圈		KF
	停止	SS					延时断开动合触头		
	复合	SF	熔断器		FA		延时闭合动断触头		
无自动复位手动旋转开关		SA	熔断器式刀开关		QCF	控制与保护开关电器		CPS	
自复位蘑菇头式应急按钮		SR	负荷开关		QB				
热继电器	热元件	BB	熔断器式负荷开关		QF	液位控制开关	动合触头		BL
	动断触头		接近开关		BC		动断触头		

表 1-3 电气技术中常用的辅助文字符号

序号	文字符号	名称	序号	文字符号	名称	序号	文字符号	名称
1	A	电流	36	FA	事故	71	P	压力
2	A	模拟	37	FB	反馈	72	P	保护
3	AC	交流	38	FM	调频	73	PL	脉冲
4	A、AUT	自动	39	FW	正, 前	74	PM	调相
5	ACC	加速	40	FX	固定	75	PO	并机
6	ADD	附加	41	G	气体	76	PR	参量
7	ADJ	可调	42	GN	绿	77	R	记录
8	AUX	辅助	43	H	高	78	R	右
9	ASY	异步	44	HH	最高	79	R	反
10	B、BRK	制动	45	HH	手孔	80	RD	红
11	BC	广播	46	HV	高压	81	RES	备用
12	BK	黑	47	IN	输入	82	R、RST	复位
13	BU	蓝	48	INC	增	83	PTD	热电阻
14	BW	向后	49	IND	感应	84	RUN	运转
15	C	控制	50	L	左	85	S	信号
16	CCW	逆时针	51	L	限制	86	ST	起动
17	CD	操作台	52	L	低	87	S、SET	置位、定位
18	CO	切换	53	LL	最低	88	SAT	饱和
19	CW	顺时针	54	LA	闭锁	89	STE	步进
20	D	延时	55	M	主	90	STP	停止
21	D	差动	56	M	中	91	SYN	同步
22	D	数字	57	M、MAN	手动	92	SY	整步
23	D	降	58	MAX	最大	93	SP	设定点
24	DC	直流	59	MIN	最小	94	T	温度
25	DCD	解调	60	MC	微波	95	T	时间
26	DEC	减	61	MD	调制	96	T	力矩
27	DP	调度	62	MH	入孔	97	TM	发送
28	DR	方向	63	MN	监听	98	U	升
29	DS	失步	64	MO	瞬时	99	UPS	不间断电源
30	E	接地	65	MUX	多路复用的限定符号	100	V	真空
31	EC	编码	66	NR	正常	101	V	速度
32	EM	紧急	67	OFF	断开	102	V	电压
33	EMS	发射	68	ON	闭合	103	VR	可变
34	EX	防爆	69	OUT	输出	104	WH	白
35	F	快速	70	O/E	光电转换器	105	YE	黄