

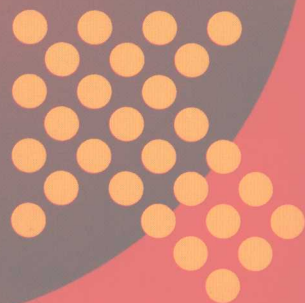
21世纪高等学校规划教材



DIANQI KONGZHI YU PLC JISHU YINGYONG

电气控制与PLC技术应用

孔祥冰等 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

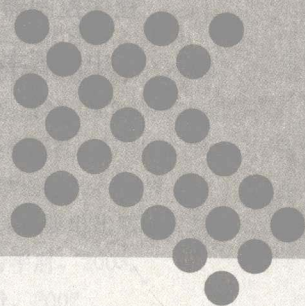
21世纪高等学校规划教材



DIANQI KONGZHI YU PLC JISHU YINGYONG

电气控制与PLC技术应用

编 著 孔祥冰 殷玉恒 刘跃军 黄 玲
主 审 赵 阳 张 鹏 雷冬飞
王海英 孙 颖 尤 波



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书分电气控制技术和 PLC 技术两篇，主要内容包括电气控制技术中的常用低压电器、基本控制环节、典型控制线路分析和控制系统设计方法；可编程控制器的硬件构成、基本工作原理、日本 OMRON 公司的 PLC CJ 系列指令系统、编程方法、PLC 控制系统实例分析和综合设计方法。每章附有适量的习题和思考题。本书注重内容的先进性和实用性，理论联系实际，简明扼要，图文并茂，通俗易懂，便于教学和自学。

本书可作为自动化、电气工程及其自动化、机械工程及其自动化等相关专业本专科教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 技术应用/孔祥冰等编著. —北京：中国电力出版社，2008

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 7761 - 2

I. 电… II. 孔… III. ①电气控制—高等学校—教材②可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 122401 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 [http: //jc. cepp. com. cn](http://jc.cepp.com.cn))

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 433 千字

定价 28.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

电气控制技术是由以生产机械的驱动装置——电动机为主要控制对象、以微电子装置为核心、以电力电子装置为执行机构而组成的电气控制系统，通常称为继电器接触器控制系统。该系统按照即定的控制规律调节电动机的转速，使之满足生产工艺的最佳要求，同时又达到提高效率、降低能耗、提高产品质量、降低劳动强度的最佳效果。电气控制系统是实现工业生产、科学研究以及其他各个领域自动化的重要手段之一，应用十分广泛。

可编程控制器（PLC）技术是在 20 世纪 60 年代初期，在电气控制技术基础上发展起来的控制技术，是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的一门新兴技术，是当今实现工业生产、科学研究以及其他各个领域大型、复杂自动化控制的重要手段之一，应用也越来越广泛。

由于电气控制技术与可编程控制器技术本是起源于同一体系，只是发展的阶段不同，在理论和应用上是一脉相承的，因此本书将电气控制技术和可编程控制器应用技术的内容编写在一起，能够更好地体现出它们之间的内在联系，使本书的结构和理论基础系统化，并更具有科学性和先进性。本书注重精选内容，结合实际，突出应用；在编排上循序渐进、由浅入深；在内容阐述上，力求简明扼要，图文并茂，通俗易懂，便于教学和自学。由于本书的实践性强，因此在编写上也考虑了电气控制与可编程控制器的实验内容，将后续编写和出版《电气控制与 PLC 技术应用实训教程》，与本书配套使用。

本书由两部分组成。第一篇电气控制技术，介绍电气控制中常用的低压电器、典型控制线路、电气控制系统分析和设计方法；第二篇可编程控制器技术，介绍工业生产中常用的日本 OMRON 公司最新推出的 CJ 系列可编程控制器结构原理、指令系统及其应用、控制系统程序分析和设计方法。

本书由哈尔滨理工大学自动化学院孔祥冰、殷玉恒、刘跃军主编，哈尔滨理工大学自动化学院黄玲、赵阳、张鹏，哈尔滨学院雷冬飞参编。其中，孔祥冰编写了第二、五章，殷玉恒编写了第六章，刘跃军编写了第八、九章，黄玲编写了第七章，赵阳编写了第一章，张鹏编写了第三章，雷冬飞编写了第四章。全书由孔祥冰统稿，由哈尔滨理工大学自动化学院、王海英教授、尤波教授，长春工业大学孙颖教授主审。本书在编写过程中，参考了部分兄弟院校的教材、相关厂家的资料和设计手册，在此一并表示衷心感谢。

本书是哈尔滨理工大学“十五”教材建设规划中首批校级重点教材，因此出版时得到了学校和自动化学院的大力资助，在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 5 月

目 录

前言

第一篇 电气控制技术

第一章 常用低压电器	1
第一节 电器的功能、分类和工作原理	1
第二节 电气控制中常用电器	7
第三节 控制线路中的主令电器	20
第四节 动力线路中常用电器	25
第五节 低压电器智能化和发展趋势	30
本章小结	32
习题及思考题	32
第二章 基本电气控制线路	34
第一节 绘制控制线路的若干规则	34
第二节 电气基本控制线路和环节	43
第三节 三相交流电动机的启动控制线路	46
第四节 三相交流电动机制动控制线路	54
第五节 电动机的可逆运行线路	58
第六节 电动机多速与调速控制线路	60
第七节 控制线路中的保护电器	76
本章小结	79
习题及思考题	80
第三章 电气控制系统分析	81
第一节 电气控制电路分析基础	81
第二节 典型电气控制线路分析	83
本章小结	102
习题及思考题	102
第四章 电气控制系统的设计	104
第一节 设计的基本内容和一般原则	104
第二节 方案确定原则和电机的选择	108
第三节 线路的分析设计法和逻辑设计法	110
第四节 电气控制系统的工艺设计	121
本章小结	123

习题及思考题	123
--------	-----

第二篇 PLC 技术

第五章 PLC 的组成及原理	125
第一节 PLC 的定义及发展史	125
第二节 PLC 的分类和特点	126
第三节 PLC 的发展趋势	129
第四节 PLC 的基本组成	130
第五节 PLC 的基本工作原理	135
本章小结	139
习题及思考题	139
第六章 OMRON CJ 系列可编程控制器	141
第一节 CJ 系列 PLC 的基本系统配置	141
第二节 CJ 系列 PLC 存储区分配	146
第三节 OMRON CJ 系列 PLC 指令系统	152
本章小结	200
习题及思考题	200
第七章 PLC 的编程方法及编程设备	204
第一节 指令的基本知识	204
第二节 PLC 的编程方法	207
第三节 PLC 的编程设备	218
本章小结	221
习题及思考题	221
第八章 PLC 控制系统的综合设计	223
第一节 PLC 控制系统设计步骤和内容	223
第二节 PLC 控制系统的硬件设计	225
第三节 PLC 控制系统的软件设计	229
第四节 系统调试	237
第五节 PLC 控制系统的设计举例	240
本章小结	252
习题及思考题	252
第九章 特殊 I/O 单元的应用	254
第一节 模拟量输入单元 CJ1W-AD041	255
第二节 模拟量输出单元 CJ1W-DA041	262
第三节 高速计数单元 CJ1W-CT021	267
本章小结	276
习题及思考题	276
参考文献	277

第一篇 电气控制技术

电气控制技术是由生产机械的驱动装置——电动机为控制对象，以微电子装置为核心，以电力电子装置为执行机构而组成的电气控制系统。该系统按照一定的规律控制电动机，使之满足生产工艺的要求，同时又达到提高效率、降低能耗、提高产品质量、降低劳动强度的目的。电气控制技术在工业生产、科学研究以及其他各个领域的应用十分广泛，已经成为实现生产过程自动化的重要技术手段之一。

本篇主要以电动机和其他执行电器为控制对象，介绍电气控制中常用的低压电器、基本线路以及电气控制系统的分析和设计方法。

第一章 常用低压电器

通常对一个或多个器件组合，能手动或自动分合，额定电压在直流 1500V、交流 1200V 及以下的电路，以及电路中的被控制对象能够实现控制、调节、变换、检测、保护等作用的基本器件称为低压电器。低压电器是组成各种电气控制成套设备的基础配套组件，它的正确使用是低压电力系统可靠运行、安全用电的基础，也是电气控制线路设计的重要保证。

本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、用途及图形符号和文字符号，为正确选择和合理使用这些电器及进行电气控制线路的设计打下基础。

第一节 电器的功能、分类和工作原理

一、电器的功能

电器是一种能根据外界的信号（机械力、电动力和其他物理量）和要求，手动或自动地接通、断开电路，以实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。电器的控制作用就是手动或自动地接通、断开电路，“通”称为“开”，“断”也称为“关”。因此，“开”和“关”是电器最基本、最典型的功能。

二、电器的分类

低压电器种类繁多，功能多样，用途广泛，结构各异。其分类方法也很多，常用分类方法有以下几种。

1. 按工作电压等级分

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

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

2. 按动作原理分

(1) 手动电器。人手操作发出动作指令的电器，如刀开关、按钮等。

(2) 自动电器。产生电磁力而自动完成动作指令的电器，如接触器、继电器、电磁阀等。

3. 按用途分

(1) 控制电器。用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、继电器、电动机启动器等。

(2) 配电电器。用于电能的输送和分配的电器，如高压断路器等。

(3) 主令电器。用于自动控制系统中发送动作指令的电器，如按钮、转换开关等。

(4) 保护电器。用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器等。

(5) 执行电器。用于完成某种动作或传送功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

三、电磁式电器的基本原理

低压电器中大部分为电磁式电器，其基本结构由电磁机构和触点系统组成。触点系统存在接触电阻和电弧等物理现象，对电器的安全运行影响较大；而电磁机构的电磁吸力与反力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，触点结构的设计、电弧的产生、灭弧装置的设计以及电磁吸力和反力等问题是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

电磁机构是电磁式电器的感测元件，它将电磁能转换为机械能，从而带动触点动作。

1. 电磁机构的结构形式

电磁机构由线圈、铁心和衔铁三部分组成，其结构形式按衔铁的运动方式可分为直动式和拍合式。图 1-1 和图 1-2 所示为直动式和拍合式电磁机构的常用结构形式。

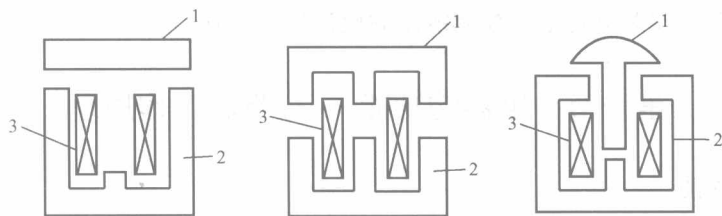


图 1-1 直动式电磁机构

1—衔铁；2—铁心；3—线圈

线圈的作用是将电能转换为磁能，即产生磁通，衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移使铁心吸合。通入直流电的线圈称为直流线圈，通入交流电的线圈称为交流线圈。

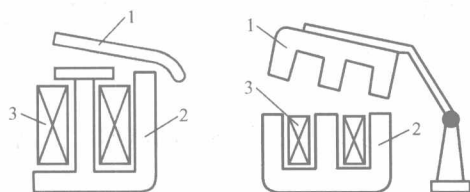


图 1-2 拍合式电磁机构

1—衔铁；2—铁心；3—线圈

直流线圈通电，铁心不会发热，只有线圈发热，因此可以使线圈与铁心直接接触，易于散热。线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，以改善线圈自身散热条件。铁心和衔铁由软钢或工程纯铁制成。

交流线圈通电，除线圈发热外，由于铁心中有涡流和磁滞损耗，铁心也会发热。为了改善线

圈和铁心的散热情况,在铁心与线圈之间留有散热间隙,而且把线圈做成有骨架的矮胖型。铁心用硅钢片叠成,以减少涡流。

另外,根据线圈在电路中的连接方式可分为串联线圈(即电流线圈)和并联线圈(即电压线圈),两种线圈连接方式如图 1-3 所示。串联(电

流)线圈串接在线路中,流过的电流大,为减少对电路的影响,需要较小的阻抗,因此线圈的导线粗且匝数少。并联(电压)线圈并联在线路上,为减少分流作用,需要较大的阻抗,因此线圈的导线细且匝数多。

2. 电磁机构的工作原理

电磁铁工作时,线圈产生的磁通作用于衔铁,产生电磁吸力,并使衔铁产生机械位移,衔铁复位时复位弹簧将衔铁拉回原位。因此作用在衔铁上的力有两个:一个是电磁吸力;另一个是反力。电磁吸力由电磁机构产生,反力由复位弹簧和触点等产生。电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表达。

(1) 吸力特性。电磁机构的电磁吸力 F 与气隙 δ 的关系曲线称为吸力特性。电磁吸力的计算式为

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

式中, F 为电磁吸力, N; B 为气隙磁感应强度, T; S 为磁极截面积, m^2 。

当磁极截面积 S 为常数时,电磁吸力 F 与 B^2 成正比,也可认为 F 与气隙磁通 Φ^2 成正比。励磁电流的种类对吸力特性有很大影响。

对于具有电压线圈的交流电磁机构,设线圈外加电压 U 不变,交流电磁线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗,若电阻忽略不计,则

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad (1-2)$$

$$\Phi = \frac{U}{4.44 f N} \quad (1-3)$$

式中, U 为线圈外加电压; E 为线圈感应电动势; f 为电压频率; Φ 为气隙磁通; N 为电磁线圈的匝数。

当电压频率 f 、电磁线圈的匝数 N 和线圈外加电压 U 为常数时,气隙磁通 Φ 也为常数,则电磁吸力也为常数,即 F 与气隙 δ 大小无关。实际上,考虑到漏磁通的影响,电磁吸力 F 随气隙 δ 的减少略有增加。交流电磁机构的吸力特性如图 1-4 所示。由于交流电磁机构的气隙磁通 Φ 不变, IN 随气隙磁阻(也即气隙 δ) 的变化成正比变化,所以交流电磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比变化。

对于具有电压线圈的直流电磁机构,其吸力特性与交流电磁机构的有所不同。因外加电压 U 和线圈电阻不变,则流过线圈的电流 I 为常数,与磁路的气隙大小无关。根据磁路定律有

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m} \quad (1-4)$$

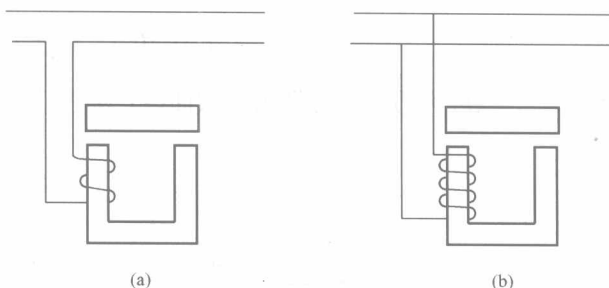


图 1-3 电磁机构中线圈的连接方式

(a) 串联线圈; (b) 并联线圈

则

$$F \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m^2} \right) \propto \frac{1}{\delta^2} \quad (1-5)$$

因此直流电磁机构的吸力特性为二次曲线,如图1-5所示。

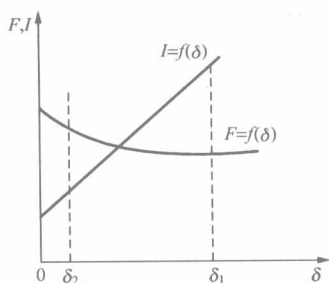


图1-4 交流电磁机构的吸力特性

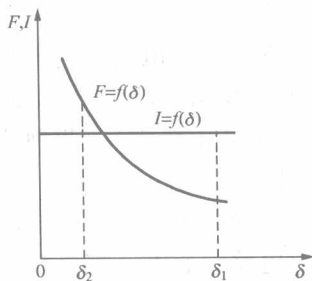


图1-5 直流电磁机构的吸力特性

在一些要求可靠性较高或操作频繁的场所,一般不采用交流电磁机构而采用直流电磁机构,这是因为一般U形铁心的交流电磁机构的励磁线圈通电而衔铁尚未吸合的瞬间,电流将达到衔铁吸合后额定电流的5~6倍;E形铁心电磁机构则达到额定电流的10~15倍。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁操作时,交流励磁线圈则有可能被烧毁。

(2) 反力特性。电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。反作用力包括簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。图1-6中, δ_1 为起始位置, δ_2 为动、静触点接触时的位置。在 $\delta_1 \sim \delta_2$ 区域内,反作用力随气隙减小而略有增大,到达 δ_2 位置时,动、静触点接触,这时触点上的初压力作用到衔铁上,反作用力骤增,曲线发生突变。在 $\delta_2 \sim 0$ 区域内,气隙越小,触点压得越紧,反作用力越大,其曲线比 $\delta_1 \sim \delta_2$ 段更陡。

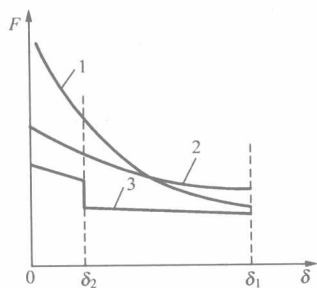


图1-6 吸力特性和反力特性

- 1—直流接触器吸力特性;
- 2—交流接触器吸力特性;
- 3—反力特性曲线

(3) 反力特性与吸力特性的配合。保证衔铁能牢牢吸合,重要的是要保证反力特性与吸力特性配合,如图1-6所示。在整个吸合过程中,吸力都必须大于反作用力,即吸力特性高于反力特性,但不能过大或过小。吸力过大时,动、静触点接触时以及衔铁与铁心接触时的冲击力也大,会使触点和衔铁发生弹跳,导致触点熔焊或烧毁,影响电器的机械寿命;吸力过小时,会使衔铁运动速度降低,难以满足高操作频率的要求。因此,在实际应用中,可调整反力弹簧或触点初压力以改变反力特性,使之与吸力特性有良好配合。

3. 交流电磁机构上短路环的作用

因为单相交流电磁机构上铁心的磁通是交变的,所以当磁通过零时,电磁吸力也为零,吸合后的衔铁在反力弹簧的作用下将被拉开,磁通过零后电磁吸力又增大,当吸力大于反力时,衔铁又被吸合。由于交流电源频率的变化,使衔铁容易产生强烈振动和噪声,甚至导致铁心松散。因此,交流电磁机构铁心端面上都安装一个铜制的短路环。短路环包围铁心端面约2/3的面积,如图1-7所示。

当交变磁通穿过短路环所包围的截面积 S_2 在环中产生涡流时,根据电磁感应定律,此涡流产生的磁通 Φ_2 在相位上落后于短路环外铁心截面 S_1 中的磁通 Φ_1 ,由 Φ_1 、 Φ_2 产生的电磁吸力为 F_1 、 F_2 ,作用在衔铁上的合成电磁吸力是 $F_1 + F_2$,只要此合力始终大于其反

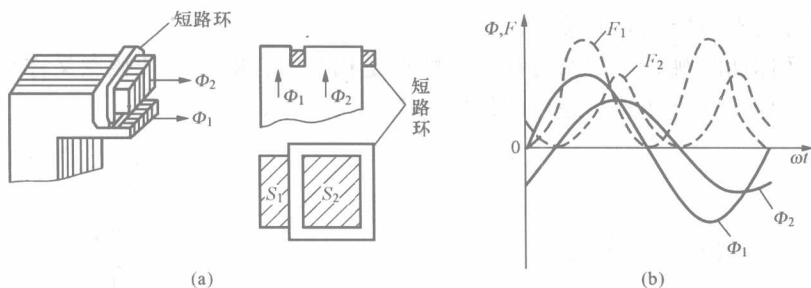


图 1-7 交流电磁铁铁心的短路环结构与电磁吸力图

(a) 结构图；(b) 电磁吸力图

力，衔铁就不会产生振动和噪声。

(二) 触点系统

触点是电磁式电器的执行部件，用来接通或断开被控制电路。

1. 触点的结构形式

触点按其所控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开主电路，允许通过较大的电流；辅助触点用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。

触点按其原始状态可分为常开触点和常闭触点。原始状态时（即线圈未通电）断开，线圈通电后闭合的触点称为常开触点；原始状态闭合，线圈通电后断开的触点称为常闭触点（线圈断电后所有触点复原）。触点按其结构形式可分为桥形触点和指形触点，如图 1-8 所示。

2. 触点接触形式

触点按其接触形式可分为点接触、线接触和面接触三种，如图 1-9 所示。

图 1-9 (a) 所示为点接触，它由两个半球形触点或一个半球形与一个平面形触点构成。常用于小电流的电器中，如接触器的辅助触点或继电器触点。

图 1-9 (b) 所示为线接触，它的接触区域是一条直线，触点的通断过程是滚动式进行的。开始接通时，静、动触点在 A 点处接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点，断开时作相反运动。这样可以自动清除触点表面的氧化物，触点长期正常工作的位置不是在易灼烧的 A 点，而是在工作点 C 点，由此保证了触点的良好接触。线接触多用于中容量的电器，如接触器的主触点。图 1-9 (c) 所示为面接触，它允许通过较大的电流。这种触点一般在接触表面上镶有合金，以减少触点接触电阻并提高耐磨性，多用于大容量接触器的主触点。

3. 触点的分类

固定不动的称为静触点，能由联杆带着移动的称为动触点，触点通常以其初始位置，即“常态”位置来命名的。对电磁式电器来说，是电磁铁线圈未通电时的位置；对非电量电器

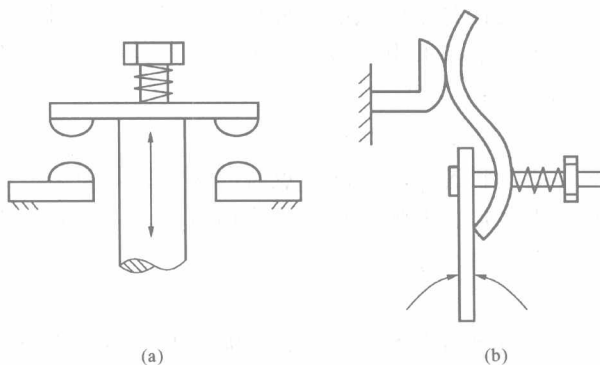


图 1-8 触点结构形式

(a) 桥形触点；(b) 指形触点

来说,是在没有受外力作用时的位置。

常闭触点又称动断触点,常态时动、静触点是相互闭合的。常开触点又称动合触点,常态时动、静触点是相互分开的。触点的位置如图 1-10 所示。

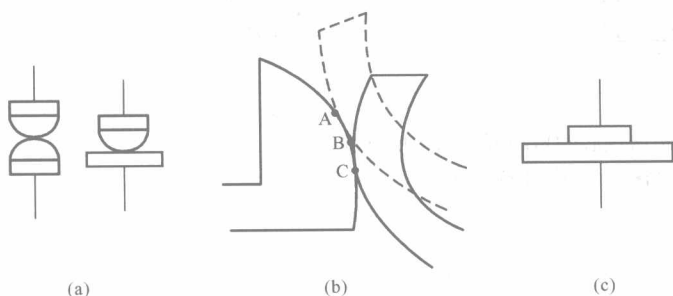


图 1-9 触点接触形式

(a) 点接触; (b) 线接触; (c) 面接触

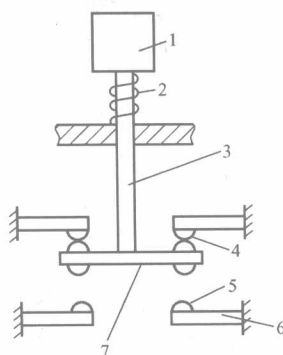


图 1-10 触点位置示意图

1—按钮帽; 2—复位弹簧; 3—联杆; 4—常闭触点; 5—常开触点; 6—静触点; 7—动触点

4. 推动机构

推动机构与动触点的联杆相接,以推动动触点动作。对于电磁式电器,推动力是电磁铁的电磁力;对于非电量电器,推动力是人力或机械力。当推动力消失后,依靠复位弹簧的弹力使动触点复位。

(三) 灭弧工作原理

在通电状态下动、静触点脱离接触时,由于电场的存在,使触点表面的自由电子大量溢出而产生电弧。电弧的存在既烧损触点金属表面,降低电器的寿命,又延长了电路的分断时间,所以必须迅速灭弧。

1. 灭弧方法

(1) 迅速增大电弧长度。电弧长度增加,使触点间隙增加,电场强度降低,同时又使散热面积增大,降低了电弧温度,使自由电子和空穴复合的运动加强,因而电弧容易熄灭。

(2) 冷却。使电弧与冷却介质接触,带走电弧热量,也可使复合运动得以加强,从而使电弧熄灭。

2. 灭弧装置

(1) 电动力吹弧。电动力吹弧示意图如图 1-11 所示。双断点桥式触点在分断时具有电动力吹弧功能,不用任何附加装置,便可使电弧迅速熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

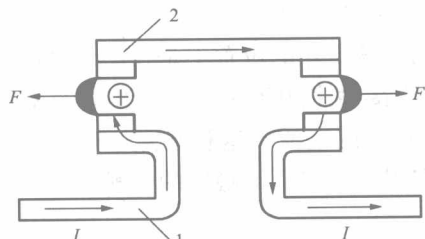


图 1-11 电动力吹弧示意图

1—静触点; 2—动触点

(2) 磁吹灭弧。磁吹灭弧示意图如图 1-12 所示。在触点电路中串入磁吹线圈,该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围,其方向由右手定则确定(为图中 $\times$ 所示)。触点间的电弧所产生的磁场,其方向为 $\oplus\odot$ 所示。这两个磁场在电弧下方方向相同(叠加),在弧柱上方方向相反(相减),所以弧柱下方的磁场强于其上方的磁场。在下方磁场作用下,电弧受力的方

向为 F 所指的方向, 在 F 的作用下, 电弧被吹离触点, 经引弧角引进灭弧罩, 使电弧熄灭。

(3) 栅片灭弧。栅片灭弧示意图如图 1-13 所示。灭弧栅片是一组镀铜薄钢片, 它们彼此间相互绝缘。电弧进入栅片被分割成一段段串联的短弧, 而栅片就是这些短弧的电极。每两片栅片之间都有 $150 \sim 250\text{V}$ 的绝缘强度, 使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强, 以致外加电压无法维持, 电弧迅速熄灭。此外, 栅片还能吸收电弧热量, 使电弧迅速冷却。基于上述原因, 电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在交流时要比直流时强得多, 因此在交流电器中常采用栅片灭弧。

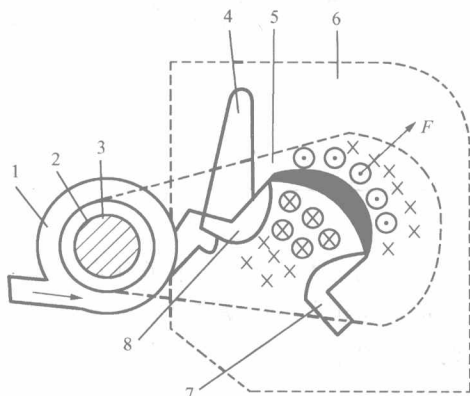


图 1-12 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈; 2—绝缘套; 3—铁心; 4—引弧角;
5—导磁夹板; 6—灭弧罩; 7—动触点; 8—静触点

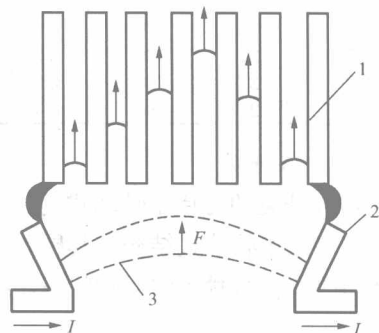


图 1-13 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片; 2—触点; 3—电弧

第二节 电气控制中常用电器

电气控制中常用电器包括隔离器、熔断器、继电器等。

一、隔离器

隔离器是低压电器中结构比较简单、应用十分广泛的一类手动操作电器, 主要有低压刀开关、熔断器式刀开关和组合开关三种。

隔离器主要是在电源断开后, 将线路与电源明显地隔开, 以保障检修人员的安全。熔断器式刀开关由刀开关和熔断器组合而成, 故兼有两者的功能, 即电源隔离和电路保护功能, 可分断一定的负载电流。

1. 刀开关

刀开关结构简图如图 1-14 所示。它由静插座、操纵手柄、触刀、支座、绝缘底板等组成。刀开关的主要类型有: 带灭弧装置的大容量刀开关, 带熔断器的开启式负荷开关 (胶盖开关)、带灭弧装置和熔断器的封闭式负荷开关 (铁壳开关) 等。常用的产品有 HD11~HD14 和 HS11~HS13 系列刀开关, HK1、HK2 系列胶盖开关, HH3、HH4 系列铁壳开关。刀开关的主要技术参数有: 长期工作所承受的最大电压——额定电压, 长期通过的最大允许电流——额定电流, 以及分断能力等。

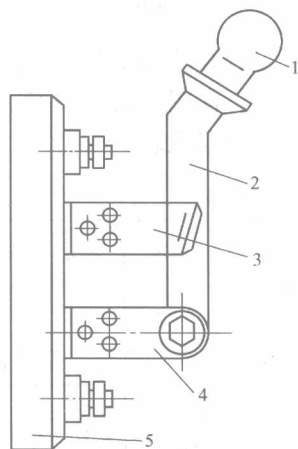


图 1-14 刀开关结构简图

1—静插座; 2—操纵手柄; 3—触刀;
4—支座; 5—绝缘底板

新产品有 HD18、HD17、HS17 等系列刀形隔离开关, HG1 系列熔断器式隔离开关等。选用刀开关时, 刀的极数要与电源进线相数相等; 刀开关的额定电压应大于所控制的线路额定电压; 刀开关的额定电流应大于负载的额定电流。表 1-1 列出 HK1 系列胶盖开关的技术参数。刀开关的图形、文字符号如图 1-15 所示。

表 1-1 HK1 系列胶盖开关的技术参数

额定电流值 /A	极数	额定电压值 /A	可控制电动机 最大容量值/kW		触刀极限 分断能力/A (cosφ=0.6)	触刀极限 分断能力/A	配用熔丝规格			
			220V	380V			熔丝成分			熔丝直径 /mm
							Pb	Sn	Sb	
15	2	220	—	—	30	500	98%	1%	1%	1.45~1.59
30	2	220	—	—	60	1000				2.30~2.52
60	2	220	—	—	90	1500				3.36~4.00
15	2	380	1.5	2.2	30	500				1.45~1.59
30	2	380	3.0	4.0	60	1000				2.30~2.52
60	2	380	4.4	5.5	90	1500				3.36~4.00

2. 组合开关

组合开关的刀片是转动式的, 操作比较轻巧, 它的动触点(刀片)和静触点装在封闭的绝缘件内, 采用叠装式结构, 其层数由动触点数量决定, 动触点装在操作手柄的转轴上, 随转轴旋转而改变各对触点的通断状态。组合开关的结构及其图形、文字符号如图 1-16 所示。

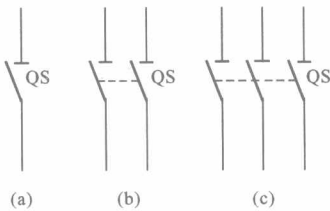


图 1-15 刀开关的图形、文字符号

(a) 单极; (b) 双极; (c) 三极

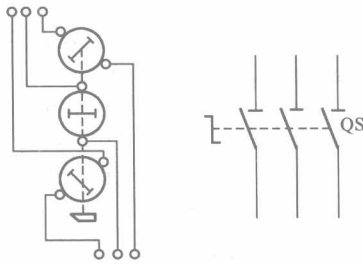


图 1-16 组合开关的结构及其图形、文字符号

组合开关的主要参数有额定电压、额定电流、极数等。其中额定电流有 10、25、60A 等几级。常用产品有 HZ5、HZ10 系列和新型组合开关 HZ15 等系列。HZ10 系列组合开关的技术数据见表 1-2。

表 1-2 HZ10 系列组合开关的技术数据

型号	额定电压 /V	额定电流 /A	极数	极限操作 电流 ^① /A		可控制电动机最大 容量和额定电流 ^①		额定电压及电流下的通断次数			
				接通	分断	容量 /kW	额定电流 /A	AC cosφ		电流时间常数/s	
								≥0.8	≥0.3	≤0.0025	≤0.01
HZ10-10	DC 220, AC 380	6	单极	94	62	3	7	20000	10000	20000	10000
		10	2, 3								
HZ10-25		25		155	108	5.5	12				
HZ10-60		60									
HZ10-100		100						10000	5000	10000	5000

①均指三极组合开关。

组合开关一般在电气设备中用于非频繁地接通和断开电路、接通电源和负载、测量三相电压以及控制小容量异步电动机的正反转和星形——三角形（Y- Δ ）降压启动等。

二、熔断器

1. 工作原理和保护特性

熔断器是一种最简单有效的保护电器，它具有分断能力强，安装体积小，使用维护方便等优点，广泛用于供电线路和电气设备的短路保护中。熔断器由熔体和安装熔体的熔断管（或座）等部分组成。熔体是熔断器的核心，通常用低熔点的铅锡合金、锌、铜、银的丝状或片状材料制成。新型的熔体通常设计成灭弧栅状和具有变截面片状结构。当通过熔断器的电流超过一定数值并经过一定的时间后，电流在熔体上产生的热量使熔体某处熔化而断开电路，从而保护了电路和设备。

熔断器熔体熔断的电流值与熔断时间的关系称为熔断器的保护特性曲线，也称为熔断器的安—秒（ $I-t$ ）特性，如图 1-17 所示。由特性曲线可以看出，流过熔体的电流越大，熔体熔断所需的时间越短。熔体的额定电流 I_N 是熔体长期工作而不致熔断的电流。熔断器的熔断电流与熔断时间的数值关系如表 1-3 所示。

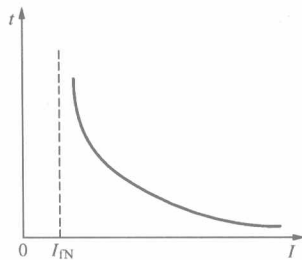


图 1-17 熔断器的安—秒特性

表 1-3 熔断器的熔断电流与熔断时间的数值关系

熔断电流	$1.25 \sim 1.3 I_N$	$1.6 I_N$	$2 I_N$	$2.5 I_N$	$3 I_N$	$4 I_N$
熔断时间	∞	1h	40s	8s	4.5s	2.5s

2. 种类及技术数据

熔断器按其结构型式分为插入式、螺旋式、有填料密封管式、无填料密封管式等。在电气控制系统中经常选用螺旋式熔断器，它有明显的分断指示和不用任何工具就可取下或更换熔体等优点。最近推出的新产品有 RL6、RL7 系列，可以替代老产品 RL1、RL2 系列。RLS2 系列是快速熔断器，用以保护半导体硅整流元件及晶闸管，可替代老产品 RLS1 系列。RT12、RT15、NGT 等系列是有填料密封管式熔断器，瓷管两端铜帽上焊有连接板，可直接安装在母线排上，RT12、RT15 系列带有熔断指示器，熔断时红色指示器弹出。RT14 系列熔断器带有撞击器，熔断时撞击器弹出，既可作熔断信号指示，也可触动微动开关以切断接触器线圈电路，使接触器断电，实现三相电动机的断相保护。

熔断器主要技术参数如下：

（1）额定电压。指熔断器长期工作时和断开后能够承受的电压，其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

（2）额定电流。指熔断器长期工作时，设备部件温升不超过规定值时所能承受的电流。即在一个额定电流等级的熔管内可以分几个额定电流等级的熔体，但熔体的额定电流最大不能超过熔断管的额定电流。

（3）极限分断能力。指熔断器在规定的额定电压和功率因数（或时间常数）的条件下，能分断的最大电流值，在电路中出现的最大电流值一般指短路电流值。

3. 熔断器的选择

熔断器的选择主要依据熔断器的类型、额定电压、熔断器额定电流和熔体额定电流。熔

断器的类型主要由电气控制系统整体设计确定，熔断器的额定电压应大于或等于实际电路的工作电压；熔断器额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。表 1 - 4 所示为 RL6、RLS2、RT12、RT14 等系列熔断器的技术数据。

表 1 - 4 RL6、RLS2、RT12、RT14 等系列熔断器的技术数据

型 号	额定电压/V	额定电流/A		分断能力/kA
		熔断器	熔 体	
RL6-25	~500	25	2, 4, 6, 10, 16, 20, 25	50
RL6-63		63	35, 50, 63	
RL6-100		100	80, 100	
RL6-200		200	125, 160, 200	
RLS2-30	~500	30	16, 20, 25, 30	50
RLS2-63		63	32, 40, 50, 63	
RLS2-100		100	63, 80, 100	
RT12-20	~415	20	2, 4, 6, 10, 16, 20	80
RT12-32		32	20, 25, 32	
RT12-63		63	32, 40, 50, 63	
RT12-100		100	63, 80, 100	
RT14-20	~380	20	2, 4, 6, 10, 16, 20	100
RT14-32		32	2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32	
RT14-63		63	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	

确定熔体的额定电流是选择熔断器的主要任务，具体来说有下列几条原则：

(1) 对于照明线路或电阻炉等电阻性负载，熔体的额定电流应大于或等于电路的工作电流，即

$$I_{IN} \geq I$$

式中， I_{IN} 为熔体的额定电流； I 为电路的工作电流。

(2) 保护一台异步电动机时，考虑电动机冲击电流的影响，熔体额定电流的计算式为

$$I_{IN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$$
 (1 - 6)

式中， I_N 为电动机的额定电流。

(3) 保护多台异步电动机时，若各台电动机不同时启动，则计算式为

$$I_{IN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \sum I_N$$
 (1 - 7)

式中， I_{Nmax} 为容量最大的一台电动机的额定电流； $\sum I_N$ 为其余电动机额定电流的总和。

(4) 为防止发生越级熔断，上、下级（即供电干、支线）熔断器间应有良好的协调配合，为此，应使上一级（供电干线）熔断器的熔体额定电流比下一级（供电支线）的大1~2个级差。熔断器的图形、文字符号如图 1 - 18 所示。



图 1 - 18 熔断器的
图形、文字符号

三、继电器

继电器是一种根据某种输入信号的变化，使其自身的执行机构动作的自动控制电器。它包含输入电路（又称感应元件）和输出电路（又称

执行元件)两部分。当感应元件中的输入量(如电压、电流、温度、压力等)变化到某一定值时继电器动作,执行元件便接通和断开控制电路。

继电器主要特性是输入—输出特性,即继电特性。它的继电特性曲线如图 1-19 所示。当继电器输入量 x 由零增至 x_1 以前,输出量 y 为零。当输入量 x 增加到 x_2 时,继电器吸合,输出量为 y_1 ,若 x 再增大, y_1 值保持不变。当 x 减小到 x_1 时,继电器释放,输出量由 y_1 降至零。 x 再减小, y 值均为零。图中, x_2 为继电器吸合值,欲使继电器吸合,输入量必须大于或等于此值; x_1 称为继电器释放值,欲使继电器释放,输入量必须小于或等于此值。 $k=x_1/x_2$ 称为继电器的返回系数,它是继电器的重要参数之一。 k 值是可以调节的,不同场合要求不同的 k 值。如一般继电器要求低的返回系数, k 值应在 $0.1\sim 0.4$ 之间,这样当继电器吸合后,输入量波动较大时不致引起误动作。欠电压继电器则要求高的返回系数, k 值应在 0.6 以上。如某继电器 $k=0.66$,吸合电压为额定电压的 90% ,则电压低于额定电压的 60% 时,继电器释放,起到欠电压保护的作用。

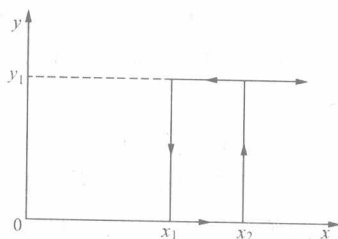


图 1-19 继电特性曲线

继电器另一个重要参数是吸合时间和释放时间。吸合时间是指从线圈接受电信号到衔铁完全吸合所需的时间;释放时间是指从线圈失电到衔铁完全释放所需的时间。一般继电器的吸合时间与释放时间为 $0.05\sim 0.15\text{s}$,快速继电器为 $0.005\sim 0.05\text{s}$,它的大小影响着继电器的操作频率。

无论继电器的输入量是电量还是非电量,继电器工作的最终目的还是控制触点的分断或闭合,而触点又是控制电路通断的,就这一点来说接触器与继电器是相同的。但是它们又有区别,主要表现在以下两个方面。

(1) 所控制的线路不同。继电器用于控制电信线路、仪表线路、自控装置等小电流电路及控制电路;接触器用于控制电动机等大功率、大电流电路及主电路。

(2) 输入信号不同。继电器的输入信号可以是各种物理量,如电压、电流、时间、压力、速度等,而接触器的输入量只有电压。

(一) 电磁式继电器

在低压控制系统中采用的继电器大部分是电磁式继电器,电磁式继电器的结构与原理和接触器的基本相同。电磁式继电器的典型结构如图 1-20 所示。按吸引线圈电流的类型,电磁式继电器可分为直流电磁式继电器和交流电磁式继电器。按其在电路中的连接方式,电磁式继电器可分为电流继电器、电压继电器和中间继电器等。

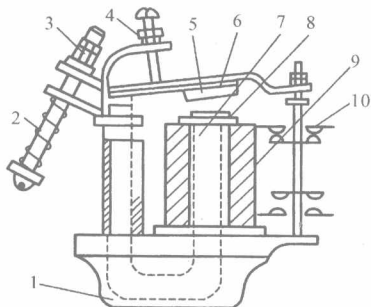


图 1-20 电磁式继电器的典型结构

1—底座; 2—反力弹簧; 3、4—调节螺钉;
5—非磁性垫片; 6—衔铁; 7—铁心; 8—
极靴; 9—电磁线圈; 10—触点系统

电磁式继电器可分为直流电磁式继电器和交流电磁式继电器。按其在电路中的连接方式,电磁式继电器可分为电流继电器、电压继电器和中间继电器等。

1. 电流继电器

电流继电器反映的是电流信号。使用时,电流继电器的线圈串联于被测电路中,根据电流的变化而动作。为降低负载效应对被测电路参数的影响,需要线圈的匝数少、导线粗、阻抗小。电流继电器除用于电流型保护的场合外,还经常用于按电流原则控制的场合。电流继电器有欠电流继电器和过电流继电器两种。

(1) 欠电流继电器。线圈中通以 $30\%\sim 65\%$ 的额