



“十三五”普通高等教育本科规划教材

工厂电气控制与 PLC应用技术

殷玉恒 主 编

刘跃军 阎 哲 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

工厂电气控制与 PLC应用技术

主 编 殷玉恒
副主编 刘跃军 阎 哲
编 写 管 宇 公利滨 殷巧玉 魏洪玲
主 审 王海英



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。

全书由工厂电气控制技术和 PLC 控制技术两部分组成。工厂电气控制技术主要内容包括常用低压电器的基本结构、工作原理、用途、主要技术参数和选用方法,三相异步电动机起动、制动和调速等方面的基本控制电路,典型机床电气控制电路的分析及电气控制系统设计。PLC 控制技术主要内容包括 PLC 的硬件构成、基本工作原理,日本欧姆龙(OMRON)公司的 CJ1 系列 PLC 和德国西门子(SIEMENS)公司的 S7-200 系列 PLC 的硬件结构及指令系统,欧姆龙公司 CX-P 编程软件和西门子公司 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的使用,PLC 控制系统综合设计方法和实例分析。

本书的特点是理论精简、结合实际、突出应用;在内容编排上循序渐进、由浅入深;在内容阐述上,力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂,便于教师教学和学生自学。

本书可作为高等院校工业自动化、电气工程及其自动化、机械工程及其自动化等相关专业的本科、高职教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工厂电气控制与 PLC 应用技术/殷玉恒主编. —北京:中国电力出版社,2016.8

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-9292-2

I. ①工… II. ①殷… III. ①工厂—电气控制—高等学校—教材 ②PLC 技术—高等学校—教材 IV. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 092002 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 525 千字

定价 43.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

工厂电气控制技术是以电动机或其他执行电器为主要控制对象,由继电器、接触器、按钮、行程开关等常用低压电器组成的电气控制系统,通常又称为继电器-接触器控制技术。目前,工厂电气控制技术已从最早的手动控制发展到自动控制,从简单的控制设备发展到复杂的控制系统。工厂电气控制技术能满足各类生产工艺的控制要求,同时又能够提高生产效率、降低能耗、提高产品质量、降低劳动强度,广泛应用于工业生产、科学研究及其他各个领域的自动化控制。

可编程控制器(PLC)是在继电器-接触器控制技术基础上发展起来的控制设备,是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术于一体的先进、新型、通用的工业控制装置,具有控制能力强、可靠性高、使用灵活方便和易于编程、扩展、通信等优点,在工业自动化控制领域得到越来越广泛的应用。

本书内容由两部分组成,共10章,兼顾工厂电气控制技术及PLC控制技术的教学重点,并使它们前后承接、相互呼应。前三章阐述了常用低压电器、电气控制电路的基本环节、常用机床电气控制电路的分析及电气控制系统的设计。后七章介绍了可编程控制器(PLC)控制技术,选择了具有代表性的欧姆龙CJ1系列、西门子S7-200系列PLC产品,详细讲述了PLC的工作原理、CJ1系列PLC和S7-200系列PLC的硬件结构及软件系统、欧姆龙公司CX-P编程软件和西门子公司STEP 7-Micro/WIN32编程软件的使用、PLC控制系统设计方法和实例分析等内容。为便于教学和自学,列举了大量的工程实际案例,以培养学生应用PLC进行电气电路设计和控制程序编写的能力。本书注重精选内容,结合实际、突出应用。在内容编排上循序渐进、由浅入深;在内容阐述上,力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂。

本书由哈尔滨理工大学自动化学院殷玉恒任主编,刘跃军、闫哲任副主编,哈尔滨理工大学自动化学院管宇、公利滨以及济南大学自动化与电气工程学院殷巧玉、黑龙江东方学院魏洪玲参编。殷玉恒编写了第1、2、6章,刘跃军编写了第3章,闫哲编写了第5、7章,管宇编写了第9章,公利滨编写了第4章,殷巧玉编写了第8章,魏洪玲编写了第10章。全书由殷玉恒统稿,哈尔滨理工大学自动化学院的王海英教授主审。

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。

限于编者水平,书中不妥和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2016年5月

目 录

前言

1 常用低压电器	1
1.1 电器的基本知识	1
1.2 开关电器	7
1.3 熔断器	9
1.4 主令电器	10
1.5 继电器	13
1.6 接触器	19
1.7 低压电器智能化和发展趋势	22
本章小结	24
习题及思考题	24
2 电气控制电路的基本环节	26
2.1 电气控制系统图的绘制	26
2.2 三相笼型异步电动机的起动控制电路	32
2.3 三相异步电动机的正反向控制电路	38
2.4 三相异步电动机的制动控制电路	40
2.5 三相异步电动机的调速控制电路	45
2.6 电气控制的保护环节	48
本章小结	52
习题及思考题	52
3 电气控制电路的分析与设计	54
3.1 电气控制电路分析基础	54
3.2 C650 型普通车床电气控制电路分析	56
3.3 X-62W 型卧式万能铣床电气控制电路分析	59
3.4 T68 型卧式镗床电气控制电路分析	63
3.5 组合机床电气控制电路分析	67
3.6 电气控制系统的设计	71
本章小结	86
习题及思考题	86

4 PLC 的组成及原理	88
4.1 PLC 的定义及发展	88
4.2 PLC 的分类和特点	91
4.3 PLC 的基本组成	94
4.4 PLC 的基本工作原理	99
本章小结	103
习题及思考题	104
5 欧姆龙 CJ1 系列 PLC 基本结构	105
5.1 CJ1 系列 PLC 的硬件组成	105
5.2 CJ1 系列 PLC 存储器系统	111
本章小结	117
习题及思考题	117
6 欧姆龙 CJ1 系列 PLC 的指令系统	118
6.1 CJ1 系列 PLC 指令系统基本知识	118
6.2 CJ1 系列 PLC 基本编程指令及应用	121
6.3 CJ1 系列 PLC 的常用特殊指令	143
6.4 CJ1 系列 PLC 的编程方法	174
本章小结	181
习题及思考题	182
7 西门子 S7 - 200 系列 PLC 概述	185
7.1 S7 - 200 系列 PLC 的系统组成	185
7.2 S7 - 200 系列 PLC 的内部元件及程序结构	190
本章小结	198
习题及思考题	199
8 西门子 S7 - 200 系列 PLC 的指令系统	200
8.1 S7 - 200 系列 PLC 的基本指令	200
8.2 S7 - 200 系列 PLC 的功能指令	221
本章小结	259
习题及思考题	259
9 PLC 的编程软件	262
9.1 欧姆龙公司 CX - P 编程软件的使用	262
9.2 西门子公司 STEP 7 - Micro/WIN32 编程软件的使用	274
本章小结	288
习题及思考题	289
10 PLC 控制系统的综合设计	290
10.1 PLC 控制系统设计的基本原则和步骤	290
10.2 PLC 控制系统的硬件设计	294

10.3 PLC控制系统的软件设计	296
10.4 PLC控制系统综合设计举例	313
本章小结.....	335
习题及思考题.....	335
参考文献	336

1 常用低压电器

低压电器是组成各种电气控制成套设备的基础配套组件，其正确使用是低压电力系统可靠运行、安全用电的基础，也是电气控制系统设计的重要保证。

本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、型号、规格及用途等有关知识，同时介绍其图形符号及文字符号，为正确选择和合理使用这些电器及进行电气控制系统设计打下基础。

1.1 电器的基本知识

1.1.1 电器的功能

凡是自动或手动接通和断开电路，以及能实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的电器元件统称为电器。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”称为“关”。因此，“开”和“关”是电器最基本、最典型的功能。

1.1.2 电器的分类

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，构造各异。其分类方法很多，下面介绍几种常用分类方法：

1. 按工作电压等级分

(1) 低压电器。工作电压在交流额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 以下的各种电器。例如接触器、继电器、刀开关、自动开关、熔断器、主令电器等。

(2) 高压电器。工作电压在交流额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 以上的各种电器。例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器、避雷器等。

2. 按动作原理分

(1) 手动电器。指需要人工直接操作才能完成指令任务的电器。例如刀开关、控制按钮、转换开关等。

(2) 自动电器。指不需要人工操作，而是按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器。例如自动开关、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。例如接触器、各种控制继电器、起动器等。

(2) 配电电器。用于电能的输送和分配的电器。例如高压断路器、自动开关、刀开关、隔离开关等。

(3) 主令电器。用于自动控制系统中发送动作指令的电器。例如控制按钮、转换开关、行程开关、主令开关等。

(4) 保护电器。用于保护电路及用电设备的电器。例如熔断器、热继电器、各种保护继

电器、避雷器等。

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

4. 按工作原理分

(1) 电磁式电器。依据电磁感应原理工作的电器。例如接触器、各种电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器。靠外力或某种非物理量的变化而动作的电器。例如刀开关、按钮、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

1.1.3 电磁式电器的基本原理

电磁式电器在电气控制电路中使用量最大，其类型也很多，各类电磁式电器在工作原理和构造上基本相同。就其结构而言，大多由两个主要部分组成，即感测部分——电磁机构和执行部分——触点系统。

1. 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的感测元件，其主要作用是将电磁能转换为机械能，从而带动触点动作，使电路接通或断开。

(1) 电磁机构的结构形式。电磁机构由吸引线圈、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 所示分别是直动式和拍合式电磁机构的常用结构形式。

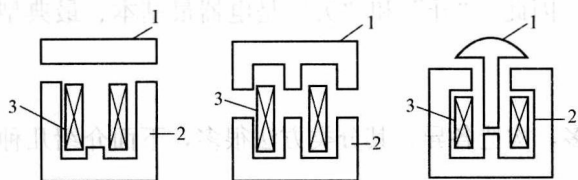


图 1-1 直动式电磁机构

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

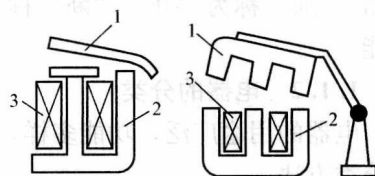


图 1-2 拍合式电磁机构

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

电磁式电器分为直流与交流两大类，都是利用电磁铁的原理制成的。通常直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成，而交流电磁铁的铁心则用硅钢片叠铆而成。

(2) 吸引线圈。吸引线圈的作用是将电能转换为磁场能量，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。

对于直流电磁铁，因其铁心不会发热，只有线圈发热，所以线圈可以与铁心直接接触，易于散热。线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型。

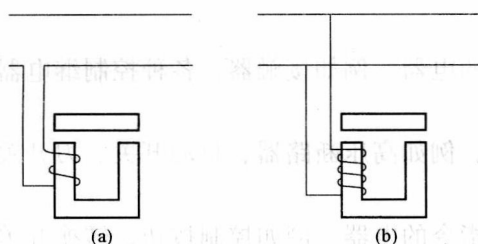


图 1-3 电磁机构中线圈的连接方式

(a) 串联电磁机构；(b) 并联电磁机构

对于交流电磁铁，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，把线圈做成有骨架的矮胖型。

另外，线圈根据其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），如图 1-3 所示。串联（电流）线圈串接在电路中，流过的电流大，为减少对电路的影

响, 串联线圈的阻抗较小, 线圈的导线粗、匝数少。并联 (电压) 线圈并联在电路上, 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。

(3) 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。电磁吸力可按式 (1-1) 求得, 即

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

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 。

当铁心截面积 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。

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取决于线圈的电抗, 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 (也即随气隙 δ) 的变化成正比地变化, 所以交流电磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比变化。

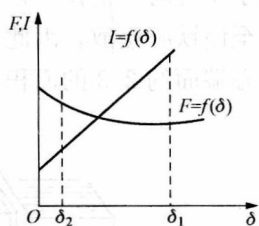


图 1-4 交流电磁机构的吸力特性

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

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

则

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

因此直流电磁机构的吸力特性为二次曲线形状, 如图 1-5 所示。

在一些可靠性要求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 形铁心电磁机构的电流则

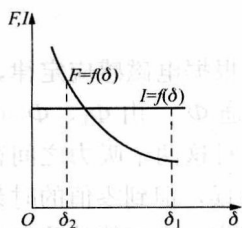


图 1-5 直流电磁机构的吸力特性

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，交流励磁线圈有可能烧毁。

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。反作用力包括弹簧力、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 $\delta_1 \sim \delta_2$ 段越陡。

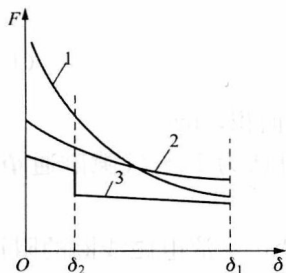


图 1-6 吸力特性和反力特性

- 1—直直接触器吸力特性；
- 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。要保证衔铁牢牢吸合，最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，使之与吸力特性能良好配合。

(4) 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，甚至使铁心松散。因此，交流电磁机构铁心端面上都安装有一个铜制的短路环。短路环包围铁心端面约 2/3 的面积，如图 1-7 所示。

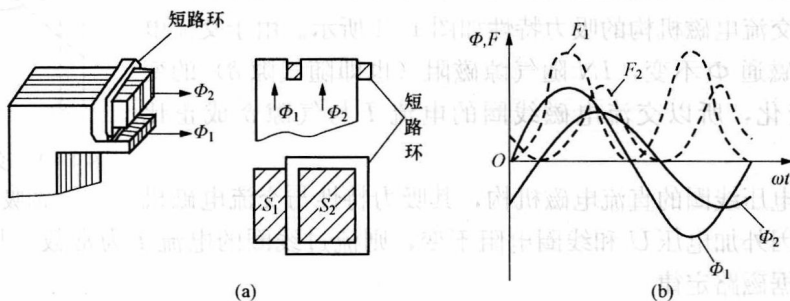


图 1-7 交流电磁铁铁心的短路环

(a) 结构图；(b) 电磁吸力图

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积 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 $F_1 + F_2$ ，而且这两个吸力之间存在一定的相位差。这样，虽然这两部分电磁吸力各自都有达到零值的时候，但到零值的时刻已错开，二者的合力就大于零，只要总吸力始终大于反力，衔铁便被吸牢，也就能消除衔铁的振动和噪声。

2. 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动合触点（又称常开触点）和动断触点（又称常闭触点）。原始状态时（即线圈未通电）断开，线圈通电后闭合的触点叫动合触点；原始状态闭合，线圈通电后断开的触点叫动断触点。

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，断开时做相反运动。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 C 点，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

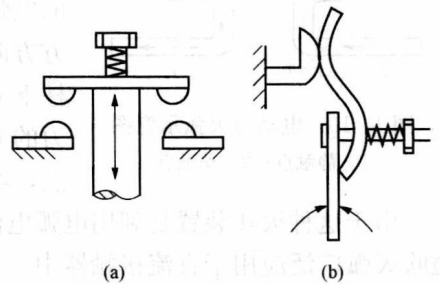


图 1-8 触点结构形式
(a) 桥形触点；(b) 指形触点

触点接触电阻并提高耐磨性，多用于大容量接触器的

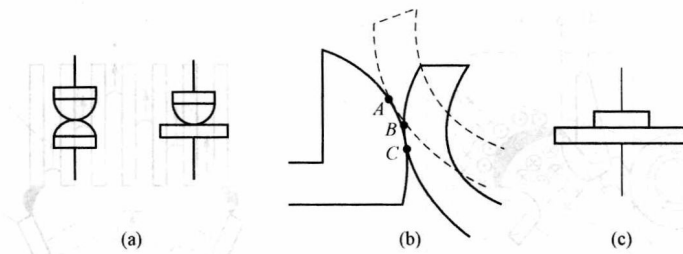


图 1-9 触点接触形式
(a) 点接触；(b) 线接触；(c) 面接触

3. 电弧的产生及灭弧方法

在自然环境下开断电路时，触点在通电状态下动、静触点脱离接触，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。电弧实际上是触点间气体在强电场作用下产生的放电现象。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，严重时会引起火灾或其他事故，因此，在电器中应采取适当措施熄灭电弧。

(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，降低电弧温度，使自由电子和空穴复合的运动加强，因而电荷容易熄灭。

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) 电动力灭弧。电动力灭弧示意图如图 1-10 所示。双断点桥式触点在分断时具有电动力灭弧功能, 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。

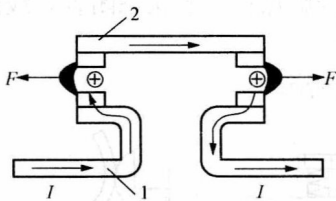


图 1-10 电动力灭弧示意图
1—静触点; 2—动触点

2) 磁吹灭弧。磁吹灭弧示意图如图 1-11 所示。在触点电路中串入吹弧线圈, 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方向如 $\oplus \odot$ 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。

由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧的, 因而电弧电流越大, 吹弧能力也越强。磁吹灭弧广泛应用于直流接触器中。

3) 栅片灭弧。栅片灭弧示意图如图 1-12 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数段串联的短弧, 而栅片就是这些短弧的电极。每两片灭弧片之间都有 150~250V 的绝缘强度, 使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强, 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, 所以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。

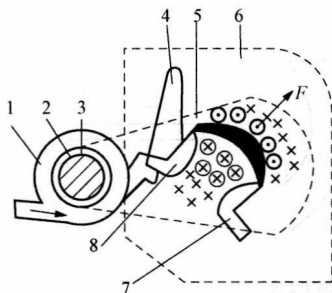


图 1-11 磁吹灭弧示意图
1—磁吹线圈; 2—绝缘套; 3—铁心;
4—引弧角; 5—导磁夹板; 6—灭弧罩;
7—动触点; 8—静触点

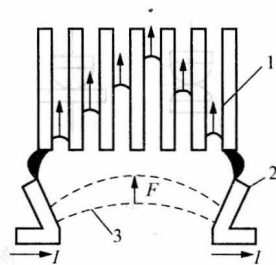


图 1-12 栅片灭弧示意图
1—灭弧栅片; 2—触点; 3—电弧

1.2 开关电器

1.2.1 刀开关

刀开关又称闸刀开关，是结构最简单、应用最广泛的一种手控电器。刀开关结构简图如图 1-13 所示。刀开关在低压电路中作不频繁接通和分断电路用，或用来将电路与电源隔离。

刀开关安装时，操作手柄要向上，不得倒装或平装。接线时，应将电源线接在上端，负载接在下端，这样拉闸后刀片与电源隔离，可防止意外事故发生。

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、带灭弧装置和熔断器的封闭式负荷开关等。常用的产品有：HD11~HD14 和 HS11~HS13 系列刀开关；HK1、HK2 系列开启式负荷开关；HH3、HH4 系列封闭式负荷开关；HR3 系列熔断器式刀开关。

刀开关的主要技术参数如下：

(1) 额定电压。刀开关的额定电压应大于所控制电路的额定电压。

(2) 额定电流。刀开关的额定电流应大于负载的额定电流。

(3) 刀的极数。选用刀开关时，刀的极数要与电源进线极数相等。

刀开关的图形符号及文字符号如图 1-14 所示。

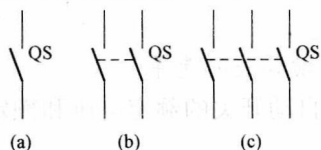


图 1-14 刀开关的图形、文字符号

(a) 单极；(b) 双极；(c) 三极

电路接通。

转换开关一般在电气设备中用于非频繁地接通和分断电路、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-三角降压起动等。

转换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。

组合开关的结构和图形、文字符号如图 1-15 所示。

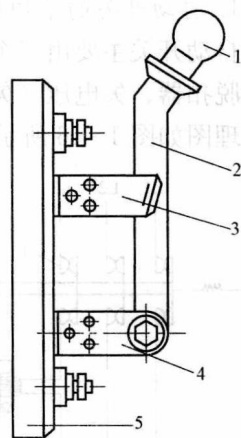


图 1-13 刀开关结构简图

1—操作手柄；2—刀片；

3—静插座；4—支座；

5—绝缘底板

1.2.2 转换开关

转换开关又称组合开关，它的动触点（动触片）和静触点（静触片）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。动触片装在操作手柄的转轴上，当转动手柄时，每层的动触片随方形转轴一起转动，并使静触片插入相应的动触片中，使

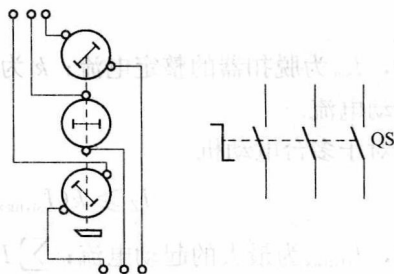


图 1-15 组合开关的结构和图形、文字符号

1.2.3 自动开关

自动开关又称自动空气断路器。当电路发生严重过载、短路及失电压等故障时，自动开关能自动切断故障电路，有效地保护串接在它后面的电气设备。在正常情况下，自动开关也可用于不频繁地接通和断开电路及控制电动机。因此，自动开关是低压电路常用的具有保护环节的断合电器。

1. 自动开关的结构和工作原理

自动开关主要由三个基本部分组成：触点、灭弧系统和各种脱扣器。各种脱扣器包括过电流脱扣器、失电压（欠电压）脱扣器、热脱扣器、操作机构和自由脱扣机构。自动开关工作原理图如图 1-16 所示。

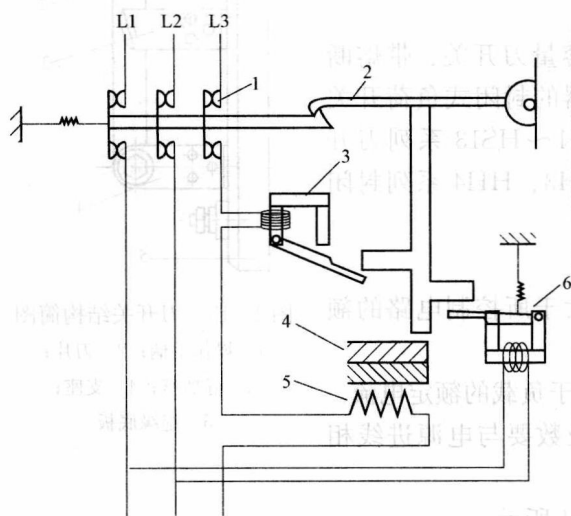


图 1-16 自动开关工作原理图

- 1—主触点；2—自由脱扣机构；3—过电流脱扣器；
4—双金属片；5—热脱扣器；6—欠电压脱扣器

自动开关的主触点是靠操动机构手动或电动合闸的，主触点闭合后，自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，失电压脱扣器的线圈与电路并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁被吸合，使自由脱扣机构动作。当电路过载时，热脱扣器的热元件产生的热量增加，加热双金属片，使之向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路失电压时，失电压脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。自由脱扣机构动作时自动脱扣，使开关自动跳闸，主触点断开电路。

2. 自动开关的选择

(1) 自动开关的额定电压和额定电流

应不小于电路的正常工作电压和工作电流。

(2) 热脱扣器的整定电流应与所控制负载的额定电流一致。

(3) 欠电压脱扣器的额定电压应等于电路的额定电压。

(4) 电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载电路正常工作时的峰值电流。

对于单台电动机

$$I_{\text{set}} \geq k I_{\text{st}} \quad (1-6)$$

式中， I_{set} 为脱扣器的整定电流； k 为安全系数，可取 1.7； I_{st} 为电动机的起动电流。

对于多台电动机

$$I_z \geq k(I_{\text{st,max}} + \sum I_N) \quad (1-7)$$

式中， $I_{\text{st,max}}$ 为最大的起动电流； $\sum I_N$ 为其余电动机的额定电流之和。

自动开关的图形符号及文字符号如图 1-17 所示。

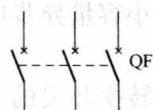


图 1-17 自动开关的图形符号及文字符号

1.3 熔断器

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。在使用时，熔断器串接在所保护的电路中，作为电路及用电设备的短路和严重过载保护，主要用作短路保护。

1.3.1 工作原理和保护特性

熔断器由熔体和安装熔体的熔管（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分断电路，从而保护了电路和设备。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

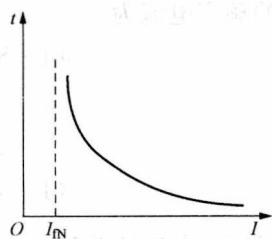


图 1-18 熔断器的安-秒特性

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 1-18 所示。由特性曲线可以看出，流过熔体的电流越大，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见表 1-1。

表 1-1 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

1.3.2 种类及技术参数

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，品种规格多。在电气控制系统中经常选用螺旋式熔断器，它具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，接触器断电，实现三相电动机的断相保护。

主要技术参数如下：

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

(2) 额定电流。熔断器的额定电流是在一般环境温度下，熔断器外壳和载流部分长期允许通过的最大工作电流。熔体的额定电流是熔体允许长期通过而不熔化的最大电流。熔体的额定电流不应大于熔断器的额定电流。

(3) 极限分断能力。熔断器在规定的额定电压和功率因数（或时间常数）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。

1.3.3 熔断器的选择

熔断器的选择主要包括熔断器类型、额定电压、熔断器额定电流和熔体额定电流的确定。

(1) 熔断器的类型应根据电路要求、使用场合和安装条件选择。

(2) 熔断器的额定电压应大于或等于实际电路的工作电压。

(3) 熔断器的额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。

(4) 确定熔体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) 对于照明电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 $I_{FN} \geq I$, 式中 I_{FN} 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, 熔体的额定电流为

$$I_{FN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N \quad (1-8)$$

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起动, 则

$$I_{FN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{N_{\max}} + \sum I_N \quad (1-9)$$

式中, $I_{N_{\max}}$ 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。



图 1-19 熔断器的图形、文字符号

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) 大 1~2 个级差。

熔断器的图形、文字符号如图 1-19 所示。

1.4 主令电器

主令电器属于控制电器, 用来发布命令、改变控制系统工作状态。它可以直接作用于控制电路, 也可以通过电磁式电器的转换对电路实现控制。主令电器应用广泛, 种类繁多, 本节仅介绍几种常用的主令电器。

1.4.1 控制按钮

控制按钮又称按钮开关, 简称按钮, 是最常用的主令电器, 在低压控制电路中用于手动发出控制信号。其结构如图 1-20 所示。

按钮按用途和结构的不同, 可分为起动按钮、停止按钮和复合按钮等。起动按钮带有动合触点, 手指按下按钮帽, 动合触点闭合; 手指松开, 动合触点复位。停止按钮带有动断触点, 手指按下按钮帽, 动断触点断开; 手指松开, 动断触点复位。复合按钮带有动合触点和动断触点, 手指按下按钮帽, 先断开动断触点再闭合动合触点; 手指松开, 动合触点和动断触点先后复位。为便于识别各个按钮的作用, 避免误操作, 通常在按钮帽上做出不同标记或涂上不同颜色, 以示区别, 一般以红色表示停止按钮、绿色表示起动按钮等。

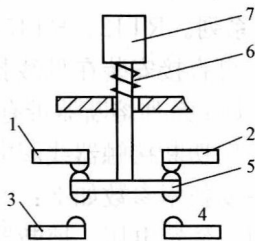


图 1-20 按钮的结构

1、2—动断触点; 3、4—动合触点;
5—动触点; 6—复位弹簧;
7—按钮帽