

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANQI KONGZHI YU
PLC YINGYONG

电气控制与 PLC 应用

(第二版)

范永胜 王 岷 编



中国电力出版社

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

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANQI KONGZHI YU
PLC YINGYONG

电气控制与 PLC 应用

(第二版)

范永胜 王 岷 编
李广鹏 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书内容主要包括：常用低压电器，电器控制线路的基本规律，电器控制线路的设计方法，可编程控制器的特点、应用和组成等基本情况，FX系列可编程控制器的编程元件及基本指令和功能指令系统，FX系列可编程控制器的各种程序设计方法，FX系列可编程控制器在生产实际中控制变频器的几种方法以及编程器和编程软件的使用。本书从应用角度出发，全力培养学生分析与设计电器控制线路的能力，使学生掌握PLC原理及编程方法，具备一定的PLC程序设计和PLC应用能力。

本书主要作为高等学校电气工程及其自动化、自动化、机电一体化等专业的教材，也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与PLC应用/范永胜. 王岷编. —2版. —北京: 中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-5211-4

I. 电... II. ①范... ②王... III. ①电气设备—自动控制—高等学校—教材②可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TM762 TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第020635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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年8月第一版

2007年2月第二版 2007年2月北京第四次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 340千字

印数 9001—12000册 定价 23.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规则。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

由于电器元件不断向电子化、智能化和可通信化方向发展，以继电器和接触器为主的电气控制系统也不断地发生着变化。而可编程控制器自从20世纪60年代末诞生以来，其发展一直非常迅速，尤其是近几年随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展可编程控制器更是日新月异。上述两部分内容在应用上有着内在关联性，属于统一体系。为适应电气控制新技术的发展，特别是近几年涌现出来的可编程控制器的新产品和新技术，编写了《电气控制与PLC应用》一书。

电气控制在介绍低压电器和基本控制环节的基础上，着重介绍了继电控制系统的设计思想与设计方法；可编程控制器以日本三菱公司近年来推出的具有很高性能价格比的FX系列为例，突出介绍了程序的设计方法和编程软件的使用，并比较详细地介绍了可编程控制器对变频器的控制方法；利用可编程控制器对一些常见的继电控制的基本环节进行了编程设计，以便于读者能够将两种控制方式进行类比和对照。

本书由河北建筑工程学院范永胜、山东建筑工程学院王岷合编，范永胜统稿并编写第四、五、六、七章，王岷编写第一、二、三章。

限于编者水平，书中难免存在错误和不妥之处，诚恳希望广大读者批评指正。

编 者

2004年5月

目 录

前言

第一章 常用低压电器	1
第一节 概述	1
第二节 常用低压电器的基本问题	4
第三节 接触器	17
第四节 继电器	23
第五节 主令电器	36
第六节 熔断器	42
第七节 低压断路器	48
第八节 电磁执行机构	53
习题	56
第二章 电器控制线路的基本规律	58
第一节 电器控制线路的绘制原则	58
第二节 电器控制线路中的基本环节	61
第三节 三相交流电动机启动控制线路	66
第四节 三相交流电动机的制动控制线路	69
第五节 电器控制线路中的保护环节	71
习题	75
第三章 电器控制线路设计	76
第一节 电器控制线路的一般设计方法	76
第二节 电器控制线路的逻辑设计方法	88
习题	109
第四章 可编程控制器概述	112
第一节 可编程控制器的产生及定义	112
第二节 可编程控制器的特点及应用	113
第三节 可编程控制器的分类和发展	115
第四节 可编程控制器的基本组成和工作原理	118
习题	124
第五章 FX 系列可编程控制器编程元件及指令系统	125
第一节 FX 系列可编程控制器的技术指标	125
第二节 FX 系列可编程控制器的编程元件	130
第三节 FX 系列可编程控制器的基本逻辑指令	140
第四节 FX 系列可编程控制器的功能指令	144
习题	158

第六章 FX 系列可编程控制器的程序设计方法	160
第一节 梯形图的分析设计法	160
第二节 梯形图的时序设计法	166
第三节 顺序功能图的设计	167
第四节 功能指令的应用实例	176
习题	181
第七章 PLC 控制变频器方法及编程器和编程软件的使用	183
第一节 PLC 控制变频器的方法	183
第二节 简易编程器的使用方法	188
第三节 编程软件介绍	197
附录 A 常用低压电器主要技术参数	206
附录 B 日本 OMRON 公司 C 系列可编程控制器简介	213
附录 C 日本松下电工公司 FP1 系列可编程控制器简介	215
参考文献	217

第一章 常用低压电器

第一节 概 述

在我国经济建设和人民生活中,电能的应用越来越广泛。在工业、农业、交通、国防以及人民生活的一切用电部门中,大多采用低压供电。为了安全、可靠地使用电能,电路中就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组成。随着科学技术和生产的发展,低压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 1200V、直流 1500V 以下的电气线路中起通断、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. 按用途和控制对象可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,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,包括接触器、启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、电器和机械寿命长、有相应的转换能力。

2. 按操作方式可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)作功来完成接通、分断、启动、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、启动、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,它包括交直流接触器、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,它包括按钮开关、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,对不同类型低压电器的防护形式、耐潮湿、耐腐蚀、抗冲击等性能的要求不同。

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、启动器等。

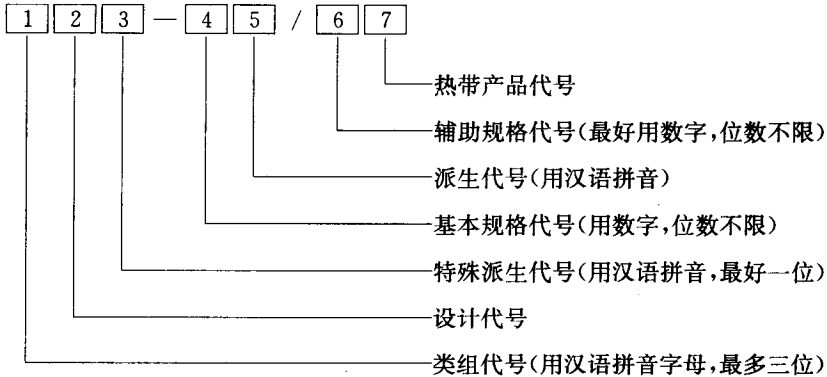
二、低压电器的基本用途

在输送电能的输电线路和各种用电场合,需要使用不同的电器来控制电路通、断,并对

电路的各种参数进行调节。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、低压电器的全型号表示法及代号含义

为了生产销售、管理和使用方便,我国对各种低压电器都按规定编制型号,即由类别代号、组别代号、设计代号、基本规格代号和辅助规格代号几部分构成低压电器的全型号。每一级代号后面可以根据需要加设派生代号。产品全型号示意如下:



低压电器全型号各部分必须使用规定的符号或数字表示,其含意为:

1. 类组代号

类组代号包括类别代号和组别代号,用汉语拼音字母表示,代表低压电器元件所属的类别,以及在同一类电器中所属的组别,见表 1-1。

2. 设计代号

设计代号表示同类低压电器元件的不同设计序列,用数字表示,位数不限,其中两位及两位以上的首位数字为:9 表示船用;8 表示防爆;7 表示纺织用;6 表示农业用;5 表示化工用。

3. 基本规格代号

基本规格代号用数字表示,表示同一系列产品中不同的规格品种。

表 1-1

低压电器产品型号类组代号

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
H	刀开关和转换开关				刀开关		封闭式负荷开关		开启式负荷开关					熔断器式刀开关	刀形转换开关					其他	组合开关
R	熔断器		插入式				汇流排式			螺旋式	封闭管式				快速	有填料管式			限流	其他	
D	低压断路器										灭磁				快速			框架式	限流	其他	塑料外壳式
K	控制器					鼓形						平面				凸轮				其他	
C	接触器					高压		交流				中频			时间	通用				其他	直流

续表

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
Q	起动器	按钮式		磁力				减压							手动		油浸		星三角	其他	综合
J	控制继电器									电流				热	时间	通用		温度		其他	中间
L	主令电器	按钮						接近开关	主令控制器						主令开关	足踏开关	旋钮	万能转换开关	行程开关	其他	
Z	电阻器		板形元件	冲片元件	铁铬铝带型元件	管形元件										烧结元件	铸铁元件			电阻器	其他
B	变阻器			旋臂式						励磁		频敏	起动		石墨	启动调速	油浸启动	液体启动	滑线式	其他	
T	调整器				电压																
M	电磁铁												牵引					起重		液压	制动
A	其他	触电保护器	插销	灯			接线盒			电铃											

4. 辅助规格代号

辅助规格代号用数字表示，表示同一系列、同一规格产品中有某种区别的不同产品。

5. 派生代号

派生代号一般用汉语拼音字母表示，最好是一位，表示系列内个别变化的特征，加注通用派生字母，见表 1-2。

其中，类组代号与设计代号的组合表示产品的系列，一般称为电器的系列号。同一系列的电器元件的用途、工作原理和结构基本相同，而规格、容量则根据需要可以有多种。例如：JR16 是热继电器的系列号，同属这一系列的热继电器的结构、工作原理都相同，但其热元件的额定电流从零点几安培到几十安培，有十几种规格。其中辅助规格代号为 3D 的有 3 相热元件，装有差动式断相保护装置，因此能对三相异步电动机有过载和断相保护功能。

四、低压电器的主要技术指标

为保证电器设备安全可靠地工作，国家对低压电器的设计、制造规定了严格的标准，合格的电器产品应符合国家标准规定的技术要求。我们在使用电器元件时，必须按照产品说明书中规定的技术条件选用。低压电器的主要技术指标有以下几项。

表 1-2 低压电器产品型号的派生代号

派生代号	代表意义	备注
A B C D...	结构设计稍有改进或变化	
C	插入式	
J	交流、防溅式	
Z	直流、自动复位、防震、重任务、正向	

续表

派生代号	代表意义	备注
W	无灭弧装置、无极性	
N	可逆、逆向	
S	有锁住机构、手动复位、防水式、三相、三个电源、双线圈	
P	电磁复位、防滴式、单相、两个电源、电压的	
K	保护式、带缓冲装置	
H	开启式	
M	密封式、灭磁、母线式	
Q	防尘式、手车式	
L	电流的	
F	高返回、带分励脱扣	
T	按(湿热带)临时措施制造	此项派生代号加注在全型号之后
TH	湿热带	
TA	干热带	

1. 绝缘强度

绝缘强度指电器元件的触头处于分断状态时，动触头之间耐受的电压值（无击穿或闪烁现象）。

2. 耐潮湿性能

耐潮湿性能指保证电器可靠工作的允许环境潮湿条件。

3. 极限允许温升

电器的导电部件，通过电流时将引起发热和温升。极限允许温升指为防止过度氧化和烧熔而规定的最高温升值（温升值=测得实际温度-环境温度）。

4. 操作频率

电器元件在单位时间（1h）内允许操作的最高次数。

5. 寿命

电器的寿命包括电寿命和机械寿命两项指标。电寿命指电器元件的触头在规定的电路条件下，正常操作额定负荷电流的总次数。机械寿命指电器元件在规定使用条件下，正常操作的总次数。

五、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。我们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。

第二节 常用低压电器的基本问题

低压电器的基本结构是由触头系统和电磁机构组成。触头是电磁式电器的执行部分，电

器就是通过触头的动作来分合被控的电路的。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又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、电器的触头和电弧

(一) 电器的触头系统

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，使有效导电面积减少，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“膜电阻”进一步增加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，以减小接触电阻；对于大中容量的低压电器，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制作触头，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。通常按接触形式将触头分为三种：点接触、线接触和面接触。如图 1-1 所示。显然，面接触时的实际接触面要比线接触的大，而线接触的又比点接触的大。

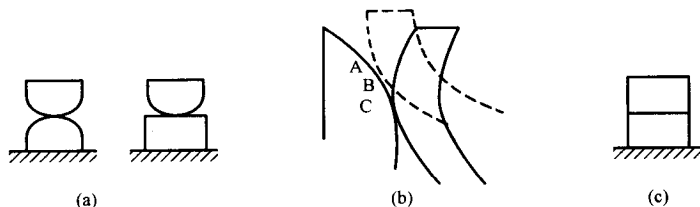


图 1-1 触头的接触形式

(a) 点接触；(b) 线接触；(c) 面接触

图 1-1 (a) 所示为点接触，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，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 1-1 (b) 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，利于去掉氧化膜。开始接触时，静、动触头在 A 点接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点，并在 C 点保持接通状态。

断开时作相反运动,这样可以在通断过程中自动清除触头表面的氧化膜。同时,长时期工作的位置不是在易烧灼的 A 点而是在 C 点,保证了触头的良好接触。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 1-1 (c) 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。

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 1-2 (b) 所示。并且随着触头闭合,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个终压力 F_2 ,如图 1-2 (c) 所示。弹簧被压缩的距离称为触头的超行程,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。

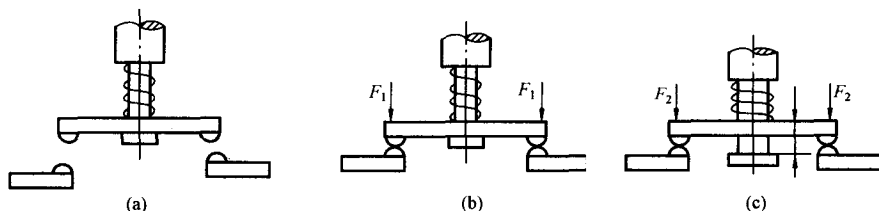


图 1-2 桥式触头闭合过程位置示意图

(a) 最终断开位置; (b) 刚刚接触位置; (c) 最终闭合位置

触头按其原始状态可分为常开触头和常闭触头。原始状态时(即线圈未通电)断开,线圈通电后闭合的触头叫常开触头。原始状态时闭合,线圈通电后断开的触头叫常闭触头。线圈断电后所有触头复原。触头按控制的电路可分为主触头和辅助触头。主触头用于接通或断开主电路,允许通过较大的电流,辅助触头用于接通或断开控制电路,只能通过较小的电流。

(二) 电弧的产生及灭弧方法

1. 电弧的产生及其物理过程

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(根据触头材料的不同,此值约为 $0.25\sim 1\text{A}$, $12\sim 20\text{V}$),触头在分断的时候就会产生电弧。

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,大量的带电粒子作定向运动,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,发出光和热的效应,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。

电弧产生的原因主要经历以下四个物理过程:

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。电子再向正极运动过程中,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,消弱电离的过程。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时,电弧就增强;当电离速度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,电弧就会熄灭。因此,要使电弧熄灭,一方面要减弱电离作用,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。根据以上分析的原理,常用的灭弧方法和装置有以下几种。

1) 电动力吹弧。图 1-3 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,电弧电流要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。

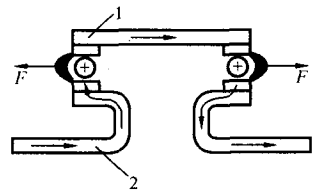


图 1-3 桥式触头灭弧原理
1—动触头; 2—静触头

2) 栅片灭弧。图 1-4 为栅片灭弧示意图。灭弧栅一般是由多片镀铜薄钢片(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 $150\sim 250\text{V}$ 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。

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 1-5 所示。

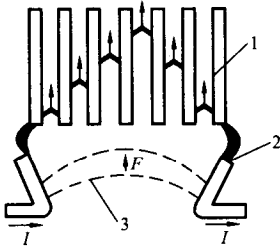


图 1-4 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片；2—触头；3—电弧

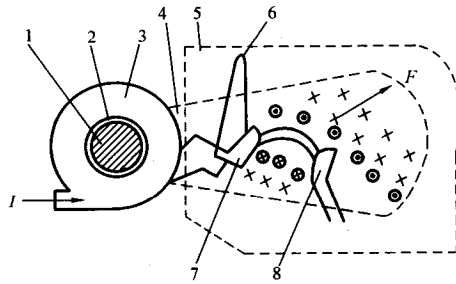


图 1-5 磁吹式灭弧装置

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

图中, 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。当触头打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向上推, 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, 这种灭弧装置利用电弧电流本身灭弧, 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(如直流接触器中)。

二、电磁机构

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

(一) 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 1-6 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。按电磁系统形状分类, 电磁机构可分为 U 形 [见图 1-6 (a)] 和 E 形 [见图 1-6 (b)] 两种。铁心按衔铁的运动方式分为如下几类:

(1) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心, 如图 1-6 (a) 所示, 其衔铁绕铁扼的棱角转动, 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 1-6 (b) 所示, 其衔铁绕轴转动, 铁心一般用硅钢片叠成, 常用于较大容量交流接触器。

(3) 衔铁作直线运动的直动式铁心, 如图 1-6 (c) 所示, 其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

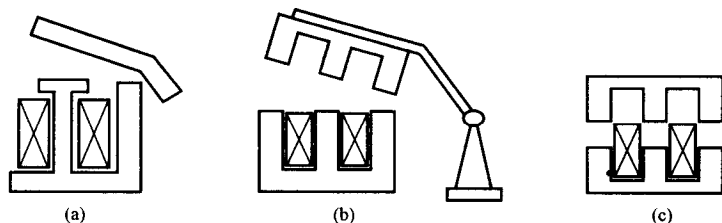


图 1-6 常用电磁机构的型式

- (a) 衔铁沿棱角转动拍合式铁心；(b) 衔铁沿轴转动拍合式铁心；
(c) 衔铁作直线运动的直动式铁心

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制成。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。

(二) 电磁机构的工作原理

电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来描述。

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。弹簧的反力与其机械形变的位移量 x 成正比，其反力特性可写成

$$F_{\text{反}} = K_1 x \quad (1-1)$$

自重的反力与气隙大小无关，如果气隙方向与重力一致，其反力特性可写成

$$F_{\text{反}} = -K_2 \quad (1-2)$$

考虑到常开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 1-7 所示。图中 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_2 处有一突变。

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，吸力可近似地按下式求得

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S = 4 \times 10^5 \frac{\Phi^2}{S} \quad (1-3)$$

式中 B ——气隙间磁通密度 (T)；

S ——吸力处气隙端面积 (m^2)；

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，反比于端面积 S ，即

$$F \propto \Phi^2 / S$$

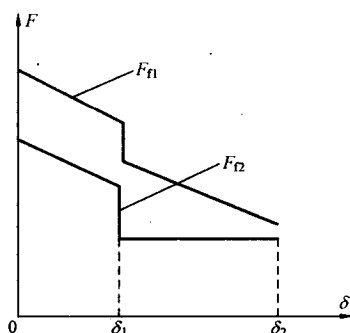


图 1-7 反力特性

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。图 1-8 (a)、(b) 所示分别为交流吸力和直流吸力特性。

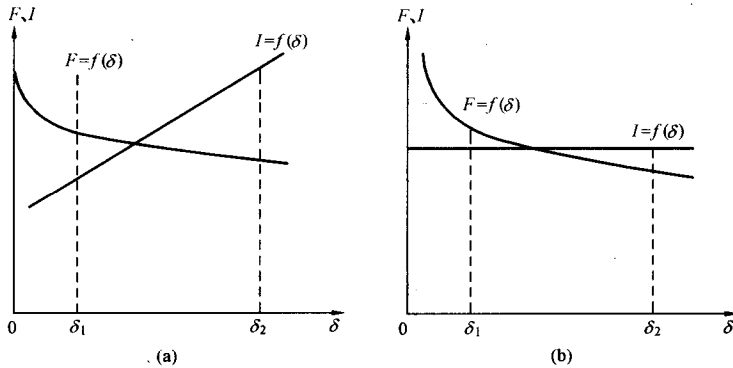


图 1-8 吸力特性

(a) 交流吸力特性；(b) 直流吸力特性

三、低压电器的主要技术性能参数

低压电器的主要技术性能指标和参数，对正确选用和使用电器元件及正确地进行设计工作是十分重要的。

1. 开关电器的通断工作类型

1) 隔离，指利用开关电器把电气设备和电源隔离开，一般用于对电气设备的带电部分进行维修时确保人身和设备的安全。隔离不仅要求各电流通路之间、电流通路和邻近的接地零部件之间应保持规定的电气间隙，电器的动、静触头之间也应保持规定的电气间隙。能满足此功能的电器称为隔离开关。

2) 无载（空载）通断，指接通或分断电路时不分管电流，分开的两触头间不会出现明显电压的情况。无载通断的开关电器仅在某些专门场所使用，如隔离开关。

3) 有载通断，相对于无载通断而言，指开关电器需接通和分断一定的负载电流。

4) 控制电动机通断，指用来接通和分断电动机的开关电器或电路，其通断能力应能满足按不同工作制工作的各种型号的电动机的控制要求。控制电动机通断的开关电器有控制开关、电动机用负荷开关、接触器和电动机用断路器及其组合控制电路等。

5) 短路条件下通断，在短路条件下能够通断负载的开关电器。断路器就是一种不仅可以接通和分断正常负载电流、电动机的工作电流和过载电流，而且还可以分断短路电流的开关电器。

2. 有关的电网参数

实际工作中，当选用开关电器时，必须考虑电网参数，即额定电压、额定频率和过电流（短路、过载）等数据。开关电器可根据其特性参数（如通断能力和使用寿命）规定不同的额定工作电压值。但开关电器的最高额定工作电压不得超过其额定绝缘电压。各种开关电器的额定绝缘电压和额定工作电压都在相应的产品样本和说明书中列出。

3. 有关额定电流的区别

当按额定电流选用开关电器时，开关电器的额定工作制（如连续工作、断续工作或短时工作等）是主要决定因素。按照开关电器的发热特性，开关电器的下列额定电流概念是不

同的。

1) 额定持续电流 I_n ，指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承载的电流值。对于可调式电器，如热继电器或热脱扣器，其连续工作电流即该电器能调整到的最高电流值。

2) 额定工作电流 I_c ，指在规定条件下，保证电器正常工作的电流值。它和额定电压、电网频率、额定工作制、使用类别、触头寿命及防护等级等诸因素有关。一个开关电器可以有不同的工作电流值。

3) 额定发热电流 I_r ，指在规定条件下试验时，电器在 8h 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。

4) 发热电流 I_c ，在约定时间内，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。

5) 分断电流 I_b ，分断操作时，在电弧开始瞬间流过电器一个极的电流值。

6) 预期分断电流 I_{pb} ，相应于分断过程开始瞬间所确定的预期电流。

7) 预期接通电流 I_{pm} ，在规定条件下，电器接通时所产生的预期电流。

4. 开关电器动作时间的参数

1) 断开时间，开关电器从断开操作开始，到所有极的触头都分开为止的时间间隔。

2) 燃弧时间，电器分断电路过程中，从触头断开（或熔断体熔断）时出现电弧的瞬间开始，至电弧完全熄灭为止的时间。

3) 分断时间，从开关电器的断开时开始起，到燃弧时间结束为止的时间。

4) 接通时间，开关电器从闭合操作开始，到电流开始流过主电路为止的时间。

5) 闭合时间，从关电器闭合操作开始，到所有极的触头都接触时为止的时间。

6) 通断时间，从电流开始在开关电器一个极流过瞬间起，到所有极的电弧最终熄灭瞬间为止的时间间隔。

5. 额定工作制

额定工作制是对元件、器件或设备所承受的一系列运行条件的分类。我国电机行业采用了 IEC34-1 标准规定的 (S1~S8) 八种工作制。

(1) S1 长期（不间断）工作制，指在恒定负载（如额定功率）下连续运行相当长时间，可以使设备达到热平衡的工作制。这时系统中的元件必须能无限期承载恒定的负载电流而无须采取任何措施，并且不会超过元件本身所允许的温升。

(2) S2 短时工作制，与空载时间相比，有载时间较短的工作制。电器元件在额定工作电流 I_c 恒定的一个工作周期内不会达到其允许温升，而在两个工作周期之间的间歇时间又很长，能使元件冷却到环境温度值。因此，在 S2 工作制下，电器元件承载电流不会超过允许温升。S2 工作制时，有载时间也就是电器元件的升温时间，它可以长到元件在此期间能达到允许温升的程度。负载电流越大，则允许的有载时间（升温时间）越短。当环境温度升高时，允许的有载时间也会相应缩短。

(3) S3 断续周期工作制，断续周期工作制时，开关电器有载时间和无载时间周期性地相互交替，有载时间和无载时间都很短，使电器元件既不能在一个有载时间内升温到额定值，也不能在一个无载时间内冷却到常温。

(4) S4 包括启动的断续周期工作制，由一系列相同的工作周期组成，每个工作周期都