

高等学校轻工专业试用教材

电器控制

袁滌非 主编

轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

电 器 控 制

袁滌非 主 编

轻工业出版社

内 容 提 要

本书共五章，主要介绍常用控制电器、基本电路控制线路和典型环节，成型电器控制线路的分析和读法、触点电路的逻辑设计以及可编程控制器（PC）等内容。

本书除介绍电器控制线路传统的经验方法外，还通过许多实例着重介绍了新兴的逻辑设计方法，内容较充实。可供电器技术及自动化专业师生使用，也可供相关专业工程技术人员参考。

高等学校轻工专业试用教材

电 器 控 制

袁静非 主 编

轻工业出版社出版

（北京安外黄寺大街甲3号）

顺义县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/16 印张：12.25字数：272千字

1991年4月 第一版第一次印刷

印数：1—4,000 定价：4.20元

ISBN 7-5019-0950-4 / TH·030

前 言

本书是在部属院校自动化专业教材编委会的具体组织和指导下，会同轻工院校有关同志编写的。本书为自动化专业试用教材，供课堂教学和现场教学使用，也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

本书内容主要包括常用控制电器、实现电器控制的基本线路和典型环节、成型电器控制线路的分析和阅读方法，电器控制线路的设计方法等。本书除介绍电器控制线路传统的经验设计方法外，还着重介绍了新兴的逻辑设计方法。近年来，由于微处理机在控制领域的广泛应用，已将电器控制技术推进到一个新阶段，作为现代电器控制技术发展的一个方面，本书还介绍了可编程序控制及其在逻辑控制中的应用。

本书的主干是第一章、第二章和第四章。使用本教材的学校可根据自己的具体情况选取其中的部分章节讲授，不必面面俱到。可根据各部分内容的特点灵活采用课堂教学和现场教学。本书所选用的电器控制线路多属常见的成熟线路和典型环节，可配合现场教学使用。书中每章后均附有一定数量的习题，供复习时参考，也可选择其中的某些当作业题。

本书由郑州轻工业学院袁瀚非同志主编，天津轻工业学院赵志武副教授主审。第一、三章由姚光国同志编写，第二章由陈宾山同志编写，第四章由袁瀚非同志编写，第五章由陈晏如同志编写，于才思同志参加了第一章的编写工作。

在本书编写过程中，承蒙天津轻工业学院陆端华副教授、上海轻工业专科学校黄涵文副教授等的热情指导和帮助，谨致以衷心感谢。

由于我们水平有限，书中难免错误和不妥之处，恳请专家和使用本书的同志们不吝指正，深表谢忱。

编 者

7-0507-105

目 录

第一章 常用控制电器	1
§ 1—1 控制电器的分类和基本原理.....	1
§ 1—2 控制元件.....	11
§ 1—3 信号元件.....	20
§ 1—4 执行元件.....	28
§ 1—5 低压配电电器.....	31
习题一.....	38
第二章 基本电器控制线路	39
§ 2—1 电器控制线路的绘制.....	39
§ 2—2 三相异步电动机起动控制线路.....	44
§ 2—3 三相异步电动机制动控制线路.....	57
§ 2—4 鼠笼式多速异步电动机的控制线路.....	64
§ 2—5 电器控制线路的其它典型环节.....	70
§ 2—6 电器控制线路的经验设计.....	74
习题二.....	80
第三章 电器控制线路实例分析	83
§ 3—1 阅读和分析电器控制线路图的方法.....	83
§ 3—2 摇臂钻床电器控制线路.....	92
§ 3—3 铣床电器控制线路.....	95
§ 3—4 起重机电器控制系统.....	100
§ 3—5 液压环式电镀机自动控制线路.....	106
习题三.....	113
第四章 触点电路的逻辑设计	114
§ 4—1 触点电路的化简.....	114
§ 4—2 组合电路与时序电路.....	123
§ 4—3 时序电路的逻辑设计.....	126
§ 4—4 继电器组的设置.....	132
§ 4—5 应用举例.....	145
习题四.....	155
第五章 可编程序控制器 (PC)	159
§ 5—1 概述.....	159
§ 5—2 EX系列PC的指令与编程.....	164
§ 5—3 F系列PC的指令及编程.....	175

§ 5—4 PC在万能剃齿机上的应用.....	182
习题五	187
参考文献	188

第一章 常用控制电器

电器是自动控制的重要元件之一。现在，无论在工厂、矿山以及交通运输方面都已广泛地采用自动化及半自动化生产。生产过程的自动化意味着带有电气拖动的许多工作枢纽间密切和可靠地组合。它们间的密切联系和相互配合已不能光靠机械的装置去完成，而必须更多地借助于电器。举例来说，一个多电动机传动的巨型龙门刨床，它的主电动机带动工作台，而工作台在切削时要向前运动，以后又要向后退回。在向前进行切削的时候，速度要慢些，而在空刀无切削时则要快些；需要在试车时慢些，在正常工作时快些；又需要在切削过载时能自动地减轻负载；当油泵电动机没有启动以前工作台电动机不能启动……等等。这些要求无疑地要由许多电器来配合完成。

电器的用途很广，职能多样，品种规格繁多。本章主要介绍在工矿企业中常用的控制电器。

§ 1—1 控制电器的分类和基本原理

一、控制电器的定义和分类

电器是对于电能的生产、输送、分配和应用起控制、调节、检测及保护等作用的工具之总称。如开关、熔断器、变阻器等都属电器。

为了便于讨论、突出共性，我们把能够按照外界指定讯号手动或自动地接通和断开电路，实现对电路控制的电器称为控制电器。如熔断器、开关等即为控制电器。

很显然，由控制电器的定义知其功能是接通或断开电路；且其功能与外界指定的讯号有关。外界指定讯号对控制电器的作用即为控制电器的输入；控制电器对电路的通、断功能即为控制电器的输出。控制电器的输出只有通断二种状态，其输入也只能有二种状态。因此，控制电器是一种双态元件。我们把控制电器接通电路的状态记作输出置“1”状态，断开电路记作输出置“0”状态，则控制电器可以被看成为一种逻辑元件。

控制电器按动力的不同，分为自动控制电器和非自动控制电器两类。例如，刀开关由人力直接操作，属于非自动控制电器；接触器由电磁力操作，则属于自动控制电器。

按控制电器工作电压的高低，以交流1000 V、直流1200 V为界，可划分为高压控制电器和低压控制电器两大类。

按控制电器的输出形式，又可分为：

有触点控制电器——电器通断电路的功能由触点来实现，如刀开关、接触器等；

无触点控制电器——电器通断电路的功能不是通过接触，而是根据输出信号的高低电平来实现的，如可控硅的导通与截止等；

在执行通断功能的转换过程中,引入转换深度的概念,转换深度可按下式计算

$$h = R_{DK} / R_{ST} \quad (1-1)$$

式中 h 为转换深度, R_{DK} 为断开或截止时执行电路的电阻值(Ω), R_{ST} 为接通或导通时执行电路的电阻值(Ω), 对有触点电器 $h = 10^{10} \sim 10^{14}$, 对无触点电器 $h = 10^4 \sim 10^7$ 。

按其控制对象不同,控制电器分为电器控制系统用和电力系统用控制电器。本书叙述的为电器控制系统用电器。

以控制电器在电器控制系统中的作用来看,我们可以把控制电器分为信号元件和控制元件两大类:

(1) 信号元件——用以把非电量(如机械位移、压力、温度等)的变化转换为电信号的控制电器。这类元件有按钮、压力继电器、行程开关、热继电器等。

(2) 控制元件——是一种电器逻辑门。常见的为“是门”和“非门”,其输入和输出都是电信号。在电器控制系统中,它将信号元件和控制元件的输出经逻辑运算后的结果作为输入。因其节点数较多,且可以互相隔离,故输出可以同时分别控制自身、其他控制元件和执行元件(如电动机、电磁阀等)。这类元件有电磁式继电器、接触器等。

电器的分类方法很多,且相互交叉、复盖。即某一电器按不同分类方法,分属不同种类。如工作电压为380V的交流接触器,按不同分类方法分属:低压电器、有触点电器、电器控制系统用电器。

二、电磁式控制电器的基本结构和原理

从结构上看,电磁式控制电器有三个基本组成部分:触点、电磁机构和灭弧装置。

(一) 触点

触点是一切有触点电器的执行部件,这些电器就是通过触点的动作来接通和断开被控制电路的。

1. 触点的分断过程及电弧的产生

触点通常由动、静触头组合而成。两个触头之间的接触,从本质上来说是许多个点的接触。因此,在两个触头分开时势必最终要出现只有一个点在接触的现象。如果原先触点处于闭合状态、两个触点间有电流流过;此时该点处的电流密度惊人地增大(可达 $10^3 \sim 10^8 \text{ A/cm}^2$),致使触头金属熔化,并随着触头的互相分离形成熔化了的高温金属液桥。一旦金属液桥被拉断,触头就完全分开,而在断口处立即产生电弧。如果随着触头的分离,电弧被熄灭了,则相应的电路才被断开。

电弧实际上是一种气体放电现象。所谓气体放电,就是气体中有大量的带电质点作定向运动。当触点分离的瞬间,动、静触头的间隙很小,电路电压几乎全部降落在触点之间,在触点间形成很高的电场强度,以致发生场致发射。发射的自由电子在电场作用下向阳极加速运动。高速运动的电子撞击气体原子时产生撞击电离。电离出的电子在向阳极运动过程中又将撞击其他原子,又使其他原子电离。撞击电离的正离子则向阴极加速运动,撞在阴极上会使阴极温度逐渐升高,到达一定温度时,会发生热电子发射。热发射的电子又参与撞击电离。这样,在触头间隙中形成了炽热的电子流即电弧。

电弧一经形成，在弧隙中产生大量热能，其间的原子以很高的速度作不规则的运动并相互剧烈撞击，撞击结果使原子造成电离，这种因高温使原子撞击所产生的电离称为气体热游离。特别当触头表面的金属蒸气进入弧隙后，气体热游离的作用更占主要地位。

显然，电压越高，电流越大、即电弧功率越大，弧区温度越高，游离程度越烈、电弧亦越强。

应当指出，伴随着电离的进行也存在着消电离的现象。消电离主要是通过正、负带电质点的复合进行的。温度越低，带电质点运动越慢，越容易复合。

带电触点的分断过程就是电弧的形成及抑制的过程。

2. 触点的接通过程及电接触原理

有触点电器接通被控电路是靠触点的闭合来实现的。一般说来，触头的接触面积越大，触点的接触电阻越小，则触点接通电路的性能越好。所以，触头一般都选用导电率高的金属材料做成的。

但不论什么金属表面，即使加工粗糙度再低，也不可能形成理想的光滑表面。即两个金属接触面总是凹凸不平的，只有少数的点才真正接触上的。因此，当触点接通电路时，触点实际上通电截面很小。此外，金属在空气中不免要氧化或硫化，在其表面生成氧化膜或硫化膜，而后的电阻率比金属本体要大得多，这都使得触头接触处的电阻增大。在触头接触处的电阻称为触头接触电阻。为了减少损耗、降低温升，希望接触电阻尽量小些。

接触电阻的大小与触头的接触形式、接触压力、触头材料电阻率、机械性能、表面状况有关。一般说接触面积大，接触压力大，触头材料电阻率小、塑性形变好、表面光滑的触头接触电阻较小。

触头在从分离到闭合的接通过程中，经常发生机械振动，即触头的闭合—分离—再闭合过程的重复。产生振动的原因可以从撞击的角度来解释。一般，触点是通过弹簧机构以保证有一定的接触压力，使接触可靠（如图 i-2 所示）。在触头闭合瞬间，动触头要撞击静触头，随之，动触头在反作用力作用下被反弹，而使动静触头分离、动触头弹簧被压缩。一旦弹簧的张力大于该反作用力，动触头又被推向与静触头接触。这样，动静触头又碰撞、反弹。但弹回的距离一次比一次小，直到弹跳完全停歇，触点完全闭合。除机械碰撞外，触点电流仅从两触头间少数接触点流过，形成收缩状电流线，触头间的收缩电流产生的电动力也能导致触头振动，特别是当接通较大电流时，电动力的影响更加显著。

触头的机械振动会使触头表面产生电气磨损。即触头弹跳时两触头间形成电弧，致使触头表面有部分金属被熔化，每次接触过程中动静触头间的相对滑动将熔化的金属带走；此外，熔化了的金属还可能飞溅或蒸发，而金属蒸气又可能被气流或磁吹作用所冲走，使触头材料越来越少，形成电气磨损的后果。当触头接触表面有熔化的金属时，一旦机械振动过程结束后，熔化了的金属便因失去电弧产生的大量热量而凝固，使动静触头粘在一起，再也不能分开，而发生熔焊现象。

电气磨损会缩短触头的使用期限，熔焊更使电器不能正常工作。防止的办法是减少

触头的振动。根据力学原理,适当增大触头弹簧的初压力、减小触头质量、降低触头的接通速度都可减少振动。

3. 触头的基本结构形式

(1) 触点的接触形式 触点的接触形式有点接触(如球面对球面、球面对平面等)、线接触(如圆柱对平面、圆柱对圆柱等)和面接触(如平面对平面)三种。如图 1-1 所示,其中(a)是点接触;(b)是线接触;(c)是面接触。

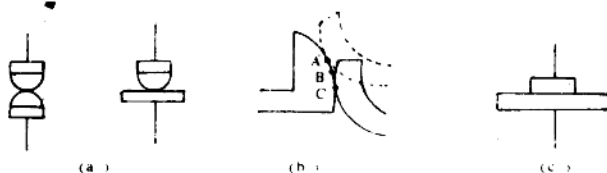


图 1-1 触点的三种接触形式

三种接触形式中,点接触的接触点数最少,因此它只能用于小电流的电器中,如接触器的辅助触点和继电器的触点。面接触的接触点最多,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,以减小触点接触电阻和提高耐磨性,多用于较大容量接触器的主触点。线接触的接触区域是一条直线。其触点在通断过程中有滚动动作,如图 1-1(b)所示。开始接触时,动静触头在A点接触,靠弹簧的压力经B点滚到C点。断开时作相反运动。这样可以清除触点表面的氧化膜;同时长期工作的位置是在C点而不是在易烧灼的A点,从而保证了触点的良好接触。这种滚动线接触多用于中等容量的触点,如接触器的主触点。

(2) 触点的结构形式 在常用继电器和接触器中,触点的结构形式主要有单断点指形触头和双断点桥式触头。

图 1-1(b)所示为单断点指形触头。该触头的特点是只有一个断口,一般多用于接触器的主触点。其优点为:

a. 闭合、断开过程中有滚滑运动,能自动清除表面的氧化物,以保证接触可靠。可采用铜或铜基合金触头材料。

b. 触头接触压力大,电动稳定性高。

c. 触头参数较易调节。

其缺点是:

a. 触头开距大,从而增大了电器体积。

b. 触头闭合时冲击能量大,并有软连接,不利于机械寿命的提高。

图 1-2 为双断点桥式触头的结构示意图。这种触头的优点是:

a. 具有两个有效灭弧区域,灭弧效果很好。小容量交流接触器或继电器采用这种

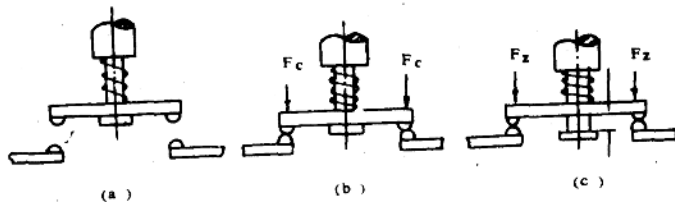


图 1-2 双断点桥式触点

(a) 最终断开位置 (b) 刚刚接触位置 (c) 最终闭合位置

触头时，可利用两个断点，增长了电弧长度，有利于熄弧。

b. 触点开距小，使电器结构紧凑，体积小。

c. 触头闭合时冲击能量小，无软连接，有利于提高机械寿命。

这种触点的缺点是：

a. 触头不能自动净化，触头材料必须用银或银基合金。

b. 每个触点的接触压力小，电动稳定性较低。

c. 触头参数不易调节。

(3) 触点的初压力、终压力和超程 为了减小接触电阻及减弱触头接触点的振动，需要在触点间加一定的压力。此压力一般由弹簧产生的。当动触头与静触头刚接触时，由于安装时动触头的弹簧已经被预先压缩了一段，因而产生一个初压力 F_c （如图 1-2 (b) 所示）。初压力的作用是削弱接触振动，它可通过调节触头弹簧预压缩量来增减。触点闭合后弹簧在运动机构作用下被进一步压缩，运动机构运动终止时，弹簧产生的压力为终压力 F_z （如图 1-2 (c) 所示）。终压力的作用是减小接触电阻。弹簧被进一步压缩的距离/称为触点的超程，超程越大终压力亦越大。有了超程，使触头在被磨损的情况下仍具有一定的接触压力，使之能继续正常工作。当然，磨损严重时仍应及时更换触头。

(二) 灭弧原理及灭弧装置

如前所述，当动静触头于通电状态下脱离接触时，两者之间的间隙会产生电弧。电弧的存在既妨碍了电路及时可靠地分断，又会使触头受到磨损。为此，必须采取适当且有效的措施，以保护触头系统，降低它的磨损，提高它的分断能力，从而保证整个电器的工作安全可靠。

根据前述电弧产生的物理过程可知，欲使电弧熄灭，应设法降低电弧区温度和电场强度，加强消电离作用。当电离速度低于消电离速度时，电弧即逐渐熄灭。常用的灭弧方法有拉长电弧、切断或分隔电弧等。

1. 多断点灭弧

在交流继电器和接触器中常采用桥式触头（如图 1-2 所示），这种触头有二个断点。交流电路在过零后，若一对断点处电弧重燃需要 $150 \sim 250 \text{ V}$ 电压，则二对断点就需要 $300 \sim 500 \text{ V}$ 电压。若断点电压达不到此值，电弧过零后因不能重燃而熄灭。一般交流

继电器和小电流接触器采用桥式触头灭弧，而不再加设其他灭弧装置。

当采用双极或三极接触器控制一条电路时，可灵活地将二个极或三个极串联起来作为一个触点使用，这组触点便成为多断点的，其灭弧效果将大大提高。

2. 磁吹式灭弧装置

这种灭弧装置的原理是使电弧处于磁场中间，电磁场力“吹”长电弧，使其进入冷却装置，加速电弧冷却，促使电弧迅速熄灭。

图 1-3 是磁吹式灭弧装置的原理图。其磁场由与触点电路串联的吹弧线圈 3 产生，当电流逆时针流经吹弧线圈时，其产生的磁通经铁芯 1 和导磁铜片 4 引向触点周围。触点周围的磁通方向为由纸面流入，如图中“×”符号所示。由左手定则可知，电弧在吹弧线圈磁场中受到向上方向的力 F 的作用，电弧向上运动，被拉长并被吹入灭弧罩 5 中。灭弧角 6 和静触头相连接，引导电弧向上运动，将热量传递给灭弧罩壁，促使电弧熄灭。

这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧，电弧电流越大，吹弧能力越强，且不受电路电流方向影响（当电流方向改变时，磁场方向随之改变，结果电磁力方向不变）。它广泛地应用于直流接触器中。

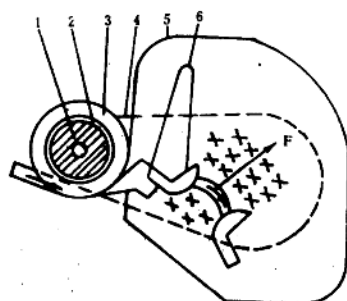


图 1-3 磁吹式灭弧装置

1-铁芯 2-绝缘管 3-吹弧线圈
4-导磁铜片 5-灭弧罩 6-灭弧角

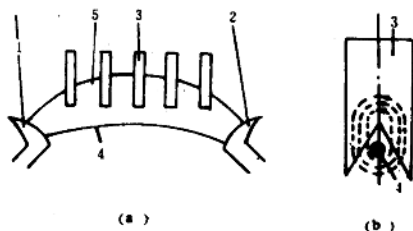


图 1-4 灭弧栅灭弧原理

(a) 栅片灭弧原理 (b) 电弧进入栅片的图形

1-静触头 2-动触头 3-灭弧栅片
4-长电弧 5-短电弧

3. 灭弧栅 灭弧栅的原理图如图 1-4 所示。灭弧栅 3 是由许多镀铜薄钢片组成，片间距离为 2~3 mm，安放在触点上方的灭弧罩内（图中未画出灭弧罩）。一旦发生电弧，电弧周围产生磁场，导磁的钢片将电弧吸入栅片，电弧被栅片分割成许多串联的短电弧。交流电压过零时，电弧自然熄灭；电弧要重燃，两栅片间必须有 150~250 V 电压降。这样，一方面电源电压不足以维持电弧，同时由于栅片的散热作用，电弧自然熄灭后很难重燃。

这是一种很常用的交流灭弧装置。

4 灭弧罩 上面提到的磁吹式灭弧装置和灭弧栅灭弧装置都带有灭弧罩，它通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。其作用一是分隔各路电弧，以防止发生短路；二是使电弧与灭弧罩的绝缘壁接触，使电弧迅速冷却而熄灭。

(三) 电磁机构

电磁机构是电磁式继电器和接触器的主要组成部分之一，它将电磁能转换成机械能，带动触头使之闭合或断开。

1. 电磁机构的形式

电磁机构由吸引线圈（激磁线圈）和磁路两个部分组成。磁路包括铁芯、铁轭、衔铁和空气隙。吸引线圈通以电流后激励磁场，并利用气隙把电磁能转换为机械能，带动衔铁运动以完成触点的断开和闭合。

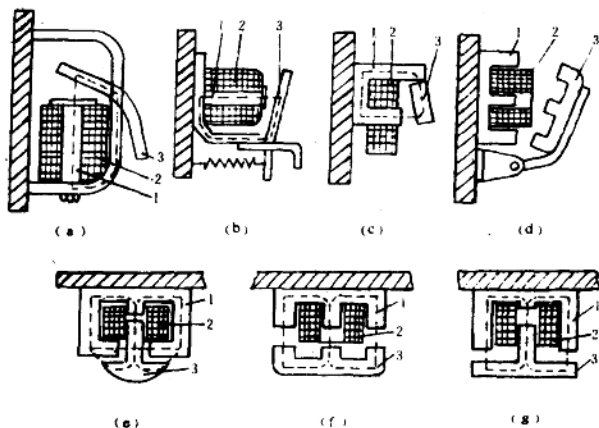


图 1-5 常用电磁机构的形式

1—铁芯 2—线圈 3—衔铁

电磁机构的分类如下：

(1) 按衔铁的运动方式分为：

a. 衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯。如图 1-5 (a) 和 (b) 所示，其衔铁绕铁轭的棱角转动，磨损较小，铁芯用软铁制成，适用于直流继电器和接触器。

b. 衔铁沿轴转动的拍合式铁芯。如图 1-5 (c) 和 (d) 所示，其衔铁绕轴而转动，用于交流接触器，铁芯用硅钢片迭成。

c. 衔铁作直线运动的直动式铁芯。如图 1-5 (e)、(f) 和 (g) 所示，衔铁在线圈内成直线运动，较多用于交流接触器和继电器中。

(2) 按磁系统形状分类，电磁机构可分为 U 形（如图 1-5 (c)）和 E 形（如图 1-5 (d) 所示）两种。

(3) 按激磁线圈的种类，可分为交流线圈和直流线圈两种。

(4) 按激磁线圈的联接方式，可分为并联（电压线圈）和串联（电流线圈）两种。

2. 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表征。电磁机构使衔铁吸合的力与

气隙的关系曲线称为吸力特性，电磁机构使衔铁释放（复位）的力与气隙的关系曲线称为反力特性。

(1) 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（如图 1-5(b) 所示）；一种是利用衔铁的自身重力（如图 1-5(d) 所示）。

弹簧的反力与其形变的位移 x 成正比，其反力特性可写成

$$F_{反1} = K_1 x \quad (1-2)$$

自重的反力与气隙大小无关，如果气隙方向与重力一致（如图 1-5(e)、(f) 和 (g) 所示），其反力特性可写成

$$F_{反2} = K_2 \quad (1-3)$$

考虑到常开触点闭合时超行程机构的弹力作用，上述二种反力特性曲线如图 1-6 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_2 处有一突变。

(2) 吸力特性 电磁机构的电磁吸力可近似地按下式求得

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

式中 B —气隙磁通密度 (T)

S —吸力处端面积 (m^2)

F —电磁吸力 (N)

当端面积 S 为常数时，吸力 F 与磁密 B^2 成正比，也可以认为 F 与磁通 Φ^2 成正比，即

$$F \propto \Phi^2 \quad (1-5)$$

电磁机构的吸力特性反映的是其电磁吸力与气隙的关系。由于激磁电流的种类对吸力特性的影响很大，所以要对交、直流电磁机构的吸力特性分别进行讨论。

a. 交流电磁机构的吸力特性 交流电磁机构激磁线圈的阻抗主要取决于线圈的电阻（电阻相对很小），则

$$U \approx E = 4.44 f \Phi W \quad (1-6)$$

$$\Phi = \frac{U}{4.44 f W} \quad (1-7)$$

式中 U —线圈电压 (V)

E —线圈感应电势 (V)

f —线圈外加电压的频率 (Hz)

Φ —气隙磁通 (wb)

W —线圈匝数

当频率 f 、匝数 W 和外加电压 U 都为常数时，由式 (1-7) 知磁通 Φ 亦为常数。由式 (1-5) 又可知，此时电磁吸力 F 为常数（因为交流激磁时，电压、磁通都随时间作周期性变化，其电磁吸力也作周期变化。此处 F 为常数是指电磁吸力的幅值不变）。由

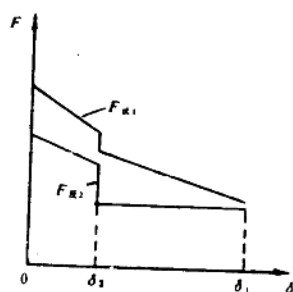


图 1-6 反力特性

于线圈外加电压 U 与气隙 δ 的变化无关, 所以其吸力 F 亦与气隙 δ 的大小无关。实际上, 考虑到漏磁通的影响, 吸力 F 随气隙 δ 的减小略有增加。其吸力特性如图1-7所示。

虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变, 但气隙磁阻随气隙长度 δ 而变化。根据磁路定律

$$\Phi = \frac{IW}{R_m} = \frac{IW}{\frac{\delta}{\mu_0 S}} = \frac{(IW)(\mu_0 S)}{\delta} \quad (1-8)$$

可知, 交流激磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比 (如图1-7所示)。一般U型交流电磁机构, 激磁线圈通电而衔铁尚未动作时, 其电流达到吸合后额定电流的5~6倍; E型电磁机构则达到10~15倍额定电流。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁动作, 交流激磁线圈很可能烧毁。所以在可靠性要求高或操作频繁的场所, 一般不采用交流电磁机构。

b. 直流电磁机构的吸力特性 直流电磁机构由直流电流激磁。稳态时, 磁路对电路无影响, 所以可认为其激磁电流不受气隙变化的影响。即其磁势 WI 不受气隙变化的影响。

由式(1-8)和(1-5)知, 此时

$$F \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{\delta}\right)^2 \quad (1-9)$$

即直流电磁机构的吸力 F 与气隙 δ 的平方成反比。其吸力特性如图1-8所示。它表明衔铁闭合前后吸力变化很大, 气隙越小, 吸力越大。

由于衔铁闭合前后激磁线圈的电流不变, 所以直流电磁机构适于动作频繁的场所, 且吸合后电磁吸力大, 工作可靠性好。

需要指出的是, 当直流电磁机构的激磁线圈断电时, 磁势就由 WI 急速变为接近于零。电磁机构的磁通也发生相应的急速变化, 因而就会在激磁线圈中感生很大反电势。

此反电势可达线圈额定电压的10~20倍, 易使线圈因过电压而损坏。为减小此反电势, 可在激磁线圈上并联一个放电电阻 R 。这样, 在线圈断电时, 该电阻与线圈形成一个放电电路, 使原先贮于磁场中的能量得以转换成热能消耗在电阻上, 而不致产生过电压。从降低过电压出发, 电阻 R 宜小一些, 但这都会导致长期工作时能量的损耗增大。为解决这个矛盾, 可以与电阻串联一个二极管 (如图1-9所示), 使正常工作时放电电路不通电。通常, 放电电阻的电阻值可取为线圈电阻的6~8倍。

c. 剩磁的吸力特性 由于铁磁物质有剩磁, 它使电磁机构的激磁线圈失电后仍有一定的磁性吸力存

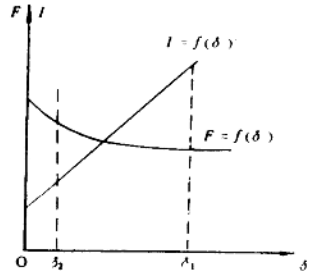


图1-7 交流吸力特性

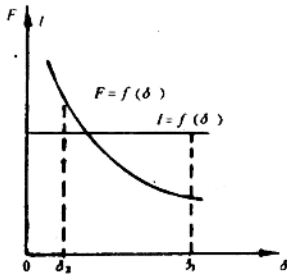


图1-8 直流电磁机构的吸力特性

在。剩磁的吸力随气隙 δ 的增大而减小。剩磁的吸力特性如图 1-10 曲线 4 所示。

(3) 吸力特性与反力特性的配合 电磁机构欲使衔铁吸合, 在整个吸合过程中, 吸力都必须大于反力; 但也不能过大, 否则会影响电器的机械寿命。反映在特性图上, 就是要保证吸力特性在反力特性的上方。当切断电磁机构的激磁电流以释放衔铁时, 其反力特性必须大于剩磁吸力, 才能保证衔铁可靠释放。所以在特性图上, 电磁机构的反力特性必须介于电磁吸力特性和剩磁吸力特性之间 (如图 1-10 所示)。

在实际使用中, 常常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的配合。

对于单相交流电磁机构, 由于交流磁通过零时吸力也为零, 吸合后的衔铁在反力作用下将被拉开; 磁通过零后吸力增大, 当吸力大于反力时衔铁又吸合。这样, 在交流电每周期内衔铁吸力要两次过零, 使衔铁产生强烈震动和噪音, 甚至使铁芯松散。为避免衔铁振动, 如图 1-11 所示在铁芯端面上装一个用铜制成的分磁环 (或称短路环)。当电磁机构的交变磁通穿过短路环所包围的截面 S_2 时, 环中产生了涡流。根据电磁感应定律, 此涡流产生的磁通 ϕ_2 在相位上落后于截面 S_1 中的磁通 ϕ_1 。这样, 铁芯中有二个不同相的磁通 ϕ_1 和 ϕ_2 , 电磁机构的吸力为它们产生的吸力 F_1 和 F_2 之和。只要此合力始终大于反力, 衔铁的振动现象就消除了。

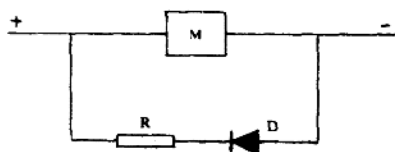


图 1-9 直流线圈的放电电路

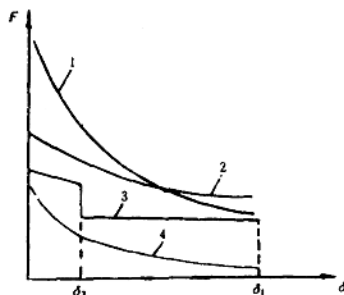


图 1-10 吸力特性和反力特性

1 直流吸力特性 2 交流吸力特性
3 反力特性 4 剩磁吸力特性

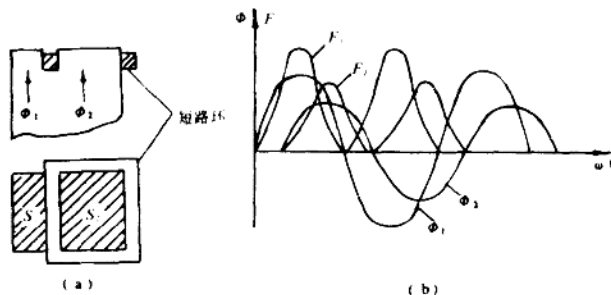


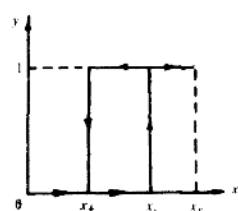
图 1-11 加短路环后的磁通和电磁吸力

(a) 磁通示意图 (b) 电磁吸力图

(4) 电磁机构的输入—输出特性 电磁机构激磁线圈的电压(或电流)为其输入量, 衔铁的位置为其输出量, 衔铁位置与激磁线圈的电压(或电流)的关系称为输入—输出特性。

若以 y 代表电磁机构的输出量, 并将衔铁处于吸合位置记作 $y = 1$; 把衔铁处于释放位置记作 $y = 0$ 。由上面分析可知, 当吸力特性处于反力特性上方时, 衔铁被吸合; 当吸力特性处于衔铁的下方时, 衔铁被释放。若电磁机构的输入量用 x 来表示, 使吸力特性处于反力特性上方的最小输入量以 x_c 表示, 一般称其为电磁机构的动作值; 使吸力特性处于反力特性下方的最大输入量以 x_f 表示, 一般称其为返回值。为使电器工作可靠起见, 一般的额定输入量 x_e 大于 x_c 。

电磁机构的输入—输出特性如图 1-12 所示: 当输入量 $x < x_c$ 时衔铁不动作, 其输出量 $y = 0$; 当 $x = x_c$ 时, 衔铁吸合, 输出量 y 从零跃变为 1; 再进一步增大输入量使 $x > x_c$, 则输出量仍为 $y = 1$ 。当输入量 x 从 x_c 减小的时候, 在 $x > x_f$ 的过程中虽然吸力特性向下降低, 但因衔铁吸合状态下的吸力仍比反力大, 所以衔铁不会释放, 输出量 $y = 1$; 当 $x = x_f$ 时, 因吸力小于反力, 衔铁才释放, 输出量由 1 突变为零; 再减小输入量, 输出量仍为零。



可见, 电磁机构的输入—输出特性为一矩形曲线, 此类矩形特性曲线统称为继电特性。

图 1-12 电磁机构的输入—输出特性——继电特性

§ 1 2 控制元件

一、接 触 器

接触器是用来接通或切断具有较大负载电流(如电动机)电路的一种电磁式控制电器。它的基本结构和原理在第一节中已叙述, 这里仅就接触器的特点和主要技术数据作些介绍。

(一) 接触器的分类

接触器一般都拥有能通断大电流电路的主触点和只能通断较小电流电路的辅助触点。因为主触点要接通和切断大电流电路, 所以一般都没有专门的灭弧装置。

接触器按其主触点用来通断电流的种类分为直流接触器和交流接触器(如图 1-13 和图 1-14 所示)。

按其激磁线圈激磁电流的种类, 又可分为交流激磁的直流接触器、直流激磁的直流接触器和交流激磁的交流接触器、直流激磁的交流接触器。

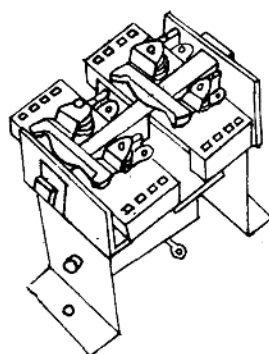


图 1-13 CZO 直流接触器

(二) 接触器的主要技术数据

1. 额定电压