

高职高专煤炭专业系列教材

Dianqi Kongzhi Jishu Ji Yingyong

电气控制技术的应用

淮南职业技术学院组织编写

主编 郝 坤 刘国华 王海波

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高职高专煤炭专业系列教材

电气控制技术的应用

淮南职业技术学院组织编写

主 编 郝 坤 刘国华 王海波
副主编 施 翔 官 佳

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括:常用低压电器及基本控制电路,PLC 基础,三菱 FX 系列 PLC 编程基础及应用指令,西门子 S7—200 系列 PLC 基础及功能指令,交流变频调速基础,现代电气控制技术在矿山机械中的应用等。

本书可作为矿山电气(自动化)、煤矿机电、机电一体化等专业的高职教材,也可作为成人高校、高级技师学院、中等专业学校相关专业的教材,还可作为工矿企业从事电气控制工程技术人员培训、复训的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术及应用 / 郝坤,刘国华,王海波主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.9

ISBN 978-7-5646-1588-8

I. ①电… II. ①郝…②刘…③王… III. ①电气控制 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 185851 号

书 名 电气控制技术及应用
主 编 郝 坤 刘国华 王海波
责任编辑 孟 茜 何 戈
责任校对 付继娟
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 20 字数 495 千字
版次印次 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷
定 价 27.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

低压电器及常用控制电路、可编程控制器及变频调速技术是高职机电类专业的必修内容。本书选择目前国内广泛使用的三菱 FX、西门子 S7—200 两个系列为例,介绍了可编程序控制器(PLC)的工作原理、硬件结构、编程元件与指令系统,重点介绍了梯形图的经验设计法、时序控制系统梯形图的设计方法,根据继电器电路图设计梯形图的方法、根据顺序功能图设计顺序控制梯形图等编程方法。这些设计方法很容易掌握,应用这些方法可以得心应手地设计出复杂的开关量控制系统的梯形图。本书结合现代煤矿生产机械电气控制技术的应用列举了部分实例,注重培养学生分析工程问题、解决现场实际问题的能力,充分体现当前高职教育改革思路和要求。

本教材在知识结构的安排上充分体现高职特色。以突出实践技能为主线,以典型线路为分析对象,全面系统地介绍了电气控制技术的方法和思路。本教材可作为高职院校的工业电气自动化、电气控制技术、机电一体化及相关专业的教材使用,在内容的编写上结合了职业技能鉴定考核的有关内容,使本教材可作为职业技能考核的重要参考书之一,也可以作为工程技术人员的参考书。

本教材内容共分 9 章,其中第一章介绍了常用低压电器及控制电路,主要内容包括常用低压电器、三相异步电动机的控制电路等。第二章介绍了 PLC 基础。第三~第五章介绍了三菱 FX 系列 PLC,主要包括 FX 系列 PLC 基本指令、编程方法、应用指令等。第六~第七章介绍了西门子 S7—200 系列 PLC 及其基本指令、功能指令。第八章介绍了交流变频调速基础。第九章介绍了现代电气控制技术在矿山机械中的应用。

本教材由郝坤、刘国华、王海波主编,具体编写分工如下:淮南职业技术学院郝坤编写第三~第六章;淮南职业技术学院刘国华编写第七章;淮南职业技术学院王海波编写绪论、第一章、第二章、第九章;淮南职业技术学院施翔编写

第八章;淮南技术职业技术学院宫佳编写附录。全书由郝坤统稿。

尽管在教材编写方面做出了许多努力,但由于编者水平有限,书中难免存在一些疏漏和不妥之处,恳请各教学单位和读者在使用本教材时多提一些宝贵的意见和建议,以便下次修订时改进。

编 者

2012年5月

目 录

绪论	1
第一章 常用低压电器及基本控制电路	3
第一节 低压电器的基本知识	3
第二节 开关电器	10
第三节 熔断器	14
第四节 接触器	15
第五节 继电器	18
第六节 主令电器	24
第七节 三相笼式异步电动机全压启动控制电路	28
第八节 三相笼式异步电动机降压控制电路	35
第九节 三相笼式异步电动机制动控制电路	41
第十节 三相笼式异步电动机调速	46
习题	47
第二章 PLC 基础	48
第一节 PLC 的发展、结构、特点及其应用	48
第二节 PLC 的基本工作原理	52
第三节 PLC 的硬件结构及编程语言	58
习题	65
第三章 FX 系列 PLC 及基本逻辑指令	66
第一节 FX 系列 PLC 概述	66
第二节 FX 系列 PLC 的编程元件	72
第三节 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	82
第四节 PLC 梯形图编程规则与程序分析	87
习题	90
第四章 FX 系列 PLC 的编程方法	94
第一节 常用基本环节编程	94
第二节 基本指令的编程方法与应用	101
第三节 步进指令	106

第四节	顺序控制梯形图编程实例	120
第五节	具有多种工作方式的系统的编程方法	130
	习题	140
第五章	PLC 应用指令及编程软件	144
第一节	功能指令	144
第二节	FXGP/WIN—C 编程软件及其使用	173
	习题	182
第六章	S7—200 系列 PLC 及其基本指令	184
第一节	S7—200 系列 PLC	184
第二节	I/O 的地址分配与外部接线	193
第三节	存储器的数据类型与寻址方式	195
第四节	位逻辑指令	203
第五节	定时器与计数器指令	209
	习题	212
第七章	S7—200 系列 PLC 的功能指令	215
第一节	S7—200 的指令规约	215
第二节	程序控制指令	217
第三节	局部变量表与子程序	219
第四节	数据处理指令	223
第五节	数学运算指令	234
第六节	中断程序与中断指令	238
第七节	高速计数器与高速脉冲输出指令	243
	习题	250
第八章	交流变频调速基础	252
第一节	概述	252
第二节	变频器的分类	254
第三节	变频技术中常用的电力电子器件	256
第四节	变频调速的基本原理	266
第五节	变频器的安装条件与抗干扰	268
	习题	271
第九章	现代电气控制技术在矿山机械中的应用	272
第一节	PLC 在矿用隔爆组合开关中的应用	272
第二节	PLC 在煤矿井下主排水泵控制系统中的应用	275

第三节 变频器技术在采煤机牵引电动机控制回路中的应用·····	278
附录 矿井提升机 PLC 电气控制交流调速系统设计指导·····	286
参考文献·····	309

绪 论

一、本课程的性质与任务

电气控制技术是一门实践性很强的专业课,主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电器、PLC 控制系统及调速系统。在每个系统中将详细分析系统的工作原理、典型电路、应用程序及设计方法。电气控制技术应用广泛,只要有工厂,有机电设备控制要求,就会有电气控制技术的应用。继电器控制系统具有结构简单、维护容易及成本低等特点,现在仍然是工厂设备最常用的电气控制方式,随着低电压器向小型化、模块化、功能化及高可靠性方向的不断发展,继电器控制系统在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位;可编程序控制器(PLC)是现代工业控制技术的最重要手段之一,是一种数字运算操作的电子系统,专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令,并通过数字式、模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。它实现了工业控制领域接线逻辑到存储逻辑的飞跃;随着企业自动化程度的不断提高,已经得到越来越广泛的应用;随着电力电子技术和微电子技术的迅速发展,现代控制理论向交流电气传动控制领域不断深入,使得通用变频器的性能得到了很大提高,以变频器应用技术为代表的交流传动控制已经成为电气传动技术的主流。本教材从应用角度出发,从典型电路的实例分析入手,讲授电气控制技术,以培养学生对电气控制系统的实例分析功能、工程应用能力和基本设计能力。

本课程的基本任务是:

熟悉常用低压电器的结构原理、型号参数、应用场合,使学生具有正确使用和选择器件的能力。

熟悉、掌握继电器控制系统的基本环节,使学生具有对一般电气控制线路的独立分析能力。

掌握 PLC 的基本知识及编程方法,使学生具有正确选择机型、编写应用程序和设计简单的 PLC 控制系统的能力。

掌握变频器的基本知识及使用方法,使学生具有将变频器应用于交流传动控制系统的能力。

了解 PLC 技术、变频技术在煤矿机电设备电气控制系统中的应用。

二、电气控制技术的发展概况

电气控制技术是随着科学技术的发展和对生产工艺不断提出新要求而迅速发展起来的。回顾电气控制技术的发展历程,它已经从手动控制发展到自动控制、从断续控制发展到连续控制、从有触点的硬件控制发展到以微处理器为核心的软件控制。随着新的控制理论、新型器件的出现,电气控制技术仍将继续发展。

在生产机械电力拖动的早期,主要采用电气控制线路比较简单的集中拖动方式,即一台

电动机拖动多台生产设备。后来随着生产机械功能的增多,其机械结构越来越复杂,为简化传动机构也就随之出现了分散拖动方式,即各个传动机构分别由不同的电动机拖动,使电气控制电路复杂化。对于以开关量控制为主的断续控制方式,普遍采用由低压电气组成的继电器控制系统。这种控制系统的缺点是往往需要在多种低压电器之间进行复杂的硬件接线,才能实现某一固定的逻辑功能。若想改变其控制功能就必须改变继电器的硬件接线,显然这样的控制电路使用起来不灵活,触点易损坏,可靠性差。

从 20 世纪中叶开始,企业为了提高生产效率而寻求另外一种全新的控制方式。设想有这样一种控制装置,它既有计算机控制的功能性、灵活性、通用性,又具有继电器控制方式的简单性、操作方便性、价廉性,这就是可编程序控制器,它的出现开创了以微电子技术为核心的数字化电气控制技术的新局面,它用软件手段来实现各种控制功能,这一全新的技术很快得到了飞速发展。现在的 PLC 不仅具有逻辑控制功能,而且还增加了数据运算、传送与处理等功能,成为具有计算机功能的一种通用工业自动控制装置。目前在国际上,可编程序控制器已作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制领域。

20 世纪中叶,电气传动控制领域进行了一场重要的技术变革,即原来只能用于恒速传动的交流电动机实现了速度控制,而引发这一技术变革的导火索就是变频器。在近 20 年的时间内,变频器经历了由模拟控制到数字控制、由采用 BJT 器件到采用 IGBT 器件两个大的发展进程。目前从一般要求的小范围调速传动到高精度、快响应、大范围的调速传动,从单机传动到多机协调,几乎都可采用交流调速传动。

随着信息时代的到来,电气控制技术相继出现了直接数字控制系统(DDC)、集散控制系统(DCS)、现场总线控制系统等高新技术,这些高新技术将电气控制技术推进到了更高的水平。

综上所述,电气控制技术的发展总是和社会生产力的发展状况息息相关、社会生产规模的扩大、生产水平的提高要求电气控制技术不断地发展创新,而电气控制技术的进步又促进了社会生产力的发展。可以相信,电气控制技术的发展必将给人类带来更加美好的明天。

第一章 常用低压电器及基本控制电路

低压电器是电力拖动自动控制系统的基本组成元件,控制系统的可靠性、先进性、经济性与所用的低压电器有着直接的关系,作为电气技术人员必须熟练掌握低压电器的结构、原理,并能正确选用和维护。本章主要介绍国家标准规定的常用低压电器的结构、工作原理、规格、型号、用途、使用方法及各种电器的图形和文字符号,为合理使用和正确选择低压电器打基础。

第一节 低压电器的基本知识

一、低压电器的定义和分类

(一) 低压电器的定义

凡能手动或自动地接通或断开电路,实现断续或连续地改变电路参数,以达到对电路或非电路对象的控制、切换、保护、检测、变换和调节作用的电气元件统称为电器。

低压电器通常是指工作在交流电压小于 1 200 V 或直流电压小于 1 500 V 电路中的电气控制设备。

(二) 低压电器的分类

电器的种类繁多,结构各异,用途不同。其分类如下:

(1) 按电器的动作性质分,有手动电器和自动电器两大类。手动电器是由人手操纵的电器,如闸刀开关、按钮、手动 Y— Δ 启动器等。自动电器是按指令信号或某个物理量(如电压、电流、时间、速度、位移等)的变化而自动工作的电器,如各种接触器、继电器、行程开关等。

(2) 按电器的性能和用途分,有控制电器和保护电器两大类。控制电器用来控制电路的接通、断开及控制电动机的各种运行状态,如刀开关、按钮、接触器等。保护电器用于保护电源、线路和电动机,如熔断器、热继电器等。

(3) 按有无触点分,有无触点电器和有触点电器两大类。以上叙述的电器均为有触点电器,由这些有触点电器组成继电器控制系统。这种系统不仅可以实现生产过程自动控制,还可以实现集中控制和远距离控制,且具有结构简单、成本低、抗干扰能力强、调整维护容易等优点。因此,目前大部分工矿企业仍使用这种有触点电器。

无触点电器是指现代化的电力拖动系统中的晶体管无触点逻辑元件、电子程序控制器件、数字控制系统以及计算机控制系统等。

(4) 按工作原理分,有电磁式电器和非电量控制电器两大类。电磁式电器根据电磁感应原理来工作,如交流接触器和各种电磁式继电器。非电量控制电器是根据非电量(压力、温度、时间、速度等)的变化而工作的电器。如按钮、行程开关、压力继电器、时间继电器、热

继电器、速度继电器等。

二、电磁式电器的工作原理和结构特点

电磁式电器类型很多,从结构上看大都由两个基本部分组成,即感测部分和执行部分。感测部分接受外界输入信号并做出一定的反应。执行部分根据感测部分做出的反应而动作,实现电路的接通、断开等控制。对于有触点的电磁式电器,感测部分是指电磁机构,执行部分是指触点系统。

电磁机构是电磁式电器的感测部分,它的主要作用是将电磁能量转换为机械能量,带动触点动作,从而接通或切断电路。电磁机构由吸引线圈、铁芯和衔铁等几部分组成。

(一) 电磁机构的结构类型

电磁机构根据磁路和衔铁的动作方式分为各种类型。如图 1-1 所示,铁芯有 E 型、双 E 型、U 型、甲壳螺管型,衔铁动作方式分为直动式、转动式。电磁机构可分为三种类型。

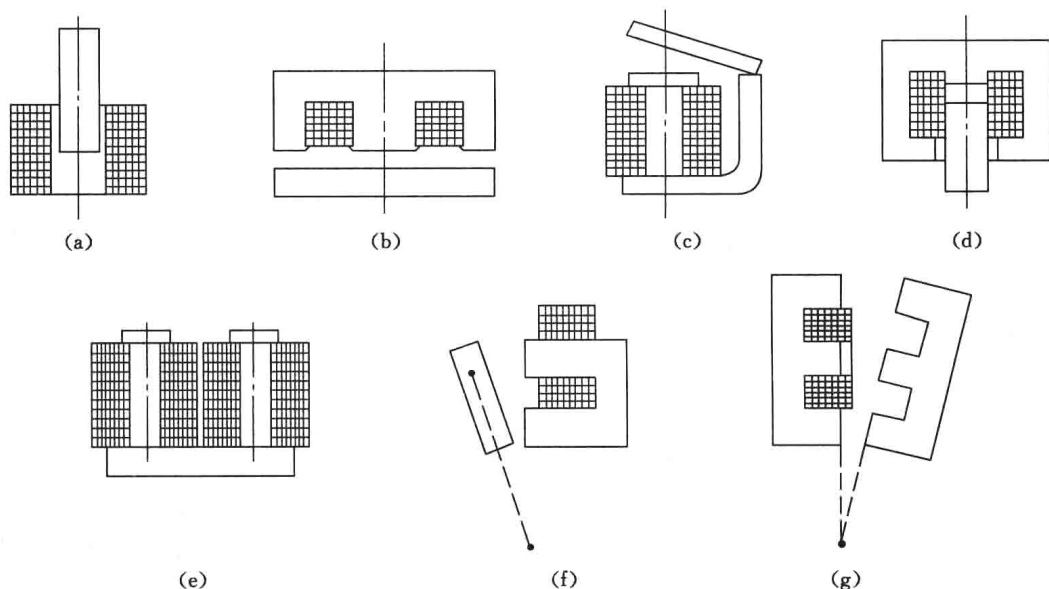


图 1-1 电磁机构的结构类型

(a)、(d) 螺管式;(b)、(e) 直动式;(c)、(f)、(g) 转动式

(1) 衔铁沿直线运动的双 E 型直动式铁芯,如图 1-1(b)、(e)所示。一般用于交流接触器、继电器。

(2) 衔铁沿轴转动的拍合式铁芯,如图 1-1(f)、(g)所示。多用于触点容量较大的交流电器中。

(3) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯,如图 1-1(c)所示。一般用于直流电器中。

吸引线圈用于将电能转化为磁场能。按通入线圈的电源种类分为直流线圈和交流线圈。因此又分为直流电磁铁和交流电磁铁。直流电磁铁只有线圈发热而铁芯不发热,因此吸引线圈做成细长形,且不设骨架,线圈和铁芯直接接触,以利于散热。交流电磁铁的铁芯存在磁滞损耗和涡流损耗,线圈和铁芯都发热,因此线圈做成短粗形,且设有骨架,使铁芯和线圈隔离,以利于散热。

(二) 电磁机构工作原理

当吸引线圈通入电流后,产生磁场,磁通经铁芯、衔铁和工作气隙形成闭合回路,产生电磁吸力,将衔铁吸向铁芯。与此同时,衔铁还受到反作用弹簧的拉力,只有当电磁吸力大于弹簧反力时,衔铁才能可靠地被铁芯吸住。而当吸引线圈断电时,电磁吸力消失,衔铁在弹簧的作用下,使衔铁与铁芯脱离,即衔铁释放。电磁机构的吸合特性常用吸力特性和反力特性来表达。

当电磁机构吸引线圈通电后,铁芯吸引衔铁的吸合力与气隙的关系曲线称为吸力特性。电磁机构使衔铁释放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大多是利用弹簧的反力,由于弹簧的反力与其机械变形的位移量 x 成正比,其反力特性可以写成

$$F_n = K_1 \cdot x$$

考虑到常开触点闭合时超行程机构的弹力作用,利用弹簧的反力特性,如图 1-2(a)所示。其中 δ_1 为电磁机构气隙的初始值, δ_2 为动、静触点开始时的气隙长度。由于超行程机构的弹力作用,反力特性在 δ_2 处有一突变。

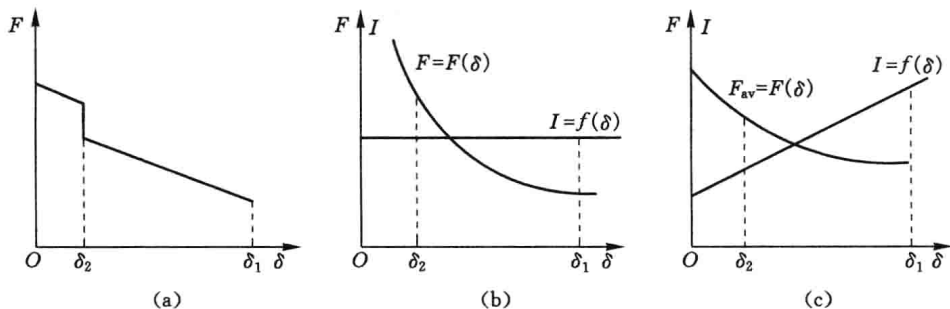


图 1-2 电磁机构反力特性与吸力特性

(a) 反力特性;(b) 直流电磁机构吸力特性;(c) 交流电磁机构吸力特性

2. 直流电磁机构的吸力特性

电磁机构的吸力与很多因素有关,当铁芯与衔铁端面互相平行,且气隙较小时,吸力可按下式求得

$$F = 4B^2 S \times 10^5$$

式中 F ——电磁机构衔铁所受的吸力,N;

B ——气隙的磁感应强度,T;

S ——吸力处端面积, mm^2 。

当端面积 S 为常数时,吸力 F 与 B^2 成正比,也可认为 F 与磁通 ϕ^2 成正比,与端面积 S 成反比,即

$$F \propto \frac{\Phi^2}{S}$$

对于直流电磁机构,当直流励磁电流处于稳态时,直流磁路对直流电路无影响,所以励磁电流不受励磁气隙的影响,其磁势 IN 不受磁路气隙的影响,根据欧姆定律

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} = IN \times \mu_0 S / \delta = IN \mu_0 S / \delta$$

而电磁力 $F \propto \Phi^2 / S$, 则

$$F \propto \Phi^2 \propto 1/\delta^2$$

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 1-2(b) 所示。由此可以看出, 衔铁吸合前后变化很大, 气隙越小, 吸力越大。但衔铁吸合前后吸引线圈励磁电流不变, 故直流电磁机构适用于动作频繁的场所, 且衔铁吸合后电磁吸力大, 工作可靠。但直流电磁机构吸引线圈断电时, 由于电磁感应, 将在吸引线圈中产生很大的反电势, 其中可达线圈额定电压的 10 倍, 将使线圈因过电压而损坏, 为此, 常在吸引线圈旁并联一个放电回路, 该回路由一个放电电阻与一个硅二极管组成。正常励磁时, 因二极管处于截止状态, 放电电路不起作用, 而当吸引线圈断电时, 放电回路导通, 将原先储存在线圈中的磁场能量释放出来消耗在电阻上, 不致产生过电压。一般放电电阻值取线圈支路电阻的 6~8 倍。

3. 交流电磁机构的吸力特性

交流电磁机构吸引线圈的电阻远比其磁抗值小, 在忽略线圈电阻的漏磁情况下, 线圈电压与磁通量(简称磁通)关系为

$$U \approx E = 4.44 f \Phi_m N$$

$$\Phi_m = U / (4.44 f N)$$

式中 U ——线圈电压有效值, V;

E ——线圈感应电势, V;

f ——线圈电压的频率, Hz;

N ——线圈匝数;

Φ_m ——气隙磁通量的最大值, Wb。

当外加电源电压 U 、频率 f 和线圈匝数 N 为常数时, 则气隙磁通 Φ_m 亦为常数, 而电磁吸力 F 平均值为常数。这是由于交流励磁时, 电压、磁通都随时间按正弦变化, 电磁吸力也在按周期变化, 现分析如下。

设气隙中磁感应强度按正弦规律变化, 即 $B(t) = B_m \sin \omega t$, 则交流电磁机构电磁吸力的瞬时值为

$$\begin{aligned} F(t) &= 4B^2(t)S \times 10^5 = 4B_m^2 \times 10^5 \sin^2 \omega t \\ &= 2 \times 10^5 B_m^2 S (1 - \cos 2\omega t) = 4B^2 S (1 - \cos 2\omega t) \times 10^5 \\ &= 4B^2 S \times 10^5 - 4B^2 S \times 10^5 \cos 2\omega t \\ &= F_{av} - F_j \end{aligned}$$

式中, $B = B_m / \sqrt{2}$ 为正弦量 $B(t)$ 的有效值。当 $t=0$ 时, $\cos 2\omega t = 1$, 于是 $F(t) = 0$ 为最小值; 当 $t = T/4$ 时, $\cos 2\omega t = -1$, 于是 $F(t) = 8B^2 S \times 10^5 = F_m$ 为最大值。在一个周期内的平均值为

$$F_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt = 4 \times 10^5 B^2 S / T \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt = 4B^2 S \times 10^5$$

由上式可知, 交流磁感应强度 B 虽按正弦规律变化, 但交流电磁力却是脉动的, 且方向不变, 它由两部分组成: 一部分为平均吸力 F_{av} , 其值为最大值吸力 F_m 的一半, 即 $F_{av} = 4B^2 S \times$

10^5 ;另一部分为以两倍电源频率周期变化的交流分量 $F_1 = 4B^2 S \times 10^5 \cos 2\omega t$, 所以交流电磁机构的电磁吸力随时间变化如图 1-3 所示。吸力在 0 和最大值 $F_m = 8B^2 S \times 10^5$ 的范围内以两倍的电源频率变化。

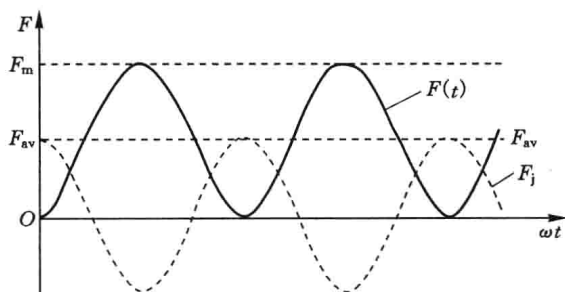


图 1-3 交流电磁机构吸力随时间变化情况

由以上分析可知,交流电磁机构具有以下特点:

(1) $F(t)$ 是脉动的,在 50 Hz 的工频下,1 s 内 100 次过零点,因而引起衔铁振动,产生机械噪声和机械损坏,应加以克服。

(2) 因 $U = 4.44 f N \Phi_m$, 当 U 一定时, Φ_m 也一定。不管有无气隙, Φ_m 基本不变。所以,交流电磁机构电磁吸力平均值基本不变,即平均吸力与气隙 δ 的大小无关。实际上,考虑到漏磁通的影响,平均吸力 F_{av} 随气隙 δ 的减小而略有增加,其吸力特性如图 1-2(c) 所示。

(3) 交流电磁机构在衔铁未吸合时,磁路中因气隙磁阻的加大,维持同样的磁通 Φ_m , 所需的励磁电流即线圈电流,比吸合后无气隙时所需电流大得多。对于 U 型交流电磁机构,在线圈已通电但衔铁尚未动作时的励磁电流为衔铁吸合后的额定电流的 5~6 倍;对于 E 型电磁机构则高达 10~15 倍。

(4) 剩磁的吸力特性。由于铁磁物质存有剩磁,它使电磁机构的励磁线圈断电后仍有一定的剩磁力存在,剩磁力随气隙 δ 增大而减小。剩磁的吸力特性如图 1-4 中曲线 4 所示。

(5) 吸力特性与反力特性的配合。电磁机构欲使衔铁吸合,应在整个吸合过程中,吸力都必须大于反力,但也不宜过大,否则会影响电器的机械寿命。

(6) 交流电磁机构上短路环的作用。电磁机构在工作中,衔铁总受到反作用弹簧的拉力作用。当电磁吸力大于反作用弹簧拉力时,因产生的电磁吸力是脉动的,使电磁吸力时而大于反作用弹簧拉力,时而小于反作用弹簧拉力,使得衔铁产生脉动。消除振动的措施是在铁芯中引入短路环。具体方法为:在交流电磁铁铁芯柱距端面 1/3 处开一个槽,槽内嵌入铜环(又称短路环或分磁环),如图 1-5 所示。当吸引线圈通入交流电时,由于短路环的作用,使铁芯中的磁通分为两部分,即通过短路环的磁通和不通过短路环的磁通。两部分磁通存在相位差,两者不会同时为零,如果短路环设计得合理,则使得合成电磁吸力总大于反作用弹簧拉力,衔铁吸合时就不会产生振动和噪声。

三、电器的触点系统和电弧

(一) 触点和触点系统

触点是直接用来接通或断开被控电路的部件。在非激励(吸引线圈不带电)状态下,处于断开状态的触点称为常开(动合)触点,反之称为常闭(动断)触点。还可以把触点分为静

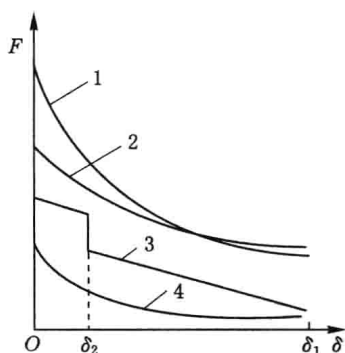


图 1-4 电磁机构吸力特性与反力特性的配合

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

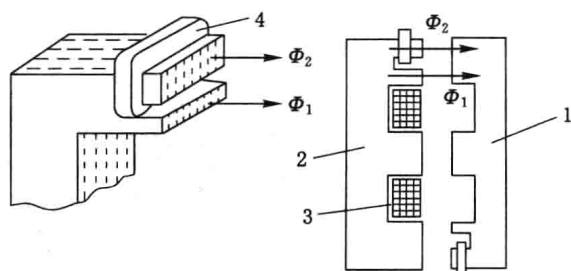


图 1-5 交流电磁铁的短路环

1——衔铁；2——铁芯；
3——线圈；4——短路环

触点和动触点，在线圈通断电时保持静止不动的为静触点；而随着衔铁运动，实现闭合与分断的为动触点。

触点通常有以下几种形式：

(1) 桥式触点。图 1-6(a)所示为两个点接触的桥式触点，图 1-6(b)所示为两个面接触的桥式触点。两个触点串接于同一电路，共同完成电路的通、断。点接触型适用于小电流、触点压力小的场合；面接触型适用于大电流的场合。

(2) 指式触点。图 1-6(c)所示为指式触点，其接触区为一直线，触点动作时产生滚动摩擦，以利于去掉氧化膜，适用于接通次数多、电流大的场合。

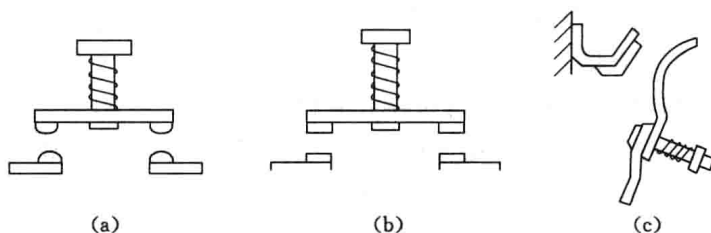


图 1-6 触点的结构形式

(a) 点接触桥式触点；(b) 面接触桥式触点；(c) 指式触点

触点通常采用具有良好导电、导热性能的铜材料制成，但铜的表面易产生氧化膜，增大触点表面的接触电阻，使损耗增大，温度升高。对于一些继电器或容量小的电器，触点常用银质材料制成，这样可以增加导电、导热性能，降低氧化膜电阻率（银质氧化膜的电阻率和纯银相似），且银质氧化膜只有在高温下才能形成，又容易被粉化。对于容量大的电器，触点采用滚动接触时，可将氧化膜去掉，也常用铜质触点。

触点上通常装有接触弹簧，在触点刚刚接触时产生初压力，随着触点的闭合压力增大，使接触电阻减小，触点接触更加紧密，并消除触点开始闭合时产生的振动。

(二) 电弧及灭弧系统

实践证明，电气设备的开关电器切断有电流的电路时，如果触点间电压大于 10 V，电流

超过 80 mA, 触点间就可能会产生强烈而耀眼的光柱, 即电弧。电弧是电流流过空间气隙的现象, 说明电路中仍有电流通过。当电弧持续不熄时, 会产生很多危险: 延长了开关电器切断电路的时间; 由于电弧的温度很高, 如果电弧长时间燃烧, 不仅将触点表面的金属熔化或蒸发, 而且使电弧附近电器绝缘材料烧坏, 引起事故; 使油开关的内部温度和压力剧增引起爆炸; 形成飞弧造成电源短路事故。因此应在开关电器中采取有效措施, 使电弧迅速熄灭。

1. 电弧的形成

当开关电器的触点分离时, 触点间的距离很小, 触点间电压即使很低, 电场强度也很大 ($E=U/d$), 在触点表面由于强电场发射和热电子发射产生的自由电子, 逐渐加速运动, 并在间隙中不断与介质的中性质点产生碰撞游离, 使自由电子的数量不断增加, 导致介质被击穿, 引起弧光放电, 弧隙温度剧增, 产生热游离, 不断有大量自由电子产生, 间隙由绝缘变成导电通道, 电弧持续燃烧。

2. 电弧的熄灭

在电弧产生的同时, 还伴随着一个相反的过程, 即去游离, 也就是异性带电质点相互中和形成中性质点。它主要表现为正负离子的复合和离子向弧道周围的扩散。因此, 电弧的产生和熄灭, 是游离和去游离作用的结果。当游离作用大于去游离作用时, 电弧电流越来越大, 电弧持续燃烧; 当游离作用小于去游离作用时, 电弧电流越来越小, 直至电弧熄灭。因此, 为迅速灭弧, 要人为增大去游离的作用。

3. 常用的灭弧装置

(1) 电动力吹弧。桥式双断口触点电动力吹弧系统如图 1-7 所示, 当触点分断时, 根据左手定则, 触点的两个断口处的电弧分别受到电动力 F 的作用, 使电弧拉长、弯曲、冷却而熄灭, 由于两个断口是串联的关系, 使每个断口处电弧的电压为全部电压的一半, 有助于灭弧。这种灭弧方式广泛应用在中小容量的交流电路中。

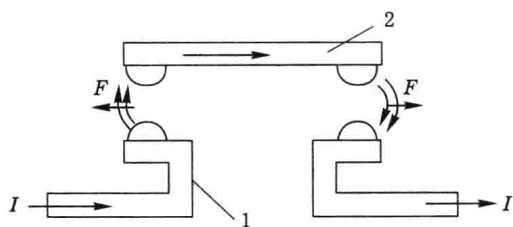


图 1-7 桥式双断口触点电动力吹弧系统

1——静触点; 2——动触点;
I——工作电流; F——电动力

(2) 磁吹式灭弧装置。磁吹式灭弧装置的原理如图 1-8 所示。这种灭弧装置由磁吹线圈 1、灭弧角 6 和灭弧罩 5 等部分组成。磁吹线圈由扁铜条弯成并串联在负载电路中, 中间装有铁芯 2, 它们之间有绝缘套筒 3, 铁芯两端装有两片铁质的导磁夹板 4, 放在灭弧罩内的触点就处在夹板之间。磁吹线圈和触点串联, 流过触点的负载电流也流过磁吹线圈。负载电流的方向如图 1-8 所示。触点刚一断开时产生电弧, 电弧电流在电弧四周形成一个磁场, 其方向可以用右手螺旋法则来确定。在电弧上方磁通方向是 \odot ; 电弧下方磁通方向是 \oplus 。流过磁吹线圈的电流在铁芯 2 中产生磁通并经过一边夹板, 穿过夹板的间隙进入另一边夹板而形成闭合磁路, 其方向如图所示, 用“+”表示。这样, 两个磁场在电弧上方因方向相反而被削弱, 在电弧下方因方向相同而被增强。受磁场力 F 的作用, 电弧将被向上拉长。灭弧角 6 与静触点相连, 引导电弧向上快速运动。电弧被拉长并与空气相对运动, 相当于降低了电场强度和电弧温度。当电源电压不足以维持电