



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

(第二版)

电器控制与PLC

DIANQI KONGZHI YU PLC

□ 主 编 丁学恭
副主编 陆长明 杨正川 楼晓春



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

电器控制与 PLC

(第二版)

主 编 丁学恭

副主编 陆长明 杨正川 楼晓春



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电器控制与 PLC / 丁学恭主编. —2 版. —杭州: 浙江大学出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-308-13616-7

I. ①电… II. ①丁… III. ①电气控制—高等职业教育—教材 ②plc 技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM571.2
②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 170983 号

内容简介

本书较系统地介绍了常用低压电器, 电器控制线路基本环节及设计方法, 三菱 F2 系列、欧姆龙 C 系列、松下 FP 系列可编程控制器的基本结构, 工作原理, 指令系统, 编程方法, PLC 控制系统的设计, 并附有应用实例和适量的习题。本书注重实用, 联系实际, 深入浅出, 便于教学, 可作为高职高专院校自动化、机电一体化、电气工程及相近专业的教材, 也可作为电子技术、电气技术、自动化技术工程人员的参考书。

电器控制与 PLC(第二版)

丁学恭 主编

封面设计 刘依群

责任编辑 王 波

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 20.5

字 数 498 千

版 印 次 2014 年 8 月第 2 版 2014 年 8 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-13616-7

定 价 40.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

前 言

本书是在原高教“十一五”国家级规划教材基础上,根据高等职业教育要求编写而成。本书将“工厂电气控制设备”、“可编程控制器及应用”课程进行了有机整合,并融合了企业岗位维修电工应用技术、机床线路维修技术的知识和技能,系统阐述了企业生产过程中典型电器控制系统和 PLC 控制系统设计与应用的一般方法。

本书以电气控制工程技术应用和维修电工岗位职业技能要求为重点,编写内容上及时反映新元件、新产品和新技术,注重职业能力的培养,突出企业岗位需求的技术能力训练项目、典型性和实用性案例分析与设计,并附有适量的习题、训练项目和案例。

本书在教学内容设计上,注重应用,联系实际,深入浅出,便于教学,可以作为高职高专院校、成人教育学院以及自学考试电气自动化、机电一体化、电气工程及相关专业的教材,也可以作为企业电子技术、电气技术、自动化技术工程人员的参考用书。

全书分为两篇共六章。第一篇电器控制,内容包括:常用的低压电器、电器控制线路的基本原则和基本环节、典型设备电器控制系统分析,以及技能考核、故障分析排除及基本控制电路的装接等。第二篇 PLC 控制,内容包括:PLC(三菱 F2 系列、欧姆龙 C 系列、松下 FP 系列可编程控制器)基本结构、工作原理、指令系统和编程方法;PLC 控制系统的设计和应用实例。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 4 月

目 录

第一篇 电器控制

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 电磁式低压电器的结构和工作原理	1
1.1.1 低压电器的分类	1
1.1.2 电磁机构	2
1.1.3 触点系统	5
1.1.4 电弧的产生和灭弧装置	7
1.2 接触器	8
1.2.1 接触器结构	8
1.2.2 接触器的型号及符号含义	9
1.2.3 接触器的主要技术参数	11
1.2.4 接触器的选用	12
1.2.5 接触器的维护、常见故障及处理	12
1.3 继电器	14
1.3.1 电磁式继电器	15
1.3.2 时间继电器	19
1.3.3 热继电器	21
1.3.4 速度继电器	23
1.4 熔断器	24
1.5 主令电器	26
1.5.1 控制按钮	27
1.5.2 行程开关	27
1.5.3 接近开关	29
1.5.4 万能转换开关	30
1.5.5 主令控制器	32
1.6 刀开关	33
1.7 低压断路器	34
1.8 其他控制电器	36
1.8.1 电磁铁	36



1.8.2 液压控制元件·····	37
1.8.3 气动控制元件·····	37
习题与思考题 ·····	38
第2章 电器控制线路的基本原则和基本环节 ·····	39
2.1 电器控制线路的绘制·····	39
2.1.1 电气原理图·····	39
2.1.2 电器元件布置图·····	40
2.1.3 电气接线图·····	40
2.2 鼠笼电动机简单的起、停控制 ·····	41
2.2.1 线路工作情况·····	42
2.2.2 线路的保护环节·····	43
2.3 电器控制线路的基本规律·····	43
2.3.1 联锁控制的规律·····	43
2.3.2 自动往复的行程控制规律·····	46
2.3.3 多点起、停联锁控制 ·····	47
2.3.4 电液控制·····	48
2.4 三相异步电动机的起动控制·····	50
2.4.1 鼠笼式电动机降压起动的控制·····	51
2.4.2 三相绕线式异步电动机起动的控制·····	56
2.5 三相异步电动机的制动控制·····	58
2.5.1 三相鼠笼式异步电动机的反接制动控制·····	58
2.5.2 三相鼠笼式异步电动机的能耗制动控制·····	60
2.6 三相异步电动机的调速控制·····	61
2.6.1 多速机的调速控制·····	61
2.6.2 绕线式电动机转子串电阻的调速控制·····	63
2.7 电器控制线路中常用的保护环节·····	63
2.7.1 短路保护·····	63
2.7.2 过电流保护·····	64
2.7.3 过载保护·····	65
2.7.4 零电压和欠电压保护·····	65
习题与思考题 ·····	65
附录 2-1 考核练习题(附答案)·····	68
2-2 基本控制电路的装接·····	75
第3章 电气控制系统的设计与分析 ·····	91
3.1 电气控制系统设计的内容和基本原则·····	91
3.1.1 电气控制系统设计的基本内容·····	91
3.1.2 电力拖动方案确定的原则·····	92

3.1.3 控制方案确定的原则	93
3.1.4 电气控制系统设计的一般原则	93
3.2 继电器接触器控制系统的设计	97
3.2.1 控制系统的工艺要求	97
3.2.2 控制线路设计步骤	97
3.3 CA6140 普通车床电气控制系统	99
3.3.1 主要结构及运动特点	99
3.3.2 CA6140 型普通车床控制线路分析	100
3.4 Z3040 摇臂钻床电气控制系统	102
3.4.1 主要构造和运动情况	102
3.4.2 Z3040 摇臂钻床电气原理图分析	103
3.4.3 Z3040 摇臂钻床电路位置图	107
3.4.4 Z3040 摇臂钻床常见电器故障分析	107
3.5 X62W 万能铣床电气控制系统	108
3.5.1 X62W 卧式万能铣床的工作原理	108
3.5.2 X62W 卧式万能铣床电气原理图分析	109
3.6 T68 镗床电气控制系统	114
3.6.1 T68 型镗床工作原理	114
3.6.2 T68 卧式镗床电气原理图分析	114
3.7 组合机床的电气控制系统	118
3.7.1 双面钻孔组合机床的工作原理	118
3.7.2 双面钻孔组合机床电气原理图分析	120
3.8 常用机床电器控制线路故障的分析	122
3.8.1 电器控制线路故障的检修步骤与方法	122
3.8.2 电器控制线路故障检查方法	122
附录 典型机床电气控制系统电路故障的分析和排除	126
3-1 X62W 万能铣床常见故障的分析和排除	126
3-2 T68 镗床常见故障的分析和排除	136
3-3 M7120 磨床常见故障的分析和排除	143
3-4 15/3T 桥式起重机常见故障的分析和排除	149

第二篇 PLC 控制

第4章 可编程控制器概述	154
4.1 可编程控制器的定义	154
4.2 可编程控制器的特点与应用	154
4.2.1 可编程控制器的特点	154
4.2.2 可编程控制器的应用	155



4.3 可编程控制器的组成	156
4.4 可编程控制器的基本工作原理	157
4.5 可编程控制器的基本指标	158
4.6 典型 PLC 简介	158
4.6.1 OMRON 的 CPM1A 型 PLC	159
4.6.2 三菱 FX2N 系列 PLC	164
4.6.3 松下 FP1 系列 PLC	168
习题与思考题	185
第 5 章 可编程控制器指令系统及编程	186
5.1 梯形图语言	186
5.2 OMRON CPM1A 型 PLC 指令系统	189
5.2.1 基本指令	189
5.2.2 功能指令	194
5.3 三菱 FX2N 系列 PLC 指令系统	200
5.3.1 基本指令	200
5.3.2 功能指令	205
5.4 松下 FP1 系列 PLC 指令系统	208
5.4.1 基本指令	211
5.4.2 功能指令	218
5.5 常用的 PLC 单元程序	251
5.6 PLC 程序设计方法	256
5.6.1 经验设计法	257
5.6.2 顺序控制设计法	259
5.7 可编程控制器应用实例	272
习题与思考题	277
附录 5-1 FP1 系列高级指令表	280
5-2 FP1 系列特殊内部继电器表	292
5-3 FP1 系列特殊数据寄存器表	293
5-4 FP1 系列系统寄存器一览表	295
第 6 章 PLC 控制系统设计与应用实例	297
6.1 PLC 控制系统设计	297
6.1.1 PLC 控制系统的设计原则	297
6.1.2 PLC 系统设计的基本设计方法	298
6.1.3 PLC 系统设计的继电器控制线路移植法	299
6.1.4 PLC 系统的设计技巧	302
6.1.5 PLC 控制系统设计的注意事项	303
6.2 PLC 在电动机基本控制线路中的应用	304



6.2.1 电动机正、反转控制.....	304
6.2.2 两台电动机顺序起动联锁控制线路	305
6.3 PLC 综合应用实例	307
6.3.1 Z3040 摇臂钻床电气控制系统的 PLC 应用改造	307
6.3.2 PLC 在四工位组合机床控制系统中的应用	308
6.3.3 PLC 在压滤机控制系统中的应用	311
6.3.4 机械手臂 PLC 控制	314
参考文献.....	317

第1章 常用低压电器

随着科学技术进步与经济发展,电能的应用越来越广泛,电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测和保护的作用。在电力输配电系统、电力传动系统和自动控制设备中电器得到了广泛应用。

电器是能根据外界的信号和要求,自动或手动接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现对电路或非电路对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节用的电气设备。简言之,电器就是一种能控制电能的器件。

按使用电器的电路额定电压的高低,电器分为高压电器和低压电器。低压电器通常指用于交流额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 以下的电路中的电器。低压电器根据它在电气电路中所处的地位和作用不同,可分为低压配电电器和低压控制电器两大类。低压配电电器,如刀开关、熔断器、低压断路器等,主要用于低压配电系统及动力设备中。低压控制电器,如接触器、控制继电器、起动器、主令电器、控制器、电阻器、变阻器、电磁铁等,主要用于电力拖动系统和自动控制设备中。对于自动化专业的技术人员来说,重要的是能正确地选用电器元件,因此本教材不涉及元件的设计,侧重于应用,并主要学习电力传动系统中常用的低压电器。

1.1 电磁式低压电器的结构和工作原理

电力传动系统一般分为两大部分:一部分是主电路,由电动机和接通、分断、控制电动机的电器元件所组成,一般主线路的电流较大(为电动机的工作电流);另一部分是控制电路,由接触器线圈、继电器等组成,控制电路的任务是根据给定的指令,依照自动控制系统的规律和具体的工艺要求对主电路系统进行控制,控制电路中的电流较小(为线圈的工作电流)。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器按使用系统间的关系,习惯上分为以下两类:

1. 低压配电电器

低压配电电器主要用于低压供电系统。当电路出现过载、短路、欠压、失压、断相或漏电等不正常状态时,低压配电电器应起保护作用,自动断开故障电路。因而对低压配电电器的主要技术要求是:在故障情况下工作可靠,有足够的动稳定性及热稳定性。电器的动稳定性是指电器受短路(冲击)电流的电动力作用而不致损坏的能力;电器的热稳定性是指电器承受规定时间内短路电流产生的热效应而不致损坏的能力。这类低压电器有低压断路器、熔断器、刀开关和转换开关等。

2. 低压控制电器

低压控制电器主要用于电力传动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器及主令电器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力,操作频率要高,电气和机械寿命要长。低压控制电器应能接通与分断过载电流,但不能分断短路电流。

低压电器按使用场合可分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、安全电器、船用电器以及牵引电器等;按操作方式分为自动电器和手动电器;按工作原理分为电磁式电器、非电量控制电器等。

电磁式低压电器的特征是采用电磁现象完成信号检测及工作状态转化。电磁式低压电器是传统低压电器中结构最典型、应用最广泛的一种。

各种电磁式电器的工作原理和结构基本上是相同的,从结构上看由两部分组成:感测部分和执行部分。感测部分接受外界输入的信号,并通过转换、放大、判断,作出有规律的反应,使执行部分动作,输出相应的指令,实现控制的目的。对于有触点式的电磁式低压电器,感测部分就是电磁机构,而执行部分则是触点系统。对于低压断路器类的低压电器,还有中间部分将感测部分和执行部分联系起来,使两部分协同一致,按一定的规律动作。对于非电磁式的自动电器,感测部分的工作原理各有差异,但执行部分仍是触点系统。

1.1.2 电磁机构

电磁机构的主要作用是通过电磁感应原理将电能转化成机械能。当给电磁机构输入一定的电信号(电压或电流)时,产生电磁吸力,将衔铁吸向铁芯,带动触点动作,完成接通或分断电路的功能。

1. 电磁机构的结构形式

电磁机构由线圈、铁芯(亦称静铁芯)和衔铁(亦称动铁芯)三部分组成。电磁铁的结构形式大致有如下几种:

(1)E形电磁铁(如图 1-1(a)所示)。有单 E 形(仅铁芯为 E 形)和双 E 形(铁芯和衔铁均为 E 形)之分。对于柱形电磁铁可看作 E 形电磁铁的一个特例。E 形结构的电磁铁多用作交流接触器、交流继电器以及其他交流电磁系统。

(2)螺管式电磁铁(如图 1-1(b)所示)。多用作索引电磁机构和自动开关的操作电磁机构,但也有少数过电流继电器采用这种形式的电磁铁。

(3)拍合式电磁铁(如图 1-1(c)所示)。广泛用于直流继电器和直流接触器,有时也用于交流继电器。

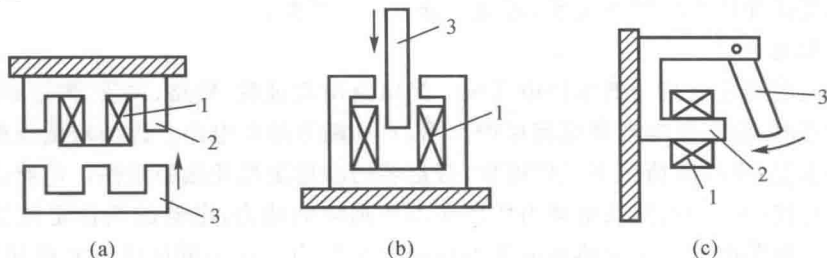


图 1-1 常用电磁机构的结构形式

1—吸引线圈;2—铁芯;3—衔铁

2. 电磁机构的线圈

线圈是电磁机构的重要组成部分。线圈按连线方式可分为串联和并联两种,前者称为电流线圈,后者称为电压线圈。电流线圈串接在主电路中,如图 1-2(a)所示,电流较大,所以常用扁铜条带或粗铜线绕制,匝数少;电压线圈并联在电源上,如图 1-2(b)所示,线径小匝数多,阻抗大,电流小,常用绝缘较好的漆包线绕制。

从结构上看,线圈可分为有骨架和无骨架两种。交流电磁铁的线圈多为有骨架式,且线圈形状做成矮胖型,这是因为考虑到铁芯中有磁滞损耗和涡流损耗,为便于散热。直流电磁机构的线圈则多是无骨架式,其线圈形状做成瘦高型。

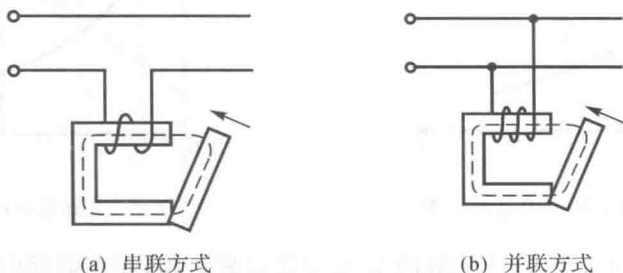


图 1-2 电磁机构中线圈接入电路的方式

3. 电磁特性

当电磁铁的线圈接上电源时,线圈中就有了励磁电流,使磁路中产生磁通。该磁通作用于衔铁,在电磁吸力的作用下使衔铁吸合并做功。所以,电磁机构实质上是一种将电能转换为机械能的转换装置。电磁吸力是电磁式电器的一个重要参数。电磁吸力的近似计算公式为

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S = \frac{1}{2\mu_0} \cdot \frac{\Phi^2}{S} \quad (1-1)$$

式中: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。当 S 为常数时, F 与 B^2 成正比。

电磁机构的工作情况常用吸力特性和反力特性来表征。电磁吸力与气隙的关系曲线称为吸力特性。电磁吸力随线圈励磁电流种类、线圈连接方式的不同而有所差异。电磁机构转动部分的静阻力与气隙的关系曲线称为反力特性。阻力的大小与作用弹簧、摩擦阻力以及衔铁的重量有关。下面分析吸力特性和反力特性及两者的配合关系。

对于具有电压线圈的直流电磁机构,因外加电压和线圈电阻不变,则流过线圈的电流为常数(与磁路的气隙大小无关)。根据磁路定律

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m} \quad (1-2)$$

则有

$$F \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{R_m^2} \propto \frac{1}{\delta^2} \quad (1-3)$$

式(1-3)说明吸力 F 与气隙 δ^2 成反比,所以特性为二次曲线形状,如图 1-3 所示,它表明衔铁闭合前后吸力变化很大。

对于具有电压线圈的交流电磁机构,其吸力特性与直流电磁机构有所不同。设外加电压不变,交流吸引线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗,电阻可以忽略,则

$$U (\approx E) = 4.44 f \Phi N \quad (1-4)$$



$$\Phi = \frac{U}{4.44fN} \quad (1-5)$$

当频率 f 、匝数 N 和电压 U 都为常数时, Φ 为常数, 由式(1-1)可知 F 为常数, 说明 F 与 δ 大小无关。实际上考虑到漏磁的作用, F 随 δ 的减少略有增加。当气隙 δ 变化时 I 与 δ 成线性关系, 图 1-4 为 $F=f(\delta)$ 与 $I=f(\delta)$ 的关系曲线。

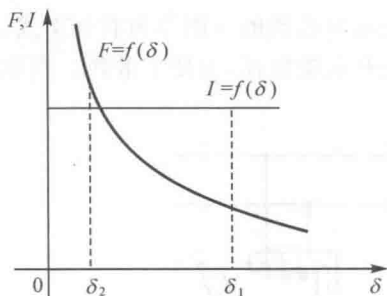


图 1-3 直流电磁机构的吸力特性

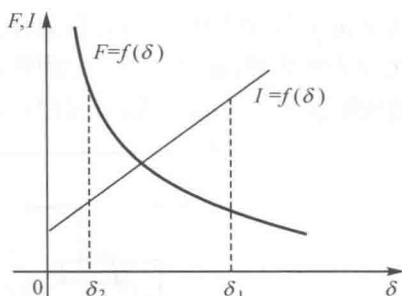


图 1-4 交流电磁机构的吸力特性

由以上分析可以看出: 对于一般的 U 形交流电磁机构, 在线圈通电而衔铁尚未吸合瞬间, 电流将达到吸合后额定电流的 5~6 倍, E 形电磁机构将达到 10~15 倍。如果衔铁卡住不能吸合, 或者频繁动作, 线圈可能烧毁。因此对于可靠性要求高, 或频繁动作的控制系统采用直流电磁机构, 而不采用交流电磁机构。

4. 反力特性与吸力特性的配合

反力特性与吸力特性的配合关系如图 1-5 所示。要使电磁铁正常工作, 衔铁在吸合的过程中, 吸力必须大于反力。反力的特性如图 1-5 中的曲线 3 所示, 直流和交流接触器的吸力特性分别如曲线 1 和曲线 2 所示。

在 $\delta_1 \sim \delta_2$ 的区域内, 反力随气隙减小略有增大。当到达 δ_2 位置时, 动触点开始与静触点接触, 这时触点上的初压力作用到衔铁上, 反力骤增, 曲线突变。其后在 δ_2 到 0 区域内, 气隙越小接触点压得越紧, 反力越大, 较 $\delta_1 \sim \delta_2$ 段陡。

为了保证吸合过程中衔铁能正常闭合, 吸力在各个位置上必须大于反力, 但也不能过大, 否则会影响电器的机械寿命。反映在图 1-4 上就是要保证吸力特性高于反力特性。上述特性对于继电器同样适用。在使用中常常通过调整反力弹簧或触点初压力以改变反力特性, 就是为了使它与吸合特性有良好的配合。

返回系数是反映电磁机构吸力特性与反力特性紧密配合程度的一个参数。当电压或电流达到一定值时, 电磁铁动作, 动作后当电压或电流减小到某一值时, 电磁铁释放而返回。为此, 以电磁机构返回电压(电流)与动作电压(电流)的比值称为电磁机构返回系数。

5. 短路环的作用

交流电磁机构按所接入电源的类型分单相和三相两种, 在电力拖动控制系统中所用的交流电磁式电器都采用单相交流电磁机构。在单相交流电磁机构中, 由于磁通是交变的, 磁

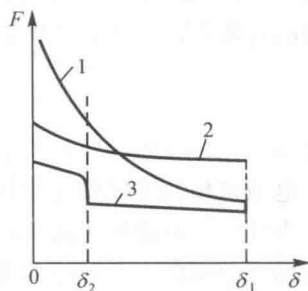


图 1-5 吸力特性和反力特性

1—直流接触器的吸力特性; 2—交流接触器的吸力特性; 3—反力特性

通过零时吸力也为零,吸合后的衔铁在反作用弹簧的作用下将被拉开;磁通过零后吸力又增大,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,衔铁的吸力随之每个周期两次过零,从而使衔铁产生强烈的振动和噪音,易使电器结构松散,寿命降低,同时使触头接触不良,易于熔焊与烧毁。因此在交流电磁铁的铁芯端面上嵌装一个铜制的分磁环,也称其为短路环(见图1-6)。使铁芯通过两个在时间上相位不同的磁通,问题就解决了。

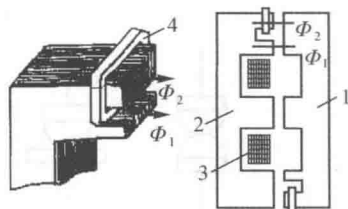


图 1-6 交流电磁机构中短路环
1—衔铁;2—铁芯;3—线圈;4—短路环

由于短路环通常包围 $2/3$ 的铁芯截面,当电磁机构的交变磁通过短路环后,在短路环中产生涡流。根据电磁感应定律,该涡流的磁通 Φ_2 在相位上落后于没穿过短路环的磁通 Φ_1 一个角度。这两个磁通产生各自的吸力,如图1-7所示。从图中可见吸力 F_1 和吸力 F_2 不同时到达零,只要其合力始终大于反力,衔铁的振动现象就消除了。

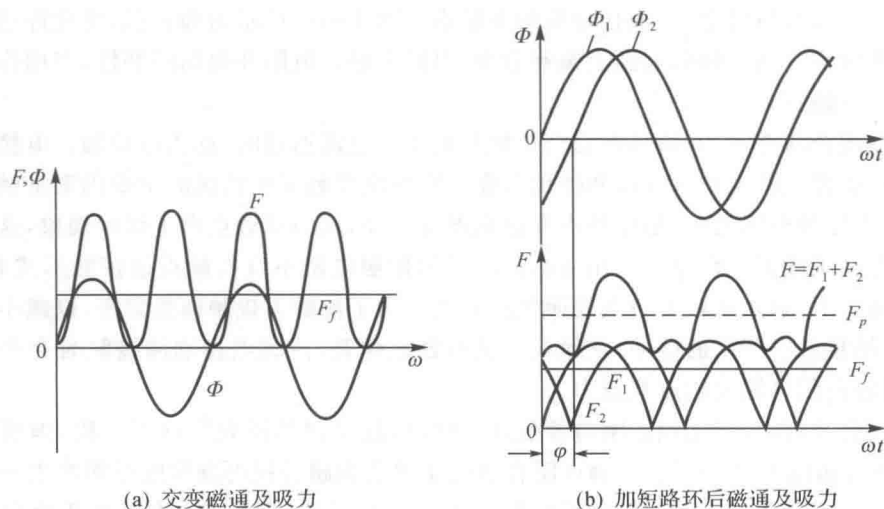


图 1-7 交流电磁机构吸力特性

交流接触器的吸引线圈的电压在 $85\% \sim 105\% U_N$ 时能保证可靠工作。应该指出,电压升高时,交流接触器磁路趋于饱和,线圈电流将显著增大,有烧毁线圈的危险。

使用时要特别注意线圈的额定电压,如把额定电压为 $220V$ 的线圈接至 $380V$ 电源上,线圈将烧毁;反之,衔铁不动作,线圈也可能因过热而烧毁。

1.1.3 触点系统

触点系统是电器的执行元件,起分断和接通电路的作用。因此,触点工作的好坏直接影响到整个电器的工作性能。触点机构的形式很多,按其接触形式可分为三种,即点接触、线接触和面接触(见图1-8)。

图1-8(a)所示为点接触,由两个半球形触点或一个半球形与一个平面触点构成,常用于

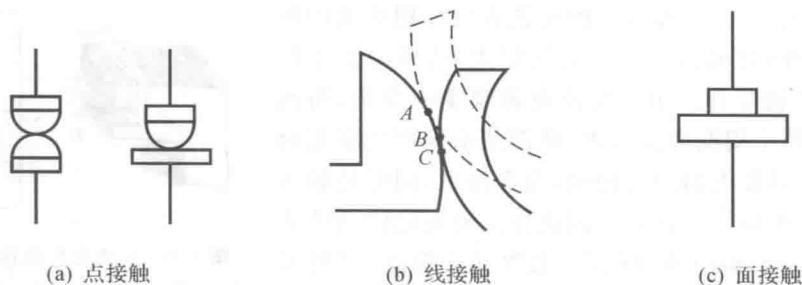


图 1-8 触点的三种接触形式

小电流的电器中,如接触器的辅助触点或继电器触点。图 1-8(b)所示为线接触,接触区域是一条直线,触点在通断过程中是滚动接触。开始接触时,静、动触点在 A 点接触,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膜,同时长期工作的位置不是在易烧灼的 A 点而是在 C 点,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。图 1-8(c)所示为面接触,可允许通过较大电流。这种触点一般在接触表面上镶有合金,以减少触点电阻和提高耐磨性,多用作较大容量接触器的主触点。

触点在闭合状态下动、静触点完全接触并有工作电流通过时,称为电接触。电接触情况的好坏将影响触点的工作可靠性和使用寿命。影响电接触工作情况的主要因素是触点的接触电阻,因为接触电阻大时,易使触点发热而温度升高,从而使触点产生熔焊现象,这样既影响工作可靠性又降低了触点的使用寿命。触点的接触电阻不仅与触点的接触形式有关,而且还与接触压力、触点材料及触点表面状况有关。为了使触头接触得更紧密,以减小接触电阻、消除开始接触时产生的振动,在触头上装有触点弹簧,使触点在刚刚接触时会产生初压力,并随着触点闭合增大触点互压力。

触点闭合过程中,当动触点刚与静触点接触时,触点弹簧预先压缩了一段,因而产生一个初压力 F_1 ,如图 1-9(b)所示。触点闭合后由于弹簧在超行程内继续变形而产生一终压力 F_2 ,如图 1-9(c)所示。弹簧压缩的距离称为触点的超行程,即从静、动触点开始到触点压紧,整个触点系统向前压紧的距离。有了超行程,在触点磨损情况下,仍有一定压力。如果磨损严重则应予更换。

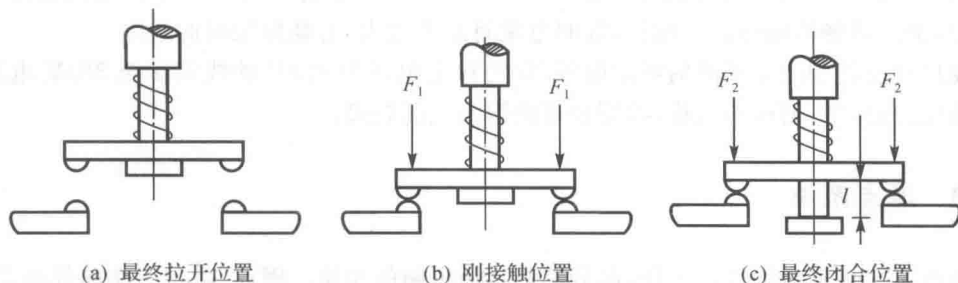


图 1-9 触点位置

1.1.4 电弧的产生和灭弧装置

电弧是在触点由闭合状态过渡到断开状态的过程中产生的。当触点在分断电路时,如果电路中的电压超过 $10\sim 20\text{V}$ 和电流超过 $80\sim 100\text{mA}$,在拉开的两个触点之间将出现强烈的火花,这实际上是气体放电的现象,通常称之为“电弧”。

触点在分离的瞬间,其间隙很小,电路的电压几乎全部降落在触点之间,在触点间形成很强的电场强。金属内部的自由电子从阴极逸出到气隙并向阳极加速运动。自由电子在电场中高速运动时要撞击中性气体分子,使之分离为正离子和电子,而后者在强电场作用下继续向阳极移动,并撞击其他中性分子,这种现象称之为撞击电离。撞击电离的正离子向阴极运动,撞击阴极时使阴极温度升高。当阴极的温度升高到一定的程度时,一部分电子从阴极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。当电弧的温度达到 3000°C 或更高时,触点间的原子以很高的速度作不规则的运动并相互撞击,使原子产生电离,这种因为高温使原子撞击所产生的电离称为热电离。上述几种电离的结果,在触点间形成了炽热的电子流,即电弧。电弧产生后,热电离占主导地位。电弧一方面烧灼触点,降低电器的寿命和电器工作的可靠性;另一方面会使触点的分断时间延长,严重时会产生事故,因此要采取措施进行灭弧。根据电弧产生的物理过程可知,欲使电弧熄灭,应设法降低电弧的温度和电场强度。常用的灭弧装置有:

1. 磁吹式灭弧装置

磁吹式灭弧装置的原理如图 1-10 所示。在触点电路中串一个吹弧线圈 3,它产生的磁通通过导磁轭 4 引向触点周围。可见在弧柱下吹弧线圈产生的磁通与电弧产生的磁通是相加的,而在弧柱上面则彼此抵消,因此就产生一向上运动的力将电弧拉长并吹入灭弧罩 5 中,熄弧角 6 和静触点相连接,其作用是引导电弧向上运动,将热量传递给罩壁,促使电弧熄灭。

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

2. 灭弧栅

灭弧栅的灭弧原理如图 1-11 所示。灭弧栅片 3 由许多镀铜薄钢片组成,片间距离为 $2\sim 3\text{mm}$,安放在触点上方的灭弧罩(图中未画出)内。一旦发生电弧,电弧周围产生磁场,导磁钢片将电弧吸入栅片,电弧被栅片分成许多串联的短电弧。当交流电压过零时电弧自动熄灭。两栅片之间必须有 $150\sim 250\text{V}$ 电压,电弧才能重燃。这样一来,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,电弧熄灭后很难重燃。这是一种常用的交流灭弧装置。

3. 灭弧罩

比灭弧栅更为简单的是采用一个用陶土和石棉水泥做的耐高温的灭弧罩,用以降温和

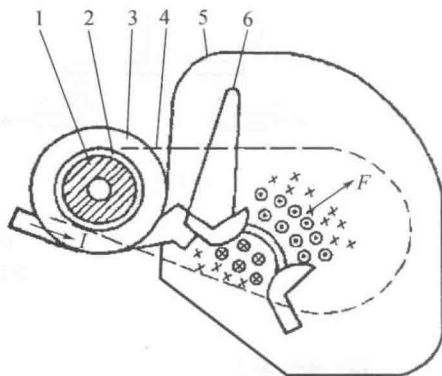
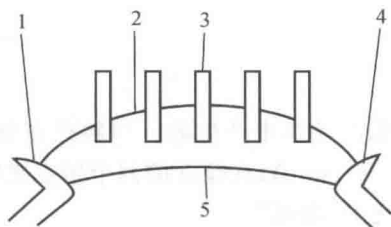


图 1-10 磁吹式灭弧装置

1—铁芯;2—绝缘管;3—吹弧线圈;4—导磁轭;
5—灭弧罩;6—熄弧角



(a) 栅片的工作原理



(b) 电弧进入栅片的图形

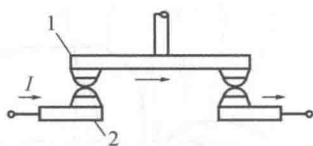
图 1-11 灭弧栅工作原理

1—静触点;2—短电弧;3—灭弧栅片;4—动触点;5—长电弧

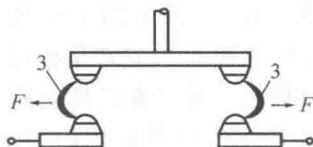
隔弧,可用于交流和直流灭弧。

4. 多断点灭弧

在交流电路中也可采用桥式触点,如图 1-12 所示。动触点 1 和静触点 2 在弧区内产生磁场,根据左手定则,电弧电流将受到均指向外侧方向的电磁力 F 的作用而使电弧向外侧移动。一方面,使电弧被拉长;另一方面,使电弧温度降低,有助于电弧熄灭。其有两处断开点,相当于两对电极。若有一处断点,要使该处电弧熄灭后重燃需要 $150 \sim 250\text{V}$ 电压,若有两处断点就需要 $2 \times (50 \sim 250)\text{V}$ 电压,而通常低压电器断点间的电压达不到此值,所以实际上起到了灭弧的作用。若采用两极或三极接触器控制一个电路时,根据需要可灵活地将两个极或三个极串联起来当作一个触点使用,这组触点变成为多断点,加强了灭弧效果。



(a) 闭合状态



(b) 断开状态

图 1-12 桥式触点

1—动触点;2—静触点;3—电弧

1.2 接触器

接触器用来频繁地接通或切断电动机或其他负载主电路的一种控制电器。接触器具有控制容量大、工作可靠、寿命长等特点,适用于频繁操作和远距离控制,它不仅能中远距离通断电路,还具有欠电压、零电压释放保护,操作频率高、使用寿命长及维护方便等优点。接触器按其主触点通过的电流种类可分为交流接触器和直流接触器。

1.2.1 接触器结构

交流接触器的种类很多,常用的有 CJ0、CJ10 及 CJ20 等系列,常用的电磁式交流接触