

DIANQI KONGZHI JISHU  
YU PLC

# 电气控制技术 与PLC

邓志良 编著  
刘维亭

东南大学出版社

# 电气控制技术与 PLC

邓志良 刘维亭 编著

东南大学出版社

## 内 容 简 介

本书从传统的电气控制技术入手,对常用控制电器、基本控制环节、控制方法以及船舶典型机械电力拖动控制线路作了较全面的分析,并在此基础上介绍新型控制器件可编程序控制器的硬件结构、系统配置、指令系统和编辑方法,使读者对电气控制及其 PLC 技术有较全面的认识,以提高对船舶和工业生产过程中控制系统的分析和设计能力。

本书可作为高校自动化、电气工程及其自动化以及相近专业的教学用书,亦可供有关专业工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术与 PLC / 邓志良,刘维亭编著. —南京:东南大学出版社,2002.12

ISBN 7-81089-166-9

I. 电... II. ①邓...②刘... III. ①电气设备—自动控制 ②可编程序控制器 IV. TM762

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 096939 号

东南大学出版社出版发行  
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 丹阳市兴华印刷厂印刷  
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.25 字数:259千字

2002年12月第1版 2002年12月第1次印刷

印数:1-3000册 定价:16.00元

(东大版图书若有印装质量问题请到本社发行科调换,电话:025-3795802)

# 前 言

船舶以及工业生产自动控制系统按控制量及其控制器特性不同,可分为开关量自动控制系统和模拟量自动控制系统。前者处理以开关状态变化为特征的开关量,后者处理以连续变化为特征的模拟量。由于船舶以及工业生产过程中大量的控制量为开关状态变化,所以具有继电特性的开关量逻辑控制系统是船舶以及工业生产自动控制系统中的主要类型。

继电接触控制系统是开关量控制的传统形式。尽管它的控制功能单一,在器件及线路的通用性、可靠性等方面均存在着一系列的缺陷,但是,生产过程中大量的控制对象往往仅要求这种具有开关特性的继电控制。此外,它在简易直观、使用方便等方面的优势,使它在船舶以及工业生产控制系统中仍然占据着重要的地位。

可编程序控制器是 20 世纪 70 年代以来在集成电路、计算机技术基础上发展起来的一种控制技术,它以微处理器为核心,采用程序存储技术,从而从根本上改变了传统继电器接触器控制系统的结构形式和控制方法。它把计算机的功能完备、灵活性、通用性强等优点和传统继电器接触器控制的简易直观、使用方便等优点结合起来,把传统的电气逻辑控制拓宽到数值控制、数据处理和网络通信技术,成为一种新型的控制器件。

本教材从传统的电气控制技术入手,对常用控制电器、基本控制电路以及船舶典型机械电力拖动控制线路作了较全面的分析,在此基础上,介绍新型控制器件可编程序控制器的硬件结构、系统配置、指令系统和编辑方法,使读者对由传统和新型器件构成的控制技术有较全面的认识,以提高对船舶和工业生产过程中控制系统的分析和设计能力。

本书根据“电气控制技术与 PLC”课程教学基本要求编写,可作为高校电气工程及其自动化、自动化及其相近专业的教学用书。

本书由方显进老师主审,余慧卿老师为本书编写提供了大量的资料并参加部分章节的编写,高键老师为本书编制了 PLC 程序并对书稿提出了修改意见,张静、杨小庆、林焱、郝鹏等同志为书稿绘图和文字编排做了大量工作。对于帮助和支持本书编写的各位老师,在此表示衷心感谢。由于编写时间仓促,加之水平和经验有限,文中难免有不妥之处,敬请批评指正。

编 者

2002 年 7 月于镇江

# 目 录

<b>1</b>	<b>常用控制电器</b> .....	1
1.1	主令电器 .....	1
1.1.1	控制按钮 .....	1
1.1.2	行程开关 .....	1
1.1.3	万能式转换开关 .....	3
1.1.4	主令控制器 .....	4
1.2	接触器 .....	4
1.2.1	接触器的基本结构和工作原理 .....	4
1.2.2	接触器的主要技术参数和选用方法 .....	8
1.2.3	真空接触器 .....	9
1.3	电磁继电器 .....	9
1.3.1	继电器的输入—输出特性 .....	10
1.3.2	电磁继电器的整定方法 .....	10
1.3.3	几种常用的电磁继电器 .....	11
1.4	时间继电器 .....	13
1.4.1	电磁阻尼式时间继电器 .....	13
1.4.2	气体阻尼式时间继电器 .....	14
1.4.3	电动式时间继电器 .....	15
1.4.4	晶体管时间继电器 .....	16
1.5	信号继电器 .....	16
1.5.1	热继电器 .....	17
1.5.2	温度继电器 .....	18
1.5.3	压力继电器 .....	19
1.5.4	速度继电器 .....	20
1.5.5	液位继电器 .....	21
	习题一 .....	21
<b>2</b>	<b>电气控制系统的基本控制环节和典型线路</b> .....	23
2.1	控制线路图及其图形字母符号 .....	23
2.1.1	电路图(原理线路图) .....	26
2.1.2	布置图 .....	27
2.1.3	外部接线图 .....	28
2.2	交流三相异步电动机的起动控制 .....	28
2.2.1	直接起动 .....	28
2.2.2	笼型异步电动机减压起动控制 .....	29
2.2.3	绕线转子异步电动机起动控制 .....	31
2.3	交流三相异步电动机正反转控制 .....	34

2.4	交流三相异步电动机变速控制 .....	35
2.4.1	定子绕组的连接及其磁极对数 .....	35
2.4.2	变极变速电动机控制线路 .....	36
2.5	交流三相异步电动机制动控制 .....	37
2.5.1	机械制动 .....	37
2.5.2	能耗制动 .....	38
2.5.3	反接制动 .....	39
2.6	电动机其他基本控制环节 .....	40
2.6.1	点动和多地点控制 .....	41
2.6.2	顺序起停控制 .....	41
2.6.3	限位和行程控制 .....	42
2.6.4	主令控制 .....	43
2.7	电气控制线路的分析和设计方法 .....	44
2.7.1	电气控制线路的分析方法 .....	45
2.7.2	电气控制线路的设计方法 .....	46
	习题二 .....	50
<b>3</b>	<b>船舶机械电力拖动控制线路 .....</b>	<b>51</b>
3.1	船舶机舱辅机电力拖动控制线路 .....	51
3.1.1	水泵自动控制线路 .....	51
3.1.2	压缩机自动控制线路 .....	52
3.1.3	制冷机自动控制线路 .....	53
3.2	燃油辅助锅炉自动控制线路 .....	54
3.2.1	燃油辅助锅炉自动控制系统的环节 .....	55
3.2.2	燃油辅助锅炉自动控制线路实例 .....	59
3.3	起锚系缆装置电力拖动控制线路 .....	61
3.3.1	起锚系缆装置及对电力拖动的要求 .....	62
3.3.2	交流起锚系缆机械控制线路 .....	64
3.4	起重机械电力拖动控制线路 .....	66
3.4.1	起重机械及对电力拖动的要求 .....	66
3.4.2	变极变速交流起货机控制线路 .....	67
3.4.3	桥式起重机控制线路 .....	71
3.5	舵机电力拖动控制线路 .....	74
3.5.1	舵机及对电力拖动的要求 .....	74
3.5.2	电动舵机操纵控制线路 .....	75
3.5.3	自动舵的基本工作原理 .....	77
3.5.4	“HD-5L”型自动操舵仪 .....	79
	习题三 .....	84
<b>4</b>	<b>可编程序控制器及其应用技术 .....</b>	<b>85</b>
4.1	概述 .....	85
4.1.1	PLC 的特点 .....	86
4.1.2	PLC 的应用范围 .....	87

4.2	可编程序控制器的构成及工作方式	87
4.2.1	PLC 的构成	87
4.2.2	PLC 的工作方式	89
4.3	可编程序控制器的系统配置和内部资源	90
4.3.1	PLC 的系统配置	90
4.3.2	PLC 的内部资源	94
4.4	可编程序控制器的基本顺控指令及其编程方法	97
4.4.1	LD、LDI、OR、ORI、AN、ANI、OUT、END 指令	98
4.4.2	PLC 的定时功能	99
4.4.3	PLC 的计数功能	100
4.4.4	ANB、ORB 指令	101
4.4.5	PLS、PLF 指令	102
4.4.6	SET、RST 指令	103
4.4.7	MC、MCR 指令	104
4.4.8	MPS、MRP、MPP 指令	105
4.5	可编程序控制器的步进顺控指令及其编程方法	105
4.5.1	状态元件和 SFC 图	106
4.5.2	步进指令和步进梯形图	106
4.5.3	多分支 SCF 图及其编程方法	108
4.6	可编程序控制的应用指令	111
4.6.1	条件跳转指令	112
4.6.2	子程序调用、返回和主程序结束指令	113
4.6.3	监视定时器(警戒时钟)刷新指令	114
4.6.4	比较指令	114
4.6.5	区间比较指令	115
4.6.6	传送指令	115
4.6.7	BCD、BIN 变换指令	116
4.6.8	七段编码指令	118
4.6.9	移位指令	119
4.6.10	算术运算指令	121
4.6.11	逻辑运算指令	122
4.7	GE 系列可编程序控制器	128
4.7.1	GE-I PLC 的基本结构	128
4.7.2	基本指令及其编程方法	132
4.7.3	程序的输入、修改、编辑	137
4.8	可编程序控制器应用实例	138
4.8.1	港口货物装卸自动线	138
4.8.2	PLC 控制三速交流起货电动机	141
4.8.3	移送工件机械手系统	147
	习题四	151
	参考文献	154

# 1

## 常用控制电器

控制电器是组成电气控制系统的主要器件,无论何种形式的自动控制系统,都或多或少地需要应用控制电器来改变主电路或控制电路的工作状态,以满足生产机械对电力拖动提出的各项要求。限于本课程的要求,本章不讨论控制电器的设计方法和结构计算,仅介绍各种常用控制电器的结构特点和基本工作原理,在此基础上讨论控制电器的选型和整定方法。

### 1.1 主令电器

主令电器是一种非自动切换的小电流开关电器,它在控制系统中用于发布命令,使控制系统起动运行、停止或改变控制系统的运行状态。常见的主令电器有控制按钮、行程开关、万能式转换开关及主令控制器等。

#### 1.1.1 控制按钮

控制按钮是一种手动操作的主令电器。图 1-1(a) 为控制按钮结构示意图。在常态(未加外力)时,由于复位弹簧的作用,静触头 1—2 通过桥式动触头闭合,习惯上称为常闭触头,此时,静触头 3—4 与桥式动触头 5 分断,称之为常开触头。当按下按钮帽时,复位弹簧被压缩,桥式动触头向下运动,首先和静触头 1—2 分断,然后和静触头 3—4 闭合。当按钮帽上的压力去掉以后,在复位弹簧的作用下,桥式动触头向上运动,恢复常态即常开触头断开,常闭触头闭合。

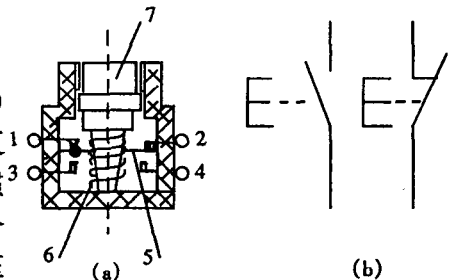


图 1-1 控制按钮

(a) 结构原理; (b) 图形符号  
1—2、3—4—静触头;5—桥式动触头;  
6—复位弹簧;7—按钮帽

控制按钮作为一种手动操作的主令电器,广泛用于 500V 以下的控制系统,其触头允许通过的持续电流为 5A。为适应不同使用场合的要求,控制按钮具有安装式、保护式、防水式、防腐式、带指示灯式和钥匙式等不同的结构形式。控制按钮的触头数量从一常闭一常开到六常闭六常开。选用按钮时,应注意控制电路的电压及通过按钮的电流不能超过按钮的额定值,并根据控制电路及其使用场合的要求确定按钮的结构形式,触头数量,钮数及按钮的颜色。

#### 1.1.2 行程开关

行程开关又称限位开关,它是利用机械运动部件的碰撞或接近来控制触头动作的小电流开关电器。常见的有机械式有触点行程开关、晶体管无触点接近开关和光电式行程开关。

##### 1.1.2.1 机械式行程开关

图 1-2 为行程开关的外形和结构示意图。由图可知,行程开关的动作原理与控制按钮类似,所不同的是它依靠运动部件上的撞块碰撞行程开关的推杆推动触头的通断,因此它具有与这种工作方式相适应的外形和结构形式。图示形式的行程开关称直动式行程开关,其优点是结构简单,成本较低,缺点是触头的分合速度取决于撞块的移动速度。若撞块移动速



度太慢,则触头就不能瞬时切换电路,导致电弧在触头间停留时间过长,易于烧蚀触头。因此直动式行程开关不宜用在撞块移动速度过小的场合。

滚轮转动式行程开关和微动开关克服了上述直动式行程开关的缺陷。这两种形式的行程开关在结构上设有瞬动机构,使开关触头的切换速度不受推杆推动速度的影响。

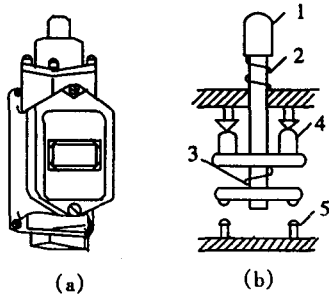


图 1-2 行程开关

(a) 外形图; (b) 结构示意图  
1—推杆;2—弹簧;3—触头弹簧;  
4—常闭触头;5—常开触头

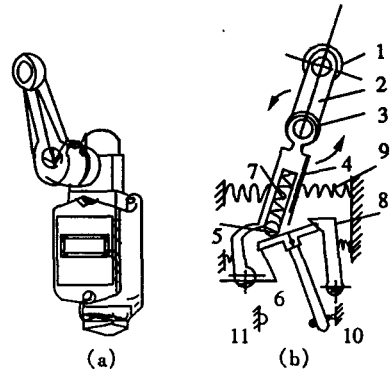


图 1-3 单滚轮自复位行程开关

(a) 外形图; (b) 结构示意图  
1—滚轮;2—上转臂;3—盘形弹簧;  
4—下转臂;5—滑轮;6—横板;  
7—弹簧;8—压板;9—恢复弹簧;10、11—触头

滚轮转动式行程开关有单滚轮自动复位和双滚轮非自动复位两种形式。图 1-3 所示为单滚轮自复位行程开关外形和结构示意图。图中,当运动机械的撞块自右向左推动滚轮时,上转臂 2 以中间支点为中心向左转动,盘形弹簧 3 带动下转臂 4 向右转动,于是滑轮 5 向右滚动,此时弹簧 7 被压缩储能,当下转臂 4 转过中点并推动压板 8 时,横板 6 在压缩弹簧 7 的作用下,迅速顺时针转动,从而使触头迅速分合。当撞块离开滚轮后,在恢复弹簧 9 的作用下,使触头恢复原态。

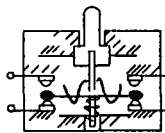


图 1-4 微动开关

双滚轮非自复位行程开关在 U 型传动摆杆上装有两个滚轮,内部结构与单滚轮自复位式相似,只是没有恢复弹簧 9。当撞块撞上其中一个滚轮时,传动摆杆转动一定角度后使触头动作,撞块离开滚轮后,摆杆并不自动复位,只有当撞块在返回行程中再推动另一滚轮时,摆杆才回到原始位置使触头恢复原态。双滚轮非自动复位行程开关具有“记忆”曾被推动过的功能,在某些情况下,可使控制线路简化。

微动开关内部具有片形弹簧结构,如图 1-4 所示。图中,当运动机械撞块推动开关的推杆时,片形弹簧受压变形,使触头瞬时动作,当撞块离开推杆时,片形弹簧恢复原状,使触头复位。微动开关的特点是体积小、重量轻、动作灵敏,适合在小型机械中使用。

行程开关的主要技术参数为:额定电压、额定电流、触头换接时间、动作力、工作行程、触头数量、结构型式、操作频率和复位方式等;选用时可根据控制系统的要求,按上述各项技术参数,确定合适的行程开关。

### 1.1.2.2 晶体管接近开关

为了克服机械式有触点行程开关可靠性差、使用寿命短、操作频率低等缺点,出现了无触点的电子行程开关,即晶体管接近开关。

图 1-5(a)为某型晶体管接近开关原理线路图。若将接近开关安置在需要控制的位置,

当运动部件靠近开关至一定间距时,开关即发出信号,达到行程控制或计数控制的作用。由图 1-5(a)可知,晶体管接近开关是由振荡器和开关电路两部分组成的。左边由 LC 并联谐振回路、正反馈放大器构成晶体管振荡器,线圈  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  绕在同一磁芯上,如图 1-5(b)所示。

当加上电源电压时,振荡立即产生,借助于  $L_1$  与  $L_2$  之间的耦合形成正反馈以维持振荡。振荡器振荡时,在线圈  $L_3$  中感应出一定大小的交流电压,这个交流电压经 D 整流后作为  $V_2$  的基极正向电压,足以使  $V_2$  饱和导通, $V_2$  导通后提高了  $V_3$  的基极电位,促使  $V_3$  截止,接近开关处于原态。当运动部件撞块接近高频变压器的磁心达一定间距时(图 1-5(b)),由于撞块中引起涡流损耗,使振荡回路的等值阻抗增大,能量损耗增加,以致振荡减弱直至停止。这时线圈  $L_3$  两端的感应电压消失, $V_2$  截止,从而  $V_3$  导通,小型继电器 KA 动作,输出开关信号,起到了有触点行程开关同样的作用。

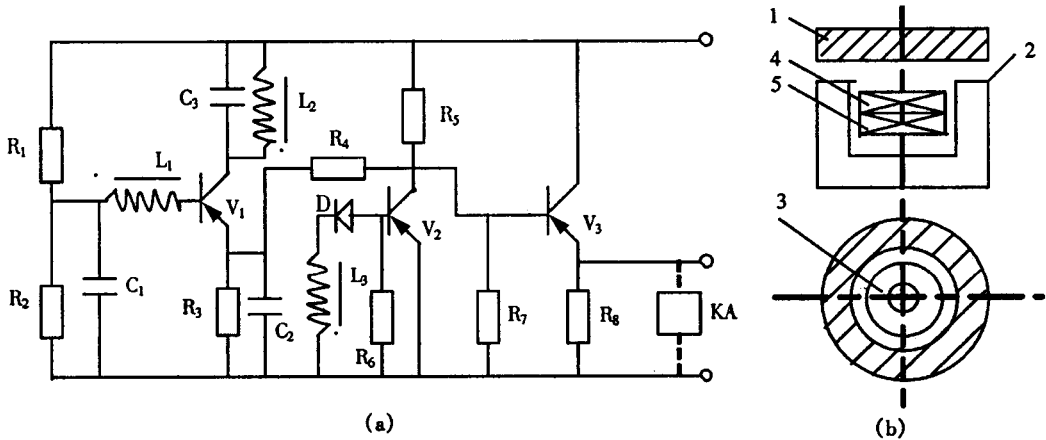


图 1-5 晶体管接近开关  
(a) 原理线路图; (b) 高频变压器结构  
1—撞块;2—磁芯;3— $L_1$  线圈;4— $L_2$  线圈;5— $L_3$  线圈

### 1.1.2.3 光电式接近开关

由发光二极管、光电二极管以及光学器件可构成光电式接近开关。

如图 1-6 所示,工作电流流过砷化镓发光二极管产生的红外光,经光学器件射向反光盘,由反光盘反射回来的红外光照射光电二极管,使光电二极管导通。当有任何不透光的物体遮断上述光路时,使光电二极管截止,通过继电器电路输出开关信息。

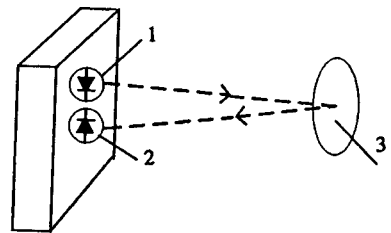


图 1-6 光电式接近开关构造图  
1—发光二极管;2—光电二极管;3—反光盘

光电式接近开关广泛用于各类自动生产线,作为运动部件的位置检测器件。

### 1.1.3 万能式转换开关

万能式转换开关是一种具有更多操作位置和触头,能够换接多个电路的手动电器。

图 1-7 为某型万能式转换开关的外形图,该转换开关由接触系统、操作机构、转轴、手柄、齿轮啮合机构等部件用螺栓组装成一体而成。

根据使用要求转换的接触系统可以从 1 档增至 16 档,每档接触系统内有两对触头,如

图 1-8(a)所示。每对触头的接通或断开由套在转轴上的尼龙凸轮推动支架来完成。各种不同形状的尼龙凸轮,决定了不同的触头接通及断开规律,以构成不同的接线图。转换开关的接线图如图 1-8(b)所示,图中各触头的闭合规律由闭合表表示,其中有符号“×”的,表示在该位置时,该触头是闭合的。

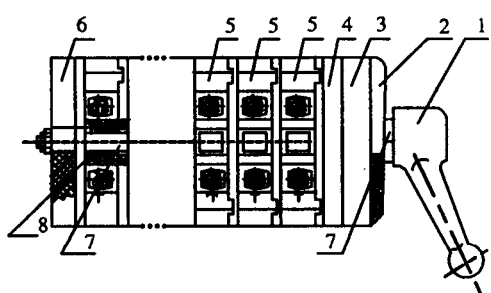


图 1-7 万能式转换开关外形结构

1—手柄;2—面板;3—定位器;4—限位器;  
5—接触系统;6—底板;7—转轴;8—凸轮

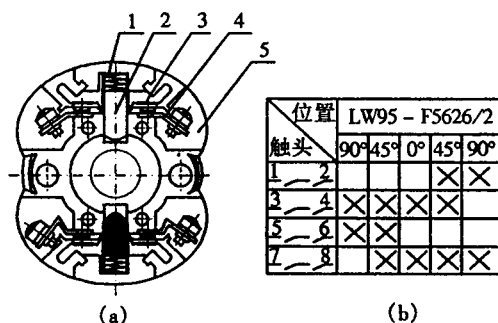


图 1-8 万能式转换开关接触系统和接线图

1—弹簧;2—支架;3—桥形触头;4—静触头;5—触头座

转换开关的操作方式分自复位式和定位式两种。自复位式转换开关当人手离开操作手柄时,能自动回复到原始位置,定位式转换开关则每隔 30°或 45°有一个定位。

万能式转换开关作为主令电器,广泛用于 500V 以下的电路中,作为控制伺服电动机、换接电气测量仪表及交直流辅助电路的转换开关,也可作为小容量电动机的起动、变速与换向使用。转换开关的额定电流为 15A。选用万能式转换开关时,应注意控制电路的电压、电流不能超过转换开关的额定值,并应根据换接电路对接通与断开程序的要求,确定转换开关接触系统档数、操作方式以及反映触头接通与断开程序的接线图。

### 1.1.4 主令控制器

主令控制器是按预定程序转换控制电路的主令电器,它主要由手柄、转轴、定位机构、凸轮和触头等组成。转动手柄时,转轴带动凸轮一起转动,当转到由定位机构确定的位置时,凸轮顶动滚子,通过弹簧使触头闭合或断开,不同形状的凸轮确定了预定的各触头闭合和断开程序。主令控制器各触头的断开和闭合程序由与万能式转换开关类同的触头闭合表来表示。采用主令控制器作为主令电器进行手动操纵时,由主令控制器的触头控制接触器,再由接触器控制电动机的起动、正反转、调速和制动。主令控制器用于电动机容量较大,操作频繁,调速性能要求较高的起动设备和其他电力拖动装置。

## 1.2 接触器

接触器是用于频繁地接通和切断电动机电路或其他负载主电路的一种控制电器。在电力拖动自动控制系统中,可按照某种程序通过接触器自动切换动力设备,以实现一定的工艺流程和生产机械对电力拖动自动控制的要求。

### 1.2.1 接触器的基本结构和工作原理

接触器是利用电磁原理通过可动衔铁的运动带动触头通断的。图 1-9(b)为说明接触器基本工作原理的结构示意图。给线圈 1 通电后,在铁芯 2 和衔铁 3 中将激励磁通并产生电

磁吸力,该吸力克服反作用弹簧4的张力及摩擦阻力,吸引衔铁向下运动,从而带动动触头5与静触头6闭合。线圈断电后,电磁吸力消失,衔铁及动触头在反作用弹簧4的作用下向上返回,原闭合的动静触头断开,常闭触头5、7闭合恢复原态。由此可见,吸合和释放是接触器的两种基本工作状态,当吸力大于反力时,接触器开始吸合过程或保持吸合状态,当反力大于吸力时,接触器开始释放过程或维持释放状态。为此,接触器应由如图1-9(b)所示的电磁机构、触头和灭弧装置、反作用弹簧以及其他辅助支架构成。

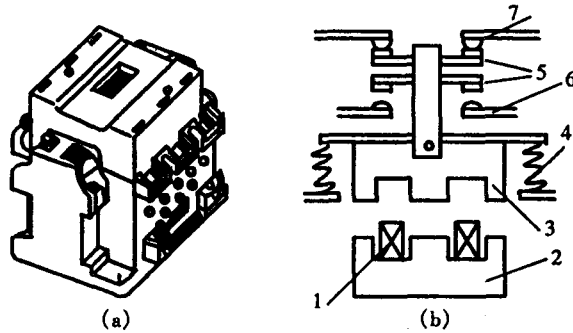


图 1-9 交流接触器

(a) 外形图; (b) 结构示意图

1—线圈;2—铁芯;3—衔铁;4—反作用弹簧;5—动触头;6、7—静触头

接触器通常分为交流接触器和直流接触器,两类接触器在电磁机构、灭弧装置等方面均有所不同,下面对其中主要部分作简要介绍。

#### 1.2.1.1 电磁机构

如上所述,电磁机构通过施加一定的电压或电流,产生必要的电磁吸力带动触头运动,它包括线圈、铁芯和衔铁三部分。

直流接触器的线圈中通过直流电,当电流到达稳定值以后,磁通是恒定的,导磁体中不存在涡流和磁滞损耗,故铁芯和衔铁一般用整块低碳钢或工程纯铁制成。直流接触器的电磁机构一般采用转动拍合式结构,如图1-10所示。它的静铁芯通常分为极靴、铁芯、铁轭等部分,铁芯与极靴一般为圆形,铁轭与衔铁的截面则是矩形的。极靴用以增大气隙的磁导并且可以压住线圈。非磁性垫片5和6用来减小剩磁通,以防止线圈断电后,发生衔铁被剩磁吸力吸住不能释放的现象,一般用磷青铜片制成。

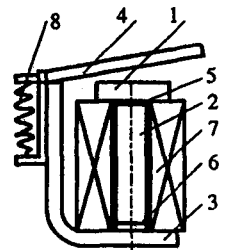


图 1-10 拍合式电磁机构

1—极靴;2—铁芯;  
3—铁轭;4—衔铁;  
5、6—非磁性垫片;  
7—线圈;8—反力弹簧

交流接触器的线圈中通过交流电流,导磁体中的磁通是交变的,为了减小涡流和磁滞损耗,铁芯和衔铁一般用薄的硅钢片叠装而成。交流接触器的电磁机构一般采用双E直动式结构。铁芯、衔铁及线圈

的截面为矩形,铁芯与线圈间的间隙较大。线圈通电后,电磁机构中的吸力与铁芯中的磁通密度、铁芯截面以及铁芯和衔铁之间的气隙大小有关。由于交流电压的交变周期性,铁芯中的磁通及其产生的电磁吸力也随时间变化。

图1-11(a)表示磁通密度 $B$ 和吸力 $F$ 随时间的变化曲线,由图可见,电磁吸力是在零到最大值之间变化的,其结果将使衔铁发生每秒100次的震动,这个震动不但产生很大的噪音,而且使电磁机构很容易损坏。为了消除这个震动,交流接触器一般在铁芯端面装设一个

短路铜环即分磁环,如图 1-11(b)所示。由于该环并非包围整个端面,只是包围了其中一部分(图中  $S_2$ ),这样,穿过铜环的磁通由于受到阻尼落后未穿过铜环的磁通一个电角度  $\varphi$ ,这两个磁通分别产生各自的电磁吸力,如图 1-11(c)所示。由图可见,吸力  $F_1$  和吸力  $F_2$  尽管仍在零到最大值之间,但是,由于时间上存在着相位差  $\varphi$ ,总的电磁吸力将不过零,包含着—个恒定分量,减弱了交变震动,若设计合理的话,可以完全消除这个震动。此外,交流接触器电磁机构在未吸合时,气隙较大,线圈阻抗相对较小,所以在刚接通电源时,交流接触器线圈中将有较大的瞬时电流通过。

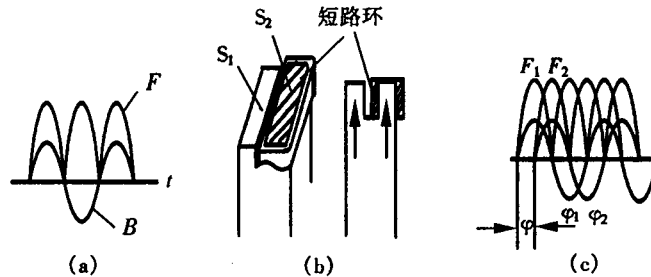


图 1-11 交流电磁机构中的磁密和分磁环

(a) 磁通密度及吸力; (b) 铁芯端面加装分磁环; (c) 电磁吸力得到了改善

### 1.2.1.2 触头和灭弧机构

接触器的触头有主触头和辅助触头之分。主触头接在主电路中流过负载电流;辅助触头接在控制、信号电路中流过信号弱电流。接触器的主触头不但要求通过大的电流,而且要耐受机械磨损和电弧的烧灼,所以要求导电性好,耐高温、耐磨、强度大,一般用铜钨合金或金属陶瓷材料制成。

触头的形式多样,交流接触器一般采用双断点桥式触头结构,如图 1-12 所示。由于触头表面不平整及氧化层的影响,在静触头的接触处将呈现一定的电阻,为了减少这个接触电阻,在动触头上设置触头弹簧以增大接触压力。图中,当动触头刚与静触头接触时,由于接触器装配时触头弹簧被预先压缩,因此有一个初压力  $F_c$ ,如图 1-12(b)所示。触头闭合后,由于弹簧在超行程内继续被压缩,产生了一终压力  $F_z$ ,如图 1-12(c)所示,此压力使触头在闭合状态的接触电阻低而且稳定。

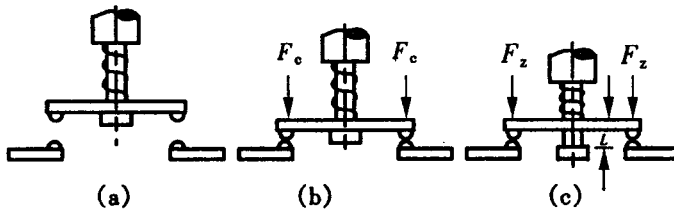


图 1-12 双断点桥式触头

(a) 断开状态; (b) 刚接触时; (c) 闭合状态

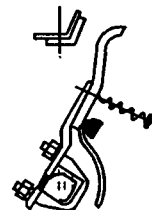


图 1-13 单断点指形触头

直流接触器一般采用单断点指形触头结构,如图 1-13 所示。单断点指形触头在闭合和断开过程中有滚滑运动,能消除触头表面的氧化物,以保证接触良好。此外,动触头上设置触头弹簧使触头的接触压力大,电动稳定性高。

当接触器切断带负载的电路时,在拉开的两个触头之间,由于热电子、强电场发射以及撞击,高温游离将出现强烈的火花,这种气体放电现象通常称为电弧。强烈的电弧将烧损触

头并危及绝缘,严重时,甚至引起相间短路或使电器爆炸引起火灾。为了保证接触器可靠地工作,接触器均需设置灭弧装置,接触器的灭弧器装置常有以下几种:

(1) 栅片灭弧罩 为迅速切断触头断开时形成的电弧,部分接触器设有由陶瓷灭弧罩和铁栅片构成的灭弧装置,铁栅片以等距离安置在陶瓷做成的罩子内,如图 1-14 所示。当接触器在带负载情况下开断时,动触头与静触头间所产生的电弧,在电动力与热空气流的作用下迅速向上运动进入灭弧罩,被相互绝缘的栅片分割成若干段短电弧,这些短电弧被周围介质迅速冷却。另外,由于维持一段电弧燃烧必须要有一定的电压,被分割后的若干段短弧增大了整个电弧的电压降,使电源电压不能继续维持这些短弧燃烧,从而使电弧很快熄灭。这种灭弧装置在交流或直流接触器中均有采用。

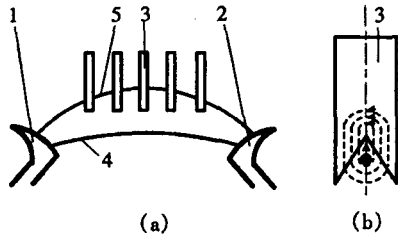


图 1-14 栅片灭弧

(a) 电弧进入栅片被分割;(b) 灭弧栅片的形状  
1—静触头;2—动触头;3—灭弧栅片;  
4—长电弧;5—短电弧

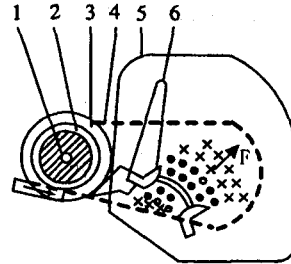


图 1-15 磁吹式灭弧装置

1—铁芯;2—绝缘管;  
3—吹弧线圈;4—导磁颊片;  
5—灭弧罩;6—熄弧角

(2) 磁吹式灭弧装置 在直流接触器中广泛应用磁吹式灭弧装置。图 1-15 为这种灭弧装置的原理结构。在触头电路中串联一个吹弧线圈 3,它产生的磁通通过导磁颊片 4 引向触头周围,如图中“x”符号所示,电弧产生的磁通如图中“⊗”和“⊙”符号所示。由图可见,在弧柱下面吹弧线圈产生的磁通与电弧产生的磁通是叠加的,而在弧柱上面则彼此相抵消,因此就产生一个向上的力将电弧拉长并吹入灭弧罩 5 中。熄弧角 6 与静触头相连以引导电弧向上运动,将热量传递给罩壁加速电弧熄灭。

由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧,吹力与电流的平方成正比,电弧电流越大,吹弧的能力也越强。因此在开断小电流时,将由于吹力减弱造成灭弧困难。磁吹式灭弧装置除了串联磁吹弧线圈外,尚可采用并联磁吹线圈,这种线圈用多匝细线绕成,并联在直流电压上,这样它在触头间隙中产生的磁场便不受开断电流大小的影响,从而改善了接触器在开断小电流时的灭弧性能。

(3) 桥式触头灭弧装置 双断点桥式触头具有两个有效灭弧区域,灭弧效果较好。当开断负载电流时,左右两个触头的弧隙中产生两个彼此串联的电弧,两断点电弧电流的方向是相反的,如图 1-16 所示,相反电流产生的互相排斥的力使电弧向两外侧方向运动而灭弧。这种灭弧方法多用于小容量的交流接触器,当配置栅片灭弧罩后,也可用于大容量的交流接触器。

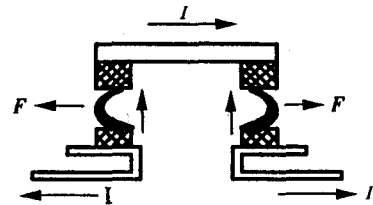


图 1-16 双断点桥式灭弧

在相同条件下,切断交流负载时所引起的电弧要比切断直流负载时引起的电弧容易熄灭。这是因为交流电压每个周期两次过零时,电弧会自行熄灭,因此,交流灭弧着眼于避免

熄弧后的再击穿。此外,交流电弧过零时,由于弧隙间电子与正离子质量和能动性的差异使改变后的阴极触头附近缺乏自由电子,从而在阴极触头附近介质的绝缘强度得以恢复,这个所谓的“近阴极效应”也有利于交流电弧的熄灭,因此,同样容量的交流接触器,它的灭弧装置要比直流接触器简单。

## 1.2.2 接触器的主要技术参数和选用方法

### 1.2.2.1 表征接触器的技术参数

(1) 额定电压 指主触头的额定工作电压。接触器主触头额定工作电压的等级划分为交流 380V、660V 及 1140V,直流 220V、440V 及 660V,辅助触头的额定工作电压一般为交流 380V、直流 220V,吸引线圈的工作电压一般等于或低于交流 380V,直流 220V。

(2) 额定电流 指主触头的额定工作电流,它是在一定的使用类别、工作体制和操作频率下规定的工作电流值,其值从 5A 到 4000A 划分为多个等级。

(3) 接通与分断能力 指接触器的主触头在规定条件下,能可靠地接通和分断的电流值。在此电流下,接通和分断时不应发生熔焊、飞弧和过分磨损等损坏接触器正常使用的情况。接通与分断能力一般以额定电流的倍数来表示。

(4) 操作频率 每小时允许的操作次数,目前一般分为 300 次/h、600 次/h 和 1200 次/h 等几种。操作频率影响接触器的寿命及灭弧装置的工作条件,对于交流接触器还影响线圈的温升。

(5) 机械寿命和电寿命 指接触器能正常工作操作次数。机械寿命与操作频率有关,当接触器使用年限一定时,操作频率愈高,机械寿命就愈低。电寿命则与使用类别有关,同一接触器,用于重任务负载时,其电寿命就低,反之则愈高。接触器是频繁操作的电器,应有较长的机械和电气寿命。

(6) 额定工作制 指接触器的持续工作时间,一般有长期工作制、间断工作制和反复短时工作制。

我国用符号 CZ 表示直流接触器,用符号 CJ 表示交流接触器,为适应不同的工作任务及使用场合,接触器又各有不同的系列,同一系列的接触器又有不同的技术参数定额,对于不同系列和不同型号的交流 and 直流接触器的性能、用途以及上述技术指标,在有关的产品说明书及产品样本中均有说明。应该指出,接触器的应用非常广泛,不同使用场合和不同控制对象,其工作繁重程度有着很大的差异。接触器给定的额定参数,仅是相应于一定使用条件下的额定值,为此在选用接触器时,必须充分了解控制对象的使用条件和接触器的性能特点,在此基础上可参考下列步骤选用。

### 1.2.2.2 选用接触器步骤

(1) 根据工作任务类别,使用场所环境特点,负载性质确定接触器的系列。

(2) 根据负载的额定电压确定接触器的额定电压,一般接触器的额定电压应大于或等于主电路的额定电压。

(3) 接触器吸引线圈的额定电压与接入此线圈的控制电路的额定电压相适应。

(4) 根据实际负载电流确定接触器的额定电流。当实际工作任务、负载性质与选用的接触器相当时,所选接触器的额定电流可大于或稍大于负载额定电流;当按轻任务使用类别设计的接触器用于重任务使用类别时,接触器的容量应降低使用。

(5) 按所承担的任务确定接触器常闭触头和常开触头的数量。

### 1.2.3 真空接触器

在有爆炸或火灾危险的场合,如钻井平台内某些舱室,煤矿井下或化工企业等,上述电磁接触器都不宜直接使用,应采取特殊的防爆措施,而真空接触器则可使用于这些场所。

图 1-17 为真空接触器的触头和灭弧室的结构图。它是一个真空部件,动静触头均密封在玻璃或陶瓷制成的外壳内,动触头在波纹管内外上下运动一个不大的距离。真空灭弧室内的真空度通常在  $10^{-6}$ mmHg 以上,在此空间里只有很少的气体分子存在,如果触头间出现热或强电场电子发射,它在外施电压的加速下,穿过触头间隙时几乎不和气体分子碰撞,因此触头间隙很不容易击穿。在通常气压的空气中,即使触头表面十分光滑,1mm 间隙的直流耐压强度最多只有 4kV,而在 1mm 的真空间隙中,即使触头表面相当粗糙,其耐压强度却有 10kV 左右。

当真空接触器开断电流时,由于电弧的高温使触头材料蒸发,在触头间形成金属蒸汽,真空电弧就在金属蒸汽中“燃烧”。当交流电弧过零时,由于介质是真空,因此触头间的金属蒸汽以极快的速度向四周扩散,这样,在电流过零后的极短时间内,触头间立即恢复到真空状态,介质绝缘强度恢复极快,使电弧立即熄灭。由于真空电弧有时在电弧电流尚未到达零点时熄灭即电弧电流突然从某一值下降至零,此现象称之为“截流”。由于截流过程的时间很短,因此会产生较高的电压。

图中,屏蔽罩的作用是分断电流时,有效地凝结从触头间隙扩散出来的金属蒸汽,有利于电弧熄灭,此外,尚可防止金属蒸汽飞溅到绝缘外壳上,降低外壳内壁的绝缘强度。

真空接触器具有高的分断能力,在交流 1kV 时,触头的间隙只要大于 1mm,就能可靠地分断 10~20 倍额定电流,触头的间隙适当加大时,可用于更高的电压。由于真空电弧燃烧时间短,电弧电压低,因此电弧能量小,触头烧损小,电器寿命长。此外,由于触头的间距相对较小,操作时机械碰撞和磨损小,机械寿命也很高。因此,真空接触器可在重任务重负荷及很高频率下使用。与交流接触器相比,真空接触器体积小、重量轻、操作时噪音小、真空部件不需维修。真空接触器的缺点是具有较高的过电压,不能直接用于通断直流电路,而且价格较高。

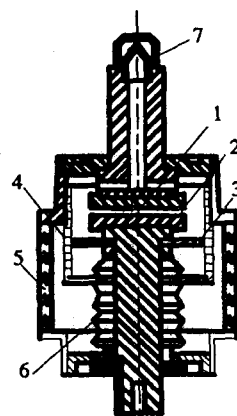


图 1-17 真空灭弧器

1—静触头;2—动触头;3—挡板;4—屏蔽罩;5—外壳;6—波纹管;7—排气管

## 1.3 电磁继电器

在电力拖动自动控制系统中,继电器担负着开关信息的传递和转换任务,也能对信息进行检测和分配,使整个系统按照一定的程序自动运行。

电磁式继电器是控制系统中用得最多的一种继电器,这种继电器的结构和工作原理类似于接触器,不同的是继电器控制的是小功率信号系统,电流很弱,没有像接触器那样的灭弧装置,整个电器体积小,动作灵敏,结构紧凑。

电磁继电器反映的是电信号,它的检测元件是线圈,它可以反映电压信号,也可以反映电流信号。当反映电压信号时,线圈阻抗很大,应和电压源并联,称为电压线圈。当反映电流信号时,线圈阻抗很小,应和电流源串联,称为电流线圈。

与接触器同样,电磁继电器也有交、直流之分,交流继电器的铁芯用硅钢片叠成,磁极端



面装有短路铜环,直流继电器的铁芯用软钢制成,不需装设短路铜环。下面对继电器的一些主要性能、整定方法及常用电磁继电器作一介绍。

### 1.3.1 继电器的输入—输出特性

继电器的主要特性是输入—输出特性或称继电特性,继电特性为一矩形曲线,如图 1-18 所示。

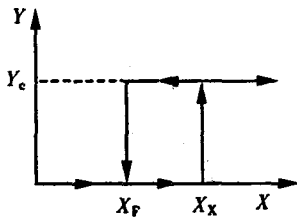


图 1-18 继电特性

图中,在继电器的输入量  $X$  由零增至  $X_X$  之前,继电器的输出量  $Y$  为零,当输入量增至  $X_X$  值时,继电器吸合,通过其触头输出  $Y_C$  值,当输入量继续增大时,输出量  $Y$  值不变。当输入量减小至  $X_F$  时继电器释放,输出量由  $Y_C$  值降到零,此后继续减小输入量, $Y$  值仍为零。由此可见,对于电磁继电器输入一个电压或电流的规定值,继电器通过其触头输出一个开关量(常开触头闭合)及其他的“非”(常闭触头断开),即输出一对开关量是继电器工作的特点。

$X_X$  为继电器的吸合值,即继电器可动衔铁开始运动时的输入量。对于电压继电器即为吸合电压  $U_{XD}$ ,对于电流继电器即为吸合电流  $I_{XD}$ 。

$X_F$  为继电器的释放值,即继电器衔铁开始返回时的输入量,对于电压继电器即为释放电压  $U_{SF}$ ,对于电流继电器即为释放电流  $I_{SF}$ 。

$K_F = X_F/X_X$ ,为继电器的返回系数,它是继电器的一个重要参数。不同使用场合要求有不同的  $K_F$  值,一般控制用继电器要求低返回系数, $K_F$  值一般在 0.4 以下。这样,当继电器吸合后,输入量有较大的波动时不致引起误动作;有些保护用继电器,例如欠压继电器则要求高返回系数,假如欠压继电器的  $K_F = 0.72$ ,吸合电压为 90% 额定电压,则当电压低于 65% 额定电压时,继电器释放起到了欠压保护的作用。继电器的  $K_F$  值在一定范围内是可以人为调节的。

除上述提到的之外,表征继电器技术性能的参数尚有以下几个:

**吸合时间和释放时间** 吸合时间是从线圈接受吸合信号到衔铁完全吸合所需的时间,释放时间是从线圈接受释放信号到衔铁完全释放所需时间。一般继电器的吸合时间与释放时间为 0.05 ~ 0.15s,快速继电器为 0.005 ~ 0.05s,它的大小影响着继电器的操作频率。

**额定电压和额定电流** 对于电压继电器,它的线圈的额定电压就定为继电器的额定电压,对于电流继电器,线圈的额定电流定为继电器的额定电流。

**整定值** 按控制系统要求,将继电器的吸合值或释放值调整到某一值,该吸合值或释放值称为继电器的整定值。

**灵敏度** 使继电器动作所需的最小功率。灵敏度高则所需的功率小。

### 1.3.2 电磁继电器的整定方法

继电器在首次投入工作之前,应将它们的吸合值和释放值或者返回系数整定到控制系统所要求的数值,整定继电器是电气技术人员应具有的技能。

电磁式继电器的电磁机构如图 1-19 所示。图中,反作用弹簧对衔铁产生一个反时针方向转动的力,与接触器的工作原理类似,欲使衔铁吸合,线圈电流产生的电磁吸力必须大于这个反作用力;吸合后欲使衔铁打开,线圈产生的吸力应小于反作用力。可见,线圈的吸合