

普通高等院校仪器类“十三五”规划系列教材



电气控制与PLC

付 华 侯利民 周 围 主 编
陈伟华 谢国民 刘志德 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等院校仪器类“十三五”规划系列教材

电气控制与 PLC

付 华 侯利民 周 围 主 编

陈伟华 谢国民 刘志德 副主编



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了继电接触式控制系统和 FX_{3U} 系列 PLC 控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。重点介绍了电气控制线路、FX_{3U} 系列 PLC 原理及应用等内容。内容包括：常用低压电器、电气控制线路的基本规律和设计方法、FX_{3U} 系列 PLC 基本指令及其应用、步进顺控指令及编程方法、功能指令及其应用、FX 系列 PLC 通信技术、PLC 控制系统的设计及工程实例等。本书从实际应用角度出发，旨在培养学生熟练地分析与设计电气控制线路，具备利用 PLC 进行控制系统设计的基本能力。

本书可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、测控技术、机电一体化、计算机等相关专业的教学用书，也可供研究生及相关工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC / 付华, 侯利民, 周围主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.9

普通高等院校仪器类“十三五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-29434-1

I. ①电… II. ①付… ②侯… ③周… III. ①电气控制—高等学校—教材②PLC 技术—高等学校—教材
IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 167943 号

策划编辑: 赵玉山

责任编辑: 刘真平

印 刷: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

装 订: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.25 字数: 467.2 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

印 次: 2016 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhaoyz@phei.com.cn。

普通高等院校仪器类“十三五”规划系列

教材编委会

主 任：丁天怀（清华大学）

委 员：陈祥光（北京理工大学）

王 祁（哈尔滨工业大学）

王建林（北京化工大学）

曾周末（天津大学）

余晓芬（合肥工业大学）

侯培国（燕山大学）

前 言

电气控制与 PLC 是电气类、机电类专业的一门实践性较强的专业课程，其在工业自动化控制领域的应用十分广泛。本书以电气控制和目前市场上具有广泛影响的主流机型三菱 FX_{3U} 系列 PLC 为研究背景，遵循“以理论知识与实例一体化为基础，工程应用为导向，能力培养为核心，创新技能为目标”的编写思想，在突出基础知识、基本分析设计方法以及基本编程能力的基础上，更注重培养分析解决实际问题的能力、工程设计能力和创新意识，充分体现了教材的科学性、实用性和可操作性。本书突出工程特色，以工程教育为理念，围绕培养应用创新型工程人才这一培养目标，着重学生的独立研究能力、动手能力和解决实际问题能力的培养，体现了测控技术与仪器专业工程人才培养模式和教学内容的改革成果，通过科学规范的工程人才教材建设促进专业建设和工程人才培养质量的提高。

本书主要介绍了电气控制线路、FX_{3U} 系列 PLC 原理及应用等内容，既注重系统全面、新颖，又力求叙述简练、层次分明、通俗易懂。在编写形式上，既注重从实际应用的角度出发，又涵盖理论知识的阐述，满足读者各自不同的需求。在结构安排上，由浅入深、循序渐进、图文并茂，具有一定的广度和深度。书中用到了先进的二维码技术，读者可以通过扫描获取经典的视频和动画等信息，在加深相关知识理解的同时丰富信息量。本书讲解透彻、逻辑性强、重点突出，读者通过学习本书，能很快掌握 PLC 技术，并具备应用系统设计的能力。

本书共分八章，第 1 章由付华、刘志德编写，第 2 章由周围编写，第 3、4 章由陈伟华编写，第 5、6 章由侯利民编写，第 7、8 章由谢国民编写。王庆贵、王怀震、谢鸿、单敏柱、臧东、王红发、任一夫、李勇、丁会巧、刘叶、刘宽、黄睿灵等人参加了部分编写工作，绘制了插图和录入了部分文字。

本书在编写过程中，参考了相关的书籍资料，在此向这些书的作者表示感谢！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
2015 年 11 月

目 录

第 1 章 常用低压电器	(1)
1.1 低压电器的定义和分类	(1)
1.1.1 低压电器的定义	(1)
1.1.2 低压电器的分类	(1)
1.2 电磁式电器的组成与工作原理	(2)
1.2.1 电磁机构	(2)
1.2.2 触点系统	(5)
1.2.3 灭弧系统	(5)
1.3 接触器	(6)
1.3.1 接触器的组成及工作原理	(6)
1.3.2 接触器的分类	(8)
1.3.3 接触器的主要技术参数	(8)
1.3.4 接触器的选择与使用	(9)
1.3.5 接触器的图形符号与文字符号	(9)
1.4 继电器	(9)
1.4.1 继电器的分类和特性	(9)
1.4.2 电磁式继电器	(10)
1.4.3 时间继电器	(12)
1.4.4 热继电器	(13)
1.4.5 速度继电器	(16)
1.4.6 液位继电器	(16)
1.4.7 压力继电器	(17)
1.4.8 固态继电器	(17)
1.5 主令电器	(18)
1.5.1 控制按钮	(18)
1.5.2 行程开关	(19)
1.5.3 接近开关	(20)
1.5.4 万能转换开关	(20)
1.6 信号电器	(20)
1.7 开关电器	(21)
1.7.1 刀开关	(21)
1.7.2 低压断路器	(22)
1.8 熔断器	(23)
1.8.1 熔断器的结构和工作原理	(24)
1.8.2 熔断器的类型	(24)

1.8.3	熔断器的主要技术参数	(25)
1.8.4	熔断器的选择与使用	(25)
1.9	电磁执行器	(26)
1.9.1	电磁铁	(26)
1.9.2	电磁阀	(27)
1.9.3	电磁制动器	(29)
	思考与练习	(29)
第2章	电气控制线路	(30)
2.1	电气控制线路的绘制	(31)
2.1.1	电气控制系统图中的图形和文字符号	(31)
2.1.2	电气原理图	(34)
2.1.3	电气安装图	(38)
2.2	三相异步电动机控制电路	(39)
2.2.1	三相异步电动机的启动控制电路	(39)
2.2.2	三相异步电动机的正反转控制电路	(41)
2.2.3	三相异步电动机的其他控制电路	(43)
2.2.4	三相异步电动机控制的保护环节	(52)
2.3	电气控制线路设计	(54)
2.3.1	电气控制线路的一般设计法	(54)
2.3.2	电气控制线路的逻辑设计法	(54)
	思考与练习	(58)
第3章	可编程序控制器概述	(59)
3.1	PLC的产生及定义	(59)
3.1.1	PLC的产生	(59)
3.1.2	PLC的定义	(60)
3.2	PLC的发展与应用	(61)
3.2.1	PLC的发展历程	(61)
3.2.2	PLC的发展趋势	(63)
3.2.3	PLC的应用领域	(66)
3.3	PLC的特点	(69)
3.4	PLC的分类	(70)
3.4.1	按结构形式分类	(70)
3.4.2	按功能分类	(71)
3.4.3	按I/O点数分类	(71)
3.5	PLC的硬件结构和各部分的作用	(72)
3.6	PLC的工作原理	(76)
3.6.1	PLC控制系统的组成	(76)
3.6.2	PLC循环扫描的工作过程	(78)
3.6.3	PLC用户程序的工作过程	(80)
3.6.4	PLC工作过程举例说明	(80)
3.6.5	输入、输出延迟响应	(84)

3.6.6 PLC 对输入、输出的处理规则	(86)
思考与练习	(87)
第 4 章 三菱 FX _{3U} 系列可编程序控制器资源及配置	(88)
4.1 FX _{3U} 系列 PLC 规格及性能	(88)
4.1.1 FX _{3U} 系列 PLC 型号名称的含义	(88)
4.1.2 FX _{3U} 系列 PLC 的外观及其主要特点	(89)
4.1.3 FX _{3U} 系列 PLC 的功能与扩展	(90)
4.2 FX _{3U} 系列 PLC 选型、配置及接线	(93)
4.2.1 FX _{3U} 系列 PLC 的选型	(93)
4.2.2 FX _{3U} 系列 PLC 的配置	(97)
4.2.3 FX _{3U} 系列 PLC 的接线	(101)
4.3 FX _{3U} 系列 PLC 编程元件及地址	(104)
4.3.1 PLC 编程元件的分类、编号和基本特征	(104)
4.3.2 PLC 主要编程元件及其使用	(105)
4.4 FX _{3U} 系列 PLC 的编程环境	(115)
4.4.1 软件概述	(115)
4.4.2 软件安装	(116)
4.4.3 软件菜单使用介绍	(119)
4.4.4 工程项目	(121)
4.4.5 程序的制作	(123)
4.4.6 工程描述	(130)
4.4.7 运行监控	(132)
4.4.8 GX Simulator Ver.6 仿真软件的使用	(133)
思考与练习	(134)
第 5 章 三菱 FX _{3U} 系列 PLC 的基本指令系统	(135)
5.1 FX _{3U} 系列 PLC 的基本指令	(135)
5.1.1 触点指令及线圈输出指令	(138)
5.1.2 块与、块或指令——ANB、ORB	(142)
5.1.3 多重输出指令——MPS、MRD、MPP	(144)
5.1.4 取反指令——INV	(146)
5.1.5 上升/下降延时导通指令——MEP、MEF	(146)
5.1.6 输出指令	(147)
5.1.7 主控及主控复位指令——MC、MCR	(149)
5.1.8 空操作指令——NOP	(150)
5.1.9 程序结束指令——END	(150)
5.2 基本指令应用举例	(151)
5.2.1 编程注意事项	(151)
5.2.2 基本控制环节	(152)
5.2.3 基本指令应用示例	(156)
思考与练习	(162)

第 6 章	FX _{3U} 系列 PLC 的步进顺控指令及编程方法	(165)
6.1	顺序功能图的组成	(167)
6.2	步进顺控指令及步进梯形图	(168)
6.2.1	状态元件与步进顺控指令	(168)
6.2.2	步进梯形图	(169)
6.3	SFC 的流程控制	(169)
6.3.1	单序列顺序功能图	(169)
6.3.2	选择性分支与汇合流程	(169)
6.3.3	并行性分支与汇合流程	(170)
6.3.4	跳转、重复与复位流程	(171)
6.4	顺序功能图编程实例	(171)
	思考与练习	(177)
第 7 章	三菱 FX _{3U} 系列 PLC 的功能指令	(180)
7.1	功能指令的格式	(181)
7.1.1	功能指令的结构	(181)
7.1.2	操作数可用元件形式	(181)
7.1.3	指令处理的数据长度	(182)
7.1.4	指令执行形式	(182)
7.2	基本功能指令	(182)
7.2.1	传送指令和比较指令	(182)
7.2.2	程序流程指令	(187)
7.2.3	四则运算指令	(190)
7.2.4	移位和循环指令	(193)
7.2.5	数据处理指令	(196)
7.2.6	高速处理指令	(200)
7.2.7	方便指令	(203)
7.2.8	外部 I/O 设备指令	(207)
7.2.9	外部串口设备指令	(211)
7.2.10	浮点数运算指令	(214)
7.2.11	触点比较指令	(217)
7.3	其他功能指令	(219)
7.3.1	模拟量输入模块及指令	(219)
7.3.2	模拟量输出模块及指令	(227)
7.3.3	PID 指令	(234)
7.4	应用实例	(237)
	思考与练习	(245)
第 8 章	三菱 FX 系列 PLC 的通信技术	(246)
8.1	FX 系列 PLC 通信基础	(246)
8.1.1	PLC 通信的基本概念	(247)
8.1.2	RS-485 标准串行接口	(251)
8.2	FX 系列 PLC 的 N:N 网络通信	(253)

8.2.1	相关的标志和数据寄存器说明	(253)
8.2.2	参数设置	(254)
8.3	并行链接通信	(256)
8.3.1	并行链接通信基础	(256)
8.3.2	并行链接通信的应用	(257)
8.4	计算机链接与无协议通信	(258)
8.4.1	计算机链接通信基础	(258)
8.4.2	无协议通信	(262)
8.5	CC-Link 通信	(262)
8.5.1	CC-Link 家族	(263)
8.5.2	CC-Link	(263)
8.5.3	CC-Link Ver2.0 提供更多功能和更优异的性能	(268)
8.5.4	CC-Link Safety 构筑最优化的工厂安全系统	(269)
8.5.5	CC-Link IE	(269)
8.5.6	CC-Link 技术规范	(270)
8.6	实例应用	(273)
	思考与练习	(277)
	参考文献	(278)

第1章

常用低压电器

本章知识点:

- 电磁式电器的组成与工作原理;
- 接触器的组成与原理;
- 继电器的分类与原理;
- 主令电器的原理;
- 电磁执行器的原理。

基本要求:

- 了解低压电器的定义与分类;
- 掌握电磁式电器的基本机构与工作原理;
- 掌握接触器、继电器、行程开关、电磁阀的功能、工作原理、用途及选用方法;
- 理解信号电器、低压断路器、熔断器等的功能、工作原理、用途及选用方法;
- 理解接触器与继电器、低压断路器与熔断器的区别。

能力培养:

通过接触器、继电器、电磁阀、断路器等知识点的学习,培养学生阅读、理解、分析与设计电气控制电路的基本能力。学生能根据现场技术指标要求及工程实际需求,正确选择和合理使用低压电器,运用本章所学知识分析、解决工程应用中出现的低压电器方面的问题,具有一定的工程实践能力。

1.1 低压电器的定义和分类



1.1.1 低压电器的定义

凡是自动或手动接通和断开电路,以及能对电路或非电对象实现切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的电气元件统称为电器。用于交流 50Hz 额定电压 1200V 以下、直流额定电压 1500V 以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。

1.1.2 低压电器的分类

低压电器的用途广泛,功能多样,种类繁多。

按其用途可分为:

(1) 配电电器。用于配电系统,进行电能的输送和分配,如熔断器、刀开关、转换开关、

低压断路器等。

(2) 控制电器。主要用于自动控制系统和用电设备中,如接触器、继电器、主令电器、电阻器、电磁铁等。

按其动作方式可分为:

(1) 自动操作电器。依靠外部信号的作用或本身参数的变化自动完成接通或断开操作的电器,如接触器、继电器等。

(2) 手动操作电器。用手直接进行操作的电器,如按钮、转换开关等。

按其执行机构可分为:

(1) 有触点电器。利用触点的接通和分断来通断电路,如接触器、低压断路器等。

(2) 无触点电器。利用电子电路发出检测信号或执行指令,达到控制电路的目的,如接近开关、光电开关、电子式时间继电器等。

近年来,我国低压电器产品发展很快,通过自行设计新产品和从国外著名厂家引进技术,产品品种和质量都有明显的提高,符合新国家标准、达到国际电工委员会(IEC)标准的产品不断增加。国家严格禁止生产厂家继续销售淘汰的产品,对选用淘汰产品的工程设计则视为劣质设计。这些扶优限劣的技术政策对我国低压电器产品的技术进步和提高电气控制系统的可靠性有着十分重要的作用。

当前,低压电器继续沿着体积小、重量轻、安全可靠、使用方便的方向发展,主要途径是利用微电子技术提高传统电器的性能;在产品品种方面,大力发展电子化的新型控制电器,如接近开关、光电开关、电子式时间继电器、固态继电器与接触器、漏电继电器、电子式电机保护器和半导体启动器等,以适应控制系统迅速电子化的需要。

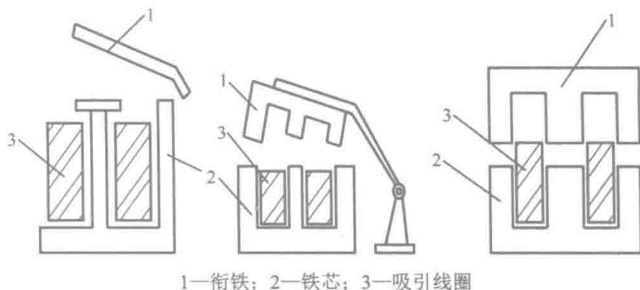
1.2 电磁式电器的组成与工作原理

电磁式电器在电气自动化控制电路中使用最多,类型也很多,就其结构而言,可认为是由电磁机构和触点系统两个主要部分组成的。

1.2.1 电磁机构

1. 电磁机构的结构形式及工作原理

电磁机构是电磁式电器的信号检测部分。它的主要作用是将电磁能量转换为机械能量并带动触点动作,从而完成电路的接通或分断。电磁机构由铁芯(静铁芯)、衔铁(动铁芯)和线圈等部分组成,如图 1-1 所示。



1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈

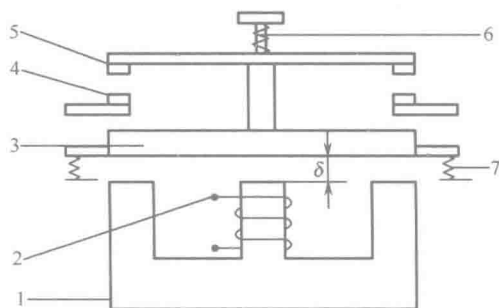
图 1-1 常用的磁路结构示意图

根据衔铁的运动方式不同,可以分为转动式和直动式。电磁式电器分为直流与交流两大类,都是利用电磁铁的原理制成的。通常直流电磁铁的铁芯用整块钢材或工程纯铁制成,而交流电磁铁的铁芯则用硅钢片叠铆而成。吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能,按通入电流种类的不同,可分为直流和交流线圈。

对于直流电磁铁,因其铁芯不发热,只有线圈发热,所以直流电磁铁的吸引线圈制成高而薄的瘦长形且不设线圈骨架,使线圈与铁芯直接接触,易于散热。

对于交流电磁铁,由于其铁芯存在磁滞和涡流损耗,这样线圈和铁芯都发热,所以交流电磁铁的吸引线圈有骨架,使铁芯与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖形,这样有利于铁芯和线圈的散热。

电磁式电器的工作原理示意图如图 1-2 所示。其工作原理是:当电磁线圈通电后,产生的磁通经过铁芯、衔铁和气隙形成闭合回路,此时衔铁被磁化产生电磁吸力,所产生的电磁吸力克服释放弹簧与触点弹簧的反力使衔铁产生机械位移,与铁芯吸合,并带动触点支架使动、静触点接触闭合。当电磁线圈断电或电压显著下降时,由于电磁吸力消失或过小,衔铁在弹簧反力作用下返回原位,同时带动触点脱离静触点,将电路切断。



1—铁芯; 2—电磁线圈; 3—衔铁; 4—静触点; 5—动触点; 6—触点弹簧; 7—释放弹簧; δ —气隙

图 1-2 电磁式电器的工作原理示意图

2. 电磁机构的吸力特性与反力特性

电磁机构工作时,作用在衔铁上的力有两个:电磁吸力与反力。电磁吸力由电磁机构产生,反力则由释放弹簧和触点弹簧所产生。

根据麦克斯韦电磁力计算公式可知,如果气隙中的磁场均匀分布,电磁吸力 F_{at} 的大小与气隙的截面积 S 及气隙磁感应强度 B 的二次方成正比,即

$$F_{at} = \frac{B^2 S}{2\mu_0} \quad (1-1)$$

式中,真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$,非磁性材料的磁导率 $\mu \approx \mu_0$,代入式 (1-1),得

$$F_{at} = \frac{10^7 B^2 S}{8\pi} = \frac{10^7 \Phi^2}{8\pi S} \quad (1-2)$$

式中, F_{at} 为电磁吸力,单位为 N (牛顿); B 为气隙磁感应强度,单位为 T (特斯拉); S 为气隙的截面积,单位为 m^2 (平方米); Φ 为气隙中的磁通量,单位为 Wb (韦伯)。

当气隙截面积 S 为常数时,电磁吸力与 B^2 或 Φ^2 成正比。

电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表示。吸力特性是指电磁吸力 F_{at} 随衔铁与铁芯间气隙 δ 变化的关系曲线。不同的电磁机构有不同的吸力特性。

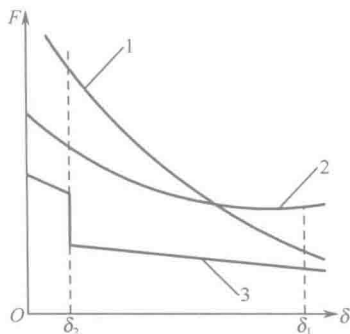
1) 直流电磁机构的吸力特性

对于直流线圈, 当电压 U 与线圈电阻 R 不变时, 流过线圈的电流 I 不变。由磁路定律 $\Phi = \frac{IN}{R_m}$ (式中, R_m 为气隙磁阻, $R_m = \frac{\delta}{\mu_0 S}$; N 为线圈匝数) 可知, $F_{at} \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{R_m^2} \propto \frac{1}{\delta^2}$, 即衔铁动作过程中为恒磁动势工作, 电磁吸力 F_{at} 与气隙 δ 的二次方成反比, 所以直流电磁机构的吸力特性为二次曲线形状, 如图 1-3 所示。它表明衔铁吸合前后吸力变化很大, 气隙越小吸力越大。

直流电磁机构在衔铁吸合过程中, 电磁吸力是逐渐增加的, 完全吸合时电磁吸力达到最大。对于可靠性要求很高或动作频繁的控制系統常采用直流电磁机构。

2) 交流电磁机构的吸力特性

对于具有交流线圈的电磁机构, 其吸力特性与直流电磁机构有所不同。假定交流线圈外加电压 U 不变, 交流电磁线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗, 电阻可忽略, 则 $U \approx E = 4.44 f N \Phi$, $\Phi = \frac{U}{4.44 f N}$ 。式中, E 为线圈感应电动势, f 为电源电压频率。当 U 、 f 、 N 为常数时, Φ 为常数, 即交流电磁机构在衔铁吸合前后 Φ 是不变的 (为恒磁通工作), 故 F_{at} 也不变, 且 F_{at} 与气隙的大小无关, 但考虑到漏磁通的影响, 其电磁吸力 F_{at} 随气隙 δ 的减小略有增加。交流电磁机构的吸力特性如图 1-3 所示。



1—直流电磁机构吸力特性; 2—交流电磁机构吸力特性; 3—反力特性

图 1-3 吸力特性与反力特性的配合

虽然交流电磁机构的气隙磁通近似不变, 但气隙磁阻 R_m 要随着气隙 δ 的加大成正比增加, 因此, 交流励磁电流的大小也将随气隙 δ 的加大成正比增大。所以, 交流电磁机构在线圈已通电但衔铁尚未吸合时, 其电流将比额定电流大很多, 若衔铁卡住不能吸合或衔铁频繁动作, 交流线圈可能因过电流而烧毁, 故在可靠性要求高或频繁动作的场合, 一般不采用交流电磁机构。

3) 吸力特性和反力特性的配合

反力特性是指反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线, 反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力和摩擦阻力等。电磁机构使衔铁释放的力主要是弹簧的反力, 弹簧的反力与其形变的位移 x 成正比, 其反力可写为

$$F_r = k_1 x \quad (1-3)$$

反力特性如图 1-3 中的曲线 3 所示。图中 δ_1 为起始位置, δ_2 为动、静触点接触时的位置。在 $\delta_1 \sim \delta_2$ 区域内, 反作用力随着气隙的减小而略有增大, 在 δ_2 位置, 动、静触点接触, 这时触点的初压力作用到衔铁上, 反作用力突增。在 $\delta_2 \sim 0$ 区域内, 气隙越小, 触点压得越紧, 反作用力越大, 其特性曲线比较陡峭。

为了使电磁机构正常工作, 保证衔铁能牢牢吸合, 其吸力特性与反力特性必须配合得当。在衔铁整个吸合过程中, 其吸力都必须大于反力, 即吸力特性必须始终位于反力特性上方, 但不能过大或过小。吸力过大时, 动、静触点接触及衔铁与铁芯接触时的冲击力很大, 会使触点和衔铁发生弹跳, 从而导致触点熔焊或烧毁, 影响电磁机构的机械寿命; 吸力过小时, 又不能保证可靠吸合, 难以满足高频率操作的要求。在衔铁释放时, 反力必须大于吸力 (此时的吸力是由剩磁产生的), 即吸力特性必须位于反力特性下方。实际应用中, 可通过调整反力弹簧或触点初压力来改变反力特性, 使之与吸力特性配合得当。

1.2.2 触点系统

交流接触器的触点由主触点和辅助触点构成。主触点用于通断电流较大的主电路, 由接触面积较大的常开触点组成, 一般有三对。辅助触点用于通断电流较小的控制电路, 由常开触点和常闭触点组成。所谓常开触点 (也称动合触点) 是指电气设备在未通电或未受外力作用时的常态下, 触点处于断开状态; 常闭触点 (也称动断触点) 是指电气设备在未通电或未受外力作用时的常态下, 触点处于闭合状态。电气设备断电后, 触点复原。

触点主要有以下几种结构形式:

1. 桥式触点

桥式触点又分为两个点接触的桥式触点和两个面接触的桥式触点, 如图 1-4 所示。两个触点串于同一条电路中, 电路的接通与断开由两个触点共同完成。点接触形式适用于电流不大且触点压力小的场合; 面接触形式适用于大电流的场合。

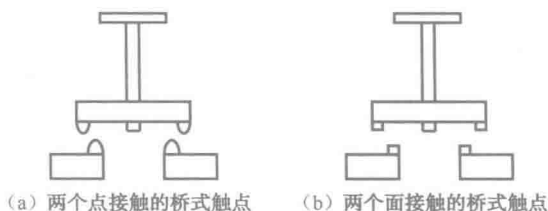


图 1-4 桥式触点的结构形式

2. 指形触点

指形触点的接触面为一直线, 触点接通或分断时产生滚动摩擦, 以利于去掉氧化膜。此种形式适用于通电次数多、电流大的场合。

为了使触点接触得更加紧密, 以减小接触电阻, 并消除开始接触时产生的振动, 在触点上装有接触弹簧, 在刚刚接触时产生初压力, 并且随着触点闭合增大触点压力。

1.2.3 灭弧系统

在大气中断开电路时, 如果被断开电路的电流超过某一数值 (在 $0.25 \sim 1\text{A}$ 之间), 断开后加在触点间隙两端的电压超过某一数值 (在 $12 \sim 20\text{V}$ 之间), 则触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场作用下产生的电离放电现象, 即当触点刚出现分断时, 两触点间距离极小, 电场强度极大, 在高热和强电场作用下, 金属内部的自由电子从阴极表面逸出, 奔向阳极, 这些自由电子在电场中运动时撞击中性气体分子, 使之激励和游离, 产生正离子和电子。因此, 在触点间隙中产生大量的带电粒子, 使气体导电形成了炽热的电子流, 即电弧。

电弧产生后, 伴随高温产生并发出强光, 将触点烧损, 并使电路的切断时间延长, 严重时还会引起火灾或其他事故。因此, 在电器中应采取适当措施熄灭电弧。

熄灭电弧的主要措施有:

(1) 迅速增加电弧的长度, 使得单位长度内维持电弧燃烧的电场强度不够而使电弧熄灭。

(2) 使电弧与流体介质相接触, 加强冷却和去游离作用, 使电弧加快熄灭。电弧有直流电弧和交流电弧两类, 交流电流有自然过零点, 故其电弧较容易熄灭。

低压控制电器常用的灭弧方法有:

(1) 拉长灭弧。通过机械装置或电动力的作用将电弧迅速拉长并在电弧电流过零时熄灭, 这种方法多用于开关电器中。

(2) 磁吹灭弧。在一个与触点串联的磁吹线圈产生的磁场作用下, 电弧受电磁力的作用而拉长, 被吹入由固体介质构成的灭弧罩内, 与固体介质相接触, 电弧被冷却而熄灭, 直流电器中常采用磁吹灭弧。

(3) 窄缝灭弧法。在电弧形成的磁场电动力的作用下, 可使电弧拉长并进入灭弧罩的窄缝中, 几条纵缝可将电弧分割成数段且与固体介质相接触, 电弧便迅速熄灭, 这种结构多用于交流接触器上, 如图 1-5 所示。

(4) 栅片灭弧法。灭弧栅片由多片镀铜薄钢片 (称为栅片) 组成, 它们安放在电器触点上方的灭弧栅内, 彼此之间相互绝缘。当电弧产生时, 在电动力作用下, 电弧被拉入灭弧栅而被分割成数段串联的短弧, 增强消电离能力并使电弧迅速冷却而很快熄灭。栅片灭弧常用于大电流的刀开关与大容量交流接触器中, 如图 1-6 所示。

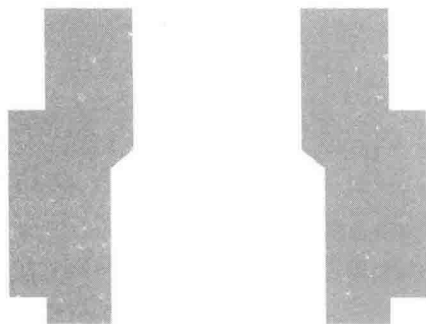
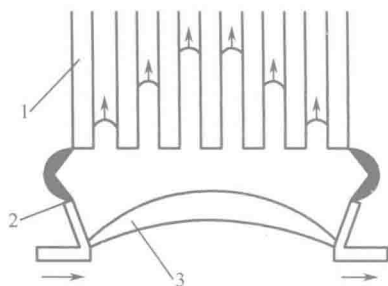


图 1-5 窄缝灭弧装置



1—灭弧栅片; 2—触点; 3—电弧

图 1-6 栅片灭弧示意图

1.3 接触器

1.3.1 接触器的组成及工作原理

接触器能频繁地接通或断开交直流主电路, 实现远距离自动控制, 主要用于控制电动机、电热设备、电焊机等。它具有低电压释放保护功能, 在电力拖动自动控制电路中广泛应用。接触器有交流接触器和直流接触器两大类型。

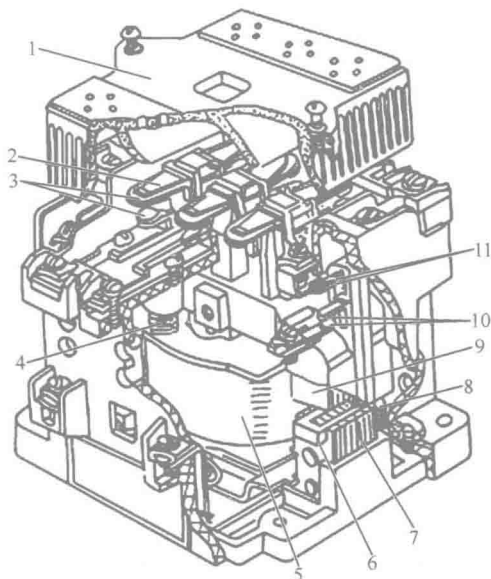
利用磁感应原理工作的接触器其结构组成与电磁式电器相同, 一般也由电磁机构、触点系统、灭弧系统、复位弹簧机构或缓冲装置、支架与底座等几部分组成。接触器的电磁机构由电



磁线圈、铁芯、衔铁和复位弹簧几部分组成。

1. 交流接触器

如图 1-7 所示为 CJ10-20 型交流接触器的外形与结构示意图。



1—灭弧罩；2—触点压力弹簧片；3—主触点；4—反作用弹簧；5—线圈；6—短路环；7—静铁芯；8—弹簧；9—动铁芯；
10—辅助常开触点；11—辅助常闭触点

图 1-7 CJ10-20 型交流接触器的外形与结构示意图

交流接触器由以下四部分组成：

(1) 电磁机构。电磁机构由线圈、动铁芯（衔铁）和静铁芯组成，其作用是将电磁能转换为机械能，产生电磁吸力带动触点动作。

(2) 触点系统。包括主触点和辅助触点。主触点用于通断主电路，通常为三对常开触点。辅助触点用于控制电路，起电气联锁作用，故又称联锁触点，一般常开、常闭各两对。

(3) 灭弧装置。容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用双断口触点灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧；对于大容量的接触器，采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

(4) 其他部件。包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等。

交流接触器的工作原理：当电磁线圈通电后，线圈电流在铁芯中产生磁通，该磁通对衔铁产生克服复位弹簧反力的电磁吸力，使衔铁带动触点动作。触点动作时，常闭触点先断开，常开触点后闭合。当线圈中的电压值降低到某一数值（无论是正常控制还是欠电压、失电压故障，一般降至 85% 的线圈额定电压）时，铁芯中的磁通下降，电磁吸力减小，当减小到不足以克服复位弹簧的反力时，衔铁在复位弹簧的反力作用下复位，使主、辅触点的常开触点断开，常闭触点恢复闭合。这也是接触器的失电压保护功能。

交流接触器的型号含义为：