



三菱电机自动化应用技术系列教材

电气控制与 PLC原理、应用实践 (三菱电机FX3U系列)

钱厚亮 田会峰 主 编
鞠勇 王磊 邓丽霞 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



三菱电机自动化应用技术系列教材

电气控制与 PLC 原理、 应用实践 (三菱电机 FX3U 系列)

主 编 钱厚亮 田会峰
副主编 鞠 勇 王 磊 邓丽霞
主 审 段玉生

常州大学图书馆
藏书章

机械工业出版社

本书是《三菱电机自动化应用技术系列教材》之一,其内容以三菱电机低压电器及 FX3U 系列 PLC 为主线,由浅入深、理论结合实践,重点讲述了常规低压电器工作原理及使用方法,详细分析了三菱电机小型 PLC 系统指令、使用方法及特殊功能模块应用开发,并结合实验装置针对主要知识点进行验证。本书内容详实、丰富,插图绘制采用新的国家标准,体现了现代工业生产的先进手段。

本书可作为应用型本科院校、高职高专、成人高校等机电一体化、电气工程、自动化及机械电子等相关专业的电气控制与 PLC 课程的教材,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 原理、应用实践:三菱电机 FX3U 系列/钱厚亮,田会峰主编. —北京:机械工业出版社,2017.8

三菱电机自动化应用技术系列教材

ISBN 978-7-111-58875-7

I. ①电… II. ①钱… ②田… III. ①电气控制-教材②PLC 技术-教材
IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 002796 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:林春泉 责任校对:陈越

封面设计:路恩中 责任印制:孙炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·22.25 印张·543 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-58875-7

定价:75.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书充分考虑到几所典型应用型本科合作院校“电气控制与 PLC”课程的教学改革需求,结合三菱电机新的产品和技术,经过作者的认真讨论和组织编写而成。教材的编写强调“新”元素,全书插图采用新的国家标准绘制,所涉及的低压电器、PLC、伺服及人机界面等均采用三菱电机新的产品,注重理论联系实践,强化实践教学内容。

全书分为三个部分,第一部分包含第 1、2 两章,分别介绍了常规低压电器及典型电气控制电路;第二部分包含第 3、4、5 三章,分别讲述了 PLC 特点及工作原理、三菱电机 FX 系列 PLC 系统构成、编程方法以及典型特殊功能模块的使用方法;第三部分为第 6 章,采用 13 个实验项目对前述章节的 PLC 基础编程、特殊功能模块、变频器、人机界面及伺服系统等重点知识点进行验证。

本书作者均为从事电气自动化、机电一体化等相关专业核心课程教学的一线教师,在专业课程的教学改革及实践教学方面积累了丰富的经验,为了适应现今工业自动化领域的变革,使教学内容更贴近生产实际,编撰了该教材。

参加本书编写的有钱厚亮、田会峰、鞠勇、王磊、邓丽霞、陈国军、周瑜、储琴、彭芳、刘旭明等老师。钱厚亮、彭芳、刘旭明编写了第 3 章、4.1~4.3 节及第 6 章实验九至十三;田会峰编写了 4.4~4.6 节及 5.1 节和 5.2 节;鞠勇编写了 2.1~2.3 节及 5.5 节;王磊编写了第 6 章实验一至八;邓丽霞编写了第 1 章;陈国军编写了 2.5 节和 2.6 节;周瑜编写了 2.4 节;储琴编写了 5.3 节和 5.4 节。第 6 章实验内容均通过南京工程学院与南京菱电自动化工程有限公司联合开发的实验装置验证,做到了准确可行。全书由钱厚亮统稿。

本书由清华大学段玉生教授审稿,并提出诸多宝贵建议。本书的撰写得到了南京工程学院郁汉琪教授及诸位同仁的支持和帮助,机械工业出版社林春泉编审付出了辛勤的劳动,我们的家人也为我们工作给予巨大支持,在此一并感谢!

由于我们的水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

(联系邮箱: qianhl@njit.edu.cn)

编 者

2017 年 7 月 于南京

目 录

前言

第 1 章 常用低压电器 1

1.1 概述 1

1.1.1 低压电器的分类及用途 1

1.1.2 低压电器型号的表示方法及代号 意义 2

1.1.3 低压电器主要技术参数 4

1.2 常用低压电器的基本知识 5

1.2.1 低压电器的电磁机构 5

1.2.2 低压电器的触点机构 6

1.2.3 低压电器的灭弧机构 7

1.3 控制电器 9

1.3.1 接触器 9

1.3.2 电磁式继电器 11

1.3.3 时间继电器 13

1.3.4 速度继电器 14

1.3.5 其他继电器 15

1.4 开关及主令电器 17

1.4.1 按钮开关 17

1.4.2 组合开关 18

1.4.3 行程开关 20

1.4.4 感应开关 20

1.5 保护电器 22

1.5.1 断路器 22

1.5.2 熔断器 24

1.5.3 热继电器 27

第 2 章 典型电气控制电路 29

2.1 电气控制电路绘制原则及标准 29

2.1.1 电气控制电路图的图形符号、 文字符号及接线端子 29

2.1.2 电气元器件布置图 30

2.1.3 电气原理图 31

2.1.4 电气安装接线图 32

2.2 电气控制电路的基本环节 33

2.2.1 起动、点动和停止控制环节 33

2.2.2 可逆控制与互锁环节 34

2.2.3 顺序及多地控制环节 36

2.3 三相交流异步电动机控制电路 37

2.3.1 三相交流异步电动机起动控制 电路 37

2.3.2 三相交流异步电动机制动控制 电路 41

2.4 步进电动机控制电路 43

2.4.1 步进及步进驱动器 43

2.4.2 研控 YK 型步进驱动器 51

2.4.3 步进电动机定位控制 56

2.5 交流伺服电动机及伺服驱动器控制 电路 60

2.5.1 交流伺服电动机及伺服驱动器 60

2.5.2 三菱电机 MR-J4 伺服驱动器规格 及附件 63

2.5.3 三菱电机 MR-J4 伺服电动机驱动 端口与连接 70

2.6 电气控制线路的保护环节 79

2.6.1 短路保护 79

2.6.2 过载保护 79

2.6.3 过电流保护 80

2.6.4 零电压（失电压）保护和欠电压 保护 81

第 3 章 PLC 概述 84

3.1 PLC 的产生及定义 84

3.2 PLC 的特点及分类 85

3.2.1 PLC 的特点 85

3.2.2 PLC 的分类 86

3.3 PLC 的应用及发展 87

3.3.1 PLC 的应用背景 87

3.3.2 PLC 的发展动向 88

3.4 PLC 的组成及工作原理 89

3.4.1 PLC 的组成 89

3.4.2 PLC 的工作原理 91

3.5 三菱电机 PLC 简介 93

3.5.1 三菱电机 PLC 的历史及分类 93

3.5.2 三菱电机小型 PLC 的型号及

特点	94	5.2 模拟量输入输出模块	217
3.6 三菱电机 FX 系列 PLC 系统构成	97	5.2.1 模拟量控制功能概述	217
3.6.1 系统构建及构建规则	97	5.2.2 模拟量输入模块	221
3.6.2 输入输出编号	100	5.2.3 模拟量输出模块	237
3.6.3 输入输出电路	102	5.3 高速脉冲输入功能	254
第 4 章 FX 系列 PLC 编程基础	111	5.3.1 FX2N-1HC 高速计数模块	254
4.1 PLC 软元件及软元件的作用	111	5.3.2 高速脉冲输入功能应用案例	260
4.1.1 软元件的分配	111	5.4 高速脉冲输出与定位功能	263
4.1.2 软元件的作用	112	5.4.1 高速脉冲输出功能	263
4.2 PLC 编程语言及指令	138	5.4.2 定位模块	272
4.2.1 编程语言的种类	138	5.5 网络通信功能	281
4.2.2 编程指令	139	5.5.1 通信方式概述	281
4.3 PLC 编程注意事项	176	5.5.2 通信选件详情	287
4.3.1 程序步骤及执行顺序	176	5.5.3 CC-Link 通信	293
4.3.2 双线圈问题	177	第 6 章 实验与实训	316
4.3.3 梯形图优化	179	第一部分 GX Works2 编程软件使用与	
4.4 PLC 编程工具及使用方法		指令练习	316
(GX-Works2)	180	实验一 GX Works2 编程软件使用	
4.4.1 编程软件及使用 (GX-Work2) ..	180	练习	316
4.4.2 注释和声明	187	第二部分 程序设计实例	318
4.4.3 监视、监视写入模式	189	实验二 八段码显示	318
4.4.4 调试及诊断	191	实验三 天塔之光	320
4.5 SFC 及步进梯形图	193	实验四 交通信号灯控制	321
4.5.1 SFC 程序的创建步骤	193	实验五 水塔水位自动控制	324
4.5.2 SFC 编程注意事项	196	实验六 自动送料装车系统	326
4.5.3 SFC 流程形式	199	实验七 液体混合系统	328
4.6 程序编写实例	203	实验八 邮件分拣系统	329
4.6.1 简单梯形图编写实例	203	实验九 A-D、D-A 及 HMI 实验	332
4.6.2 SFC 编程实例	209	实验十 变频器多段调速练习	334
第 5 章 FX 系列 PLC 特殊功能模块 ..	212	实验十一 变频器模拟量调速练习	339
5.1 特殊功能模块的工作原理	212	实验十二 伺服位置控制系统练习一	342
5.1.1 特殊功能模块概述	212	实验十三 伺服位置控制系统练习二	344
5.1.2 缓冲存储区 (BFM) 的读出、		参考文献	348
写入方法	212		

第 1 章 常用低压电器

1.1 概述

伴随科技及世界经济的高速发展，工业生产过程中的电气自动化水平得到大幅提高。

低压电器是电力拖动控制系统中最基本的组成元件。作为电气工程相关技术人员，必须熟悉常用低电压电器的结构、原理以及相关主要参数，掌握其使用和维修等方面的知识和技能。

1.1.1 低压电器的分类及用途

1. 低压电器的分类

低压电器品种繁多，功能多样，构造各异，应用广泛。通常有下面几种分类方法：

(1) 按用途或控制对象划分

1) 低压配电电器。主要用于低压配电系统中。要求系统发生故障时准确动作、可靠工作。如刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。

2) 低压控制电器。主要用于电气传动系统中。要求寿命长且体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。如接触器、继电器、起动机、电磁铁等。

(2) 按动作方式划分

1) 自动切换电器。依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作。如接触器、速度继电器等。

2) 非自动切换器。主要是用外力（如人力）直接操作来进行切换的电器。如刀开关、转换开关、按钮等。

(3) 按执行功能划分

1) 有触点电器。有可分断的动触点、静触点，并利用触点的导通和分断来切换电路。如接触器、刀开关、按钮等。

2) 无触点电器。无可分断的触点。仅仅利用电子元器件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制。如接近开关、霍尔开关等。

(4) 按工作原理划分

1) 电磁式继电器。根据电磁感应原理来动作的电器。如交流、直流接触器，电磁铁等。

2) 非电量控制电器。依靠外力或非电量信号（如速度、压力等）的变化而动作的电器。如转换开关、行程开关、速度继电器等。

2. 低压电器的用途

在输送电能的输电电路以及其他各种用电场合，需要使用不同的电器实现控制电路通、断，并对电路的各种参数进行调节。低压电器在电路中的用途就是根据外部控制信号或控制

要求，通过一个或多个器件组合，自动或手动接通、分断电路，连续或断续地改变电路状态，对电路进行切换、控制、保护、检测和调节。

1.1.2 低压电器型号的表示方法及代号意义

为了生产、销售、管理和使用方便，我国对各种低压电器都按规定要求编制型号，即由类别代号、组别代号、设计代号、基本规格代号和辅助代号几部分构成低压电器全型号。每一级代号后面可根据需要加设派生代码。产品代号示意图如图 1-1 所示。

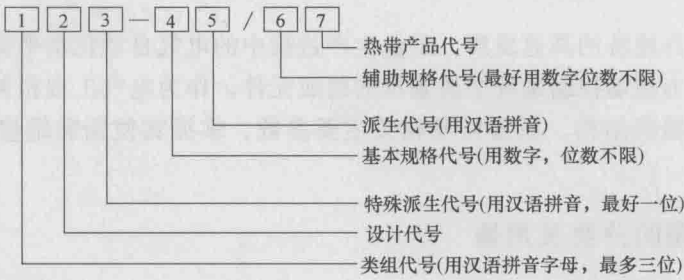


图 1-1 产品代号示意图

低压电器全型号所有部分必须使用规定符号或者文字标示，下面是各部位代号含义说明：

1. 类组代号

类组代号包括类别代号和组别代号，用汉语拼音表示，代表了低压电器元件所属的类别以及一类电器中所属的组别。见表 1-1。

表 1-1 低压电器产品型号类组代号

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
名称	刀开关和转换开关	熔断器	低压断路器	控制器	接触器	起动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	调整器	电磁铁	其他
A						按钮式		按钮					触电保护器
B									板形元件				插销
C		插入式				磁力			冲片元件	旋臂式			灯
D	刀开关								铁铬铝带型元件		电压		
G				鼓形	高压				管形元件				
H	封闭式负荷开关	汇流排式											接线盒
J					交流	减压		接近开关					

(续)

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
K	开启式 负荷 开关							主令控 制器					
L		螺旋式					电流			励磁			电铃
M		封闭 管式	灭磁										
P				平面	中频					频敏			
Q										起动		牵引	
R	熔断器 式刀 开关						热						
S	刀形转 换开关	快速	快速		时间	手动	时间	主令 开关	烧结 元件	石墨			
T		有填料 管式		凸轮	通用		通用	足踏 开关	铸铁 元件	启动 调速			
U						油浸		旋钮		油浸 启动			
W			框架式				温度	万能转 换开关		液体 启动		起重	
X	其他	限流	限流			星三角		行程 开关	电阻器	滑线式			
Y		其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他		液压	
Z	组合 开关		塑料外 壳式		直流	综合	中间					制动	

2. 设计代号

设计代号表示同一类低压电器元件不同设计序列，用数字表示，具体数字位数没有严格限制，其中的两位和两位以上的首位数字根据功能可在下面几个数字中选择，5 表示用于化工；6 表示作用于农业；7 表示纺织用途；8 表示防爆；9 表示船用。

3. 基本规格代号

基本规格代号用数字表示，数字位数不限，用来表示同一系列产品中不同规格的品种。

4. 辅助规格代号

辅助规格代号用数字表示，位数不限表示相同系列、相同规格产品中有所区别的不同

产品。

5. 派生代号

派生代号一般是用汉语拼音字母表示，最好一位字母，表示系列内个别变化的特征，加注通用派生字母。见表 1-2。

表 1-2 低压电器产品型号的派生代号

派生代号	代表意义	备 注
A B C D...	结构设计稍有改进或变化	
C	插入式	
J	交流、防溅式	
Z	直流、自动复位、防震、重任务、正向	
W	无灭弧装置、无极性	
N	可逆、逆向	
S	有锁住机构、手动复位、防水式、三相、三个电源、双线圈	
P	电磁复位、防滴式、单相、两个电源、电压的	
K	保护式、带缓冲装置	
H	开启式	
M	密封式、灭弧、母线式	
Q	防尘式、手车式	
L	电流的	
F	高返回、带分励脱扣	
T	按(湿热带)临时措施制造	此派生代码加注 在全型号之后
TH	湿热带	
TA	干热带	

在这之间，类组代号与设计代号组合表示的是产品的系列，同系列电器元件的用途、工作原理和结构基本是相同的，规格和容量会根据具体应用而设计生产。例如：JR15 是热继电器的系列号，同属于该系列的热继电器结构和工作原理上都是一致的，但是额定电流从零点几安培到几十安培。

1.1.3 低压电器主要技术参数

在电路中，工作电压或者电流等级不同，通断频繁度不同，所带负载大小及性质不同等因素，对低压电器的技术要求也有较大差别。掌握低压电器的技术性能指标及参数，对正确选用和使用电气元器件至关重要。

1. 使用类别

按国家标准 GB 14048—2012 规定，控制电路主触点和辅助触点的标准见表 1-3。

2. 额定工作电压和工作电流

额定工作电压指在规定条件下保证电器正常工作的电压值。一般指触点额定电压值，电磁式电器有电磁线圈额定工作电压的规定要求。

表 1-3 控制电器触点的标准使用类别

触点	电流种类	使用类别	典型用途举例
主触点	交流	AC-1	无感或微感负载、电阻炉
		AC-2	绕线转子异步电动机的起动、分断
		AC-3	笼型异步电动机的起动、运转分断
		AC-4	笼型异步电动机的起动、反转制动、反向、点动
	直流	DC-1	无感或微感负载、电阻炉
		DC-3	并励电动机的起动、点动和反接制动
		DC-5	串励电动机的起动、点动和反接制动
辅助触点	交流	AC-11	控制交流电磁铁
		AC-14	控制容量小于等于 72VA 的电磁铁负载
		AC-15	控制容量大于 72VA 的电磁铁负载
	直流	DC-11	控制直流电磁铁
		DC-13	控制直流电磁铁,即电感和电阻的混合负载
		DC-14	控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载

额定工作电流根据具体使用条件下确定。额定工作电流与额定工作电压、电网频率、额定工作值、使用类别、触点寿命及防护参数等诸多因素有关,同一型号开关电器使用条件不同,工作电流也不同。

3. 通断能力

通断能力是以控制额定负载时所能通断的电流值来衡量的。其中接通能力是指开关闭合时不会造成触点熔焊的性能指标。断开能力是指开关断开时的可靠灭弧的性能指标。

4. 操作频率

操作频率指的是电气元器件在单位时间内允许操作的最高次数。一般会规定开关电器在一小时内可能出现的最高操作循环次数。

5. 使用寿命

低压电器的使用寿命包括机械寿命和电寿命两项指标。机械寿命是指电气元器件在零电流下能正常操作的次数。电寿命是在规定的正常工作条件下,无需更换零件或者修理的负载操作次数。

1.2 常用低压电器的基本知识

低压电器是指工作在交流 1200V 以下,直流 1500V 以下电路中的电器。常用的低压电器有断路器、接触器、行程开关、按钮、继电器等器件。

1.2.1 低压电器的电磁机构

低压电器基本由两部分组成,即感应机构和执行机构这两部分。感应机构是感受对外界信号的变化,而能做出相应反应。执行机构是根据命令信号,执行电路的通断控制。

在大多数的低压电器中,均采用电磁感应原理来实现对电路的通断控制,感受机构是电磁系统,而执行机构是触点系统。

电磁系统是电磁式电器的感受机构,将电磁能量转换为机械能量,从而带动触点动作,

实现电路的通断。

电磁系统由铁心、衔铁和线圈等部分组成。当线圈中有电流通过时,产生电磁吸力,电磁吸力克服弹簧的反作用力,衔铁和铁心闭合,衔铁带动连接机构动作,实现触点的接通和断开,从而完成电路通断控制。接触器常用电磁系统结构,如图 1-2 所示。

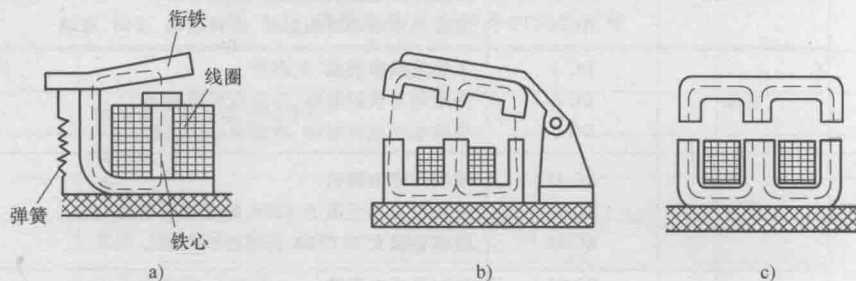


图 1-2 接触器电磁系统结构图

a) 衔铁绕棱角转动拍合式 b) 衔铁绕轴转动拍合式 c) 衔铁直线运动螺管式

图 1-2a 衔铁绕棱角转动的拍合式结构,主要用于直流接触器。

图 1-2b 衔铁绕轴转动的拍合式结构,主要用于触点容量较大的交流接触器。

图 1-2c 衔铁直接运动的螺管式结构,主要用于交流接触器、继电器等。

电磁式电器分直流和交流两大类。直流电磁铁心由整块铸铁构成,而交流电磁采用硅钢片叠成的,以减小磁滞损耗和涡流损耗。

在实际应用中,由于直流电磁铁线圈发热,所以线圈匝数多、导线细,不设线圈骨架,线圈和铁心直接接触,利于线圈散热。交流电磁铁铁心和线圈均会发热,所以线圈匝数少、导线粗,吸引线圈设有骨架,且铁心和线圈分离,以此实现散热的功能。

1.2.2 低压电器的触点机构

1. 触点接触电阻

当动、静触点闭合后,是不可能完全无缝接触,从微观角度看,只是一些凸起点之间的接触,因此工作电流只流过相接触的凸起点,由此使有效导电面积减少,因此电阻增大。此类由于动、静触点闭合时形成的电阻,称为接触电阻。由于接触电阻的存在,不仅会造成一定的电压损耗,而且使铜耗增加,造成触点温升,导致触点表面的“膜电阻”进一步增加及相邻绝缘材料的老化,严重时可使触点熔焊,造成电气系统事故。因此,对各种电器的触点都规定了它的最高环境温度和允许温升。

2. 触点的接触形式

触点的接触形式及结构形式多种多样。通常按接触形式将触点分为三种:点接触、线接触和面接触。如图 1-3 所示,显然,面接触时的实际接触面要比线接触的大,而线接触的接触面又比点接触的大。

图 1-3a 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形触点构成。该结构有利于提高单位面积压力,减小触点表面电阻,常用于小电流电器触点,如接触器的辅助触点及继电器触点。图 1-3b 所示为线接触,通常被做成指形触点结构,其接触区是一条直线。触点通、断过程是滚动接触并产生滚动摩擦,利于去氧化膜。这种滚动线接触适用于通

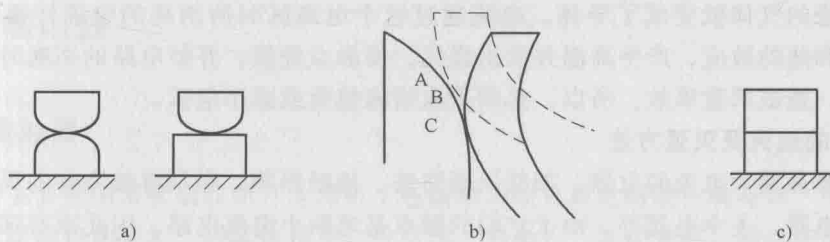


图 1-3 触点的接触形式
a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

电次数多、电流大的场合，多用于中等容量电器。图 1-3c 所示为面接触，这类触点一般在接触表面上镶有合金，以减小触点的接触电阻，提高触点的抗熔焊、抗磨损能力，允许通过较大的电流。中小容量的接触器的主触点多采用这种结构。

触点在接触时，为了使触点接触得更加紧密，以减小接触电阻，消除开始接触时产生的振动，一般在触点上都装有接触弹簧。当动触点刚与静触点接触时，由于安装时弹簧预先压缩了一段，因此产生一个初压力 F_1 ，如图 1-4b 所示。随着触点闭合，触点间的压力将逐渐增大。触点闭合后由于弹簧在超行程内继续变形而产生一个终压力 F_2 ，如图 1-4c 所示。弹簧被压缩的距离称为触点的超行程，即从静、动触点开始接触到触点压紧，整个触点系统向前压紧的距离。因为超行程，在触点有磨损情况下，触点仍具有一定压力，磨损严重时超行程将失效，触点损坏。

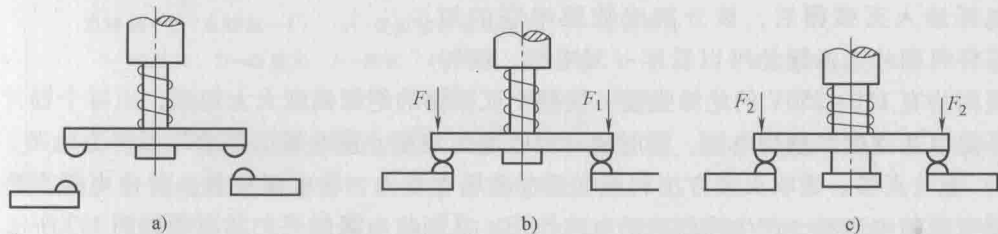


图 1-4 桥式触点闭合过程位置示意图
a) 最终断开位置 b) 刚刚接触位置 c) 最终闭合位置

触点按其原始状态可分为常开触点和常闭触点。原始状态断开，线圈通电后闭合的触头叫常开触点；原始状态闭合，线圈通电后断开的触点称为常闭触点。线圈断电后所有触点复原。触点按其所控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点主要用于接通或断开主电路，允许通过较大的电流，辅助触点用于接通或断开控制电路，主要用于通过较小的电流。

1.2.3 低压电器的灭弧机构

1. 电弧的产生及物理过程

自然环境中分断电路时，若电路的电压（或电流）超过某一数值时（根据触点材料的不同，此值约为 0.25~1A，12~20V），触点在分断的时候会产生放电电弧。

电弧实质上是触点间气体在强电场作用下产生的电离放电现象。所谓气体放电，是指触

点间隙中的气体被电离产生大量的电子和离子,在强电场作用下,大量的带电粒子作定向运动,于是绝缘的气体就变成了导体。电流通过这个电离区时所消耗的电能转换为热能和光能,发出光和热的效应,产生高温并发出强光,使触点烧损,并使电路的切断时间延长,甚至不能断开,造成严重事故。所以,必须采取措施熄灭或减小电弧。

2. 电弧的熄灭及灭弧方法

针对需要通断大电流的电器,如低压断路器、接触器等,必须有较完善的灭弧装置。对于小容量继电器、主令电器等,由于它们的触点是通断小电流电路,因此没有强制要求。常用的灭弧方法和装置有几类。

1) 电动力吹弧。图 1-5 是一种桥式结构双断口触点,流过触点两端的电流方向相反,将产生互相排斥的电动力。当触点断开瞬间,断口处产生电弧。电弧电流在两电弧之间产生图中以“ $\oplus$ ”表示的磁场,根据左手定则,电弧电流要受到指向外侧的电动力 F 的作用,使电弧向外运动并拉长,使其迅速穿越冷却介质,从而加快电弧冷却并熄灭。该灭弧方法一般多用于小功率的电器中,当配合栅片灭弧时,可用于大功率的电器中。交流接触器通常采用该灭弧方法。

2) 栅片灭弧。图 1-6 为栅片灭弧示意图。灭弧栅一般是由多片镀铜薄铜片(称为栅片)和石棉绝缘板组成,通常在电器触点上方的灭弧室内固定,彼此之间互相绝缘。触点分断电路时,触点间产生电弧,电弧电流产生磁场,由于铜片磁阻比空气磁阻小得多,因此电弧上方的磁通稀疏,而下方的磁通却密集,该上疏下密的磁场将电弧拉入灭弧罩中,电弧进入灭弧栅后,被分割成数段串联的短弧。这样每两片灭弧栅片可以看作一对电极,而每对电极间均有 150~250V 的绝缘强度,使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强,而每个栅片间的电压不足以达到电弧燃烧电压,同时栅片吸收电弧热量,使电弧迅速冷却而很快熄灭。

3) 磁吹灭弧。磁吹灭弧方法利用电弧在磁场中受力,将电弧拉长,并使电弧在冷却的灭弧罩窄缝隙中运动,产生强烈的消电离作用,从而将电弧熄灭。其原理如图 1-7 所示。

4) 窄缝灭弧。在电弧所形成的磁场电动力的快速作用下,电弧被拉长并进入灭弧罩的夹缝中,几条纵缝将电弧分割成数段,且与固体介质相接触,电弧受冷却迅速熄灭。

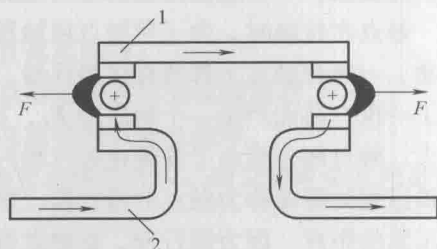


图 1-5 桥式触点灭弧原理

1—动触点 2—静触点

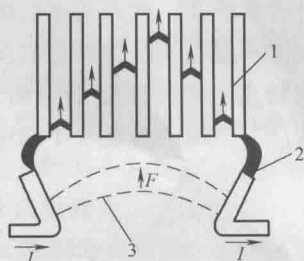


图 1-6 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—触点 3—电弧

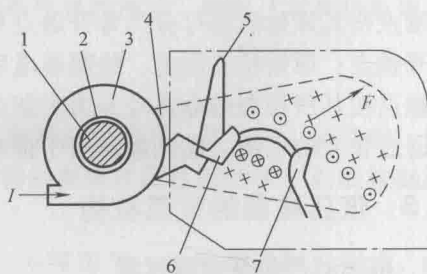


图 1-7 磁吹式灭弧装置

1—铁心 2—绝缘管 3—吹弧线圈 4—导磁片
5—引弧角 6—静触点 7—动触点

1.3 控制电器

1.3.1 接触器

接触器主要是用来接通或断开电动机主电路或其他负载电路的控制电器，应用它可以实现频繁的远距离自动控制。因其体积小、价格低、寿命长、维护方便，所以应用广泛。

1. 交流接触器的结构

图 1-8a 为交流接触器的结构剖面示意图，它有 5 个主要部分组成。图 1-8b 为接触器实物图。

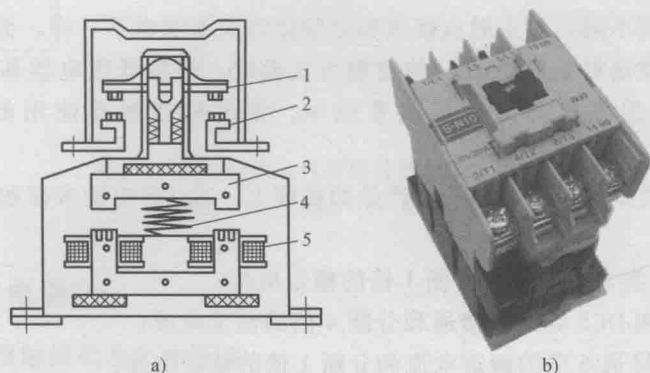


图 1-8 交流接触器的结构

a) 交流接触器的结构 b) 实物图片

1—动触头 2—静触头 3—衔铁 4—弹簧 5—线圈 6—铁心 7—铁毡 8—触头弹簧
9—灭弧罩 10—触头压力弹簧

1) 电磁机构。电磁机构主要由线圈、铁心和衔铁组成。铁心一般采用双 E 形衔铁直动式电磁机构，有的衔铁采用绕轴转动的拍合式电磁机构。

2) 主触点和灭弧系统。根据主触点的容量大小，有桥式触点和指形触点两种结构形式。直流接触器和电流在 20A 以上的交流接触器均配置灭弧罩，部分还带有栅片或磁吹灭弧装置。

3) 辅助触点。有常开和常闭辅助触点，在结构上均为桥式双断点形式，其容量较小。接触器安装辅助触点的主要目的是使其在控制电路中起联动作用，用于和接触器相关的逻辑控制。辅助触点不设灭弧装置，因此不能用来通断主电路。

4) 反力装置。该装置由释放弹簧和触点弹簧组成，均不能进行松紧调节。

5) 支架和底座。用于接触器的固定和安装。

2. 交流接触器的工作原理

交流接触器线圈通电后，在铁心中产生磁通，从而在衔铁气隙处产生吸力，使衔铁闭合，主触点在衔铁的驱动下闭合，接通主电路。同时衔铁还驱动辅助触点动作，使常开辅助触点闭合，常闭辅助触点断开。当线圈断电或电压显著降低时，吸力消失或减弱（小于反力），衔铁在释放弹簧作用下打开，主、辅触点恢复到原来状态。

3. 接触器的技术参数

1) 额定电压。指主触点的额定电压,通常在接触器铭牌上标注。常见的有:交流 220V、380V 和 660V;直流 110V、220V 和 440V。

2) 额定电流。指主触点的额定电流,通常在接触器铭牌上标注。它是在一定的条件(额定电压、使用类别和操作频率等)下规定的,常见的电流等级有 10A、20A、40A、63A、100A、150A、200A、400A、630A、800A。

3) 线圈的额定电压。指加在线圈上的电压。常用的线圈电压有交流 220V 和 380V;直流 24V 和 220V。

4) 接通和分断能力。指主触点在规定条件下能可靠地接通和分断的电流值。在此电流值下,接通电路正常工作时主触点不会发生熔焊,分断电路时主触点不会发生长时间燃弧。

接触器使用类别不同,对主触点接通和分断能力的要求也不一样,而不同使用类别的接触器可根据其不同控制对象(负载)的控制方式而定。根据低压电器基本标准的规定,其使用类别比较多。但在电力拖动控制系统中,常见的接触器使用类别及其典型用途见表 1-4。

接触器的使用类别代号通常标注在产品的铭牌上。表 1-3 中要求接触器主触点达到的接通和分断能力:

- ① AC1 和 DC1 类允许接通和分断 1 倍的额定电流;
- ② AC2、DC3 和 DC5 类允许接通和分断 4 倍的额定电流;
- ③ AC3 类允许接通 6 倍的额定电流和分断 1 倍的额定电流;
- ④ AC4 类允许接通和分断 6 倍的额定电流。

5) 额定操作频率指接触器每小时的操作次数。此参数不同厂家产品均有说明。操作频率直接影响到接触器的使用寿命,对于交流接触器还影响到线圈的温升。

4. 接触器选用原则

接触器使用广泛,其额定工作电流或额定控制功率随使用条件的不同而不同,只有根据不同的使用条件来选用。总体来说,交流负载选用交流接触器,直流负载选用直流接触器。接触器选用主要依据以下几个方面。

(1) 使用类别的选择

可根据所控制负载的工作任务选择相应的接触器。例如,生产中广泛使用中小容量的笼型异步电动机,其大部分负载是一般任务,AC3 类适用。对于控制机床电动机的接触器,其负载情况比较复杂,既有 AC3 类的也有 AC4 类的,还有 AC1 类和 AC4 类混合的负载,属于重任务范畴,则应选用 AC4 类接触器。

(2) 主触点电流等级的选择

根据电动机(或其他负载)的功率和工作任务来确定接触器主触点的电流等级。当接触器的使用类别与所控制负载的工作任务相对应时,一般应使主触点的电流等级与所控制的负载相当,或稍大一些。若不对应,例如用 AC3 类的接触器控制 AC3 与 AC4 混合类负载时,则须降低电流等级使用。

(3) 线圈电压等级的选择

接触器的线圈电压与控制电路的电压类型和等级相同,应根据具体情况决定。

(4) 接触器选用小窍门

接触器是电气控制系统中不可或缺的执行器件,三相笼型异步电动机也是最常用的被控对象。对额定电压为 380 V 的交流接触器,已知电动机的额定功率,则相应的接触器额定电流也基本可以确定。对于 5.5kW 以下的电动机,所用的接触器额定电流应为电动机额定电流的 2~3 倍;对于 5.5~11kW 的电动机,所用的接触器的额定电流应为电动机额定电流的 2 倍;对于 11kW 以上的电动机,其所用的接触器的额定电流应为电动机额定电流的 1.5~2 倍。

5. 接触器的电气图形符号和文字符号

接触器的电气图形符号和文字符号如图 1-9 所示。

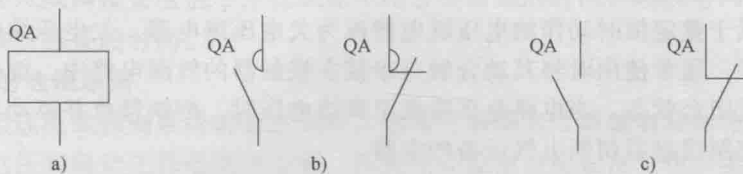


图 1-9 接触器的电气图形符号和文字符号

a) 线圈 b) 主触点 c) 辅助触点

1.3.2 电磁式继电器

1. 电磁式继电器的结构及工作原理

电磁式继电器的结构和工作原理与电磁式接触器相似,同样是由电磁机构、触点系统和释放弹簧等部分组成。图 1-10 为电磁式继电器结构示意图。

电流继电器与电压继电器在结构上的区别主要是线圈构造的不同。电流继电器的线圈匝数少、导线截面积大;电压继电器的线圈匝数多、导线截面积小。

2. 电流继电器

电流继电器是根据输入电流信号大小而动作的继电器。电流继电器线圈串接在被测量电路中,反映电路电流的变化。根据功能划分为欠电流继电器和过电流继电器;根据线圈电流性质,可分为交流继电器和直流继电器。

线圈电流低于整定值时动作的电流继电器称为欠电流继电器。欠电流继电器用于电路的欠电流保护或控制,使用时一般将其动合触点串接在接触器的线圈电路中。正常工作状态,电路中负载电流大于电流继电器的闭合电流,衔铁处于闭合状态;当电路中负载电流降低至释放电流时,衔铁释放,其动合触点回到断开状态,使接触器线圈失电,从而切断电气设备的电源,起到欠电流保护作用。

线圈电流高于整定值时动作的电流继电器称为过电流继电器。过电流继电器主要用于电

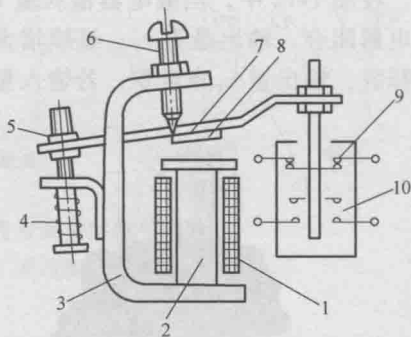


图 1-10 电磁式继电器结构示意图

1—线圈 2—铁心 3—磁轭 4—弹簧
5—调节螺母 6—调节螺钉 7—衔铁
8—非磁性垫片 9—动断触点
10—动合触点