

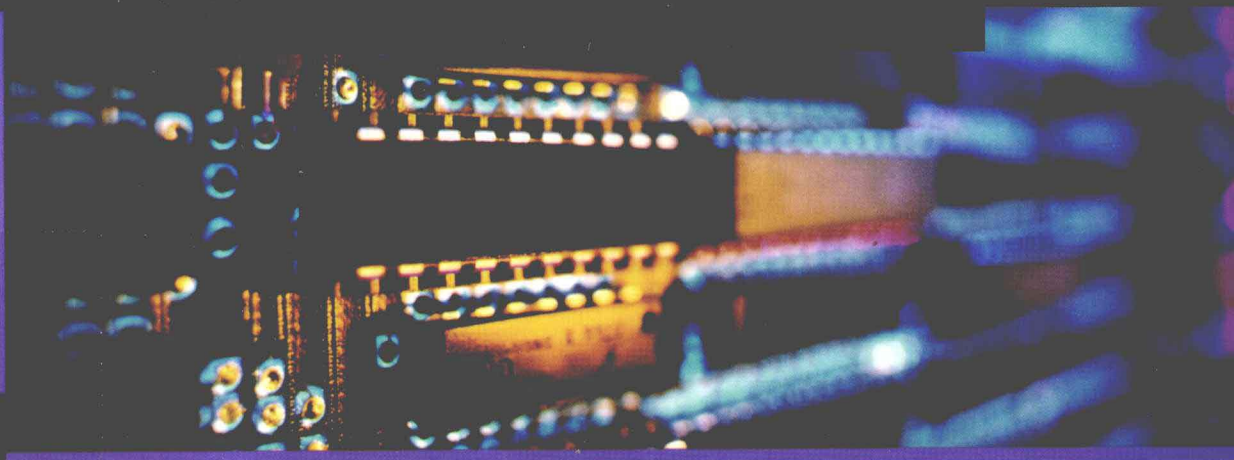


21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

Electrical Control and PLC Application

电气控制 与 PLC 应用技术

范国伟 主编
刘一帆 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Electrical Control and PLC Application

电气控制 与 PLC 应用技术

范国伟 主编

刘一帆 副主编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电气控制与PLC应用技术 / 范国伟主编. — 北京 :
人民邮电出版社, 2013. 2
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-30178-9

I. ①电… II. ①范… III. ①电气控制—高等学校—
教材②plc技术—高等学校—教材 IV. ①
TM571. 2②TM571. 6

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第002992号

内 容 提 要

本书是根据我国高等教育的现状和发展趋势, 针对工程应用型教学改革和就业的需要, 对现有的课程进行有机整合编写而成的。全书共分 9 章, 主要内容有低压电器及基本控制线路、电动机的控制线路、可程序控制器基本组成和工作原理、三菱 FX 系列 PLC 的基本编程指令、三菱 PLC 的步进编程指令、三菱 PLC 的功能指令、西门子 S7-200PLC、西门子 S7-300PLC、PLC 网络通信。本书的编写采取实用的方式, 内容以必需、够用为度, 减少了原有课程教学内容中重复的部分。本书的特点是讲述透彻, 深入浅出, 通俗易懂, 便于教学。

本书可以作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、数控应用技术、机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、机电一体化等专业相关课程的教材, 也可作为电工技师和职工岗位培训教材, 供有关工程技术人员参考使用。

21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

电气控制与 PLC 应用技术

-
- ◆ 主 编 范国伟
 - ◆ 副 主 编 刘一帆
责任编辑 李海涛
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18.25 2013 年 2 月第 1 版
字数: 467 千字 2013 年 2 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-30178-9

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

可编程序逻辑控制器 (PLC) 是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的一种工业应用的计算机。通过编制软件来改变控制过程, 是微机技术与常规的继电器接触器控制技术的有机结合。它为工业自动化提供高可靠性的自动化控制装置, 已经成为继电器接触器控制系统更新换代的主导产品。

进入 21 世纪以来, PLC 控制系统的设计和应用, 已经成为工业电气控制自动化的主要技术手段和方法, 目前我国各行各业的应用非常广泛。为了适应社会主义建设和当前经济转型阶段的技术改造的需要, 需要使高等工科院校的学生能够尽快地学习和掌握 PLC 技术, 培养就业和创业需要的技能, 为此, 我们依据积累多年的 PLC 教学和实践应用经验, 编写了本教材。

“电气控制与 PLC 应用技术”是一门实用性极强的机电专业课程, 本课程的教学任务是培养学生在掌握继电器接触器控制电路知识的基础上, 初步具备 PLC 电气控制系统的工程设计和应用调试能力。具体要求如下。

(1) 掌握常用控制电器的结构、工作原理和具体用途; 学习和掌握合理选择、熟练使用常用低压电器元件的能力。

(2) 熟练掌握常用继电器接触器控制电路的各个基本环节, 培养阅读和分析继电器接触器控制线路原理图的能力, 并且具有初步的设计能力。

(3) 熟悉 PLC 的工作原理, 熟悉和掌握 PLC 的基本编程指令, 教材从三菱 PLC 的编程器开始编辑程序, 能够帮助读者尽快地入门和记熟助记符编程方法, 然后一步步学习梯形图的编程调试。

(4) 逐步学习典型的 PLC 电气控制系统, 培养具有初步安装、编程、调试和维护基本设备模块的能力。

本书是针对高等院校工程应用型专业编写的教材。全书共分 9 章内容, 具体包括低压电器及基本控制线路、电动机的控制线路、可编程序控制器基本组成和工作原理、三菱 FX 系列 PLC 的基本编程指令、三菱 PLC 的步进编程指令、三菱 PLC 的功能指令、西门子 S7-200PLC、西门子 S7-300PLC、PLC 网络通信。学生通过理论学习, 掌握简单可编程序控制器的基本工作原理和分析方法; 通过技能训练, 提高对电动机实际操作的综合能力。使学生具备电专业高素质劳动者和机电工程技术所必需的电动机基本知识及基本技能, 为学生学习专业知识和职业技能, 提高全面素质, 增强适应岗位变化的能力和继续学习的能

力打下一定的基础。

电气控制与 PLC 应用技术是一门理论和实践紧密结合的课程,本书在编写过程中从高等教育培养应用型技术人才这一目标出发,以可编程序控制器课程教学基本要求为依据,以应用为目的,以必需、够用为度,尽量降低专业理论的重心。以突出实际应用,培养技能为教学重点,由浅入深、循序渐进地介绍有关可编程序控制器以及应用方面的基础知识,着眼于学生在应用能力方面的培养,突出重点、分散难点,力求使读者一看就懂、一学就会。本书每章前都配有学习目标,每章后也都安排了相应的适量习题。同时,在教材中增加了很多技能训练的实例,突出课程的应用性、实践性、针对性和有效性。

本书为高等院校自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、数控应用技术、机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、机电一体化等专业的教材,也可作为电工技师和职工岗位培训教材,供有关工程技术人员参考使用。

本书由安徽工业大学范国伟老师主编,刘一帆老师为副主编,方华超老师、桑建明老师、范翀技师、童军技师、袁军芳技师参加了编写。程周教授审阅了全书,并做了很多重要的修改与补充。在本书编写的过程中,得到安徽工业大学电气信息学院和工商学院、安徽职业技术学院、安徽冶金科技职业学院的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中难免存在疏漏之处,恳请使用本书的老师和同学批评指正。

编 者

2012 年 10 月

目 录

第 1 章 低压电器及基本控制线路	1
1.1 电器的作用与分类	1
1.2 电磁机构及触点系统	2
1.2.1 电磁机构	2
1.2.2 触点系统	5
1.3 接触器	7
1.3.1 接触器的结构及工作原理	7
1.3.2 接触器的型号及主要技术数据	9
1.3.3 接触器的图形符号和文字符号	10
1.3.4 接触器的选择与使用	10
1.4 继电器	11
1.4.1 继电器的继电特性	11
1.4.2 电磁式继电器	11
1.4.3 时间继电器	14
1.4.4 热继电器	20
1.4.5 速度继电器	24
1.4.6 其他功能继电器	25
1.5 熔断器	26
1.5.1 熔断器的结构类型	26
1.5.2 熔断器的安秒特性	28
1.5.3 熔断器的技术数据	28
1.5.4 熔断器的选择	28
1.6 低压开关和低压断路器	29
1.6.1 低压刀开关	29
1.6.2 低压断路器	31
1.7 主令电器	34
1.7.1 按钮	34
1.7.2 万能转换开关	36
1.7.3 主令控制器与凸轮控制器	37
1.7.4 行程开关	39
1.7.5 接近开关	40
1.8 基本控制线路	42
1.8.1 电动机的点动与连续运转控制	42
1.8.2 电动机的正反转控制	46
1.8.3 电动机的位置控制与自动往返控制线路	48
1.8.4 电动机的顺序和多点控制	51
1.8.5 电动机的时间控制	56
本章小结	57
习题	57
第 2 章 电动机的控制线路	59
2.1 三相异步电动机启动控制	59
2.1.1 鼠笼式异步电动机的 Y— Δ 降压启动控制线路	60
2.1.2 定子串电阻的降压启动控制线路	61
2.1.3 自耦变压器降压启动控制电路	63
2.1.4 绕线式异步电动机转子绕组串接电阻启动控制线路	64
2.2 三相异步电动机制动控制	65
2.2.1 电压反接制动的原理	65
2.2.2 能耗制动的自动控制线路	67
2.3 实现他励直流电动机启动的控制	69
2.3.1 他励直流电动机三级电阻手动控制减压启动电路	69
2.3.2 利用时间继电器控制他励直流电动机启动控制电路	70
2.4 实现他励直流电动机正、反转控制	70
2.4.1 改变电枢电流方向控制他励直流电动机正、反转控制线路	70

2.4.2 改变励磁电流方向控制 他励直流电动机正、反转 控制线路	72	4.2.6 数据寄存器 (D)	103
2.5 直流电动机制动控制	73	4.2.7 指针	104
2.5.1 反接制动控制线路	73	4.3 三菱 PLC 的基本指令	105
2.5.2 能耗制动控制线路	74	4.3.1 输入 / 输出指令和 结束指令	105
2.6 直流电动机的保护	74	4.3.2 触点串联指令和触点 并联指令	107
2.6.1 直流电动机的过载保护	74	4.3.3 电路块并联指令和 串联指令	108
2.6.2 直流电动机的励磁保护	75	4.3.4 栈操作指令	109
本章小结	75	4.3.5 主控指令和主控复位指令	111
习题	75	4.3.6 脉冲输出指令	111
第 3 章 可编程序控制器基本组成和 工作原理	78	4.3.7 置位与复位指令	112
3.1 可编程序控制器的发展	78	4.3.8 脉冲沿应用指令	112
3.1.1 可编程序控制器的产生和 定义	78	4.3.9 取反指令和空操作指令	113
3.1.2 可编程控制器分类和应用	79	4.4 三菱 PLC 的指令应用	117
3.1.3 可编程控制器的发展	83	4.4.1 常用的 PLC 编程技巧	117
3.2 可编程序控制器的基本组成和 工作原理	84	4.4.2 PLC 的编程方法与步骤	122
3.2.1 可编程序控制器的硬件结构	84	4.4.3 三相异步电动机正、反转 控制电路的 PLC 改造	126
3.2.2 可编程序控制器的工作原理	88	4.4.4 两台电动机顺序启动逆序 停止控制的 PLC 实现	127
3.2.3 可编程序控制器的软件系统	89	4.4.5 磨床的 PLC 改造	129
本章小结	92	4.5 三菱 PLC FX-20P-E 手持 编程器的使用	132
习题	92	4.5.1 FX-20P-E 的组成	132
第 4 章 三菱 FX 系列 PLC 及基本 编程指令	93	4.5.2 FX-20P-E 编程器的联机 操作	134
4.1 三菱 PLC 的型号和外形	93	4.5.3 监视/测试操作	137
4.1.1 可编程序控制器的型号和 外型	93	4.5.4 FX-20P-E 编程器的脱机 操作	139
4.1.2 FX 系列可编程序控制器的 特点	96	4.5.5 实训内容与步骤	140
4.2 三菱 PLC 的编程元件	98	4.6 学习用 GX Developer 编程软件 及在线仿真	141
4.2.1 输入继电器 (X) 与输出 继电器 (Y)	98	4.6.1 任务目标	141
4.2.2 辅助继电器 (M)	98	4.6.2 可编程控制器编程软件 简介	141
4.2.3 状态继电器 (S)	99	4.6.3 GX Developer 编程 软件应用	142
4.2.4 定时器 (T)	100		
4.2.5 计数器 (C)	100		

4.6.4 输入/输出其他格式的文件	145	6.2.10 浮点数运算指令	195
4.6.5 梯形图编程	146	6.2.11 时钟运算与格雷码变换指令	195
4.6.6 程序传送	148	本章小结	195
4.6.7 程序监控	148	习题	195
4.6.8 思考与练习	153	第7章 西门子 S7-200PLC	196
本章小结	156	7.1 S7-200 PLC 系统的基本构成	197
习题	156	7.2 S7-200 PLC 的系统配置	201
第5章 三菱 PLC 的步进编程指令	159	7.3 CPU S7-200 系列 PLC 的存储器区域	204
5.1 状态转移图 (SFC 图)	159	7.3.1 数据区空间存储器的地址表示格式	204
5.2 步进顺控指令及编程	161	7.3.2 数据区空间存储器区域	206
5.2.1 步进顺控指令	161	7.4 S7-200 系列 PLC 的基本指令及编程	210
5.2.2 状态转移图与步进梯形图的转换	163	7.4.1 用户程序的结构	210
5.3 状态转移图流程的形式	164	7.4.2 程序的一般约定	211
5.3.1 单流程	164	7.4.3 西门子 S7-200PLC 的基本指令	211
5.3.2 选择性分支与汇合	164	7.4.4 位逻辑指令	212
5.3.3 并行分支与汇合	165	7.4.5 线圈指令	215
5.3.4 分支与汇合的组合	167	7.4.6 RS 触发器指令	217
5.4 编程实例	170	7.4.7 逻辑堆栈指令	218
5.4.1 送料小车工作 PLC 控制	170	7.4.8 定时器指令	219
5.4.2 剪板机动作 PLC 控制	170	7.4.9 计数器指令	220
5.4.3 液体混合装置控制系统	172	本章小结	222
5.4.4 大小球分类选择传送控制	173	习题	223
本章小结	178	第8章 西门子 S7-300PLC	224
习题	178	8.1 S7-300 系列 PLC 的特点和构成	224
第6章 三菱 PLC 的功能编程指令	180	8.1.1 S7-300 系列 PLC 的特点	225
6.1 功能指令的表示方式	180	8.1.2 S7-300 系列 PLC 编程软件和工具软件	226
6.2 FX2N 系列可编程序控制器功能指令	182	8.1.3 S7-300 系列 PLC 的硬件构成	228
6.2.1 程序流向控制功能指令 (FNC00 ~ FNC09)	182	8.2 S7-300 系列 PLC 的模块性能简介	228
6.2.2 数据比较与传送指令	184	8.2.1 电源模块	228
6.2.3 运算功能指令	185	8.2.2 CPU 模块	230
6.2.4 循环移位与移位功能指令	187		
6.2.5 数据处理指令	188		
6.2.6 高速处理指令	190		
6.2.7 方便指令	192		
6.2.8 外部 I/O 设备指令	194		
6.2.9 外部设备指令	194		

8.2.3 信号模块	237
8.2.4 接口模块	246
8.2.5 通信模块	246
8.2.6 功能模块	247
8.3 安装 STEP 7	248
8.3.1 STEP 7 软件的安装过程	248
8.3.2 STEP 7 软件在安装使用 过程中的注意事项	251
8.3.3 STEP 7 使用中的常见问题	253
8.4 STEP 7 的使用	256
8.5 水箱中液位的 PLC 控制	259
8.5.1 工艺描述	259
8.5.2 定义所用的模块通道	260
8.5.3 在 SYMOBLE 中编辑定义 变量数据地址和说明	261
8.5.4 编写程序	262
本章小结	268
习题	268

第 9 章 PLC 网络通信	269
9.1 工业控制局域网简介	269
9.1.1 OSI 参考模型	270
9.1.2 OSI 的分层结构	270
9.2 三菱 FX 系列 PLC 的通信	270
9.2.1 FX 系列 PLC 通信模式及 系统构成	270
9.2.2 FX 系列 PLC 计算机专用 协议的通信	272
9.2.3 通信操作命令类型	274
9.2.4 位元件或字元件状态 读操作	274
9.3 S7-300 PLC 多点接口网络	276
9.4 CP340 点对点通信的应用	279
9.5 利用 PROFIBUS 协议进行 网络通信	281
本章小结	283
习题	283

【本章学习目标】

1. 了解电磁机构的基本动作原理。
2. 了解各种低压电器的作用和发展情况。
3. 了解各种基本线路的组成和互相联系。
4. 学会使用各种保护电路及在设备中电气控制的具体应用。

【教学目标】

1. 知识目标：了解低压电器的基本结构和工作原理，了解低压电器组成的基本控制线路简要情况，以及各种动作线路和保护电路的互相联系。
2. 能力目标：通过低压电器的动作演示，初步形成对低压电器的感性认识，培养学生的学习兴趣。

【教学重点】

低压电器的基本结构和工作原理。

【教学难点】

低压电器的作用和基本控制线路的功能。

【教学方法】

参观法、实验法、演示法、讨论法。

电器是根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通或断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路的切换、控制、保护、检测及调节的电气设备。凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械均可称为电器。

低压电器（Low-voltage Apparatus）通常指工作在交流 50Hz 额定电压 1200V 及以下，或直流电压 1500V 及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（GB 1497—1985 低压电器基本标准）。

通过介绍电气控制领域中常用低压电器的工作原理、用途、型号、规格、符号等知识，电器控制线路的基本环节，并通过对典型电器控制系统的分析，学会正确选择和合理使用常用电器的方法，学会分析和设计电气控制线路的基本方法，为后继章节的学习打下基础。

1.1 电器的作用与分类

电器就是广义的电气设备。它可能很大、很复杂，比如一台彩色电视机或者一套自动化

装置；它也可以很小、很简单，比如一个按钮开关或者一个熔断器。在工业意义上，电器是指能根据特定的信号和要求，自动或手动地接通或断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气设备。电器的种类繁多，构造各异，通常按以下分类方法分为几类。

(1) 按电压等级分：高压电器 (High-voltage Apparatus)、低压电器 (Low-voltage Apparatus)。

(2) 按所控制的对象分：低压配电电器 (Distributing Apparatus)、低压控制电器 (Control Apparatus)。前者主要用于配电系统，如刀开关、熔断器等，后者主要用于电力拖动自动控制系统和其他用途的设备中。

(3) 按工作职能分：手动操作电器、自动控制电器 (自动切换电器、自动控制电器、自动保护电器)、其他电器 (稳压与调压电器、启动与调速电器、检测与变换电器、牵引与传动电器)。

(4) 按有无触点分：有触点电器、无触点电器和混合式电器。

(5) 按使用场合分：一般工业用电器、特殊工矿用电器、农用电器、牵引电器和其他场合 (如航空、船舶、热带、高原) 用电器。

(6) 按用途分：

① 控制电器——用于各种控制电路和控制系统的电器，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，电器的机械寿命要长，如接触器、继电器、电动机起动器和各种控制器等；

② 主令电器——用于自动控制系统中发送动作指令的电器，对这类电器的主要技术要求是操作频率要高，抗冲击，电器的机械寿命要长，如按钮、行程开关、万能转换开关等；

③ 保护电器——用于保护用电设备及电路的电器，对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，可靠性要高，反应要灵敏，如熔断器、热继电器、电压继电器和电流继电器及各种保护继电器、避雷器等；

④ 执行电器——用于完成某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等；

⑤ 配电电器——用于电能的输送和分配的电器，对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动稳定性能及热稳定性能好，如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动空气开关等。

(7) 按工作原理分：电磁式电器、非电量控制电器等。电磁式低压电器是采用电磁现象完成信号检测及工作状态转换的，它是低压电器中应用最广泛、结构最典型的一类。

1.2 电磁机构及触点系统

各类电磁式低压电器在结构和工作原理上基本相同。从结构上来看，主要由两部分组成，即电磁机构 (检测部分) 和触点系统 (执行部分)。

1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的关键部分，其作用是将电磁能转换成机械能。

1. 电磁机构的组成与分类

电磁机构由线圈、铁芯和衔铁组成，其作用是通过电磁感应原理将电磁能转换成机械能，带动触点动作，完成接通和断开电路。电磁式低压电器的触点在线圈未通电状态时有常开 (动

合)和常闭(动断)两种状态,分别称为常开(动合)触点和常闭(动断)触点。当电磁线圈有电流通过,电磁机构动作时,触点改变原来的状态,常开(动合)触点将闭合,使与其相连电路接通;常闭(动断)触点将断开,使与其相连电路断开。根据衔铁相对铁芯的运动方式,电磁机构可分为直动式和拍合式两种,图 1-1 所示为直动式电磁机构,图 1-2 所示为拍合式电磁机构,拍合式电磁机构又包括衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。

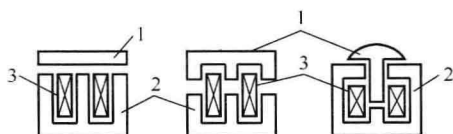


图 1-1 直动式电磁机构
1—衔铁 2—铁芯 3—吸引线圈

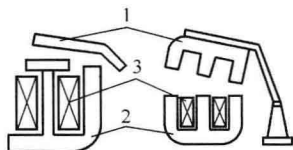


图 1-2 拍合式电磁机构
1—衔铁 2—铁芯 3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁场能,按通入电流种类不同可分为直流和交流线圈。直流线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型,使线圈与铁芯直接接触,以便散热。交流线圈由于铁芯存在涡流和磁滞损耗,铁芯也会发热,为了改善线圈和铁芯的散热条件,线圈设有骨架,使铁芯与线圈隔离,并将线圈制成短而厚的矮胖型。另外,根据线圈在电路中的连接形式,可分为串联型和并联型。串联型主要用于电流检测类电磁式电器中,大多数电磁式低压电器线圈都按照并联接入方式设计。为了减少对电路的分压作用,串联线圈采用粗导线制造,匝数少,线圈的阻抗较小。并联型为了减少电路的分流作用,需要较大的阻抗,一般线圈的导线细,而匝数多。

2. 电磁吸力与反力特性

电磁线圈通电以后,铁芯吸引衔铁带动触点改变原来状态进而接通或断开电路的力称为电磁吸力。电磁式低压电器在吸合或释放过程中,气隙是变化的,电磁吸力也将随气隙的变化而变化,这种特性称为吸力特性。电磁吸力是反映电磁式电器工作可靠性的一个非常重要的参数,电磁吸力可按式(1-1)计算,即

$$F = \frac{B^2 S}{2\mu_0} = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ——空气导磁率(H/m);

F ——电磁吸力(N);

B ——气隙中磁感应强度(T);

S ——铁芯截面积(m^2)。

因磁感应强度 B 与气隙 δ 及外加电压大小有关,所以,对于直流电磁机构,外加电压恒定时,电磁吸力的大小只与气隙有关,即

$$I = U/R \quad (1-2)$$

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \quad (1-3)$$

式中: I ——线圈电流(A);

U ——外加电压(V);

R ——直流电阻(Ω);

N ——线圈匝数(匝);

Φ ——磁通(Wb);

R_m ——磁阻 (H^{-1})。

可见, 对直流电磁机构 $F \propto \Phi^2 \propto 1/R_m \propto 1/\delta^2$, 其励磁电流的大小与气隙无关, 衔铁动作过程中为恒磁动作, 电磁吸力随气隙的减小而增加, 所以吸力特性曲线比较陡峭, 如图 1-3 中曲线 1 所示。

但对于交流电磁机构, 由于外加正弦交流电压, 在气隙一定时, 其气隙磁感应强度也按正弦规律变化, 即 $B=B_m \sin \omega t$ 。所以, 吸力公式为

$$F = 10^7 SB_m^2 \sin^2 \frac{\omega t}{8\pi} \quad (1-4)$$

电磁吸力也按正弦规律变化, 最小值为零, 最大值为

$$F_m = 10^7 SB_m^2 \quad (1-5)$$

对交流电磁机构其励磁电流与气隙成正比, 在动作过程中为恒磁通工作, 但考虑到漏磁通的影响, 其吸力随气隙的减小略有增加, 所以吸力特性比较平坦, 吸力特性曲线如图 1-3 中曲线 2 所示。

所谓反力特性是指反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线, 如图 1-3 中曲线 3 所示。为了使电磁机构能正常工作, 其吸力特性与反力特性配合必须得当。在衔铁吸合过程中, 其吸力特性必须始终处于反力特性上方, 即吸力要大于反力; 反之, 衔铁释放时, 吸力特性必须位于反力特性下方, 即反力要大于吸力 (此时的吸力是由剩磁产生的)。在吸合过程中还须注意吸力特性位于反力特性上方不能太高, 否则会因吸力过大而影响到电磁机构寿命。

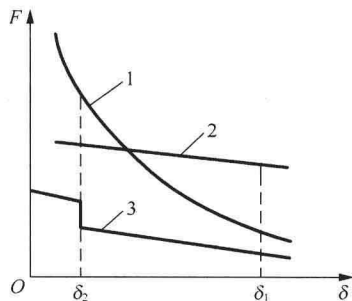


图 1-3 电磁铁吸力特性与反力特性
1—直流电磁铁吸力特性 2—交流电磁铁吸力特性 3—反力特性

3. 交流电磁机构上短路环的作用

电磁吸力由电磁机构产生, 当电磁线圈断电时使触点恢复常态的力称为反力, 电磁式电器中反力由复位弹簧和触点产生, 衔铁吸合时要求电磁吸力大于反力, 衔铁复位时要求反力大于电磁吸力 (此时是剩磁产生的电磁吸力)。当电磁吸力的瞬时值大于反力时, 铁芯吸合; 当电磁吸力的瞬时值小于反力时, 铁芯释放。所以交流电磁机构在电源电压变化一个周期中电磁铁将吸合两次, 释放两次, 电磁机构会产生剧烈的振动和噪声, 因而不能正常工作。为此, 必须采取有效措施, 以消除振动与噪声。

解决的具体办法是在铁芯端面开一小槽, 在槽内嵌入铜质短路环, 如图 1-4 所示。加上短路环后, 磁通被分为大小接近、相位相差约 90° 电角度的两相磁通 Φ_1 和 Φ_2 , 因两相磁通不会同时过零, 又由于电磁吸力与磁通的二次方成正比, 故由两相磁通产生的合成电磁吸力变化较为平坦, 使电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力, 铁芯牢牢吸合, 这样就消除了振动和噪声。一般短路环包围 $2/3$ 的铁芯端面。

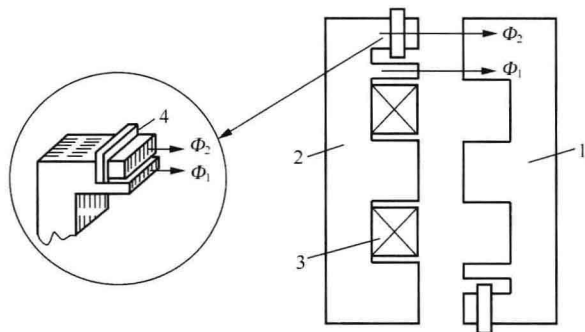


图 1-4 交流电磁铁的短路环
1—衔铁 2—铁芯 3—线圈 4—短路环

1.2.2 触点系统

触点是电磁式电器的执行机构，电器就是通过触点的动作来接通或断开被控制电路的，所以要求触点导电导热性能要好。电接触状态就是触点闭合并有工作电流通过时的状态，这时触点的接触电阻大小将影响其工作情况。接触电阻大时触点易发热，温度升高，从而使触点易产生熔焊现象，这样既影响工作的可靠性，又降低了触点的寿命。触点接触电阻的大小主要与触点的接触形式、接触压力、触点材料及触点的表面状况有关。触点的结构形式主要有两种：桥式触点和指形触点。触点的接触形式有点接触、线接触和面接触 3 种。

1. 触点的结构形式

如图 1-5 所示为桥式触点结构，其中图（a）、图（b）为桥式常开（动合）触点的结构。电磁式电器通常同时具有常开（动合）和常闭（动断）两种触点，桥式常闭（动断）触点与桥式常开触点的结构及动作对称，一般在常开触点闭合时，常闭触点断开。图中静触点的两个触点串于同一条电路中，当衔铁被吸向铁芯时，与衔铁固定在一起的动触点也随着移动，当与静触点接触时，便使与静触点相连的电路接通。电路的接通与断开由两个触点共同完成，触点的接触形式多为点接触和面接触形式。

如图 1.5（c）所示为指形触点，触点接通或断开时产生滚动摩擦，能去掉触点表面的氧化膜。触点的接触形式一般为线接触。

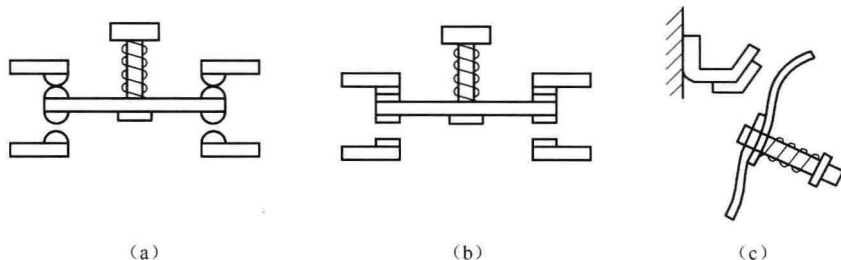


图 1-5 桥式触点的结构形式

2. 触点的接触形式

触点的接触形式有点接触、线接触和面接触 3 种，如图 1-6 所示。点接触适用于电流不大，触点压力小的场合；线接触适用于接通次数多，电流大的场合；面接触适用于大电流的场合。

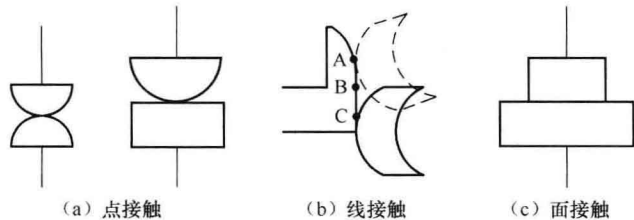


图 1-6 触点的接触形式

为了减小接触电阻，可使触点的接触面积增加，从而减小接触电阻。一般在动触点上安装一个触点弹簧。选择电阻系数小的材料，材料的电阻系数越小，接触电阻也越小。改善触点的表面状况，尽量避免或减少触点表面氧化物形成，注意保持触点表面清洁，避免聚集尘埃。

3. 灭弧原理及装置

触点在通电状态下动、静触点脱离接触时，由于电场的存在，使触点表面的自由电子大量溢出，在强电场的作用下，电子运动撞击空气分子，使之电离，阴阳离子的加速运动使触点温度升高而产生热游离，进而产生电弧。电弧的存在既使触点金属表面氧化，降低电气寿命，又延长电路的断开时间，所以必须迅速熄灭电弧。

根据电弧产生的机制，迅速使触点间隙增加，拉长电弧长度，降低电场强度，同时增大散热面积，降低电弧温度，使自由电子和空穴复合（即消电离过程）运动加强，可以使电弧快速熄灭。使电弧与冷却介质接触，带走电弧热量，也可使复合运动得以加强，从而使电弧熄灭。常用的灭弧装置有以下几种。

(1) 电动力吹弧。桥式触点在断开时具有电动力吹弧功能。当触点打开时，在断口中产生电弧，同时也产生如图 1-7 所示的磁场。根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的力 F 的作用，使其迅速离开触点而熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

(2) 磁吹灭弧。如图 1-8 所示，在触点电路中串入吹弧线圈。该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围，其方向由右手定则确定（图中 $\times$ 所示），触点间的电弧所产生的磁场，其方向如 $\oplus$ 和 $\odot$ 所示。在电弧下方两个磁场方向相同（叠加），在电弧上方方向相反（相减），所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下，电弧受力的方向为 F 所指的方向，在 F 的作用下，电弧被吹离触点，经引弧角引进灭弧罩，使电弧熄灭。

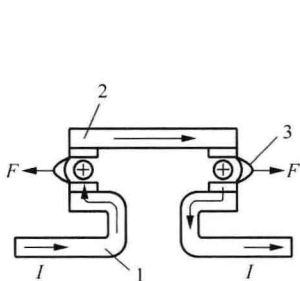


图 1-7 双断口结构的电动力吹弧效应
1—静触点 2—动触点 3—电弧

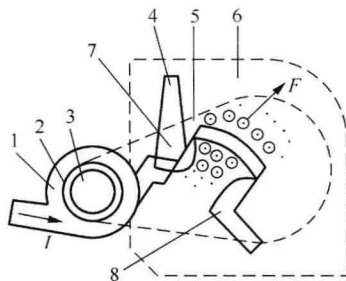


图 1-8 磁吹灭弧示意图
1—磁吹线圈 2—绝缘线圈 3—铁芯 4—引弧角
5—导磁夹板 6—灭弧罩 7—静触点 8—动触点

(3) 栅片灭弧。如图 1-9 所示，灭弧栅是一组薄钢片，它们彼此间相互绝缘。当电弧进入栅片时被分割成一段一段串联的短弧，而栅片就是这些短弧的电极，这样就使每段短弧上的电压达不到燃弧电压。同时，每两片灭弧片之间都有 150~250V 的绝缘强度，使整个灭弧

栅的绝缘强度大大加强,以致外加电压无法维持,电弧迅速熄灭。此外,栅片还能吸收电弧热量,使电弧迅速冷却。基于上述原因,电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在电流为交流时要比直流时强得多,因此在交流电器中常采用栅片灭弧。

(4) 窄缝灭弧。如图 1-10 所示是利用灭弧罩的窄缝来实现的。灭弧罩内有一个或数个纵缝,缝的下部宽上部窄。当触点断开时,电弧在电动力的作用下进入缝内,窄缝可将电弧柱分成若干直径较小的电弧,同时可将电弧直径压缩,使电弧同缝紧密接触,加强冷却和去游离作用,可加快电弧的熄灭速度。灭弧罩通常用耐热陶土、石棉水泥和耐热塑料制成。

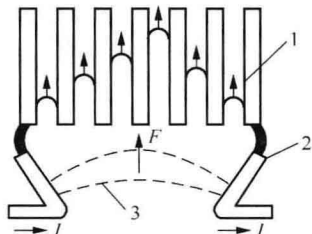


图 1-9 栅片灭弧示意
1—灭弧栅片 2—触点 3—电弧

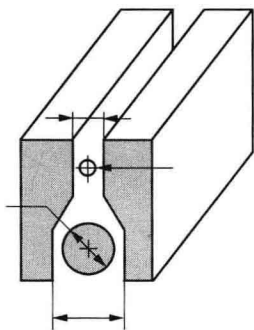


图 1-10 窄缝灭弧室的断面

1.3 接触器

接触器是一种用来频繁地接通和断开(交、直流)负荷电流的电磁式自动切换电器,主要用于控制电动机、电焊机、电容器组等设备,具有低压释放的保护功能,适用于频繁操作和远距离控制,是电力拖动自动控制系统中使用最广泛的电气元器件之一。

接触器按其分断电流的种类可分为直流接触器和交流接触器;按其主触点的极数可分为单极、双极、三极、四极、五极等几种,其中单极、双极多为直流接触器。

接触器按流过主触点电流性质的不同,可分为交流接触器和直流接触器;而按电磁结构的操作电源不同,可分为交流励磁操作和直流励磁操作的接触器两种。

1.3.1 接触器的结构及工作原理

1. 交流接触器的结构

交流接触器主要由电磁机构、触点系统、灭弧装置和其他辅助部件 4 大部分组成。结构示意图如图 1-11 所示。

(1) 电磁机构。电磁机构由线圈、铁芯和衔铁组成,用作产生电磁吸力,带动触点动作。

(2) 触点系统。触点分为主触点及辅助触点。主触点用于接通或断开主电路或大电流电路,一般为三极。辅助触点用于控制电路,起控制其他元件接通或断开及电气联锁作用,常用的常开、常闭触点各两对;主触点容量较大,辅助触点容量较小。辅助触点结构上通常常开和常闭是成对的。当线圈得电后,衔铁在电磁吸力的作用下吸向铁芯,同时带动动触点移动,使其与常闭触点的静触点分开,与常开触点的静触点接触,实现常闭触点断开,常开触点闭合。辅助触点不能用来断开主电路。主、辅触点一般采用桥式双断点结构。

(3) 灭弧装置。容量较大的接触器都有灭弧装置。对于大容量的接触器,常采用窄缝灭

弧及栅片灭弧；对于小容量的接触器，采用电动力吹弧、灭弧罩等。

(4) 其他辅助部件。包括反力弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构、支架及底座等。

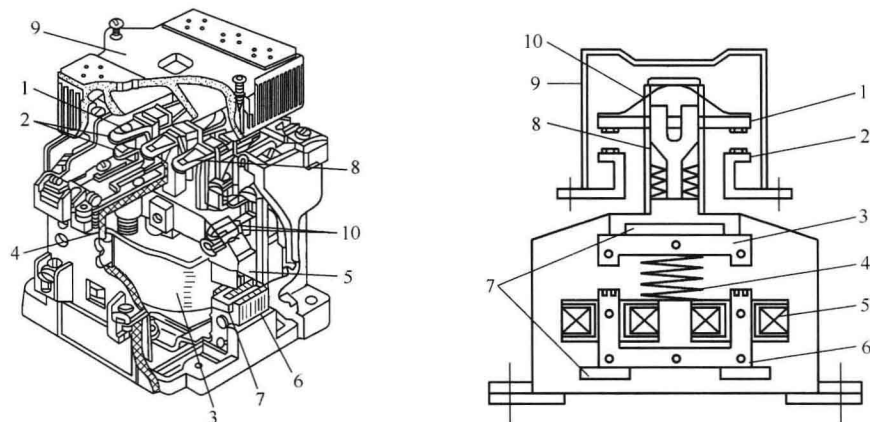


图 1-11 CJ20 系列交流接触器结构示意图

1—动触点 2—静触点 3—衔铁 4—弹簧 5—线圈 6—铁芯 7—垫毡 8—触点弹簧 9—灭弧罩 10—触点压力弹簧

2. 交流接触器的工作原理

接触器的工作原理是：当吸引线圈得电后，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时（无论是正常控制还是欠电压、失电压故障，一般降至线圈额定电压的 85%），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。这也是接触器的失压保护功能。

3. 直流接触器

直流接触器主要用于控制直流电压至 440V、直流电流至 1600A 的直流电力线路，常用于频繁地操作和控制直流电动机。直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同，在结构上也是由电磁机构、触点系统、灭弧装置等组成，但也有不同之处。如直流接触器线圈中通过的是直流电，产生的是恒定的磁通，不会在铁芯中产生磁滞损耗和涡流损耗，所以铁芯不发热。铁芯是用整块铸钢或铸铁制成的，并且由于磁通恒定，其产生的吸力在衔铁和铁芯闭合后是恒定不变的，因此在运行时没有振动和噪声，所以在铁芯上不需要安装短路环。

直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同。在直流接触器运行时，电磁机构中只有线圈产生热量，为了使线圈散热良好，通常将线圈绕制成长而薄的圆筒形，没有骨架，与铁芯直接接触，便于散热。直流接触器的主触点在分断大的直流电时，产生直流电弧，较难熄灭，一般采用灭弧能力较强的磁吹式灭弧。直流接触器的外形如图 1-12 所示。

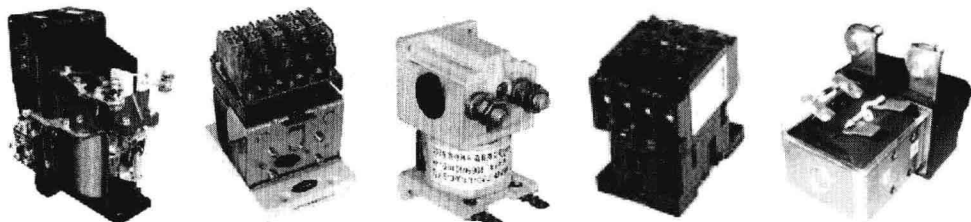


图 1-12 直流接触器