



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电气控制与 可编程序控制器

应用技术 (第2版)

主 编 郁汉琪

副主编 盛党红

邓东华

主 审 郑建勇

DIANQI KONGZHI YU
KEBIAN CHENGXU
KONGZHIQI
YINGYONG JISHU

东南大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电气控制与可编程序控制器 应用技术

(第2版)

主 编	郁汉琪
副主编	盛党红 邓东华
主 审	郑建勇

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是在“电气(器)控制及可编程序控制器”课程教学成功经验的基础上编写的。

本书共三篇。第一篇为电气控制技术,主要介绍了常用低压电器,基本电气控制线路,电机调速控制线路及典型生产机械设备的电气控制。第一篇除介绍了常规机床电气控制线路外,还增加了数控机床电气控制线路的分析。第二篇为可编程序控制器技术,主要介绍了可编程序控制器的基本组成、工作原理、基本指令系统、顺控指令系统、功能指令系统、特殊功能模块、编程、通信及 PLC 的系统设计与应用,所述 PLC 为三菱公司 FX 系列 PLC。第二篇对 PLC 的功能指令、特殊功能模块的应用进行了较详细的叙述。第三篇为电气控制与 PLC 实验技术,主要是配合本书的实验与课题设计选题等。附录主要收录了 PLC 的基本指令系统、功能指令系统及 PLC 的内部软元件分配表等。

本书可作为高等工科院校、高职高专类学校自动化、机械工程及其自动化、机电一体化、电气技术等相近专业“电气控制与可编程序控制器应用技术”的教材及类似课程的选用教材,也可供电气工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与可编程序控制器应用技术/郁汉琪主编.—2
版.—南京:东南大学出版社,2009.9
ISBN 978-7-5641-1844-0

I. 电… II. 郁… III. ①电气控制—高等学校—教材
②可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TM921.5
TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 161025 号

电气控制与可编程序控制器应用技术(第 2 版)

出版发行 东南大学出版社
出版人 江 汉
网 址 <http://press.seu.edu.cn>
电子邮箱 press@seu.edu.cn
社 址 南京市四牌楼 2 号
邮 编 210096

电 话 025-83793191(发行) 025-57711295(传真)
经 销 全国新华书店
印 刷 南京工大印务有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 34.5
字 数 858 千
版 次 2009 年 9 月第 2 版
印 次 2009 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-1844-0
印 数 1—5 000 册
定 价 62.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328)

第 2 版前言

本书是根据高等工科院校自动化、机械工程及其自动化、机电一体化、电气技术等专业的“电气控制与可编程序控制器应用技术”教改课程的教学大纲,并充分考虑到 PLC 的实际应用和发展情况而编写的。编写的指导思想是理论结合实际,突出学生工程应用能力的训练和培养,便于组织教学和实践。内容安排上每篇之间既相互联系,又相互独立,以利于分别开设“电气(器)控制技术”及“可编程序控制器应用技术”两门课程院校的选用。

全书共分三篇。第一篇为电气控制技术,共 4 章,分别是常用低压电器,基本电气控制线路,电机调速控制线路,典型生产机械设备的电气控制。第二篇为可编程序控制器技术,共 8 章,分别是 PLC 的发展史,PLC 的基本组成及工作原理,PLC 的基本指令系统,PLC 步进顺控指令系统,PLC 功能指令系统,PLC 特殊功能模块,PLC 编程与通信,PLC 控制系统设计与应用。第三篇为实验技术,共 3 章,分别是电气控制实验,PLC 控制实验,课题设计选题。附录分别是 PLC 的基本指令、功能指令一览表,PLC 内部软元件分配一览表等。

本书在教学使用过程中,并非全部内容都要讲解,可根据专业、课时的多少进行删减,有些内容和应用实例都可在学生进行实验、课程设计、毕业设计时作为参考。

本书作者均是从事电气自动化技术、数控技术及 PLC 应用技术的教学、科研人员,在该课程的教学改革、实验室建设方面积累了一定的经验,并研究开发了电气控制与 PLC 的教学实验设备,编写出版了《机床电气与可编程序控制器实验、课程设计指导书》。为进一步更好地总结教改经验、促进专业和课程建设,提高教学质量,编辑出版了本教材。参加本书编写的有郁汉琪、盛党红、邓东华、曹锦江、吴京秋、汤幼龙、沈亚斌等老师。其中郁汉琪编写了前言及第二篇第 9 章的第 3 节、第 10 章、第 12 章,第三篇,盛党红编写了第二篇的第 5 章~第 8 章,邓东华编写了第一篇的第 1 章~第 3 章,曹锦江编写了第一篇第 4 章的第 3、第 4 节,吴京秋编写了第二篇第 9 章的第 1、第 2 节,汤幼龙编写了第一篇第 4 章的第 1、第 2 节,第二篇第 11 章的第 1、第 2 节和附录,沈亚斌编写了第 11 章的第 3 节~第 5 节。全书由郁汉琪统稿、定稿,并任主编,盛党红和邓东华任副主编。

本书由东南大学郑建勇教授审稿,并提出了有益的建议和意见。此外,在本书的编写过程中,还得到了南京工程学院院系领导及教务处领导的大力支持。三菱电机自动化(上海)有限公司提供了 PLC 产品资料及部分应用资料,东南大学出版社朱珉责任编辑也付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平有限,加上时间仓促,书中疏漏及错误之处在所难免,恳请广大师生、读者批评指正,提出宝贵意见。

(E-mail: yuhq@njit. edu. cn)

郁汉琪
2009 年 7 月

目 录

第一篇 电气控制技术

常用低压电器	(3)
1.1 低压电器的基本知识	(3)
1.1.1 低压电器的分类	(3)
1.1.2 低压电器的电磁系统	(4)
1.1.3 低压电器的触点系统	(6)
1.1.4 低压电器的灭弧系统	(7)
1.1.5 低压电器的主要技术参数	(8)
1.2 接触器	(9)
1.2.1 交流接触器	(9)
1.2.2 直流接触器	(10)
1.2.3 接触器的主要技术参数	(10)
1.2.4 接触器的常用型号及电气符号	(10)
1.2.5 接触器的选择	(13)
1.3 继电器	(13)
1.3.1 电磁式继电器	(13)
1.3.2 时间继电器	(17)
1.3.3 热继电器	(22)
1.3.4 速度继电器	(26)
1.3.5 固态继电器	(27)
1.4 熔断器	(28)
1.4.1 熔断器的结构原理及分类	(28)
1.4.2 熔断器的主要技术参数	(28)
1.4.3 常用的熔断器	(29)
1.4.4 熔断器的选择原则	(32)
1.5 低压开关和低压断路器	(33)
1.5.1 低压开关	(33)
1.5.2 低压断路器	(37)
1.6 主令电器	(40)
1.6.1 按钮	(40)
1.6.2 位置开关	(42)
1.6.3 万能转换开关	(44)
1.6.4 主令控制器与凸轮控制器	(46)
1.7 其他低压电器	(47)

1.7.1	启动器	(47)
1.7.2	牵引电磁铁	(48)
1.7.3	频敏变阻器	(48)
	习题及思考题	(49)
2	基本电气控制线路	(51)
2.1	电气控制线路的绘图原则及标准	(51)
2.1.1	电气控制系统图中的图形符号、文字符号及接线端子标记	(51)
2.1.2	电气原理图	(57)
2.1.3	电气元件布置图	(59)
2.1.4	电气安装接线图	(60)
2.2	交流电动机的基本控制线路	(61)
2.2.1	三相笼型异步电动机的启动控制线路	(61)
2.2.2	异步电动机的正反转控制线路	(63)
2.2.3	其他控制线路	(66)
2.3	交流异步电动机的降压启动控制线路	(67)
2.3.1	笼型异步电动机的降压启动	(67)
2.3.2	三相绕线式异步电动机的启动控制线路	(73)
2.4	交流异步电动机的制动控制线路	(77)
2.4.1	反接制动控制线路	(77)
2.4.2	能耗制动控制线路	(80)
2.4.3	其他制动控制线路	(83)
	习题及思考题	(85)
3	电机调速控制线路	(87)
3.1	概述	(87)
3.2	三相异步电动机的基本调速控制线路	(88)
3.2.1	三相笼型异步电动机的变极调速控制线路	(88)
3.2.2	绕线式异步电动机转子串电阻的调速控制线路	(89)
3.2.3	电磁调速异步电动机的控制线路	(90)
3.3	三相异步电动机的变频调速控制线路	(92)
3.3.1	变频调速原理	(93)
3.3.2	变频调速的机械特性	(93)
3.3.3	变频器	(94)
3.4	直流电动机的控制线路	(98)
3.4.1	直流电动机的基本控制线路	(98)
3.4.2	直流电动机调速控制线路	(102)
3.5	步进电机的调速控制	(105)
3.5.1	步进电机控制原理及特点	(105)
3.5.2	步进电机分类及性能指标	(107)
3.5.3	步进电机控制	(107)

习题及思考题	(110)
4 典型生产机械设备的电气控制	(111)
4.1 普通车床的电气控制	(111)
4.1.1 普通车床的主要工作情况	(111)
4.1.2 C650 型卧式普通车床	(111)
4.1.3 C650 型卧式普通车床电气控制线路分析	(112)
4.2 普通铣床的电气控制	(115)
4.2.1 普通铣床的主要工作情况	(115)
4.2.2 X62W 型卧式普通铣床的主要结构和运动形式	(116)
4.2.3 X62W 型卧式普通铣床电气控制线路分析	(116)
4.3 数控车床的电气控制	(121)
4.3.1 数控车床的主要工作情况	(122)
4.3.2 CK0630 型数控车床的性能指标	(122)
4.3.3 数控车床电气控制线路分析	(122)
4.4 数控铣床的电气控制	(132)
4.4.1 数控铣床的主要工作情况	(132)
4.4.2 数控铣床控制系统简介	(133)
4.4.3 数控铣床的电气控制线路	(135)
习题及思考题	(138)

第二篇 可编程序控制器技术

5 PLC 的发展史	(141)
5.1 PLC 的简史及定义	(141)
5.2 PLC 的特点	(142)
5.3 PLC 的应用和发展前景	(143)
5.3.1 PLC 的应用	(143)
5.3.2 PLC 的发展前景	(144)
习题及思考题	(144)
6 PLC 的基本组成及工作原理	(145)
6.1 PLC 的基本组成	(145)
6.2 PLC 的基本工作原理	(149)
6.2.1 PLC 的工作过程	(149)
6.2.2 输入/输出的滞后现象	(151)
6.3 PLC 的编程语言	(152)
6.3.1 梯形图语言	(152)
6.3.2 助记符语言	(153)
6.3.3 功能图语言	(153)
6.3.4 顺序功能图语言	(154)
6.3.5 高级语言	(154)

习题及思考题	(154)
7 PLC 的基本指令系统	(155)
7.1 三菱 FX 系列 PLC 简介	(155)
7.1.1 FX 系列 PLC 的特点	(155)
7.2 FX 系列 PLC 的系统配置	(155)
7.2.1 FX 系列 PLC 型号命名方式	(155)
7.2.2 FX 系列 PLC 的基本构成	(156)
7.3 FX 系列 PLC 内部资源	(159)
7.3.1 输入继电器(X)与输出继电器(Y)	(160)
7.3.2 辅助继电器(M)	(160)
7.3.3 状态继电器(S)	(161)
7.3.4 定时器(T)	(162)
7.3.5 计数器(C)	(164)
7.3.6 指针(P/D)	(168)
7.3.7 数据寄存器(D)	(169)
7.4 基本指令系统	(170)
7.4.1 LD、LDI、OUT 指令	(171)
7.4.2 AND、ANI 指令	(172)
7.4.3 OR、ORI 指令	(173)
7.4.4 ANB 块与指令	(175)
7.4.5 ORB 块或指令	(175)
7.4.6 LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP 和 ORF 指令	(178)
7.4.7 MPS、MRD、MPP 多重输出指令	(179)
7.4.8 MC、MCR 指令	(182)
7.4.9 SET、RST 指令	(185)
7.4.10 PLS、PLF 指令	(186)
7.4.11 INV 取反指令	(187)
7.4.12 NOP、END 指令	(189)
7.4.13 定时器与计数器指令	(189)
7.5 编程注意事项	(191)
7.6 编程实例	(193)
7.6.1 保持电路	(193)
7.6.2 优先电路	(193)
7.6.3 比较电路(译码电路)	(193)
7.6.4 分频电路	(194)
7.6.5 顺序控制	(194)
7.6.6 振荡电路	(195)
7.6.7 时钟电路	(195)
7.6.8 十字路口交通信号灯的控制	(196)

习题及思考题	(198)
8 PLC 步进顺控指令系统	(200)
8.1 状态转移图(SFC 图)	(200)
8.2 步进顺控指令及编程	(201)
8.2.1 步进顺控指令	(201)
8.2.2 状态转移图与步进梯形图的转换	(204)
8.3 状态转移图流程的形式	(204)
8.3.1 单流程	(205)
8.3.2 选择性分支与汇合	(205)
8.3.3 并行分支与汇合	(207)
8.3.4 分支与汇合的组合	(208)
8.4 编程实例	(211)
习题及思考题	(218)
9 PLC 功能指令系统	(220)
9.1 功能指令的表示形式及含义	(220)
9.1.1 功能指令的表示形式	(220)
9.1.2 功能指令的含义	(220)
9.2 功能指令的分类与操作数说明	(223)
9.2.1 功能指令的分类	(223)
9.2.2 功能指令操作数说明	(224)
9.3 功能指令说明	(232)
9.3.1 跳转及中断指令说明	(232)
9.3.2 传送比较指令说明	(244)
9.3.3 四则逻辑运算指令说明	(258)
9.3.4 循环移位与移位指令说明	(266)
9.3.5 数据处理指令说明	(277)
9.3.6 高速处理指令说明	(284)
9.3.7 方便指令说明	(294)
9.3.8 外部设备 I/O 指令说明	(308)
9.3.9 外部(围)设备(SER)指令说明	(321)
9.3.10 浮点数运算指令(I)说明	(330)
9.3.11 浮点数运算指令(II)说明	(333)
9.3.12 浮点数运算指令(III)说明	(336)
9.3.13 数据处理指令说明	(338)
9.3.14 定位用指令说明	(339)
9.3.15 时钟运算指令说明	(343)
9.3.16 外围设备用指令说明	(348)
9.3.17 触点型比较指令说明	(350)
习题及思考题	(353)

10	PLC 特殊功能模块	(356)
10.1	模拟量输入模块 FX _{2N} -4AD	(356)
10.1.1	概述	(356)
10.1.2	FX _{2N} -4AD 的电路接线	(356)
10.1.3	FX _{2N} -4AD 的性能指标	(357)
10.1.4	编程及应用	(360)
10.2	模拟量输出模块 FX _{2N} -4DA	(362)
10.2.1	概述	(362)
10.2.2	FX _{2N} -4DA 的电路接线	(362)
10.2.3	FX _{2N} -4DA 的性能指标	(363)
10.2.4	编程及应用	(366)
10.3	高速计数模块 FX _{2N} -1HC	(367)
10.3.1	概述	(367)
10.3.2	FX _{2N} -1HC 的电路接线	(367)
10.3.3	FX _{2N} -1HC 的性能指标	(368)
10.3.4	编程及应用	(375)
10.4	其他特殊功能模块介绍	(377)
10.4.1	PID 过程控制模块 FX _{2N} -2LC	(377)
10.4.2	运动控制模块	(377)
10.4.3	可编程凸轮开关 FX _{2N} -1RM-SET	(379)
10.4.4	通信模块	(379)
10.4.5	网络通信特殊功能模块	(380)
10.5	图形操作终端	(381)
10.5.1	小型显示器 FX-10DU-E	(381)
10.5.2	显示模块 FX-10DM-E	(381)
10.5.3	图形操作终端 F940WGOT-TWD-C	(382)
10.6	特殊功能模块的应用	(382)
10.6.1	模拟量输入及输出模块的应用	(382)
10.6.2	高速计数模块的应用	(385)
	习题及思考题	(391)
11	PLC 编程与通信	(392)
11.1	三菱 PLC 编程软件	(392)
11.1.1	概述	(392)
11.1.2	程序编制	(395)
11.1.3	程序的检查	(396)
11.1.4	GX Developer 程序的写入与读取	(397)
11.1.5	GX Developer 的监视运行状态	(398)
11.2	PLC 通信基本概念	(398)
11.2.1	通信系统的基本组成	(398)

11.2.2	通信方式	(399)
11.2.3	通信介质	(400)
11.2.4	PLC的通信接口	(401)
11.2.5	通信协议	(401)
11.3	PLC与计算机的通信	(402)
11.3.1	基本概念	(402)
11.3.2	通信链接	(402)
11.3.3	通信协议	(404)
11.3.4	计算机与多台PLC的链接	(406)
11.4	PLC与PLC之间的通信	(409)
11.5	PLC的网络简介	(412)
	习题及思考题	(415)
12	PLC控制系统设计与应用	(416)
12.1	PLC控制系统设计概要	(416)
12.1.1	PLC控制系统设计的基本原则	(416)
12.1.2	PLC控制系统设计的基本内容	(416)
12.1.3	PLC控制系统设计的一般步骤	(417)
12.2	PLC的接口电路	(418)
12.2.1	PLC的输入接口电路	(418)
12.2.2	PLC的输出接口电路	(420)
12.2.3	PLC电源电路	(421)
12.3	PLC控制系统设计及应用举例	(421)
12.3.1	气动机械手的PLC控制	(421)
12.3.2	霓虹灯广告屏的PLC控制	(425)
12.3.3	单轴数控的PLC控制	(430)
12.3.4	组合机床的PLC控制	(434)
12.3.5	PLC在恒温控制过程中的应用	(439)
	习题及思考题	(446)

第三篇 电气控制与PLC实验技术

13	电气控制实验	(451)
实验1	三相异步电动机的启停、正/反转控制实验	(451)
实验2	三相交流电动机的能耗及反接制动实验	(454)
实验3	交流电动机变频调速控制实验	(457)
实验4	直流电动机(他励)控制线路实验	(460)
14	PLC控制实验	(462)
实验1	PLC认识及编程操作实验	(462)
实验2	定时器、计数器指令实验	(470)
实验3	移位寄存器指令实验	(474)

实验 4	交通信号灯的自动控制实验	(479)
实验 5	舞台艺术灯的 PLC 控制实验	(483)
实验 6	驱动步进电动机的 PLC 控制实验	(486)
实验 7	PLC 控制多台电动机顺序运行实验	(491)
实验 8	交流电动机 Y/ Δ 启动的 PLC 控制实验	(495)
实验 9	机械手的 PLC 控制实验	(499)
实验 10	PLC 与变频器控制电动机实验	(503)
15	课题设计选题	(507)
课题 1	三路智力抢答器的 PLC 控制	(507)
课题 2	花式喷水池的 PLC 控制	(509)
课题 3	六层电梯的 PLC 控制	(511)
课题 4	全自动洗衣机的 PLC 控制	(513)
课题 5	工业机械手的 PLC 控制	(515)
课题 6	自动售货机的 PLC 控制	(517)
课题 7	输送带的 PLC 控制	(518)
课题 8	自动卸料爬斗的 PLC 控制	(519)
课题 9	箱体加工专用机床的 PLC 控制	(521)
课题 10	产品在流水线上的测试与分检控制	(523)
课题 11	多种液体自动混合装置的 PLC 控制	(525)
课题 12	注塑机的 PLC 控制	(526)
课题 13	小车行车方向的 PLC 控制	(528)
课题 14	数控圆弧插补的 PLC 控制	(529)
附录	(531)
附录 1	三菱 FX 系列 PLC 指令一览表	(531)
一	基本指令简表	(531)
二	功能指令一览表	(532)
附录 2	FX _{2N} 系列 PLC 内部软元件分配一览表	(536)
参考文献	(537)

第一篇

电气控制技术

1 常用低压电器

随着科学技术的发展,生产过程中电气自动化水平在不断提高,电能的应用越来越广泛。对电能的产生、输送、分配及使用起控制、调节、检测、转换和保护作用的电器也越来越多,性能也越来越好,应用也日益广泛。

低压电器是电力拖动自动控制系统基本组成元件,控制系统的优劣与所用低压电器性能有直接关系。作为电气工程技术人员,必须熟悉常用低压电器的结构、原理,掌握其使用与维护等方面的知识和技能。本章主要介绍常用低压电器的结构、原理、型号、规格、选择、使用等方面的知识,为后续内容的学习奠定基础,同时根据目前电器发展的现状,对部分新型电器元件做简单介绍。

1.1 低压电器的基本知识

电器是所有电工器械的简称。即凡是根据外界特定的信号和要求自动或手动接通与断开电路,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、检测和调节的电工器械称为电器。

低压电器通常指工作在交流 1 200 V 以下,直流 1 500 V 以下电路中的电器。常用的低压电器主要有:接触器、继电器、刀开关、断路器(空气自动开关)、转换开关、行程开关、按钮、熔断器等。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器种类繁多,功能各样,构造各异,用途广泛。分类方法很多,通常有如下分类:

1) 按用途或控制对象分

(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,在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性,使电器不会被损坏。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、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。如接触器、继电器、启动器、主令电器、电磁铁等。

2) 按动作方式分

(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、继电器等。

(2) 非自动切换电器。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) 按执行功能分

(1) 有触点电器。有可分离的动触点、静触点,并利用触点的接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。无可分离的触点。主要利用电子元件的开关效应,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、电子式时间继电器等。

4) 按工作原理分

(1) 电磁式电器。根据电磁感应原理来动作的电器。如交流、直流接触器,各种电磁式继电器,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、温度等)的变化而动作的电器。如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

1.1.2 低压电器的电磁系统

低压电器一般由两个基本部分组成,即感受机构和执行机构。感受机构感受外界信号的变化,作出有规律的反应;而执行机构则是根据指令信号,执行电路的通、断控制。

在各种低压电器中,根据电磁感应原理来实现通、断控制的电器很多,它们的结构相似、原理相同,感受机构是电磁系统,执行机构则是触点系统及灭弧系统。

1) 电磁系统结构及工作原理

电磁系统是电磁式电器的感受机构,其作用是将电磁能量转换成机械能量,带动触点动作,实现对电路的通、断控制。

电磁系统由铁心、衔铁和线圈等部分组成。其作用原理是: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,使衔铁与铁心闭合,衔铁带动连接机构运动,从而带动相应触点动作,完成通、断电路的控制作用。接触器常用的电磁系统结构,如图 1.1 所示。

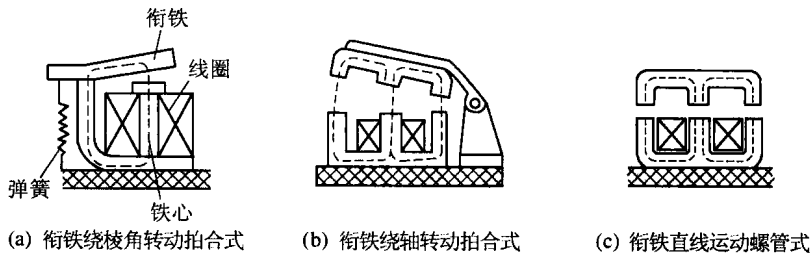


图 1.1 接触器电磁系统的结构图

图 1.1(a)为衔铁绕棱角转动的拍合式结构,适用于直流接触器。

图 1.1(b)为衔铁绕轴转动的拍合式结构,适用于触点容量较大的交流接触器。

图 1.1(c)为衔铁直线运动的螺管式结构,适用于交流接触器、继电器等。

电磁式电器分为直流与交流两大类。直流电磁铁铁心由整块铸铁铸成,而交流电磁铁的铁心则用硅钢片叠成,以减小铁损(磁滞损耗及涡流损耗)。

图 1.1 中线圈的作用是将电能转化为磁场能。按通入线圈电流性质的不同,分为直流线圈和交流线圈两种。

实际应用中,由于直流电磁铁仅有线圈发热,所以线圈匝数多、导线细,制成细长型,且不设线圈骨架,线圈与铁心直接接触,利于线圈的散热。而交流电磁铁由于铁芯和线圈均发热,所以线圈匝数少、导线粗,制成短粗型,吸引线圈设有骨架,且铁心与线圈隔离,利于铁心和线圈的散热。

2) 电磁系统的吸力特性和反力特性

电磁系统的工作情况通常用吸力特性和反力特性来表示。

(1) 吸力特性

电磁系统的电磁吸力与气隙的关系曲线称为吸力特性。电磁铁的吸力公式为

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S$$

式中： F 为电磁吸力(N)； B 为气隙中磁感应强度(T)； S 为铁心截面积(m²)。

由上式可见：当 S 一定时， $F \propto B^2$ ，也就是 $F \propto \Phi^2$ ，其中 Φ 为气隙磁通。因此，励磁电流的种类不同，吸力的特性将发生变化。下面就交流电磁机构和直流电磁机构吸力特性分别进行说明。

① 交流电磁机构吸力特性

假设线圈电压 U 不变，则 $U \approx E = 4.44f\Phi N$ ， $\Phi = \frac{U}{4.44fN}$ ，式中 E 为线圈感应电动势， f 为电源电压频率， Φ 为气隙磁通， N 为线圈匝数。当 U 、 f 、 N 为常数时， Φ 为常数，则 F 也为常数，即 F 与气隙 δ 大小无关。实际上，考虑到漏磁通影响， F 随 δ 减小而略有增加。由于 Φ 不变，则流过线圈的电流 I 随气隙磁阻(也即随气隙 δ) 的变化成正比变化，其电磁机构吸力特性如图 1.2 所示。

② 直流电磁机构吸力特性

对于直流线圈，当电压 U 及线圈电阻 R 不变时，流过线圈的电流 I 不变。由磁路定律 $\Phi = \frac{IN}{R_m}$ 可知(式中 R_m 为气隙磁阻)， $F \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{R_m^2} \propto \frac{1}{\delta^2}$ ，即电磁吸力 F 与气隙 δ 的平方成反比。直流电磁机构吸力特性如图 1.3 所示。

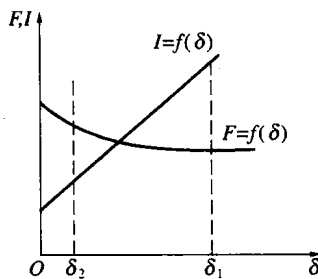


图 1.2 交流电磁机构的吸力特性

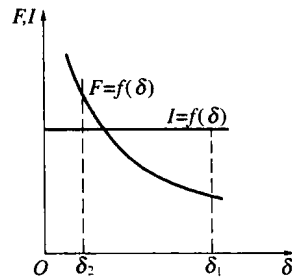


图 1.3 直流电磁机构的吸力特性

(2) 反力特性

电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。如图 1.4 所示，曲线 3 为反力特性曲线。

图中 δ_1 为起始位置， δ_2 为动、静触点相接触时的位置。在 $\delta_1 \sim \delta_2$ 区域内，反作用力随气隙减小略有增大，到达 δ_2 时，动、静触点将接触，此时触点上初压力作用到衔铁上，反作用力骤增，曲线发生突变。在 $\delta_2 \sim 0$ 区域内，气隙越小，触点压得越紧，反作用力也越大，其曲线比 $\delta_1 \sim \delta_2$ 段陡。

(3) 反力特性与吸力特性的配合

为使衔铁能牢牢吸合，反作用力特性必须与吸力特性配合好，如图 1.4 所示。