

电气控制与可编程序控制器 的原理及应用

陈立定 等编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电气控制与可编程序控制器的原理及应用

陈立定 等编著



机械工业出版社

本书是根据目前高等学校已普遍将原先的“工厂电器控制设备(技术)”和“可编程序控制器”两门课程合并为“电气控制与可编程序控制器”一门课程的实际情况,并充分考虑到电气控制技术的实际应用和发展情况而编写的。从实际工程应用和便于教学出发,主要介绍了电气控制技术 & 系统设计、可编程序控制器原理及应用,系统地阐述了电气控制的分析与设计的一般方法。全书共分两篇,11章。包括常用电磁式低压电器、常用其他低压电器、电子电器、继电器接触器控制系统,可编程序控制器的概念及工作原理、可编程序控制器的特点和技术指标、可编程序控制器的基本指令系统、步进控制指令和顺序功能流图、功能指令、可编程序控制器的特殊扩展模块、可编程序控制器网络及通信、可编程序控制器应用设计方法。每章的末尾都附有适量的复习思考题。

本书在可编程序控制器部分以 FX2N 为例,系统地讨论了 PLC 的构造原理、硬件结构、内部软元件、指令系统等,在此基础上对可编程序控制系统的设计及编程方法做了较为详细的论述,特别是针对可编程序控制器日益普及的自动化应用范围对模拟量控制、定位控制、联网通信和数据传输等功能应用的需求,给出了详细的解决方案。

本书可作为高校、大专、电大和业余大学的自动化、工业自动化、电气技术、机电一体化及相近专业的“电气控制与可编程序控制器”及类似课程的选用教材,也可作为自动化工程人员从事设计和研究相关内容的参考和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与可编程序控制器的原理及应用/陈立定等编著. —北京:机械工业出版社, 2004.6
ISBN 7-111-14478-3

I. 电… II. 陈… III. ①电气控制 ②可编程序控制器 IV. TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045275 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:舒莹 版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔
封面设计:陈沛 责任印制:李妍
北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
2004 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm $1/16$ ·28 印张·694 千字
0001-4000 册
定价:43.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据目前高等学校已普遍将原先的“工厂电器控制设备(技术)”和“可编程序控制器”两门课程合并为“电气控制与可编程序控制器”一门课程的实际情况,并充分考虑到电气控制技术的实际应用和发展情况而编写的。

在编写过程中力求做到:以实际应用和便于教学为目标,紧贴实际与当前流行的先进技术产品相结合。着重介绍常用低压电器、电器控制基本线路、典型生产机械电气控制线路,可编程序控制器原理及实际应用线路,系统地阐述了电气控制和可编程序控制器系统的分析与设计的一般方法。

本书在内容编写上注意循序渐进、由浅入深,便于读者掌握基本控制原理和控制方法。保留了传统电器及继电器接触控制内容,删除了应用范围越来越有局限性的电机扩大机、磁放大器和顺序控制器的内容,大幅度增加了应用越来越广泛的电子电器和安全电气的知识。可编程序控制器的内容以当今流行的三菱公司的一体化小型机 FX2N 系列为重点。

全书两篇共 11 章和附录。第一篇电器控制部分共 4 章,主要介绍常用低压电器及电子电器的结构、原理、用途及选用原则、继电器接触式控制系统和电气控制的安全等级的基本环节与线路设计的一般原则与方法。第二篇共 7 章和附录,主要讲述可编程序控制器的组成结构、工作过程、FX2N 系列可编程序控制器的指令系统和编程举例、功能指令及应用、FX2N 系列可编程序控制器的特殊功能模块、PLC 控制系统的设计方法和应用实例(所有实例均给出在 FX2N 系列 PC 上运行通过的指令程序)、FX2N 系列可编程序控制器的网络及其通信技术。每章的末尾都附有适量的复习思考题。

本书在可编程序控制器部分以 FX2N 为例,系统地讨论了 PLC 的构造原理、硬件结构、内部软元件、指令系统等,在此基础上对可编程序控制系统的设计及编程方法做了较为详细的论述,特别是针对可编程序控制器日益普及的自动化应用范围对模拟量控制、定位控制、联网通信和数据传输等功能应用的需求,给出了详细的解决方案。

本书可作为高校、大专、电大和业余大学的自动化、工业自动化、电气技术、机电一体化及相近专业的电气控制与可编程序控制器及类似课程的选用教材,也可作为自动化工程人员从事设计和研究相关内容的参考和自学用书。

本书前言、绪论、第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章、第九章的第一节至第四节、第十章、第十一章及其附录由华南理工大学陈立定编著,第九章的第五节至第十七节由华南理工大学陈晖编写。本书由陈立定负责全书的组织、修改和统稿。书中部分章节的编写主要参照了三菱公司的最新技术资料 and 同行作者的有关文献,在此无法一一列举,编著者对所列主要参考文献的作者,表示衷心的感谢!

由于编著者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

2003 年 11 月于广州华南理工大学

目 录

前 言		二、速度继电器	28
绪 论	1	三、压力继电器	29
第一篇 电气控制	3	四、液位继电器	29
第一章 常用电磁式低压电器	3	五、干簧继电器	30
第一节 概述	3	六、混合式继电器	30
一、低压电器的分类	3	七、负序继电器	31
二、常用的低压控制电器	4	第三节 主令电器	32
第二节 电磁机构原理	4	一、控制按钮	32
一、电磁机构	4	二、行程开关	33
二、电磁吸力	5	三、万能转换开关	34
第三节 电接触及灭弧工作原理	6	四、主令控制器	35
一、电接触	6	第四节 熔断器	37
二、灭弧工作原理	7	一、熔断器的结构组成和分类	37
第四节 电磁式接触器	8	二、熔断器的保护特性	37
一、接触器的作用与分类	8	三、熔断器的主要参数	38
二、接触器的结构和工作原理	8	四、一般熔断器的选用	38
三、接触器的主要技术参数及型号含义	9	五、快速熔断器的选择	39
四、接触器的选用	11	第五节 低压开关和低压断路器	40
第五节 电磁式继电器	12	一、低压刀开关	40
一、继电器的结构组成、作用、分类和特性	12	二、低压断路器	42
二、电磁式电压及电流继电器	13	三、组合开关	45
三、时间继电器	16	第六节 漏电断路器	46
四、中间继电器	18	一、触电的形成及其危害	46
复习思考题	19	二、漏电断路器的组成和动作原理	46
第二章 常用其他低压电器	21	复习思考题	49
第一节 热继电器	21	第三章 电子电器	51
一、热继电器的作用和分类	21	第一节 电子电器的特点和主要技术参数	51
二、热继电器的保护特性和工作原理	21	一、电子电器的特点	51
三、带断相保护的热继电器	23	二、电子电器的组成	52
四、热继电器的主要技术数据	24	三、电子电器的主要技术参数	53
五、热继电器的调整	24	第二节 晶体管时间继电器	54
六、热继电器的选用	25	一、延时工作原理	54
七、热继电器使用中应注意的问题	26	二、单结晶体管通电延时电路	56
第二节 信号继电器	27	三、带瞬动触头的通电延时电路	57
一、温度继电器	27	四、断电延时电路	57
		五、晶体管时间继电器的型号含义及主要	

技术数据	58	评定	106
第三节 固态保护继电器	60	二、电气控制安全等级标准及应用	
一、过载和保护继电器	60	分析	108
二、断相保护继电器	61	第六节 常用典型控制线路	111
三、温度继电器	62	一、笼型感应异步电动机的起动控制	
四、漏电保护继电器	64	线路	111
五、半导体脱扣器	65	二、笼型感应异步电动机的制动与反转	
第四节 晶闸管开关	67	的控制线路	115
一、晶闸管交流开关	67	三、调速控制线路	116
二、晶闸管直流开关	71	四、预警、自动保护线路	117
三、混合式交流触发器	73	复习思考题	119
四、晶闸管断路器	75	第二篇 可编程序控制器	121
第五节 无触头行程开关	79	第五章 可编程序控制器的概念及工作	
一、晶体管停振型接近开关	79	原理	121
二、差动变压器型接近开关	80	第一节 可编程序控制器的产生和发展	121
复习思考题	82	第二节 可编程序控制器的定义和特点	123
第四章 继电接触式控制系统	83	一、可编程序控制器的定义	123
第一节 电气控制线路的绘制原则、图形		二、可编程序控制器的特点	125
及文字符号	83	第三节 可编程序控制器的分类及应用	126
一、常用电气元件图形符号和文字		一、可编程序控制器的分类	126
符号	83	二、可编程序控制器的应用	127
二、电气线路图及其绘制原则	88	第四节 可编程序控制器的组成及各组成	
三、读和分析电气控制线路图的方法	88	部分的作用	128
第二节 组成电气控制线路的基本规律	90	一、PLC的基本组成	128
一、联锁控制的规律	91	二、PLC各组成部分的作用	128
二、按控制过程的变化参量进行控制的		第五节 可编程序控制器的工作原理	131
规律	94	一、PLC的工作方式与运行框图	131
第三节 电气控制线路的一般设计方法	97	二、PLC的工作过程	132
一、概述	97	三、PLC的中断处理	134
二、一般方法设计控制线路的几个		第六节 可编程序控制器的编程语言	135
原则	98	一、概述	135
三、一般方法设计控制线路的实例		二、PLC的编程语言	135
分析	100	第七节 可编程序控制器与微型计算机、	
第四节 电气线路中的保护措施	103	继电器控制等的区别	138
一、短路保护	103	一、PLC与继电器控制的区别	138
二、过电流保护	103	二、PLC与微型计算机(MC)的区别	139
三、热保护	104	三、PLC与单板计算机的区别	140
四、零电压和欠电压保护	104	四、PLC与集散系统的区别	140
五、弱磁场保护	105	复习思考题	141
六、超速保护	105	第六章 可编程序控制器的特点和技术	
七、多功能一体化保护器	105	指标	142
第五节 电气控制安全等级及其应用	106		
一、安全电气元件的重要性及其等级			

第一节 FX2N 的结构和类型	142	第二节 可编程序控制器梯形图编程	
一、FX2N 的结构特点	142	规则	180
二、FX2N 型号说明	142	一、两个基本概念	180
三、FX2N 系列 PLC 的相关设备	144	二、梯形图设计规则	181
第二节 FX2N 系列 PLC 技术性能指标	146	第三节 可编程序控制器逻辑指令编程	
一、环境规格	146	实例	182
二、性能规格	146	一、延时断开电路	182
三、FX2N 的软元件地址分配	148	二、分频电路	182
第三节 FX2N 系列可编程序控制器内的		三、振荡电路	184
元器件	149	四、报警电路	184
一、输入/输出继电器 (X/Y)	149	五、智力抢答装置	184
二、辅助继电器 (M)	150	复习思考题	186
三、状态元件 (S)	151	第八章 步进顺控指令和顺序功能	
四、定时器 (T)	152	流程图	188
五、计数器 (C)	153	第一节 步进顺控指令 STL/RET	188
六、数据寄存器 (D)	159	一、步进顺控指令 STL/RET 表	188
七、文件寄存器 (D1000~D7999)	160	二、步进顺控指令应用	188
八、变址寄存器 (V/Z) (字)	162	第二节 步进顺控指令的动作与 SFC	
九、指针 P/I	163	表示	189
复习思考题	164	一、状态的功能	189
第七章 可编程序控制器的基本		二、步进顺控指令的动作与 SFC 的对应	
指令	165	关系	190
第一节 可编程序控制器的逻辑指令		第三节 状态转移图的类型及规则	191
简介	165	一、SFC 的类型	191
一、基本逻辑指令一览表	165	二、SFC 的设计规则	193
二、逻辑取及线圈驱动指令 LD/LDI		第四节 基本编程方法	193
/OUT	166	一、初始状态编程	193
三、触点串联指令 AND/ANI	167	二、没有分支与汇合的一般流程	194
四、触点并联指令 OR/ORI	168	三、带跳转处理和复位处理编程	195
五、串联电路块的并联指令 ORB	169	四、选择性分支和汇合的编程	195
六、并联电路块的串联指令 ANB	169	五、并行分支和汇合的编程	196
七、脉冲式操作指令 LDP/LDF/ANP		六、分支、汇合的组合编程	197
/ANF/ORP/ORF	170	七、利用同一信号的状态转移编程	197
八、逻辑堆栈的操作指令 MPS/MRD		第五节 各种类型 SFC 编程实例分析	199
/MPP	172	一、简单流程控制系统	199
九、主控指令 MC/MCR	174	二、选择性分支和汇合流程控制系统	200
十、逻辑运算结果取反指令 INW	175	三、并行分支和汇合流程控制系统	201
十一、脉冲输出指令 PLS/PLF	175	复习思考题	205
十二、置位/复位指令 SET/RST	178	第九章 功能指令	206
十三、对计数器、定时器的		第一节 功能指令的概述	206
OUT/RST	179	一、功能指令的基本形式	206
十四、空操作指令 NOP	179	二、应用指令的数据格式	207
十五、程序结束指令 END	180		

三、变址寄存器 (V、Z)	208	第七节 数据处理 (FNC40~FNC49)	246
四、数据长度及指令的执行方式	211	一、区间复位	246
第二节 功能指令的表示形式和功能指令表	211	二、解码	247
一、功能指令的表示形式	211	三、编码	248
二、功能指令表	212	四、求置 ON 位的总数	249
第三节 程序流控制功能 (FNC00~FNC09)	215	五、ON 位判断	249
一、条件跳转	215	六、平均值	250
二、调用子程序	216	七、报警器置位	250
三、中断指令	217	八、报警器复位	251
四、主程序结束	223	九、二进制平方根	251
五、监视定时器	223	十、二进制整数与二进制浮点数转换	252
六、循环 (FOR、NEXT)	224	第八节 高速处理 (FNC50~FNC59)	253
第四节 传送和比较 (FNC10~FNC19)	225	一、刷新	253
一、比较	225	二、刷新和滤波时间调整	254
二、区域比较	226	三、矩阵输入	255
三、传送	226	四、高速计数器置位	256
四、移位传送	227	五、高速计数器复位	257
五、取反传送	228	六、高速计数器的区间比较	258
六、块传送	228	七、速度检测	262
七、多点传送	230	八、脉冲输出	263
八、交换	231	九、脉宽调制	266
九、BCD 变换	232	十、带加减速的脉冲输出	267
十、BIN 变换	233	第九节 方便指令 (FNC60~FNC69)	268
第五节 四则运算及逻辑运算 (FNC20~FNC29)	233	一、状态初始化	268
一、BIN 加法	233	二、数据搜索	269
二、BIN 减法	234	三、绝对值式凸轮顺控	271
三、BIN 乘法	234	四、增量式凸轮顺控	271
四、BIN 除法	236	五、示教定时器	272
五、BIN 加一和 BIN 减一	236	六、特殊定时器	274
六、与、或和异或	237	七、交替输出	274
七、求补	238	八、斜坡信号	275
第六节 循环移位与移位 (FNC30~FNC39)	240	九、旋转工作台控制	277
一、循环右移与循环左移	240	十、数据排序	278
二、带进位的循环移位	241	第十节 外围设备·I/O (FNC70~FNC79)	279
三、位右移、位左移	242	一、十字键输入	279
四、字右移、字左移	243	二、十六键输入	280
五、先进先出 (FIFO) 写入	244	三、数字开关	281
六、先进先出 (FIFO) 读出	245	四、七段解码	282
		五、带锁存器的七段显示	284
		六、方向开关	286
		七、ASCII 码变换	288
		八、ASCII 打印	288

九、特殊功能模块的 BFM 读出	290	五、时钟数据读取	341
十、特殊功能模块的 BFM 写入	290	六、时钟数据写入	342
第十一节 外围设备·SER (FNC80~		七、计时表	343
FNC89)	292	第十六节 外围设备 (FNC170~	
一、串行数据传送	292	FNC179)	344
二、八进制位传送	295	一、葛莱码转换 (BIN—GRY 转换) ..	344
三、HEX→ASCII 变换	295	二、葛莱码逆变换 (GRY—BIN	
四、ASCII→HEX 变换	298	变换)	345
五、校验码	300	三、模拟量模块读取 (FX0N—3A	
六、电位器值读出	302	专用)	346
七、电位器刻度	302	四、模拟量模块写入 (FX0N—3A	
八、PID 运算	303	专用)	346
第十二节 浮点运算 (FNC110~		第十七节 触点比较指令 (FNC220~	
FNC139)	312	FNC249)	347
一、二进制浮点比较	312	一、LD ※ (触点比较指令)	347
二、二进制浮点区域比较	313	二、AND ※ (触点比较指令)	348
三、二进制浮点转换为十进制浮点	314	三、OR ※ (触点比较指令)	349
四、十进制浮点转换为二进制浮点	314	第十章 FX2N 系列 PLC 的特殊扩展	
五、二进制浮点加法	315	模块	351
六、二进制浮点减法	315	第一节 概述	351
七、二进制浮点乘法	316	第二节 模拟量输入和输出处理	353
八、二进制浮点除法	316	一、FX2N—8AV—BD 模拟量调节器	353
九、二进制浮点数开平方	317	二、FX0N—3A 模拟量输入输出模块	353
十、二进制浮点数→二进制整数变换 ..	317	三、FX2N—2AD 模拟量输入模块	354
十一、浮点正弦函数	318	四、FX2N—2DA 数字量输入模块	356
十二、浮点余弦函数	319	五、FX2N—4AD 模拟量输入模块	360
十三、浮点正切函数	320	六、FX2N—4DA 模拟量输出模块	363
第十三节 数据处理 2 (FNC140~		七、FX2N—4AD—PT 模拟量输入	
FNC149)	320	模块	367
第十四节 定位控制功能 (FNC150~		八、FX2N—4AD—TC 模拟量输入	
FNC159)	321	模块	370
一、使用定位控制指令的注意事项	321	九、FX2N—2LC 温度调节模块	374
二、ABS 当前值读取	328	第三节 定位控制处理	375
三、原点回归	329	一、FX2N—1HC 高速计数器模块	376
四、可变速脉冲输出	331	二、FX2N—1PG 脉冲输出模块	377
五、相对位置控制	332	三、FX2N—10GM 和 FX2N—20GM 定位	
六、绝对位置控制	335	控制器	377
第十五节 实时时钟处理 (FNC160~		四、FX2N—1RM—SET 可编程凸轮	
FNC169)	337	开关	379
一、时钟数据比较	337	五、FX2N 图形/文本操作终端	380
二、时钟数据区间比较	338	第四节 FX2N 联网通信和数据传输	
三、时间加法	339	模块	382
四、时间减法	340		

一、CC-Link 系统主站块 FX2N - 16CCL - M	382	五、硬件与程序设计	401
二、MELSEC I/O LINK 远程 I/O 连接系统主站模块 FX2N - 16LNK - M	384	六、总装统调	402
三、CC-Link 接口模块 FX2N - 32CCL	385	第二节 可编程序控制器的应用实例	402
四、AS- 接口主站模块 FX2N - 32ASI - M	386	一、操作方式的概念	402
五、Device Net 接口模块 FX2N - 64DNET	386	二、机械手控制系统实例分析	403
六、Profibus 接口模块 FX0N - 32NT - DP	387	三、人行通道的按钮控制	407
七、Profibus 接口模块 FX2N - 32DP - IF	388	四、FX2N 的 N:N 通信网络实例	407
八、RS - 232C 通信板 FX2N - 232 - BD/FX0N - 232 - ADP/FX2N - 232IF	388	五、利用 RS 指令实现个人电脑与 PLC 的数据传送	413
九、RS - 485 通信板 FX0N - 485 - ADP/FX2N - 485 - BD	390	六、十六位数据通信	417
十、RS - 232C/RS - 485 转换接口 FX - 485PC - IF - SET	391	附录 FX2N 特殊辅助继电器和数据寄存器表	422
十一、FX - 232AWC/FX - 232AW 系列接口	392	一、PLC 状态 (M8000 ~ M8009, D8000 ~ D8009)	422
十二、FX1N - 422 - BD/FX2N - 422 - BD 通信口	392	二、PLC 时钟 (M8010 ~ M8019, D8010 ~ D8019)	423
第五节 FX 系列的编程工具	392	三、PLC 标志 (M8020 ~ M8029, D8020 ~ D8029)	424
一、便携式简易编程器 FX - 10P - SET0/FX - 20P - SET0	393	四、PLC 模式 (M8030 ~ M8039, D8030 ~ D8039)	425
二、计算机软件 FX - PCS/WIN 编程	393	五、PLC 步进阶梯 (M8040 ~ M8049, D8040 ~ D8049)	426
第十一章 可编程序控制器的应用	396	六、PLC 禁止中断 (M8050 ~ M8059, D8050 ~ D8059)	427
第一节 可编程序控制器的系统设计	396	七、PLC 错误检测 (M8060 ~ M8069, D8060 ~ D8069)	427
一、可编程序控制器控制系统设计的基本原则	396	八、通信接口寄存器	428
二、可编程序控制器控制系统设计的一般步骤	396	九、采样跟踪寄存器 (M8074 ~ M8098, D8074 ~ D8098)	429
三、确定控制对象和控制范围	397	十、高速处理与定位控制 (M8130 ~ M8149, D8130 ~ D8149)	430
四、可编程序控制器的选择	398	十一、扩展功能及其他	431
		十二、变址寄存器当前值和脉冲捕捉继电器	431
		十三、内部增/减型计数器和高速计数器计数方向	432
		十四、错码一览表	433
		参考文献	438

绪 论

一、本课程的性质与任务

本课程是一门实用性很强的专业课，主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍继电器接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、典型机械的电气控制线路以及电气控制系统的设计方法。当前 PLC 控制系统应用十分普遍，已经成为实现工业自动化的主要手段，是我们教学的重点所在。但是根据我国当前情况，继电器接触器控制系统仍然是机械设备最常用的电气控制方式，而且低压电器正在向小型化、长寿命发展，出现了功能多样的电子式电器，使继电器接触器控制系统性能不断提高，因此它在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位。另一方面 PLC 是计算机技术与继电器接触器控制技术相结合的产物，而且 PLC 的输入、输出仍然与低压电器密切相关，因此掌握继电器接触器控制技术也是学习和掌握 PLC 应用技术所必需的基础。

课程的目标是培养实际应用的能力，具体要求是：

- 1) 熟悉常用控制电器的结构原理、用途，具有合理选择、使用主要控制电器的能力。
- 2) 熟练掌握继电器接触器控制线路的基本环节，具有阅读和分析电气控制线路的工作原理的能力。
- 3) 熟悉典型设备电气控制系统，具有从事电气设备安装、调试、维修和管理等知识。
- 4) 掌握 PLC 的基本原理及编程方法，能够根据工艺过程和控制要求进行系统设计和编写应用程序。
- 5) 增强电气设计的安全观念，并能根据设备应用环境判断所需安全等级、给出解决方法。
- 6) 具有设计和改进一般安全机械设备电气控制线路的基本能力。

二、电气控制技术的发展概况

电气控制技术是随着科学技术的不断发展、生产工艺不断提出新的要求而得到迅速发展的。从最早的手动控制发展到自动控制，从简单的控制设备发展到复杂的控制系统，从有触头的硬接线继电器控制系统发展到以计算机为中心的软件控制系统。现代电气控制技术综合应用了计算机、自动控制、电子技术、精密测量等许多先进的科学技术成果。

作为生产机械动力的电动机拖动，已由最早是采用成组拖动方式→单独拖动方式→生产机械的不同运动部件分别由不同电动机拖动的多电动机拖动方式，发展成今天无论是自动化功能，还是生产安全性方面都相当完善的电气自动化系统。

继电器接触式控制系统主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成，其控制方式是断续的，所以又称为断续控制系统。由于这种系统具有结构简单、价格低廉、维护容易、抗干扰能力强等优点，至今仍是机床和其他许多机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制系统的基础。这种控制系统的缺点是采用固定接线方式，灵活性差，工作频率低，触头易损坏，可靠性差。

从 20 世纪 30 年代开始，机械加工企业为了提高生产效率，采用机械化流水作业的生产

方式，对不同类型的零件分别组成自动生产线。随着产品机型的更新换代，生产线承担的加工对象也随之改变，这就需要改变控制程序，使生产线的机械设备按新的工艺过程运行，而继电器接触器控制系统是采用固定接线的，很难适应这个要求。大型自动生产线的控制系统使用的继电器数量很多，这种有触头的电器工作频率较低，在频繁动作情况下寿命较短，从而造成系统故障，使生产线的运行可靠性降低。为了解决这个问题，20世纪60年代初期，利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统来代替继电器接触器控制系统，对复杂的自动控制系统则采用电子计算机控制，由于这些控制装置本身存在某些不足，均未能获得广泛应用。1968年美国最大的汽车制造厂商——通用汽车（GM）公司为适应汽车型号不断更新，提出把计算机的完备功能以及灵活性、通用性好等优点和继电器接触器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来，做成一种能适应工业环境的通用控制装置，并把编程方法和程序输入方式加以简化，使得不熟悉计算机的人员也能很快掌握它的使用技术。根据这一设想，美国数字设备公司（DEC）于1969年率先研制出第一台可编程程序控制器（简称PLC），在通用汽车公司的自动装配线上试用获得成功，从此以后，许多国家的著名厂商竞相研制，各自形成系列，而且品种更新很快，功能不断增强，从最初的逻辑控制为主发展到能进行模拟量控制，具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC另一个突出优点是可靠性很高，平均无故障运行时间可达10万小时以上，可以大大减少设备维修费用和停产造成的经济损失。当前PLC已经成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置。

数控技术在电气自动控制中占有十分重要的地位。1952年美国研制成第一台三坐标数控铣床，它综合应用了当时电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的最新技术成就，成为一种新型的通用性很强的高效自动化机床，它标志着机械制造技术进入了一个新阶段。随着微电子技术的发展，由小型或微型计算机再加上通用或专用大规模集成电路组成的计算机数控装置（CNC）性能更为完善，几乎所有的机床品种都实现了数控化，出现了具有自动更换刀具功能的数控加工中心机床（MC），工件在一次装夹中可以完成多种工序的加工。数控技术还在绘图机械、坐标测量机、激光加工机、火焰切割机等设备上得到了广泛的应用，取得了良好的效果。

自20世纪70年代以来，电气控制相继出现了直接数字控制（DDC）系统、柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）、综合运用计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、智能机器人、集散控制系统（DCS）、现场总线控制系统等多项高技术，形成了从产品设计与制造和生产管理的智能化生产的完整体系，将自动制造技术推进到更高的水平。

综上所述，电气控制技术的发展始终是伴随着社会生产规模的扩大、生产水平的提高而前进的。电气控制技术的进步反过来又促进了社会生产力的进一步提高；同时，电气控制技术又是与微电子技术、电力电子技术、检测传感技术、机械制造技术等紧密联系在一起。当前科学技术继续在高速发展，21世纪的今天，电气控制技术必将达到更高的水平。

科技以人为本，电气控制技术的发展应建立在人身和设备的安全之上，离开了可靠的安全，任何新技术的应用都将没有效益可言。随着我国加入WTO，安全问题更应该引起广大科技工作者的足够重视。

第一篇 电气控制

第一章 常用电磁式低压电器

第一节 概 述

在工业、农业、交通、国防以及人们生活等一切用电部门中，大多数采用低压供电。低压供电的输送、分配和保护是依靠刀开关、断路器以及熔断器等低压电器来实现的，电气元件的质量将直接影响到低压供电系统的可靠性。而低压电力的使用则是将电能转换为其他能量，其过程中的控制、调节和保护都是依靠各类接触器和继电器等低压电器来完成的，即无论是低压供电系统还是控制生产过程的电力拖动控制系统均是由用途不同的各类低压电器所组成。

低压电器就是根据外界施加的信号和要求，能以自动或手动方式对额定交直流电压1200V及以下的电路，断续或连续地改变电路参数，以实现电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电工器械，采用电磁现象完成上述作用的低压电器称为电磁式低压电器。

一、低压电器的分类

由于低压电器的功能、品种和规格的多样化，工作原理也各异，因而有不同的分类方法。按其使用系统间的关系，习惯上按用途分以下几类：

1. 低压配电电器 主要用于低压供电系统。这类低压电器有刀开关、断路器、隔离开关、转换开关以及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性能好。

2. 低压控制电器 主要用于电力拖动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器等。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，电器和机械寿命要长。

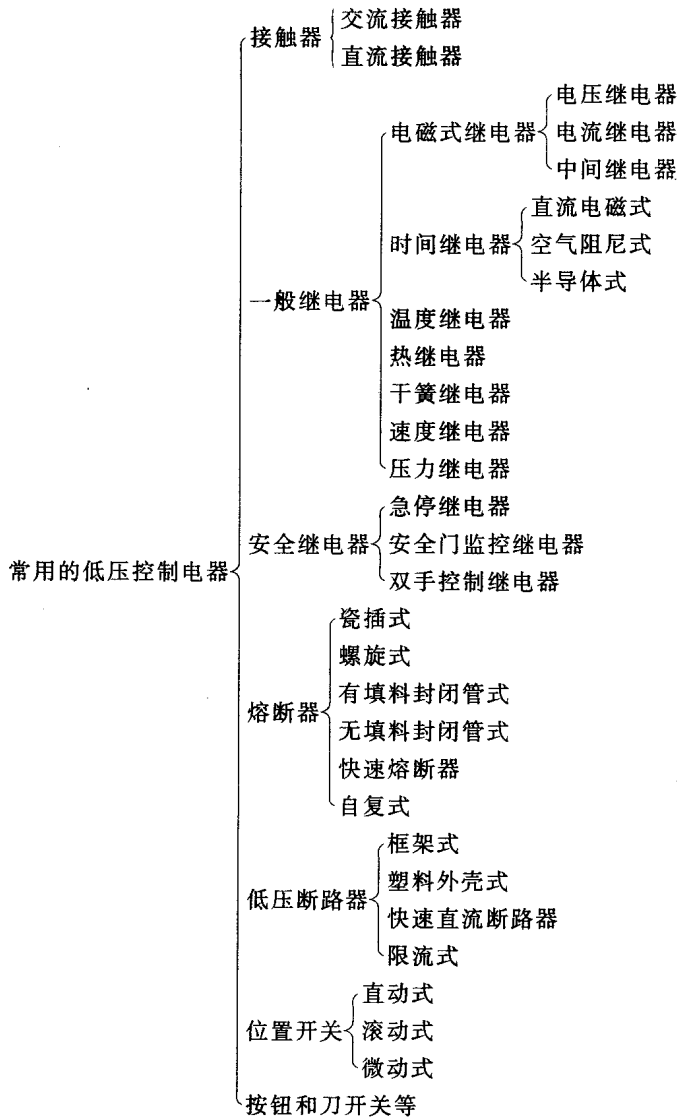
3. 低压主令电器 主要用于发送控制指令的电器。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等。对这类电器的主要技术要求是操作频率要高，抗冲击，电器和机械寿命要长。

4. 低压保护电器 主要用于对电路和电气设备进行安全保护的电器。这类低压电器有熔断器、热继电器、安全继电器、电压继电器、电流继电器、避雷器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，反应灵敏度要高，可靠性要高。

5. 低压执行电器 主要用于执行某种动作和传动功能的电路。这类低压电器有电磁铁、电磁离合器等。

低压电器还可以按操作方式分为自动电器和手动电器。此外，还可按使用场合分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、安全电器、农用电器及牵引电器等。

二、常用的低压控制电器



第二节 电磁机构原理

一、电磁机构

各类电磁式电器的工作原理和构造基本相同，由检测部分（电磁机构）和执行部分（触头系统）组成。

电磁机构由吸引线圈、铁心和衔铁组成，其结构形式按衔铁的运动方式可分为直动式和拍合式。图 1-1 和图 1-2 是直动式和拍合式电磁机构的常用结构形式。

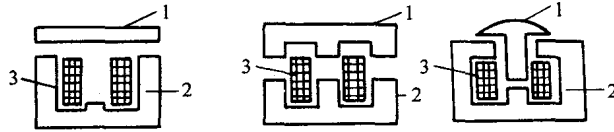


图 1-1 直动式电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能，即产生磁通，衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移使铁心吸合。通入直流电的线圈称直流线圈，通入交流电的线圈称交流线圈。

对于直流线圈，铁心不发热，只有线圈发热，因此线圈与铁心接触以利散热。线圈做成无骨架、高而薄的瘦高型，以改善线圈自身散热。铁心和衔铁由软钢或工程纯铁制成。

对于交流线圈，除线圈发热外，由于铁心中有涡流和磁滞损耗，铁心也要发热。为了改善线圈和铁心的散热情况，在铁心与线圈之间留有散热间隙，而且把线圈做成有骨架的矮胖型。铁心用硅钢片叠成，以减少涡流。

另外，根据线圈在电路中的联系方式可分为串联线圈（即电流线圈）和并联线圈（即电压线圈）。串联（电流）线圈串接在线路中，流过的电流大，为减少对电路的影响，线圈的导线粗，匝数少，线圈的阻抗较小。并联（电压）线圈并联在线路上，为减少分流作用，降低对原电路的影响，需要较大的阻抗，因此线圈的导线细且匝数多。

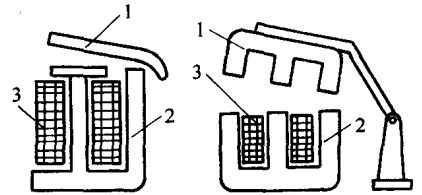


图 1-2 拍合式电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

二、电磁吸力

电磁铁工作时，线圈产生的磁通作用于衔铁，产生电磁吸力，并使衔铁产生机械位移，衔铁复位时复位弹簧将衔铁拉回原位。因此作用在衔铁的力有两个：电磁吸力和反力。电磁吸力由电磁机构产生，反力由复位弹簧和触头所产生。铁心吸合时要求电磁吸力大于反力，即衔铁位移的方向与电磁吸力方向相同，衔铁复位时情况则相反（此时线圈断电，只有剩磁产生的电磁吸力）。计算电磁吸力的公式如下：

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

式中， F 为电磁吸力 (N)； B 为气隙磁感应强度 (T)； S 为磁极截面积 (m^2)。

当线圈中通过直流电时， F 为恒值。当线圈中通过交流电时，磁感应强度为交变量，即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

由式 (1-1) 和式 (1-2) 可得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \sin^2 \omega t \quad (1-3)$$

电磁吸力按正弦函数平方的规律变化，最大值为 F_m 。

$$F_m = \frac{10^7}{8\pi} SB_m^2 \quad (1-4)$$

电磁吸力的最小值为零。当电磁吸力的瞬时值大于反力时，铁心吸合；当电磁吸力的瞬时值小于反力时，铁心释放。所以电源电压变化一个周期，电磁铁吸合两次，释放两次，电磁机构会产生剧烈的振动和噪声，因此不能正常工作。解决的办法是在铁心端面开一小槽，在槽内嵌入铜质短路环，如图 1-3 所示。

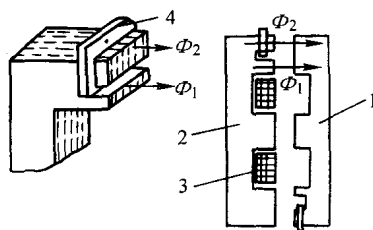


图 1-3 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

加上短路环后，磁通被分为大小接近、相位相差约 90° 电度角的两相磁通，因而两相磁通不会同时过零。由于电磁吸力与磁通的平方成正比，所以由两相磁通产生的合成电磁吸力较为平坦，在电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力，使铁心牢牢吸合，这样就消除了振动和噪声，一般短路环包围 $2/3$ 的铁心端面。

第三节 电接触及灭弧工作原理

一、电接触

触头是电磁式电器的执行部分，电器就是通过触头的动作来分合被控制的电路。触头在闭合状态下动、静触头完全接触，并有工作电流通过时，称为电接触。电接触情况的好坏将影响触头的工作可靠性和使用寿命。影响电接触工作情况的主要因素是触头的接触电阻，因为接触电阻大时，易使触头发热而温度升高，从而使触头易产生熔焊现象，这样既影响工作可靠性又降低了触头的寿命。触头的接触电阻不仅与触头的接触形式有关，而且还与接触压力、触头材料及表面状况有关。

(一) 触头的接触形式

触头的接触形式有点接触、线接触和面接触三种，如图 1-4 所示。

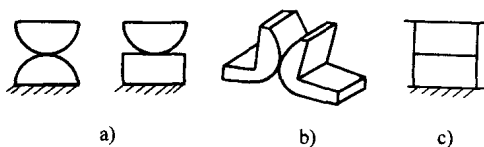


图 1-4 触头的接触形式

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

(二) 接触电阻

当动、静触头闭合后，不可能是全部紧密地接触，从微观来看，只是在一些突出的凸起点存在着有效接触，从而造成了从一个导体到另外一个导体的过度区域。在过度区域里，电流只通过一些相接触的凸起点，形成收缩状的电流线，因而使这个区域的电流密度大大增加。另外，由于只是一些凸起点相接触，使有效导电面积减少，所以该区域的电阻远远大于金属导体的电阻。这种由于动、静触头闭合时在过度区域所形成的电阻，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失，还会使铜耗增加，造成触头温升超过允许值。这样，触头在较高的温度下很容易产生熔焊现象而使触头工作不可靠，所以，实际中，应采取相应措施来减少接触电阻。

(三) 影响接触电阻的因素和相应措施

1. 接触压力 增加接触压力，可使相接触的凸起点发生变形而增加接触面积，因而会

减少接触电阻。因此在动触头安装一个触头弹簧，如图 1-5 所示。

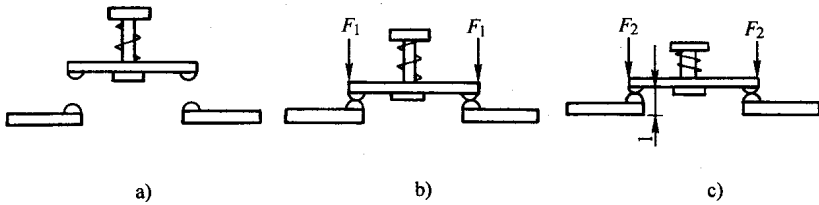


图 1-5 双断点触头位置示意图

a) 打开位置 b) 刚接触位置 c) 闭合后位置

2. 触头材料 材料的电阻率越小，接触电阻也越小。在金属中银的电阻率最小，但价格贵，实际中常在铜基触头上镀银或嵌银，以减少接触电阻。

3. 触头表面状况 触头温度升高会加速金属表面的氧化速度，由于一般金属氧化物的电阻率比金属本身大得多，所以一旦接触表面生成氧化物之后，会使接触电阻增大，严重的氧化将使接触点之间形成绝缘而导致电路断路。但银的氧化物电阻系数比纯银大得不是太多，因此，在小容量电器中可采用银或镀银触头。在大容量电器中，可采用具有滑动作用的指形触头。这样，在每次闭合过程中都可以磨去氧化膜，从而保持金属表面清洁，以增强触头的导电性。此外，触头的尘埃也会影响其导电性，所以当触头聚集了尘埃后，应用无水乙醇或四氯化碳擦拭干净，如果触头表面被电弧烧灼而出现烟熏状，也需要这样处理。

二、灭弧工作原理

触头在通电状态下动、静触头脱离接触时，由于电场的存在，使触头表面的自由电子大量溢出而产生电弧。电弧的存在既烧损触头金属表面，降低电器的寿命，又延长了电路的分断时间，所以必须迅速消除。

(一) 常用的灭弧方法

1. 迅速增大电弧长度 电弧长度增加，使触头间隙增加，电场强度降低，同时又使散热面积增大，降低电弧温度，使自由电子和空穴复合的运动加强，因而电荷容易熄灭。

2. 冷却 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。

(二) 常用的灭弧装置

1. 电动力灭弧 电动力灭弧如图 1-6 所示。桥式触头在分断时本身就具有电动力灭弧功能，不用任何附加装置，便可使电弧迅速熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

2. 磁吹灭弧 在触头电路中串入吹弧线圈，如图 1-7 所示。该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触头周围，其方向由右手定则确定（为图中 x 所示）。触头间的电弧所产生的磁场，其方向为 $\oplus \odot$ 所示。这两个磁场在电弧下方方向相同（叠加），在弧柱上方方向相反（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，电弧被吹离触头，经引弧角

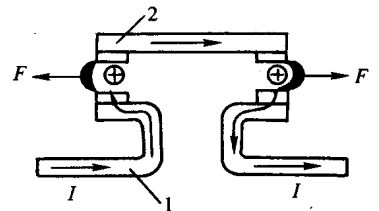


图 1-6 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头