

21 世纪
高职高专精品教材

◎ 殷建国 主编 马玉国 王久强 副主编
孙立坤 侯秉涛 王刚权 参编

工厂电气控制技术



Gongchang Dianqi Kongzhi Jishu



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

工厂电气控制技术

主 编：殷建国

副主编：马玉国 王久强

参 编：孙立坤 侯秉涛 王刚权

经济管理出版社

图书在版编目(CIP)数据

工厂电气控制技术/殷建国主编.—北京:经济管理出版社, 2006

ISBN 7-80207-636-6

I. 工... II. 殷... III. 工厂-电气控制
IV. TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083289 号

出版发行: 经济管理出版社

北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 11 层

电话:(010)51915602 邮编: 100038

印刷:三河新艺印刷厂

经销:新华书店

策划编辑:王光艳

技术编辑:杨玲

责任编辑:王光艳

责任校对:郭红生

787mm×1092mm/16

23.25 印张 509 千字

2006 年 9 月第 1 版

2006 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—4000 册

定价:38.00 元

书号:ISBN 7-80207-636-6/F·552

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书,如有印装错误,由本社读者服务部

负责调换。联系地址:北京阜外月坛北小街 2 号

电话:(010)68022974

邮编:100836

前 言

电气控制技术在企业中的应用非常广泛,主要包括继电—接触器控制、可编程控制器控制技术等。其中继电—接触器控制是一种最基本的控制方式,在通用设备控制系统中仍起着举足轻重的作用。可编程控制器(PLC)是以微处理器为核心,综合计算机技术、自动控制技术和通信技术发展起来的一种新型工业自动控制装置。经过30多年的发展,在工业自动化生产中获得了极其广泛的应用。目前,可编程控制器成为工业自动化领域中最重要、应用最广泛的控制装置之一,已经成为工业生产自动化三大支柱之一。

本书以继电—接触器控制系统和三菱FX系列可编程控制器为主要讲述对象。在编写过程中力求由浅入深、通俗易懂、理论联系实际,既有基础的理论知识,又有实际的应用及基本的设计方法等内容。

全书共分三篇,第1篇为电气控制技术,第2篇为可编程控制器及其应用,第3篇为实验与实训。全书共分9章,第1章主要介绍了常用的电器元件的基本原理及应用方法等;第2章主要介绍了继电—接触器控制系统的基本电路及应用等;第3章主要介绍了常用机械设备控制系统原理及故障排除方法等;第4章主要介绍了电气控制系统的设计方法等;第5章主要介绍了PLC的基本工作原理、基本硬件组成、三菱FX系列PLC各类软继电器、基本指令及编程方法等;第6章主要介绍了三菱FX系列PLC的主要功能指令及应用等;第7章主要介绍了PLC程序设计方法、PLC控制系统应用设计实例等;第8章主要介绍了FX-10P-E、FX-20P-E手持编程器的使用方法、SWOPC-FXGP/WIN-C编程软件的使用方法等;第9章主要介绍了电气控制与PLC应用的实验与实训内容与方法等。

本书由大连职业技术学院殷建国主编,编写了前言、第1章、第5章和第6章,并完成了全书的组织、统稿和改稿工作;马玉国任副主编,编写了第7章和第8章;王久强任副主编,编写了第3章;孙立坤任参编,编写了第4章;侯秉涛任参编,编写了第2章;王刚权任参编,编写了第9章。在编写过程中得到了编者所在学院领导和老师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2006年8月

绪 论

一、课程的性质和任务

1. 本课程性质

本课程是一门实用性很强的专业课，也是一门电气自动化专业、机电一体化专业、机电设备维修与管理专业等的主干课。主要内容围绕电动机及其他执行电器为控制对象，介绍各种常用低压电器元件、继电器接触器控制系统、PLC 控制系统的工作原理，典型设备的电气控制系统以及电气控制系统的设计方法等。通过本课程的学习，同学们不但可以掌握传统的继电器接触器控制系统有关知识，同时还可以掌握现代 PLC 工业控制技术；不但可以掌握电气控制方面的理论知识，同时还将提高实际应用和动手能力。

2. 本课程的基本任务

- (1) 熟悉常用控制电器的结构原理、用途及型号，达到正确使用和选用的目的。
- (2) 熟练掌握电气控制电路的基本环节，具备阅读和分析电气控制电路的能力，能设计简单的电气控制电路。
- (3) 熟悉 PLC 的基本工作原理及应用发展概况。
- (4) 熟练掌握 PLC 的基本指令系统和典型电路的编程，掌握 PLC 的程序设计方法，能够根据生产过程要求进行系统设计，编制应用程序。

二、电气控制技术的发展概况

电气控制技术随着社会科技进步在不断发展创新。从开始的手动控制发展到自动控制，从单机控制到生产线控制，从简单的控制到复杂的控制，从继电器—接触器控制到 PLC 控制。这就要求我们不断地学习新技术，掌握新知识。

1. 电力拖动系统的发展概况

20 世纪初电动机的出现，使得机械设备的动力得到了根本的改变。人们用电动机代替蒸汽机来拖动机床。这种拖动方式就称为“电力拖动”。最初人们用一台电动机来拖动一组机床，这称为成组拖动。只由一台电动机进行拖动，势必在机械传动上十分复杂，另外机床的功能也难以达到工艺要求。在 20 世纪 20 年代，便出现了一台电动机拖动一台机床即单独拖动形式。由于生产发展的需要，对机床的功能提出了新的要求，各种辅助运动如果也用同一台电动机进行拖动，机械传动机构其复杂程度是



难以想象的,于是人们开始探索用多台电动机分别拖动各运动机构的拖动方式,这样多电动机拖动方式诞生了,完成了电力拖动由成组拖动到单独拖动再到多电动机拖动方式的转变。

在电力拖动的发展过程中,交流拖动和直流拖动是相辅相成、交替发展的。但是直流电动机比起交流电动机结构复杂,制造和维护都不方便,随着新型电子器件的出现,如晶闸管大功率整流器件等,促使了交流调速的迅速发展。近年来,电动机交流调速已经占有了重要的地位。

2. 电气控制系统的发展概况

在电力拖动系统的发展过程中,电气控制系统也在不断发展以达到新的控制要求。

最初的控制是采用继电器、接触器、按钮、行程开关等组成的继电—接触器控制系统,这种控制系统具有使用的单一性,即根据不同的控制要求设计不同的控制线路,一旦控制要求改变,势必重新设计、重新配线。但是,这种控制系统结构简单、维修方便、抗干扰能力强,所以至今在机床及许多机械设备控制系统中仍广泛使用。

20 世纪 60 年代,出现了一种能够根据生产工艺要求,通过改变控制程序便能达到控制目的的顺序控制器,它是通过组合逻辑元件的插接或编程来实现继电—接触器控制线路的装置。它仍然是靠硬件手段完成自动控制任务的,体积大,功能也受到一定的限制,并没有得到普及应用。

可编程序控制器(简称 PLC 或 PC),是在顺序控制器基础上发展起来的以微处理器为核心的通用自动控制装置。

20 世纪 60 年代后,在工业生产中迫切需要一种使用方便灵活、运行安全可靠、功能完善的新一代自动控制装置。电子技术和计算机技术的发展为此提供了有力的硬件支持。

1968 年,美国通用汽车公司为增强其产品在市场竞争力,不断更新汽车型号,率先提出采用可编程序的逻辑控制器取代硬件接线的控制电路的设想,并对外招标。1969 年,第一台可编程序的逻辑控制器问世了。

随着电子技术和计算机技术的迅猛发展,集成电路体积越来越小,功能越来越强。20 世纪 70 年代初,微处理机问世,70 年代后期,微处理机被运用到 PLC 中,使 PLC 的体积大大缩小,功能大大加强。

1969 年,美国通用汽车公司将第一台 PLC 投入到生产线中使用,取得了满意的效果,引起了世界各国的关注。继日本、德国之后,我国于 1974 年开始研制可编程序控制器。目前全世界有数百家生产 PLC 的厂家,种类达 300 多种。PLC 无论在设计应用范围还是控制功能上,其发展都远远超出了当时的设想和要求,目前,PLC 正朝着智能化、网络化方向发展。

大规模半导体器件、大规模集成电路、计算机控制技术、检测技术等的发展,推动了电气控制技术的发展。在控制方式上,电力拖动的控制方式由手动控制进入到自动控制阶段;在控制功能上,从单一发展到多功能,由简单的控制设备到复杂的控制



系统；由有触点的硬接线控制系统到以计算机为中心的存储控制系统；电力拖动自动控制方式由断续控制到连续控制；由硬件手段控制到软件手段控制。电气控制技术近年来的发展十分迅猛，这就对我们提出了新的要求，那就是不断学习，不断提高。

目 录

第 1 篇 电气控制技术

第 1 章 常用低压电器元件	(3)
1.1 低压配电电器	(3)
1.1.1 刀开关	(4)
1.1.2 低压断路器	(4)
1.1.3 熔断器	(6)
1.2 低压控制电器	(7)
1.2.1 接触器	(8)
1.2.2 电磁继电器	(13)
1.2.3 时间继电器	(17)
1.2.4 热继电器	(21)
1.2.5 速度继电器	(23)
1.3 低压主令电器	(24)
1.3.1 控制按钮	(24)
1.3.2 万能转换开关	(25)
1.3.3 组合开关	(26)
1.3.4 行程开关	(27)
1.4 低压保护电器	(30)
1.4.1 电压继电器	(30)
1.4.2 电流继电器	(30)
1.5 低压执行电器	(31)
1.5.1 电磁阀	(31)
1.5.2 电磁离合器	(32)
习题	(33)
第 2 章 电气控制电路基本环节	(35)
2.1 电气控制系统图	(35)



2.1.1	常用电气控制系统的图形符号	(36)
2.1.2	电气控制系统图	(37)
2.2	继电—接触器控制系统的基本控制环节	(40)
2.2.1	自锁与互锁的控制	(41)
2.2.2	点动与连续运转的控制	(43)
2.2.3	多地联锁控制	(44)
2.2.4	顺序控制环节	(45)
2.2.5	自动往复循环控制	(46)
2.3	三相异步电动机的起动控制	(48)
2.3.1	直接起动控制电路	(48)
2.3.2	降压起动控制电路	(48)
2.4	三相异步电动机的制动控制	(51)
2.4.1	反接制动控制电路	(51)
2.4.2	能耗制动控制电路	(54)
2.4.3	无变压器单管能耗制动控制电路	(56)
2.5	三相异步电动机的调速控制	(57)
2.5.1	三相笼型电动机变极调速控制	(57)
2.5.2	三相绕线转子电动机转子串电阻调速控制	(58)
2.5.3	三相异步电动机变频调速控制	(58)
2.6	直流电动机的电气控制	(60)
2.6.1	直流电动机单向运转起动控制	(60)
2.6.2	直流电动机可逆运转起动控制	(61)
2.6.3	直流电动机单向运转能耗制动控制	(62)
2.6.4	直流电动机可逆运转反接制动控制	(62)
2.6.5	直流电动机调速控制	(64)
2.7	电气控制系统常用的保护环节	(65)
2.7.1	短路保护	(65)
2.7.2	过电流保护	(66)
2.7.3	过载保护	(66)
2.7.4	零电压和欠电压保护	(67)
2.7.5	弱磁保护	(67)
2.8	典型控制电路应用	(68)
2.8.1	典型控制电路应用举例	(68)
2.8.2	电气控制电路应用注意事项	(70)
习题		(71)



第 3 章 常用机械设备电气控制电路分析	(73)
3.1 普通车床电气控制电路分析	(73)
3.1.1 普通车床的主要机构及运行	(73)
3.1.2 电力拖动的特点和控制要求	(74)
3.1.3 CW6140 普通车床电气控制线路分析	(74)
3.1.4 CW6140 普通车床电气接线图	(75)
3.1.5 CW6140 普通车床电气控制线路的故障与处理	(75)
3.2 摇臂钻床电气控制线路分析	(77)
3.2.1 Z3040 摇臂钻床的主要结构及运行	(77)
3.2.2 电力拖动的特点和控制要求	(78)
3.2.3 Z3040 摇臂钻床电气控制线路分析	(78)
3.2.4 Z3040 摇臂钻床电气接线图与电器安装位置示意图	(82)
3.2.5 Z3040 摇臂钻床电气控制线路故障与处理	(84)
3.3 卧轴矩台平面磨床电气控制线路分析	(85)
3.3.1 电力拖动特点和控制要求	(86)
3.3.2 M7130 平面磨床电气控制线路分析	(87)
3.3.3 M7130 平面磨床电气控制线路常见故障与处理方法	(90)
3.4 镗床电气控制电路分析	(91)
3.4.1 卧式镗床的结构、运动形式	(91)
3.4.2 T68 卧式镗床电力拖动特点	(92)
3.4.3 T68 型卧式镗床电气控制电路分析	(93)
3.4.4 T68 型卧式镗床控制线路常见故障与处理	(96)
3.5 铣床电气控制线路分析	(97)
3.5.1 X62W 卧式万能铣床的主要结构及运行	(97)
3.5.2 电力拖动特点和控制要求	(98)
3.5.3 X62W 卧式万能铣床电气控制线路分析	(99)
3.5.4 X62W 万能铣床电气接线图与电器安装位置示意图	(103)
3.5.5 X62W 万能铣床控制线路的故障与处理	(103)
习题	(110)
第 4 章 电气控制系统设计	(113)
4.1 电气控制系统设计的基本原则和内容	(113)
4.1.1 电气控制系统设计的基本原则	(113)
4.1.2 电气控制系统设计的基本内容	(114)
4.2 拖动方案的确定原则和电动机的选择	(115)
4.2.1 电力拖动方案的确定原则	(115)



4.2.2 拖动电动机的选择	(115)
4.3 电气原理图的设计及实例	(117)
4.3.1 电气原理图设计的基本步骤及一般规律	(117)
4.3.2 电气控制原理图的设计方法	(120)
4.3.3 常用控制电器的选择	(120)
4.3.4 继电—接触器控制系统设计实例	(121)
4.4 电气控制系统工艺设计及实例	(126)
4.4.1 电气控制系统工艺设计的内容	(126)
4.4.2 电气接线图和互连图的绘制	(128)
4.4.3 电气控制系统工艺设计实例	(129)
习题	(133)

第 2 篇 可编程控制器及其应用

第 5 章 可编程控制器基本原理及编程方法	(137)
5.1 可编程控制器的发展及特点	(137)
5.1.1 可编程控制器的发展概况	(137)
5.1.2 PLC 的主要特点及应用场合	(138)
5.2 可编程控制器的主要硬件组成	(139)
5.2.1 PLC 的基本结构	(139)
5.2.2 中央处理器	(141)
5.2.3 存储器	(141)
5.2.4 输入接口电路	(141)
5.2.5 输出接口电路	(142)
5.2.6 模拟量输入输出模块	(142)
5.2.7 高速计数模块	(143)
5.2.8 运动控制模块	(143)
5.2.9 通信模块	(143)
5.2.10 人机接口	(143)
5.2.11 可编程控制器控制系统的组成	(144)
5.3 三菱 FX 系列可编程控制器简介	(146)
5.3.1 三菱 FX 系列 PLC 性能简介	(146)
5.3.2 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 硬件简介	(147)
5.4 可编程控制器的工作原理与编程语言	(149)
5.4.1 PLC 的工作原理	(149)
5.4.2 PLC 常用的编程语言	(150)



5.5 三菱 FX 系列 PLC 梯形图中的编程元件	(153)
5.5.1 输入继电器 (X)	(153)
5.5.2 输出继电器 (Y)	(154)
5.5.3 辅助继电器 (M)	(154)
5.5.4 状态继电器 (S)	(156)
5.5.5 定时器 (T)	(157)
5.5.6 计数器 (C)	(159)
5.5.7 数据寄存器 (D)	(161)
5.6 三菱 FX 系列 PLC 的基本指令及其编程	(162)
5.6.1 基本指令介绍	(162)
5.6.2 基本指令程序设计	(177)
习题	(180)
第 6 章 三菱 FX 系列 PLC 主要功能指令及编程方法	(185)
6.1 三菱 FX 系列 PLC 功能指令概述	(186)
6.1.1 功能指令的基本格式	(186)
6.1.2 PLC 的数据格式	(188)
6.2 传送比较指令及应用	(189)
6.2.1 传送比较类指令	(189)
6.2.2 传送比较类指令应用实例	(194)
6.3 数据处理类指令及应用	(199)
6.3.1 四则运算及逻辑运算类指令	(199)
6.3.2 移位控制指令	(207)
6.3.3 数据处理指令	(213)
6.4 控制类指令及其应用	(219)
6.4.1 跳转指令及其应用	(219)
6.4.2 子程序指令	(222)
6.4.3 中断指令及其应用	(223)
6.4.4 循环指令	(227)
6.4.5 程序控制与程序结构	(228)
6.5 高速计数器及高速计数器指令	(229)
6.5.1 FX 系列 PLC 的高速计数器	(229)
6.5.2 高速计数器指令	(234)
习题	(237)
第 7 章 可编程控制器的程序设计与应用设计	(239)
7.1 可编程控制器程序设计的一般方法	(240)



7.1.1 PLC 程序设计的一般步骤	(240)
7.1.2 程序设计的常用方法	(242)
7.2 顺序控制设计法与顺序功能图	(244)
7.2.1 顺序控制设计法	(244)
7.2.2 步与动作	(245)
7.2.3 有向连线与转换条件	(248)
7.2.4 顺序功能图的基本结构	(248)
7.3 顺序控制梯形图的编程方法	(250)
7.3.1 使用起保停电路的编程方法	(250)
7.3.2 以转换为为中心的编程方法	(254)
7.3.3 步进梯形指令的编程方法	(258)
7.3.4 步进梯形指令的应用	(263)
习题	(268)
第 8 章 三菱 FX 系列 PLC 编程器与编程软件使用方法	(271)
8.1 手持式编程器的使用方法	(271)
8.1.1 FX-10P-E 型手持式编程器的使用方法	(271)
8.1.2 FX-20P-E 型手持式编程器的使用方法	(276)
8.2 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用方法	(290)
8.2.1 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件概述	(290)
8.2.2 梯形图程序的输入与编辑	(291)
8.2.3 指令表程序的输入与编辑	(297)
8.2.4 PLC 程序的上载和下载	(298)
8.2.5 “PLC” 菜单下其他命令	(299)
8.2.6 PLC 口令设置和计算机口令设置	(300)
8.2.7 软元件的监控与测试	(300)
8.2.8 编程软件与 PLC 的参数设置	(303)
习题	(304)

第 3 篇 实验与实训

第 9 章 电气控制与可编程控制器实验与实训	(309)
9.1 电气控制实验	(309)
9.1.1 三相异步电动机单向起动控制电路	(309)
9.1.2 三相异步电动机单向点动、常动控制电路	(310)
9.1.3 三相异步电动机的正、反转控制电路	(311)



9.1.4 两台电动机顺序起动、逆序停止控制电路	(312)
9.1.5 三相异步电动机自动循环控制电路	(313)
9.1.6 三相异步电动机 Y— Δ 起动控制电路	(314)
9.1.7 三相异步电动机反接制动控制电路	(315)
9.2 可编程控制器实验	(316)
9.2.1 基本逻辑指令实验一	(316)
9.2.2 基本逻辑指令实验二	(317)
9.2.3 基本逻辑指令实验三	(319)
9.2.4 基本逻辑指令实验四	(320)
9.2.5 小车直线行驶正反向自动往返控制	(322)
9.2.6 PLC 的十字路口交通信号灯控制	(324)
9.2.7 钻床主轴进给控制系统	(325)
9.3 电气控制实训	(327)
9.3.1 三相异步电动机单向点动控制线路	(327)
9.3.2 三相异步电动机单向起动控制线路	(328)
9.3.3 三相异步电动机双重联锁正反向起动控制线路	(330)
9.3.4 三相异步电动机自动往复循环运动控制线路	(332)
9.3.5 三相异步电动机 Y— Δ 起动控制线路	(334)
9.3.6 三相异步电动机反接制动控制线路	(336)
9.3.7 三相异步电动机能耗制动控制线路	(338)
9.4 可编程控制器实训	(340)
9.4.1 三相异步电动机的 Y— Δ 降压起动控制系统的 PLC 控制	(340)
9.4.2 交通信号灯的 PLC 控制系统	(342)
9.4.3 自动上料系统的 PLC 控制	(346)
9.4.4 机械手自动控制系统	(348)

第 1 篇 电气控制技术

各种生产机械大部分都是以电动机为动力来拖动的，电动机是通过某种自动控制方式来进行控制的。最常用的继电—接触器控制系统，又称继电器控制系统，是自动化控制系统的重要组成部分。电气控制应用领域甚广，本篇主要以电动机为控制对象，介绍继电器控制系统。主要包括：常用低压电器、电气控制电路的基本环节、常用机械设备控制电路、电气控制系统设计等。

第 1 章 常用低压电器元件

内容提要：低压电器是电器工业的重要组成部分，在机械行业中是基础配套件，在配电系统中低压成套开关设备主要由各种低压电器元件构成，低压电器元件的功能及性能对低压成套开关设备起着至关重要的作用。

低压电器是指工作在交流 1500V、直流 1200V 及以下的电路中，以实现对电路中信号的检测、执行部件的控制、电路的保护、信号的变换等作用的电器。

低压电器种类繁多，一般分为低压配电电器、低压控制电器、低压主令电器、低压保护电器及低压执行电器等。低压配电电器：用于供、配电系统中进行电能输送和分配的电器；低压控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器；低压主令电器：用于发送控制指令的电器；低压保护电器：用于对电路及用电设备进行保护的电器；低压执行电器：用于完成某种动作或传送功能的电器。有些元件既是低压控制电器又是低压主令电器，如按钮等；既是低压配电电器又是低压保护电器，如熔断器等，所以分类并没有十分明显的界线。

本章以常用的低压电器为主线，以低压控制电器为重点，详细介绍了各种常用的低压电器的结构、工作原理、主要技术参数、选择方法等。在介绍低压电器元件时，加入了大量产品图片，便于认识。在介绍产品的结构及工作原理时，加入了产品的结构示意图，便于理解。

1.1 低压配电电器

低压配电电器是用于供配电系统中的低压电器，完成电能的输送及分配。如刀开关、低压断路器、熔断器等。下面介绍几种常用型号的低压配电电器。