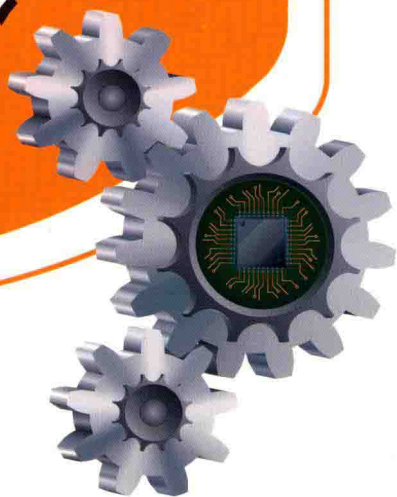




普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

机床电气与可编程序 控制技术

◎刘军 杨晨 主编



➤ 内容结构和理论
基础系统化，具有科
学性和先进性

➤ 特别介绍了
MCGS组态软件
与PLC的通信连接

➤ 精选工业生产
中的应用实例，提
高编程能力



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

机床电气与可编程序控制技术

刘 军 杨 晨 主 编

郭 鹤 周凯凯 李 伟 副主编

郭莹莹 王 权 参 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了机床电气控制技术与可编程序控制技术,通俗易懂,实用性强。内容分两部分:第一部分介绍机床电气控制技术,主要介绍了机床电气控制系统中常用的低压电器、机床电气控制线路的基本控制规律、典型机床电气控制系统分析、电气控制系统的设计;第二部分介绍可编程序控制技术,主要介绍了日本三菱 FX_{2N} 系列可编程序控制器及基础编程应用、可编程序控制器步进指令及状态编程法、可编程序控制器控制系统应用设计等内容。每章后都附了思考题与习题,便于学生加深对相关知识的理解。

本书既可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业的本科生及机械制造与自动化、机电一体化等相关专业的专科生教材使用,也可供机电控制领域的教师、研究人员和工程技术人员学习参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机床电气与可编程序控制技术 / 刘军, 杨晨主编. —北京: 电子工业出版社, 2019.8
普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材
ISBN 978-7-121-35980-4

I. ①机… II. ①刘… ②杨… III. ①机床—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. ①TG502.35②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 018731 号

责任编辑: 郭穗娟

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 14.75 字数: 374.4 千字

版 次: 2019 年 8 月第 1 版

印 次: 2019 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 59.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010)88254502, guosj@phei.com.cn。

前 言

机床电气与可编程序控制技术是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的一门新兴技术,是实现工业生产、科学研究以及其他各个领域自动化的重要手段之一,应用十分广泛。

电气控制与可编程序控制器起源于同一体系,只是发展阶段不同,但在理论和应用上是一脉相承的,这本书将电气控制技术和可编程序控制器应用技术的内容编写在一起,能够更好地体现出它们之间的内在联系,使本书的结构和理论基础系统化,并更具有科学性和先进性。

机床电气与可编程序控制技术是为机械设计制造及其自动化、机械电子工程、电气工程等专业开设的一门重要的专业课程。

本书内容分两部分,第一部分是机床电气控制技术,主要介绍了机床电气控制中常用的低压电器、机床电气控制线路的基本控制规律、典型机床电气控制系统分析、电气控制系统的设计。第二部分是可编程序控制技术,主要介绍了工业生产中常用的日本三菱电机公司 FX_{2N} 系列的可编程序控制器的结构原理、基本指令的使用及应用、步进指令的使用及应用、MCGS 组态软件与可编程序控制器的通信连接等。本书列举了一些在工业生产实际中的例子,旨在提高学生的编程能力和实践动手能力。

本书由郑州科技学院刘军和杨晨主编,郑州科技学院郭鹤、周凯凯、李伟为副主编。其中,刘军编写了前言与第 1 章,杨晨编写了第 2、3 章,郭鹤编写了第 4、5 章,郑州科技学院郭莹莹编写了第 6 章,周凯凯编写了第 7 章的 7.1~7.3 节,郑州科技学院王权编写了第 7 章的 7.4~7.6 节、第 8 章的 8.1 节、8.2 节和第 10 章,郑州科技学院李伟编写了第 8 章的 8.3 节和第 9 章。

本书是普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材,可供普通高等工科院校,高等职业技术教育院校及其他有关专业师生使用,也可供有关技术人员参考使用。本书的部分内容参照了有关文献,恕不能一一列举,谨此对所有参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正!

编 者
2019 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电气控制技术的概述	1
1.1.1 电气控制技术的定义	1
1.1.2 电气控制技术的发展概述	1
1.2 可编程序控制器的概述	2
1.2.1 可编程序控制器的定义	2
1.2.2 可编程序控制器的发展史	3
1.2.3 可编程序控制器的应用领域	3
习题及思考题	7
第 2 章 常用低压电器	8
2.1 电器的功能、分类和工作原理	8
2.1.1 电器的功能	8
2.1.2 电器的分类	8
2.1.3 电磁式电器的工作原理	9
2.2 低压控制电器	11
2.2.1 刀开关	11
2.2.2 组合开关	12
2.2.3 主令电器	13
2.2.4 接触器	16
2.2.5 继电器	18
2.3 低压保护电器	25
2.3.1 熔断器	25
2.3.2 热继电器	27
2.3.3 低压断路器	28
习题及思考题	30
第 3 章 机床电气控制电路的基本控制规律	31
3.1 绘制电气控制电路的若干规则	31
3.1.1 电气控制电路图	31
3.1.2 阅读和分析电气控制电路图的方法	34

3.2	机床电气控制的基本控制环节	35
3.2.1	启动/停止电动机和自锁环节	35
3.2.2	长动控制和点动控制	37
3.2.3	互锁控制	37
3.2.4	顺序控制	38
3.2.5	多地点控制	39
3.3	三相异步电动机的启动控制	39
3.3.1	鼠笼式异步电动机的全压启动控制	39
3.3.2	鼠笼式异步电动机的降压启动控制	40
3.4	三相异步电动机的制动控制	42
3.4.1	机械制动	42
3.4.2	电气制动	43
3.5	电动机的可逆运行	47
3.5.1	电动机可逆运行的手动控制	47
3.5.2	电动机可逆运行的自动控制	48
	习题及思考题	49
第4章	典型机床电气控制系统分析	51
4.1	CA6140型车床电气控制	51
4.1.1	CA6140型车床结构简介	51
4.1.2	CA6140型车床主要运动形式	52
4.1.3	CA6140型车床电气控制系统分析	52
4.2	X62W型万能铣床电气控制	54
4.2.1	X62W型万能铣床结构简介	54
4.2.2	X62W型万能铣床主要运动形式	55
4.2.3	X62W型万能铣床电气控制系统分析	55
4.3	Z3040型摇臂钻床控制	60
4.3.1	Z3040型摇臂钻床结构简介	61
4.3.2	Z3040型摇臂钻床主要运动形式	61
4.3.3	Z3040型摇臂钻床电气控制系统分析	62
4.4	T68型卧式镗床电气控制	66
4.4.1	T68型卧式镗床结构简介	66
4.4.2	T68型卧式镗床主要运动形式	67
4.4.3	T68型卧式镗床电气控制系统分析	67
	习题及思考题	70
第5章	电气控制系统的设计	72
5.1	电气控制系统设计的基本内容和一般原则	72
5.1.1	电气控制系统设计的基本内容	72



5.1.2 电气控制电路设计的一般原则	73
5.2 电力拖动方案确定原则和电动机的选择	77
5.2.1 电力拖动方案确定原则	77
5.2.2 电动机的选择	78
5.3 电气控制电路的经验设计法和逻辑设计法	78
5.3.1 电气控制电路的经验设计法	79
5.3.2 电气控制电路的逻辑设计法	83
5.4 电气控制系统的工艺设计	85
习题及思考题	88
第 6 章 可编程序控制器概述	89
6.1 可编程序控制器的提出及其基本概念	89
6.1.1 可编程序控制器的提出	89
6.1.2 可编程序控制器的基本概念	90
6.2 可编程序控制器的特点及其应用	90
6.2.1 可编程序控制器的特点	90
6.2.2 可编程序控制器的应用领域	91
6.3 可编程序控制器的发展	92
6.4 可编程序控制器的组成及其各部分功能	95
6.4.1 中央处理器	96
6.4.2 存储器	96
6.4.3 输入/输出接口 (I/O 接口)	96
6.4.4 电源	98
6.4.5 外部设备	98
6.5 可编程序控制器的结构及软件	99
6.5.1 可编程序控制器的结构	99
6.5.2 可编程序控制器的软件	101
6.6 可编程序控制器的工作原理	104
6.6.1 分时处理及扫描工作方式	104
6.6.2 扫描周期及可编程序控制器的两种工作状态	105
6.6.3 输入/输出滞后时间	105
6.7 可编程序控制器与节点接触器系统工作原理的差别	106
6.7.1 逻辑关系上的差别	106
6.7.2 运行时序上的差别	107
习题及思考题	107
第 7 章 三菱 FX_{2N} 系列可编程序控制器及其基本指令应用	108
7.1 三菱 FX _{2N} 系列可编程序控制器	108
7.1.1 FX _{2N} 系列可编程序控制器的基本组成	108

7.1.2	FX _{2N} 系列可编程序控制器的型号名称体系及其种类	109
7.1.3	FX _{2N} 系列可编程序控制器的技术指标	112
7.2	FX _{2N} 系列可编程序控制器软组件及功能	113
7.2.1	FX _{2N} 系列可编程序控制器软组件的分类、编号和基本特征	114
7.2.2	FX _{2N} 系列可编程序控制器软组件的地址编号及其功能	114
7.2.3	数据类字元件的结构形式	128
7.2.4	FX _{2N} 系列可编程序控制器的程序存储器的结构和参数结构	129
7.3	FX _{2N} 系列可编程序控制器的基本指令及应用	130
7.3.1	逻辑取、取反线圈驱动(LD、LDI、OUT)指令	132
7.3.2	触点串联(AND、ANI)指令	132
7.3.3	触点并联(OR、ORI)指令	134
7.3.4	串联电路块的并联(ORB)指令	134
7.3.5	并联电路块的串联(ANB)指令	135
7.3.6	栈操作(MPS、MRD、MPP)指令	136
7.3.7	主控(MC、MCR)指令	139
7.3.8	置位(SET)和复位(RST)指令	140
7.3.9	微分脉冲输出(PLS、PLF)指令	141
7.3.10	取反(INV)指令	142
7.3.11	空操作(NOP)指令和程序结束(END)指令	143
7.4	编程注意事项和规则	144
7.4.1	梯形图的结构规则	145
7.4.2	语句表程序的编辑规则	147
7.4.3	双线圈的输出问题	147
7.5	机床常用基本电气控制电路的PLC编程实现	148
7.5.1	三相异步电动机单向运转控制:启动—保护—停止电路单元	148
7.5.2	三相异步电动机可逆运转控制:互锁环节	149
7.5.3	两台电动机延时启动的基本环节	150
7.5.4	定时器的延时扩展	150
7.5.5	由定时器构成的振荡电路	151
7.5.6	分频电路	151
7.6	“经验”编程法	151
	习题及思考题	152

第8章 可编程序控制器步进指令及状态编程法 155

8.1	步进指令与状态转移图表示方法	155
8.1.1	FX _{2N} 系列步进指令及使用说明	155
8.1.2	状态转移图的建立	156
8.1.3	典型案例分析	159
8.2	编制SFC图的注意事项和规则	161
8.2.1	编制SFC图的注意事项	161

8.2.2 编制 SFC 图的规则	161
8.3 多流程步进顺序控制	163
8.3.1 单流程结构程序	164
8.3.2 选择性分支结构程序	165
8.3.3 并行分支结构程序	169
8.3.4 跳转与循环结构	172
习题与思考题	174
第 9 章 可编程序控制器控制系统应用设计	176
9.1 可编程序控制器控制系统设计的基本内容和步骤	176
9.1.1 可编程序控制器控制系统设计的基本原则	176
9.1.2 可编程序控制器控制系统设计的基本内容	176
9.1.3 可编程序控制器控制系统设计的一般步骤及内容	177
9.1.4 可编程序控制器机型的选择	178
9.2 机械手的模拟控制	179
9.3 电动机的 Y- Δ 形降压启动控制	182
9.4 自动平移门控制系统设计	184
9.5 Z3040 型摇臂钻床的可编程序控制器控制系统设计	187
9.6 自动分拣生产线的可编程序控制器控制系统设计	190
9.6.1 自动分拣生产线的控制要求	190
9.6.2 自动分拣生产线的主要部件	191
9.6.3 自动分拣生产线的控制系统设计	194
习题与思考题	206
第 10 章 MCGS 组态控制系统	208
10.1 MCGS 嵌入版组态软件简介	208
10.1.1 MCGS 嵌入版组态软件的组成	208
10.1.2 MCGS 嵌入版组态软件的安装	208
10.2 工程建立和下载	210
10.2.1 工程建立	210
10.2.2 软件的基本操作	210
10.2.3 用户窗口的基本操作	212
10.2.4 工程下载	213
10.3 MCGS 与可编程序控制器连接实例	215
10.3.1 设备组态	215
10.3.2 窗口组态	216
10.4 在线调试	221
习题与思考题	222
参考文献	223

第1章》》》》》》》》

绪论

在现今社会中，电气控制技术已在各行各业中被广泛应用，其电气控制系统已经是实现工业生产自动化的重要的技术手段。因此，电气控制技术是工业自动化、电气技术等专业的一门理论性和实践性极强的专业技术课。

电气控制与可编程序控制器（PLC）起源于同一体系，只是发展阶段不同，但在理论和应用上是一脉相承的。本书将电气控制技术和可编程序控制器应用技术的内容编写在一起，能够更好地体现出它们之间的内在联系。

1.1 电气控制技术的概述

1.1.1 电气控制技术的定义

电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置或者系统为对象，以实现生产过程自动化的控制技术。所谓“自动控制”是指在没有人直接参与（或仅有少数人参与）的情况下，利用自动控制系统，使被控对象（或生产过程），自动地按预定的规律去进行工作。

在电气控制技术中，其控制系统是主要的组成部分。本门课程的第一部分就是将电气控制系统作为主要的研究对象进行理论和实践这两个环节的学习和探讨。

电气控制系统是由各种控制电器、设备、连接导线组成的，以实现对生产设备进行电气控制的体系。它是电气控制技术具体体现的主干部分，也是实现工业生产自动化的重要的技术手段。

1.1.2 电气控制技术的发展概述

1. 电气控制技术的发展经历了三个阶段

1) 继电器-接触器控制

20世纪30年代，以各种有触点的继电器、接触器、行程开关等自动控制电器组成的控制电路称为继电器-接触器控制方式。它经历了较长的发展历史。

2) 顺序控制器

20世纪60年代开发了顺序控制器。采用晶体管无触点的逻辑控制，通过在矩阵板上插接晶体管实现编程。它比继电器-接触器控制增加了灵活性、通用性，可靠性提高，使用操作较方便。

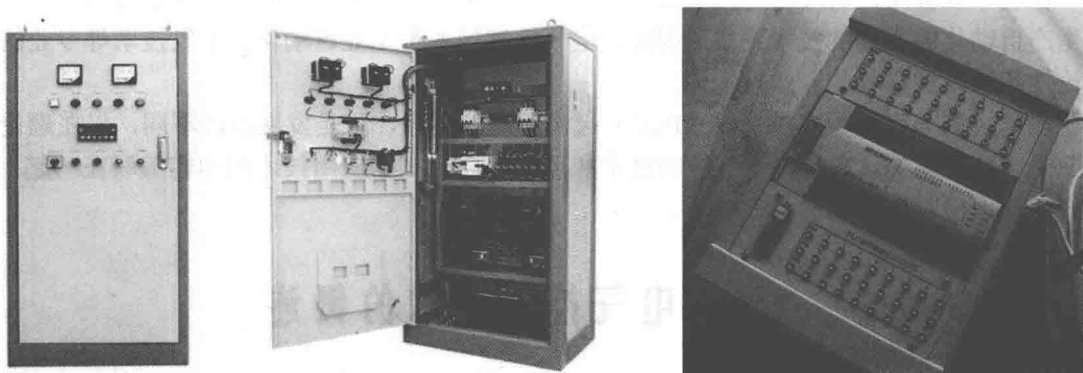
3) 可编程序控制器

20世纪70年代，可编程序控制器的出现使顺序控制器很快退出市场，并且逐渐取代复杂的继电器-接触器控制。

2. 电气控制技术的发展过程

- (1) 单机控制→生产线控制：在控制方法上，从手动控制发展到自动控制。
- (2) 简单控制→复杂控制：在控制功能上，从简单控制发展到智能化控制。
- (3) 硬件控制→软件控制：在控制操作上，从烦琐笨重发展到信息化处理。
- (4) 继电-接触器控制→可编程序控制：在控制原理上，从单一的有触点硬接线继电器逻辑控制系统发展到以微处理器或微计算机为中心的网络化自动控制系统。

电气控制柜和可编程序控制器的外形如图 1-1 所示。图 (a) 为电气控制柜的外形，图 (b) 为可编程序控制器的外形。从外形可以看出，可编程序控制器产品更加小巧，使用更加方便一些。



(a) 电气控制柜外形

(b) 可编程序控制器外形

图 1-1 电气控制柜和可编程序控制器的的外形

1.2 可编程序控制器的概述

1.2.1 可编程序控制器的定义

可编程序控制器 (Programmable Controller) 原本简称 PC，但个人计算机 (Personal Computer) 也简称 PC，为了避免混淆，人们将最初用于逻辑控制的可编程序控制器称为 Programmable Logic Controller (简称 PLC)。本书也用 PLC 作为可编程序控制器的简称。

可编程序控制器的问世只有 30 多年的历史，但发展极为迅速。为了确定它的性质，国际电工委员会 (International Electrical Committee) 在 1987 年颁布的 PLC 标准草案中，对 PLC 作了如下定义：PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、定时、计数和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应按照易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩展其功能的原则而设计。

定义中有以下几点值得注意：

(1) 可编程序控制器是“数字运算操作的电子装置”，其中带有“可以编制程序的存储器”，能够进行“逻辑运算、顺序运算、定时、计数和算术运算”工作，可以认为可编程序控制器具有计算机的基本特征。事实上，可编程序控制器无论从内部构造、功能及工作原理上看都是不



折不扣的计算机。

(2) 可编程序控制器是“为工业环境下应用”而设计的计算机。工业环境和一般办公环境有较大的区别,可编程序控制器具有特殊的构造,使它能在高粉尘、高噪声、强电磁干扰和温度变化剧烈的环境下正常工作。为了能控制“机械或生产过程”,它又要能“易于与工业控制系统形成一个整体”这些都是个人计算机不可能做到的。可编程序控制器不是普通的计算机,它是一种工业现场使用的计算机。

(3) 可编程序控制器能控制“各种类型”的工业设备及生产过程。它易于扩展其功能,它的程序能根据控制对象的不同要求,让使用者“可以编制程序”。也就是说,可编程序控制器较其以前的工业控制计算机,如单片机工业控制系统,具有更大的灵活性,它可以方便地应用在各种场合,它是一种通用的工业控制计算机。

通过以上定义可知,相对一般意义上的计算机,可编程序控制器并不仅仅具有计算机的内核,它还配置了许多使其适用于工业控制的器件。它实质上是经过一次开发的工业控制用计算机。但是,从另一个角度来说,它是一种通用机,不经过二次开发,它就不能在任何具体的工业设备上使用。不过,自其诞生以来,电气工程技术人员感受最深刻的也正是可编程序控制器二次开发编程十分容易。再加上体积小、工作可靠性高、抗干扰能力强、控制功能完善、适应性强、安装接线简单等众多优点,可编程序控制器在短短的30多年中获得了突飞猛进的发展,在工业控制中获得了非常广泛的应用。

1.2.2 可编程序控制器的发展史

可编程序控制器是最重要、最普及、应用场合最多的工业控制器。与机器人、CAD/CAM并称为工业生产自动化的三大支柱。

世界上公认的第一台可编程序控制器是1969年美国数字设备公司(DEC)研制的。1971年,日本从美国引进这一项技术,并研制出他们国家的第一台可编程序控制器。1973—1974年,德国和法国也研制出了各自的可编程序控制器。1974年,我国开始研制,1977年研制成功了以微处理器MC-14500为核心的可编程序控制器,并开始工业中应用。

世界上可编程序控制器产品按地域分成以下三大流派。

美国: A-B公司、通用电气公司等。

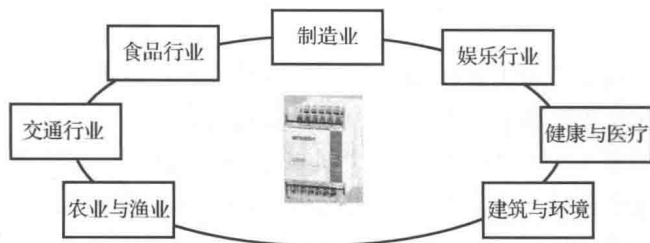
欧洲: 德国的西门子公司。

日本: 三菱公司。

美国和欧洲的可编程序控制器技术是相互独立研究开发的,产品有明显的差异性;日本的可编程序控制器技术是由美国引进的,两国的可编程序控制器产品性能较相似。

1.2.3 可编程序控制器的应用领域

可编程序控制器不仅仅在工厂自动化领域(FA),而且在其他工业领域也被广泛使用。可编程序控制器可应用在交通、食品、制造业、娱乐、健康与医疗、建筑与环境、农业与渔业等行业。可编程序控制器应用的领域如图1-2所示。



1. 制造业

PLC 是典型工厂自动化的主干控制设备。制造业领域中到处都是利用微型 PLC 的典型例子。PLC 可应用于自动装配机、传输带、机械手、自动测试装置、元件供给机、成型品取出机、切割机、旋转台等各种机械生产领域，图 1-3 是 PLC 在制造业中的应用实例。



图 1-3 PLC 在制造业中的应用

2. 娱乐行业

PLC 被应用于许多游乐园中的娱乐设施及其他有趣的方面。例如，滑雪场升降机门的控制、人造降雪机、霓虹灯广告、舞台装置、发光喷泉、娱乐场所的摇摆椅等，图 1-4 是 PLC 在娱乐行业中的应用。

3. 健康与医疗

PLC 也被用于各种保健服务和医疗器械的外围装置中，如医用灭菌装置、医用洗净装置、医用自动床、步行机、取放机械（药物用）、电池驱动轮椅、敬老院的淋浴设备、家用电梯等，图 1-5 是 PLC 在健康医疗的应用。

4. 食品行业

PLC 可以帮助提供食品生产的高效性和提高食品生产的安全性。PLC 在食品行业中的应用主要有自动售货机、比萨饼烤炉、切肉机、洗碗机、烤面包机、自动烤炉、制面机等，图 1-6 是 PLC 在食品行业中的应用。



图 1-4 PLC 在娱乐行业中的应用



图 1-5 PLC 在健康与医疗行业中的应用



图 1-6 PLC 在食品行业中的应用

5. 交通行业

PLC 也会被应用在汽车和轮船相关的设备中,例如,洗车机、轮胎清洗机、垃圾车、立体停车库、停车场大门、车辆称重仪、列车座椅调整装置、小汽车搬运车辆等一般都是用 PLC 来控制的。图 1-7 是 PLC 在交通行业中的应用。



图 1-7 PLC 在交通行业中的应用

6. 建筑与环境

PLC 控制往往用于高楼中的很多地方,自动照明系统、空气调节系统、房屋建造用垂直升降机等就是常见的例子。图 1-8 为 PLC 在建筑和环境中的应用。

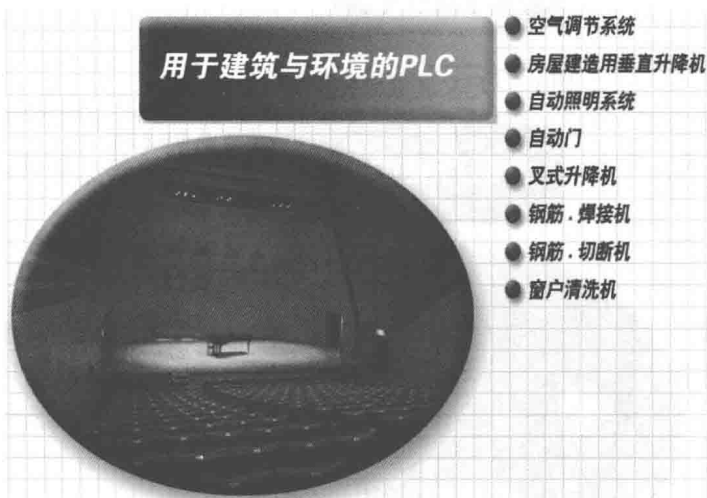


图 1-8 PLC 在建筑与环境中的应用



7. 零售业

PLC 在零售业中的应用也很广泛,如纽扣装订机、捆扎机、洗衣店的装袋机、贴标机、工业洗衣机、婚礼用舞台装置、展览会演示装置、餐馆里的通风设备等,图 1-9 为由 PLC 控制的工业用洗涤机。



图 1-9 由 PLC 控制的工业用洗涤机

习题及思考题

- 1-1 电气控制技术的定义?
- 1-2 电气控制技术发展经历了哪几个阶段?
- 1-3 简述 PLC 的定义。
- 1-4 PLC 的应用领域有哪些? 请举出一些例子。
- 1-5 世界上公认的 PLC 产品按地域分有哪三大流派?

第2章》》》》》》》》

常用低压电器

低压电器是组成各种电气控制成套设备的基础配套组件，它的正确使用是低压电力系统可靠运行、安全用电的基础和重要保证。

本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、用途及其图形符号和文字符号，为正确选择和合理使用这些电器进行电气控制电路的设计打下基础。

2.1 电器的功能、分类和工作原理

2.1.1 电器的功能

电器是一种能根据外界的信号（机械力、电动力和其他物理量）和要求，手动或自动地接通、断开电路，以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。

电器的控制作用就是手动或自动地接通、断开电路，“通”称为“开”，“断”也称为“关”。因此，“开”和“关”是电器最基本、最典型的功能。

2.1.2 电器的分类

1. 按工作电压等级分类

1) 高压电器

用于交流电压 1200V、直流 1500V 及以上电路中的电器，如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

2) 低压电器

用于交流 50Hz（或 60Hz）额定电压为 1200V 以下、直流额定电压为 1500V 及以下的电路中的电器，如接触器、继电器等。

2. 按动作原理分类

(1) 手动电器。人手操作发出动作指令的电器，如刀开关、按钮等。

(2) 自动电器。产生电磁力而自动完成动作指令的电器，例如接触器、继电器、电磁阀等。