



高等院校自动化新编系列教材

计算机控制技术

JISUANJI KONGZHI JISHU

顾德英 张 健 马淑华 等编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

计算机控制技术

顾德英 张 健 马淑华 等编著



北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书以 PC 总线工业控制机、单片机为控制工具,系统地阐述了计算机控制系统的设计和工程实现方法。内容包括:计算机控制系统的组成、特点及发展趋势;输入输出接口与过程通道;数字程序控制技术;数字控制器设计方法;控制系统软件设计方法;网络控制系统;智能控制基础;计算机控制系统工程设计与实现。

本书的编写体系新颖,兼顾理论基础与实际应用,突出了系统性和实践性,并充实了计算机控制领域最新的技术理论和方法及作者的部分科研成果。

本书可作为高等院校自动化、测控技术、电子与电气工程、机电一体化等专业的教材,也可供这些领域的工程技术人员用作参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术/顾德英等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1124-5

I. 计... II. 顾... III. 计算机控制—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 157115 号

出 版 者:北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

电子信箱:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京通州皇家印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.75

字 数:366 千字

印 数:1—3 000 册

版 次:2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1124-5/TP·208

定价:23.00 元

如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系

高等院校自动化新编系列教材

编委会

主 任 汪晋宽

副主任 金海明 罗云林 张美金 崔光照 王宏文

委 员 (按姓氏笔划排名)

于丁文 王凤文 王建国 马淑华 石云霞

齐世清 任彦硕 张家生 张 健 杨建忠

柳明丽 罗长杰 金 伟 赵洪才 赵一丁

顾德英 舒冬梅 藏小杰 郑安平

秘 书 顾德英(兼) 马淑华(兼)

编写说明

一本好的教材和一本好的书不同,一本好的书在于其内容的吸引力和情节的魅力,而一本好的教材不仅要对所介绍的科学知识表达清楚、准确,更重要的是在写作手法上能站在读者的立场上,帮助读者对教材的理解,形成知识链条,进而学会举一反三。基于这种考虑,在充分理解自动化专业培养目标和人才需求的前提下,我们规划了这套《高等院校自动化新编系列教材》。

本套系列教材共包括 21 册,在内容取舍划分上,认真分析了各门课程内容的相互关系和衔接,避免了不必要的重复,增加了一些新的内容。在知识结构设计上,保证专业知识完整性的同时,考虑了学生综合能力的培养,并为学生继续学习留有空间。在课程体系规划上,注意了前后知识的贯通,尽可能做到先开的课程为后续的课程提供基础和帮助,后续的课程为先开的课程提供应用的案例,以便于学生对自动化专业的理解。

《高等院校自动化新编系列教材》编委会

2005 年 8 月

前 言

计算机控制技术广泛应用于工业、国防和民用等领域。随着计算机技术、高级控制策略、检测与传感技术、现场总线智能仪表、通信与网络技术的高速发展,计算机控制技术已逐步成熟,正在向集成化、智能化、网络化、绿色化发展。

根据自动化专业课程体系改革的需要,本书作者在多年教学、科研工作经验的基础上,对“计算机控制技术”课程结构进行了深入细致的研究,并吸取了国内外最新的自动控制技术。针对以本科教学为主的工科院校培养应用型、复合型人才为主要目标,本书基础理论与实用技术并重,重点是让学生掌握基本的计算机控制理论知识、工程应用技术及系统设计方法,培养创新思维。其特点是知识结构合理,知识体系系统、完整。计算机控制是自动控制理论、计算机技术、现代检测技术、通信技术及网络技术等相结合的综合应用技术,是一门理论性和实践性都很强的学科。它主要包含两部分内容:一是计算机控制理论基础;二是实现技术。本课程涉及面广,知识集成度高,教材中将自动控制理论、计算机技术、现代检测技术、通信技术及网络技术等课程的基本内容与本课程有机地、和谐地结合在一起。在内容编排上注重对基本理论、关键知识点的透彻分析和硬件、软件的融合,同时也考虑了内容的先进性和新颖性,以PC总线工控机(IPC)为主线,兼顾PLC、单片机等控制装置的通用技术和性能特点,并引入了DCS、FCS、CIMS等先进控制技术及绿色化等新概念。在编写思路,遵循由局部到综合、由硬件到软件、由单机到系统、由个性到共性的顺序,由浅入深,以熟练掌握基本理论和工程设计方法为目标,提高学生运用所学知识分析、解决实际问题的能力,培养其综合素质。

全书共分9章。第1章主要介绍计算机控制系统的工作原理、结构组成、系统分类和计算机控制的发展趋势。第2章重点介绍IPC的结构组成、总线技术及输入输出模板的功能和选型,并介绍了PLC、单片机在计算机控制系统中的应用。第3章详细阐述了输入输出通道的工作原理,包括数字量输入/输出通道、模拟量输入通道、模拟量输出通道及抗干扰技术等。第4章讨论了顺序控制和数字控制技术。第5章讨论了数字控制器的模拟化设计

方法和离散化设计方法。第6章介绍了数据处理技术和软件编程,包括线性化处理、标度变换、数字滤波技术、组态软件等。第7章主要介绍了网络控制系统知识,包括局域网协议、DCS、FCS等。第8章详细阐述了计算机控制系统工程设计方法,并给出了具体的实例。第9章介绍了智能控制技术的基础知识。

本书由顾德英、张健、马淑华、罗云林、崔光照、刘丽编写,全书由顾德英负责统稿。孙文义、李成铁在文字录入、绘图等方面做了大量有益的工作。在本书编写过程中,得到了东北大学秦皇岛分校、中国民航学院、郑州轻工业学院等院校的大力支持,在此表示衷心的感谢!

本书也吸取了许多兄弟院校的计算机控制方面教材的长处,在此表示由衷的感谢!

由于作者水平有限,加之计算机控制技术的发展速度快,书中难免会有缺点或不足之处,敬请各位同行与读者批评指正。

编 者

2005 年 12 月

目 录

第 1 章 计算机控制系统概述

1.1 计算机控制系统特征与组成	1
1.1.1 计算机控制系统的特征与工作原理	1
1.1.2 计算机控制系统的硬件组成	4
1.1.3 计算机控制系统的软件	6
1.2 计算机控制系统的分类	6
1.2.1 操作指导控制系统	6
1.2.2 直接数字控制系统	7
1.2.3 监督计算机控制系统	7
1.2.4 集散控制系统	8
1.2.5 现场总线控制系统	9
1.2.6 计算机集成制造系统	10
1.3 计算机控制的发展概况及趋势	10
1.3.1 计算机控制的发展过程	10
1.3.2 计算机控制理论与新型控制策略	12
1.3.3 计算机控制系统的发展趋势	14
习题 1	15

第 2 章 工业控制计算机

2.1 IPC 工控机的组成结构	16
2.1.1 IPC 工控机的硬件组成	16
2.1.2 IPC 工控机的软件组成	17
2.1.3 IPC 工控机的特点	18
2.1.4 IPC 工控机的主要类型及其选型	18
2.2 IPC 总线结构	20
2.2.1 总线概述	20
2.2.2 内部总线	21
2.2.3 外部总线	27
2.3 IPC 工控机输入/输出模板	33
2.3.1 模拟量输入输出模板	34

2.3.2 数字量输入输出模板·····	35
2.3.3 其他模板·····	36
2.4 单片机·····	38
2.5 PLC ·····	39
习题 2 ·····	40

第 3 章 输入输出接口与过程通道

3.1 数字量输入输出通道·····	41
3.1.1 数字量输入输出接口技术·····	41
3.1.2 数字量输入通道·····	43
3.1.3 数字量输出通道·····	44
3.2 模拟量输入通道·····	46
3.2.1 模拟量输入通道的组成·····	46
3.2.2 信号调理·····	46
3.2.3 多路转换器·····	52
3.2.4 信号的采样和量化·····	53
3.2.5 采样保持器·····	55
3.2.6 A/D 转换器 ·····	56
3.2.7 A/D 转换器接口设计 ·····	60
3.2.8 A/D 转换器与 PC 接口 ·····	62
3.3 模拟量输出通道·····	64
3.3.1 模拟量输出通道的结构形式·····	64
3.3.2 D/A 转换器 ·····	65
3.3.3 D/A 转换器与接口技术 ·····	68
3.3.4 D/A 转换器与 PC 接口 ·····	68
3.3.5 D/A 转换器的输出形式 ·····	70
3.3.6 V/I 变换·····	71
3.4 D/A、A/D 转换器的电源、接地与布线·····	71
3.5 硬件抗干扰技术·····	72
3.5.1 过程通道抗干扰技术·····	72
3.5.2 系统供电与接地技术·····	75
习题 3 ·····	78

第 4 章 顺序控制与数字控制技术

4.1 顺序控制技术·····	80
4.1.1 顺序控制概述·····	80
4.1.2 顺序控制系统的组成 ·····	83
4.1.3 微机顺序控制系统应用案例·····	84

4.2 数字程序控制技术	86
4.2.1 数字程序控制基础	86
4.2.2 逐点比较法插补原理	89
4.2.3 步进电机控制技术	96
习题 4	101
 第 5 章 数字控制器设计	
5.1 数字控制器的模拟化设计	102
5.1.1 数字控制器的模拟化设计步骤	102
5.1.2 数字 PID 控制器	105
5.1.3 数字 PID 控制器的改进	107
5.1.4 数字 PID 控制器参数的整定	110
5.2 计算机控制系统的离散化设计	113
5.2.1 数字控制器的离散化设计步骤	114
5.2.2 最少拍控制器设计	115
5.2.3 最少拍无波纹控制器设计	120
5.3 大林算法	121
5.3.1 大林算法的基本形式	121
5.3.2 振铃现象及其消除方法	123
5.4 数字控制器的计算机实现	128
5.4.1 直接程序法	128
5.4.2 串联程序法	129
5.4.3 并行程序法	130
5.4.4 数字控制器设计	131
习题 5	131
 第 6 章 控制系统的数据处理技术	
6.1 程序设计技术	133
6.1.1 程序设计的步骤与方法	133
6.1.2 工业控制组态软件	135
6.2 测量数据预处理技术	138
6.2.1 系统误差的自动校准	138
6.2.2 线性化处理	139
6.2.3 标度变换	141
6.2.4 插值算法	143
6.2.5 越限报警处理	144
6.3 查表及数据排序技术	145
6.3.1 数据排序技术	145

6.3.2 查表技术	147
6.4 软件抗干扰技术	148
6.4.1 数字滤波技术	149
6.4.2 输入输出数字量的软件抗干扰技术	154
6.4.3 指令冗余技术	154
6.4.4 软件陷阱技术	155
习题6	155
第7章 控制网络技术	
7.1 工业控制网络技术	157
7.1.1 工业控制网络概述	157
7.1.2 网络协议及其层次结构	162
7.1.3 IEEE 802 标准	164
7.1.4 工业网络的性能评价和选型	165
7.2 集散控制系统	166
7.2.1 DCS 概述	167
7.2.2 DCS 的分散过程控制级	172
7.2.3 DCS 的集中操作监控级	173
7.2.4 DCS 的综合信息管理级	174
7.3 现场总线控制系统	175
7.3.1 现场总线技术概述	175
7.3.2 5 种典型的现场总线	179
7.3.3 DeviceNet(设备网)	183
习题7	185
第8章 计算机控制系统设计与实现	
8.1 系统设计的原则与步骤	186
8.1.1 系统设计的原则	186
8.1.2 系统设计的步骤	187
8.2 系统的工程设计与实现	190
8.2.1 系统总体方案设计	190
8.2.2 硬件的工程设计与实现	192
8.2.3 软件的工程设计与实现	194
8.2.4 系统的调试与运行	196
8.3 电热油炉温度单片机控制系统设计	198
8.3.1 控制任务与工艺要求	198
8.3.2 硬件系统设计	200
8.3.3 数学模型与控制算法	204

8.3.4 软件设计	205
8.4 角位置伺服系统 IPC 控制设计	206
8.4.1 系统概述	206
8.4.2 硬件设计	207
8.4.3 软件设计	208
习题 8	211
 第 9 章 智能控制技术基础	
9.1 绪论	212
9.1.1 智能控制的基本概念	212
9.1.2 智能控制系统	213
9.2 基于模糊推理的智能控制	215
9.2.1 模糊控制系统的基本原理	216
9.2.2 模糊数学基础	216
9.2.3 模糊控制器的设计	220
9.3 人工神经网络	228
9.3.1 神经网络的基本原理和结构	228
9.3.2 感知器和反传(BP)网络	231
9.3.3 神经网络控制	235
习题 9	236
参考文献	237

第 1 章 计算机控制系统概述

计算机控制是自动控制发展中的高级阶段,是自动控制的重要分支。计算机控制系统利用计算机的硬件和软件代替自动控制系统的控制器,它以自动控制理论、计算机技术和检测技术等为基础。计算机控制广泛应用于工业、国防和民用的各个领域。

随着计算机技术、高级控制策略、检测与传感技术、现场总线智能仪表、通信与网络技术的高速发展,计算机控制技术水平已大大提高。计算机控制系统已从简单的单机控制发展到了今天复杂的集散型控制系统、计算机集成制造系统等。

本章将介绍计算机控制系统的基本概念、组成、分类和主要发展趋势。

1.1 计算机控制系统特征与组成

从模拟控制系统发展到计算机控制系统,控制器结构、控制器中的信号形式、系统的过程通道内容、控制量的产生方法、控制系统的组成观念均发生了重大变化。计算机控制系统在系统结构方面有自己独特的内容;在功能配置方面呈现出模拟控制系统无可比拟的优势;在工作过程与方式等方面存在其必须遵循的规则。

1.1.1 计算机控制系统的特征与工作原理

将模拟自动控制系统中的控制器的功能用计算机来实现,就组成了一个典型的计算机控制系统,如图 1.1 所示。

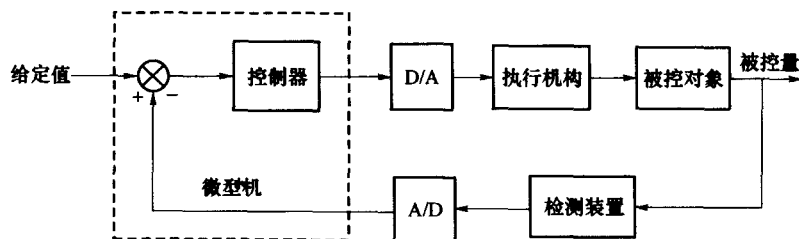


图 1.1 计算机控制系统基本框图

计算机控制系统由两个基本部分组成,即硬件和软件系统。硬件指计算机本身及其外部设备。软件是指管理计算机的程序及生产过程应用程序。只有软件和硬件有机地结合,计算机控制系统才能正常运行。计算机控制系统的构成如表 1.1 所示。

表 1.1 计算机系统的构成

计算机控制系统	硬件部分	控制计算机
		传感器及变送器
	软件部分	系统软件
		应用软件

1. 结构特征

模拟连续控制系统中均采用模拟器件,而在计算机控制系统中除测量装置、执行机构等常用的模拟部件外,其执行控制功能的核心部件是计算机,所以计算机控制系统是模拟和数字部件的混合系统。

模拟控制系统的控制器由运算放大器等模拟器件构成,控制规律越复杂,所需要的硬件也往往越多、越复杂,模拟硬件的成本几乎和控制规律复杂程度成正比,并且,若要修改控制规律,一般必须改变硬件结构,而在计算机控制系统中,控制规律是用软件实现的,修改一个控制规律,无论复杂还是简单,只需修改软件,一般不需对硬件结构进行变化,因此便于实现复杂的控制规律和对控制方案进行在线修改,使系统具有很大的灵活性和适应性。

在模拟控制系统中,一般是一个控制器控制一个回路,而计算机控制系统中,由于计算机具有高速的运算处理能力,可以采用分时控制的方式,同时控制多个回路。

计算机控制系统的抽象结构和作用在本质上与其他控制系统没有什么区别,因此,同样存在计算机开环控制系统、计算机闭环控制系统等不同类型的控制系统。

2. 信号特征

模拟控制系统中各处的信号均为连续模拟信号,而计算机控制系统中除仍有连续模拟信号外,还有离散模拟、离散数字等多种信号形式,计算机控制系统的信号流程如图1.2所示。

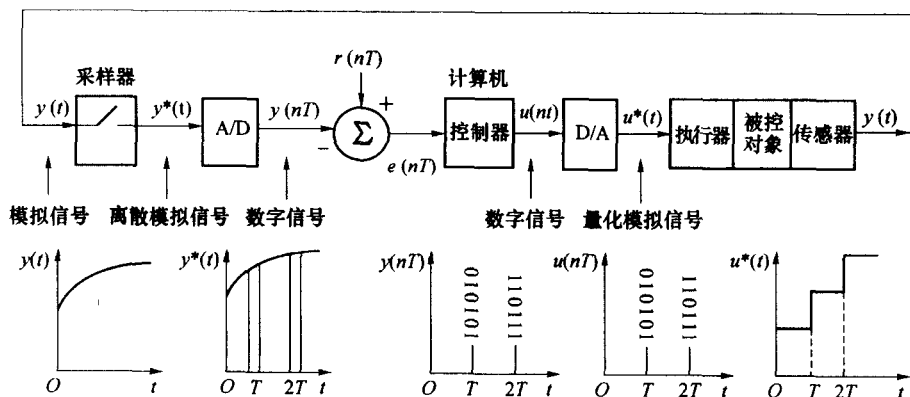


图 1.2 计算机控制系统的信号流程

在控制系统中引入计算机,利用计算机的运算、逻辑判断和记忆等功能完成多种控制任务。由于计算机只能处理数字信号,为了信号的匹配,在计算机的输入和输出必须配置 A/D(模/数转换器)和 D/A(数/模转换器)。反馈量经 A/D 转换为数字量以后,才能输入

计算机。然后计算机根据偏差,按某种控制规律(如PID控制)进行运算,计算结果(数字信号)再经D/A转换器,将数字信号转换为模拟信号输出到执行机构,完成对被控对象的控制。

按照计算机控制系统中信号的传输方向,系统的信息通道由3部分组成:

(1) 过程输出通道,包含由D/A转换器组成的模拟量输出通道和开关量输出通道。

(2) 过程输入通道,包含由A/D转换器组成的模拟量输入通道和开关量输入通道。

(3) 人-机交互通道,系统操作者通过人-机交互通道向计算机控制系统发布相关命令,提供操作参数,修改设置内容等,计算机则可通过人-机交互通道向系统操作者显示相关参数、系统工作状态、对像控制效果等。

计算机通过输出过程通道向被控对象或工业现场提供控制量;通过输入过程通道获取被控对象或工业现场信息;当计算机控制系统没有输入过程通道时,称之为计算机开环控制系统。在计算机开环控制系统中,计算机的输出只随给定值变化,不受被控参数影响,通过调整给定值达到调整被控参数的目的。但当被控对象出现扰动时,计算机无法自动获得扰动信息,因此无法消除扰动,导致控制性能较差。当计算机控制系统仅有输入过程通道时,称之为计算机数据采集系统。在计算机数据采集系统中,计算机作用是对采集来的数据进行处理、归类、分析、储存、显示与打印等,而计算机的输出与系统的输入通道参数输出有关,但不影响或改变生产过程的参数,所以这样的系统可认为是开环系统,但不是开环控制系统。

3. 控制方法特征

由于计算机控制系统除了包含连续信号外,还包含有数字信号,从而使计算机控制系统与连续控制系统在本质上有许多不同,需采用专门的理论来分析和设计。常用的设计方法有两种,即模拟调节规律离散化设计法和直接设计法。

4. 功能特征

与模拟控制系统比较,计算机控制系统的重要功能特征表现为:

(1) 以软件代替硬件

以软件代替硬件的功能主要体现在两方面,一方面是当被控对象改变时,计算机及其相应的过程通道硬件只需作少量的变化,甚至不需作任何变化,而面向新对象重新设计一套新控制软件便可;另一方面是可以软件来替代逻辑部件的功能实现,从而降低系统成本,减小设备体积。

(2) 数据存储

计算机具备多种数据保持方式,如脱机保持方式有软盘、U盘、移动硬盘、磁盘、光盘、纸质打印、纸制绘图等;联机保持方式有固定硬盘、EEPROM、RAM休眠等,工作特点是系统断电不会丢失数据。正是由于有了这些数据保护措施,使得人们在研究计算机控制系统时,可以从容对付突发问题;在分析解决问题时可以大量减少盲目性,从而提高了系统的研发效率,缩短了研发周期。

(3) 状态、数据显示

计算机具有强大的显示功能。显示设备类型有CRT显示器、LED数码管、LED矩阵块、LCD显示器、LCD模块、LCD数码管、各种类型打印机、各种类型绘图仪等;显示模式

包括数字、字母、符号、图形、图像、虚拟设备面版等;显示方式有静态、动态、二维、三维等;显示内容涵盖给定值、当前值、历史值、修改值、系统工作波形、系统工作轨迹仿真图等。人们通过显示内容可以及时了解系统的工作状态、被控对象的变化情况、控制算法的控制效果等。

(4) 管理功能

计算机都具有串行通信或联网功能,利用这些功能可实现多套微机控制系统的联网管理,资源共享,优势互补;可构成分级分布集散控制系统,以满足生产规模不断扩大,生产工艺日趋复杂,可靠性要求更高,灵活性希望更好,操作需更简易的大系统综合控制的要求;实现生产进行过程(状态)的最优化和生产规划、组织、决策、管理(静态)的最优化的有机结合。

5. 计算机控制系统的工作原理

根据图 1.1 的计算机控制系统基本框图,计算机控制过程可归结为如下 4 个步骤:

- (1) 实时数据采集:对来自测量变送装置的被控量的瞬时值进行检测并输入。
- (2) 实时控制决策:对采集到的被控量进行分析和处理,并按已定的控制规律,决定将要采取的控制行为。
- (3) 实时控制输出:根据控制决策、适时地对执行机构发出控制信号,完成控制任务。
- (4) 信息管理:随着网络技术和控制策略的发展,信息共享和管理也是计算机控制系统必须完成的功能。

上述过程不断重复,使整个系统按照一定的品质指标进行工作,并对控制量和设备本身的异常现象及时作出处理。

6. 计算机控制系统的工作方式

(1) 在线方式和离线方式

在计算机控制系统中,生产过程和计算机直接连接,并受计算机控制的方式称为在线方式或联机方式;生产过程不和计算机相连,且不受计算机控制,而是靠人进行联系并作相应操作的方式称为离线方式或脱机方式。

(2) 实时的含义

所谓实时,是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成,亦即计算机对输入信息,以足够快的速度进行控制,超出了这个时间,就失去了控制的时机,控制也就失去了意义。实时的概念不能脱离具体过程,一个在线的系统不一定是实时系统,但一个控制系统必定是在线系统。

1.1.2 计算机控制系统的硬件组成

计算机控制系统硬件组成框图如图 1.3 所示。

硬件是指计算机本身及其外部设备,一般包括中央处理器(CPU)、程序存储器(ROM)、数据存储器(RAM)、各种接口电路、以 A/D 转换器和 D/A 转换器为核心的模拟量输入输出(I/O)通道、数字量输入输出(I/O)通道以及各种显示、记录设备、运行操作台等。

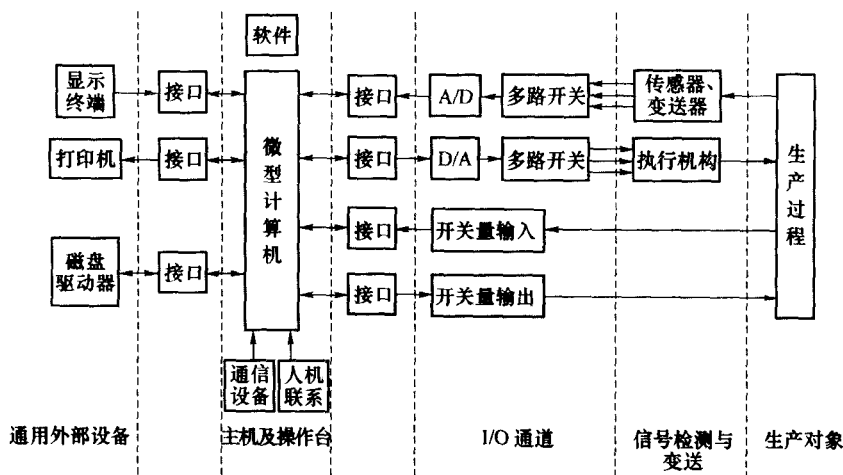


图 1.3 计算机控制系统硬件组成框图

1. 主机

CPU、ROM、RAM 及时钟电路、复位电路等构成的计算机主机是组成计算机控制系统的核心部分,主要进行数据采集、数据处理、逻辑判断、控制量计算、报警处理等,通过接口电路向系统发出各种控制命令,指挥全系统有条不紊地协调工作。

2. I/O 接口

I/O 接口与 I/O 通道是主机与外部连接的桥梁。常用的 I/O 接口有并行接口、串行接口等,它们大部分是可编程的。I/O 通道有模拟量 I/O 通道和数字量 I/O 通道。模拟量 I/O 通道的作用是:一方面将由传感器得到的工业对象的生产过程参数变换为二进制代码传送给计算机;另一方面将计算机输出的数字控制信号变换为控制操作执行机构的模拟信号,以实现对生产过程的控制。数字通道的作用是:除完成编码数字输入输出外,还可将各种继电器、限位开关等的状态通过输入接口传送给计算机,或将计算机发出的开关动作逻辑信号由输出接口传送给生产机械中的各个电子开关或电磁开关。

3. 通用外部设备

通用外部设备主要是为扩大计算机主机的功能而设置的。它们用来显示、打印、存储和传送数据。常用的有打印机、记录仪、图形显示器(CRT)、软盘和硬盘等。

4. 检测元件与执行机构

传感器的主要功能是将被检测的非电学量参数转变为电学量,如热电耦把温度信号变成电压信号,压力传感器把压力变成电信号等等。变送器的作用是将传感器得到的电信号转换成适合于计算机接口使用的电信号(如 0 mA~10 mA DC)。

此外,为了控制生产过程,还必须有执行机构。常用的执行机构有电动、液动、气动调节阀、开关,交、直流电动机,步进电动机等。

5. 操作台

操作台是人-机对话的联系纽带。通过它人们可以向计算机输入程序,修改内存的数据,显示被测参数以及发出各种操作命令等。它主要由以下 4 部分组成: