

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



工业计算机控制技术

赵岩 孙丽宏 王东辉 编著

清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



工业计算机控制技术

赵岩 孙丽宏 王东辉 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书虽然以单片机为例进行讲述,但所涉及的全部内容完全适用于其他计算机控制系统。本书着重介绍计算机控制系统的组成、基本控制算法及软硬件系统在工业控制中的应用技术。全书共9章,分别介绍计算机控制系统的基本概念、控制系统组成及分类、模拟量输入输出通道的接口技术、数字量输入输出通道的接口技术、人机交互接口技术、离散控制系统的数学描述、数字控制器的设计方法、复杂控制规律的设计、模糊控制技术、计算机控制系统的设计方法及实例等。

本书可作为高等院校电气工程、自动化、电子、计算机应用、机电一体化等专业的教材,也可供有关技术人员参考和自学。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工业计算机控制技术/赵岩,孙丽宏,王东辉编著. —北京:清华大学出版社,2012.11

(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-30018-2

I. ①工… II. ①赵… ②孙… ③王… III. ①工业控制计算机—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第211230号

责任编辑:郑寅堃 越晓宁

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:11.75 字 数:290千字

版 次:2012年11月第1版 印 次:2012年11月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:19.50元

产品编号:041904-01

编审委员会成员

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

华中师范大学
武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学

王志功	教授
王新龙	教授
王成华	教授
邓元庆	教授
刘景夏	副教授
方 勇	教授
朱 杰	教授
何 晨	教授
严国萍	教授
朱定华	教授
吴彦文	教授
刘复华	教授
李中年	教授
蒋刚毅	教授
王成山	教授
郭维廉	教授
王煦法	教授
郭从良	教授
徐佩霞	教授
赵鹤鸣	教授
刘志军	教授
郑永果	教授
朱守正	教授
张秉权	教授
张丽英	教授
林 君	教授
何怡刚	教授
曾喆昭	教授
冯久超	教授

西南交通大学

冯全源 教授

重庆工学院

金炜东 教授

重庆通信学院

余成波 教授

重庆大学

曾凡鑫 教授

重庆邮电学院

曾孝平 教授

谢显中 教授

西安电子科技大学

张德民 教授

彭启琮 教授

樊昌信 教授

西北工业大学

何明一 教授

集美大学

迟 岩 教授

云南大学

刘惟一 教授

东华大学

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn



前言

计算机控制技术是关于计算机控制系统相关理论和技术的一门学科,而计算机控制系统是在自动控制技术和计算机技术飞速发展的基础上产生的。20 世纪 50 年代中期,古典控制理论的体系已经非常成熟和完备,对单输入单输出的单变量线性系统的分析非常有效。随着科学技术的不断发展和进步,古典控制理论对于复杂的被控对象,如多输入多输出的多变量系统、非线性系统及参数随时间变化的时变参数系统的分析和设计已经越来越不能满足要求。20 世纪 60 年代以来,逐渐形成了以状态空间法为代表的现代控制理论,它的形成和发展,为计算机应用于控制领域创造了有力的条件。由计算机参与并作为核心环节的自动控制系统,就是计算机控制系统。

本书虽然以单片机为例进行讲述,但所涉及的全部内容完全适用于其他计算机控制系统。本书着重介绍计算机控制系统的组成、基本控制算法及软硬件系统在工业控制中的应用技术。

本书在阐述基本原理和设计方法时,注意理论的严谨和知识的体系,也更加重视工程实际应用,同时还注意保持理论、技术和方法的先进性、实用性及全书内容的系统性。本书内容体系新颖,理论联系实际,实践性强。

本书第 2~第 4 和第 9 章由黑龙江科技学院赵岩编写,第 5~第 7 章由中国计量学院孙丽宏编写,其中 5.6 节和 6.3 节由中国计量学院郭永洪编写,第 1 和第 8 章由哈尔滨工程大学王东辉编写,全书的统稿由赵岩完成。由于水平有限,加上时间仓促,书中不足之处在所难免,希望广大读者和同仁批评指正,以便使本书的质量得到进一步的提高。在编写过程中,我们也参考了书后列出的大量文献资料,在此对诸位作者表示衷心的感谢。

编 者

2012 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统概述	1
1.2 计算机控制系统的组成	3
1.2.1 计算机控制系统的硬件组成	3
1.2.2 计算机控制系统的软件组成	5
1.3 计算机控制系统的分类	5
1.4 计算机控制系统的发展概况和趋势	9
1.4.1 计算机控制系统的发展概况	9
1.4.2 计算机控制系统的发展趋势	11
习题 1	12
第 2 章 模拟量输入输出通道的接口技术	13
2.1 模拟量输入通道接口技术	13
2.1.1 模拟量输入通道的组成	13
2.1.2 信号调理电路	14
2.1.3 多路转换开关	14
2.1.4 前置放大器	16
2.1.5 采样保持器	17
2.1.6 8 位 A/D 转换器及其接口技术	18
2.1.7 12 位 A/D 转换器及其接口技术	23
2.1.8 串行 A/D 转换器及其接口技术	25
2.2 模拟量输出通道接口技术	26
2.2.1 模拟量输出通道的组成	26
2.2.2 8 位 D/A 转换器及其接口技术	26
2.2.3 12 位 D/A 转换器及其接口技术	31
2.2.4 串行 D/A 转换器及其接口技术	32
2.2.5 V/I 变换器	35
习题 2	36
第 3 章 数字量输入输出接口技术	37
3.1 数字量输入通道接口技术	37
3.2 数字量输出通道接口技术	40

3.2.1	继电器输出接口技术	40
3.2.2	固态继电器输出接口技术	41
3.2.3	大功率场效应管开关接口技术	43
3.2.4	可控硅接口技术	44
3.3	小功率直流电机控制接口技术	47
3.4	步进电机控制接口技术	51
3.4.1	步进电机的工作原理	51
3.4.2	步进电机的控制技术	53
习题 3		55
第 4 章	人机交互接口技术	56
4.1	键盘接口技术	56
4.2	显示器接口技术	61
4.2.1	LED 显示器接口技术	61
4.2.2	LCD 显示器接口技术	65
习题 4		67
第 5 章	离散控制系统的数学描述	68
5.1	z 变换	68
5.1.1	z 变换的定义	68
5.1.2	z 变换的性质	71
5.1.3	z 反变换	74
5.2	脉冲传递函数	75
5.2.1	脉冲传递函数的定义	76
5.2.2	闭环系统的脉冲传递函数	78
5.3	离散控制系统的动态分析	79
5.4	离散系统的稳定性	81
5.5	离散控制系统的稳态分析	83
5.6	Matlab 在离散控制系统分析中的应用	86
5.6.1	离散系统零极点图及零极点分析	86
5.6.2	离散系统频率特性分析	91
习题 5		95
第 6 章	数字控制器的设计方法	97
6.1	控制规律的模拟化设计方法	97
6.1.1	数字 PID 控制	97
6.1.2	PID 控制算法的改进	102
6.1.3	数字 PID 调节器的参数整定	105
6.2	控制规律的离散化设计方法	108

6.2.1 最小拍有波纹系统数字调节器的设计	109
6.2.2 最小拍有波纹系统的局限性	114
6.2.3 最小拍无波纹系统数字调节器的设计	115
6.2.4 最小拍控制系统的改进	118
6.3 Matlab 在数字控制器设计中的应用	120
习题 6	130
第 7 章 复杂控制规律的设计	132
7.1 串级控制	132
7.1.1 串级控制的结构和原理	132
7.1.2 数字串级控制算法	133
7.2 前馈控制	134
7.2.1 前馈控制的结构和原理	134
7.2.2 前馈—反馈控制	135
7.2.3 前馈—串级控制	135
7.2.4 前馈控制的应用场合	136
7.3 纯滞后控制	136
7.3.1 Smith 预估控制	136
7.3.2 达林算法	137
7.4 Matlab 仿真实例	142
习题 7	145
第 8 章 模糊控制技术	146
8.1 模糊控制简介	146
8.2 模糊控制的数学基础	147
8.2.1 模糊集合和隶属函数	147
8.2.2 模糊语言与模糊推理	149
8.3 模糊控制系统的工作原理	151
8.3.1 模糊控制系统的组成	151
8.3.2 模糊控制器的实现过程	152
8.3.3 模糊控制器的设计方法	153
习题 8	156
第 9 章 计算机控制系统的设计与实现	157
9.1 计算机控制系统设计原则	157
9.2 计算机控制系统设计步骤	158
9.2.1 控制系统总体方案的确定	158
9.2.2 计算机及接口的选择	159
9.2.3 控制算法的确定	160

9.2.4	控制系统的硬件设计.....	161
9.2.5	控制系统的软件设计.....	163
9.2.6	控制系统的调试.....	164
9.3	炉温控制系统	164
9.3.1	系统总体设计方案.....	164
9.3.2	系统硬件设计.....	165
9.3.3	算法设计.....	167
9.3.4	系统软件设计.....	169
9.4	水槽水位控制系统	171
习题 9		172
参考文献		173

第1章

绪论

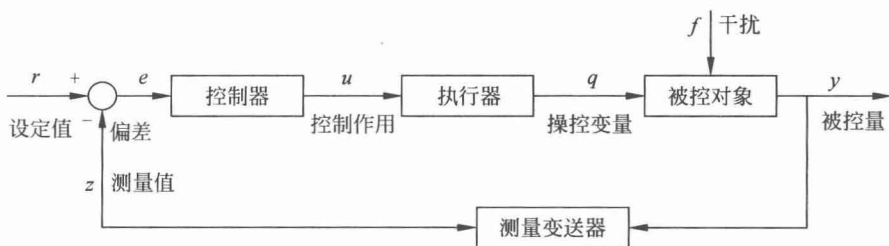
计算机控制系统综合了计算机、自动控制和自动化仪表等技术,并将这些技术集成起来应用于工业生产过程。计算机在自动控制系统中的基本应用是直接参与控制,承担了控制系统中控制器的任务。由计算机参与并作为核心环节的自动控制系统,就是计算机控制系统。计算机控制技术是关于计算机控制系统相关理论和技术的一门学科。计算机强大的计算能力、逻辑判断能力和大容量存储信息的能力使得计算机控制在国防、工业和民用各个领域得到了广泛应用。计算机控制技术能够解决常规控制技术解决不了的难题,能达到常规控制技术达不到的优异性能指标。因此,计算机控制技术受到愈来愈广泛的重视。

由于计算机及单片机产品种类繁多,结构、资源和功能各异,本书不可能面面俱到,因而选择软件和硬件资源丰富、通用性强、运算速度快的 MCS—51 系列单片机作为核心,展开对计算机控制系统的讨论。

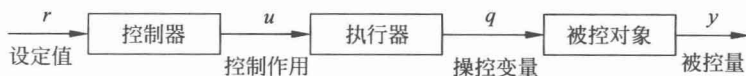
1.1 计算机控制系统概述

1. 计算机控制系统概念

自动控制系统分为开环控制系统和闭环控制系统,闭环控制系统是自动控制系统的基本形式,如图 1-1 所示。如将闭环控制系统中的控制器的功能用计算机或数字控制装置来实现,就构成了计算机控制系统,如图 1-2 所示。



(a) 闭环控制系统



(b) 开环控制系统

图 1-1 常规仪表控制系统框图

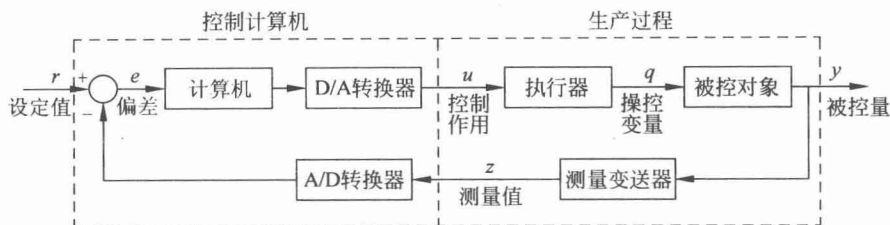


图 1-2 计算机闭环控制系统原理图

计算机控制系统的工作原理可归纳为以下三个步骤。

(1) 实时数据采集：对来自测量变送器的被控量的瞬时值进行采集和输入。

(2) 实时数据处理：对采集到的被控量进行分析、比较和处理，按一定的控制规律运算，进行控制决策。

(3) 实时输出控制：根据控制决策，适时地对执行器发出控制信号，完成监控任务。

上述过程不断重复，使整个系统按照一定的品质指标正常稳定地运行，一旦被控量和设备本身出现异常状态，计算机能实时监督并迅速处理。所谓“实时”是指信号的输入、运算处理和输出能在一定的时间内完成，超过这个时间，就会失去控制时机。

2. 计算机控制系统中控制装置种类

1) 工控机

工控机也称工业控制机(Industrial Personal Computer)，工控机是以计算机为核心的测量和控制系统，处理来自工业系统的输入信号，再根据控制要求将处理结果输出到控制器，控制生产过程，同时对生产进行监督和管理。工控机在硬件上，由生产厂家按照某种标准总线设计制造符合工业标准的主机板及各种 I/O 模块，设计者和使用者只要选用相应的功能模块，像搭积木似的，灵活地构成各种用途的计算机控制装置；在软件上，利用熟知的系统软件和工具软件，编制或组态相应的应用软件，就可以非常便捷地完成对生产流程的集中控制和调度管理。

典型的工控机由加固型工业机箱、工业电源、主机板、显示板、硬盘驱动器、光盘驱动器、各类输入输出模块、显示器、键盘、鼠标、打印机等组成，如图 1-3 所示。

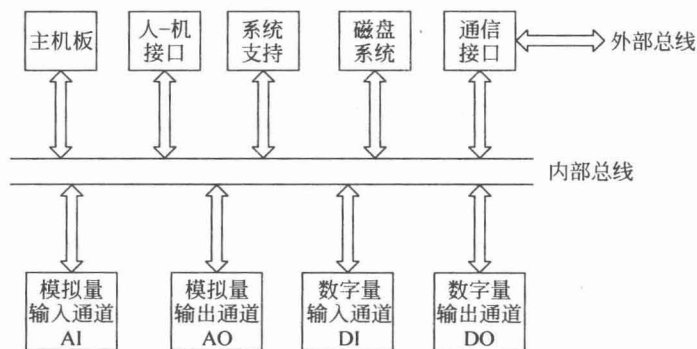


图 1-3 工业控制机的硬件组成结构

2) 可编程控制器

可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)是一种在继电器控制系统的基础上,与自动化技术、计算机技术和通信技术相结合而不断发展完善起来的新型工业控制装置,具有使用方便、编程简单、可靠性高、易于维护等优点。在工业控制领域应用得十分广泛。国际电工委员会对可编程控制器定义如下:“可编程控制器是一种数学运算的电子系统,专为工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器,用来在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,并通过数字式、模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关设备,都应按易于与工业控制系统联成一个整体,易于扩充的原则设计。”

PLC的生产厂商很多,产品种类繁多,但它们的基本构成相似,都是以微处理器为核心,采用计算机结构,主要包括 CPU、存储器、输入输出接口电路、电源、外设接口、I/O 扩展接口,其内部也是采用总线结构,进行数据和指令的传输。PLC 是采用循环扫描的工作方式。

3) 嵌入式系统

关于嵌入式系统,目前没有统一的定义,国际电气和电子工程师协会对嵌入式系统做了这样一个定义:所谓嵌入式系统,就是“控制、监视或辅助设备、机器或车间运行的装置”。嵌入式系统由硬件和软件两大部分组成。硬件部分包括嵌入式微处理器、存储器(SDRAM、ROM、Flash 等)、通用设备接口和输入输出接口(A/D、D/A、I/O 等)。在一个嵌入式微处理器基础上添加电源电路、时钟电路和存储器电路(可选项),就构成一个嵌入式核心控制模块。软件部分则包括嵌入式操作系统的选择和应用程序的开发。嵌入式微处理器是嵌入式系统硬件部分的核心。嵌入式微处理器大体上可以划分为 4 种类型:嵌入式微控制器(Micro Controller Unit, MCU)、嵌入式微处理器(Micro Processor Unit, MPU)、嵌入式数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)及嵌入式片上系统(System On Chip, SOC)。嵌入式微处理器 MPU 的典型代表是通常所说的单片机;嵌入式微处理器主要有 ARM 系列等;嵌入式数字信号处理器广泛应用的是 TI 公司的 TMS320C2000/C5000 系列;嵌入式片上系统几乎都是专用的,典型产品是 Philips 公司的 SmartXA 系列。

1.2 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由计算机、接口电路、外部通用设备和工业生产对象等组成,如图 1-4 所示。下面介绍计算机控制系统的硬件组成和软件组成。

1.2.1 计算机控制系统的硬件组成

硬件是由主机 CPU、接口电路、通用外部设备、检测元件及执行机构及操作台等组成的。

1. 主机 CPU

主机 CPU 是整个控制系统的指挥部,通过接口及软件可向系统的各个部分发出各种

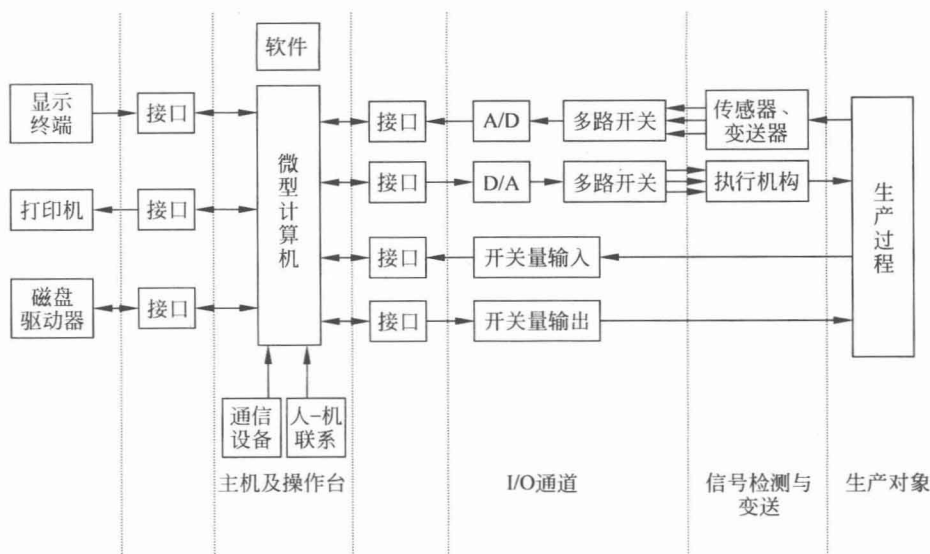


图 1-4 计算机控制系统硬件组成框图

命令,对被测参数进行巡回检测、数据处理、控制计算、报警处理以及逻辑判断等操作,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,由于计算机只能接收数字量,而一般的连续化生产过程的被测量参数大都为模拟量(如温度、压力、流量、液位、速度、电压及电流等),因此为了实现计算机控制,还必须把模拟量转换成数字量,即进行 A/D 转换。同样,外部执行机构也多为模拟量,所以计算机计算被调参数之前,还必须把数字量变成模拟量,即进行 D/A 转换。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. 检测元件及执行机构

检测、测量元件——传感器,把非电量参数转换成电量,如热电偶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。变送器的作用是将传感器得到的电信号转换成适合计算机接口使用的电信号(0~5V 或 4~20mA)。

此外,为了控制生产过程,还必须要有执行机构。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。

(1) 作用开关:如电源开关、操作方式(自动/手动)选择开关等。通过这些开关,人们对主机进行启停、设置和修改数据以及修改控制方式等。作用开关可通过接口与主机相连。

(2) 功能键:包括复位键、启动键、打印键及工作方式选择键等,主要是为了操作方便。

(3) LED数码管及CRT显示器:用来显示被测参数及操作人员感兴趣的内容,如显示数据表格、系统流程、开关状态以及报警状态等。

(4) 数字键:用来输入数据或修改控制系统的参数。

1.2.2 计算机控制系统的软件组成

计算机控制系统之所以能够自动完成实时数据采集、实时分析决策和实时输出控制等功能,除了一定的硬件设备之外,还必须依靠软件来协调各硬件组成部分,使它们能够按照一定的规律,有条不紊地工作。也就是说,软件也是计算机控制系统必不可少的组成部分。

按照来源及在系统工作过程中所起的不同作用,计算机控制系统中的软件可分为系统软件、应用软件两种形式。

1. 系统软件

系统软件通常由计算机制造厂商提供,有一定的通用性,包括操作系统、汇编程序、编译程序、数据库系统管理程序、网络通信程序等多种形式。系统软件为应用软件的运行提供了支持,同时也为开发应用软件提供了平台和工具,计算机控制系统的设计、操作人员必须掌握常用系统软件的使用方法。

2. 应用软件

应用软件是计算机控制系统设计人员,在系统软件的支持下,针对某个具体的生产过程或控制任务,而编写的控制与管理程序及其相关文档的总和。它包括过程输入程序、控制算法程序、过程输出程序、人机接口程序、显示打印程序等。

1.3 计算机控制系统的分类

1. 操作指导控制系统

操作指导控制系统的构成如图1-5所示。该系统不仅具有数据采集和处理的功能,而且能够为操作人员提供反映生产过程工况的各种数据,并相应地给出操作指导信息,供操作人员参考。

该控制系统属于开环控制结构。计算机根据一定的控制算法(数学模型),依赖测量元件测得的信号数据,计算出供操作人员选择的最优操作条件及操作方案。操作人员根据计