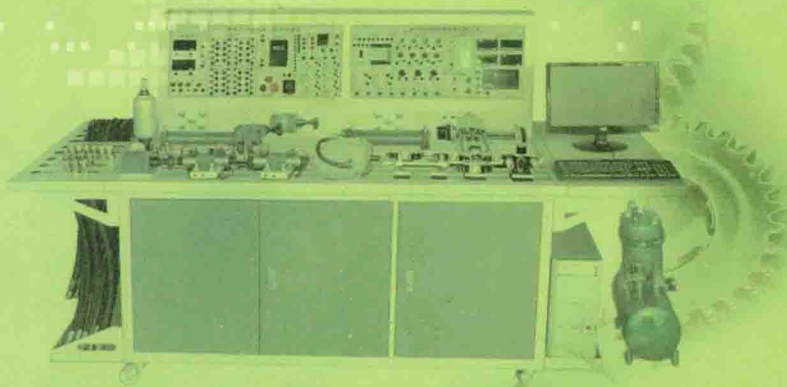


普通高等院校机械工程学科“卓越工程师教育培养计划”系列规划教材

机电系统 计算机控制

JIDIAN XITONG
JISUANJI KONGZHI

◎主 编 李建刚 姜艳华 卢万杰



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等院校机械工程学科“卓越工程师教育培养计划”系列规划教材

机电系统计算机控制

主编 李建刚 姜艳华 卢万杰

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统详细阐述了机电系统计算机控制系统的设计及工程实现的方法。内容包括：机电系统计算机控制的组成、特点和发展趋势，信号的采样和 z 变换，计算机控制系统建模与分析，数字控制器设计方法，控制软件算法，控制系统工程设计与实施，系统仿真及工程实例。全书力求通俗易懂，理论联系实际，突出系统性和实践性，便于读者理解、掌握和实际应用。

本书可作为高等工科大学机械电子及其相关专业本科生的教材或参考书，也可供有关教师、科研人员及工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

机电系统计算机控制/李建刚, 姜艳华, 卢万杰主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5640-8787-6

I. ①机… II. ①李… ②姜… ③卢… III. ①机电系统-计算机控制 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 005069 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 20.5

字 数 / 465 千字

版 次 / 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 44.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

编委会名单

主任委员：毛 君 何卫东 苏东海

副主任委员：于晓光 单 鹏 曾 红 黄树涛 舒启林 回 丽

王学俊 付广艳 刘 峰 张 珂

委 员：肖 阳 刘树伟 魏永合 董浩存 赵立杰 张 强

秘 书 长：毛 君

副 秘 书 长：回 丽 舒启林 张 强

机械设计与制造专业方向分委员会主任：毛 君

机械电子工程专业方向分委员会主任：于晓光

车辆工程专业方向分委员会主任：单 鹏



编写说明

Bianxieshuoming

根据教育部教高[2011]5号“关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见”文件和“卓越工程师教育培养计划”的精神要求。为全面推进高等教育理工科院校“质量工程”的实施，将教学改革的成果和教学实践的积累体现到教材建设和教学资源统合的实际工作中去，以满足不断深化的教学改革的需要，更好地为学校教学改革、人才培养与课程建设服务，确保高质量教材进课堂。为此，由辽宁工程技术大学机械工程学院、沈阳工业大学机械工程学院、大连交通大学机械工程学院、大连工业大学机械工程与自动化学院、辽宁科技大学机械工程与自动化学院、辽宁工业大学机械工程与自动化学院、辽宁工业大学汽车与交通工程学院、辽宁石油化工大学机械工程学院、沈阳航空航天大学机电工程学院、沈阳化工大学机械工程学院、沈阳理工大学机械工程学院、沈阳理工大学汽车与交通学院、沈阳建筑大学交通与机械工程学院等辽宁省 11 所理工科院校机械工程学科教学单位组建的专委会和编委会组织主导，经北京理工大学出版社、辽宁省 11 所理工科院校机械工程学科专委会各位专家近两年的精心组织、工作准备和调研沟通，以创新、合作、融合、共赢、整合跨院校优质资源的工作方式，结合辽宁省 11 所理工科院校对机械工程学科和课程教学理念、学科建设和体系搭建等研究建设成果，按照当今最新的教材理念和立体化教材开发技术，本着“整体规划、制作精品、分步实施、落实到位”的原则确定编写机械设计与制造、机械电子工程及车辆工程等机械工程学科课程体系教材。

本套丛书力求结构严谨、逻辑清晰、叙述详细、通俗易懂。全书有较多的例题，便于自学，同时注意尽量多给出一些应用实例。

本书可供高等院校理工科类各专业的学生使用，也可供广大教师、工程技术人员参考。

辽宁省 11 所理工科院校机械工程学科建设及教材编写专委会和编委会

2013 年 6 月 6 日

前 言

Qianyan

随着先进制造技术、控制理论、计算机技术和网络通信技术的发展,机械制造业广泛地引入控制理论与电子控制技术。根据教育部教高[2011]5号《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件和《卓越工程师教育培养计划》的精神要求,为全面推进高等教育理工科院校“质量工程”的实施,由辽宁省十一所理工科院校机械工程学科教学单位组建的专委会和编委会,组织编写了机电系统计算机控制教材,使之适应国民经济和社会进步发展的要求。

机电系统计算机控制是以机械工程、控制工程、电子信息等多种学科为基础的综合应用技术。主要让学生掌握机电系统的计算机控制基础理论、工程设计与实施应用技术、辅助分析与设计方法,并能举一反三地将这些方法应用到实践中去解决实际工程问题,以提高读者的综合分析问题的能力,培养创新思维,为今后设计、开发新的机电控制系统或智能装备奠定必要的技术知识储备。

本书内容注重系统性,既阐述了机电系统所涉及的基本概念和理论,又结合实例分析,论述力求通俗易懂,理论与实践相融合,重点突出理论与工程应用的特色,并结合 MATLAB 软件进行机电系统的辅助设计;在结构上,以系统的分析和设计为主线,注意理论分析和设计方法的紧密结合,对基础理论的描述由浅入深、由简到繁,每章都给出了大量的例题和习题,便于课堂学习或自学。

本书共分 10 章。第 1 章介绍机电系统的基本概念、计算机控制系统的组成与分类,以及发展概况。第 2 章介绍信号的采样和保持的有关原理与具体实现,研究离散系统的有力工具—— z 变换及反变换理论。第 3 章介绍计算机控制系统数学描述与性能分析,研究离散系统的差分方程、脉冲传递函数,以及差分方程的求解和脉冲传递函数的分析方法,并采用 z 变换分析法对线性离散系统的性能进行分析和探讨,包括稳定性分析、稳态分析和动态响应分析。第 4 章介绍计算机控制系统的模拟化设计方法,即基于经典控制系统设计方法的计算机控制系统的等价离散化设计方法。第 5 章介绍计算机控制系统的离散化设计方法,即直接在 z 域内进行离散化的设计方法,包括最小拍控制设计方法和大林算法及其工程应用。第 6 章介绍计算机控制系统的状态空间设计方法,采用离散状态空间分析法来研究分析多变量问题、时变问题等,包括状态空间模型的建立与求解、系统的能控性和能观性判别、按照极点配置设计控制规律、观测器和控制器等问题。第 7 章介绍机电系统计算机控制软件算法,包括直线插补、脉冲增量插补、数据采样插补、数字滤波的方法。第 8 章介绍计算机控制系统的工程设计与实现,包括系统的基本设计原则与步骤、硬件设计实施、软件设计实施和抗干扰设计等实用技术,相应给出了具体选取的典型接口和控制器件,以及数字控制器程序实现的性能分析。第 9 章介绍机电控制系统的计算机仿真,主要结合 MATLAB 软件和相应例题,讲



述了机电系统的计算机辅助分析与设计，以及控制系统动态特性仿真的分析方法。第10章介绍计算机控制系统的工程应用实例。本书可用于本科生教学，也可供相关研究人员或工程技术人员参考。

本书的第1~5章由李建刚编写；第7、8章由卢万杰编写；第6、9、10章由姜艳华编写。全书由李建刚统稿。

本书在选题、编写、定稿和出版过程中得到了辽宁工程技术大学机械工程学院领导和专家的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！在本书的编写过程中，作者参考和引用了许多有关文献内容，在此向所参考和引用文献的编著者们表示由衷的感谢！

由于作者水平和经验有限，书中难免存在缺点和疏漏，恳请读者和专家批评指正。

编 者

第1章 绪论	1
1.1 机电系统概述	1
1.2 计算机控制系统的基本概念、组成和特点	3
1.3 计算机控制系统的分类和发展	6
1.3.1 计算机控制系统的分类	6
1.3.2 计算机控制系统的发展及趋势	12
1.4 计算机控制系统的基本要求	14
第2章 信号采样与 z 变换	17
2.1 采样信号变换原理	17
2.1.1 信号采样与采样定理	19
2.1.2 采样信号复现与保持器	22
2.1.3 采样周期的选择	26
2.2 z 变换与 z 反变换	27
2.2.1 z 变换定义	27
2.2.2 z 变换方法	28
2.2.3 z 变换的基本性质和定理	34
2.2.4 z 反变换	40
第3章 计算机控制系统数学描述与特性分析	48
3.1 差分方程	48
3.1.1 离散时间系统与差分方程	48
3.1.2 差分方程求解	50
3.2 脉冲传递函数	55
3.2.1 脉冲传递函数概念	55
3.2.2 开环脉冲传递函数	57
3.2.3 闭环脉冲传递函数	60
3.3 计算机控制系统的性能分析	63
3.3.1 线性离散系统的稳定性分析	63
3.3.2 线性离散系统的稳态误差	75

目 录

Contents

3.3.3	线性离散系统的动态响应分析	79
3.3.4	线性离散系统的频率特性分析	84
第 4 章	计算机控制系统的模拟化设计方法	94
4.1	模拟化设计的基本原理	94
4.2	模拟控制器的离散化方法	97
4.2.1	差分变换法	97
4.2.2	z 变换法 (脉冲响应不变方法)	99
4.2.3	双线性变换法	101
4.2.4	零极点匹配法	102
4.2.5	阶跃响应不变法	104
4.3	数字 PID 控制	106
4.3.1	数字 PID 调节基本算法	107
4.3.2	数字 PID 算法的改进	109
4.3.3	PID 参数的整定	113
第 5 章	计算机控制系统的离散化设计方法	119
5.1	离散化设计的基本原理	120
5.2	最小拍控制系统设计	121
5.2.1	典型输入信号	121
5.2.2	典型信号输入下最小拍控制系统的设计	122
5.2.3	最小拍控制系统的稳定性	127
5.2.4	最小拍控制系统的物理可实现性	131
5.2.5	最小拍控制系统的局限性	131
5.3	最小拍无纹波系统设计	133
5.3.1	最小拍无纹波控制器设计	133
5.3.2	最小拍无纹波设计的改进	136
5.4	大林算法	141
5.4.1	大林算法的基本形式	142
5.4.2	振铃现象及消除	144
5.5	Smith 数字控制器设计	147

5.6	数字控制器的实现	150
5.6.1	直接程序法	150
5.6.2	串行程序法	151
5.6.3	并行程序法	152
5.6.4	数字控制器设计	153
第 6 章	计算机控制系统的状态空间设计	156
6.1	线性离散系统状态方程	156
6.1.1	线性离散系统的离散状态空间表达式	156
6.1.2	由差分方程求离散状态空间表达式	157
6.1.3	由 z 传递函数求离散状态空间表达式	158
6.1.4	连续状态方程的离散化	164
6.1.5	线性离散系统离散状态方程的求解	168
6.1.6	线性离散系统的 z 特征方程及 z 传递矩阵	169
6.2	离散系统的能控性和能观性	170
6.2.1	系统的能控性及其判别	171
6.2.2	系统的能观性及其判别	172
6.3	离散状态空间设计法	174
6.4	采用状态空间的极点配置设计法	180
6.4.1	按极点配置设计控制规律	181
6.4.2	按极点配置设计状态观测器	183
6.4.3	按极点配置设计控制器	187
6.4.4	跟踪系统设计	191
第 7 章	机电系统计算机控制软件算法	196
7.1	概述	196
7.1.1	插补的概念	196
7.1.2	插补的分类	197
7.2	脉冲增量插补算法	198
7.2.1	逐点比较法	198
7.2.2	数字积分法	206

目 录

Contents

7.2.3	脉冲增量插补算法的速度控制	213
7.3	数据采样插补算法	215
7.3.1	数据采样法简介	215
7.3.2	数据采样法直线插补	216
7.3.3	数据采样法圆弧插补	217
7.3.4	数据采样法的速度控制	219
7.4	数字滤波方法	223
7.4.1	数字滤波的原理	223
7.4.2	数字滤波方法简介	224
第8章	计算机控制系统的工程设计与实现	228
8.1	计算机控制系统的基本设计原则与步骤	228
8.1.1	计算机控制系统的基本设计原则	228
8.1.2	计算机控制系统设计的一般步骤	230
8.2	计算机控制系统的硬件设计	233
8.2.1	主机机型的选择	234
8.2.2	过程通道的设计	236
8.2.3	变送器及执行器的选取	247
8.3	计算机控制系统的软件设计	255
8.3.1	软件设计的主要内容	255
8.3.2	数字控制器程序实现的性能分析	257
8.4	计算机控制系统的可靠性与抗干扰技术	260
8.4.1	提高系统可靠性的措施	260
8.4.2	干扰的来源及传播途径	262
8.4.3	消除或抑制干扰影响的方法	262
第9章	机电控制系统的计算机仿真	267
9.1	MATLAB 软件简介	267
9.1.1	MATLAB 的发展历程及特色	267
9.1.2	MATLAB 的桌面	267
9.1.3	MATLAB 的组成	268

9.1.4	MATLAB 的基本语法	270
9.1.5	Simulink 简介	271
9.1.6	Simulink 的环境与建模	272
9.2	控制系统的建模	274
9.2.1	控制系统的数学模型	274
9.2.2	数学模型的转换	277
9.2.3	动态结构图数学模型	278
9.2.4	环节方框图模型的化简	279
9.3	连续系统模型的离散化	283
9.4	控制系统的分析方法	284
9.4.1	控制系统的时域分析	284
9.4.2	控制系统的频域分析	286
9.4.3	根轨迹图	289
9.5	控制系统的 Simulink 仿真	290
9.5.1	设置 Simulink 仿真参数	290
9.5.2	控制系统 Simulink 仿真	291
第 10 章	计算机控制系统的工程应用	296
10.1	啤酒发酵计算机过程控制系统	296
10.1.1	啤酒发酵工艺及控制要求	296
10.1.2	系统总体方案设计	298
10.1.3	计算机测控管理系统硬件设计	299
10.1.4	计算机测控管理系统软件设计	300
10.2	磁盘驱动器读写计算机控制系统	302
10.2.1	磁盘驱动器读写系统简介及控制要求	302
10.2.2	方案分析	303
10.2.3	控制方案	304
附录	部分函数的 z 变换和拉氏变换表	308
	参考文献	309



第1章 绪论

【本章知识点】

1. 机电系统的定义、组成。
2. 计算机控制系统的基本概念和组成。
3. 计算机控制系统的分类和发展趋势。
4. 计算机控制系统的特点。
5. 计算机控制系统的要求。

计算机控制技术的高速发展，为机电系统的计算机控制带来了新的活力，使机电一体化系统向智能装备和机器人化方向发展，现代工业更趋向于自动化、柔性化、智能化高效生产。计算机控制系统利用计算机的软硬件替代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理论支撑，促进了计算机控制技术水平的迅速提高。

本章首先对机电系统进行阐述，主要介绍计算机控制系统的基本概念、组成、分类和发展趋势等。

1.1 机电系统概述

机械技术是一门古老的学科，从机械的发展史可见，机械代替人类从事各种有益的工作，弥补了人类体力和能力的不足。随着科学技术的飞速发展，特别是生产工艺的发展，新的学科和新的技术不断产生，为机电产品的革新带来了新的活力。一系列高新技术，如微电子技术、信息技术、自动化技术、生物技术、传感技术、光纤技术等，都以空前的速度向前发展，同时，新材料、新能源的运用，也使得高新技术逐渐向传统产业渗透，并引起传统产业的深刻变革。为了实现各种复杂的任务，人们认识到很多问题单从机械角度进行解决是越来越难，机械系统已不再是单纯的机械结构了，机械技术更多的是与其他先进技术结合在一起，组成一个有机体，并逐渐形成以控制技术为支柱的机电系统。因此，机电系统是机械技术与微电子技术、计算机技术、信息技术、控制技术等相互结合而产生的，人们习惯上称这类系统为机电一体化系统（简称机电系统）。

在机电系统中，“控制”更是无处不在，任何技术设备、机器和生产过程都必须按照预定的要求运行。如数控机床要加工出高精度的零件，就必须保证刀架的位置准确地跟随指令给；热处理炉要提供合格的产品，就必须严格控制炉温等，这些要求都是由控制系统来完成的。控制系统是为了实现某特殊功能而装配起来的一组物理元件。控制系统可以是电的、机械的、液压的、气动的、热的、生物医学的，或者是这些系统的某些组合。一般来说，机电

系统是机械和电的组合系统，它的动力部分是电气的；经过电气系统与工艺过程或被控现象相联系的是机械设备。机械设备与电气动力相结合的系统称为机电系统。机电系统是运动控制系统的基本环节。

机械部分是机电系统的支撑，机械设备包括被控对象和机械传动两部分内容。机械部分的传动装置，要求有较高的定位精度和良好的动态响应特性。常用的机械传动部件主要包括齿轮传动、带传动、丝杠传动、挠性传动、间隙传动和支撑与轴系等，主要实现传递转矩和转速功能。电气动力包括能量放大和执行器两部分内容。能量放大一般是电压放大、电流放大和功率放大，这些统称为驱动器。执行器一般是指伺服电动机、步进电动机、电磁阀和电磁铁等，根据输出信号的类型，它常分为线性执行器和数字式执行器两类，同时与之相匹配的是线性驱动器和脉冲驱动器。

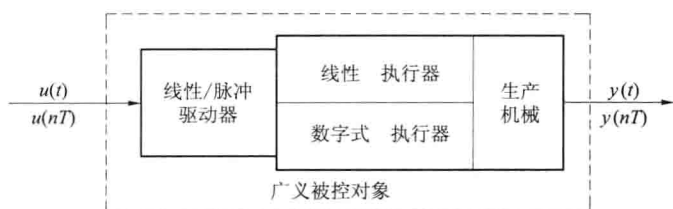


图 1-1 机电系统的结构

机电系统的结构如图 1-1 所示。

图中 $u(t)$ 为连续时间控制信号， $u(nT)$ 为离散时间控制信号， T 是采样周期（或控制周期）， n 为整数。机电系统广泛存在于国防军事装备、航空航天设备、民用设备、机电产品和生产过程自动化中。而电气系统中的

电流、电压、电感和电容；力学系统中的位置、速度、转角；化工热力学中的分子数、温度、压力、流量等和机电系统的状态函数是相似的，所以，机电系统的计算机控制可以采用相似性理论进行分析研究。

在机械工业领域，存在大量以机械装置或机器为控制对象、以电子装置（包括微处理器）为控制器的各式各样的控制系统。这类系统的受控物理量通常是机械运动，如位移、速度、加速度、力或力矩、运动轨迹，以及机器操作和加工过程等。当今，计算机已成了这些系统控制器的主流，而且这些设备大都具备机电一体化设备的特征。因此，可以认为这些系统为机械工程领域的机电一体化控制系统。在机械工程领域中，典型的机电一体化控制系统有伺服传动系统、数字控制系统、顺序控制系统、过程控制系统等。

伺服传动系统的输入为模拟或数字的电信号，输出（或受控物理变量）是机械位置（位移）和机械位移的变化率（速度），是一种最基本的机电控制系统，要求输出信号能够稳定、快速、准确地复现输入信号的变化规律。伺服传动系统主要用于机械设备位置和速度的动态控制。

数字控制系统是根据零件编程或路径规划，由计算机生成数字形式的指令，再驱动机械运动的一种控制系统，称为数字控制系统，简记为 NC 系统。NC 系统可分为点位控制、直线运动控制以及连续路径或轮廓控制。把采用计算机作为控制器的系统，称为计算机数控系统，简记为 CNC。CNC 系统的优点是高柔性，通过改变计算程序，便可制造出不同的工件。

顺序控制系统是按照动作的逻辑次序来执行一组操作的控制系统。在顺序控制系统中，每一步操作都是一个简单的二进制作，如操作开关的通断或制造设备专业控制器的启停等。当前，普遍应用可编程程序控制器作为顺序控制器，因为其具有足够数量的输入/输出（I/O）端口，并配备专用的逻辑编程语言，便于实现顺序控制。

过程控制系统是根据生产流程进行设备的状态数据采集与巡回检测，然后根据预定的控制规律对生产过程进行控制，过程控制在化工、轻工、冶金、食品、制药、机械、电力以及

建材等行业得到广泛应用。在以上行业的生产过程中所采用的工业控制系统，统称为过程控制系统。柔性制造单元、计算机集成制造等自动化制造系统是典型的机械制造过程控制系统。过程控制系统的受控变量是生产过程的物理量，可以是离散的、连续型的，或者半连续型的。

其中，伺服传动控制和数字控制系统主要是解决机械设备的动态控制问题，因此，也可统称为动态控制。顺序控制是机器操作步骤的控制，也是一种加工过程的控制。动态控制经常采用反馈控制模式，而顺序控制是逻辑控制模式，它们都可以理解为某种物理过程的控制系统。生产过程控制是更高层次的控制，它可通过生产规划和调度达到生产量最大的目标。这些机电控制系统不仅应用于数控机床、工业机器人等自动化制造、装配和检测设备的单机自动化的控制，还应用于自动化制造单元和系统的过程控制。

1.2 计算机控制系统的基本概念、组成和特点

计算机控制是以控制理论与计算机技术为基础的一门新的工程科学技术。

计算机具有信息存储记忆、逻辑推断和快速数值计算功能，伴随计算机技术的不断发展，计算机技术在机电系统中起着越来越重要的作用，计算机控制系统已成为工业控制的主流系统，广泛应用于各种生产过程和生产机械，并深入到各个领域，快速向集散型、网络化的方向发展。机电系统计算机控制是指机电系统、被控现象（或过程）、信息获取和处理（测量技术）、计算机接口等部分，在数字计算机的支持下，以系统的性能指标为准则，用计算机系统集成的观点进行有效组合而形成的计算机控制系统。

计算机控制系统是以电子计算机（主要是微型计算机）为控制器，用以取代常规的模拟检测、调节、显示、记录等仪器设备，使被控对象的动态过程按规定方式和技术要求运行，以完成既定工作任务的自动控制系统。严格地讲，计算机控制系统是建立在计算机控制理论基础上，以计算机为核心环节的自动控制系统。与常规模拟控制相比，计算机参与的控制，也称为数字控制系统。

计算机控制系统通常是一个实时控制系统，如图 1-2 所示。计算机控制系统由硬件和软

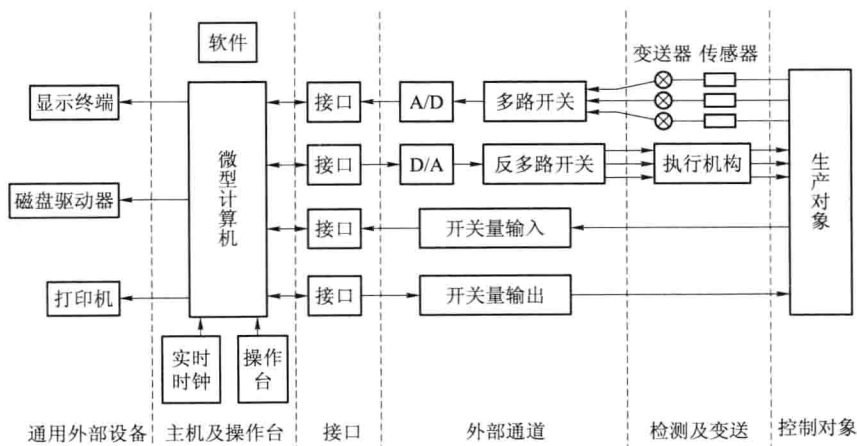


图 1-2 计算机控制系统的硬件组成

件两部分组成，硬件是指计算机本身及其外围设备实体，软件是指管理计算机的程序以及过程控制应用程序。

1. 计算机控制系统的硬件组成

计算机控制系统的硬件一般由被控对象、检测环节、执行器、输入/输出通道、I/O 接口、计算机、外部设备和操作台组成。

被控对象：又称控制对象，是指系统所要控制的机器或设备，如数控机床、工业机器人、各种自动机械、仪器仪表等。

检测环节：常见的被控对象的控制参数大多为连续变化的物理量，如速度、加速度、位移、力或力矩等，在实时控制过程中，控制计算机通过检测元件把非电量信号转变成电信号，再由变送器把这些电信号转换成统一的标准（0~5 V 或 4~20 mA）信号，然后再送入计算机。一般由传感器来完成。传感器的种类很多，按照被控对象的不同，可分为位移传感器、位置传感器、速度传感器、力传感器、转矩传感器等。

执行器：是对机械作用的工作部分，主要通过产生力学运动来改变机械状态。执行器按动力源可分为电气式、液压式、气动式及其他方式。在电气执行器中，常用的有控制用的电动机（交/直流伺服电动机、步进电动机）、磁致伸缩器件、压电元件、超声波电动机和电磁线圈（电磁铁）等。液压式执行元件主要包括往复运动的油缸、回转油缸、液压马达（电液伺服马达、电液步进马达）等，其中油缸占绝大多数。如数控机床的主轴转动，工作台的进给运动，工业机器人的手臂升降、回转和伸缩运动等都要用到执行器。

输入/输出通道：是计算机与生产对象或过程（被控对象）之间传递和交换信息的连接通路，分为模拟输入、输出通道，以及数字量和开关量输入、输出通道。它们负责计算机与被控对象的信息传递与变换。模拟量输入通道把被控对象的参数，通过 A/D 转换成计算机可以识别的数字代码，再输入计算机中。模拟量输出通道是将计算机根据内部规定的控制规律和输入通道采集的参数，经计算得出的控制指令和数据，通过 D/A 转换成可以对被控对象进行控制的信号，实现对生产过程的控制。

I/O 接口：是主机和通道的中介部分，负责实现 CPU 通过系统总线把 I/O 电路和外围设备联系在一起的设备。目前大部分接口都是可编程的，常用的接口有并行接口芯片 8255、串行接口芯片 8155、直接数据传送接口芯片 8237 等。

计算机：是计算机控制系统的核心，其关键部件是 CPU。由 CPU 通过接口向系统各部分发出各种命令，同时对被控对象的参数进行巡回检测、数据处理，以及控制计算、逻辑判断等。计算机根据输入通道发送来的被控对象的运行状态，按照预先根据控制规律（数学模型）设计的控制程序，自动地进行信息处理、分析和计算，作出相应的控制决策或调解，并通过输出通道发出控制指令。目前，机电系统的控制装置广泛采用计算机技术，包括成本低、集成度高、可灵活组成各种智能控制装置的单片机（Single-chip Microcomputer），现代工业控制中普遍应用的可编程逻辑控制器（Programmable Logic Control, PLC），先进的数字信号处理器（Digital Signal Processing, DSP）等。

外部设备：包括输入设备、输出设备和外部存储器等。输入设备用来输入程序和数据，常用的输入设备有键盘、纸带输入机等。输出设备用来把各种信息和数据以数字、曲线、字符串等人们容易接受的形式，提供给操作人员，便于及时了解控制过程情况。常用输出设备有打印机、记录仪、显示器、纸带穿孔机等。外存储器主要用于存储系统程序和数据。如磁



带装置、磁盘驱动器、移动硬盘、优盘等。

操作台：又称监控台，主要包括监视、控制按钮和指示灯等，被控对象是机械机构或过程。用来实现操作人员与控制计算机“对话”，了解生产过程状况，允许修改控制系统参数，便于在发生生产事故时进行人工干预。主要由作用开关、功能键、显示器 CRT 或数码显示器 LED、数字键等组成。

2. 计算机控制系统的软件

若硬件是计算机控制系统的躯体，软件则是计算机控制系统的大脑和灵魂，是实现人的思维与硬件对话的桥梁。软件由系统软件和应用软件组成。

系统软件通常包括程序设计系统、操作系统、语言处理程序（编译程序）等。系统软件具有一定的通用性，一般由计算机生产厂家提供。

应用软件通常指根据用户要解决的实际问题所编制的各种程序，在计算机控制系统中，则是指完成系统内各种控制任务的程序。例如巡回检测与数据处理程序、控制算法程序、报警及事故处理程序、打印和绘图程序等。

计算机控制系统与通常的连续控制系统的差别在于，控制规律是由计算机来实现的。由于计算机具有很强的计算、比较及存储信息的能力，因此它可实现过去的连续控制难以实现的更为复杂的控制规律，如非线性控制、逻辑控制、自适应和自学习控制等。

控制算法是以控制理论为基础的，由于计算机控制系统中包含计算机，计算机中用到的数据都是数字信号，因此，在计算机控制系统中采用离散系统理论进行分析和设计。控制算法包括：

(1) 程序控制和顺序控制

程序控制是指被控制量按预先规定的时间函数变化，它属于开环控制方式，是时间的函数。顺序控制可以看作是程序控制的扩展，相当于多个程序控制的相互连接和转换，即从一个程序控制，按规定的条件转换到另一个程序控制，而且每次设定值的给出，不仅取决于时间，还取决于对以前的控制结果的逻辑判断。

(2) 比例积分微分控制（简称 PID 控制）

调节器的输出是调节器输入的比例、积分、微分的函数。PID 控制是现在应用最广、最为广大工程技术人员熟悉的技术。PID 控制结构简单、参数容易调整，因此，无论模拟调节器或者数字调节器，多数使用 PID 控制规律。

(3) 最少拍控制

最少拍控制的性能指标是要求设计的系统在尽可能短的时间里完成调节过程。最少拍控制通常用在数字随动系统的设计中。

(4) 复杂规律的控制

生产实践中，控制系统除了给定值的输入外，还存在大量的随机扰动。另外，对性能指标的要求，不仅是过渡过程的品质，还包括能耗最小、产量最高、质量最好等综合性指标。

对于存在随机扰动的系统，仅用 PID 控制是难以达到满意的性能指标的，因此，针对生产过程的实际情况，可以引进各种复杂规律的控制。例如串级控制、前馈控制、纯滞后补偿控制、多变量解耦控制、最优控制、自适应控制、自学习控制等。这些复杂控制规律的实现，通常需要高效的控制算法和高性能的计算机。