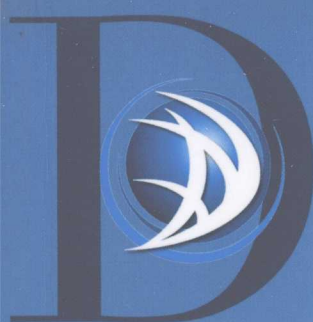


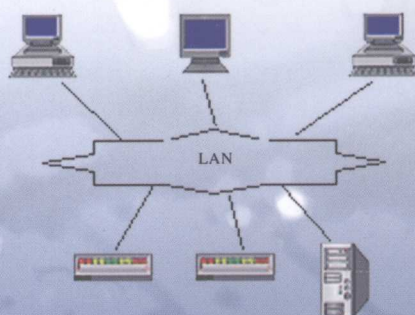


DIANQI
XINXILEI

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

计算机控制系统

■ 李华 范多旺 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费
电子课件

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

计算机控制系统

李 华 范多旺 魏文军 侯 涛 编著

方华京 主审

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统 / 李华, 范多旺, 魏文军, 侯涛编著. — 北京: 机械工业出版社, 2007.4

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

ISBN 958-7-11-21091-7

I. ①计... II. ①李... ②范... ③魏... ④侯... III. 计算机控制系统

统一书号: 15.1533

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第030366号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 王秋菊 版式设计: 张世英 责任校对: 李秋菊

封面设计: 张 雷 责任印制: 杨 峰

北京机械工业出版社印刷厂印刷

2007年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm, 12印张, 447千字

标准书号: ISBN 958-7-11-21091-7

定价: 20.00元



凡购本书, 如蒙惠顾, 请向本社或各分社、门市部、书店、新华书店订购。

邮购部电话: (010) 88379311

发行部电话: (010) 88379311

编辑部电话: (010) 88379311

机械工业出版社

本书全面、系统地阐述了计算机控制系统的结构、原理、设计和应用技术。

全书共分 11 章, 包括: 计算机控制系统概述、线性离散系统的数学描述和分析方法、计算机控制系统的多种控制算法、过程输入输出通道、网络控制技术、控制软件设计、控制系统的计算机仿真以及计算机控制系统的设计与工程实现等内容。本书注重了先进性、系统性和实用性。①增加了内模控制、模型预测控制等先进控制内容; ②加强了网络控制的内容; ③每章附有大量的实例, 并增加大量 MATLAB 仿真等实践内容, 以利于学生实践能力、创新能力的培养和锻炼。

本书配有免费电子课件, 欢迎选用本书作教材的老师索取, 电子邮箱: wbj@mail.machineinfo.gov.cn。

本书可作为高等院校自动化、电气工程、机械电子、计算机应用等专业的高年级本科生教材和控制学科以及相关学科的研究生教材; 也可供有关技术人员参考和自学。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机控制系统/李华, 范多旺, 魏文军, 侯涛编著. —北京: 机械工业出版社, 2007. 4

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-21091-7

I. 计... II. ①李... ②范... ③魏... ④侯... III. 计算机控制系统—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 030366 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王保家 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2007 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18 印张 · 441 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-21091-7

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379711

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是作者综合了多年从事教学工作的经验和科研工作的研究成果,并汲取了近年来国内外计算机控制系统设计的新理论、新技术而精心编写的。

本书全面、系统地阐述了计算机控制系统的结构、原理、设计和应用技术。

全书共 11 章。第 1 章介绍了计算机控制系统的组成、特点、类型、性能指标以及计算机控制系统的发展概况和趋势;第 2 章介绍了线性离散系统的数学描述和分析方法,包括信号变换原理,离散控制系统的数学描述方法、脉冲传递函数和线性离散系统的稳定性、稳态性能和暂态性能分析等;第 3 章介绍了计算机实现开环数字程序控制方法,包括逐点比较法插补原理和步进电动机控制技术;第 4 章介绍了常规控制技术,包括数字 PID、最少拍控制、纯滞后控制等算法;第 5 章介绍了运用现代控制理论,基于状态空间模型的极点配置设计法和最优设计法;第 6 章介绍了内模控制和模型预测控制等先进控制技术;第 7 章介绍了过程输入输出通道的结构、组成器件和设计方法等;第 8 章计算机网络控制中,重点介绍控制网络的特点以及集散型控制系统(DCS)和现场总线以及现场总线控制系统(FCS)的体系结构等;第 9 章介绍了计算机控制系统应用软件的设计方法,重点介绍了控制软件的特点,控制系统的数字处理方法;第 10 章介绍了 MATLAB 工具的使用和系统仿真的基本概念,以及控制系统仿真应用实例;第 11 章是在前 10 章对计算机控制系统各部分学习掌握的基础上,介绍了计算机控制系统的基本设计方法及在工程实现中的软、硬件抗干扰技术,最后结合作者科研成果,给出了计算机控制系统的设计实例。

本书在编写过程中,注重了以下几点:

1) 注重教材内容的更新。依照国家教育改革的指导方针,本教材缩减或删除了应用较少和技术陈旧的内容,增加了学科前沿的新理论、新技术和新应用。如增加了内模控制、预测控制等新算法的介绍;增大了网络控制技术等工程设计的内容;增加了 MATLAB 和 Simulink 控制系统仿真应用等内容。加强对学生创新能力和实践能力的培养和锻炼。

2) 注重教材的组织结构。本书力求全面系统地介绍计算机控制系统的基础理论知识和应用技术。力争做到:重点突出、层次分明、条理清晰。在教材的组织结构上,改变了以往计算机控制技术教材均以某种计算机机型为主流机的狭义的结构组织方式。

3) 注重理论与实践的结合。根据工科教材的特点,重点强调设计原理和实际应用方法,避免繁琐的数学公式推导,加大应用实例的介绍。书中列举了大量的例题和控制系统仿真的内容,并且每章后附有相应的习题和思考题,以利于读者掌握、理解和自学。本书给出的控制系统应用实例中一部分为教师所承担的科研项目,作为应用案例融入教材中,书中全部仿真均通过调试。

本书第 1、2、4、6 章由李华完成,第 3、7 章由范多旺完成,第 5、11 章由魏文军完成,第 8、9、10 章由侯涛完成,李华和范多旺统稿;华中科技大学的方华京教授担任主审;研究生杨龙飞、侯岩松、王世祥、魏玉莉、程伟、马虬等同学绘制了全书的插图,并参与了仿真实验和部分校稿工作;在本书编写过程中,始终得到机械工业出版社高等教育分社的大

力支持和帮助。书中参考了有关专著、教材和一些专家的应用成果,在此谨向所有支持和帮助本书的出版工作的有关人员、参考文献的作者致以诚挚的感谢。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师索取,电子邮箱:wbj@mail.machineinfo.gov.cn。

当前计算机技术和自动化技术发展迅速,控制领域不断有新理论和新技术涌现。鉴于作者的水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者指正。

编者

目 录

前言

第1章 计算机控制系统概述 1

- 1.1 计算机控制系统的基本概念 1
- 1.2 计算机控制系统的组成 2
 - 1.2.1 计算机控制系统硬件组成 2
 - 1.2.2 计算机控制系统软件组成 5
 - 1.2.3 计算机控制系统的特点 5
- 1.3 计算机控制系统的典型形式 6
 - 1.3.1 数据采集和监视系统 6
 - 1.3.2 直接数字控制系统 7
 - 1.3.3 监督控制系统 7
 - 1.3.4 集散控制系统 7
 - 1.3.5 现场总线控制系统 8
- 1.4 计算机控制系统的性能及其指标 8
 - 1.4.1 计算机控制系统的稳定性 8
 - 1.4.2 计算机控制系统的能控性和能观测性 9
 - 1.4.3 控制系统的动态指标 9
 - 1.4.4 控制系统的稳态指标 10
 - 1.4.5 控制系统的综合指标 10
- 1.5 计算机控制系统的发展趋势 11
- 本章小结 13
- 习题和思考题 13

第2章 线性离散系统的数学描述和分析

方法 14

- 2.1 信号变换理论 14
 - 2.1.1 连续信号的采样和量化 14
 - 2.1.2 采样定理 16
 - 2.1.3 采样信号的复现和采样保持器 17
- 2.2 线性离散系统的数学描述方法 19
 - 2.2.1 差分方程的定义 19
 - 2.2.2 差分方程的求解 19
- 2.3 线性离散系统的 Z 变换分析法 20
 - 2.3.1 Z 变换的定义 20
 - 2.3.2 Z 变换法 21

- 2.3.3 Z 变换的基本定理 22
- 2.3.4 Z 反变换 24
- 2.3.5 用 Z 变换解差分方程 26
- 2.4 脉冲传递函数 27
 - 2.4.1 脉冲传递函数的概念 27
 - 2.4.2 离散系统框图的变换 27
- 2.5 线性离散系统的稳定性分析 31
 - 2.5.1 s 平面到 z 平面的变换 31
 - 2.5.2 z 平面的稳定性条件 31
 - 2.5.3 朱利稳定性判据 33
 - 2.5.4 W 变换的稳定性判据 34
- 2.6 线性离散系统的稳态误差分析 36
- 2.7 线性离散系统的动态响应分析 39
- 本章小结 41
- 习题和思考题 42

第3章 开环数字程序控制 44

- 3.1 数字程序控制基础 44
 - 3.1.1 运动轨迹插补的基本原理 44
 - 3.1.2 数字程序控制系统分类 45
- 3.2 逐点比较法插补原理 46
 - 3.2.1 逐点比较法直线插补 46
 - 3.2.2 逐点比较法圆弧插补 49
- 3.3 步进电动机控制技术 54
 - 3.3.1 步进电动机工作原理 54
 - 3.3.2 步进电动机的脉冲分配程序 55
 - 3.3.3 步进电动机的速度控制程序 56
- 本章小结 58
- 习题和思考题 58

第4章 计算机控制系统的常规控制

技术 60

- 4.1 数字PID控制 60
 - 4.1.1 模拟PID调节器 60
 - 4.1.2 数字PID控制器 62
 - 4.1.3 数字PID控制算法的改进 64
 - 4.1.4 数字PID控制器参数的整定 68

4.2 最少拍控制	71	6.2.4 模型预测控制的工程设计	142
4.2.1 最少拍控制的基本原理	72	本章小结	146
4.2.2 闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$ 的结构设计	72	思考题和习题	147
4.2.3 最少拍有纹波控制器的设计	76	第7章 输入输出过程通道	148
4.2.4 最少拍无纹波控制器的设计	78	7.1 过程通道的类型和功能	148
4.2.5 最少拍系统的改进措施	81	7.2 数字量输入输出通道	148
4.3 纯滞后控制	85	7.2.1 数字量输入通道	148
4.3.1 施密斯预估控制	85	7.2.2 数字量输出通道	150
4.3.2 达林算法	88	7.3 模拟量输入通道	151
本章小结	93	7.3.1 模拟量输入通道的一般组成	151
习题和思考题	94	7.3.2 模拟量输入通道中常用的器件和电路	151
第5章 计算机控制系统的离散状态空间设计	96	7.3.3 模拟量输入通道设计	159
5.1 状态空间描述的基本概念	96	7.4 模拟量输出通道	163
5.1.1 离散时间系统的状态空间描述	96	7.4.1 模拟量输出通道的结构形式	163
5.1.2 离散时间系统的能控性	97	7.4.2 模拟量输出通道中常用的器件和电路	164
5.1.3 离散时间系统的能观性	98	7.4.3 模拟量输出通道设计	171
5.2 采用状态空间模型的极点配置设计	98	本章小结	173
5.2.1 按极点配置设计控制规律	99	习题和思考题	173
5.2.2 按极点配置设计状态观测器	100	第8章 计算机网络控制	175
5.2.3 按极点配置设计控制器	103	8.1 计算机工业网络基础	176
5.3 采用状态空间模型的最优化设计	107	8.1.1 网络功能及分类	176
5.3.1 最优控制规律设计	107	8.1.2 网络拓扑结构	176
5.3.2 状态最优估计器设计	112	8.1.3 传输介质	178
5.3.3 LQG 最优控制器设计	116	8.1.4 网络访问控制	179
本章小结	117	8.1.5 信息交换技术	180
习题和思考题	117	8.1.6 网络协议及其层次结构	181
第6章 计算机控制系统的先进控制技术	119	8.1.7 网络互连	183
6.1 内模控制	119	8.1.8 工业网络的选型考虑	184
6.1.1 内模控制基本原理	119	8.2 计算机网络控制技术概述	186
6.1.2 内模控制器的设计	120	8.2.1 控制网络的特点	186
6.1.3 内模 PID 控制	123	8.2.2 控制网络与信息网络的区别	186
6.1.4 内模控制的离散算式	126	8.2.3 控制网络的类型及其相互关系	187
6.1.5 内模控制的仿真实验	127	8.3 集散控制系统	188
6.2 模型预测控制	129	8.3.1 集散控制系统的产生与发展	188
6.2.1 模型预测控制基本原理	129	8.3.2 集散控制系统的特点	190
6.2.2 模型算法控制	130	8.3.3 集散控制系统的体系结构	192
6.2.3 动态矩阵控制	136	8.4 现场总线控制系统	193
		8.4.1 现场总线控制系统概述	193
		8.4.2 几种有影响的现场总线	197

8.4.3 现场总线控制系统的体系结构 ...	201	10.2.2 控制系统的模型转换	228
本章小结	202	10.2.3 连续系统模型离散化	229
习题和思考题	202	10.3 控制系统的计算机仿真与应用	231
第9章 计算机控制系统应用软件	203	10.3.1 控制系统的计算机仿真	231
9.1 计算机控制系统的软件概念	203	10.3.2 控制系统的计算机仿真应用	235
9.1.1 控制软件的特点	203	本章小结	242
9.1.2 控制应用软件体系结构	204	习题和思考题	242
9.1.3 软件工程方法概述	205	第11章 计算机控制系统的设计与	
9.2 计算机控制系统的应用软件设计	206	工程实现	243
9.2.1 控制系统的输入输出软件	206	11.1 计算机控制系统设计的原则与	
9.2.2 控制系统的运算控制软件	208	步骤	243
9.2.3 控制系统的监控组态软件	209	11.1.1 系统设计的原则	243
9.2.4 控制系统的操作显示软件	210	11.1.2 系统设计的步骤	244
9.3 计算机控制系统的数据处理技术	212	11.2 计算机控制系统抗干扰技术	247
9.3.1 系统误差的校正	212	11.2.1 干扰的来源与种类	247
9.3.2 数字滤波	213	11.2.2 硬件抗干扰技术	248
9.3.3 非线性处理	215	11.2.3 软件抗干扰技术	256
9.3.4 标度变换方法	216	11.3 计算机控制系统设计实例	259
9.3.5 越限报警处理	218	11.3.1 铁路车站全电子信号控制系统	
本章小结	218	设计	259
习题和思考题	218	11.3.2 真空钎焊炉温度控制系统	264
第10章 控制系统计算机辅助设计与		本章小结	269
仿真	219	习题和思考题	269
10.1 控制系统仿真的基本概念	219	附录	270
10.1.1 控制系统仿真定义	219	附录 A 常用函数的 Z 变换	270
10.1.2 仿真模型与仿真研究	219	附录 B 控制系统工具箱库函数	271
10.1.3 MATLAB 软件简介	220	附录 C 部分例题 MATLAB 仿真参考程序	
10.2 控制系统的数学描述与建模	225	清单	274
10.2.1 控制系统的数学模型	225	参考文献	278

第1章 计算机控制系统概述

随着计算机技术的迅速发展,计算机在控制工程领域中发挥着越来越大的作用。计算机控制系统是计算机技术与自动控制理论、自动化技术以及检测与传感技术、通信与网络技术紧密结合的产物。利用计算机快速强大的数值计算、逻辑判断等信息加工能力,计算机控制系统可以实现常规控制以外更复杂、更全面的控制方案。计算机为现代控制理论的应用提供了有力的工具。同时,计算机控制系统应用于工业控制实践所提出来的一系列理论与工程上的问题,又进一步促进和推动了控制理论和计算机技术的发展。计算机在工业领域正成为不可缺少和不可替代的强有力的控制工具。可以这样说,目前所有的控制系统都是基于计算机控制来实现的,而所有开发的控制系统都是以计算机控制为基础的。因此,计算机技术的发展为计算机控制系统的应用开辟了无限广阔的空间。

由于计算机的微型化、网络化、性能价格比的上升和软件的功能日益强大,计算机控制系统几乎可以出现在任何场合:实时控制、监控、数据采集、信息处理、数据库等。计算机不仅可用于单个控制回路取代常规的模拟调节器或控制器,而且还经常被用于高度现代化的工业生产控制系统中。其应用领域非常广泛,不但是国防、航空航天等高精尖学科必不可少的组成部分,而且在现代化的工、农、医等领域也已发挥着越来越重要的作用。随着计算机技术、高级控制策略、现场总线智能仪表和网络技术的发展,计算机控制技术水平也必将大大提高。因此,掌握计算机控制技术,对于实现生产过程自动化是十分重要的。

本章主要介绍计算机控制系统的基本概念、结构组成、特点、分类以及计算机控制系统的发展概况和趋势。

1.1 计算机控制系统的基本概念

计算机控制系统就是利用计算机来实现生产过程自动控制的系统。

所谓自动控制,是在没有人直接参与的情况下,通过控制器使生产过程自动地按照预定的规律运行。随着计算机技术的迅速发展,计算机已成为自动控制技术不可分割的重要组成部分。

图1-1所示为计算机控制系统基本结构。

工业生产中的自动控制系统随控制对象、控制算法和采用的控制器结构的不同而有所差别。控制系统为了获得控制信号,要将被控量 y 和给定值 r 相比较,得到偏差信号 $e=r-y$ 。然后直接利用 e 来进行控制,使系统的偏差减小直到消除偏差,使被控量等于给定值。这种控制,由于控制量是控制系统的输出,使被控制量的变化值又反馈到控制系统的输入端,与作为系统输入量的给定值相减,所以称为闭环负反馈系统。

从图1-1可以看出,自动控制系统的基本功能是信号的传递、加工和比较。这些功能是由传感器的检测、变送装置、控制器和执行装置来完成的。控制器是控制系统中最重要的部分,它从质和量两方面决定了控制系统的性能和应用范围。如果把控制器用计算机系统来代

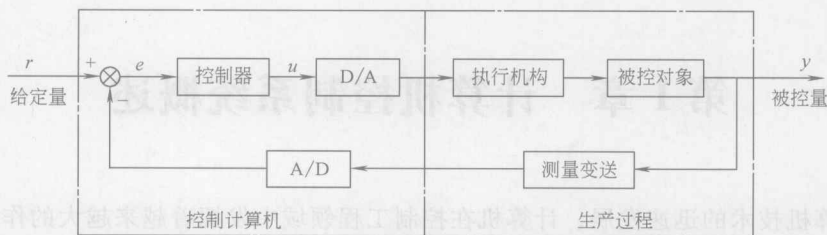


图 1-1 计算机控制系统基本结构

替，就构成了计算机控制系统。

计算机控制系统由控制计算机系统和生产过程两大部分组成。控制计算机是指按生产过程控制的特点和要求而设计的计算机系统，它可以根据系统的规模和要求选择或设计不同种类的计算机。生产过程包括被控对象、测量变送、执行机构、电气开关等装置。通常生产过程诸物理量都是模拟量的形式，而计算机采用的是数字信号，为此，两者之间必须通过模/数（A/D）转换器和数/模（D/A）转换器，以实现这两种信号之间的相互转换。

从本质上看，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：对来自测量变送装置的被控量的瞬时值进行检测和输入。
- 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，以完成控制任务。

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一个实时系统，但是一个实时控制系统必定是在线系统。

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，并对被控对象和设备本身的异常现象及时作出处理，通过执行机构控制被控对象，以达到预期的控制目标。

1.2 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由硬件和软件两部分组成。

1.2.1 计算机控制系统硬件组成

图 1-2 给出了计算机控制系统的硬件组成框图。计算机控制系统的硬件主要是由计算机系统（包括主机和外部设备）和过程输入输出通道、被控对象、执行器、检测变送环节等组成。

1. 计算机系统

计算机系统包括主机和外部设备。

主机是计算机控制系统的核心，主机根据过程输入设备送来的实时生产过程工作状况的各种信息以及预定的控制算法，自动地进行信息处理，及时地选定相应的控制策略，并实时

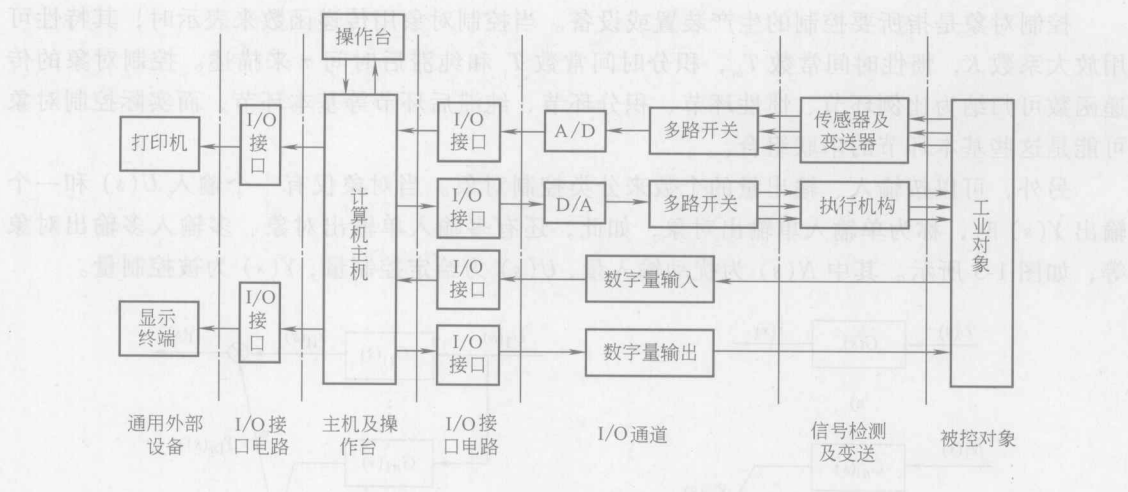


图 1-2 计算机控制系统的组成框图

地通过过程输出设备向生产过程发送控制命令。

外部设备可按功能分为输入设备、输出设备、通信设备和外存储器。

常用的输入设备有键盘、鼠标、数字化仪及专用操作台等，用来输入程序、数据和操作命令。

常用的输出设备有显示器（CRT）、打印机、绘图机和各种专用的显示台，它们以字符、曲线、表格、图形、指示灯等形式来反映生产过程工况和控制信息。

常用的外存储器有磁盘、磁带、光盘等，它们兼输入和输出两种功能，用于存放程序和数据。

通信设备的任务是实现计算机与计算机或设备之间的数据交换。在大规模工业生产中，为了实现对生产过程的全面控制和管理，往往需要几台或几十台计算机才能完成控制和管理任务。不同地理位置、不同功能的计算机及设备之间需要交换信息时，把多台计算机或设备连接起来，就构成了计算机通信网络。

2. 过程输入输出通道

系统计算机与工业对象之间的信息传递是通过过程输入输出通道进行的，它在两者之间起到纽带和桥梁作用。过程输入输出系统由输入/输出（I/O）通道（也称检测/控制通道）及接口、信号检测及变送装置和执行机构等组成。从信号传递的方向来看，又可分为过程输入通道和过程输出通道两部分。

常用的输入/输出接口有并行接口、串行接口等，输入/输出通道有模拟量输入/输出通道和数字量输入/输出通道。模拟量输入通道的作用是将检测变送装置得到的工业对象的生产过程参数变成二进制代码送给计算机；输出通道的作用则是将计算机输出的数字控制量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。数字量输入/输出通道的作用是完成编码数字输入输出，将各种继电器、限位开关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经由输出接口传送给生产过程中的各个开关、继电器等。

3. 控制对象

控制对象是指所要控制的生产装置或设备。当控制对象用传递函数来表示时,其特性可用放大系数 K , 惯性时间常数 T_m , 积分时间常数 T_i 和纯滞后时间 τ 来描述。控制对象的传递函数可归纳为比例环节、惯性环节、积分环节、纯滞后环节等基本环节,而实际控制对象可能是这些基本环节的串联组合。

另外,可以按输入、输出量的个数来分类控制对象。当对象仅有一个输入 $U(s)$ 和一个输出 $Y(s)$ 时,称为单输入单输出对象,如此,还有多输入单输出对象、多输入多输出对象等,如图 1-3 所示。其中 $N(s)$ 为扰动输入量, $U(s)$ 为给定控制量, $Y(s)$ 为被控制量。

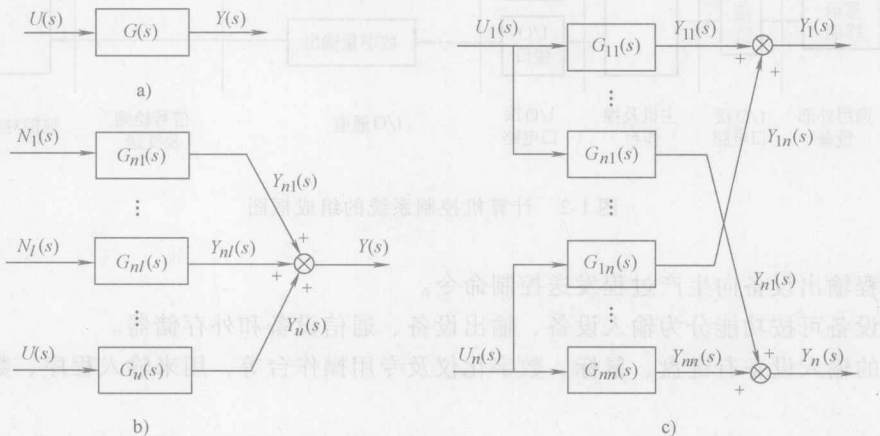


图 1-3 控制对象的输入输出

a) 单输入单输出对象 b) 多输入单输出对象 c) 多输入多输出对象

4. 执行机构

执行机构是控制系统中的重要部分,其作用是根据调节器的控制信号来改变输出的角度或直线位移,并改变被调介质的流量或能量,使生产过程满足预定的要求。执行机构又常称为执行器。执行器有适合大功率输出、快速运动、精确运动等不同用途的各种装置,按动力源一般可分为电动式、液压式和气动式三种。在电动执行机构中有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机和直接驱动电动机等实现旋转运动的电动机以及实现直线运动的直线电动机。电动执行机构由于动力源容易获得,使用方便,所以得到了广泛的应用。液压执行机构有液压缸、液压马达等,这些装置具有体积小、输出功率大等特点。气动执行机构有气缸、气动马达等,这些装置具有重量轻、价格便宜等特点。

5. 测量变送环节

测量变送环节通常由传感器和测量线路组成,其主要功能是将被检测的各种物理量转换成电信号,并转换成适用于计算机输入的标准信号。传感器作为获取被控信息的手段,是实现测试和自动控制的首要环节,其作用相当于人的“五官”,直接敏感外界信息,具有重要的地位和作用。传感器获取和转换信息的正确与否,关系到整个控制系统的准确度。如果传感器的误差很大,后面的处理设备再好,也难以实现准确的测试和控制。自动化程度越高,系统对传感器的依赖性就越大。传感器通常有温度传感器、压力传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器等。

计算机控制系统种类繁多,系统复杂程度也不尽相同,组成计算机控制系统的硬件组成也不同,设计者可根据实际情况进行选择。

1.2.2 计算机控制系统软件组成

计算机的硬件只能构成裸机,它只为计算机控制系统提供了物质基础。裸机只是系统的躯干,既无思维,又无知识和智能,因此必须为裸机提供或研制软件,才能把人的知识和思维用于对生产过程的控制。软件是计算机的程序系统,是指计算机控制系统中具有各种功能的计算机程序的总和。软件从功能上分为两大类:系统软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件是由计算机的制造厂商提供的,用来管理计算机本身的资源,方便用户使用计算机的软件。常用的有汇编语言、高级算法语言、操作系统、数据库系统、开发系统等。计算机设计人员负责研制系统软件,而计算机控制系统设计人员则要了解系统软件并学会使用,从而更好地编制应用软件。

2. 应用软件

应用软件是计算机控制系统设计人员针对某生产过程而编制的控制和管理程序,如输入程序、输出程序、控制程序、人机接口程序、打印显示程序等。应用软件的优劣,将给控制系统的功能、精度和效率带来很大的影响。

在计算机控制系统中,硬件和软件不是独立存在的,在设计时必须注意两者相互间的有机配合和协调,只有这样才能研制出满足生产要求的高质量的控制系统。

1.2.3 计算机控制系统的特点

在计算机控制系统中,被控制量通常是模拟量,而计算机本身的输入输出量都是数字量。因此,计算机控制系统大都具有数字—模拟混合式的结构。在图 1-1 所示计算机控制系统基本框图中,包括工作于离散状态下的计算机和具有连续工作状态的生产过程两部分。计算机控制系统中信号的具体变换与传输过程,如图 1-4 所示。

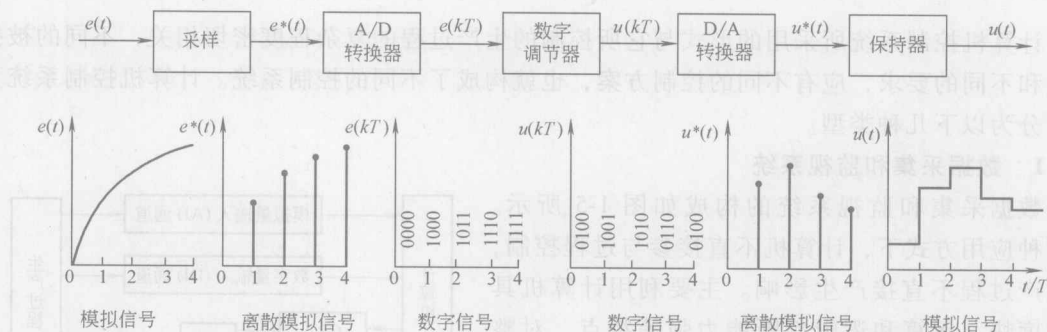


图 1-4 计算机控制系统中信号变换与传递

为了便于讨论,我们将图 1-4 中的信号和信号变换过程名称作一统一定义:

模拟信号——时间上、幅值上都连续的信号。如图 1-4 中 $e(t)$ 、 $u(t)$ 。

离散模拟信号——时间上离散而幅值上连续的信号。如图 1-4 中 $e^*(t)$ 、 $u^*(t)$ 。

数字信号——时间上离散,幅值也离散的信号,计算机中常用二进制表示。如图 1-4 中 $e(kT)$ 、 $u(kT)$ 。

采样——将模拟信号抽样成离散模拟信号的过程。

量化——采用一组数码（如二进制数码）来逼近离散模拟信号的幅值，将其转换成数字信号。

从图 1-4 可以清楚地看出计算机获得信号的过程，这个过程是由 A/D 转换器来完成的。从模拟信号 $e(t)$ 到离散模拟信号 $e^*(t)$ 的过程就是采样，其中 T 是采样周期。显然合理地选择采样周期是必要的， T 过大会损失信息， T 过小会使计算机的负担加重，即存储与运算的数据过多。

从离散模拟信号到数字信号的变化过程叫做量化，即用一组二进制数码来逼近采样的模拟信号值。显然，A/D 转换的过程就是一个量化的过程。由于计算机的字长是有限的，因此量化过程会带来量化误差。量化误差的大小取决于量化单位 q 。若被转换的模拟量满量程为 M ，转换成二进制数字量的位数为 n ，则量化单位定义为

$$q = \frac{M}{2^n}$$

量化误差为 $\varepsilon = \pm q/2$ 。显然， n 越大，量化误差越小，但 n 过大会导致计算上有效数字长度增加。

计算机引入控制系统之后，由于其运算速度快，精度高，存储容量大，以及它强大的运算功能和可编程性，因此不仅可以完成常规的 PID 控制算法，而且还可以完成模拟系统难以解决的许多复杂控制算法，如自适应控制、最优控制、自学习控制、智能控制等。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，只需修改软件即可，一般不需变动硬件，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。

1.3 计算机控制系统的典型形式

计算机控制系统所采用的形式与它所控制的生产过程的复杂程度密切相关，不同的被控对象和不同的要求，应有不同的控制方案，也就构成了不同的控制系统。计算机控制系统大致可分为以下几种类型。

1.3.1 数据采集和监视系统

数据采集和监视系统的构成如图 1-5 所示。在这种应用方式下，计算机不直接参与过程控制，对生产过程不直接产生影响。主要利用计算机具有速度快、运算和逻辑判断能力强等特点，对整个生产过程进行集中监视和对大量的输入数据进行必要的集中、加工和处理，并且以有利于指导生产过程控制的方式表示出来，为操作人员提供操作指导信息，供操作人员参考。另外，利用计算机有存储大量数据的能力，可以预先存入各种工艺参数，在数据处理过程中进行参数的超限报警等工作。

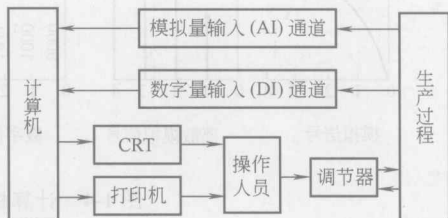


图 1-5 数据采集和监视系统

数据采集和监视系统的优点是结构简单，控制灵活和安全。缺点是要由人工操作，速度

受到限制,不能控制多个对象。

1.3.2 直接数字控制系统

直接数字控制 (Direct Digital Control, 简称 DDC) 系统的构成如图 1-6 所示。计算机首先通过模拟量输入通道 (AI) 和开关量输入通道 (DI) 实时采集数据, 然后按照一定的控制规律进行计算, 最后发出控制信息, 并通过模拟量输出通道 (AO) 和开关量输出通道 (DO) 直接控制生产过程。DDC 系统属于计算机闭环控制系统, 不仅可完全取代模拟调节器, 实现多回路的 PID 控制, 而且只要改变程序就可以实现复杂的控制规律, 如非线性控制、纯滞后控制、串级控制、前馈控制、最优控制、自适应控制等。DDC 系统是计算机在工业生产中最普遍的一种应用方式。

由于 DDC 系统中的计算机直接承担控制任务, 所以要求实时性好、可靠性高和适应性强。为了充分发挥计算机的利用率, 一台计算机通常要控制几个或几十个回路, 这时就要合理地设计应用软件, 使之不失时机地完成所有功能。

1.3.3 监督控制系统

监督控制 (Supervisory Computer Control, 简称 SCC) 中, 计算机根据原始工艺信息和其他参数, 按照描述生产过程的数学模型或其他方法, 计算出生产过程的最优设定值, 输入给模拟调节系统或 DDC 系统。SCC 系统输出值不直接控制执行机构, 而是自动地改变模拟调节器或以直接数字控制方式工作的微型机中的给定值。从这个角度上说, 它的作用是改变给定值, 所以又称设定值控制 (Set Point Control, 简称 SPC)。它的任务着重在控制规律的修正与实现, 如最优控制、自适应控制等。监督控制系统有两种不同的结构形式, 如图 1-7 所示。

1. SCC + 模拟调节器的控制系统

该系统是由计算机对各物理量进行巡回检测, 并按一定的数学模型对生产工况进行分析、计算后得出控制对象各参数最优给定值送给调节器, 使工况保持在最优状态。当 SCC 微型机出现故障时, 可由模拟调节器独立完成操作。

2. SCC + DDC 的分级控制系统

这实际上是一个二级控制系统, SCC 可采用高档微型机, 它与 DDC 之间通过接口进行信息联系。SCC 微型机可完成工段、车间高一级的最优化分析和计算, 并给出最优给定值, 送给 DDC 级执行过程控制。当 DDC 级微型机出现故障时, 可由 SCC 计算机完成 DDC 的控制功能, 这种系统提高了可靠性。

1.3.4 集散控制系统

集散控制系统 (Distributed Control System, 简称 DCS) 的结构如图 1-8 所示。它采用分散控制、集中操作、分级管理和综合协调的设计原则与网络化的控制结构, 把系统从下到上

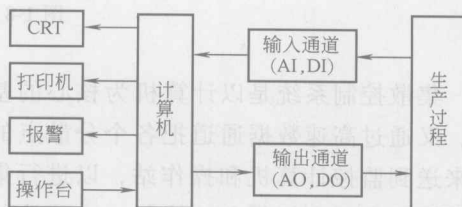


图 1-6 直接数字控制系统框图

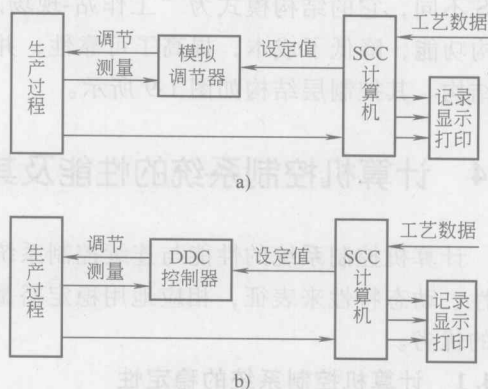


图 1-7 监督控制系统的两种结构形式

a) SCC + 模拟调节器 b) SCC + DDC

分为现场级、分散过程控制级、集中操作监控级、综合信息管理级等，形成分级分布式控制。所以，分散型控制系统又称为分布控制系统或集散控制系统。

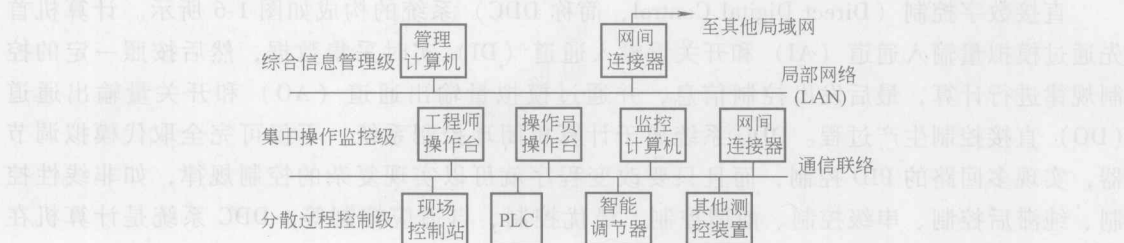


图 1-8 DCS 结构示意图

集散控制系统是以计算机为核心的基本控制器实现功能上、物理上和地理上的分散控制，又通过高速数据通道把各个分散点的信息集中起来送到监控计算机和操作站，以进行集中监视和操作，并实现高级复杂的控制。这种控制系统使企业自动化水平提高到了一个新的阶段。

1.3.5 现场总线控制系统

现场总线控制系统（Fieldbus Control System，简称 FCS）是新一代分布式控制结构。20 世纪 80 年代发展起来的 DCS，其结构模式为“操作站-控制站-现场仪表”三层结构，系统成本较高，而且各厂商的 DCS 有各自的标准，不能互联。FCS 与 DCS 不同，它的结构模式为“工作站-现场总线智能仪表”两层结构，完成了 DCS 中的三层结构功能，降低了成本，提高了可靠性，并且在统一国际标准下可实现真正的开放式互连系统结构。其控制层结构如图 1-9 所示。

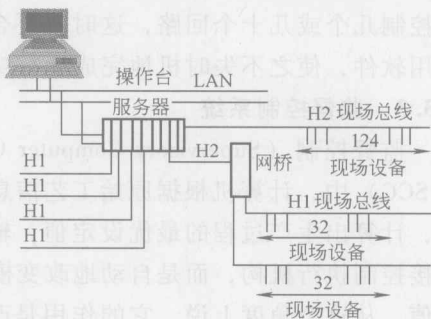


图 1-9 FCS 控制层

1.4 计算机控制系统的性能及其指标

计算机控制系统的性能与连续控制系统类似，可以用稳定性、能控性、能观测性、稳态特性、动态特性来表征，相应地用稳定裕量、稳态指标、动态指标和综合指标来衡量一个系统的优劣。

1.4.1 计算机控制系统的稳定性

计算机控制系统在给定输入作用或外界扰动作用下，过渡过程可能有 4 种情况，如图 1-10 所示。

1. 发散振荡

被控参数 $y(t)$ 的幅值随时间逐渐增大，偏离给定值越来越远，如图 1-10a 所示。这是不稳定的情况，在实际系统中是不允许的，容易造成严重事故。

2. 衰减振荡

被控参数 $y(t)$ 在输入或扰动的作用下，经过若干次振荡以后，回复到给定状态，如图

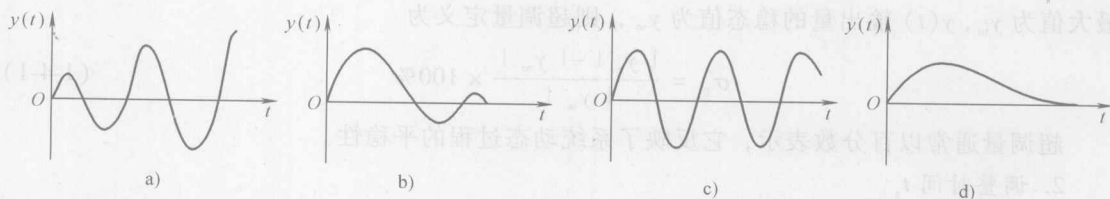


图 1-10 过渡过程的 4 种情况

a) 发散振荡 b) 衰减振荡 c) 等幅振荡 d) 非周期衰减

1-10b 所示。当调节器参数选择合适时,系统可以在比较短的时间内,以比较少的振荡次数、比较小的振荡幅度回复到给定值状态,得到比较满意的性能指标。

3. 等幅振荡

被控参数 $y(t)$ 的幅值随时间做等幅振荡,系统处于临界稳定状态,如图 1-10c 所示。在实际系统中也是不允许的。

4. 非周期衰减

被控参数 $y(t)$ 在输入或扰动的作用下,单调、无振荡地回复到给定值状态,如图 1-10d 所示。同样当调节器参数选择合适时,可以使系统既无振荡,又比较快地结束过渡过程。

由上述 4 种情况可以看出:发散振荡和等幅振荡是实际系统中不希望、也不允许出现的情况,前者称为系统不稳定,后者称为临界稳定。衰减振荡和非周期衰减则是控制系统中常见的两种过渡过程状况,这种系统称为稳定系统。控制系统只有稳定,才有可能谈得上控制系统性能的优劣,因此计算机控制系统的稳定性跟连续控制系统的稳定性一样,也是一个重要的概念。所以稳定性分析也是计算机控制理论中的一个重要的内容。

在连续控制系统中为了衡量系统稳定的程度,引进了稳定裕量的概念,稳定裕量包括相裕量和幅值裕量。同样,在计算机控制系统中,可以引用连续系统中稳定裕量的概念,因此,也可以用相角裕量和幅值裕量来衡量计算机控制系统的稳定程度。

1.4.2 计算机控制系统的能控性和能观测性

控制系统的能控性和能观测性在多变量最优控制中是两个重要的概念,能控性和能观测性从状态的控制能力和状态的测辨能力两个方面揭示了控制系统的两个基本问题。

如果所研究的系统是不能控的,那么,最优控制问题就不存在。

关于能控性和能观测性的详细情况可参阅本书第 5 章。

1.4.3 控制系统的动态指标

动态指标能够比较直观地反映控制系统的过渡过程特性,动态指标包括超调量 σ_p , 调节时间 t_s , 峰值时间 t_p , 衰减比 η 和振荡次数 N 。图 1-11 是系统在阶跃信号作用下的过渡过程特性。在这 5 项指标中,超调量 σ_p 和调节时间 t_s 是用得最多的。

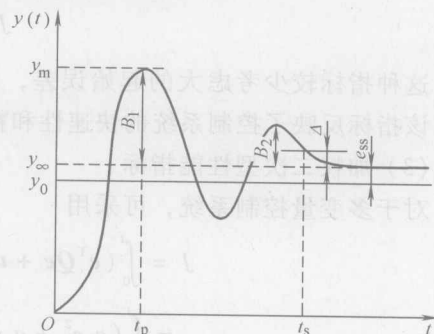


图 1-11 系统阶跃信号作用下的过渡过程特性

1. 超调量 σ_p

σ_p 表示了系统过冲的程度。设输出量 $y(t)$ 的