



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
国家精品课程教材

Computer Control System

计算机控制系统

第2版

◎ 于微波 刘克平 张德江 等编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
国家精品课程教材

计算机控制系统

第2版

于微波 刘克平 张德江 等编



机械工业出版社

本书较系统地介绍了计算机控制系统的理论基础和设计方法,分三篇共十三章。基础篇介绍了模拟化设计方法与离散化设计方法,数字 PID 控制算法,最小拍系统设计,模糊控制器及其设计方法;设计篇介绍了计算机控制系统的硬件和软件设计方法,总线技术和抗干扰技术;应用篇介绍了计算机控制系统的一般设计方法以及三个设计实例。在前两篇每章后附有习题。

本书兼顾基础性、实用性和先进性,注重工程应用价值,可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化等专业的教材或参考书,也可供从事计算机控制系统设计与维护的工程技术人员参考。

“计算机控制系统”是国家精品资源共享课之一,课程网站(http://www.icourses.cn/coursestatic/course_3979.html)上有电子资源可供选用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统/于微波等编. —2版. —北京:机械工业出版社,2016.2
国家精品课程教材
ISBN 978-7-111-52761-9

I. ①计… II. ①于… III. ①计算机控制系统—高等学校—教材
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 017835 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王雅新 责任编辑:王雅新 路乙达 任正一

版式设计:霍永明 责任校对:纪敬

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2016 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.75 印张·392 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-52761-9

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

现代科学技术领域中,计算机技术和自动控制技术普遍被认为是发展最迅速的分支之一,计算机控制技术是两者直接结合的产物。随着微电子技术及器件的发展,特别是高速网络通信技术的日臻完善,作为自动化工具的自动化仪表和计算机控制装置取得了突飞猛进的发展,成为现代工业生产中不可替代的神经中枢。计算机控制技术是自动化类专业本科生需要掌握的核心知识,“计算机控制系统”作为讲授计算机控制技术的课程,已成为我国普通高等院校自动化类专业的核心课程。此课程中涵盖的知识既是学生毕业设计中要大量运用的,更是学生毕业后从事自动控制系统、智能仪器仪表和机电一体化产品的设计与运行要长期用到的。

本书是在总结“计算机控制系统”国家精品课、国家精品资源共享课建设成果的基础上,结合课程组老师多年的教学经验,并汲取近年来国内外计算机控制系统设计的新理论、新技术而编写的。

全书分为三篇共十三章。第一章绪论,介绍计算机控制系统的组成、分类与发展趋势。并根据课程组多年来课程建设与教学改革的体会,归纳了本课程的特点,探讨了创新学习的问题。

基础篇主要介绍计算机控制系统设计所需要的理论基础。其中,第二章为计算机控制系统的基础知识,包括 Z 变换与计算机控制系统的数学描述;第三章为计算机控制系统的模拟化设计方法,这是工程上应用最多的计算机控制算法,主要介绍了模拟化设计方法的基本思想、数字PID控制算法以及Smith纯滞后补偿控制算法;第四章为计算机控制系统的离散化设计方法,包括离散化设计方法的基本思想、最小拍系统设计和Dahlin控制算法;第五章为模糊控制,主要介绍了模糊控制器的设计方法,这是一种不依赖被控对象模型的算法,在工程中应用较多。

设计篇主要介绍计算机控制系统的硬件和软件设计方法。其中,第六章为计算机控制系统的硬件设计,包括控制用计算机的几种选择模式,过程通道的设计方法和常用的执行器;第七章为总线技术,随着计算机控制系统规模的增大和水平的提高,这部分内容得到越来越多的应用;第八章为计算机控制系统的应用软件设计,包括软件结构、数据处理和数字滤波等;第九章为计算机控制系统的抗干扰技术,在对干扰信号分析的基础上,介绍了过程通道抗干扰技术、接地技术、电源系统的抗干扰技术、印制电路板抗干扰设计等硬件抗干扰技术和软件抗干扰技术。

应用篇介绍计算机控制系统的一般设计方法以及三个设计实例。其中,第十章为计算机控制系统的一般设计原则与步骤以及工程设计与实现方法;第十一章给出了电阻炉温度计算机控制系统的设计实例;第十二章给出了两轮自平衡机器人平衡控制系统的设计实例;第十三章给出了变频恒压供水计算机控制系统的设计实例。这三章实例分别采用嵌入式控制系

统、上下位两级计算机控制系统、可编程逻辑控制器与上位机组态软件控制系统三种常用的计算机控制系统构成方式,以便使读者了解计算机控制系统设计方案多样性。

本书在编写过程中,特别注意以下几点:

(1) 把握教材的内容取舍。计算机控制系统的内容极其丰富,从控制算法到硬件模式,从基本理论到新技术、新器件,其内容博大精深,奥妙无穷,要在一本教材中把这些内容都进行介绍,既不可能,也没必要。本书内容的取舍,本着提高教材实用性和适应课程培养目标的原则,兼顾基础性、实用性和先进性,注重基本理论和基本方法,注重工程应用价值,注重既先进又实用的方法和技术,舍去理论上很先进而工程上极少应用的高级或复杂算法,舍去适用场合不多的硬件配置模式,舍去应用范围不广的技术和方法。

(2) 采用适当的教材结构。为了提高教材实用性和适应课程培养目标,采用基础篇、设计篇和应用篇的教材结构。其中基础篇介绍计算机控制系统的设计基础,包括设计方法和控制算法;设计篇介绍计算机控制系统的设计方法,包括系统硬件设计、软件设计和抗干扰技术;应用篇介绍计算机控制系统的设计举例,包括系统设计原则、步骤和三种典型系统的设计。这样的结构,有利于学生系统设计和实践能力的培养,有利于理论教学与实践教学的配合。

(3) 注重学生的能力培养。这是每一门课程都应担负的责任和任务,但是从计算机控制系统在专业教学中的地位 and 特点出发,本课程更要注重这一点。这里的“能力”主要指学习能力、创新能力和实践能力。为此,本书绪论中专门进行了关于创新学习的探讨,以便学生在课程学习的一开始就注重创新精神和学习能力的培养。应用篇提供了工程设计方法和三个设计实例,为学生的系统设计实践提供基础。

本书从系统的角度阐述各部分内容。为方便学生理解和消化书中的基本知识和基本概念,本书提供了大量的例题、实例以及 MATLAB 仿真示例。每一章后面还配有大量的习题,并在附录中给出了常用函数 Z 变换表。

本课程建议授课学时为 45~60 学时,实验学时 10~20 学时,并要求先学习微机原理、计算机接口技术以及自动控制原理课程。本书的内容可以根据课程学时及先行课程的开设情况进行取舍。如果学时较少,可以舍去第五章,在应用篇中只选取一个或两个例子;如果已先行开设了过程控制或仪器仪表类的课程,第六章中的常用执行器部分可以舍去。

本书的第一章由张德江编写,第二、三、四、五、六、八、九章由王海波编写,第十、十三章由刘克平编写,第七、十二章由杨帅编写,第十一章由邹智慧编写。全书由于微波教授主编并统稿,黄艳秋和李红军参加了绘图和校对工作。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出版工作的有关人员以及参考文献的作者致以衷心的感谢。

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、新方法和新技术出现,鉴于作者的水平和经验有限,书中难免有一些缺点和不足之处,敬请广大读者批评指正。

“计算机控制系统”是国家精品资源共享课之一,课程网站 (http://www.icourses.cn/coursestatic/course_3979.html) 上有电子资源可供选用。

编者

目 录

前言			
第一章 绪论	1	第五章 模糊控制	76
第一节 计算机控制系统概述	1	第一节 模糊控制系统	76
第二节 计算机控制系统的分类	3	第二节 模糊控制器的设计	78
第三节 计算机控制系统的组成	6	第三节 模糊控制器的实现	89
第四节 计算机控制系统的发展	8	第四节 模糊控制器设计举例	91
第五节 本课程特点	11	思考与练习	92
第六节 关于创新学习的探讨	14		
思考与练习	16		
基础篇		设计篇	
第二章 计算机控制系统的基础知识	17	第六章 计算机控制系统的硬件设计	93
第一节 计算机控制系统中的信号变换	17	第一节 常用计算机控制系统主机模式	94
第二节 Z 变换	20	第二节 过程通道设计与人机接口	101
第三节 计算机控制系统的数学描述	23	第三节 常用执行器	123
思考与练习	25	思考与练习	140
第三章 计算机控制系统的模拟化设计方法	26	第七章 总线技术	141
第一节 模拟化设计方法的基本思想	26	第一节 总线技术概述	141
第二节 数字 PID 控制算法	32	第二节 RS-232C/485 总线	143
第三节 Smith 纯滞后补偿控制算法	52	第三节 I ² C 总线	146
思考与练习	58	第四节 SPI 总线	148
		第五节 现场总线技术	151
		思考与练习	159
第四章 计算机控制系统的离散化设计方法	60	第八章 计算机控制系统的应用软件设计	160
第一节 离散化设计方法的基本思想	60	第一节 概述	160
第二节 最小拍控制系统设计	61	第二节 计算机控制系统的数据处理	164
第三节 Dahlin 控制算法	67	第三节 数字滤波	168
思考与练习	74	第四节 工业组态软件	174
		思考与练习	180

第九章 计算机控制系统的抗干扰

技术 181

第一节 工业现场的干扰及其对系统的
影响 181

第二节 过程通道的抗干扰技术 185

第三节 接地技术 191

第四节 电源系统的抗干扰技术 194

第五节 印制电路板抗干扰设计 198

第六节 软件抗干扰技术 200

思考与练习 204

应 用 篇

第十章 计算机控制系统设计原则与

步骤 206

第一节 计算机控制系统设计原则 206

第二节 计算机控制系统设计步骤 208

第三节 计算机控制系统的工程设计与
实现 210

第十一章 电阻炉温度计算机控制

系统设计 219

第一节 电阻炉及其控制要求 219

第二节 系统总体方案设计 220

第三节 系统硬件和软件设计 223

第十二章 两轮自平衡机器人平衡控制

系统设计 233

第一节 平衡控制原理及技术要求 233

第二节 系统总体方案设计 234

第三节 系统的硬件设计和软件
设计 236

第四节 系统调试与运行 242

第十三章 变频恒压供水计算机控制

系统设计 245

第一节 变频恒压供水控制系统工艺及技
术要求 245

第二节 系统总体方案设计 246

第三节 硬件系统与软件系统
设计 249

第四节 系统调试与运行 255

附录 常用的Z变换 258

参考文献 260

第一章 绪 论

随着自动控制技术和计算机技术的发展，计算机在工业控制方面获得了越来越广泛的应用。通过计算机控制，可以有效地提高产品的产量和质量，减少原材料和能源消耗，还可以实现数据统计、工况优化和控制与管理一体化，从而明显地提高企业的经济效益和自动化水平。

第一节 计算机控制系统概述

一、计算机控制系统的一般概念

计算机控制系统是在自动控制技术和计算机技术的基础上产生的。没有采用计算机控制的系统一般为连续控制系统，其典型结构如图 1-1 所示，图中各处的信号均为模拟信号。为了对被控对象进行控制，由检测装置测得被控参数，并将此参数转换成一定形式的电信号反馈到输入端，与给定值比较后产生偏差作为控制器的输入信号，控制器按某种控制规律进行调节计算，产生控制信号驱动执行机构动作，使被控量向着减小或消除偏差的方向变化，这就是一个负反馈闭环连续控制系统的控制过程。

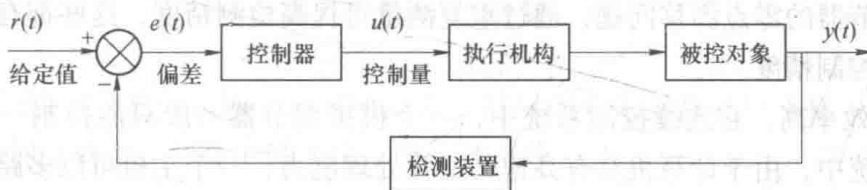


图 1-1 连续控制系统典型结构图

如果将连续控制系统的控制器用计算机来实现，就构成了计算机控制系统，其基本框图如图 1-2 所示。由于计算机只能处理数字量，其输入和输出都是数字信号，因此要加入模/数 (A/D) 转换器和数/模 (D/A) 转换器，实现模拟信号和数字信号之间的相互转换。

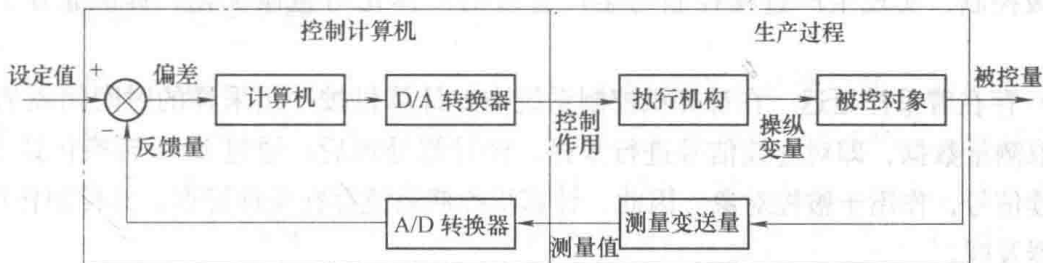


图 1-2 计算机控制系统基本框图

计算机控制系统的控制过程可以归纳为以下三个步骤：

- 1) 实时数据采集：对被控量进行采样测量，形成反馈信号。
- 2) 实时控制计算：根据反馈信号和给定信号，按一定的控制规律，计算出控制量。
- 3) 实时控制输出：向执行机构发出控制信号，实现控制作用。

上述三个步骤不断地重复进行，计算机控制系统便能按一定的品质指标完成控制任务。上述过程是“实时”进行的，即信号的输入、计算和输出都是在一定时间范围内即时完成的，超出这个时间就会失去控制时机，控制也就失去了意义。

在计算机控制系统中，如果生产过程设备直接与计算机连接，生产过程直接受计算机的控制，就叫作“联机”方式或“在线”方式；反之，若生产过程设备不直接与计算机相连接，而是通过中间记录介质，再由人进行相应的操作，则叫作“脱机”方式或“离线”方式。离线方式不能实时地对系统进行控制。一个在线控制系统不一定是实时系统，但实时控制系统必定是在线系统。

二、计算机控制系统的特点

计算机控制系统与连续控制系统相比，具有如下特点：

(1) 控制规律的实现灵活、方便。控制算法由程序实现，修改控制规律，只需修改相应的程序，不必像连续控制系统那样改动硬件电路。因此设计及修改控制算法灵活、方便，容易实现高级的控制。

(2) 控制精度高。在连续控制系统中，常规的模拟调节器的精度为0.5%，而由计算机实现的数字调节器可通过扩展字节使其精度明显高于常规的模拟调节器。另外，数字调节器不存在模拟调节器的零点漂移问题，通过重复测量可提高检测精度，这些都有利于提高计算机控制系统的控制精度。

(3) 控制效率高。在连续控制系统中，一个模拟调节器一般只能控制一个回路，而在计算机控制系统中，由于计算机具有高速的运算处理能力，一个主机可以多路复用，分时对多个回路进行控制，所以控制效率高。

(4) 可集中操作显示。利用计算机的外部设备，可方便地进行打印、显示、记录、统计，实现人机对话；容易实现各种逻辑判断、越限报警等功能，可以随时进行参数的在线修改，便于集中操作和显示。

(5) 可实现分级控制与整体优化，可通过计算机网络系统与上下位计算机相通信，进行分级控制，实现生产过程控制与生产管理的一体化与整体优化，提高企业的自动化水平。

(6) 存在着采样延迟。在计算机控制系统中，计算机按一定采样的时间间隔从A/D转换器读取测量数据，即对连续信号进行采样，经计算处理后，通过D/A转换将数字信号转换成连续信号，作用于被控对象。因此，计算机控制系统存在采样延迟，其控制作用不如模拟调节器及时。

第二节 计算机控制系统的分类

计算机控制系统的种类繁多，命名方法也各有不同。根据应用特点、控制功能及组成结构，可分为以下几种类型。

一、操作指导控制系统

操作指导控制系统的构成如图 1-3 所示。这种类型属于开环控制系统。计算机的输出部分与被控过程不直接发生联系，而是通过数据采集和处理，为操作人员提供反映生产工况的各种数据，并相应地给出操作指导信息，由操作人员根据这些信息进行相应的操作。

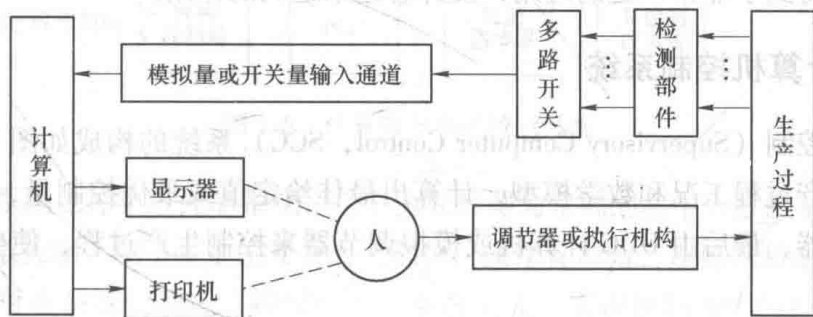


图 1-3 操作指导控制系统

在这种系统中，计算机每隔一定时间对被控过程的有关参数进行采样，经 A/D 转换后送入 CPU 进行加工处理，计算出最优操作条件及操作方案，并以显示、打印、报警等形式输出信息，操作人员根据这些信息去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

这种系统的优点是结构简单，并且安全可靠。它常被用在计算机控制系统的设计及调试阶段，进行被控过程数学模型的建立和新的控制程序的调试，或者用于被控系统的数据采集与处理，对大量的过程参数进行巡回检测、数据记录、数据计算、数据统计和整理、数据超限报警以及对大量数据进行积累和实时分析。

二、直接数字控制系统

直接数字控制（Direct Digital Control，DDC）系统是用得最普遍的一种计算机控制系统，在这种系统中，计算机直接参与闭环控制过程，系统构成如图 1-4 所示。计算机通过测量元件对一个或多个系统参数进行巡回检测和采样，对开关量信号直接采集输入，对模拟信号经 A/D 转换变成数字量输入，然后按一定的控制规律计算处理，发出控制信号，经过 D/A 转换器变成模拟信号，去驱动执行机构动作，或者由开关量通道直接进行控制，使各被控量达到预定的要求。

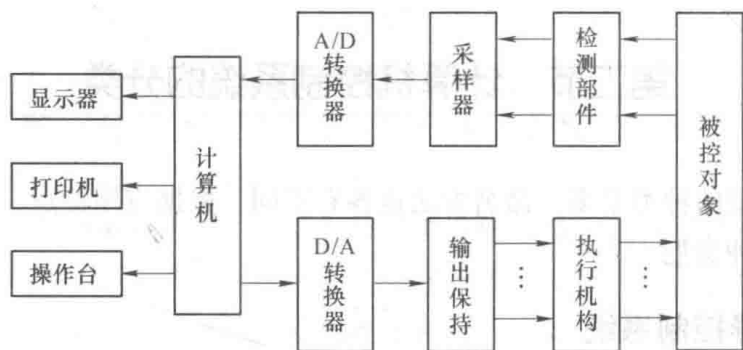


图 1-4 直接数字控制系统

在 DDC 系统中，计算机作为数字控制器，不仅完全取代了模拟调节器，而且可以完成各种控制算法，实现多种控制规律。另外，由于计算机的工作速度快，一台主机可以代替多个模拟调节器，同时控制多个回路，能够达到很高的性能价格比，所以 DDC 系统在工业控制的诸多场合中得到了非常广泛的应用，发挥着越来越大的作用。

三、监督计算机控制系统

监督计算机控制（Supervisory Computer Control, SCC）系统的构成如图 1-5 所示。计算机按照被控的生产过程工况和数学模型，计算出最佳给定值或最优控制量，提供给 DDC 计算机或模拟调节器，最后由 DDC 计算机或模拟调节器来控制生产过程，使生产过程始终处于最佳工况。

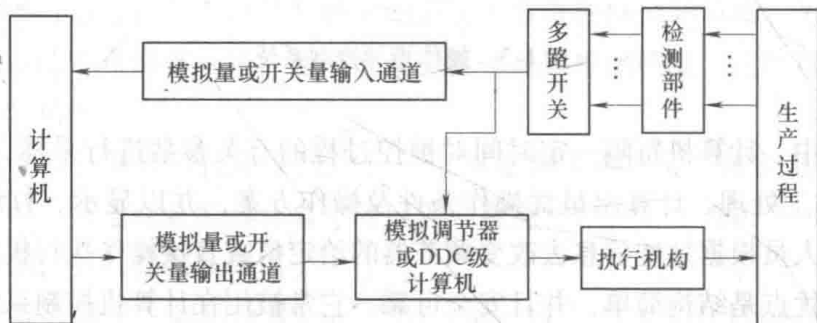


图 1-5 监督计算机控制系统

SCC 系统具有二级结构的特点，其中 DDC 计算机或模拟调节器为第一级，也称下位机，它与生产过程相连接，完成控制器的任务，因此要求可靠性高，抗干扰能力强，并能独立工作。SCC 计算机为第二级，也称上位机，承担高级控制与管理任务。SCC 系统不仅可以进行给定值控制，而且还可以进行顺序控制、最优控制等，它是操作指导控制系统和 DDC 系统的综合与发展。

四、分布式控制系统

企业的生产过程中需要控制的设备较多，一般分布在不同的区域，其中的各工序、各设备并行工作，既需要相对独立的控制，又需要有一定的联系，所以整个系统比较复杂。同

时，企业的生产中既存在控制问题，也存在大量的管理问题。过去，由于计算机价格高，复杂的生产过程控制系统往往采取集中型控制方式，以便充分利用计算机。这种控制方式任务过于集中，一旦计算机出现故障，将会影响全局。随着微型计算机的发展，其价格低廉而功能又不断完善，从而可以由若干个微处理器或微型计算机分别承担部分任务而组成计算机控制系统，称为分级式或分布式控制系统（Distributed Control System, DCS），如图 1-6 所示。

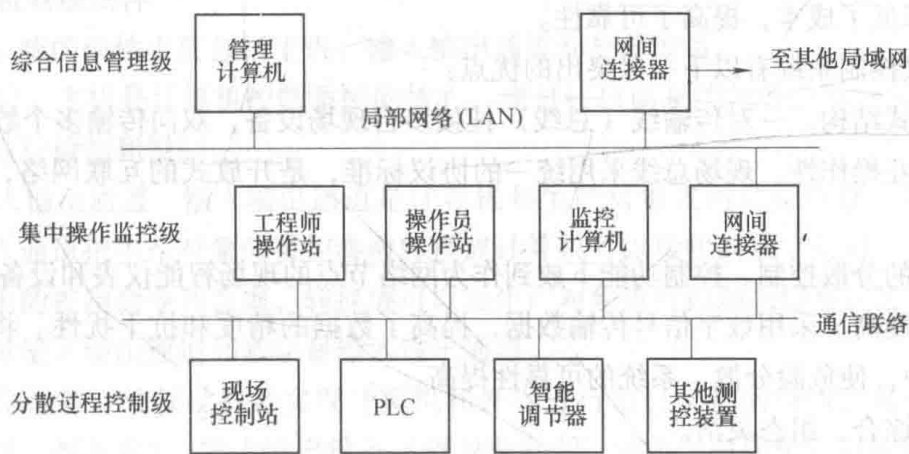


图 1-6 计算机分布式控制系统

分布式控制系统也称集散控制系统，是以微处理器为基础的集中分散控制系统，主要特征是集中管理和分散控制。图 1-6 中主要分为三部分：操作管理站、现场控制站和通信网络。

操作管理站负责系统的管理、控制组态、系统生成，实现控制系统的控制操作、过程状态显示、报警状态显示、历史数据的收集和各种趋势显示及报表生成与打印等。

现场控制站则具体实现各种现场物理信号（各种模拟量、开关量等）的周期采集和转换处理、各种控制回路的运算（包括调节回路和逻辑运算等）、控制运算结果的直接输出等。

系统的通信网络则负责各种功能站之间的数据通信和联络。

五、现场总线控制系统

现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）是新一代的分布式控制结构，如图 1-7 所示。

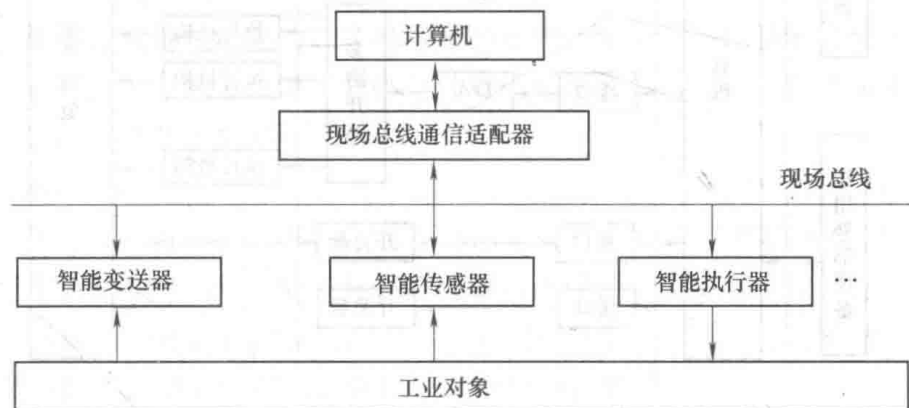


图 1-7 现场总线控制系统

FCS 的实现是建立在智能传感器和智能执行器的基础上。这里的智能是指控制仪表中包含单片机等智能芯片,能够进行数值计算、数据处理、接收和传输数字信号。由于现场仪表能够传输和接收数字信号,那么就可以用一种现场总线通信协议将这些智能仪表连接起来,取代 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 的模拟信号,实现工业过程现场仪表和控制系统之间的全数字化、双向数字通信。FCS 采用工作站、现场总线智能仪表的二层结构模式,完成了 DCS 中的三层结构模式功能,降低了成本,提高了可靠性。

现场总线控制系统有以下一些突出的优点:

- 1) 总线式结构。一对传输线(总线)挂接多台现场设备,双向传输多个数字信号。
- 2) 开放互操作性。现场总线采用统一的协议标准,是开放式的互联网络,对用户是透明的。
- 3) 彻底的分散控制。控制功能下放到作为网络节点的现场智能仪表和设备中。
- 4) 可靠性高。采用数字信号传输数据,提高了数据的精度和抗干扰性。将控制功能放到现场设备中,使危险分散,系统的可靠性提高。
- 5) 信息综合、组态灵活。

第三节 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由计算机系统和生产过程两大部分组成。计算机系统包括硬件和软件。其中硬件指计算机本身及其输入输出通道和外部设备,是计算机系统的物质基础;软件指管理计算机的程序及系统控制程序等,是计算机系统的灵魂。生产过程包括被控对象、测量变送单元、执行机构、电气开关等装置。图 1-8 为计算机控制系统的硬件组成框图。

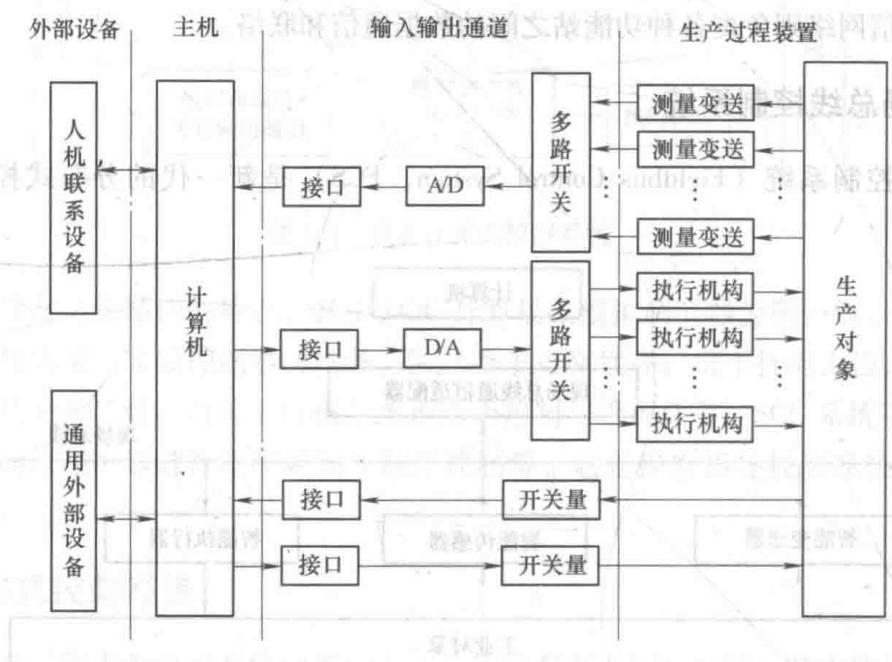


图 1-8 计算机控制系统硬件组成框图

一、计算机控制系统的硬件组成

硬件是看得见摸得着的各部分器件和部件的总称。计算机控制系统的硬件包括计算机系统硬件和生产过程各部分的装置。

1. 计算机系统硬件

计算机系统的硬件主要包括主机、输入输出通道和外部设备。

(1) 主机。主机是计算机控制系统的核心,通过接口向系统的各个部分发出各种命令,对被控对象进行检测和控制。

(2) 输入输出通道。输入输出通道是计算机和生产对象之间进行信息交换的桥梁和纽带。过程输入通道把生产对象的被控参数转换成计算机可以接收的数字信号,过程输出通道把计算机输出的控制命令和数据,转换成可以对生产对象进行控制的信号。过程输入输出通道包括模拟量输入输出通道和数字量输入输出通道。

(3) 外部设备。外部设备是实现计算机和外界进行信息交换的设备,简称外设,包括人机联系设备(操作台)、输入输出设备(磁盘驱动器、键盘、打印机、显示终端等)和外存贮器等。其中操作台应具备显示功能,即根据操作人员的要求,能立即显示所要求的内容,还应有按钮或开关,完成系统的启、停等功能;操作台还要保证即使操作错误也不会造成恶劣后果,即应有保护功能。

2. 生产过程装置

生产过程装置主要包括测量变送单元、执行机构和被控对象。

(1) 测量变送单元。测量变送单元是为了测量各种参数而采用的相应的检测元件及变送器。绝大多数情况下,被检测参数都是非电量,例如温度、压力等,需要由检测元件在测量的同时转换成电量,再经变送器转换成统一的标准电平信号,以便送入计算机处理。

(2) 执行机构。要控制生产过程,必须有执行机构,它是计算机控制系统中的重要部件,其功能是根据计算机输出的控制信号,产生相应的控制动作,使被控对象按要求运行。常用的执行机构有电动、液动或气动阀门,伺服电机,步进电机及晶闸管元件等。

二、计算机控制系统的软件组成

软件是指能够完成各种功能的计算机程序的总和。整个计算机系统的动作,都是在软件的指挥下协调进行的。因此可以说,软件是计算机系统的中枢神经。就功能来分,软件可分为系统软件、应用软件及数据库。

1. 系统软件

系统软件是由计算机生产厂家提供的专门用来使用和管理计算机的程序。对用户来说,系统软件只是作为开发应用软件的工具,不需要自己设计。系统软件包括:

- (1) 操作系统。操作系统包括管理程序、磁盘操作系统程序、监控程序等。
- (2) 诊断系统。诊断系统指的是调试程序及故障诊断程序。
- (3) 开发系统。开发系统包括各种语言处理程序(编译程序)、服务程序(装配程序和编辑程序)、模拟程序(系统模拟、仿真、移植软件)、数据管理程序等。

2. 应用软件

应用软件是面向用户本身的程序,即指由用户根据要解决的实际问题而编写的各种程序。计算机控制系统的应用软件有:

(1) 过程监视程序。过程监视程序包括巡回检测程序、数据处理程序、上下限检查及报警程序、操作面板服务程序、数字滤波及标度变换程序、判断程序、过程分析程序等。

(2) 过程控制计算程序。过程控制计算程序包括控制算法程序、事故处理程序和信息管理程序,其中信息管理程序包括信息生成调度、文件管理及输出、打印、显示程序等。

(3) 公共服务程序。公共服务程序包括基本运算程序、函数运算程序、数码转换程序、格式编码程序等。

3. 数据库

数据库及数据库管理系统主要用于资料管理、存档和检索,相应的软件设计指如何建立数据库以及如何查询、显示、调用和修改数据等。

第四节 计算机控制系统的发展

一、计算机控制系统的发展过程

回顾计算机控制系统的发展过程,大体上经历了三个阶段。

第一个阶段是1965年以前的试验阶段。1952年,计算机开始用于生产过程,实现了自动测量和数据处理。1954年用计算机构成了开环控制系统,能够帮助操作人员对一部分被控参量进行正确调节。1959年在美国的德克萨斯州的一家炼油厂建成了第一台计算机闭环控制系统。1960年美国孟山都公司的氨厂实现了计算机监督控制。以后虽然计算机控制系统陆续有一些新发展,但在1965年以前基本上处于单项工程试验阶段。

第二个阶段是1965年至1972年的实用阶段。在试验阶段用于控制的计算机基本上还是采用模拟常规调节仪表的调节规律,只在控制形式上由连续变为离散,因而调节效果得不到明显改善。直到60年代后期出现了小型机,才使计算机控制得以普及。由于小型机具有体积小、速度快、工作可靠、价格较便宜等特点,所以使得计算机控制系统不再只是大型企业的工程项目,对于较小的工程问题也能利用计算机来控制了。这一时期主要是计算机集中控制,即用一台计算机控制尽可能多的调节回路。在高度集中控制时,若计算机出现故障,将对整个生产造成严重影响。提高可靠性的措施就是采用多机并用的方案,即增加小型机数目。由于小型机的出现,过程控制计算机的台数迅速增长。这一时期为实用阶段。

第三阶段是从1972年开始到现在的发展阶段。1972年出现了微型计算机,由于它优越的性能价格比,使得计算机的应用真正地进入了普及和深入的阶段。相应地,以微型计算机为核心的控制系统在工业生产和科学实验的诸多领域迅速地得到研制、推广和应用。在控制结构上,简单的生产过程或装置采用单个微型机独立控制,各种以单板机、单片机、工业控制机、可编程序控制器为核心的计算机控制系统纷纷被推出并得到迅速发展;复杂的生产过程或装置则采用集散控制系统,这种系统采用多级分布式的结构,从下而上分为过程控制

级、控制管理级、生产管理级和经营管理级。过程控制级采用多个微型机,每个微型机组成一个基本控制器,每个基本控制器只控制少数回路,各级间通过高速数据通道通信。这种控制方式实行分散控制,集中操作,分级管理,统一协调的原则,既能使危险分散,又能实现整体的协调和优化,大大地提高了控制系统的安全可靠性、通用灵活性、最优控制性能和综合管理能力。近年来,集成制造系统技术也从研制、试用的阶段逐步走向成熟,开始被成功地应用。随着嵌入式应用技术的进一步发展和信息网络技术的兴起,基于网络的控制技术已逐渐为人们关注和接受,并在控制领域掀起了研究和应用的热潮。

二、计算机控制系统的发展趋势

随着计算机技术、通信技术和控制理论的发展以及工业生产对控制系统提出新的要求,计算机控制系统也在不断发展,其发展趋势主要有:

1. 应用成熟的先进技术

微型计算机控制技术经过近几十年的发展,已经取得了长足的进步,很多技术已经成熟,今后应大力发展和推广。这些技术包括:

(1) 可编程序控制器的应用。可编程序逻辑控制器 (Programmable Logical Controller, PLC) 是早期的继电器逻辑控制系统与微型计算机技术相结合的产物。它吸收了微电子技术和微型计算机技术的最新成果,发展十分迅速。如今的 PLC 几乎无一例外地采用微处理器作为主控制器,而采用大规模集成电路作为存储器 I/O 接口,因而使其可靠性、功能、价格、体积都达到了比较成熟和完美的境界。从单机自动化到全厂生产自动化,从柔性制造系统、机器人到工业局部网络无不有它的应用。近几年来,由于许多中、高档 PLC 的出现,尤其是具有 A/D、D/A 转换器和 PID 调节等功能的 PLC 的出现,使得 PLC 的功能有了很大的提高,它可以将顺序控制和过程控制结合起来,实现对生产过程的控制,并且有很高的可靠性,可以广泛的普及和应用。

(2) 智能化调节器的应用。智能调节器不仅可以接受 4 ~ 20mA 标准电流信号,还具有 RS-232 或 RS-422/485 异步串行通信接口,可与上位机连接成主从式测控系统。

(3) 分布式控制系统 (DCS) 和现场总线控制系统 (FCS) 的应用。DCS 和 FCS 以位总线 (Bitbus)、现场总线 (Fieldbus) 等先进网络通信技术为基础,采用先进的控制策略,可以向低成本综合自动化系统的方向发展,实现计算机集成制造系统 (CIMS)。特别是现场总线系统越来越受到人们的青睐,将成为今后微型计算机控制系统发展的一个重要方向。

2. 智能控制系统

经典的反馈控制、现代控制和大系统理论在应用中遇到不少难题。首先,其分析和设计都是建立在精确的系统数学模型的基础上的,而实际系统一般难以获得精确的数学模型;其次,为了提高控制性能,整个控制系统变得极其复杂,增加了设计的难度和设备的投资,降低了系统的可靠性。人工智能的出现和发展,促进了自动控制系统向更高层次即智能控制的发展。智能控制是一种无须人的干预就能够自主地驱动智能机器实现其目标的过程,是用机器模拟人类智能的一个重要领域。智能控制技术当前主要包括以下几个方面:

(1) 分级递阶智能控制技术。由 Saridis 提出的分级递阶智能控制方法,是从工程控制

论的角度出发,总结了人工智能与自适应、自学习和自组织控制的关系之后而逐渐形成的。作为一种认知和控制系统的统一方法论,其控制智能是根据分级管理系统中十分重要的“精度随智能提高而降低”的原理而分级分配的。分级递阶智能控制系统由组织级、协调级、执行级三级组成。

(2) 模糊控制技术。模糊控制是一种应用模糊集合理论的控制方法。它一方面提供了一种基于知识(规则)的,甚至语言描述的控制规律的新机理;另一方面又提供了一种改进非线性控制器的替代方法,可用于控制含有不确定和难以用传统非线性控制理论处理的装置。目前还有多种模糊控制器问世,如PID模糊控制器、自组织模糊控制器、自校正模糊控制器、自学习模糊控制器、专家模糊控制器以及神经网络模糊控制器等。

(3) 专家控制技术。专家控制技术以模仿人类智能为基础,将工程控制论与专家系统结合起来,形成了专家控制系统,其对象一般都具有不确定性。专家控制系统与模糊控制系统至少有一点是共同的,即两者都要建立人类经验和人类决策行为的模型。此外,两者都有知识库和推理机,而且其中大部分至今仍为基于规则的系统。因此,模糊逻辑控制器通常又称为模糊专家控制器。

(4) 机器学习技术。学习是人类主要智能之一。机器学习研究如何用机器来代替人类从事脑力劳动,使机器能像人那样思维。机器学习控制系统能在运行过程中逐步获得有关被控对象及环境的非预知信息,积累控制经验,并在一定的评价标准下进行估值、分类、决策和不断改善系统品质。

3. 嵌入式的应用将更加深入

由于嵌入式控制系统具有集成度高、功能强、可靠性高、体积小、功耗低、价格廉、灵活方便等一系列优点,各类单片机将更加广泛地应用于国防、航空航天、海洋、农业、地质、气候、科技、教育、生活等各个领域,并发挥巨大的作用。单片机组成控制系统时,按功能来区分主要有以下三种:

(1) 嵌入式控制系统。由于微处理器口线较多,位操作指令丰富,逻辑操作功能强,所以特别适合于生产过程控制,如锅炉或加热炉的煤气燃烧、温度控制,电机或步进电机的正转、反转、制动控制,机器人仿真操作控制,汽车点火、变速、方向灯、制动、排气控制,数控机床加工过程控制,导弹飞行轨迹、速度、制导控制等。尽管被控的参量和过程不尽相同,但由于其参量都属于模拟量或开关量,变换过程或操作过程都具有确定的顺序,或规律性很强,因此都可采用数值控制、开关量控制、顺序控制或逻辑控制方式来实现。

(2) 智能化仪器。由于微处理器控制功能强、体积小、功耗低,并具有一定的数据处理能力,因此将更广泛用于仪器仪表,使仪器仪表进一步智能化。智能化仪器主要由传感器及微型计算机或单片机组成,其最大特点就是单片机或微型计算机融于测试仪器中,将计算机具有的数据采集、数字滤波、标度变换、非线性补偿、零位修正和误差补偿、数字显示、报警、数值计算、逻辑判断和控制等能力直接赋予测量仪器,使仪器具有准确度高、可选择显示方式、自诊断能力强、便于人机对话、体积小、功耗低、便于扩展、处理故障和报警等一系列优点和功能。目前,已生产的智能化仪器已有高频多线示波器、激光测距仪、红