



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
自动化国家级特色专业系列规划教材

计算机控制系统

第三版

王 慧 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
自动化国家级特色专业系列规划教材

计算机控制系统

第三版

王 慧 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

在现代工业过程中, 计算机控制系统已成为不可或缺的部分。本书系《计算机控制系统》一书的第三版, 比较全面地阐述了构成计算机控制系统的各方面的理论知识与技术基础。

本书在精选第二版主要内容的基础上, 修订与增补了新的内容, 全书共分十章。主要内容有: 计算机控制系统的一般知识与概述; 计算机控制系统的基础; 计算机控制系统中的总线技术; 输入输出接口技术; 数据通信技术; 网络技术 (包括计算机网络的基础知识、无线通信网络、控制网络与现场总线技术等); 控制策略、模型预测控制和模糊控制, 并对工程上的实现也作了介绍; 软件技术 (包括数据库技术、应用软件以及商品化的工业控制软件等)。在介绍了基本的理论知识与技术基础后, 本书还详尽地介绍了典型的计算机控制系统设计技术、方法以及不同规模的计算机控制系统应用实例, 最后介绍了流程工业企业综合自动化系统 (现代集成制造系统)。

本书深入浅出, 内容丰富, 系统性强, 不仅适合于高等院校自动化、电气工程及其自动化、机电一体化及计算机应用等相关专业高年级本科生或研究生作为“计算机控制系统”或相近课程的教材, 同时也可供从事工业控制及相关领域工作人员参考。

本书作者为了方便教学, 已制作出可供电子教学用的投影版软件。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机控制系统/王慧主编. —3 版. —北京: 化学工业出版社, 2011.5
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
自动化国家级特色专业系列规划教材
ISBN 978-7-122-10938-5

I. 计… II. 王… 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 (2011) 第 061950 号

责任编辑: 唐旭华 郝英华
责任校对: 蒋 宇

文字编辑: 云 雷
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 21½ 字数 583 千字 2011 年 6 月北京第 3 版第 1 次印刷

购书咨询: 010 64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

自动化国家级特色专业系列规划教材 指导委员会

孙优贤 吴 澄 郑南宁 柴天佑
俞金寿 周东华 李少远 王红卫
陈 虹 荣 冈 苏宏业

总 序

随着工业化、信息化进程的不断加快,“以信息化带动工业化、以工业化促进信息化”已成为推动我国工业产业可持续发展、建立现代产业体系战略举措,自动化正是承载两化融合乃至社会发展的核心。自动化既是工业化发展的技术支撑和根本保障,也是信息化发展的主要载体和发展目标,自动化的发展和应用水平在很大意义上成为一个国家和社会现代工业文明的重要标志之一。从传统的化工、炼油、冶金、制药、机械、电力等产业,到能源、材料、环境、军事、国防等新兴战略发展领域,社会发展的各个方面均和自动化息息相关,自动化无处不在。

本系列教材是在建设浙江大学自动化国家级特色专业的过程中,围绕自动化人才培养目标,针对新时期自动化专业的知识体系,为培养新一代的自动化后备人才而编写的,体现了我们在特色专业建设过程中的一些思考与研究成果。

浙江大学控制系自动化专业在人才培养方面有着悠久的历史,其前身是浙江大学于1956年创立的化工自动化专业,这也是我国第一个化工自动化专业。1961年该专业开始培养研究生,1981年以浙江大学化工自动化专业为基础建立的“工业自动化”学科点被国务院学位委员会批准为首批博士学位授予点,1984年开始培养博士研究生,1988年被原国家教委批准为国家重点学科,1989年确定为博士后流动站,同年成立了工业控制技术国家重点实验室,1992年原国家计委批准成立了工业自动化国家工程研究中心,2007年启动了由国家教育部和国家外专局资助的高等学校学科创新引智计划(“111”引智计划)。经过50多年的传承和发展,浙江大学自动化专业建立了完整的高等教育人才培养体系,沉积了深厚的文化底蕴,其高层次人才培养的整体实力在国内外享有盛誉。

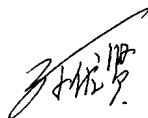
作为知识传播和文化遗产的重要载体,浙江大学自动化专业一贯重视教材的建设工作,历史上曾经出版过很多优秀的教材和著作,对我国的自动化及相关专业的人才培养起到了引领作用。当前,加强工程教育是高等学校工科人才培养的主要指导方针,浙江大学自动化专业正是在教育部卓越工程师教育培养计划的指导下,对自动化专业的培养主线、知识体系和培养模式进行重新布局和优化,对核心课程教学内容进行了系统性重新组编,力求做到理论和实践相结合,知识目标和能力目标相统一,使该系列教材能和研讨式、探究式教学方法和手段相适应。

本系列教材涉及范围包括自动控制原理、控制工程、检测和传感、网络通信、信号和信息处理、建模与仿真、计算机控制、自动化综合实验等方面,所有成果都是在传承老一辈教育家智慧的基础上,结合当前的社会需求,经过长期的教学实践积累形成的。大部分教材和其前身在我国自动化及相关专业的培养中都具有较大的影响,例如《过程控制工程》的前身是过程控制的经典教材之一、王骥程先生编写的《化工过程控制工程》。已出版的教材,既有国家“九五”重点教材,也有国家“十五”、“十一五”规划教材,多数教材或其前身曾获得过国家级教学成果奖或省部级优秀教材奖。

本系列教材主要面向自动化(含化工、电气、机械、能源工程及自动化等)、计算机科学和技术、航空航天工程等学科和专业有关的高年级本科生和研究生,以及工作于相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我希望,这套教材既能为在校本科生和

研究生的知识拓展提供学习参考，也能为广大科技工作者的知识更新提供指导帮助。

本系列教材的出版得到了很多国内知名学者和专家的悉心指导和帮助，在此我代表系列教材的作者向他们表示诚挚的谢意。同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持，并热忱欢迎提出批评和意见。



2011年8月

前 言

随着现代化工业生产过程复杂性与集成化程度的增加,计算机控制系统在工业生产中已成为不可或缺的部分,这就要求从事自动控制的研究人员和工程技术人员在掌握自动控制理论和生产工艺流程原理的同时,必须掌握计算机控制系统的有关硬件、软件、控制策略、数据通信、网络技术、数据库等诸多方面的专门知识与技术,从而不但能够分析与应用,而且能够设计并实施满足实际工业生产过程需要的计算机控制系统。

近二十多年来,计算机控制作为一门新兴学科方向,从理论到技术飞速发展,知识更新很快。许多高等院校都面向本科高年级或研究生相应地开设了“计算机控制系统”或“计算机控制系统与软件”课程,以适应形势发展的需要。《计算机控制系统》一书便是作者在多年来讲授该门课程的基础上,在化学工业出版社的大力支持下,综合了浙江大学控制系在教学与科研两方面的经验,参考了国内外大量的文献和著作,按教材的形式进行编著的。书中不仅对计算机控制系统的概念,包括总体描述和基本构成、接口技术、数据通信技术、网络技术、常用控制策略、软件技术(数据库技术)、系统设计与实施技术等作了较为系统和全面的介绍,而且还用一定的篇幅,比较详细地介绍了工业自动化技术发展的一些热点,如嵌入式系统、现场总线、企业综合自动化系统等。由于计算机技术与自动化技术的发展非常迅速,在编写本书的过程中,作者一方面力求做到比较全面和系统地介绍计算机控制系统的特点,强调系统的整体概念、基础理论与技术;另一方面注重突出先进性,介绍利用计算机控制系统实施先进的控制策略以及与其他学科的交叉应用,并反映出自动化领域研究的热点和发展的趋势。同时,书中还通过一些已在实际中应用的计算机控制系统实例来加强对有关技术问题的理解。尽量做到重点突出、层次分明、条理清晰,便于教学,便于自学。因此,本书不仅可以作为自动化、电气工程及其自动化、机电一体化及计算机应用等专业本科高年级学生和研究生教材或教学参考书使用,还可以作为从事工业控制及相关领域工作人员的参考书和工具书。

全书共分十章,第一章是绪论部分,第二章介绍计算机控制系统的基础,第三章介绍计算机控制系统的总线技术,第四章介绍计算机控制系统的接口技术,第五章介绍数据通信技术,第六章介绍计算机控制系统中的网络技术,第七章介绍计算机控制系统的常用控制策略,第八章介绍计算机控制系统的软件技术,第九章介绍计算机控制系统的实施及一些应用实例,第十章介绍流程工业企业综合自动化系统。作为教材,讲授本书全部内容约需要50~60学时。根据学时数的多少,可适当增减授课内容。书中有些章节内容若已经在前面的课程中学过,可以让学生自己复习巩固。如第二章基础知识与第六章计算机网络的某些小节的相关知识等。

为体现该门课程应具有先进性、直观性,大幅度增加课堂教学的信息量,并引导学生开阔思路,积极思考,主动参与教学与讨论,培养创新型人才,作者编制了一套基于全书内容的开放式电子教学辅助软件,可供选择该教材的老师在教学时使用(联系 cipedu@163.com 索取)。该软件一方面可以根据教学时数的多少直接进行内容的取舍,选用其中一部分或全部;一方面还可根据教学需要在其基础上方便地自行进行内容的增添或修改。

本书是在2005年出版的同名教材第二版的基础上,重新组织修订的。修订后全书的章节进行重新编排,内容上既注意深度与先进性又注意与实际紧密结合,结构更加合理。修订版仍由王慧教授定稿。参加编写与修订工作的人员有王慧(第一章、第七章和第八章

部分内容), 赵豫红 (第二章、第九章和第十章内容), 刘泓 (第三~第六章和第八章部分内容)。赵豫红负责全书的统稿及书稿的全部事务性工作。

在本书的成书与修订过程中, 自始至终得到了前辈周春晖先生、孙优贤院士、钱积新教授、金以慧教授等过程控制界专家的热心鼓励和帮助, 得到了浙江大学控制科学与工程学系、工业控制研究所的大力支持, 书中的一些素材直接引自同事的一些技术报告和文献, 同事李江副教授参与了本书第一版、第二版的编著工作, 在此均深表谢意!

需要说明的是, 书中的一些观点仅代表作者的看法, 由于能力与水平有限, 本书难免存在着不妥之处, 殷切希望读者不吝赐教。

王慧

2011年7月于杭州浙大求是园

目 录

第一章 绪论	1	三、总线的模板化结构	35
第一节 计算机控制系统的一般概念	1	四、总线的体系结构	35
一、计算机控制系统概述	1	五、总线的控制方式	37
二、计算机控制系统的组成	2	第二节 RS-232 总线	39
三、计算机控制系统的效益	3	一、RS-232 标准的功能特性	39
第二节 计算机控制系统的分类	4	二、RS-232 标准的电气特性	40
一、计算机巡回检测和操作指导系统	4	三、RS-232 的机械特性	41
二、计算机直接数字控制系统 DDC	5	四、RS-232 的常用连接方法	41
三、计算机监督控制系统 SCC	5	第三节 RS-449、RS-422、RS-423 及 RS-485	
四、计算机集散控制系统 DCS	6	标准	43
五、现场总线控制系统 FCS	6	一、RS-449 标准接口	43
六、工业过程的计算机集成制造系统 (流程 CIMS)	7	二、RS-422 标准接口	44
第三节 计算机控制系统的设计与实现	9	三、RS-423 标准接口	44
一、设计与实施计算机控制系统的一般步骤	9	四、RS-485 标准接口	45
二、计算机控制系统的设计方法	9	第四节 SPI 总线	48
第四节 过程计算机控制系统的发展概况及趋势	10	一、SPI 总线的组成	48
思考题与习题	12	二、SPI 总线的时序	48
第二章 计算机控制系统基础	13	三、SPI 示例电路	48
第一节 计算机控制系统的采样及信号特点	13	第五节 I ² C 总线	49
一、计算机控制系统的信号形式	13	一、I ² C 总线的特点	49
二、信号的采样、采样周期和采样定理	14	二、I ² C 总线的工作原理	49
三、信号的保持	15	三、I ² C 示例电路	51
第二节 计算机控制系统的数学模型	16	思考题与习题	51
一、Z 变换	16	第四章 计算机的输入输出接口技术	52
二、计算机控制系统的数学模型	21	第一节 模拟量输出接口	52
第三节 离散控制系统的分析	25	一、D/A 转换器原理及器件	52
一、系统的稳定性	25	二、D/A 转换器接口与隔离技术	56
二、系统的可控性、可达性和可观性、可检测性	26	三、D/A 转换模板的标准化设计	59
三、系统的灵敏性和鲁棒性	28	第二节 模拟量输入接口	63
思考题与习题	30	一、A/D 转换原理及器件	63
第三章 计算机控制系统中的总线技术	32	二、A/D 转换器接口与隔离技术	67
第一节 总线技术概论	32	三、A/D 转换模板的标准化设计	73
一、总线的概念	32	第三节 开关量输入输出接口	75
二、总线的分类	34	一、开关量的概念及种类	75
		二、开关量输入接口	76
		三、开关量输出接口	76
		四、开关量输入输出模板的标准化设计	76
		第四节 人机交互接口	78
		一、键盘接口	78

二、显示器接口	79	四、几种无线通信技术的比较	155
三、打印机接口	87	第六节 控制网络与企业网络	156
四、其他人机接口	88	一、控制系统中计算机网络体系结构	156
思考题与习题	91	二、企业的网络管理	158
第五章 计算机控制系统中的数据通信		三、实施案例	161
技术	93	思考题与习题	162
第一节 数据通信的基础知识	93	第七章 计算机控制系统中的控制策略	164
一、数据通信概述	93	第一节 数字滤波和数据处理	164
二、数据传输方式	96	一、采样数据的合理性判别及报警	164
三、多路复用技术	97	二、数字滤波	165
四、数据交换技术	98	三、数据处理	167
第二节 数据通信设备	102	第二节 数字 PID 控制算法	169
一、通信适配器	102	一、标准数字 PID 控制算法	169
二、调制解调器	103	二、数字 PID 控制算法的改进	170
三、通信介质(媒质)	104	三、数字 PID 控制的参数整定	173
第三节 数据通信中的检错与纠错	106	四、PID 控制回路的性能评估	176
一、奇/偶校验	106	第三节 基于数字 PID 控制的多回路控制	
二、循环冗余校验 CRC	107	系统	177
三、恒比码	109	一、串级控制系统	178
思考题与习题	109	二、前馈控制系统	179
第六章 计算机控制系统中的网络技术	110	三、纯滞后补偿控制系统	180
第一节 概述	110	第四节 模型预测控制	181
一、计算机网络的定义	110	一、模型预测控制的基本原理	181
二、计算机网络的主要功能	111	二、动态矩阵控制(DMC)	183
三、计算机网络的分类	111	三、模型算法控制(MAC)	193
四、计算机网络的基本协议	113	四、广义预测控制(GPC)	198
第二节 计算机局域网	114	五、小结	202
一、局域网和拓扑结构	114	第五节 模糊控制	202
二、网络操作系统	116	一、预备知识	202
第三节 计算机网络互连及其协议	118	二、模糊控制的基本原理	205
一、概述	118	三、模糊控制器的设计	206
二、网络互连方法	118	四、模糊控制器的改进	211
三、网络互连部件	118	五、模糊控制器的工业应用举例	212
四、广域网和远程网	122	第六节 控制策略的工程实现	214
五、Internet	124	一、给定值处理	215
第四节 控制网络与现场总线	130	二、被控量处理	216
一、控制网络	130	三、偏差处理	216
二、现场总线概述	132	四、控制策略的实现	217
三、现场总线标准	137	五、控制量处理	217
四、具有代表性的现场总线	140	六、自动/手动切换	218
第五节 无线网络通信	151	思考题与习题	219
一、Zigbee 技术	151	第八章 计算机控制系统软件技术基础	221
二、蓝牙技术	153	第一节 概述	221
三、WiFi 技术	154	一、计算机控制系统软件技术基础	221

二、计算机控制系统软件构成	222	空间飞行器控制系统	280
三、计算机控制系统软件特点	222	三、以工业控制计算机为核心的锅炉控制 系统	284
第二节 面向计算机控制的操作系统	223	四、基于 PLC 与 DCS 的大中型计算机控制 系统	288
一、操作系统的功能和任务	223	五、结论	295
二、操作系统的分类	225	思考题与习题	296
三、实时操作系统	226	第十章 流程工业企业综合自动化系统 ...	297
四、嵌入式操作系统	228	第一节 概述	297
第三节 计算机控制系统中的数据库	229	一、CIMS 的概念与发展	297
一、数据库系统概述	229	二、流程工业 CIMS 与离散工业 CIMS 之 比较	300
二、实时数据库	236	第二节 流程工业 CIMS 的体系结构	302
三、分布式实时数据库	247	一、流程工业 CIMS 的功能结构及递阶 控制层次	302
第四节 数据库的接口设计	248	二、流程工业 CIMS 的体系结构模型	304
第五节 计算机控制系统的应用软件	250	三、基于三层结构的流程工业现代集成制造 体系结构	308
一、计算机控制系统应用软件的需求	250	四、间歇生产方式对流程工业 CIMS 的 影响	309
二、应用软件设计技术	251	第三节 流程工业 CIMS 的核心问题及关键 技术	310
三、应用软件开发环境及平台	254	一、系统集成	310
四、计算机控制系统应用软件设计	254	二、系统优化	314
五、商品化的工业控制软件	255	三、建立 CIMS 集成环境的关键技术	316
思考题与习题	256	四、实现流程工业 CIMS 功能集成的关键 技术	318
第九章 计算机控制系统的设计与实施 ...	257	第四节 流程工业 CIMS 设计示例	322
第一节 计算机控制系统设计原则和步骤 ...	257	一、CIMS 的体系结构	323
一、计算机控制系统设计原则	257	二、实施效果	325
二、设计与实施过程计算机控制系统的 步骤	259	思考题与习题	325
第二节 计算机控制系统的设计与实施	260	附录 ASCII 码	326
一、计算机控制系统的总体方案设计	260	一、非打印 ASCII 码 (控制代码)	326
二、硬件的工程设计与实现	262	二、可打印 ASCII 码 (控制代码)	326
三、软件的工程设计与实现	263	三、按字节计算 CRC 的 C 语言程序 示例	327
四、控制系统的调试与投运	265	参考文献	329
第三节 过程计算机控制系统的抗干扰与 可靠性技术	266		
一、计算机控制系统的抗干扰技术	266		
二、系统供电与接地技术	269		
三、看门狗及其电源掉电检测技术	272		
第四节 计算机控制系统的应用实例	273		
一、典型长网纸机的计算机控制系统设计 实例	273		
二、基于 RTLinux 和 PC/104 的微型无人			

第一章 绪 论

计算机控制是计算机技术与自动控制理论及自动化技术紧密结合并应用于实际对象控制的结果。它的应用领域非常广泛,不但是国防、航天航空、制导等高精尖学科不可或缺的组成部分,而且在现代化的工、农、医等领域发挥着越来越重要的作用。本书主要介绍计算机应用于工业生产控制的相关内容,侧重讨论计算机控制系统的基本概念、输入输出接口技术、数据通信技术、网络技术、控制策略、软件技术以及系统的整体设计与工程实现等。为使读者加深理解与拓宽知识面,本书给出了不同类型的典型计算机控制系统应用实例,并注意在书中介绍新发展起来的与计算机控制系统有关的一些先进理念与技术。

作为绪论,本章主要介绍计算机控制系统的一般概念、系统分类、设计与实现技术以及发展概况。

第一节 计算机控制系统的一般概念

一、计算机控制系统概述

1. 计算机控制系统的工作原理

一个按偏差进行控制的简单控制系统的工作原理如图 1-1(a) 所示。当系统由于给定值或外界干扰的变化,出现偏差 e 时,控制器便根据此偏差按预先设置的控制规律进行运算,然后输出一个变化了的控制量 u 到执行机构,使其对被控对象产生一个能减小偏差的控制作用。这个过程不断进行,直到偏差小到满足控制要求为止。此时,控制器输出 u 便维持在一定的值上不再改变。在以前很长一段时间里,图 1-1(a) 中的控制器是气动或电动的模拟调节器,称之为常规控制系统。随着计算机的普及特别是微处理器的性能价格比不断提高,模拟调节器逐渐由计算机“取代”,形成现在所说的计算机控制系统。顾名思义,计算机控制系统强调计算机是构成整个控制系统的核心。

被控对象是多种多样的,在工业生产过程中以温度、压力、流量、液位等模拟物理量为多,虽然已有检测仪表将这些物理量转换为电流或电压,但仍然是连续的模拟电量。而计算机处理信息以数字量作为基础,所以必须要有 A/D 装置先将模拟量转换为数字量后送入计算机处理;而当作为控制器的计算机根据输入量计算出应该输出的数字控制量时,必须采用 D/A 装置将其转换为模拟量,才可输送到执行机构上。此外,为了信息的正常传输,系统中还必须有采样器与保持器等,它们与 A/D、D/A 一起构成了计算机与生产过程之间的接口,是计算机控制系统中必不可少的组成部分,且与计算机一起统称为计算机系统,如图 1-1(b) 中的虚线框所示。若被控变量不是模拟量而是开关量(数字量)这种比较简单的情况,计算机控制系统中也需要用开关量输入输出接口进行信号的传输,而不能直接将过程与计算机相连。用于计算机与被控过程之间信号传输的转换装置通常被称为生产过程输入输出通道,简称过程通道。

在实际的工业生产过程控制中,一般不会是图 1-1 所示的单回路控制系统(即一台控制器仅控制一个回路),而是根据具体情况灵活地构成整个系统,不同系统之间的体系结构有可能差别很大,故存在一种“控制工程师首先是系统工程师(即设计控制系统的出发点应是使整个系统性能最优)”的说法。由于计算机具有很强的计算、逻辑判断与存储信息的能力,因而计算机

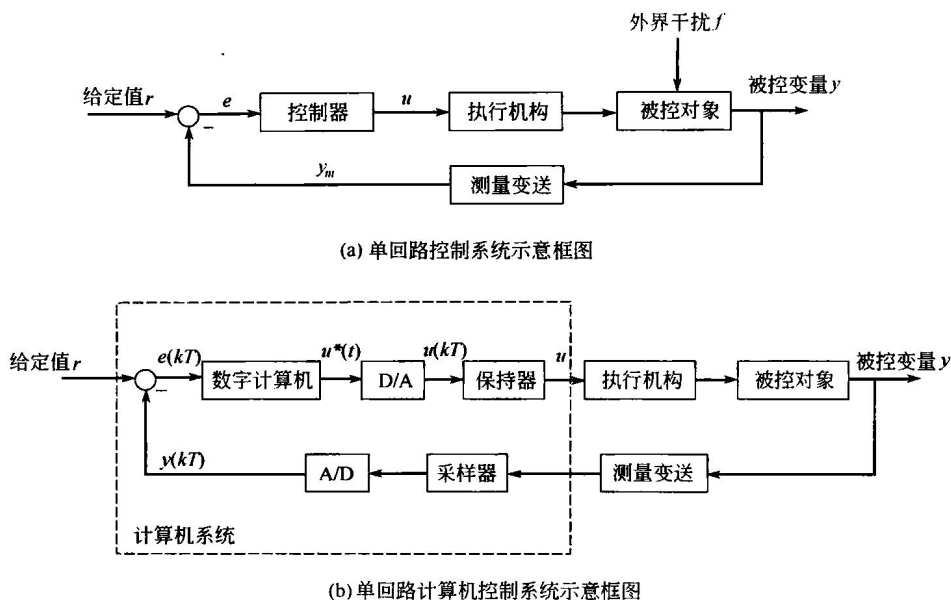


图 1-1 单回路控制系统示意框图

控制系统可以实现各种先进和复杂的控制策略，如自适应控制、预测控制、智能控制等，从而能更好地满足日益复杂化的工业过程的控制要求。更进一步，随着计算机硬件成本的迅速降低，将计算机软硬件、控制理论、数字通信、现代管理等相关技术结合起来，可以在整个工厂或企业实现广义的计算机控制系统——计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacture System，又称之为综合自动化系统）。总之，在计算机控制系统中，计算机不但可以完成基本的控制任务，而且还可以充分发挥其优势，使控制系统的功能更趋完善，在现代化的工业中起到越来越重要的作用。一般地，计算机在控制系统中至少有以下三个基本的作用。

① 实时数据处理 巡回采集来自测量变送装置的瞬时数据，并进行分析处理、性能计算以及显示、记录、制表等。

② 实时监督决策 对系统中的各种数据进行越限报警、事故预报与处理，根据需要进行设备自动启停，对整个系统进行诊断与管理等。

③ 实时控制及输出 按照给定的控制策略和实时的生产情况，实现在线、实时控制。

2. 计算机控制系统的工作方式

① 在线方式与离线方式 在计算机控制系统中，生产过程和计算机系统直接连接，并接受计算机直接控制的方式称为在线或联机方式；反之，若生产过程不和计算机系统相连，或虽相连接但过程不受计算机控制，而是靠人工进行联系并作相应操作的方式称为离线或脱机方式。

② 实时性 实时性是过程计算机控制系统的特点之一，其含义是指信号的输入、计算和输出都必须限制在一定的时间内完成，亦即计算机对输入信息要以足够快的速度进行处理，超过规定的时限就失去了控制的时机，控制可能失去意义。实时性是与具体的过程密切相关的，一个在线的系统不一定是实时系统，但一个实时系统必定是在线系统。

二、计算机控制系统的组成

根据具体的应用目的与场合不同，作为计算机控制系统核心的工业控制计算机型号类别千差万别，系统的组成也各不相同。但无论如何，各类计算机控制系统的基本组成大同小异的，如果不包括被控的工业对象，计算机控制系统的组成大致可用图 1-2 表示。

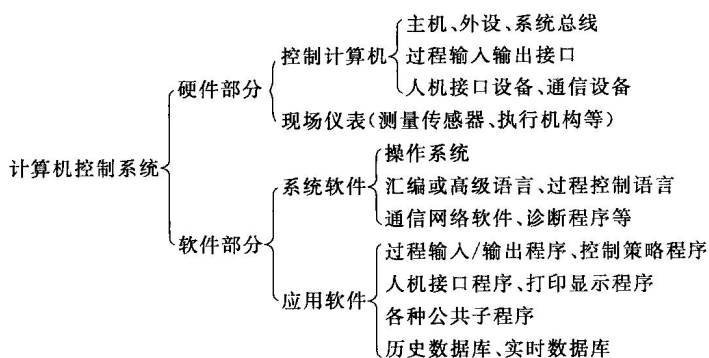


图 1-2 计算机控制系统的组成

图中各主要部分在系统中的作用简述如下。

① 主机 由 CPU、ROM、RAM 组成，是计算机控制系统的核心。它根据采集到的实时信息按照预先存在内存储器中的程序，自动进行信息处理和运算，及时选择相应的控制策略，并将控制作用立即输出到生产过程。

② 外设 常用的外部设备按功能分成输入设备、输出设备和外存储器。最常用的输入设备如键盘终端，用来输入程序、数据和操作命令；最常用的输出设备如 CRT 显示器、打印机、绘图机等，用于显示、打印生产的操作状况、性能指标、生产报表等；常见的外存储器是磁盘、磁带、光盘等，它们兼有输入和输出两种功能。

③ 过程输入/输出接口 包括模拟量和开关量两大类。它们是计算机与生产过程之间信息交换的桥梁，是计算机控制系统中必不可少的部分。

④ 人机接口设备 包括显示器、键盘、专用的操作显示面板或操作显示台等。它们一方面显示生产过程状况，另一方面供生产操作人员操作和显示操作结果。操作员通过人机接口设备与计算机进行信息交换。

⑤ 通信设备 通过通信设备，不同地理位置、不同功能的计算机之间或计算机与设备之间可以进行信息交换。当多台计算机或设备构成计算机网络时，通信设备尤显重要。

⑥ 现场仪表 包括检测变送仪表、执行机构等。前者的任务是信号的检测、变换、放大和传送，将生产过程中的各种物理量转换成计算机能接受的电信号；后者完成计算机输出控制的执行任务。由于直接与生产过程连接，它们在过程计算机控制系统中占有重要的地位，但本书将不涉及这方面的具体内容，需要时可查阅有关教材或手册。

⑦ 系统总线 系统总线分为内部总线与外部总线两大类，其中内部总线在计算机各内部模块之间传送各种控制、地址与数据信号，并为各模块提供统一的电源；外部总线为计算机系统之间或计算机系统与设备之间提供数字通信。

⑧ 系统软件 它管理计算机的内存、外设等硬件设备，为用户使用计算机创造条件，同时为用户编制应用软件提供环境和方便。

⑨ 应用软件 是系统设计人员针对具体生产过程编制的控制和管理程序，其优劣将直接影响到系统的控制品质和管理水平。它是控制计算机在特定环境中完成某种控制功能所必需的软件。一般包括过程输入/输出程序、过程控制程序、人机接口程序、打印、显示程序及各种公共子程序等。应用软件涉及生产工艺、控制理论、控制设备等各方面知识，通常由用户自行编制或根据具体情况在商品化软件的基础上自行组态以及做少量特殊应用的开发。

三、计算机控制系统的效益

工业企业实施计算机控制系统后的效益可划分为可计算的经济效益与不可计算的社会效益

两部分。可计算的经济效益是：通过实施计算机控制，可以增加企业的产量或可处理量；改善产品的质量；降低能源消耗与原料消耗，减少成本；提高设备的利用率，降低维修要求；节省劳动力等。不可计算部分的效益指的是企业的知名度和操作人员的整体素质得到提高；操作人员的安全得到更有效的保障；能及时获得生产和管理的有关信息并加以利用；对工况改变的适应性增强；能及时地预报与较好地处理过程与设备的事故；在保证产品质量的同时，兼顾环境效益，尽量减少对环境产生污染等。一个例子是，据一些采用过程计算机控制系统的制浆造纸企业统计，计算机控制系统投运以后带来的好处有：提高产量约 10%，节约蒸汽约 15%，产品质量的标准差降低约 30%，节约化学药品 10%，降低原料纤维用量约 2%，减少断纸次数约 60%，提高车速 5% 等，同时，环境污染基本遏制。

由于计算机控制系统可以带来明显的经济效益，一般来说，企业投资于计算机控制系统的资金在 1~2 年、甚至几个月即可全部收回，而同时还可获得良好的社会效益。所以，在工业过程实施计算机控制系统是现代化生产与管理的必需，而不是一种时髦的装饰已成为人们的共识。

第二节 计算机控制系统的分类

由于各自不同的功能需求，计算机控制系统具有各种各样的结构和形式，而且按照不同的划分方法亦有不同的计算机控制系统分类。例如，若只按照计算机参与控制的形式，可分为开环控制与闭环控制两大类；若根据系统采用的控制规律，可分为顺序（程序）控制、常规控制（如 PID 控制）、高级控制（或称先进控制，如最优控制、自适应控制、预测控制等）、智能控制等若干类；若是根据计算机应用于工业控制的发展历程及其结构特点，则可将过程计算机控制系统大致分成计算机巡回检测和操作指导系统、直接数字控制系统、监督控制系统、集散控制系统、现场总线控制系统以及企业生产集成控制系统等几大类。这里对最后这种分类简述如下。

一、计算机巡回检测和操作指导系统

生产过程中有大量的过程参数需要测量和监视，用计算机以巡回的方式周期性地检测这些参数并完成必要的数据处理任务是计算机巡回检测系统的任务。这是计算机应用于工业生产过程最早和最简单的一类系统。若在此基础上，系统

能根据反映生产过程工况的各种数据，由某种给定的性能指标与控制策略，通过对现场数据的处理、分析与计算，给出操作指导信息，供现场操作人员参考，便称之为操作指导系统，其结构如图 1-3 所示。

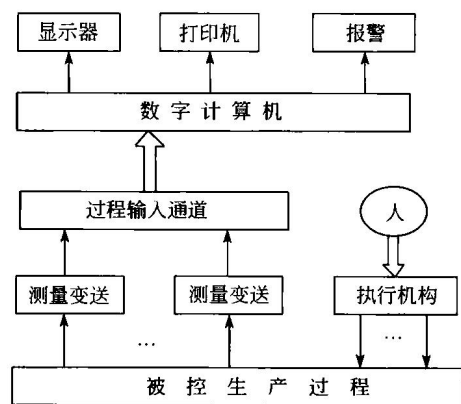


图 1-3 计算机巡回检测和操作指导系统

从图中可以看出，这种系统本质上是一种开环系统。过程参数经测量变送器、过程输入通道，定时地被送入计算机，由计算机对来自现场的数据进行分析和处理后，根据一定的控制规律或经验公式甚至管理方法进行综合，然后通过显示器或打印机输出操作指导信息提供给操作工参考。

这种系统的优点是简单且安全可靠，可以用于试验新方案、新系统。在实施计算机闭环控制之前进行这种开环控制的试运行，可以考核计算机工作的正误，还可以用于试验新的数学模型和调试新的控制程序。其缺点是仍需要人工操作，操作速度受到限制，不能同时控制多个回路。

二、计算机直接数字控制系统 DDC

20 世纪 50 年代末 60 年代初的计算机控制系统, 不是以操作指导方式运行, 就是以设定值控制方式运行, 这两种控制方式都需要常规的模拟控制设备, 计算机本身并不直接控制阀门。1962 年, 英国的帝国化学工业公司 (ICI) 制造出一套计算机控制系统取代了原来常规控制系统中的全部模拟仪表, 由计算机直接测量 224 个变量, 控制 129 个阀门。计算机直接数字控制系统 (Direct Digital Control System, 简称 DDC) 这个名称就是为了强调计算机直接控制生产过程这一特征。这是工业过程控制新纪元的开始, 即数字技术代替了模拟技术, 而系统的功能却保持不变。当时一台典型的过程计算机, 完成两数相加所花的时间为 $100\mu\text{s}$, 相乘所花的时间为 1ms , 平均无故障时间大约为 1000h。

计算机直接数字控制系统的框图如图 1-4 所示。由图可见, 计算机通过过程输入通道 (模拟量输入通道 AI 或开关量输入通道 DI) 对多个被控生产过程进行巡回检测, 根据给定值、测量值及控制规律计算出控制指令, 经过程输出

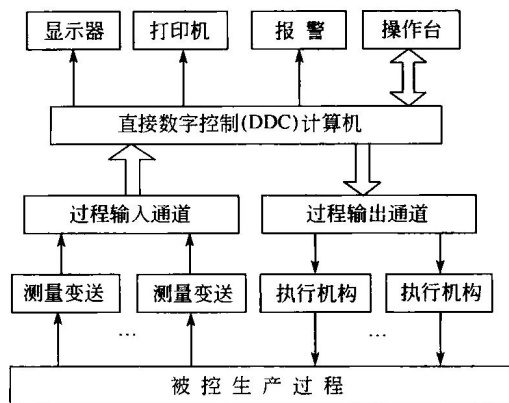


图 1-4 计算机直接数字控制系统框图

出通道 (AO 或 DO) 直接去控制执行机构, 使得各被控参数保持在其给定值附近。这类系统中的计算机不仅完全取代模拟调节器直接参与闭环控制, 而且只要通过改变程序即可实现一些较复杂的控制规律; 还可以与计算机监督控制系统结合起来构成分级控制系统, 实现最优控制; 同时也可作为计算机生产集成控制系统的基础——直接过程控制层, 与过程监控层、生产调度层、企业管理层、经营决策层等一起实现工厂 (企业) 综合自动化。计算机直接数字控制是计算机控制系统发展方向上的重大变革, 使得计算机应用于工业控制从早期侧重的监督功能转变到基本的控制功能; 同时它也是一种最典型的形式, 自 20 世纪 60 年代提出以来, 在工业生产过程中得到了非常广泛的应用。

还有一种常见的系统是计算机顺序 (程序) 控制, 即计算机按照预先确定的操作顺序和操

作方法, 根据生产工艺流程的进程 (或在满足某些规定的条件时) 依次地输出操作信息。比如发电厂的锅炉、汽轮机、发电机的启动阶段和停止阶段, 冶金工业中高炉炼铁、转炉炼钢以及各种轧制过程都包括有十分复杂的顺序操作过程。

三、计算机监督控制系统 SCC

计算机监督控制系统 (Supervisory Computer Control System, 简称 SCC) 通常采用两级控制形式, 分处两层的计算机分别称为上位机与下位机, 其结构如图 1-5 所示。

所谓监督控制, 指的是上位机根据原始的生产工艺数据和现场采集到的工况信息, 一方面按照描述被控过程的数学模型和某种最优目标函数, 计算

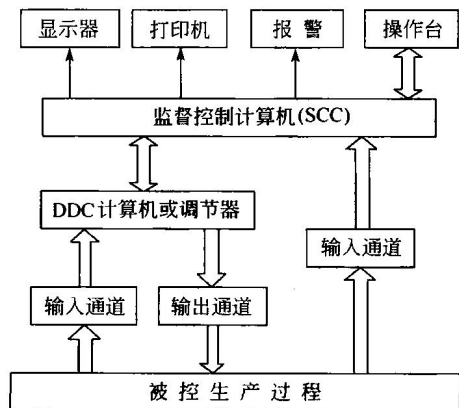


图 1-5 计算机监督控制系统 SCC 示意框图

出被控过程的最优设定值, 输出给下一级的 DDC 系统或模拟调节器 (已越来越少); 另一方面对生产状况进行分析, 作出故障的诊断与预报。所以上位机并不直接控制执行机构, 而只是根据某个最优性能指标计算出下一级的最优给定值。所以 SCC 系统可以看成是前面所述的操作

指导系统与 DDC 系统的综合与发展。

SCC 控制系统的主要优点是：它在计算时可以考虑许多单级控制考虑不到或不能实现的因素；可以进行过程操作的在线优化，使生产过程始终在最优状态下运行；可以实现先进但较为复杂的控制规律，满足产品的高质量控制要求；可以进行故障的诊断与预报，提高系统的可靠性。值得注意的是，生产过程的数学模型往往是监督控制系统能否实现以及运行得好坏的关键之一。因此，在计算机控制系统的设计中，数学模型应该引起足够重视。目前，这种控制方式已越来越多地被应用于较为复杂的工业过程及工业设备的控制中。

由于计算机 DDC 系统中的计算机直接与生产过程相连并承担控制任务，一台计算机往往要控制几个或几十个回路，而工业现场环境恶劣，干扰多，所以一方面要求 DDC 计算机可靠性高、实时性好、抗干扰能力强、能独立工作；另一方面必须采取抗干扰措施来提高整个系统的可靠性，使之能适应各种工业环境，并合理设计应用软件。一般选用微型机、工控机或/和 PLC 作为 DDC 级的计算机；而 SCC 级承担先进控制、过程优化与部分管理的任务，信息存储量大，计算任务繁重，要求有较大的内存与外存，较为丰富的软件，一般选用高档微型机或小型机作为 SCC 级计算机。

四、计算机集散控制系统 DCS

计算机集散控制系统 (Distributed Control System, 简称 DCS)，又称分布式或分散型控制系统，近三十年来发展十分迅速。这是因为，生产过程往往很复杂，设备分布也可能很广，各个工序、各个设备通常是并行地工作，若仍然是集中式的控制，一来系统会相当的复杂，二来设备之间会相互影响，整个系统的危险增加。而随着微型处理器的性能价格比不断提高，分布式控制 DCS 逐渐取代以往集中式的控制。DCS 由多个相关联可以共同承担工作的微处理器

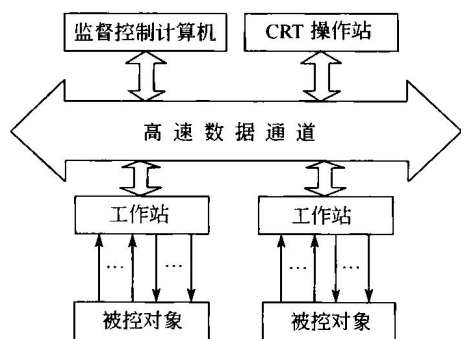


图 1-6 计算机集散控制系统结构

为核心，一起组成可以运行多项任务的系统，实现地理上和功能上的控制，同时通过高速数据通道把各个分散点的信息集中起来，进行集中的监视和操作，实现复杂的控制和优化。因此，这种系统通常包括控制过程的过程站（或称工作站），具有操作监视作用的操作站和各种辅助的站点，例如系统配置和编程、数据存储等。世界上第一套 DCS 是 1975 年由 Honeywell 公司推出的 TDC-2000。此后许多国家包括中国都开始生产各种型号类似产品，出现了“集散型控制”一词。虽然各种系统的型号各异，但其结构和功能都大同小异，都由以微处理器

为核心的基本数字控制器、高速数据通道、CRT 操作站和监督计算机等组成，其结构框图如图 1-6 所示。集散控制系统有许多优点，最突出的一点是提高了系统的可靠性和灵活性，因为 DCS 的设计原则是分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调。

在计算机控制应用于工业过程控制初期，由于计算机价格高，对工业过程采用的是集中控制方式，以充分利用计算机。但这种控制方式由于任务过分集中，一旦计算机出现故障，就要影响全局。DCS 由若干台微型计算机分别承担任务代替了集中控制的方式，将危险性分散。并且 DCS 是积木式结构，构成灵活，易于扩展；系统的可靠性高；采用 CRT 显示技术和智能操作台，操作、监视方便；采用数据通信技术，处理信息量大；与计算机集中控制方式相比，电缆和敷缆成本较低，便于施工。

五、现场总线控制系统 FCS

20 世纪 70 年代发展起来的 DCS 尽管给工业过程控制带来了许多好处，但由于它们采用了“操作站-控制站-现场仪表”的结构模式，系统成本较高，而且各厂家生产的 DCS 各有标