



普通高等教育“十五”国家级规划教材

控制系统数字仿真与 监控组态软件应用

主 编 童启明

副主编 刘彦彬 罗晓惠



 科学出版社
www.sciencep.com

●普通高等教育“十一五”国家级规划教材

控制系统数字仿真与 监控组态软件应用

主 编 童启明
副主编 刘彦彬 罗晓惠

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以自动控制理论为基础,重点介绍控制系统数字仿真方法及监控组态软件的基本应用.全书分为6章,第1章介绍自动控制系统的基本概念,说明控制系统的基本分析方法;第2章介绍控制系统数字仿真的基本原理和典型方法;第3章介绍控制系统仿真软件 Matlab/Simulink 的基本应用方法;第4章以典型的运动控制系统、过程控制系统及 PID 控制器为例,说明数字仿真的实现过程;第5章介绍工控组态软件——组态王的基本使用方法;第6章通过14个实训项目对组态王软件的具体应用给出全程指导.

本书适合高等院校学生使用,也可作为专业技术人员的参考用书.

图书在版编目(CIP)数据

控制系统数字仿真与监控组态软件应用/童启明主编. —北京:科学出版社,2006

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-016057-6

I. 控… II. ①童… ②刘… III. ①控制系统-数字仿真-高等学校:技术学校-教材 ②过程控制软件-高等学校:技术学校-教材 IV. ① TP271 ② TP317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 086639 号

责任编辑:余 丁 吕 虹 祖翠娥 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年10月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年10月第一次印刷 印张:18 3/4

印数:1—4 000

字数:368 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

随着自动控制技术、计算机软硬件应用技术、数字化媒体交互技术的快速发展,各种功能强大、使用便捷的仿真工具软件已经成为控制系统工程应用现场工程师的得力助手。在这样的背景下,将数字仿真技术作为电子信息类专业学生的实用技术专业必修课势在必行。

本书以目前工业控制领域流行的数字仿真工具软件——Matlab 系统及工控组态软件——KINGVIEW (组态王)为媒介,在有限的篇幅内,将自动控制系统基本概念、分析方法、仿真实现过程等内容有机串联,为读者学习控制系统数字仿真技术和方法,提供一种比较快捷的途径。

Matlab 语言及 Simulink 集成仿真工具是目前数字仿真软件产品中的佼佼者,其丰富的指令集合与友善的视图窗口使控制系统设计者的工作质量和工作效率发生了革命性的飞跃。工业控制系统组态技术在广义上亦应属于数字仿真范畴。对于从事系统设计、试验分析、运行维护工作的工程技术人员来说,掌握该项技术的实现工具——工控组态软件的应用是非常必要的。

编写本书的目的,并不仅仅局限于介绍软件的使用方法,更重要的目的在于通过技术概念、技术方法的引入,使技术应用的基本思路在工程技术实用人才的培养过程中有所体现。工程技术实用人才的能力培养包含多个方面,如何在理论知识适度够用的标准下真正提高专业技术应用水平,既要在客观上建设必要的物质环境,又要在主观上逐步更新教育教学理念。

传统的教学过程比较强调理论知识的系统性和完整性,特别注重因为所以之间的逻辑关系,专业理论基础与技术实现方法往往分散设置在不同的教学环节中。本书在这方面力求有所创新,尝试将经典的控制系统理论分析方法与先进的计算机辅助应用技术结合,使读者在学习了解最基本的控制系统分析方法之后,能够以尽可能短的过渡过程进入后续的应用技术训练阶段。

全书分为 6 章。第 1 章,控制系统的基本概念,从介绍自动控制和自动控制系统的概念、发展历史入手,说明控制系统数学模型的基本类型和建立方法,以及经典控制理论中的时域分析、频域分析方法;第 2 章,数字仿真简论,说明控制系统数字仿真的概念和步骤,结合简单示例介绍控制系统模型数值解算方法的基本原理;第 3 章,Matlab 语言与 Simulink 工具,在概要介绍 Matlab 系统组成、功能特点、基本约定之后,介绍 Matlab 控制系统工具箱中的常用函数指令用法,说明在 Matlab 命令窗口及应用 Simulink 工具建立控制系统模型、对模型

进行仿真运行的全过程；第4章，自动控制系统仿真分析实例，首先以直流电机调速系统为例说明运动控制系统仿真过程，其次介绍过程控制系统数字仿真过程中的一些特殊问题和解决方案，最后简要说明了数字PID调节仿真的一般方法；第5章，组态王软件的使用，从基本操作入手全面介绍该软件的使用方法；第6章，组态王实训，以循序渐进的方式，通过14个实训项目对应用组态王工控组态软件进行全程指导。

北京联合大学童启明编写第1、2、3、4章，刘彦彬编写第5章，刘彦彬和罗晓惠共同编写第6章。

本书是作者在总结多年教学实践的基础上编写而成的，将自动控制系统的理论知识与数字仿真技术方法结合在一起，从内容选择到形式结构力争符合技术应用能力培养需求，体现技术教育实用性特点。限于作者水平，书中难免有不妥之处，恳请读者不吝指正。

目 录

第 1 章 自动控制系统的基本概念	1
1.1 溯根求源	1
1.1.1 何谓控制	1
1.1.2 早期运用	1
1.1.3 现代应用	3
1.1.4 分类定位	7
1.2 系统描述	10
1.2.1 自动控制系统	10
1.2.2 正反馈与负反馈	12
1.2.3 数学模型	14
1.3 分析方法	28
1.3.1 系统稳定性及稳态性能分析	28
1.3.2 频域分析方法	38
思考与练习	47
第 2 章 数字仿真简论	51
2.1 简单示例	51
2.2 一般问题	53
2.2.1 基本概念	53
2.2.2 仿真系统分类及基本流程	55
2.2.3 仿真技术应用及发展	55
2.3 控制系统仿真方法	59
2.3.1 数值积分法	59
2.3.2 离散相似法	64
2.3.3 快速数字仿真方法	70
思考与练习	77
第 3 章 Matlab 语言与 Simulink 工具	79
3.1 接触 Matlab	79
3.1.1 产品与资源	79
3.1.2 开始使用	80
3.1.3 简单示例	85

3.1.4 一般约定与规则	89
3.2 控制系统工具箱	97
3.2.1 建立模型	97
3.2.2 时域分析	105
3.2.3 频域分析	112
3.3 仿真集成工具 Simulink	119
3.3.1 认识 Simulink	119
3.3.2 在 Simulink 环境中实现控制系统仿真	127
思考与练习	137
第4章 自动控制系统仿真分析实例	139
4.1 运动控制系统仿真	139
4.1.1 双闭环直流调速系统工作原理	139
4.1.2 双闭环直流调速系统仿真分析	142
4.2 过程控制系统仿真	149
4.2.1 对过程控制过程中延迟特性的处理	150
4.2.2 串级调节系统及其仿真	153
4.2.3 前馈调节系统及其仿真	156
4.3 数字 PID 仿真	160
4.3.1 PID 控制的基本概念	161
4.3.2 数字 PID 算法	165
思考与练习	171
第5章 组态王软件的使用	173
5.1 概述	173
5.1.1 组态王软件的结构	173
5.1.2 组态王怎样和下位机通信	174
5.1.3 怎样产生动画效果	174
5.1.4 建立应用程序的一般过程	175
5.2 工程管理器	176
5.2.1 文件菜单	177
5.2.2 视图菜单	180
5.2.3 工具菜单	180
5.2.4 帮助菜单	185
5.2.5 快捷菜单	185
5.3 工程浏览器	185
5.3.1 概述	185

5.3.2 工程菜单	187
5.3.3 配置菜单	192
5.3.4 查看菜单	196
5.3.5 工具菜单	196
5.3.6 工具按钮	198
5.4 画面开发系统	199
5.4.1 文件菜单	199
5.4.2 编辑菜单	203
5.4.3 排列菜单	204
5.4.4 工具菜单	208
5.4.5 图库菜单	215
5.4.6 画面菜单	217
5.4.7 图形编辑工具	218
思考与练习	220
第6章 组态王实训	221
实训1 开始一个新项目	221
实训2 设计画面	224
实训3 定义数据库	228
实训4 连接与动画	233
实训5 命令语言编程	238
实训6 画面切换	244
实训7 棒图控件	246
实训8 报警窗口的制作	249
实训9 趋势曲线	255
实训10 报表系统制作	267
实训11 I/O 设备操作	272
实训12 配方的制作	276
实训13 数据库操作	281
实训14 系统安全性设置	289
思考与练习	291
参考文献	292

第 1 章 自动控制系统的基本概念

1.1 溯根求源

1.1.1 何谓控制

所谓控制,《现代汉语词典》中的解释是“掌握住不使任意活动或越出范围”,即为操纵之意.可以说,控制的概念与控制的过程、行为,在我们的生产、生活中比比皆是,与我们的各种社会活动及日常生活息息相关.

对于控制概念的理解,可以通过很多具体事例来体会.例如在人际交往中对言行举止的把握;在信息交流中对表达方式、表达进程的掌握;衣食住行、喜怒哀乐,无不以控制为精髓,缺乏控制即会偏离目标,失去控制必然茫然无措.在各类经济生产活动中,控制的重要作用更是毋庸置疑.例如在钢铁冶炼的生产系统中,需要对鼓风机或高炉中的铁水温度进行控制,为了炼铁成钢,需要对铁水中的化学成分进行控制,其后在轧制过程中,还需要对钢板的厚度和张力进行控制;对农作物的灌溉量、日照量、生长环境、收获时间的控制是为了得到丰厚的果实;对汽车发动机的运行加以控制,可以减少燃料消耗、降低污染,为环境保护做出贡献;还有对电力系统的电压、电流、频率的控制,对化工制造过程温度、压力、流量的控制,对大型建筑物的振动控制,对计算机磁盘、光盘驱动控制器的旋转控制等,数不胜数.控制的表现形式、外在特性虽然不尽相同,但从实现目标的内涵看,却具有一定的共性.

这种共通性,简单说就是:控制的基本目标是要使控制的结果尽可能地接近某种期望值(目标值),并且应该尽量保持这个值.

1.1.2 早期运用

虽然控制理论的出现至今不过一百多年,但控制技术的发展应用则已经有了几千年的历史.

“水钟”——一种古代计时器具(中国古代称为“刻漏”,也叫“漏壶”),据古代楔形文字记载和从埃及古墓出土的实物证实,巴比伦和埃及在公元前 1500 年以前便有了很长的水钟使用史.

中国古代科学家们也十分重视对水钟研究和应用.据《周礼》记载,约在公元前 500 年,军队已将漏壶作为计时装置.公元 120 年,著名科学家张衡发明了

用补偿壶解决水头降低计时不准确问题的巧妙方法。在他的“漏水转浑天仪”中，不仅有浮子、漏箭，还有虹吸管和补偿壶。最有名的中国水钟“铜壶滴漏”由铜匠杜子盛和洗运行建造于公元 1316 年（元代延祐三年），并一直使用到 1900 年。现保存在广州市博物馆中，仍能使用，如图 1.1 所示。

铜壶滴漏整件由日壶、月壶、星壶、受水壶组成。日壶高 75.5 厘米、口径 68.2 厘米、底径 60 厘米，月壶高 58.5 厘米、口径 54.5 厘米、底径 53 厘米，星壶高 55.4 厘米、口径 44 厘米、底径 39 厘米，受水壶高 75 厘米、口径 32 厘米、底径 31 厘米。四壶自上而下依次安放，整体高 264.4 厘米。日壶水以恒定流量滴入下层的月壶，月壶水滴入星壶，星壶水滴入受水壶。受水壶壶盖正中立有铜表尺，上有时辰刻度。铜尺前设置木制浮箭，木箭下端是一块木板，叫浮舟。受水壶中的水随时间推移而逐渐增加，浮舟托起木箭缓缓上升，将木箭顶端与铜表尺上的刻度对照，就可知道当时的时间。

公元 235 年（三国时期）的马均及公元 477 年（刘宋时期）祖冲之等还曾制造过具有开环控制特点的指南车，并发明了齿轮及差动齿轮机构，如图 1.2 所示。

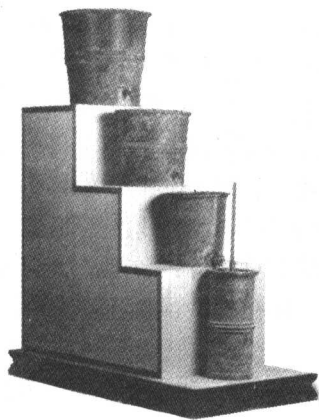


图 1.1 铜壶滴漏

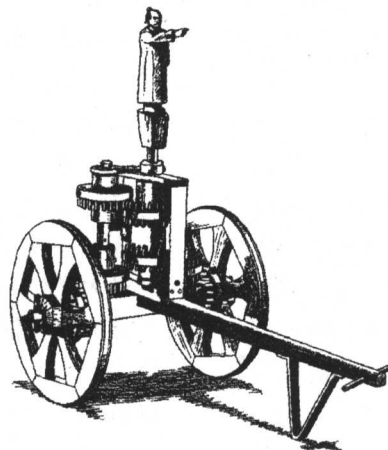


图 1.2 指南车

18 世纪，随着人们对动力的需求，各种动力装置成为人们研究的重点。蒸汽机突破性的成熟发展，是机械工程最瞩目的成就。1765 年俄国的波尔祖诺夫发明了蒸汽机锅炉的水位自动调节器，1760~1800 年，詹姆斯·瓦特对蒸汽机进行了彻底改造，使其得到广泛的应用。1769 年，瓦特给蒸汽机添加了一个“节流”控制器即节流阀，它由离心“调节器”（飞球调节器）操纵调节蒸气流，以保证蒸汽机工作时的速度基本均匀，如图 1.3 所示。这是当时反馈调节器最成功的应用。

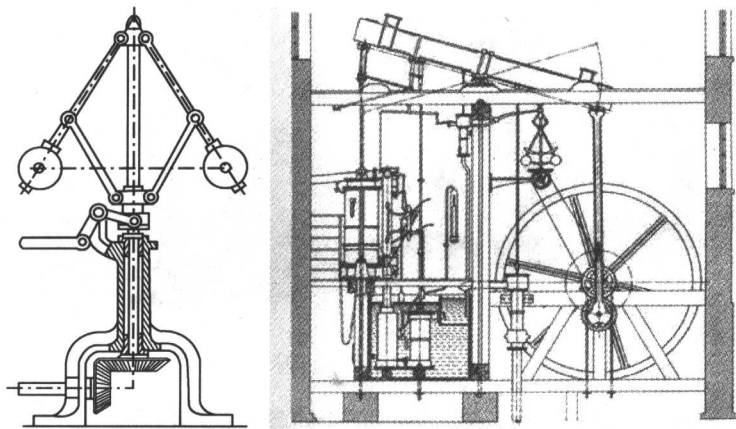


图 1.3 离心调速器与瓦特蒸汽发动机

1.1.3 现代应用

采用离心调节器这种机械式的调节机构实现动力装置的自动控制,是自动控制技术应用的第一个里程碑。

20 世纪 20 年代出现了电子管反馈放大器。到 40 年代二次世界大战期间,出于战事的需要,在经典控制理论的技术支持下,各种电子控制器被广泛地应用在各种机械、电子系统中,使大型自动化设备得以在无人参与的情况下有效、安全的运行。由此,在机械化、电气化协同发展的基础上,形成了自动化生产线,并逐渐成为发达国家工业化生产的一种标准模式,图 1.4~图 1.6 所示生产线、

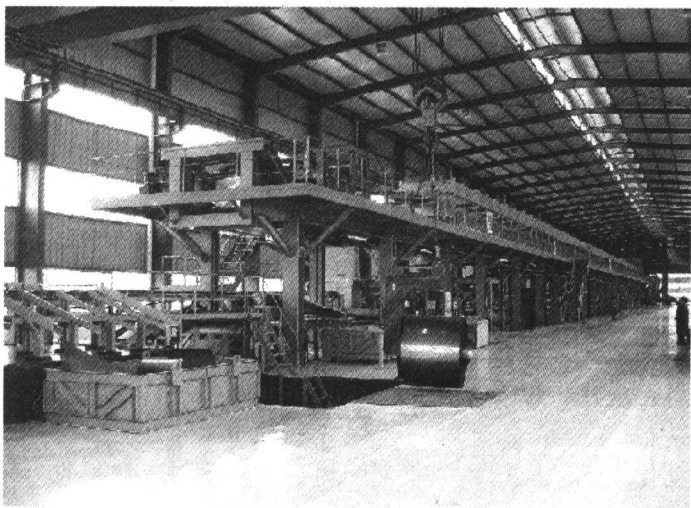


图 1.4 带钢热镀锌生产线

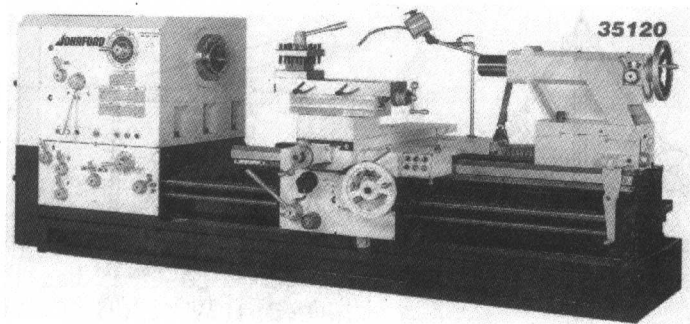


图 1.5 数控车床



图 1.6 加工中心

数控车床、加工中心就是这种生产模式的具体体现。可以说，电子控制器的应用是自动控制技术发展历程中的第二个里程碑。

计算机技术的发明和发展是人类文明史上最辉煌的成就之一，图 1.7 所示为磁盘驱动器和 CPU 晶片产品。从 20 世纪中叶开始，以计算机控制为代表的自动化技术及工业机器人的广泛应用，使柔性加工、分布式控制、计算机集成制造等理念逐渐成熟。应该说，数字化信息处理技术、数字化控制技术、网络通信技术的普遍应用，以及系统、管理概念的全程引入是自动化发展的新里程碑。

现代自动化技术的应用领域非常广阔，从基础制造到能源、交通，从航空航天到农、林、牧、副，从军工科技到信息家电，可以说无处不在、无所不能。

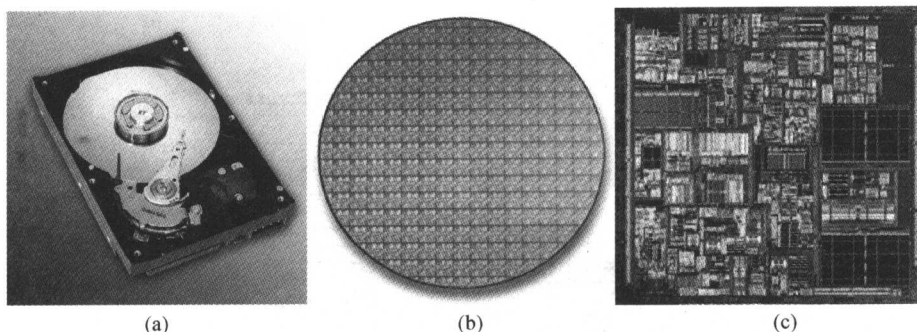


图 1.7 磁盘驱动器和 CPU 晶片产品

(a) Barracuda 36ES2 磁盘驱动器 (b)、(c) Intel Pentium IV 晶片及其芯片

在航空航天领域中，莱特兄弟不仅仅是以采用动力推动的飞行而著名——他们实际上证明了受控的有动力的飞行。早期的莱特飞行器是把移动控制表面（垂直的尾舵与前舵）与翘曲机翼合成一体使飞行员可以调节飞机的飞行。实际上，飞机本身是不稳定的，因此持续的驾驶修正是必需的。在控制飞行的早期例子之后是一系列引人入胜的成功故事，它导致我们今天在现代商业和军用飞机上所见到的飞行控制技术的持续改进，最终出现了超高性能，非常可靠的自动飞行控制系统，图 1.8 展示出两款杰出的现代飞行器示例。

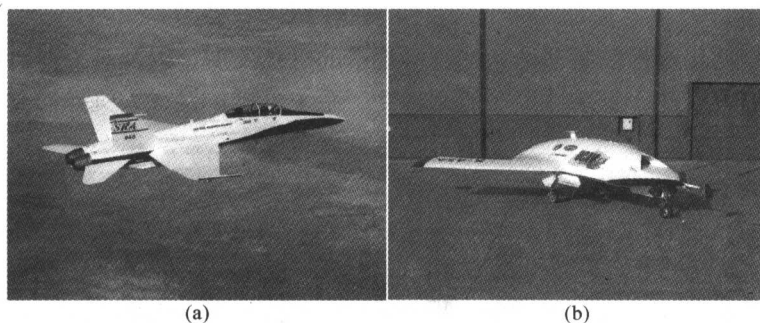


图 1.8 现代飞行器

(a) 第一种运用可遥控自动驾驶仪技术的军用飞机之一——F-18

(b) X-45 (UCAV) 无人飞行器

巴塞罗纳作为西班牙的第二大城市，被誉为欧洲思维最领先的城市之一，曾成功举办了 1992 年夏季奥运会。1924 年，巴塞罗纳在 LESSEPS 和 CATAL-UNA 之间建成了第一条地铁。从那时起，地铁系统不断采用最新技术更新改造。1971 年，随着悬浮式常规车轨的问世，巴塞罗纳的地铁系统成为该市的首要交通工具，图 1.9 所示为该市地铁系统网络示意图。

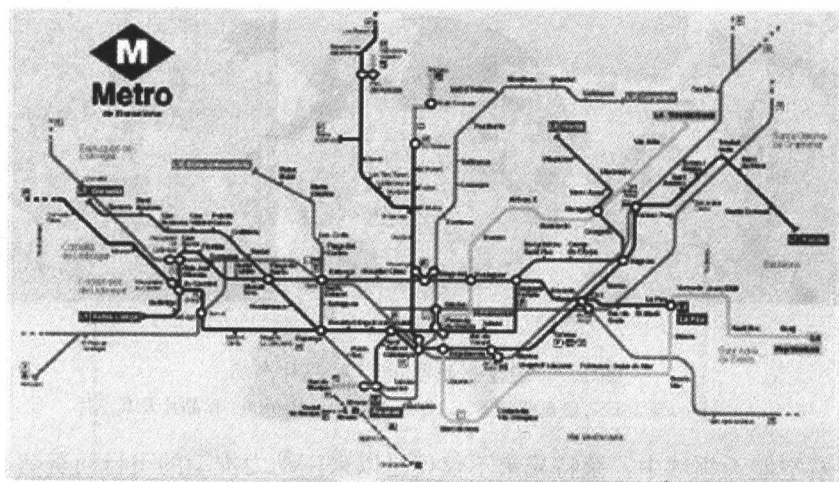


图 1.9 巴塞罗纳地铁网络

为了改进地铁操作和安全状况,提高乘客的舒适度,巴塞罗纳地铁公司对列车和控制设施进行了许多技术改进,其中最重要的措施之一就是把 Ethernet TCP/IP 工业技术运用到现有的 IT 网络设备中,以便实现自动化控制和远程监控.这种结合大大提高了网络可靠性,有效加强了通信、电视监控等领域之间的协调运作.

随着自动化过程控制理论和计算机技术的迅猛发展,以及对工业自动化过程控制系统的可靠性、复杂性、功能完善性、系统可维护性、人机界面友好性、数

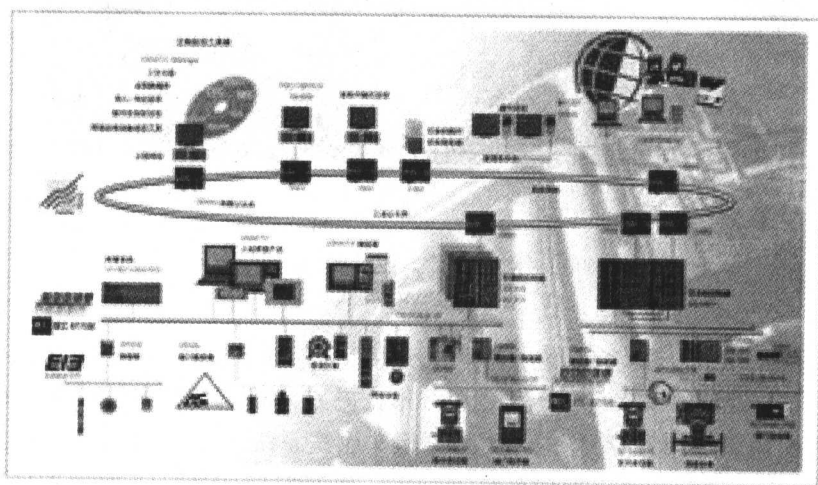


图 1.10 SIEMENS PCS7 全集成自动化系统

据的可分析可管理性等各个方面都提出了愈来愈高的要求,同时也为工业自动化过程控制系统的发展指明了方向。

SIEMENS 基于全集成自动化的思想提出了一种新型的集成控制系统模式,其核心是由统一的过程数据库和唯一的数据库管理软件,将所有的系统信息一次性存储到一个数据库中,以达到大幅度增强系统整体性和信息准确性的目的,如图 1.10 所示。

机器人技术是自动控制科学与技术应用领域最活跃的一个分支。

控制工程的目标,在 20 世纪 40 年代甚至更早已经非常明确:使系统具有高度的灵活性并对变化的环境做出“智能”的反应。1948 年,麻省理工学院的数学家 Norbert Wiener 给出了关于控制理论的广博的描述,钱学森通过与控制导弹的有关问题于 1954 年提出了可作更多数学解释的工程控制论。这些工作已经成为机器人技术和现代控制技术发展的基础。

在这一领域的成功证明是火星旅居者机器人和索尼爱波机器人,如图 1.11 所示。从 1997 年 7 月开始,旅居者成功地在火星表面运动了 83 天并且传送回火星环境的实况图片。1999 年 7 月索尼公司的爱波机器人初次登场成为第一款对大众销售的娱乐型机器人。

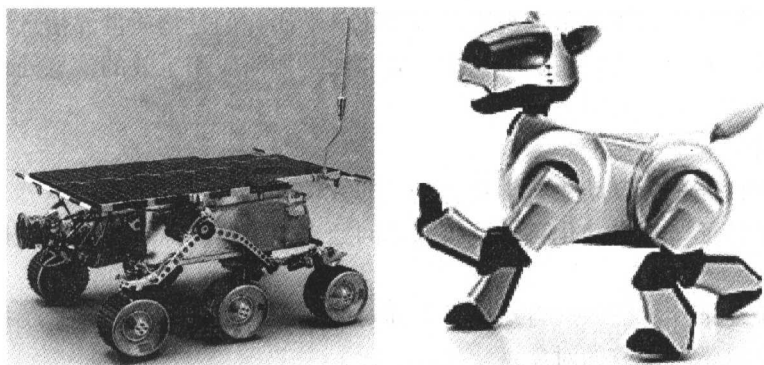


图 1.11 火星旅居者机器人和索尼爱波娱乐表演机器人

1.1.4 分类定位

按照一般的分析,广义的科学技术体系大致包含“基础科学”、“技术科学”和“工程技术”三个知识层次。其中,工程技术是直接用于改造客观世界的现场技术,技术科学以为工程技术提供理论方法为目的,而基础科学的基本功能是揭示客观世界运动的普遍规律。

自动化科学或称控制系统科学,作为一门技术科学,以美国数学家 Norbert Wiener 的《控制论——动物和机器中的控制与通信》一书的问世为其基本成型

的标志.

自动化科学与技术在现代科学技术体系中的位置如图 1.12 所示.

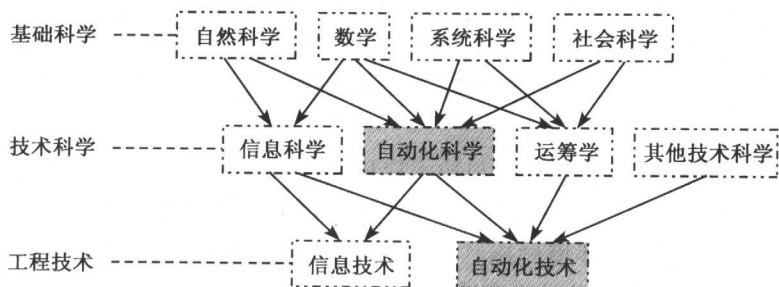


图 1.12 自动化科学与技术的定位

自动化科学研究的基本任务是为自动化技术和控制工程提供科学理论基础, 主要致力于具有共性的原理、方法的研究. 作为一门工程应用技术, 自动化技术是自动化科学与自动化应用之间的桥梁, 其主要作用一方面是将自动化科学原理与方法转换为工程实用技术, 另一方面是将工程实际中的技术问题抽象、总结为科学问题.

从信息、能量、物质的角度观察, 自动化科学研究的是物质世界信息运动规律以及对信息的处理方法, 而自动化技术研究的是如何应用有效的信息处理方法促进能量与物质的有效利用.

自动化科学的基本特征是:

- (1) 理论特征——自动化科学具有坚实的数学理论基础;
- (2) 对象特征——自动化科学所研究的问题来源与实际需求, 研究的目的是改造世界;
- (3) 系统复杂性特征——自动化科学面对的对象越来越复杂, 越来越接近系统科学与社会科学所研究的对象;
- (4) 普遍适用特征——自动化科学所研究的是具有普遍性或共性的对象, 其目的又是改造世界, 因此自动化科学的原理和方法具有很强的渗透性和扩散性.

自动化技术的发展不仅得力于自动化科学、信息学、机械工程学、电气工程学、航空航天工程学、化学工程学等, 通过与自动化技术的交互作用, 皆在很大程度上促进了自动化科学与技术的发展.

自动化技术的主要特点是:

- (1) 具有桥梁作用. 从科学、工程、技术的角度看, 自动化技术直接应用自动化科学原理和方法解决实际工程问题, 同时又将工程技术问题提炼、抽象为科学问题; 从信息、能量、物质的角度看, 自动化技术要解决如何运用信息以促进

能量与物质有效利用的问题。可以说,自动化技术既是自动化科学与自动化应用之间的桥梁,也是信息与能量、物质之间的桥梁。

(2) 具有使能作用。自动化技术只有作用到具体系统、具体对象上才能产生效果,或提高运行效率,或提高运行可靠性、稳定性。没有应用对象的技术无法显示其价值,因此自动化技术的使能作用也表现为一种对象依赖特性。

(3) 具有系统集成作用。基于自动化技术“控制”、“系统”的基本理念,人类能够控制的客观对象越来越多、规模越来越大。可以说,只有通过自动化技术的“综合”与“集成”功能,才能使复杂的大型、巨型系统逐渐成为可控对象。

自动化科学与技术在迅速发展的同时也面临着严峻的挑战。现在控制技术的应用环境与以往相比已不可同日而语,大型系统、通信网络的规模和复杂程度大大超出了控制技术的传统应用范围,人与机器、机器与机器之间的交互方式也发生了很大变化,研究的瓶颈已从处理系统的物理学特性转变为处理系统的复杂性。

面对复杂的环境与复杂的要求,国内外很多专家学者在积极地研究对策。1995年欧洲控制杂志发表了“系统与控制现状综述”,明确指出自动化科学需要新的应用、新的血液、新的研究问题,否则就要灭亡!2002年4月,国家自然科学基金委信息科学部在西安召开了“中国自动化领域发展战略高层学术研讨会”,就“国内外自动化科学与技术的发展动态”、“当前我国自动化领域在基础与应用研究方面存在的问题与解决问题的对策”、“国家自然科学基金应优先资助自动化领域的哪些关键问题或研究方向”等问题进行了讨论。几乎与此同时,在美国政府机构资助下,一个专题小组在马里兰大学举行了一个会议,邀请学术界、工业界及政府部门的代表共同对控制领域的现状及其未来的机会进行了讨论,在经过15个月的一系列会议讨论之后,专题小组于2002年4月发表了题为“关于控制学、动力学和系统学未来方向的报告——信息丰富世界中的控制”的报告。报告指出:“在我们进入21世纪的时候,运用控制学原理和方法的机会爆发了。随着越来越多的装置包含嵌入式处理器、传感器和联网硬件,计算机、通信系统和检测设备正在变得越来越便宜,越来越无所不在。这使得有可能研发出具有一定智能的机器,并将影响这个地球上生活的各个方面——这不仅包括各种随手可得的产品,还包括我们生活的所有环境。”

我们能够感受到的是,自动化技术的新应用、新成果在不断地丰富我们的生活。借助互联网,我们能够方便地获取大量信息,同时也在以二十年前想像不到的方式和速度处理这些信息。自动化科学与技术进入了新的蓬勃发展阶段,将在新的挑战激励下获得新的突破。