

普通高等学校自动化类专业新编系列教材

Introduction to Speciality Automation

# 自动化(专业)概论

(第2版)

主 编 万百五

参 编 韩崇昭 蔡远利

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

自动化(专业)概论/万百五主编.—武汉:武汉理工大学出版社,  
2002.6

普通高等学校自动化类专业新编系列教材

ISBN 7-5629-1788-4

. 自...

. 万...

. 自动化-概论-高等学校-教材

. TP61

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

HTTP: [www.techbook.com.cn](http://www.techbook.com.cn)

E-mail: [wutpbook@tom.com](mailto:wutpbook@tom.com)

E-mail: [huangchun@mail.whut.edu.cn](mailto:huangchun@mail.whut.edu.cn)

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

开 本:880×1230 1/32

印 张:7

字 数:190 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版,2005 年 7 月第 2 版

印 次:2005 年 7 月第 3 次印刷

印 数:20001~30000 册

定 价:20.00 元(含光盘)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换

本社购书热线电话及传真:(027)87397097 87394412

# 1 专业培养目标和人才素质要求

## 1.1 自动化和自动化类专业

所谓自动化(Automation),是指机器或装置在无人干预的情况下按规定的程序或指令自动地进行操作或运行。广义地讲,自动化还包括模拟或再现人的智能活动。自动化技术广泛用于工业、农业、国防、科学研究、交通运输、商业、医疗、服务以及家庭等各方面。采用自动化技术不仅可以把人从繁重的体力劳动、部分脑力劳动以及恶劣、危险的工作环境中解放出来,而且能扩展、放大人的功能和创造新的功能,极大地提高劳动生产率,增强人类认识世界和改造世界的能力。因此,自动化是一个国家或社会现代化水平的重要标志。

与自动化密切相关的一个术语是自动控制(Automatic Control),两者既有联系,但也有一定的区别。自动控制是关于受控系统的分析、设计和运行的理论和技术。一般地说,自动化主要研究的是人造系统的控制问题,自动控制则除了上述研究外,还研究社会、经济、生物、环境等非人造系统的控制问题。例如生物控制、经济控制、社会控制及人口控制等,显然这些都不能归入自动化的研究领域。不过人们提到自动控制,通常是指工程系统的控制,在这个意义上自动化和自动控制是相近的。目前,在我国的高等院校中,有的设置的是自动化系,有的设置的是自动控制系,它们都是同样属性的系别。为了强调信息(Information)在自动化或自动控制中的重要作用,有的高等院校将该类专业系名取为信息与控制工程系。

在系统总结自动控制中反馈等思想的基础上,1948年N.维纳(Wiener)提出了控制论(Cybernetics),将控制论定义为“研究动物和机器中控制和通信的科学”。但随着电子计算机技术的高速发展和应

用,控制论已经成为研究各类系统中共同的控制规律的科学。由于自动化或自动控制具有明显的工程特点,一般又将本学科称为控制科学与工程(Control Science and Technology),以此作为本类专业较有包容性的统称。

控制科学与工程的核心问题是信息,包括信息提取、信息传播、信息处理、信息存储和信息利用等。控制科学与工程和一般的信息学科不同,控制科学与工程是在理论上用较抽象的方式来研究一切控制系统的信息传输和信息处理的特点和规律,研究不同的控制规律达到不同的控制目的。一般的信息学科研究信息的测度(Measure),并在此基础上研究实际系统中信息的有效传输和有效处理等问题(如编码、译码、信道容量及传输速率等)。控制和通信存在不可分割的关系,人控制机器,或者计算机控制机器,都是一种双向的信息流的过程。

作为我国一级学科的控制科学与工程,下设有控制理论与控制工程、检测技术与自动化装置、系统工程、模式识别与智能系统和飞行器导航、制导与控制等二级学科(专业),见图1.1。和不同的学科相结合,它形成了许多相互联系又相互区别的研究领域,例如飞机控制、导弹控制、卫星控制、船舶控制、车辆控制、交通自动化、通信系统自动化、化工自动化、冶金自动化、电力系统自动化、机械制造自动化、农业自动化、图书馆自动化、办公自动化和家庭自动化等等,如图1.2所示。

简而言之,自动化类专业是一个口径宽、适应面广的专业,具有明显的跨学科特点。对实现我国工业、农业、国防和科学技术现代化、对迅速提升我国综合国力具有重要和积极的作用。

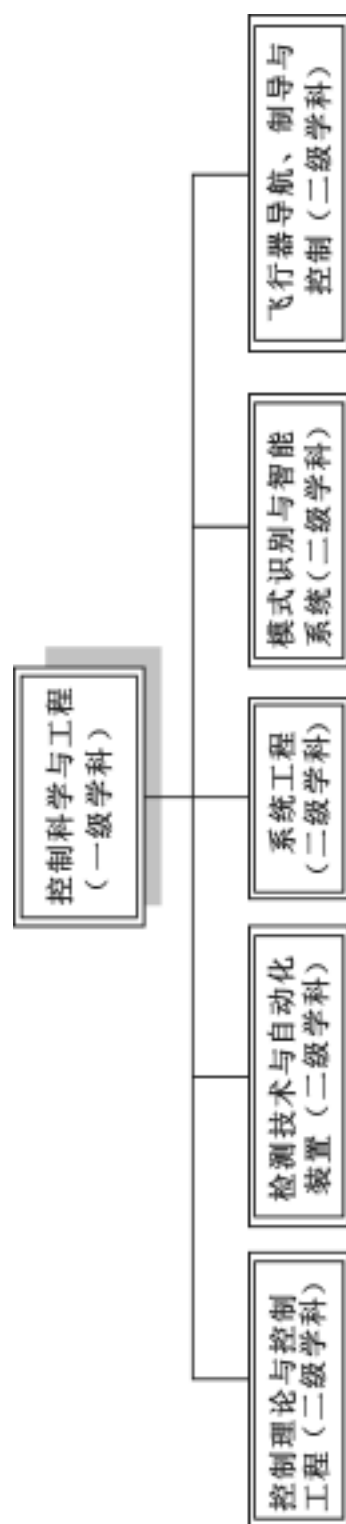


图1.1 学科组成示意图

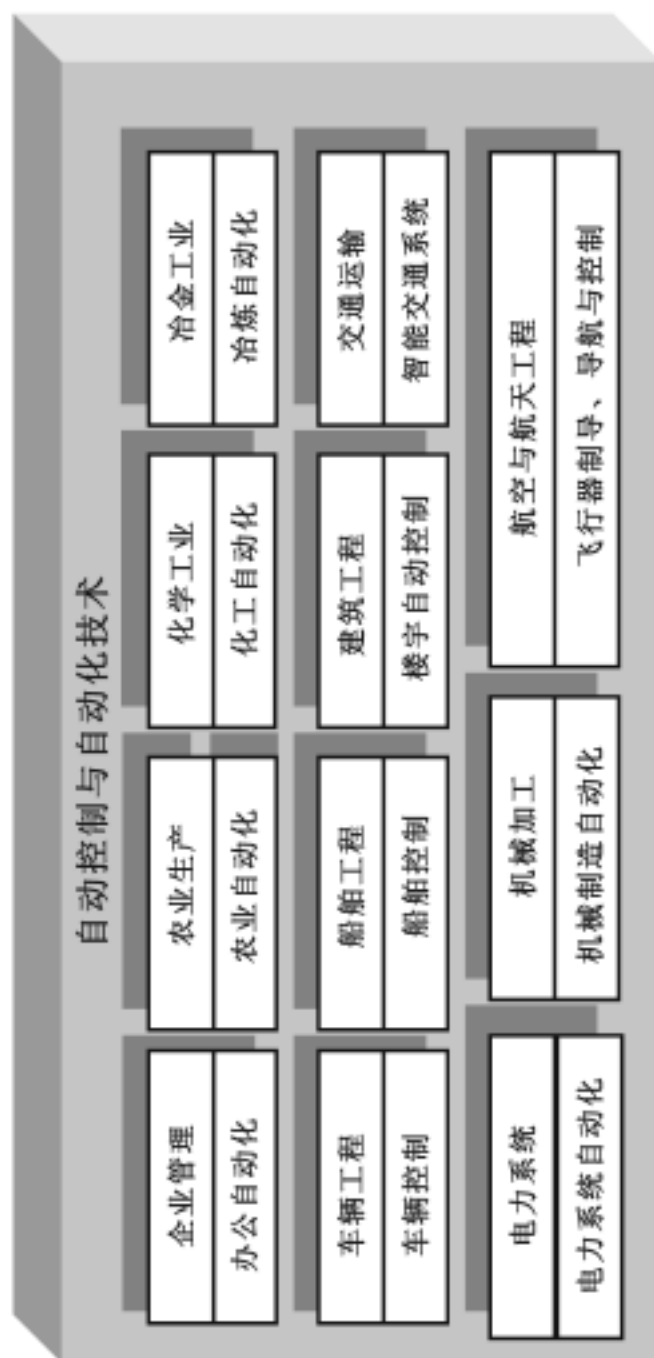


图1.2 自动控制与自动化技术的一些典型应用与研究领域

## 1.2 我国高等院校自动化类专业的培养目标

高等院校指大学、专门学院和高等专科学校,所开展的教育活动称为高等教育。高等教育是在全面的普通文化知识教育基础上给学生以高级的专门教育。高等院校里任何一个专业的培养目标,就是这个专门教育活动的基本出发点和归宿,也是高等院校所培养人才在毕业时预期的素质特征。如果把高等院校比喻为“工厂”,那么学生就是加工、生产出来的“产品”。不同的专业培养目标,就是对“产品”功能、性能的不同要求。受教育者(大学生)在学习过程中要按照这个目标接受教育、进行学习,在思想、知识、技能、能力、体魄等各方面严格要求自己。工作单位也是根据这个目标评价和选择每一个毕业生;学生自己则要按照这个目标进行自我评价,选择适合自己发展的工作岗位。

我国高等院校自动化类专业的培养目标是:培养适合社会主义现代化建设需要,德智体全面发展,在控制理论、控制系统、生产过程自动化、人工智能与机器人控制等领域具有宽广理论基础和相关专门知识,具有创新和开拓精神的高级工程技术人才。毕业生能在国民经济及国防各部门和行业从事信息及控制系统的研究、设计、集成、开发、制造和应用等工作。

大学生在校期间所接受的教育还是基本理论、基本技能和基本素质的训练。若要想成为一名适合社会需要的人才,还需要经过一定的实践锻炼。这就表明,学生在校学习期间,还需要发挥自己的主观能动性。除了学好本专业规定的必修课和限定选修课外,要重视教学实践环节,还应该学习一些其他科学知识,以适应未来社会对专门人才不断变化的更高要求。如果想成为成功的科技专家、科学家,还需要有意识地培养自己分析问题、解决问题的能力,不断提高自己的科学思维素质,形成积极向上的人生观。热爱生活、关心集体、尊敬师长、关爱家人和朋友也是现代大学生应该具备的优良品质。

我国许多高等院校还培养自动化类专业硕士研究生、博士研究生,部分科研条件较好、师资力量较强的高等院校还设有控制科学与工程

学科博士后流动站、国家重点实验室。这对于那些想尽快成长的优秀大学生,提供了进一步学习和提高的机会。显而易见,只有那些达到本专业培养目标的优秀大学生,才有资格进入硕士研究生、博士研究生阶段的学习。

## 1.3 一些术语

作为刚踏入大学校门的学生,会遇到越来越多的新名词、新概念。为了便于他们更好、更快地了解本学科,也为了他们更深入地理解本专业的培养目标,以下本节简要地介绍一些重要的术语。

### (1) 科学

科学(Science)是指对各种事实和现象进行观察、分类、归纳、演绎、分析、推理、计算和实验,从而发现规律,并对各种定量规律予以验证和公式化的知识体系。科学的任务是揭示事物发展的客观规律,探求真理,作为人们改造世界的指南。按传统观点,科学分为自然科学和社会科学两大类。自然科学又可分为基础科学(Basic Science)和技术科学(Technological Science)两类。基础科学包括数学、物理、化学、天文学、生物学等,技术科学包括电子学、电工学、固体力学、流体力学、机械学等。在科学属性上,本学科属于技术科学。专门从事科学研究的专家称为科学家(Scientist)。

### (2) 技术

技术(Technology)是指人类根据生产实践经验和自然科学原理改变或控制其环境的手段和活动,是人类活动的一个专门领域。技术的任务是利用和改造自然,以其生产的产品为人类服务。其中,工程技术有机械、电气、能源、动力、化工、土木、计算机等;农业技术有种植、畜牧、造林、园艺等;医疗技术有中医、西医、临床等。在技术属性上,本学科属于工程技术。专门从事技术工作的专家称为技术家(Technologist),如工程师、农艺师、医师等。

### (3) 工程

工程(Engineering)是指应用科学知识使自然资源最好地为人类

服务的专门技术。但工程不等同于技术,它还受到政治、经济、法律、美学等非技术内容的影响。技术存在于工程之中。工程有时也指具体的科研或建设项目(如三峡工程、都江堰工程等)。专门从事工程活动的专家称为工程师(Engineer),当然是一种技术家。

工程师(包括其他技术家)和科学家的职责不同。科学家的任务是如何认识,因而他可以选择自己感兴趣的研究课题;工程师的任务是如何实现,所以他必须解决面临的实际问题。工程问题受到多方面因素的制约,工程师必须在多种可能方案中作出选择,谋求最可靠、最经济的解决方法。许多工程问题有深远的社会影响。

#### (4) 系统

系统(System)是指由相互关联、相互制约、相互影响的一些部分组成的具有某种功能的有机整体。如果构成系统的组成部分本身也是系统,则称为原系统的子系统。原系统也可以是更大系统的子系统。对于一个具体的系统,系统以外的部分称为系统环境,系统与系统环境的分界称为系统边界。系统环境对系统的作用称为系统输入,系统对系统环境的作用称为系统输出。系统是本学科乃至整个现代科学技术一个非常重要的概念。随着科学技术的发展,出现了越来越多的大型、复杂的系统,推动、产生了一门新的工程技术学科——系统工程(Systems Engineering)。正如以上提到的,在学科分类上,系统工程是控制科学与工程一级学科下的二级学科。

#### (5) 信息

信息(Information)是指符号、信号或消息所包含的内容,用来消除对客观事物认识的不确定性。信息普遍存在于自然界、人类社会和人的思维之中。早在1948年,信息论的创始人C.香农(Shannon)把信息定义为信源的不定度。即对信宿(接受信息的系统)而言,未收到消息前不知道信源(产生信息的系统)发出的是什么信息,只有收到消息后才能消除信源的不定度。这里,消息是信息的载体。1950年,控制论的创始人N.维纳认为,信息是人们在与客观世界相互作用过程中与客观世界进行交换的内容的名称。这里交换的还是消息或信号。

#### (6) 控制



控制(Control)是指为了改善系统的性能或达到特定的目的,通过信息的采集和加工而施加到系统的作用。可以把所有的系统分为不可控系统和可控系统两类,前者是指无法进行人工控制、干预的系统,后者是指可以进行人工控制、干预的系统。可控系统由控制部分和被控对象组成,两者往往形成双向的信息流联系。控制部分一般由传感器(Sensor)、控制器(Controller)和执行器(Actuator)组成。传感器用来采集信息,并把它变换到合适的形式,传送到控制器。控制器用来加工信息、产生控制信号,这是控制系统的核心。执行器则将控制器产生的控制信号进行放大和变换,以此产生控制作用,最终施加到被控对象上。通常把进入可控系统的信息加工成控制信息的规则,称为控制算法(Algorithm)。设计和实现控制算法是控制理论中最重要的研究课题。在可控系统中实现控制算法的部件称为控制器,设计和研制各种控制器则是控制工程最重要的任务。

### (7) 反馈

反馈(Feedback)是指将系统的实际输出和期望输出进行比较,形成误差,从而为确定下一步的控制行为提供依据。实际上,反馈是一切自然系统、生物系统、社会系统的普遍属性,反馈的过程是信息传递的过程。反馈控制是一种最基本的控制方式。如果反馈信息(系统实际输出)是使系统输出的误差逐渐减少,则称为负反馈;反之,称为正反馈。反馈控制又称为闭环控制,与此完全不同的控制方式是开环控制,或称程序控制,它按事先规定的顺序或逻辑控制系统。这两种控制方式在实际中都有广泛的应用。

### (8) 调节

调节(Regulation)是指通过系统的反馈信息自动校正系统的误差,使诸如温度、速度、压力或位置等参量保持恒定或在给定范围之内的过程。调节须以反馈为基础,而控制则包括以反馈为基础的闭环控制和无反馈的开环控制。早期,经典控制理论称为自动调节原理。

### (9) 管理

管理(Management)是指为了充分利用各种资源来达到一定的目标而对社会或其组成部分施加的一种控制。管理是一专门的学问,但

借助计算机、计算机网络、数据库以及控制中的原理和方法实现管理自动化、办公自动化是自动化学科近年研究、开发的领域之一。

#### (10) 决策

决策(Decision Making)是指为最优地达到目标,对若干准备行动的方案进行选择。如何科学地进行决策是各项工作顺利开展的重要保证。这也是本学科近年研究和新发展的新领域之一。

### 1.4 当前自动化类专业对所培养人才的素质要求

随着科学技术的飞速发展,人类已经进入了崭新的 21 世纪。在新的世纪里,经济全球化、全球信息化正在极大地改变人们的生产、生活方式。人类在新材料、新工艺、新能源、生命科学、信息科学、系统科学、航天飞行等高科技领域的新成就,也将给人类生活带来深远的影响。在这个信息化的时代里,不断进步的计算机技术延伸和扩展了人类大脑的功能,而互联网缩小了人与人之间的距离,使人们的信息交换、交流变得无比的简单、快捷。可以想像,人们进行产品开发、系统设计和所有科研活动在工具、方式、形式和内容等都将和以前大不相同。国家和社会对专业人才的素质将会提出更高更新的要求。因此,我国教育部门提出了面向 21 世纪素质教育这一宏大的课题。什么是人的素质呢?按照教育学的观点,是指“人在先天生理基础上受后天环境、教育影响,通过个体自身的认识和社会实践,养成的比较稳定的身心发展的基本品质”。

普遍认为 21 世纪的工程师至少要做好回答以下问题的准备:

(1) 会不会去做 是否在科学技术上掌握了必需的知识和技能,能解决工程中遇到的难题。

(2) 可不可以做 是否掌握了足够的法律知识和良好的道德观,能在政策法规和社会公德允许的条件下开展工作。

(3) 值不值得做 是否具备了科学的判断和决策能力,能在人、财、物和时空约束下经济合理地完成任务。

(4) 应不应该做 是否拥有了优良的前瞻和预测未来的能力,能

自觉地考虑生态可行性和工程持续性等。

以此为出发点,有志成为自动化领域专门人才的青年学生,可以思索今天应该追求的个人素质和品质。简单地讲,它们应该包括:

(1) 认知和技能方面

掌握数理等基础理论的原理和方法;

了解机械、力学、电器、化工等相关学科的一般原理和方法;

掌握计算机、通信、电子等关联学科的基本原理、方法以及相应的实验仪器和设备的使用技能;

掌握控制系统分析和综合(设计)等专业知识和方法;

掌握系统仿真、科学计算、软硬件开发等科学实验方法和技术;

具有哲学、方法论、经济学、历史、法律、伦理、社会学、文学、艺术等人文社会科学方面以及军事方面的基本知识;

具有良好的资料收集、文献检索以及口头表达和书面写作等技巧和能力,并形成很强的自主学习能力,培养终身学习的观念;

具有辩证的、逻辑的、形象的和创造的科学思维方式和对事物进行统计、分析、综合、归纳的技能,并形成较强的发现问题、分析问题和解决问题能力;

具有一定的适应、协调、合作、组织和管理能力。

(2) 思想和情感方面

**政治品质** 热爱祖国、关心集体、尊敬师长、爱护同志和家人,关心国家大事、时事政治,有较强的法治、法规观念;

**思想品质** 树立了积极向上的人生观、正确的价值观和辩证唯物主义世界观,对我国自动化事业有情感、有信念、有责任心;

**道德品质** 有良好的品德修养和文明的行为准则,具有敬业精神和职业道德。

(3) 意识和意志方面

**实践意识** 坚持一切从实际出发,不迷信书本、不迷信权威。

**质量意识** 认认真真做好每一件事,在研制和开发的每一个环节都坚持质量至上的思想。

**协作意识** 现代科学研究和现代工程已经很少是一个人可以

独立完成的了,所以要能与同事协同工作、协调配合。不会和他人协作的工程师,一定不会是一个合格的人才。

**创新与竞争意识** 现代社会是充满挑战和竞争的社会,只有那些不断追求新意境、新见解、敢于竞争的人才能把握机遇、走向成功。那些墨守成规、固步自封的人只会在抱怨声中错失良机。

**坚毅意志** 人生路漫漫,每个人在生活、学习和工作中都可能遇到这样或那样的困难和挫折,要敢于面对困难、善于克服困难。只有拥有坚强的意志和顽强的精神,才可能克服眼前的困难,实现预定的目标。

#### (4) 其他方面

学风上勤奋、严谨、求实、进取;

作风上谦虚、谨慎、朴实、守信;

具有健康的心理、务实的心态;

具有健全的体质、良好的体能;

拥有旺盛的精力、敏捷的思路。

### 思 考 题

1.1 试述自动化、自动控制及控制论三者间的区别和联系。

1.2 根据你目前的理解,说明自动化专业是一个口径宽、适应面广的专业表现在哪些方面。

1.3 你未来的工作志向和本专业的培养目标一致吗?如果一致,你准备怎样实现培养目标?如果不一致,你准备怎样进行调整?

1.4 科学家和工程师有哪些本质区别?科学家/工程师应该具备什么样的基本素质?你希望将来成为一名科学家还是技术家?

1.5 你认为自己性格上有哪些弱点?简述你在大学期间准备如何提高自己的个人素质。

## 2 自动化的概念和发展简史

### 2.1 控制和自动化的概念

现代社会和现代生活离不开对一些物理量的控制,包括实现对这种控制的自动化。例如公共电网上的电压是 50 Hz、220 V 的交流电。电压较大偏离这些给定值,会引起电器工作的不正常甚至焚毁。为此,在发电厂就要设法控制电压、频率这两个物理量为恒值,这要采用自动调压和自动调频装置。在工业生产中,如在化肥厂控制反应釜(塔)内温度和压力为恒值,使化学反应速度加快。在机械加工厂金属切削机床上,经常是控制工件或刀具的转速为恒值,使产品的质量、产量提高。而各种现代火炮的俯仰角和方位角都是自动控制的,特别用双雷达控制的防空导弹可以自动跟踪高空的飞行目标进行命中爆炸(图 2.1)。

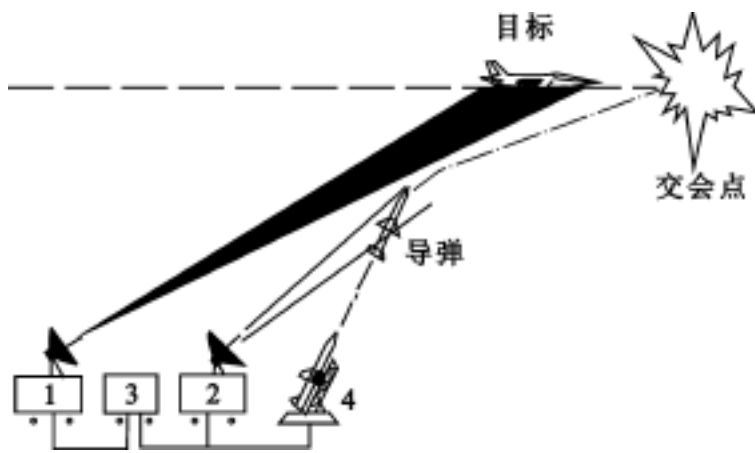


图 2.1 防空导弹的制导

1—目标跟踪雷达;2—导弹导引雷达;3—计算机;4—导弹发射架

现代生活中,空调器保持室内温度为恒值、卫生洁具水箱的水位也保持为恒值。其他如冰箱、洗衣机无不将一些物理量控制为恒值,而全自动洗衣机更把洗衣、漂洗和脱水等操作自动按程序进行。

所以,自动化 (Automation) 表示机器或设备在无人干预的情况下,按规定的程序或指令自动进行操作或控制以达到预定的要求。水温的手动控制漫画和采用自动控制的示意图,示明在图 2.2 (a) 和 (b) 上。图中水温的操作员要用手(通过感觉)来测试水的温度,并将此温度与他要求的值(给定值)相比较(通过大脑)。同时他要决定(通过大脑):他的手应该朝哪个方向旋转加温用的蒸汽阀门和旋转多大的角度。采用自动控制时上述功能都有各种的元件和仪表来代替。例如,温度测量元件、控制记录仪表和调节阀等。

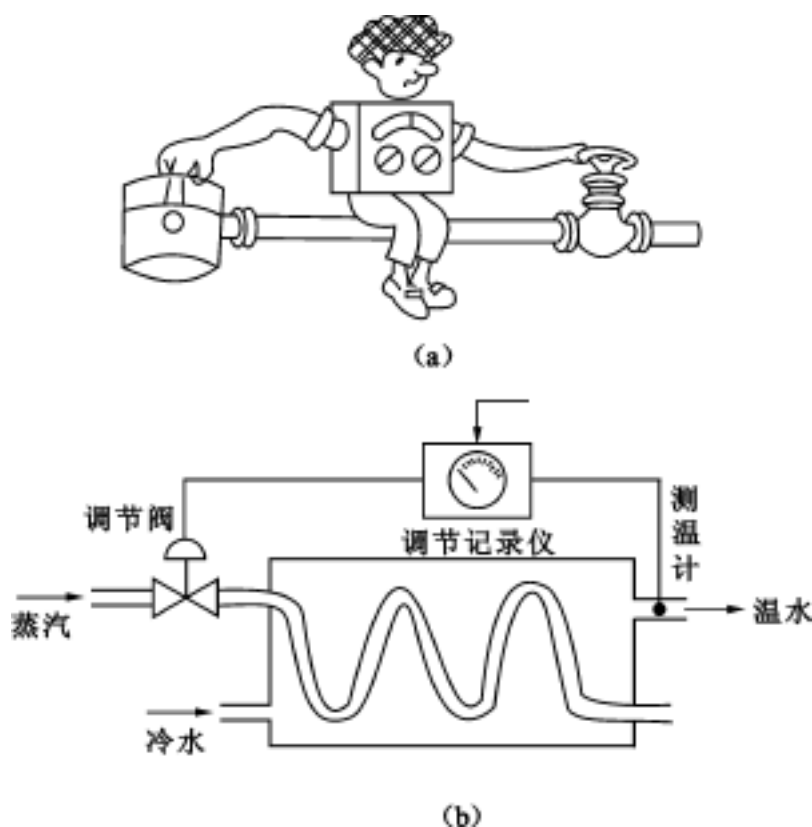


图 2.2 水温的手动控制和自动控制的示意图

(a) 手动控制漫画; (b) 自动控制

自动化是一个涉及学科较多、应用广泛的综合性科学技术, 归属于控制科学与工程范畴。自动化的研究内容有自动控制和信号处理两个方面, 包括理论、方法、应用硬件和软件等。从应用观点来看, 研究内容有过程自动化、机械制造自动化、武器及军事自动化、办公室自动化和家庭自动化等等。采用自动化技术不仅可以使人从繁重的体力劳动、部分脑力劳动以及恶劣、危险的工作环境中解放出来, 而且能扩展

人的器官功能,极大地提高劳动生产率,增强人类认识世界和改造世界的能力。

自动化是新的技术革命的一个重要方面。自动化技术的研究、应用和推广,对人类的生产、生活的方式将产生深远影响。目前正在推行的利用信息技术(包括计算机、自动化等)来改造旧生产工艺和提高产量和质量、提高管理及经营水平的政策——以信息化带动工业化的政策,就是例证。

生产过程的自动化和办公室自动化可极大地提高社会生产率和工作效率,节约能源和原材料消耗,保证产品质量、改善劳动条件,改进生产工艺和管理体制,加速社会的产业结构的变革和社会信息化的进程。

## 2.2 我国古代自动装置

中国古代能工巧匠发明许多原始的自动装置,以满足生产、生活和作战的需要。指南车、铜壶滴漏、浮子式阀门、记里鼓车、漏水转浑天仪、候风地动仪、水运仪象台等就是其中比较著名的几种。

### (1) 指南车

指南车是中国古代用来指示方向的一种具有能自动离合齿轮系装置的车辆。关于指南车的发明有许多传说和记载。据史书记载,东汉张衡(公元78~139)、三国时代魏国的马钧、南齐的祖冲之都曾制造过指南车。《宋史·舆服志》中对指南车的构造和各齿轮大小和齿数都有详细记载。

指南车是一种马拉的双轮独辕车,车箱上立一个伸臂的木人。车箱内装有能自动离合的齿轮系。当车子转弯偏离正南方向时车辕前端就顺此方向移动,而后端则向反方向移动,并将传动齿轮放落,使车轮的传动带动木人下的大齿轮向相反方向转动,恰好抵消车子转弯产生的影响(图2.3)。车向正南方向行驶时,车轮和木人下的大齿轮是分离的,木人指向不变。因此,无论车转向何方,都能使人的手臂始终指向南方。指南车是一个保持方向恒定的自动装置(图2.4和图2.5)。

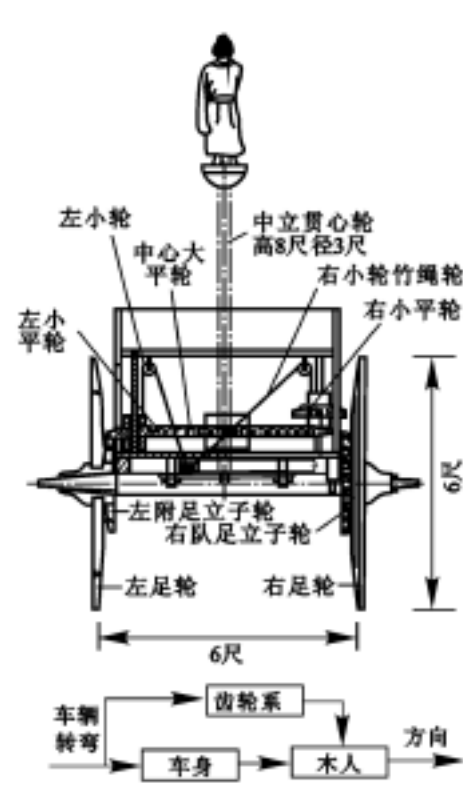


图 2 3 指南车方向自动装置框图

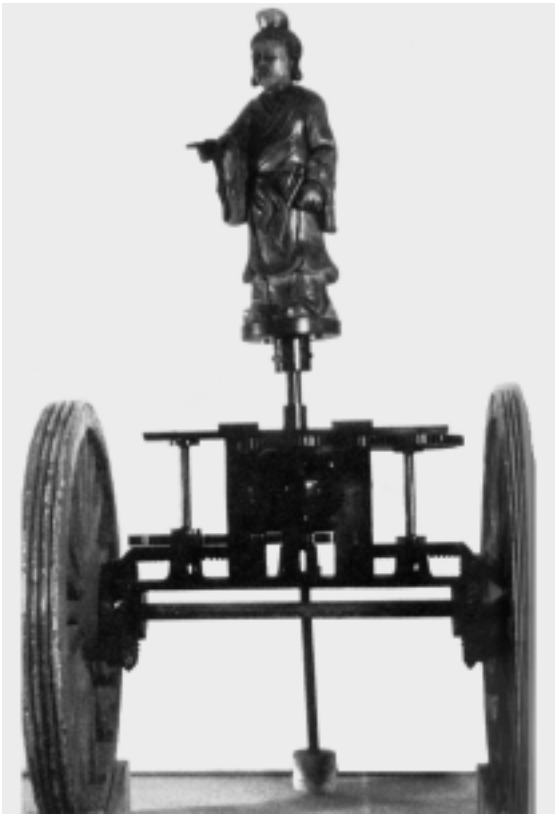


图 2 4 指南车复原模型

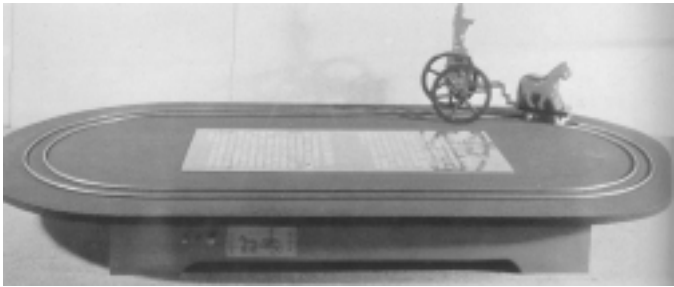


图 2 5 指南车自动指向示意(复原模型)

(2) 铜壶滴漏

即漏壶,中国古代的自动计时(测量时间)装置,又称刻漏或漏刻。漏壶的最早记载见于《周礼》。这种计时装置最初只有两个壶,由上壶滴水到下面的受水壶,液面使浮箭升起以示刻度(即时间)(图 2.6 之右)。保持上壶的水位恒定是滴漏计时准确的关键。这个问题后来是互相衔接的多级(3~5 级)水壶来解决的。宋朝王普所著《官术刻漏图》(公元 1135)曾描述一种莲华漏,后该书失传。根据宋朝杨军的《六经图》(公元 1155)转述:莲华漏(图 2.6 之左)由 4 个壶组成。天池壶、



平水壶逐级向平水小壶供水。

平水小壶上有溢水口,可使多余的水泄入减水桶以保持水面恒定。在莲华漏中还采用一个浮子式阀门作为自动切断阀。当受水壶水位升至满刻度时,浮子式阀门就会自动阻塞上级平水壶的出水小孔,切断水滴(见图 2.6 上平水壶前的小鸟式装置)。图 2.7 为宋代燕肃所制刻漏。

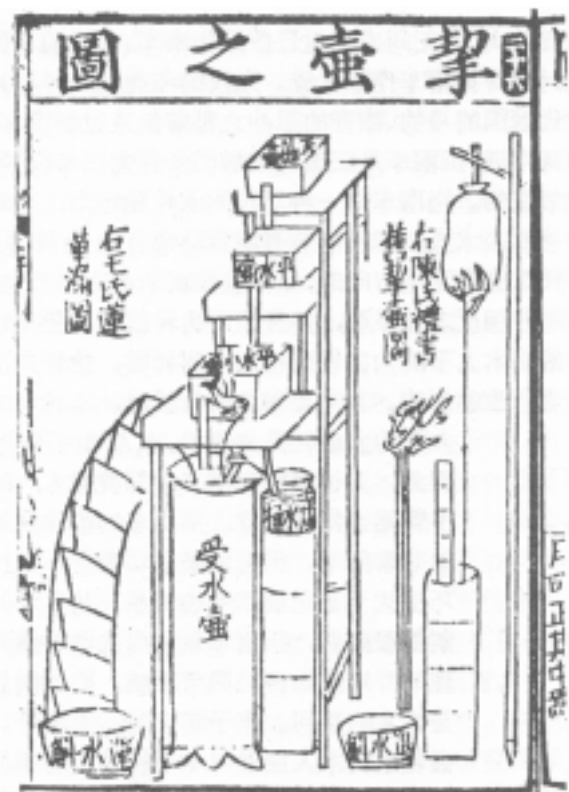


图 2.6 莲华漏计时装置

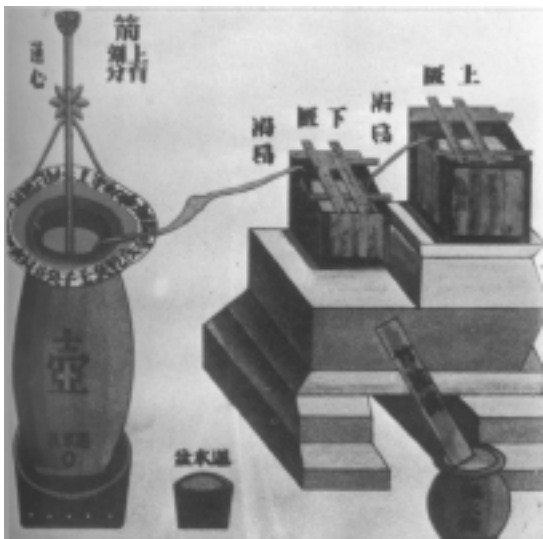


图 2.7 宋代燕肃刻漏

(3) 饮酒速度的自动调节

宋朝仇士良著的《岭外代答》(公元 1178)曾记载中国南方和西南方部落村民的一种习俗,就是常用长 0.6 米以上的饮酒管饮酒。在这种竹制饮酒管中有一条银制小鱼,作为可动的“关捩”(即浮子式阀门)。饮酒时吸得太快或太慢,小孔就会被小鱼自动堵塞(《古今图书集成》,图 2.8)。这种浮子式阀门可用来保持均匀的饮酒速度。

(4) 计里鼓车

中国古代有能自报行车里程的车制,是东汉以后出现的,由汉代鼓车改装而成,车中装设具有减速作用的传动齿轮和凸轮、杠杆等机构。

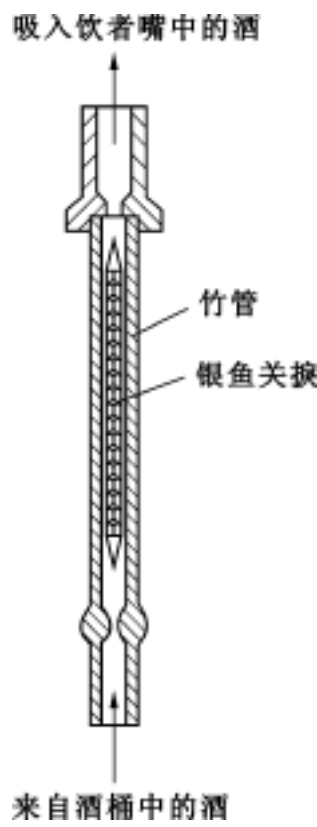


图 2.8 饮酒速度自动调节

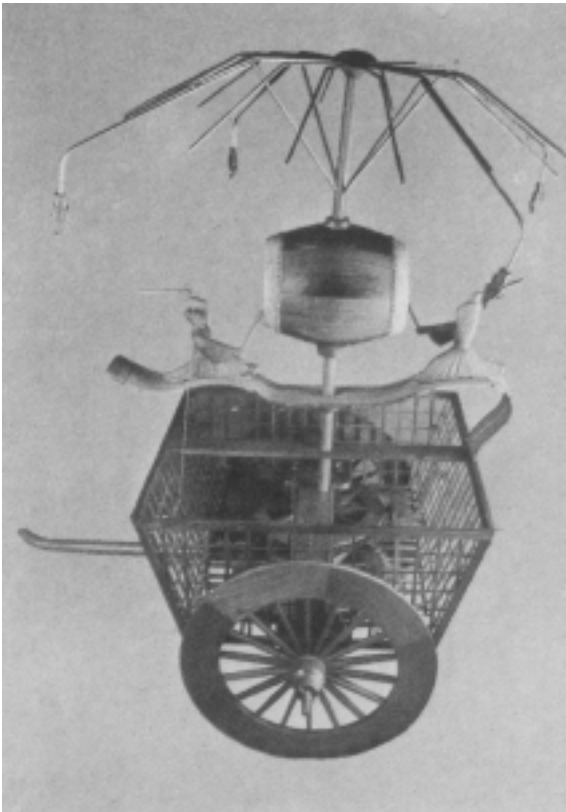


图 2.9 计里鼓车(复原模型)

车行一里, 车上木人受凸轮牵动, 由绳索拉起木人右臂击鼓一次, 以表示行车的里程(自报测量里程, 图 2.9 和图 2.10)。

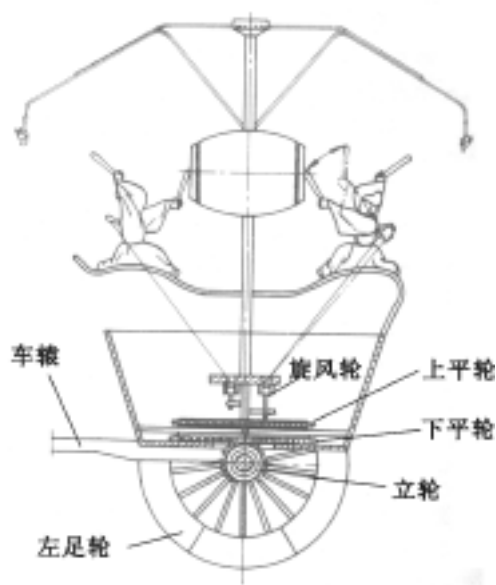


图 2.10 计里鼓车原理

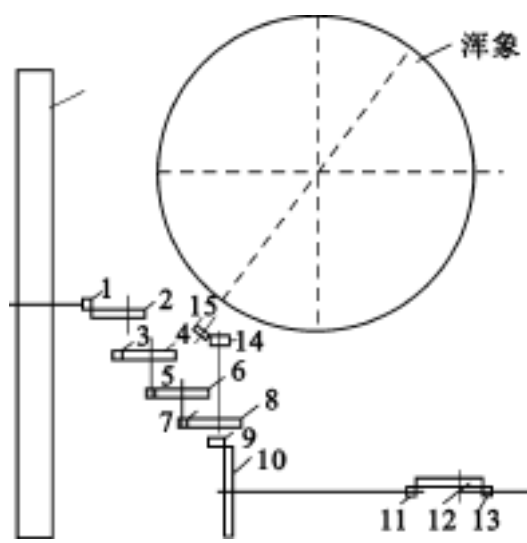


图 2.11 张衡水力天文仪器中齿轮系推想图

### (5) 漏水转浑天仪

公元 2 世纪,中国东汉的天文学家张衡创制的一种天文表演仪器。它是一种用漏水推动的水运浑象,和现在的天球仪相似,可以用来实现天体运行的自动仿真。浑象是在一个直径为 1.5m 的铜球上刻有 28 宿、中外星官、黄赤道、南北极、24 节气、恒星圈、恒隐圈等。这里的关键是漏水要推动一个恒速旋转的齿轮使浑象与天球同步转动,用来表现星空的周日视运动,如恒星的出没和中天(图 2.11)。

### (6) 候风地动仪

公元 132 年东汉张衡发明的一种观察地震的自动检测仪器(图 2.12)。它的工作原理涉及到检测地震信号的大小和方向。

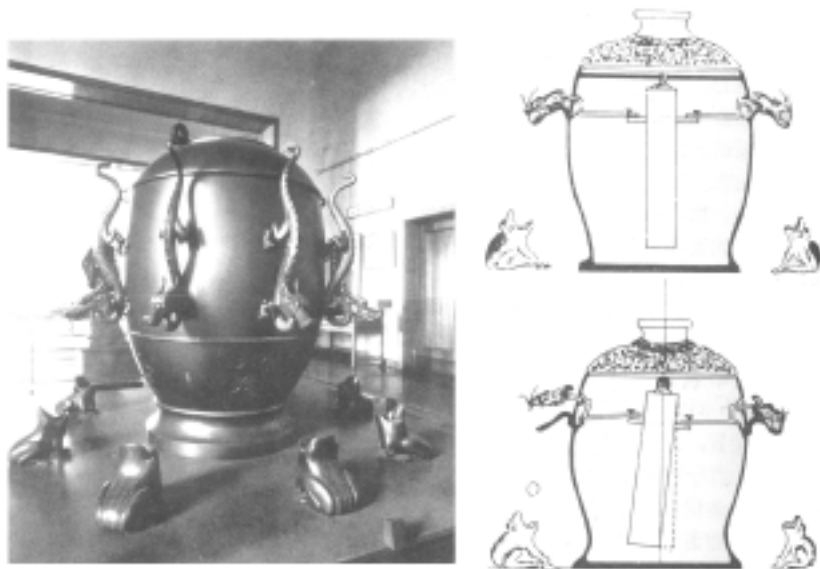


图 2.12 候风地动仪及剖面图

### (7) 水运仪象台

北宋哲宗元祐三年(公元 1088),苏颂、韩公廉等人制成的水力天文装置,高约 12m、宽约 7m。它既能演示或能观测天象,又能计时及报时(图 2.13)。水运仪象台利用铜壶滴漏的恒定水流作动力来推动枢轮恒速旋转。枢轮又带动浑象和浑仪两个齿轮系(图 2.14)。其中浑象是一种观测仪器,其主要用途是测定昏、旦和夜半中星以及天体的赤道坐标等。枢轮的恒速旋转由双级滴漏装置驱动,受水壶装在枢轮上。由天衡的杠杆装置控制枢轮的恒速运动(图 2.15)。它还起着类似钟

表中擒纵器的作用。仪象台装有自动机构,在每个时辰初、正和每刻相应地有木人摇铃、打钟和击鼓。

综上所述,中国古代人民在原始的自动装置的创造和发明上作出过辉煌的成就。



图 2 .13 苏颂水运仪象台外观  
(苏颂:《新仪象法要》)



图 2 .14 英人 J.克里斯琴森 (Christiansen) 对水运仪象台的结构推测

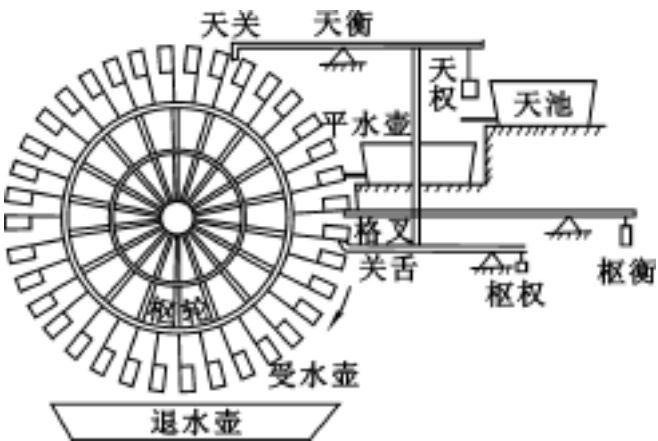


图 2 .15 枢轮和天衡装置示意图(苏颂:《新仪象法要》)

## 2.3 控制和自动化技术发展简史

控制和自动化技术的发展经历了四个历史时期。

### 2.3.1 自动装置的出现和应用(18 世纪以前)

古代人类在长期的生产和生活中,为了减轻自己的劳动,逐渐利用自然界的动力(风力、水力等)代替人力、畜力,以及用自动装置代替人的部分繁难的脑力活动和对自然界动力的控制。

(1) 古代自动装置 公元前 14 至公元前 11 世纪,中国和巴比伦出现了自动计时装置——刻漏,为人类研制和使用自动装置之始。公元 1135 年中国的燕肃在“莲华漏”中采用三级漏壶并浮子式阀门自动装置调节液位(图 2.6)。在中国的三国时期,使用了自动指示方向的指南车。

公元 1 世纪古埃及和希腊的发明家也创造了教堂庙门自动开启、铜祭司自动洒圣水、投币式圣水箱等自动装置。

中国天文学家张衡曾经发明了对天体运行情况自动仿真的漏水转浑天仪和自动检测地震的候风地动仪。公元 1088 年,中国苏颂等人把浑仪(天文观测仪器)、浑象(天文表演仪器)和自动计时装置结合在一起建成了水运仪象台。

(2) 近代自动装置 17 世纪以来,随着生产的发展,在欧洲的一些国家相继出现了多种自动装置,其中比较典型的有:法国物理学家 B.帕斯卡(Pascal)在公元 1642 年发明的加法器;荷兰机械师 C.惠更斯(Huygens)于公元 1657 年发明钟表;英国机械师 E.李(Lee)在公元 1745 年发明带有风向控制的风磨;俄国机械师 .波尔祖诺夫( )于公元 1765 年发明了蒸汽锅炉水位保持恒定用的浮子式阀门水位调节器。

### 2.3.2 自动化技术形成时期(18 世纪末至 20 世纪 30 年代)

公元 1788 年英国机械师 J.瓦特(Watt)发明离心式调速器,并把

它与蒸汽机的阀门连接起来,构成蒸汽机转速的闭环自动调速系统(图 2.16)。这项发明对第一次工业革命和控制理论后来的发展有重要影响。

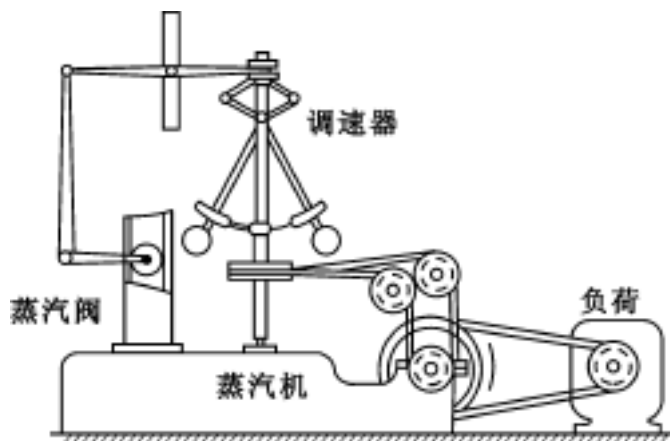


图 2.16 瓦特离心式调速器对蒸汽机转速的控制

(1) 自动调节的广泛应用 由于第一次工业革命的需要,人们开始采用自动调节器(Regulator)或装置,使一些物理量保持在给定值附近。公元 1868 年法国工程师 J. 法尔科(Farcot)发明反馈调节器,并把它与蒸汽阀连接起来,操作蒸汽船的舵,他称之为伺服机构(Servo-mechanism)。到了 20 世纪 20 ~ 30 年代,美国开始采用 PID 调节器(比例-积分-微分调节器)。这是一种模拟式调节器,现在还在许多工厂中采用。

(2) 自动调节系统的稳定性(Stability)问题 自动调节器和被控制对象(蒸汽机或船舵)组成自动调节系统(Automatic Regulating System)(图 2.17)。当时人们发现蒸汽机转速会忽高忽低,即系统会发生振荡(不稳定)。这迫使一些数学家从理论上来加以研究。公元 1868 年英国物理学家 J. 麦克斯韦尔(Maxwell)用微分方程描述并总结了调节器的理论。公元 1876 年俄国机械学家 . 维什涅格拉茨基( )进一步总结了调节器理论,归结为只要研究描述自动调节系统的线性齐次微分方程的通解。公元 1877 年英国数学家 E. 劳思(Routh)、1895 年德国数学家 A. 胡尔维茨(Hurwitz)提出代数稳定判据(Stability Criteria),沿用到现在。公元 1892 年俄国数学家 A. 李雅普诺夫( )提出稳定性的严格数学定义并发表了专著。

他的稳定性理论至今还是研究分析线性和非线性系统稳定性的重要方法。

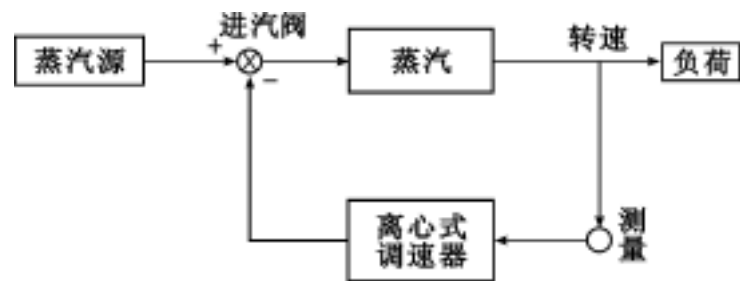


图 2.17 对象和调节器形成调节系统

(3) 反馈控制和频率法(Frequency Method) 进入 20 世纪以后，工业生产中广泛应用各种自动调节装置，促进了对调节系统的分析和综合的研究。通过在解决电子管放大器失真问题上的研究，1927 年美国电气工程师 H.布莱克(Black)引入的反馈概念，使人们对自动调节系统中的反馈控制的结构有了更深刻的认识(图 2.18)。

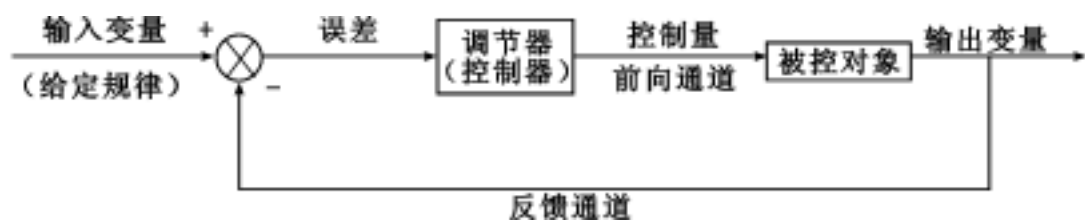


图 2.18 反馈调节(控制)系统

此后在拉普拉斯(Laplace)变换的基础上，传递函数(Transfer Function)的观念被引入到分析自动调节系统或元件上，成为重要工具。1932 年美国电信工程师 N.奈奎斯特(Nyquist)提出著名的稳定判据(称为奈奎斯特稳定判据)，可以根据开环传递函数绘制或测量出的频率响应判定反馈系统的稳定性。1938 年，前苏联电气工程师 A.米哈伊洛夫( )提出根据闭环(反馈)系统频率特性判定反馈系统稳定性的判据。上述稳定判据加上 1922 年 N.米诺尔斯基(Minorsky)《关于船舶自动操舵的稳定性》和 1934 年美国 H.黑曾(Hazen)发表的《关于伺服机构理论》的论文标志着经典控制理论的诞生。

2.3.3 局部自动化时期 (20 世纪 40 ~ 50 年代)

在第二次世界大战期间,为了防空火力控制系统和飞机自动导航系统等军事技术问题,各国科学家设计出各种精密的自动调节装置,开创了防空火力系统和控制这一新的科学领域(图 2.19 和图 2.20)。

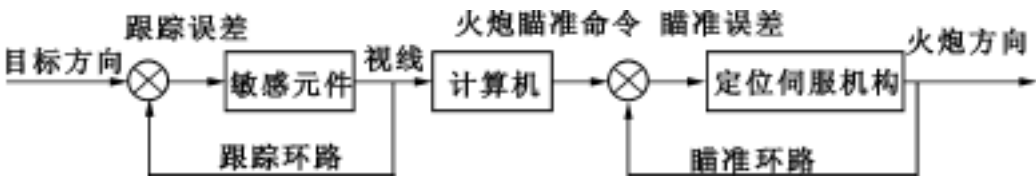


图 2.19 自动防空火力控制系统原理图

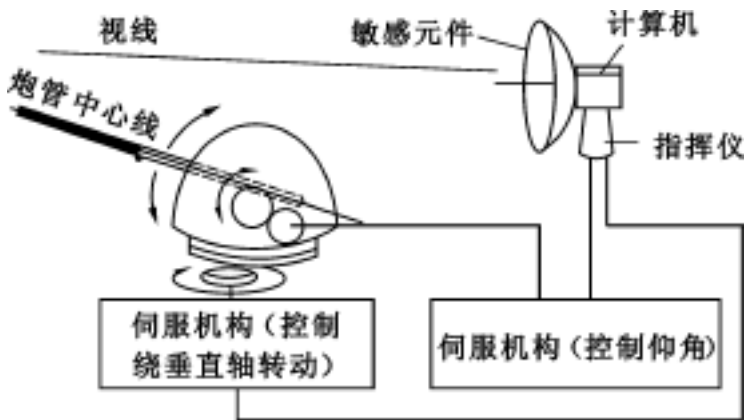


图 2.20 自动防空火力控制系统

2.3.3.1 经典控制理论的形成和发展

在前述代数稳定判据和传递函数、依据频率响应的频率法判据的基础上加上 W 埃文斯(Evans)1948 年的根轨迹法(Root Locus Method),奠定了适宜用于单变量控制问题的经典控制理论的基础。频率法(或称频域法, Frequency Method)成为分析和设计线性单变量自动控制系统的主要方法。早期,反馈控制系统通称为自动调节系统,后称为自动控制系统(Automatic Control System)。因此,调节器现也称为控制器。

从 20 世纪 40 年代末,开始在美国、西欧和前苏联为大学生和研究生开设了自动控制课程。在 20 世纪 50 年代,前苏联还在大学里设置了自动化方面的专业,专门培养控制方面的人才。1950 年张钟俊教授在上海交通大学为大学生和研究生开设了“ 伺服机构原理 ”课程。



1945 年,美国数学家 N.维纳把反馈的概念推广到生物等一切控制系统。1948 年他出版了名著《控制论》一书,为控制论奠定了基础。1954 年,中国科学家钱学森(图 2.21)全面地总结和提高了经典控制理论,在美国出版了用英语撰写的、在世界上很有影响的《工程控制论》(Engineering Cybernetics)一书。



图 2.21 作出突出贡献的我国科学钱学森

第二次世界大战后工业迅速发展,随着高速飞行、核反应堆、大电力网和大化工厂提出的新控制问题:非线性系统、时滞系统、脉冲及采样控制系统、时变系统、分布参数系统和有随机信号输入的系统的控制问题等的深入研究,经典控制理论在 20 世纪 50 年代有新的发展。

### 2.3.3.2 局部自动化的广泛应用

第二次世界大战后,在工业上已广泛应用 PID 调节器,并用电子模拟计算机(Electronic Analog Computer)来设计自动控制系统。当时在工业上实现局部自动化,即单个过程或单个机器的自动化。一方面应用着 PID 调节器或其他自动调节装置,另一方面又用继电器来实现启动、停车、联锁、保护等功能。当时的 PID 调节器是电动的或气动的、液压的。生产自动化促进了自动化仪表的进步。在 20 世纪 30~40 年代出现了统一信号的、通用的、标准的气动单元组合仪表。20 世纪 50 年代研制出了电动单元组合仪表。这些为工业自动化提供了必不可少的技术工具,并使得构成和设计自动控制系统更简便、更工程化了。我国也能生产系列化的国产气动单元组合仪表 QDZ 型和电动单元组合仪表 DDZ 型,在国内使用很广。智能化的仪表和控制器是当前流行的产品。图 2.22 所示为西安仪表厂生产的智能化的仪表 YS-80 及所属的可编程序智能控制器 SLPC 的照片。

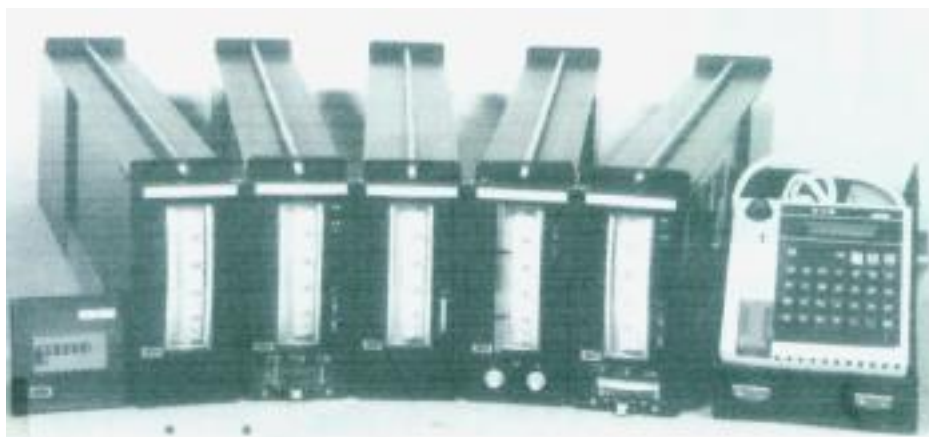


图 2 22 智能化仪表 YS-80 系列

### 2.3.3.3 电子数字计算机的发明

1943 ~ 1946 年, 美国电气工程师 J. 埃克脱 (Eckert) 和物理学家 J. 莫奇利 (Mauchly) 为美国陆军研制成世界上第一台基于电子管的电子数字计算机 (Electronic Digit Computer)——电子数字积分和自动计数器 (ENIAC)。1950 年美国宾夕法尼亚大学莫尔 (Moore) 小组研制成世界上第二台存储程序式电子数字计算机——离散变量电子自动计算机 (EDVAC)。电子数字计算机内部元件和结构, 经历了电子管、晶体管、集成电路和大规模集成电路的四个发展阶段。电子数字计算机的发明, 为 20 世纪 60 ~ 70 年代开始的在控制系统广泛应用程序控制和逻辑控制以及应用数字计算机直接控制生产过程, 奠定了基础。我国也在 20 世纪 50 年代中叶开始研制大型电子数字计算机, 图 2.23



图 2 23 国产巨型“银河”电子数字计算机

所示为国产巨型“银河”电子数字计算机。目前小型电子数字计算机或单片计算机已成为复杂自动控制系统的一个组成部分,以实现复杂的控制和算法。

#### 2.3.4 综合自动化时期(20 世纪 50 年代末起至今)

复杂工业、复杂工业过程和航天技术的自动控制问题,都是多变量控制系统的分析和综合问题,迫切需要加以解决。但经典的控制理论的直接应用遇到了困难。20 世纪 70 年代微处理机的出现对实现各种复杂的控制任务起了重大的推动作用。

##### 2.3.4.1 现代控制理论的形成和发展

公元 1956 年,前苏联数学家 庞特里亚金( )提出极大值原理。同年美国数学家 R.贝尔曼(Bellman)创立动态规划。两者为解决最优控制问题提供了理论工具。1960 年美国数学家 R.卡尔曼(Kalman)提出能控性和能观性两个概念,揭示了系统的内在属性。卡尔曼还引入状态空间法(State Space Method),提出具有二次型性能指标的线性状态反馈律,为线性自动控制系统给出了最优调节器的概念。以上这些新概念和新方法标志着现代控制理论的诞生。

20 世纪 60 ~ 70 年代,多名英国学者 H.罗森布罗克(Rosenbrock)、D.梅恩(Mayne)和 A.麦克法兰(MacFarlane)等将频率法推广到分析和设计多变量系统。他们提出的一些方法,称为现代频率法,其中有的还与状态空间法相结合。这些方法保留经典控制理论中频率法的一些优点,并已成功地用于石油、化工、造纸、原子能反应堆、飞机发动机和自动驾驶仪等设备中多变量系统的分析和设计上,取得令人满意的结果。

现代控制理论迅速发展,形成了多个重要分支。

(1) 系统辨识(System Identification)、建模(Modelling)与仿真(Simulation) 系统辨识是根据系统输入、输出数据为系统建立数学模型的理论和方法。因为只有被控对象的数学模型已经精确知道,才能采用经典控制理论的一些分析和设计方法以及现代控制理论的状态空间法和最优调节器的设计方法。此外建立数学模型还可以采用解析

法和实验方法。通常有必要在仿真设备上试验系统,包括建立、修改、复现系统的模型,这称为系统仿真。

(2) 自适应控制 (Self-adaptive Control) 和自校正控制器 (Self-tuning Regulator) 自适应控制能在对象数学模型变动和系统外界信息不完备的情况下改变反馈控制器的特性,以保持良好的工作品质。自适应过程必须依靠计算机来完成(图 2 .24),由基于计算机的自适应控制器来校正反馈控制器的参数以保持工作品质。它已在船舶驾驶、过程控制中得到成功的应用。

自校正控制器(图 2 .25)具有对被控对象的参数进行在线估计的能力,并借此对控制器参数进行校正,使闭环控制系统达到期望指标。图 2 .24 上的自适应控制器和反馈控制器由一个小型计算机来实现,图 2 .25 上的控制器和辨识器也是如此。

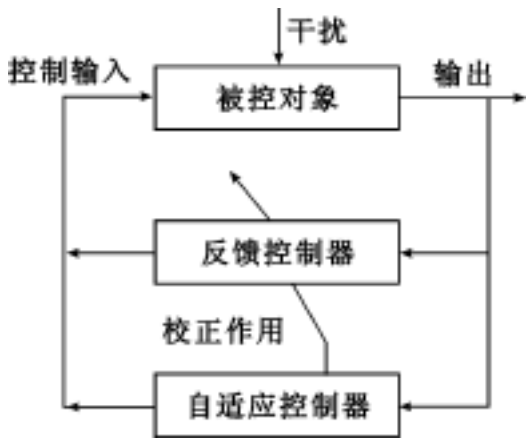


图 2 24 自适应控制框图

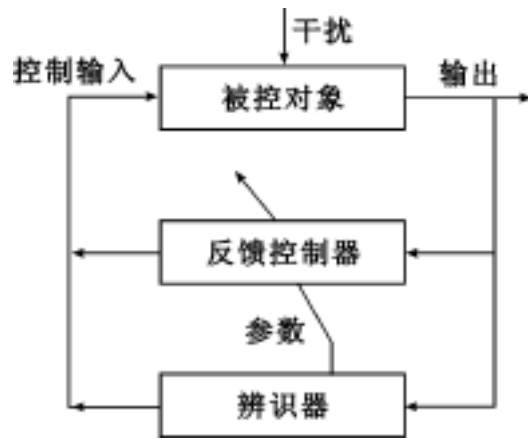


图 2 25 自校正控制框图

(3) 遥测 (Telemetry)、遥控 (Remote Control) 和遥感 (Remote Sensing) 20 世纪 20 年代,遥测和遥控开始在铁路信号和道岔控制上实际应用。到了 20 世纪 40 年代对大电力系统,石油、天然气管道输送系统等应用了遥测和遥控。

遥测就是对被测对象的某些参数进行远距离测量,如对大电力网上某点电压或频率的测量。遥控就是对被控对象进行远距离控制,例如从调度中心端对大电力网上某个电站机组的启动控制。

最初的遥测遥控系统采用有线(通)信道。第二次世界大战期间无线电遥控遥测得到迅速发展,特别是航天技术的需要而使它得到迅速

的发展。例如宇宙飞船航天员的生理情况(体温、血压及心率等)由传感器测量后通过遥测(无线电)(通)信道传至地面监控站。而监控站也可对飞船中的设备通过(无线电)(通)信道进行操纵或控制。

20 世纪 60 年代以后,遥感技术得到了迅速发展。遥感就是利用装载在飞机或人造卫星等运载工具上的传感器,收集由地面目标物反射或发射出来的电磁波,再根据这些数据来获得关于目标物(如矿藏、森林、作物产量等)的信息。现已应用在农业、林业、地质、地理、海洋、水文、气象、环境保护和军事侦察等领域。

(4) 综合自动化 20 世纪 50 年代末到 60 年代初,开始出现电子数字计算机控制的化工厂,20 世纪 60 年代末在制造工业中出现了许多自动生产线,工业生产开始由局部自动化向综合(全盘)自动化方向发展。20 世纪 70 年代出现用专用机床组成的无人工厂,20 世纪 80 年代初出现用柔性制造系统组成的无人工厂(图 2.26 和图 2.27)。



图 2.26 无人加工车间

(5) 大系统(Large-scale System)理论的诞生 20 世纪 60 年代末,学者们对出现的大系统如大电力系统、化工联合企业、钢铁联合企业及社会经济大系统等开始进行了研究。特别是高速大型计算机的出现为大系统的研究和大量计算提供了前提条件。20 世纪 60~70 年代 I. 莱夫科维茨(Lefkowitz)和 M. 梅萨罗维茨(Mesarovic)分别提出了大系统的多层结构和多级结构并分解成子系统的概念。20 世纪 60 年



图 2 27 无人组装车间

代还提出了大系统分散控制的次优性控制方法。

大系统理论的重要作用在于对大系统进行调度优化和控制优化,通过分解-协调(Decomposition-Coordination)以较短时间计算出优化结果,使需要在线及时求取的大系统优化解并实施优化控制成为可能。目前中国已应用在大化工厂、大化肥厂以及社会经济大系统的优化控制和管理上,取得巨大的经济效益。

(6) 模式识别(Pattern Recognition)和人工智能(Artificial Intelligence) 使用电子数字计算机并使它能直接接受和处理各种自然的模式消息,如语言、文字、图像、景物等,称为“模式识别”,如对汽车牌照的识别以控制和管理交通,对指印的识别以甄别罪犯,对汉字的识别以使办公室自动化等。

早期的人工智能研究是从智力难题、奕棋和难度不大的定理证明入手,总结人类解决问题时的思维规律,然后用计算机来模拟。人工智能的研究领域涉及自然语言理解、自然语言生成、机器视觉、机器定理证明、自动程序设计、专家系统和智能机器人等方面。自 20 世纪 70 年代以来,人工智能学者已研制出用于医疗诊断、地质勘探、化学数据解

释和结构解释、口语和图像理解、金融决策、军事指挥、大规模集成电路设计等各种专家系统。

20 世纪 60 年代末至 70 年代初,美、英等国的科学家们注意到将人工智能的所有技术和机器人(Robot)结合起来,研制出智能机器人,如有视觉和触觉的机器人和能与人对答的机器人等等。智能机器人(Intelligence Robot)会在工业生产、核电站设备检查及维修、海洋调查、水下石油开采、宇宙探测等方面大显身手。图 2.28 所示为智能机器人靠传感器修正误差,正在利用手臂装配模型火车。

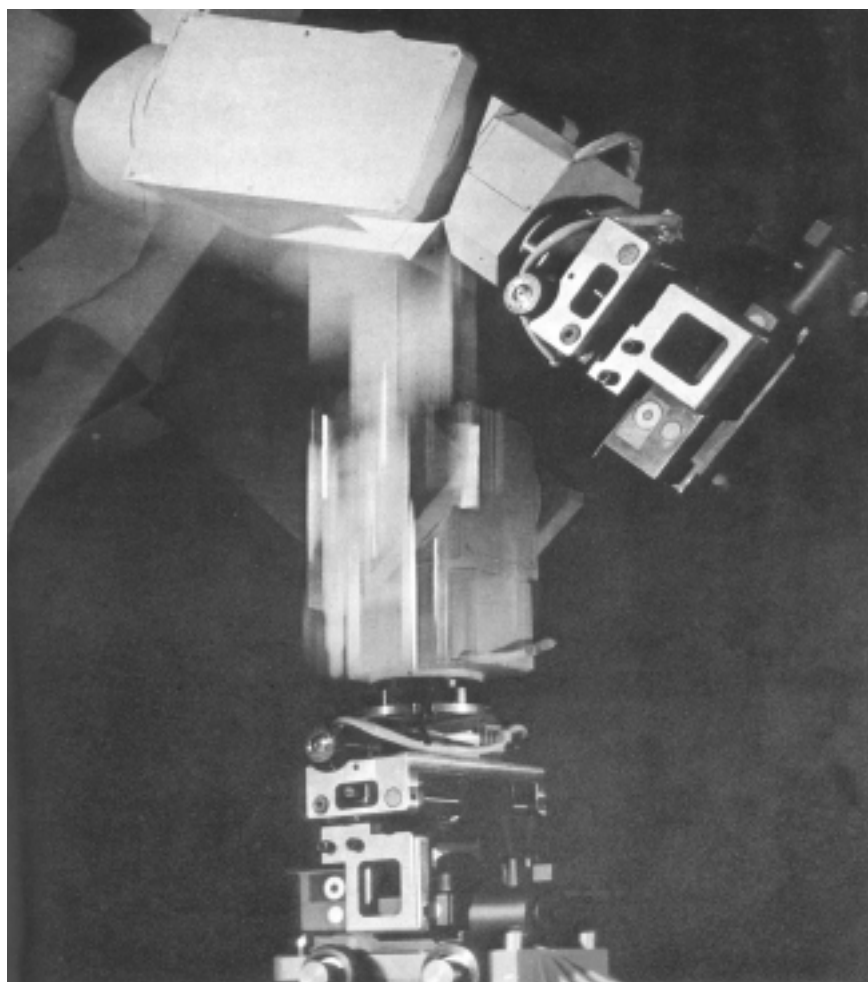


图 2.28 智能机器人

(7) 智能控制(Intelligent Control)的诞生 随着人工智能研究的发展,人们开始将人工智能引入到自动控制系统,形成智能控制系统。这是新一代的自动控制系统。它的特点是具有智能,能解决一些以往的自动控制技术解决得不好或者不能解决的控制问题。它将人工智能

中的专家系统、学习控制、模糊逻辑控制和具有多层感知器的神经网络等分别与自动控制和系统工程的一些方法相结合,形成一些新的、具有独特性能的智能自动控制系统,例如图 2.28 的智能机器人(Robot)便是一例。已经研制成能听懂人的言语、执行人的口头命令的智能机器人;也已经研制成能行走、上楼梯的智能机器人;也已经研制成能进行某些特定操作的智能机器人,如目前已有能在设置爆炸物的现场,拆除引信的智能机器人。图 2.29 为我国研制的水下机器人。

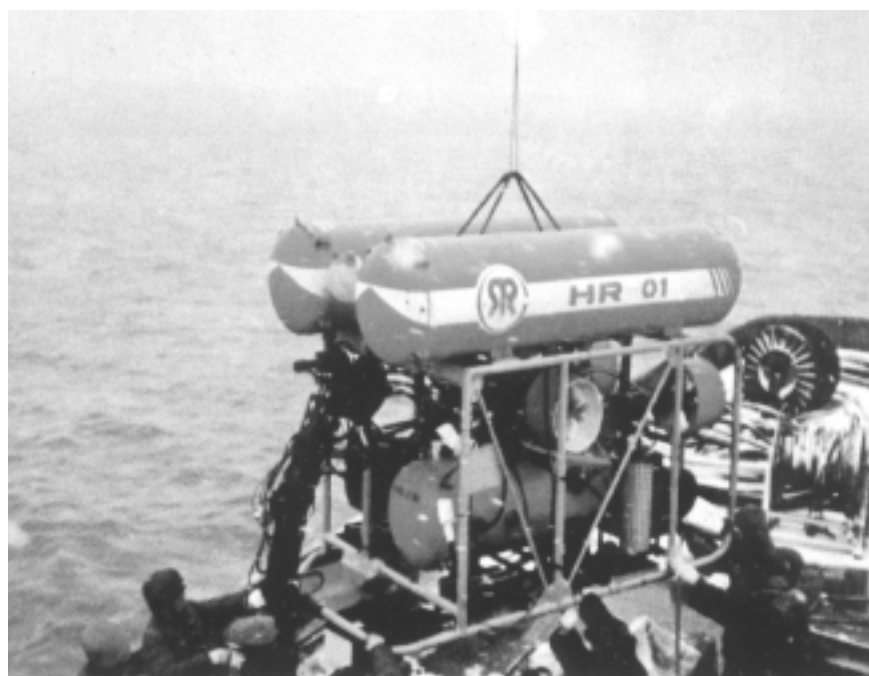


图 2.29 沈阳自动化研究所研制的水下机器人

## 2.4 中国的自动化教育、科研机构 and 学术团体

自从 1950 年在上海交通大学为电机系本科生和研究生开设“伺服机构原理”课程以后,1953 年在高等院校电机(力)系开始逐步设置了“工业企业电气化”专业(自动化专业的前身)。该专业的课程设置中有“自动调节理论”课程,即现在的“自动控制理论”课程。当时类似课程在电类其他专业的教学计划中也都设置了,如在“发电”专业的教学计划中设置有“电力系统自动化”课程以及“电力系统远动学”(即远距离测量和控制学)。1956 年起,在高等院校逐步建立自动控制专业。这



两个自动化类专业为中国培养了大批专业人才。

中国自动化科学技术工作者组成全国性的学术团体——中国自动化学会。而各国自动控制学术团体联合组成国际自动控制联合会(International Federation of Automatic Control, 简称 IFAC)。它是非政府性学术交流团体,通过国际合作促进自动控制理论和技术的发展,推动自动控制在各部门的应用。联合会每三年举行一次大会,进行大型国际性学术交流活动。1999 年 7 月在北京举行第 14 届国际自动控制联合会大型国际学术交流。国际自动控制联合会出版高水平的英文学术期刊《Automatic》(自动学)、《Control Engineering Practice》(控制工程实践)等。中国自动化学会出版学术期刊《自动化学报》、《控制与决策》、《信息与控制》以及科普期刊《自动化博览》。国内出版的其他有关一级学术期刊有《控制理论与应用》等。

1956 年开始,中国政府制定并执行科学技术发展的 12 年规划(1956~1967),其中对自动控制和自动化的发展给予了高度重视。1957 年中国科学院成立了自动化研究所,20 世纪 60 年代中叶又成立了中国科学院沈阳自动化研究所。与此同时,国务院有的部、委都建立自己的自动化研究机构:如机械电子工业部所属北京机械工业自动化研究所,冶金工业部所属冶金自动化研究所,机械电子工业部直属天津电气传动设计研究所,以及上海和重庆工业自动化仪表研究所等等。1979 年成立了以控制理论家关肇直为首的中国科学院系统科学研究所。这些研究机构都为中国自动化事业的研究、应用和发展作出了重要的贡献。以控制论专家钱学森、张钟俊、钟士模和关肇直为代表的老一辈自动控制专家对中国的自动化教育和自动控制理论发展以及在国防上应用作出了极重要的贡献。在他们的教育、培养和带动下,新一代的自动控制专家茁壮成长,其中涌现了一批科学院院士和工程院院士。

## 思 考 题

- 2.1 何谓“自动化”?
- 2.2 自动化的研究内容是什么?
- 2.3 自动化与新技术革命有何关系?

- 2.4 我国古代有哪些重要的自动装置？
- 2.5 指南车的用途是什么？原理是什么？
- 2.6 候风地动仪是基于什么原理？
- 2.7 宋代的水运仪象台能观察哪些天文现象？
- 2.8 控制和自动化技术的发展经历了哪几个时期？
- 2.9 在经典控制理论时期,分析和设计自动控制系统的主要方法是什么？
- 2.10 电子计算机在自动化技术中能起到什么作用？
- 2.11 何谓现代控制理论？
- 2.12 试比较自适应控制和自校正控制的异同。
- 2.13 智能控制与普通控制的主要区别是什么？
- 2.14 何谓综合自动化？

### 3 自动控制系统的类型和组成

#### 3.1 恒值自动调节系统

瓦特发明离心式调速器用以保持蒸汽机转速的恒定,而蒸汽机和调速器就组成一个转速自动调节系统(图 2.16 和图 2.17)。随着黑曾提出了“伺服机构”的理论,伺服系统的应用也流行起来。约在 20 世纪 50 年代开始,学者们又开始把两者统一称为自动控制系统。图 3.1 所示为一工件加热用电炉炉温自动控制系统。由给定环节给出的电压  $u_r$  代表所要求保持的炉温,它与表示实际炉温的测温热电偶的电压  $u_f$  相比较,形成误差电压  $u = u_r - u_f$ 。 $u$  经过放大器放大后带动电动机 M 向一定方向转动,并使调压器提高或降低加热电压,以使  $u_f$  达到  $u_r$  并使  $u = 0$ 。这时,电动机不再转动,自动调节系统达到新的平衡点。这里,电动机有一个正确的旋转方向问题。当  $u_r > u_f$ ,即  $u > 0$ ,此时表示炉温低于所要求保持的恒值,则电动机的旋转方向应该使调压器的滑动触点向上以增加加热电压。反之, $u < 0$ ,则滑动触点应向

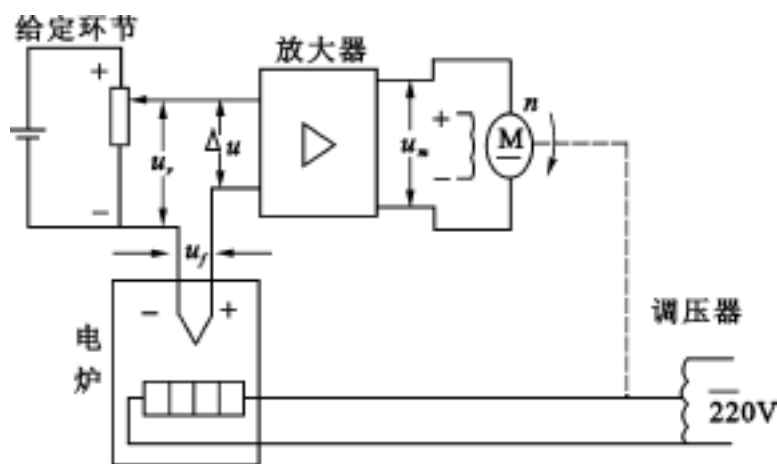


图 3.1 炉温自动控制系统

下移动以减少加热电压。这里可以看到,系统的作用是闭合的,即形成闭环系统,也即说明有反馈回路。而反馈的性质使炉温回复到给定的恒值;而当炉温  $u_f$  大于  $u_r$  时,反馈使得炉温更高,或者  $u_f$  小于  $u_r$  时反馈使炉温更低则后述系统不能正常保持被调量为恒值。这说明自动调节(控制)系统,一定要有“负反馈”。图 2.18 中,在左端有符号“ $<$ ”表示进行比较,而且两个输入量有不同的符号。在恒值自动调节系统中,由给定环节给出的给定作用为恒值。它应赋予“ $+$ ”号。反馈量应赋予“ $-$ ”号。这样才能保证实现“负反馈”。即误差电压  $u$  的形成是:  $u = u_r - u_f$ 。

恒值自动调节系统(Automatic Regulating System)的功能就是,要克服各种对被调节量的扰动而保持被调节量为恒值。

## 3.2 程序自动控制系统

当自动控制系统的给定信号(相当于上节中的  $u_r$ )是已知的时间函数时,称这类系统为程序控制系统(Programmed Control System)。图 3.2 表示一个仿模铣床的原理示意图。这是一个闭环控制系统。但是制做一个精确的立体木模是一个精细、费工的工作。所以后来又将木模以纸带(或磁带)上的脉冲系列来代替,这时的闭环控制系统如图 3.3 所示。加工时,由光电阅读机把记录在穿孔纸带(或磁带)上的程序指令,变成电脉冲(即指令脉冲),送入运算控制器。运算控制器完成对控制脉冲的寄存、交换和计算,并输出控制脉冲给执行机构。执行机构根据运算控制器送来的电脉冲信号,操作机床的运动,完成切削成型的要求。

程序自动控制系统的功能,就是要按照预定的程序来控制被控制量。即自动控制系统给定环节给出的给定作用为一个预定的程序。原则上程序控制可以是开环的,但可以用反馈来消除加工的误差,提高被加工工件的精度。图 3.2 和图 3.3 都是闭环的程序自动控制系统。

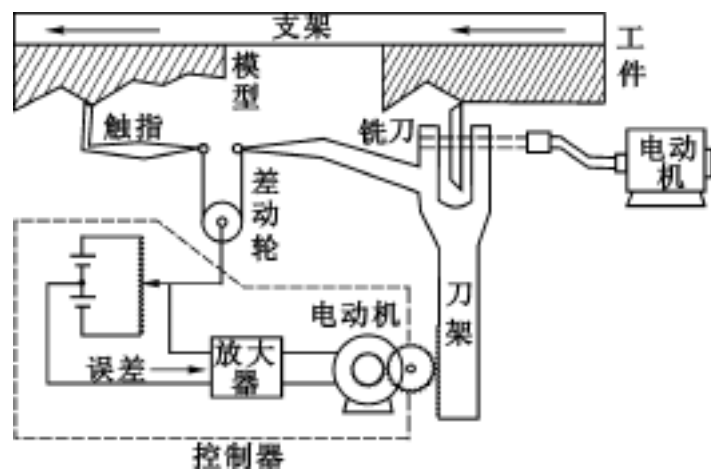


图 3 2 仿模铣床原理示意图



图 3 3 程序控制铣床闭环系统

### 3 3 随动系统(伺服系统)

在反馈控制系统中,若给定环节给出的输入信号是预先未知的随时间变化的函数,这种自动控制系统称为随动系统(Servo-mechanism)。国防上的炮跟踪系统(图 2 .19 和图2 .20)、雷达导引系统和天文望远镜的跟踪系统等都属于随动系统。

随动系统的功能就是,按照预先未知的规律来控制被控制量。即自动控制系统给定环节给出的给定作用为一个预先未知的随时间变化的函数。

像图 3 .1 的炉温自动控制系统和图 3 .2 的程序自动控制系统都有这样的特性:在控制过程中系统的所有的结构始终没有变化,因此系统中各元件(环节)输出端的信号是作用 and 时间的连续函数。这类系统称为连续控制系统(Continuous-time Control System),其中的信号称为连续信号,或模拟信号。

### 3.4 自动控制系统的组成

以上三节介绍了三种类型的自动控制系统,它们的分类是按照给定环节给出的输入信号的性质进行的。根据上节的各类系统的示意图,并参照图 2.18,则自动控制系统由下列几部分组成,如图 3.4。

- (1) 给定环节 产生给定的输入信号;
- (2) 反馈环节 对系统输出(被控制量)进行测量,将它转换成反馈信号(Feedback Loop);
- (3) 比较环节 将给定的输入信号和反馈信号加以比较,产生误差(Error)信号;
- (4) 控制器(调节器) 根据误差信号,按一定规律,产生相应的控制信号,控制器是自动控制系统实现控制的核心部分;
- (5) 执行环节(执行机构) 将控制信号进行功率放大,并能使被控对象的被控量变化;
- (6) 被控对象(Controlled Object) 控制系统所要控制的设备或生产过程,它的输出就是被控量;
- (7) 扰动(Disturbance) 除输入信号外能使被控量偏离输入信号所要求的值或规律的控制系统的内、外的物理量。
- (8) 校正环节(Correcting Device) 在有些不采用工业标准化控制器的伺服系统中,误差信号处理由校正环节来完成。它代替控制器的作用和图 3.4 中的位置。伺服系统(Servo system,即第 2.3.2 节(1)中的伺服机构)是以电信号作输入和以被控对象为电动机轴的位置作输出的自动控制系统。

在图 3.1 所示炉温自动调节系统中,若打开电炉炉门,将冷工件放入电炉,这就是一个最重要的扰动。反馈的作用,就在于当被控量偏离给定输入值时,能产生误差信号并引起闭环系统自动工作来克服扰动的影响。现来分析工件送入炉中(扰动)的影响及其克服过程:首先工件放入加热炉使炉温  $u_f$  降低,  $u_f < u_r$ 。这时  $u$  为正值,放大器放大  $u$  并使电动机向这样一个方向旋转,导致调压器滑动触点向上移动以

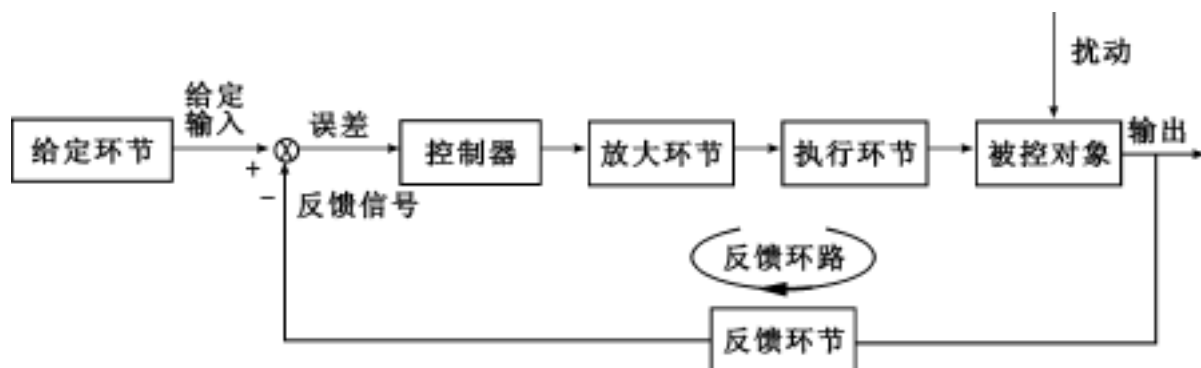


图 3.4 自动控制系统的各环节功能

加大加热电压。加热电压的加大导致炉温  $u_f$  逐步上升,直到炉温  $u_f = u_r$ ,  $u = 0$ 。此时电动机不再旋转,调压器滑动触点不再移动。自动控制系统经过一段时间后重新达到新的平衡点。被控量炉温  $u_f$  先降低后又再升高到  $u_r$  (或其附近),这样系统经历了一个动态过程,称为调节过程。实际调节过程的情况比较复杂,将在第 4 章 4.1 节作进一步的讨论。

### 3.5 自动化仪表

许多工业自动控制系统,都选用制成工业产品的自动化仪表进行测量、信号变换、放大和控制。这些常用的自动化仪表(Instruments)是:

(1) 传感器 实现对信号的检测并将被测的物理量变换为另一个物理量(通常是电量),例如图 3.1 中的热电偶。传感器按其不同的物理量,形成众多的系列品种,各有规定的规格和标准。

(2) 变送器(Transducer) 与传感器配套,使输出成为标准信号。例如对 DDZ 电动单元组合仪表,标准信号为  $4 \sim 20\text{mA}$ 。

(3) 控制器(调节器) 采用模拟信号的控制器使用较多,它接受来自被控对象的测量值和给定值或它们的误差,并根据一定的控制(调节)规律产生输出信号以推动执行机构(执行器)。控制器起了图 3.4 中给定环节、比较环节和控制器三者的作用。

(4) 放大器(Amplifier) 用以增加信号的幅度或(和)功率,如图 3.1,它可以从电信号放大到电信号(如晶体管放大器),也可以由电信

号放大到气动信号(如电-气转换器)。

(5) 执行机构(Actuator) 接受控制器来的信息并对被控对象施加控制作用,如图 3 .1 中的电动机 M。工业控制常用的执行机构是气动薄膜调节阀(Control Valve)、液压伺服马达(Servomotor)、电动调节阀等。

自动化仪表使得工业自动控制系统的构成变得更简便、更工程化。

### 3 .6 控制器控制和计算机控制

图 3 .4 上的各个信号:输入信号、误差、控制器输出和输出量等都是模拟信号,即随时间连续变动的信号。在一些现代的控制系统中常用微型计算机来代替控制器,这对于实现复杂的控制性能很有必要,如最优控制、自适应控制等等。这时计算机控制系统(Computer Control System)的框图如图 3 .5 所示。其特点是系统中一处或几处的信号具有数字代码,此外还有离散信号(采样信号)的出现,如图 3 .6 所示。系统的另一个特点是以计算机程序来实现 PID 控制规律或更复杂的控制规律。



图 3 .5 计算机控制系统框图

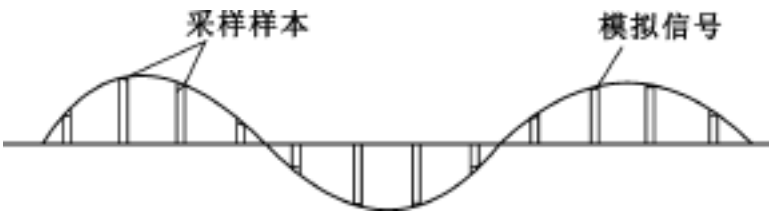


图 3 .6 模拟信号采样示意图

图 3 .6 上的采样后信号,是将连续偏差信号通过一个采样开关而形成的。这相当于误差信号的传输结构有了周期性的连通和中断。这类系统称为离散控制系统(Discrete-time Control System)或采样控制系统(Sampled-data Control System )。



## 3.7 自动控制和远距离控制

在一个自动化系统中各设备和自动化仪表之间的距离往往是较短的。例如像图 3.1 这样的加热炉温度自动控制系统,传感器热电偶插入在被控对象电炉中,而执行器电动机 M 与调压器滑动触点通过降速齿轮系机械地连接在一起。给定环节、放大器和 PID 功能在结构上可以制作在一起,成为一块仪表——控制器。这样,自动控制的几块仪表安放得和被控对象很接近。但有些大型工厂如化工厂、化肥厂、炼油厂的一个车间的占地面积较大,控制器和指示被控制量的仪表就设置在车间主控室(控制室)的仪表屏上,而被控对象在相距数十米或数百米的生产车间里(如图 3.7 所示)。



图 3.7 燕山石化公司一厂裂解装置的控制室

在一个自动化系统中,若是设备之间有较长的距离,例如数十、或数百、数千公里就不能用通常的电气或机械的联系来传递测量信号、反馈信号和控制信号。这时,需要在分离的设备之间设立专门的(通)信道。(通)信道是传输信息的媒质或通道,如架空明线、同轴电缆、射频波束和光导纤维等。发送端把所需传送的控制命令、测量数据、反馈信号等经过调制、编码等变换处理之后,再经过(通)信道传递。在接收端,即(通)信道的另一端,把收到的信号经过解调、译码等反变换处理,

恢复为原来的形式(图 3.8 和图 3.9)。这个过程和一般的通信系统很相似。经过通信道传送控制指令(给定输入量)的自动控制系统就是远距离控制(遥控)系统,经过通信道传送数据的自动测量系统就是远距离测量(遥测)系统。

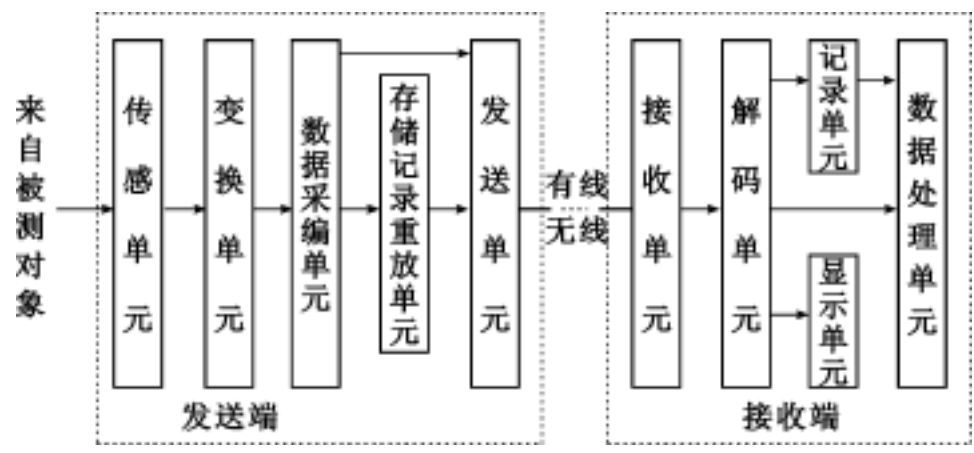


图 3.8 遥测系统框图

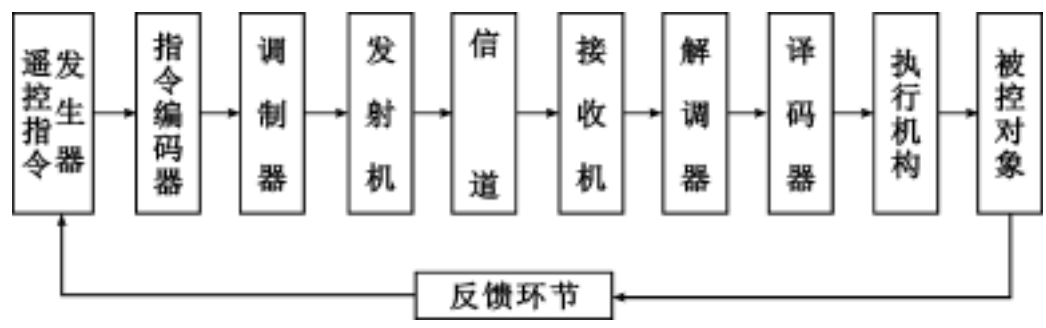


图 3.9 遥测遥控系统框图

20 世纪 60 年代以来,由于电子计算机技术的发展及其自动控制技术在生产控制和空间技术中的广泛应用,自动化系统愈来愈复杂,并且,分布在一个较大的空间或地域范围内,许多设备、机组被联系在一个大的控制系统内。这时,特别要采用遥测、遥控等远动技术(远动学)。在对人造卫星的姿态控制、对宇宙飞船上的重要设备的控制都要从地面上的测控中心通过遥测遥控技术进行。对大型电力系统、水资源系统、大型灌溉系统和大型油田的测量和控制,都要从调度所或管理(控制)中心通过遥测遥控技术进行。例如,从大型电力系统的调度所对其中某一水力发电站,通过遥测遥控装置操作它的起动、停车、增减负荷等。

## 3.8 线性和非线性控制系统

第 3.1 ~ 3.3 节自动控制系统的分类,是按照它们的功能或给定环节给定作用(输入作用)的性质或按照系统中信号的性质来进行的。另一种重要的分类是按照自动控制系统的固有内在性质来进行的。它们可以被分为线性和非线性控制系统。

自动控制系统由各种环节(元件)组成,而环节或元件按其特性,可分为线性元件(Linear Element)和非线性元件(Nonlinear Element)。例如图 3.1 上的电子放大器,它的输出-输入静态特性,是一条直线(图 3.10)。而图 3.1 上的直流电动机近似地可用线性微分方程加以描述它的运动规律。这些元件都是线性元件。然而,有些元件是非线性的,例如图 3.11 上的非线性元件电子放大器,如今用一个极化继电器来代替。极化继电器与普通的继电器不同,输入不同极性的电压  $u$ ,它闭合相应的不同触点,如图 3.11(b)上的左侧和右侧触点。不同的触点连接不同的激磁绕组(左或右),直流电动机才能向不同的方向旋转。图中 M 为电动机的电枢部分,并连接有限流电阻器  $r$ 。这样,直流电动机根据误差  $u$  的极性向不同的方向旋转。而这样的极化继电器的静特性,如图 4.11 所示。不灵敏区的存在,表示继电器要等到  $u$  有一定的小值时才会吸动。图 3.12 与图 3.10 相比,可以看出两个特性显著不同,在图 3.12 上输出-输入关系不再是成正比的线性关系。这就是一种典型的非线性元件。其它的典型的非线性元件还有电机等磁路具有的饱和特性(图 3.13)、磁滞回线特性(图 3.14)和传动齿轮间歇的回线特性(图 3.15)等等。

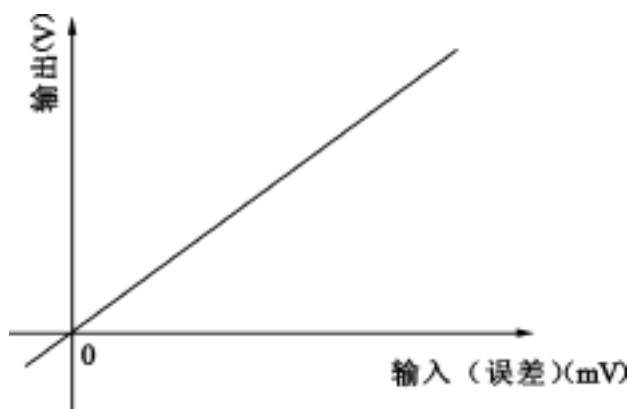


图 3.10 电子放大器的静特性

图 3.11(b) 上的极化继电器带动直流电动机,这组成常见的非线性部件。它要用非线性微分方

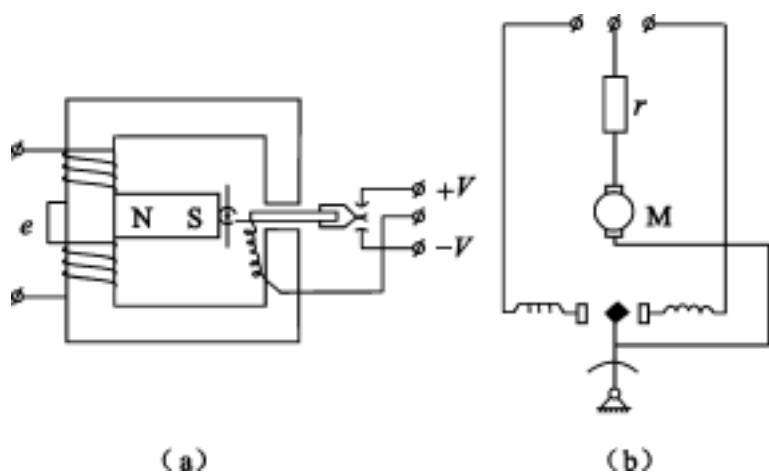


图 3 .11 极化继电器带动直流电动机

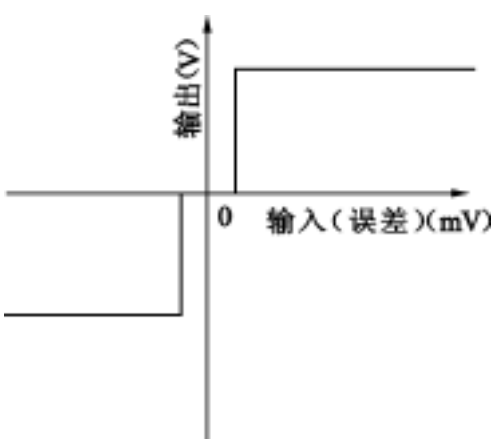


图 3 .12 极化继电器的静特性

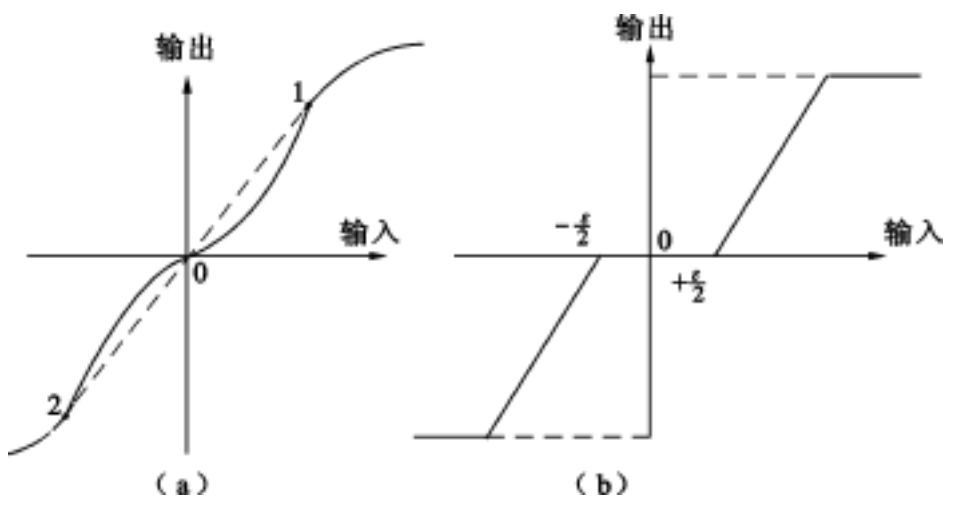


图 3 .13 饱和特性

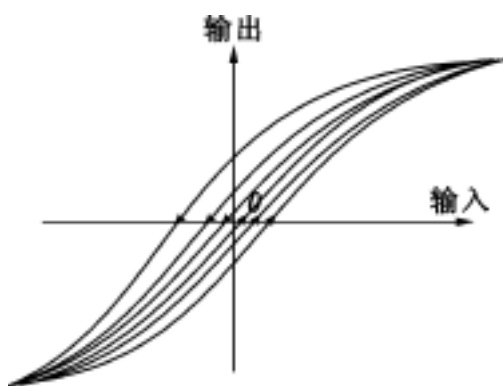


图 3.14 磁滞回线特性

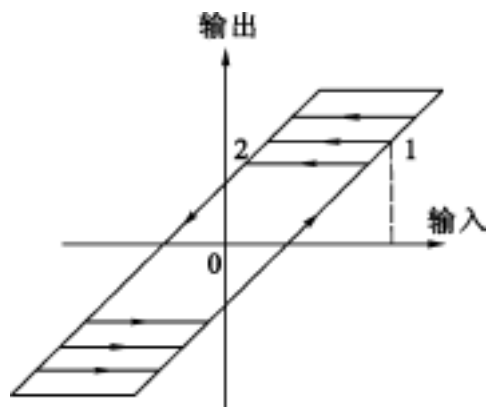


图 3.15 齿轮间歇的回线特性

程来描述。电动机的输出是  $u$  的非线性函数。含有这样非线性环节或元件的控制系统,称为非线性控制系统 (Nonlinear Control System)。线性控制系统由线性部件组成,并以线性微分方程来描述。非线性控制系统会出现一些在线性系统中不可能发生的奇特现象:

(1) 线性系统的稳定性和输出动态过程只决定于系统本身的结构和参数。而非线性系统的稳定性和输出动态过程不仅与系统的结构和参数有关,而且还与系统的初始条件和输入信号大小有关;

(2) 非线性系统的平衡运动状态(即稳态, Steady State),除平衡点外还可能有周期解;

(3) 线性系统的输入为正弦函数时,其输出的稳态过程也是同频率的正弦函数,两者仅在相位和幅值上不同。但非线性系统的输入为正弦函数时,其输出为包含有高次谐波的非正弦周期函数;

(4) 复杂的非线性系统在一定条件下还会产生突变 (Catastrophe)、分岔 (Bifurcation) 和混沌 (Chaos) 等现象。

具体现象参见第 4.7 节非线性系统的控制。

## 3.9 多变量自动控制系统

前文所介绍的各类自动控制系统都只有一个输入量和一个输出量,这称为单输入单输出系统或单变量系统 (Single-input and Single-output System)。例如,第 3 章第 3.1 节的恒值自动调节系统中一个输入变量是给定电压  $u_r$ , 而一个输出变量是炉温  $u_f$ 。许多简单的或基

本的控制系统往往都是单变量系统。

具有多个输入量或多个输出量的系统,称为多输入或多输出系统 (Multiple-input or Multiple-output System)或多变量系统 (Multivariable System)。工业锅炉是一个典型例子(图 3 .16)。这个被控对象有五个被控输出量:蒸汽压力  $p_r$ , 蒸汽温度 , 汽包水位  $H$  , 炉膛负压  $p_v$  和过量空气系数 。被控对象中也有五个可作为控制手段的输入量: 给水流量  $W$ , 喷水量  $W_s$ , 燃料量  $B$  , 送风量  $A_F$  以及引风量  $E_G$ 。这是一个 5 输入量 5 输出量控制系统。

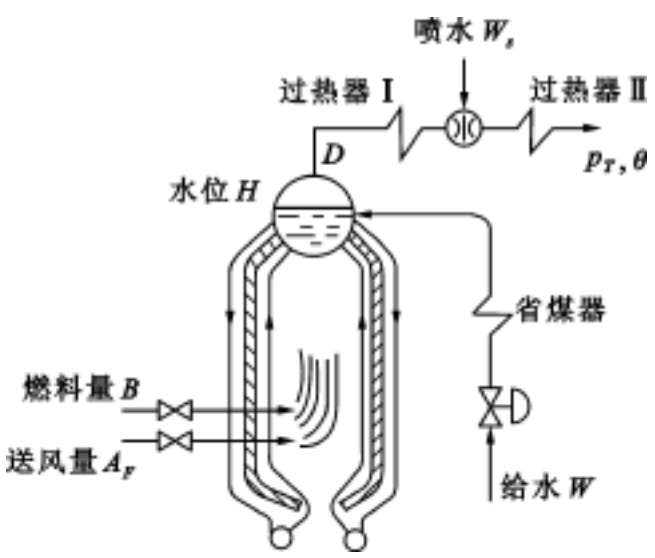


图 3 .16 工业锅炉生产过程示意图

今考虑一个简化情况:因汽包水位  $H$  低于要求值,通过汽包水位  $H$  自动控制系统会使锅炉输入量给水流量  $W$  有所增加,而与此同时被控输出变蒸汽压力  $p_r$ , 蒸汽温度 都会变动,见图 3 .17 上的虚线。为了避免这种影响,工业锅炉的自动控制系统要设计成这样,即给水流量变动时有信息通过另外的去耦装置(图 3 .18)分别作用到蒸汽压力  $p_r$  和蒸汽温度 等的执行机构使两者不变或近似不变。

今在图 3 .18 上只画出 2 个输入量和 2 个输出量的部分锅炉对象和相应的控制系统。其中每个输入量对 2 个输出量都有影响,例如给水流量的变动对汽包水位和蒸汽温度都有影响等,如图 3 .18 的虚线。而汽包水位  $H$  和蒸汽温度 各自的测量传感器,以及到各自控制器的主反馈环路,在图上未予标明。

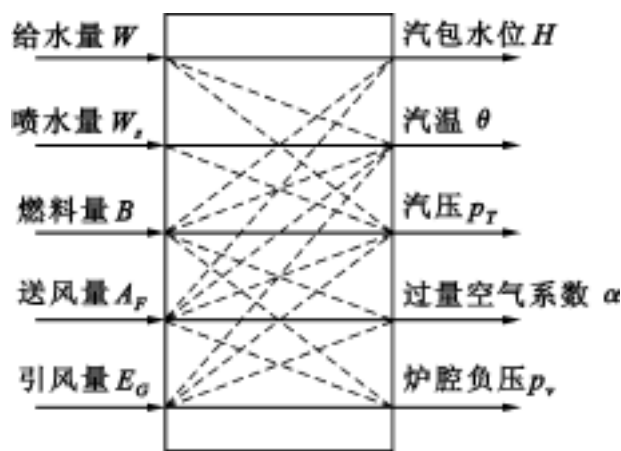


图 3.17 5 输入量 5 输出量锅炉对象框图

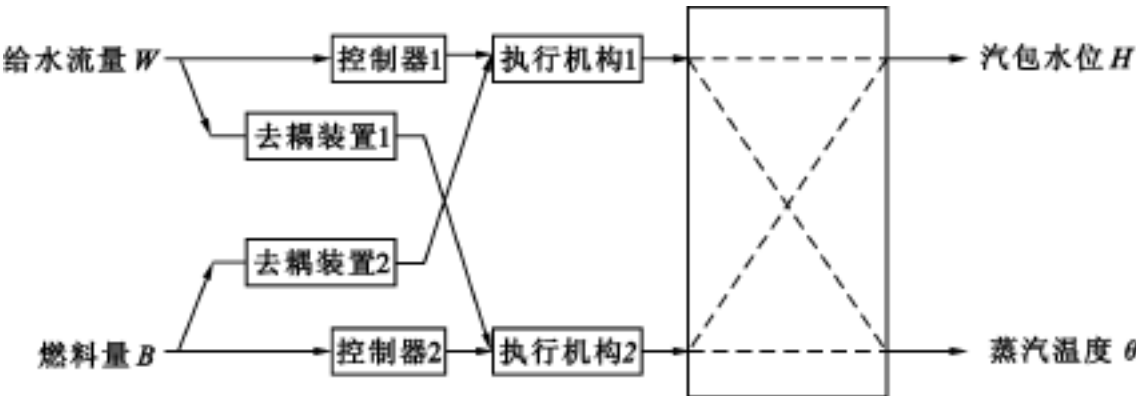


图 3.18 锅炉对象的 2 输入量 2 输出量部分框图

与单变量系统相比,多变量系统的控制要复杂得多。在多变量控制系统中,被控对象、测量元件、控制器和执行元件都可能具有一个以上的输入量或一个以上的输出量。多变量系统的每个输出量通常都同时受到几个输入量的控制和影响,这种现象称为耦合(Coupling)或交叉影响(Interaction),如图 3.17 上的交叉虚线。交叉影响的存在使多变量系统很可能成为一种条件稳定系统。对于多变量系统通常通过引入附加的去耦装置(环节),实现一个输入只控制一个输出,称为解耦控制(Decoupling Control)。图 3.18 上锅炉的部分对象通过去耦装置 1 和 2 实现对汽包水位和蒸汽温度的解耦控制。实际上图 3.16 工业锅炉的耦合或交叉影响较多,每个都需要各自的去耦装置,才能实现整个锅炉的解耦控制。后文第 5 章第 5.5 节介绍的飞行器姿态控制中飞行器也是一个多变量控制系统。

### 思 考 题

- 3.1 自动控制系统有哪几个基本环节(元件)?
- 3.2 何谓自动控制系统的“负反馈”?它和自动控制系统是一个闭环系统,有什么关系?
- 3.3 恒值自动调节系统的功能是什么?
- 3.4 程序自动控制系统的特点是什么?
- 3.5 随动系统的特点是什么?
- 3.6 对自动控制系统的上述三个分类,是基于何种要素(作用)?
- 3.7 何谓“扰动”?试说明在图 3.1 上有几种主要扰动?
- 3.8 计算机控制的特点是什么?
- 3.9 远距离控制的特点是什么?
- 3.10 试对图 2.2(b)中水温自动调节系统作出含有基本环节的功能框图。
- 3.11 何谓连续控制系统?它和采样控制系统有何区别?
- 3.12 何谓非线性元件?试举课本以外的例子加以说明。
- 3.13 多输入或多输出自动控制系统的特点是什么?
- 3.14 何谓“解耦控制”?试叙述其基本概念。



## 4 基本的控制方法

### 4.1 自动控制系统的行为描述

在第3.4节中曾经提到,在自动控制系统进行着:不断地检测被控制量,并反馈、比较,不断地得到误差信号的过程;而且进行着:借助于此误差信号,不断地通过变换、放大使执行机构动作,力图使被控制量回复到给定值并消除误差的过程。这是一个动态过程(Dynamic Process)。由于被控对象,例如图3.1中的电炉和执行机构电动机及附属的降速齿轮系都有惯性,甚至较大的惯性。这就是说:假如电炉的供电电压突然降为零,电炉炉膛和工件的温度不是突然降为室温,而是慢慢下降;电动机供电电压突然降为零,电动机也要从原来的转速,逐步降为零。只不过后者的降速过程较电炉的降温过程要快得多,即电炉的惯性较电动机大得多。由此可知,电炉、电动机等惯性的存在,是自动控制系统产生动态调节过程的根本原因。特别是当系统中各元件(环节)的参数(惯性也反映在参数里)配合不当,例如电炉的惯性太大、放大器的放大倍数太大或者电动机降速比不够大,使得调压器的活动触点不是一蹴而就地达到它的新的位置,而是要冲过头,使炉温  $u_f$  超过给定输入  $u_r$ 。这样使电动机反向转动,然后滑动触点又退回来。这种情况可以用图4.1来说明。图中炉温  $u_f$  在  $t=0$  及稍后的一小段时间内几乎没有变化。这是因为电炉不仅惯性很大,而且有滞后,即供电电压变化后,炉温在稍后的一小段时间内几乎没有反应(见图4.5)。

从图4.1上可以看出电炉炉膛温度  $u_f$  在  $t=0$  冷工件进入后,稍后温度开始下降,接着就开始产生力图校正误差的控制作用(图上曲线上的向上箭头,表示电炉受到的新增电能供应)。当  $u_f$  向上升并与  $u_r$  的横线相交时  $u_f = u_r$ ,  $u=0$ ,此时放大器输出为0,电动机降速至停止

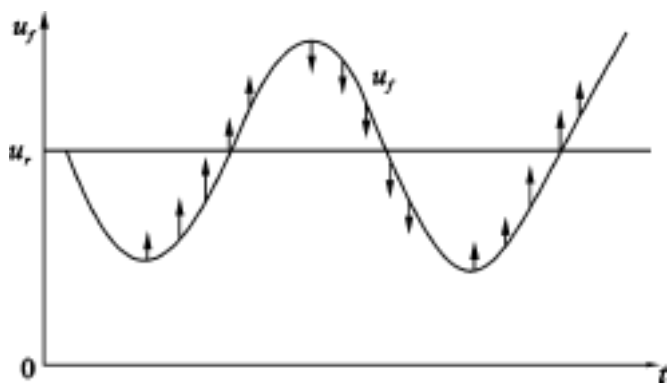


图 4.1 自动控制系统中被控制量的振荡

转动。但电炉受到电能的过度供应,炉膛温度继续上升。由于误差反向,电动机接着开始反向转动,调压器滑动触点开始向下移动,降低电能的供应。这时动态过程可能呈现类似正弦曲线状态,即温度围绕  $u_r$  水平线持续上下波动,这称为自动控制系统的不稳定。瓦特发明蒸汽机并用离心调速器构成闭环自动调速系统,就出现了这种现象(参见第 2.3.2 节中之自动化技术形成时期)。一个能稳定的炉温控制系统的炉膛温度的变化曲线,如图 4.2 所示。图中  $t=0$  时,加入冷工件于炉膛。

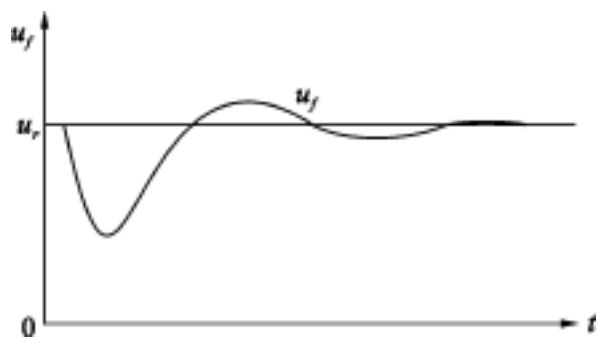


图 4.2 稳定的炉温调节系统的炉温变化

显然,不稳定的自动控制系统不能正常工作,而且系统处在振荡过程中,环节或元件很易损坏。为了正确阐明自动控制系统内在的规律,彻底解决不稳定问题,需要进行理论分析。而且这种理论分析要从每一个环节或元件的特性入手。例如放大器输入-输出时间特性关系如图 4.3 所示,输入电压经放大器放大后得出输出电压,与此同时输出功率也被放大,所需功率来自放大器的电源。

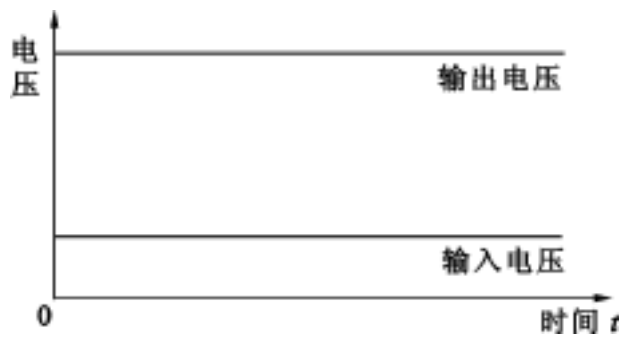


图 4.3 放大器的输出-输入时间特性

电动机和电炉的时间特性比较复杂。电动机的特点是电压加上后,它不停地转动,即它输出轴的角位移或调压器的滑动触点不断移动,如图 4.4 所示。图中电动机输出轴的角位移在 origin 附近有很小一段的曲线。而电炉的温度-时间特性如图 4.5 所示。图中在 origin 附近有一小段时间温度几乎不变,这是上文所说的电炉输出变化的滞后 (Pure Delay)。上述两图的输入都是在 origin 处的突跳式信号,称为阶跃输入 (Step Input)。除了放大器的输出-输入特性用代数方程来描述外,电动机和电炉的输出-输入特性都需要用微分方程 (Differential Equation) 的解来描述。微分方程及其求解是高等数学的一个重要内容。要精确地研究自动控制系统的稳定性和控制的品质等重要问题,必须用微分方程、拉普拉斯变换等高等数学的工具,来描述每一个环节或元件以及它们组成的自动控制系统。这些微分方程 (或拉普拉斯变换后组成的传递函数) 被相应地称为环节 (元件) 和系统的数学模型。而图 4.1 中的调节过程就是描述这个电炉温度控制系统的微分方程的解。

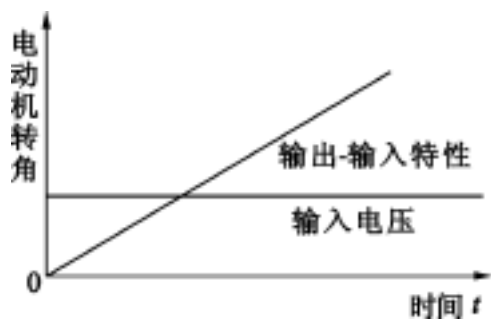


图 4.4 电动机的输出-输入时间特性

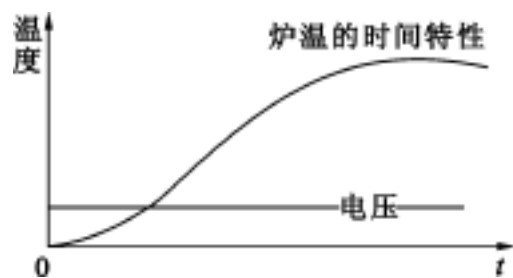


图 4.5 电炉的输出-输入时间特性

自动控制系统环节(元件)和系统的数学模型,是对自动控制系统进行理论研究的基础和出发点,是非常重要的。然而,即便是看来并不复杂的电炉,其数学模型也是较为复杂的。图 4.5 仅是它在常加热电压输入时其数学模型(微分方程)的解。如果在它保持恒温时,突然打开炉门放入冷工件,它的数学模型又与上述有差别。或者,在它保持恒温时,电炉所处的环境温度(如昼夜的变动)的变化而引起电炉炉内温度的变化,则它的数学模型又与上述两者都有差别。

## 4.2 反馈控制和扰动补偿

由反馈控制的基本结构(图 3.1 和图 3.4)可以看出,控制器由误差引起了动作,因此在反馈控制系统的调节过程中误差的发生不可避免。而误差的产生是用来力图消灭误差。有时这会导致在调节过程中出现较大的误差甚至引起振荡(Oscillation,图 4.1)。

另一种消除被控制对象由于外界扰动引起误差的方法,称为扰动补偿(Disturbance Compensation)。第 2 章中讨论的中国古代的指南车就依据这个原理(图 2.3 下图)。扰动补偿的原理在于扰动进入被控对象的同时也进入对象前部的控制器(图 4.6)。两个通道的作用是相反的(相互抵消的),结果可使得对象的输出即被调节量——方向维持近似不变。当然,如果补偿得好,也可以使被调量不变。扰动补偿形成了另一个回路,称为前馈回路(Feedforward Loop),或前馈通道。显然,要形成前馈通道,扰动作用必须是可测量的,同时还要设计扰动的补偿环节(图 2.3 下图的齿轮系)。

这个补偿原理只能补偿已设计有前馈通道的扰动。但是在自动控制系统中存在着多种扰动,例如在电炉温度自动控制系统中,除了冷工件的加进炉膛这个主要扰动外,还有其他次要扰动:调压器的工频电源的波动、昼夜温差引起的炉温散热情况的变动等。所以对于一个完善的自动控制系统,除了对主扰动的补偿外,反馈回路仍是必不可少的,它就用来克服其他扰动,这就形成了复合控制系统(Combined Control System),即反馈控制加上前馈控制的自动控制系统(图 4.6)。

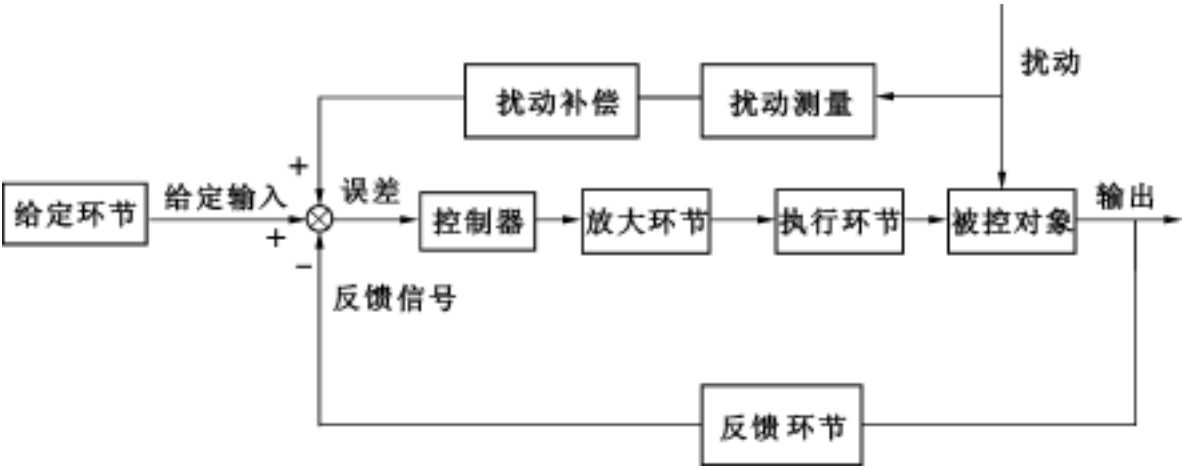


图 4.6 复合自动控制系统框图

陕西咸阳彩色显像管厂,实际应用计算机作为 PID 控制器对大型显像管玻璃炉进行炉温自动控制。玻璃炉在结构上可分为四个部分:熔解池、工作池、两个蓄热室和两台投料机。大型玻璃炉有 2 层楼高,仅熔解池面积就有  $75\text{m}^2$ 。控制系统中实现对两个主要扰动的扰动补偿。一个是向炉内的投料量(玻璃原料量),它是可测量的。投料量转换成电信号,再经过扰动补偿环节输入计算机,实现对投料量的扰动补偿;另一个是大气温度,西北地区昼夜温差大,对玻璃炉散热影响很大。所以采用温度传感器来测量车间外的大气温度,再经过变送器、扰动补偿环节输入计算机,实现对大气温度的扰动补偿。结果玻璃炉的炉温控制效果很好。炉内的温度保持在  $1300 \pm 3$  之内。

### 4.3 比例微分积分控制

从图 4.1 可见,自动控制系统在克服误差的调节过程中可能会出现振荡甚至失稳。其原因是由于存在有较大惯性的元件(环节)和(或)有滞后的元件,使力图克服误差的作用,其变化总是落后于误差的变化,如图 4.1 的箭头所示。这自然令人想到:解决的办法是使克服误差的作用的变化要有些“超前”,即在误差接近零时,克服误差的作用就应该是零,如图 4.7 所示。这就是说,在控制器中仅引入“比例”项往往是不够的,比例项的作用仅是放大误差的幅值,而目前需要增加的是“微

分项”。它能预测误差变化的趋势。

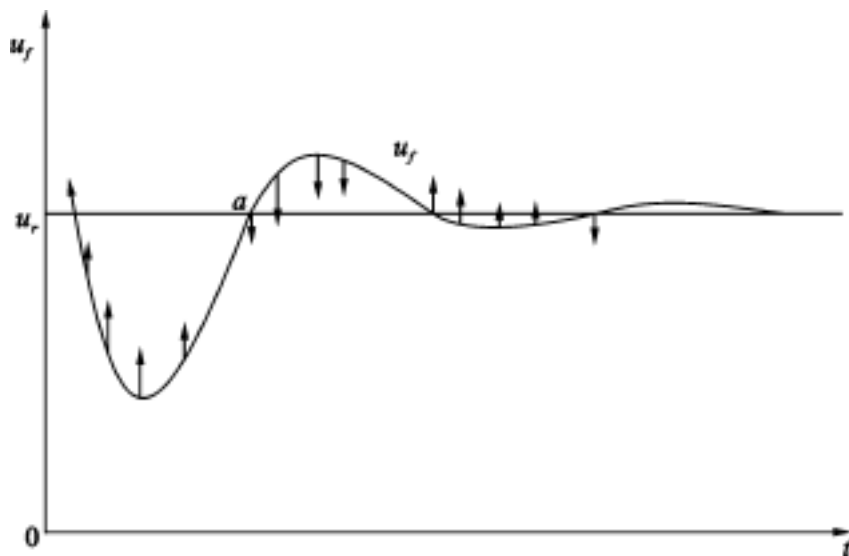
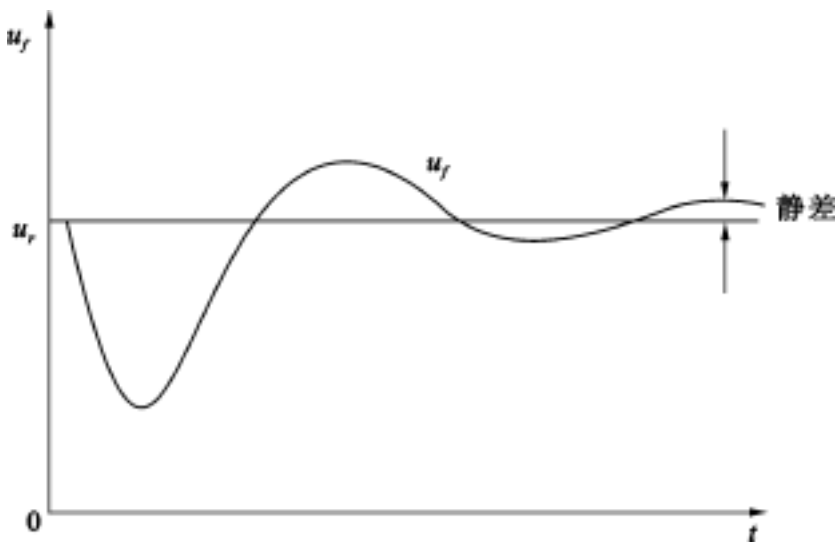


图 4.7 在控制规律中引入微分

假如在图 4.7 中被控量  $u_f$  曲线的点  $a$ , 误差已经是较小的正值, 而误差的导数是负的。这样, 具有比例 + 微分的控制器, 就能够提前使克服误差的控制作用等于零, 甚至为负值, 从而避免了被控量的严重地冲过头(冲过图 4.7 上误差等于零的水平线)。这就加强了自动控制系统的稳定性。所以对有较大惯性和(或)滞后的被控对象, 比例 + 微分的控制器能改善系统在调节过程中的动态特性。

如果自动控制系统是稳定的, 有一个现象很值得重视: 被控制量(系统输出)在扰动出现后能否较精确地回到所要求的给定值。回答若是否定的, 则称这个控制系统是有稳态误差的或简称有差系统(System with Steady-state Error, 图 4.8)。图 4.7 则是图 3.1 炉温无差控制系统的被控量  $u_f$  曲线。

为了消除稳态误差(Steady-state Error), 在控制器中必须引入“积分项”。积分项对误差取关于时间的积分, 随着时间的增加, 积分项会增大。这样, 即便误差很小, 也会随着时间的增加而积分项加大, 它推动控制器的输出增大使稳态误差进一步减小, 直到等于零。因此, 有比例 + 积分的控制器, 可以使系统在稳态时无稳态误差。图 3.1 中执行电动机 M 有积分作用, 所以它能起到无差的作用。图 2.16 中的以离心式调速器对蒸汽机转速实行自动控制, 如果要加大蒸汽机带动的负

图 4.8 有稳态误差的被控量  $u_f$  曲线

荷,即需要更大的蒸汽量,则蒸汽机转速只能保持在一个比原来低的值。所以这个系统是有差的。

工业用的控制器,都具有比例 + 微分 + 积分的三项作用,称为三作用控制器。而且各项作用有相应的系数  $K$ 、 $T_d$  和  $T_i$  可分别加以设置和调整,以保证能调到使自动控制系统具有好的动态品质。如果控制器的输出信号是  $p$ ,则  $p$  与控制器输入(误差)  $e$  之间的函数关系可以用下式表示

$$p = K \left[ e + T_d \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_i} \int e dt \right]$$

在工业的各部门中广泛使用制成工业产品的比例-积分-微分(PID)控制器(调节器),作工业控制之用。在电动控制器中采用电阻(器)、电容和电子放大器组成比例-积分-微分电路,实现 PID 功能。其他气动、液动控制器中采用类似方法。

## 4.4 最优控制

对于一个自动控制系统的设计和构成,自然会提出一定的技术要求(指标),例如系统必须是稳定的;在典型的输入作用下稳态误差要小(或者等于零),调节过程的时间不能太长以及被控变量(系统输出)不

能在调节过程中冲过头(超调, Overshooting)太多等等。如果选用PID 控制器来控制,则控制器的比例、积分和微分前的三个系数可以有很多种组合,都能达到相同的技术要求(指标)。然而在有些自动控制系统中,提出的技术要求就更高了。例如对于经常需要启动、反转的大型电力拖动的卷扬机、轧钢机等而言,希望大型电动机的启动、反转或制动的所需时间愈短愈好(电动机拖动最速控制系统);对于航天飞行器则希望同样的飞行所消耗的燃料愈少愈好(最省燃料的航天器飞行控制系统)。这一类的自动控制系统中对于控制都有一定的技术指标,但与以往不同的是:通过设计控制作用要使这个技术指标达到极值(极大或极小)。这样的控制称为最优控制(Optimal Control),它的控制作用的变化规律是唯一的。工业上应用的例子还有:发酵工业的过程控制中,选择一个被控反应塔(釜)的温度的控制规律和相应的原料配比使发酵化学反应过程的产量最多。

最优控制有开环和闭环两种结构形式。在开环最优控制中控制信号被设计成与被控制系统的状态无关的时间函数(图 4 .9)。在闭环最优控制系统中则把控制信号设计成被控系统状态的函数(图 4 .10)。

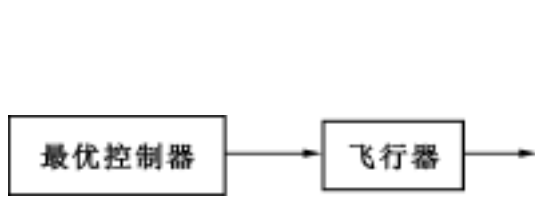


图 4 .9 最省燃料的开环控制

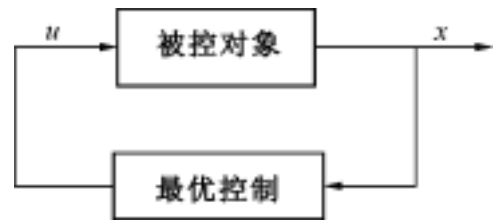


图 4 .10 最优控制器实现线性状态反馈

开环最优控制器的设计要应用 . 庞特里亚金的极大值原理(Maximum Principle)和 R . 贝尔曼的动态规划(Dynamic Programming)等方法。闭环最优控制器的设计要应用 R . 卡尔曼的二次型性能指标的线性状态反馈(Linear State Feedback)律方法(参见第 2 章 2 .3 .4综合自动化时期)。

许多实际的工程系统,其中变量的运动往往受到限制,例如作为控制对象的电动机,其力矩、转速、角加速度都有限制。同时对于被电动机或其他动力装置驱动的物体也有自身的限制。如人处在电梯、矿井



制问题,本小节讨论它的液位控制问题。玻璃炉由两台投料机交替将混合后的定量原料投入熔解池进行熔化,熔化后的玻璃液经过“流液洞”流入工作池,再通过料道口滴入压机(图 4 .12)。压机把定量的玻璃液压成显像管壳。工作池上有探针以测定液位。显然工作池液位是一个重要的参数,影响产品质量和炉子的寿命。投料电动机的振动和投料使液面产生小的波动,因此投料对液面造成较大扰动。控制的任務就是要保持液位的恒定。当液位恒定时,每次滴入压机的玻璃量(玻璃炉负荷)是一定的。而液位由投料来加以控制,但对每次一定量的投料,所能控制的是两次投料的间歇时间。由于液位  $H$  本身有小波动,加上探针上常有玻璃液黏结,以及系统严重的非线性,采用常规的(模拟比例-积分)PI 控制器效果不佳。采用由计算机组成的带有不灵敏区的 PI 控制器,效果也不好。最后采用由计算机组成的自校正控制器来控制投料的间歇。因为控制对象的非线性,对象数学模型会随液位而略有变化。每次控制之前,先要由计算机来辨识液位  $H$  的数学模型,然后由自适应算法可以解出投料的最优间歇时间。图 4 .13 给出在常规(模拟)控制器、带有死区的数字 PID 控制以及自校正控制的效果对比。以自校正控制的效果为最好,液位  $H$  波动达到  $\pm 0.2\text{mm}$  之内。

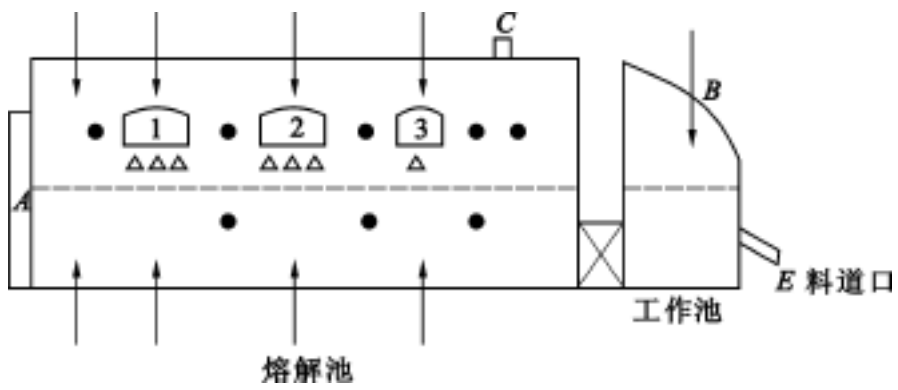


图 4 .12 显像管玻璃炉侧视图

A—投料机; B—玻璃液面探针; —燃油喷枪; 1, 2, 3—进排气通道;  
C—炉压调节阀; · —胸墙和池壁上的测温热电偶; —炉顶和池底的测温热电偶

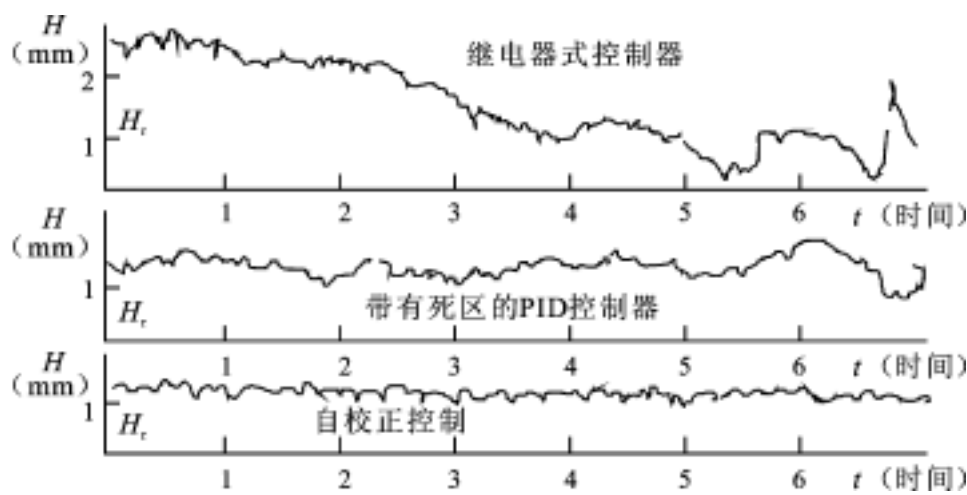


图 4.13 三种控制方式下液位的比较

## 4.6 智能控制

对于许多复杂的被控对象和它的外界环境,难以建立有效的数学模型和采用常规的经典或现代控制理论去进行定量计算和分析、设计。智能控制具有人工智能、控制论和运筹学(Operational Research)等形成交叉学科的特点和定量与定性相结合的分析方法特点。其中人工智能(Artificial Intelligence)是研究人类智能活动的规律,构造具有一定智能行为的人工系统,以实现脑力劳动部分自动化的综合性学科。运筹学是用数学方法研究经济、民政和国防等部门在内外环境的约束条件下合理调配人力、物力、财力等资源,使实际系统有效运行的技术科学。因而,智能控制是运用人工智能的概念和方法,来解被控对象的建模(辨识)和系统的控制、优化等问题,具体说来就是运用神经网络、迭代学习算法、模糊控制以及由知识库、数据库、学习机、推理机组成的智能决策单元(专家系统)来解决上述问题。按照这些思路已经研究出一些智能控制的理论和技术,用以构造适用于不同领域的智能控制系统。以下介绍四种较常用的智能控制系统。

### 4.6.1 专家控制系统

这是由那些解决专门问题非常熟悉的人们(专家)的大量知识和经

验里,建立起来的计算机程序系统,它能进行推理和判断,模拟人类专家的决策过程。现以图 3.4 上自动控制系统为例,来说明基于专家控制器的工业过程专家控制系统。在没有控制器时这是一个人控的手动控制系统。操作人员的眼睛看着反馈环节(传感器)对被控制量的测量指示,大脑里进行着复杂的推理和判断,首先判断瞬时误差的正负和大小,然后识别调节过程的特征,如超调(在调节过程中的调节过头)、振荡次数(调节过程中的)和稳态误差等,再根据以往的控制知识和经验决定:应该施加多大(增加还是减少)的控制器输出至执行机构。由专家系统(Expert System)构成的专家控制器示明在图 4.14 上。虚线框所示为专家控制器代替专家的手动控制。它由特征识别与信息处理部分、推理机(Inference Engine)、知识库(Knowledge Base)和控制规则集组成。

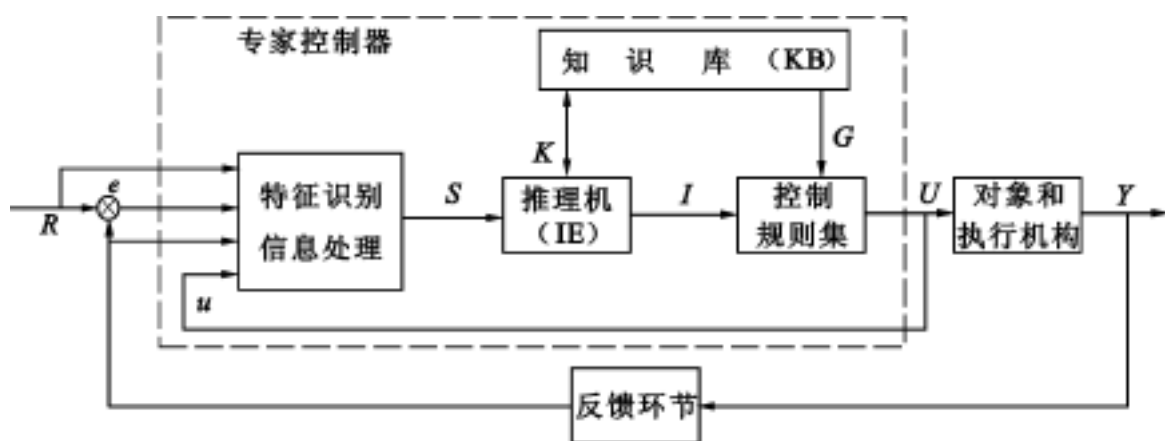


图 4.14 专家控制器的结构

“特征识别与信息处理”部分是对输入作用、扰动作用、误差和输出作用等信息特征的提取和加工,为控制决策和学习、适应提供依据的软件。“知识库”是将知识表示为计算机内部形式并能进行处理的软件。它存放工业过程控制领域的知识,具有补充或自我修改、完善的能力的软件。“控制规则集”是对受控过程的各种控制模式和经验的归纳和总结的软件,实际上就是规则库。“推理机”是用于记忆所采用的规则和控制策略的程序,使整个专家系统能够以逻辑方式协调地工作,进行推理,作出决策的软件。由于规则条数不多,搜索空间很小,推理机就十分简单,采用向前推理的方法。

上述基于专家系统的专家控制器已成功地用于具有强非线性(见本章 4.7 节)和大滞后的工业旋转窑的温度控制等场合,取得了具有远比常规 PID 控制器优越得多的性能。

#### 4.6.2 模糊控制系统

在上文中提到由人控的工业过程手动控制系统。其中操作人员一方面在观察(反馈环节)传感器的读数,它们是用数字表示的。另一方面他根据他的知识和经验在对被控量(输出)的特征进行识别,后者更常常是用语言信息表示的。例如,3.1 节的炉温作为一个语言变量,其温度集  $T$  可为:

$$T(\text{温度}) = \{\text{超高, 很高, 较高, 中等, 较低, 很低, 过低}\}$$

然后进行复杂的推理和判断,它们也是基于语言信息的。例如被控量的误差小,或者被控量在调节过程中上升较快,超调较大,则控制器的微分作用应该是“较大”。上述规则就是模糊控制规则。因而操作人员的知识,大多数是以语言信息来表述的,而且常常是用比较模糊的术语来表示的,如“较快”和“较大”等等。这样表达知识既方便又有效。这种语言表达的控制规则,用于控制就形成了“模糊控制(Fuzzy Control)”。模糊控制和专家系统控制一样,两者都要建立操作人员的经验和决策行为的模型;两者都含有知识库和推理机。所不同的是在模糊控制系统中采用的是模糊知识表示和模糊推理方法。模糊控制的基本结构,如图 4.15 所示。它由模糊化接口、知识库、推理机和模糊判决接口组成。模糊化接口将测量得到的输入变量、输出变量和误差(必要时误差的导数)变换为适当的语言值。知识库由数据库和语言规则库(Rule Base)组成。推理机可以实现拟人的决策过程,根据模糊输入和模糊控制规则,进行模糊推理以获得模糊输出(决策)。模糊判决接口起到根据推理机的模糊输出,产生一个精确的控制作用,加到执行环节和对象上。模糊控制系统的实现有多种方案,不少模糊控制系统有很好的控制效果。模糊控制已广泛用于过程控制(Process Control)、机器人控制等许多场合。

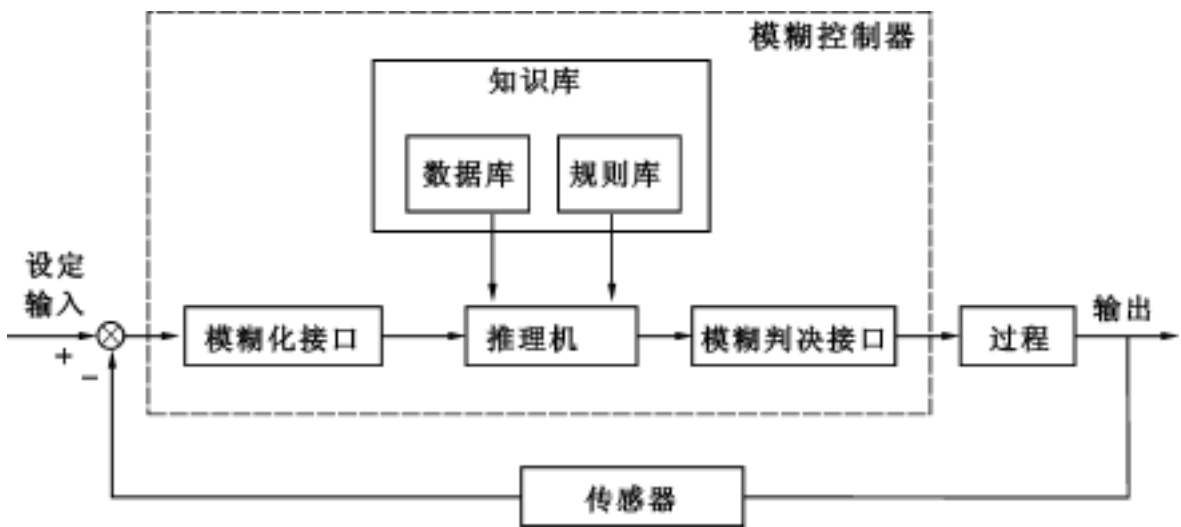


图 4.15 模糊控制的基本结构

4.6.3 神经控制系统

人脑功能向来是科学家们的重要研究内容。脑神经生理学家们发现人脑藉以记忆与思维的最基本单元是神经元,人脑有  $10^{11} \sim 10^{12}$  个,彼此联结着。每个神经元包括细胞体和突起两部分,并在受到刺激后,通过突触向外界(其他神经元)发送生物信息。神经元(Neuron)是一个接收和发送信号的元件。在对人脑的功能研究中有人工神经元这一重要研究方向,并在这个基础上发展成人工神经网络(Artificial Neural Network)。人工神经元由计算机模拟一个生物神经元,如图 4.16 所示。该神经元单元由多个输入  $x_i, i=1,2,\dots,n$  和一个输出  $y$  组成。

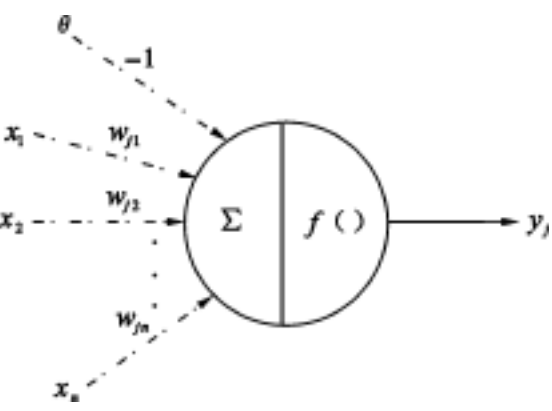


图 4.16 神经元模型

权重  $w_{ji}$  是各个输入信号相应的权重。当输入信号的加权和大于某阈值时,人工神经元就被激发,有输出  $y_j$ 。像生物神经元总是通过突触形成网络一样,人工神经元也联结成人工神经网络,它也可以用计算机来模拟。神经元之间有多种联结方法。图 4.17 所示为常用的一种前馈多层网络。前馈神经网络具有多

层结构,至少为三层,即输入层、隐层和输出层。复杂的前馈神经网络有一个以上的隐层。图中的小圆圈代表神经元。神经元从一层联结到下一层,不存在同层神经元间的联结。人工神经网络对知识的掌握通过加以训练(学习)实现的,训练时根据一定数量的样本,采用反向传输(Backward Propagation)算法。图4.18上部示明反向传输算法的概念。这类人工神经网络称为BP神经网络,在自动控制系统中起重要的作用,已经在神经控制中广泛地应用。

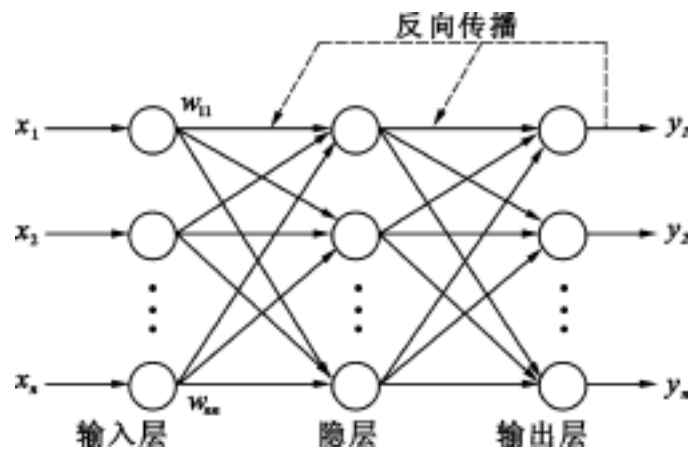


图 4.17 前馈多层网络

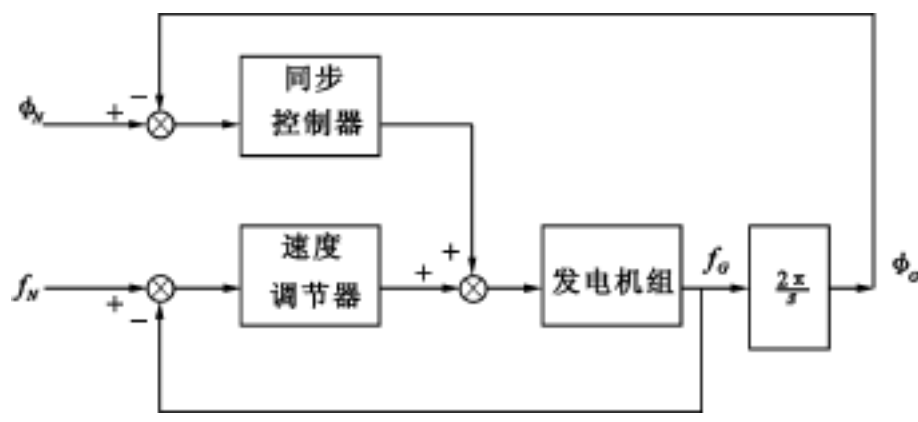


图 4.18 发电机复杂控制系统

单个人工神经元在自动控制系统用作控制器,并不多见,但人工神经网络经过训练后可以起控制器的作用,称为“神经网络控制器”;也可以经训练后成为模型未知的被控对象的神经网络模型,从而形成自适应控制等许多控制结构。图4.18是水轮发电机的复合控制系统,其目

的是要实现水轮发电机的并网运行。图中  $f_N$  和  $\varphi_N$  相应为电网的频率和相位,作为复合控制系统的给定。 $f_G$  和  $\varphi_G$  为发电机的频率和相位。水轮发电机的并网运行的理想条件为:发电机与电网间的电压差  $u=0$ , 频率差  $f=0$  和相位差  $\varphi=0$ 。并网连接时间应尽可能短。图4 .18的复杂控制系统能实现频率跟踪和相位跟踪的复杂控制方案。

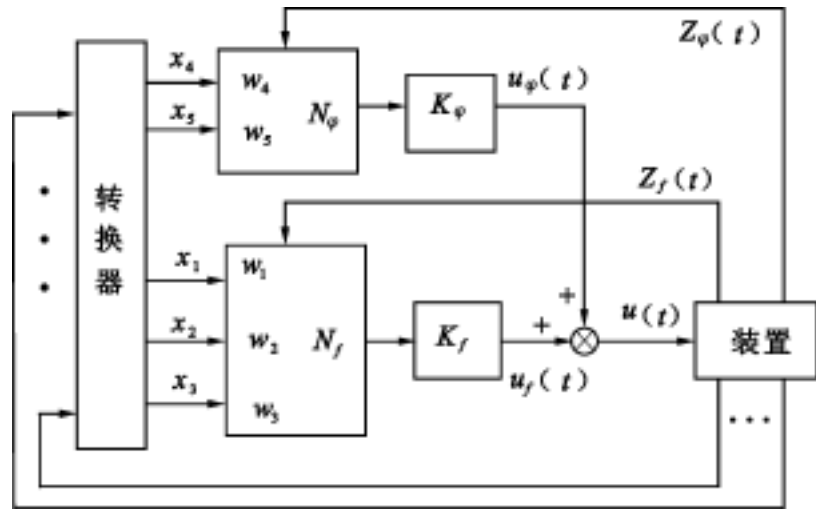


图 4.19 双神经元同步控制系统

图 4.19 则利用两个神经元  $N$  和  $N_f$  实现水轮发电机双神经元同步控制。图中  $K_f > 0$  和  $K > 0$  为神经元的比例系统;  $Z_f(t)$  和  $Z(t)$  为控制的性能指标,即测量  $f$  和  $\varphi$ ;  $x_i$  为神经元输入,  $w_i$  为  $x_i$  的权系数 ( $i=1,2,\dots,5$ )。经训练神经元后,双神经元同步控制系统具有良好的控制效果,可直接用于控制水轮发电机的并网运行。

神经网络可用作辨识器在自校正控制(参看第 4.5 节和图 2.25)中代替常规辨识器以辨识对象的基于神经网络的网络模型来代替其数学模型进行自校正或自适应控制。神经网络还可以和模糊逻辑相结合,形成模糊神经网络,它可以直接用来控制高速列车的驾驶等。在 4.12 节故障诊断中 BP 神经网络用作见故障的诊断和分类。

4.6.4 学习控制

学习控制(Learning Control)是指在控制系统的控制进程中估计某些信息并据以改善控制的一种控制方法,以便逐步改进控制系统的性能。学习系统是自适应系统的发展与延伸,它能够按照运行进程中

的“经验”和“教训”来不断增长知识,改进算法,更广泛地模拟人类的某些行为(如判断、推理等)。

图 4.20 所示为一个由智能决策单元(IDU, Intelligent Decision Unit)控制来修正的 PID 控制器的智能工业控制系统。智能决策单元由数据库(Data Base)、规则库、推理机和学习机(Learning Machine)所组成。首先要将系统的输入、误差(及其导数)和输出(及其导数)以及输出的动态品质(如上升速度、超调、振荡次数和调节时间等)作为过程的特征,输进决策单元的数据库。规则库存放修改 PID 控制器的比例(P)、积分(I)和微分(D)的规则。例如,如果系统输出趋向振荡,则要加大微分系数和(或)减小积分系数等。推理机根据规则库的规则来推理:如何变化控制器的相应 PID 参数。学习机是通过学习来修正控制规则和推理规则的软件。学习机根据新、老 PID 参数的情况来学习,使推理机能更有效地改变控制器参数。

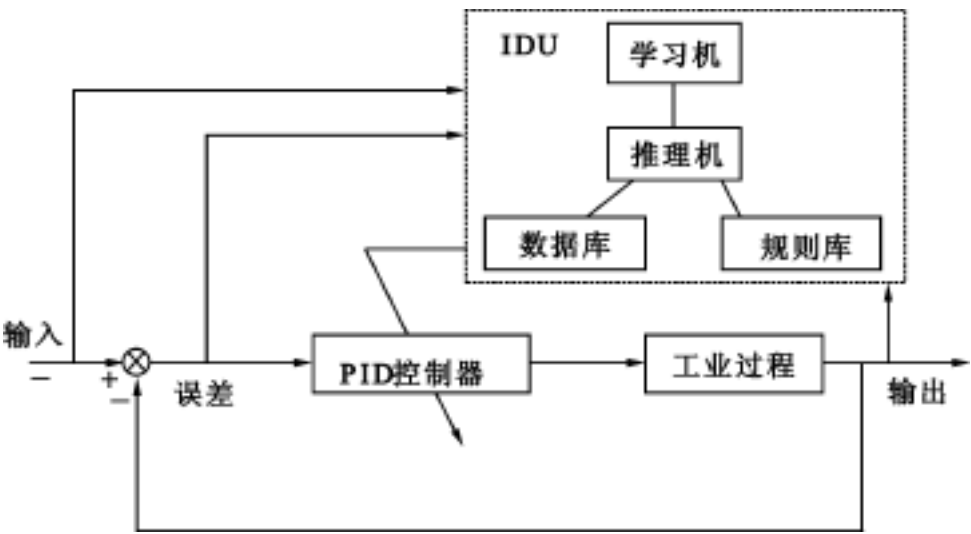


图 4.20 由智能决策单元(IDU)来修正控制器

## 4.7 非线性系统及其控制

非线性系统的分析和综合远比线性系统复杂。对于以二阶微分方程描述的非线性控制系统,相平面法(Phase Plane Method)是一个有效的分析方法。相平面是以  $x(t)$  作横坐标,以  $x(t)$  对时间的导数  $\dot{x}(t)$



作为纵坐标构成的平面。在每一个时间  $t$  以  $x(t)$  和  $\dot{x}(t)$  的值可在相平面上画出一 点,称为相点。相点轨迹的图称为相迹图。对二阶系统这两个变量  $x(t)$  和  $\dot{x}(t)$  构成的相迹图,和系统的时间响应(过渡过程)一样,完全可以充分描述系统的动态过程。图 4.21 为一个二阶线性系统的过渡过程特性  $x(t)$  和对应的  $\dot{x}(t)$  及其相平面的轨迹。图 4.22 是一个二阶非线性系统的相迹图,其中纵坐标  $\dot{x}$ 。图中右半面上有一个稳定的极限环 1(周期性的平衡状态);左半面上有一个稳定的焦点 2(平衡点);一个不稳定的节点 3 和一个鞍点 4——不稳定的平衡点。该非线性系统依赖其初始条件  $x(t)$  和  $\dot{x}(t)$  (初始相点)的不同,可运动到图 4.22 上的各个对应部分,因而可能不稳定(运动发散)、稳定(运动收敛到稳定焦点)或者有极限环(运动收敛到极限环上)。图 4.23 为一个非线性系统的广义相空间的三维相迹图,该系统产生的混沌现象,它貌似无规律,实际仍有一定的条理性。它是以洛伦茨(Lorenz)非线性模型计算出的相迹,宛如颤动中的一对蝴蝶翅膀。在过程控制系统、人的心电图、脑电波中都有混沌波形被发现。

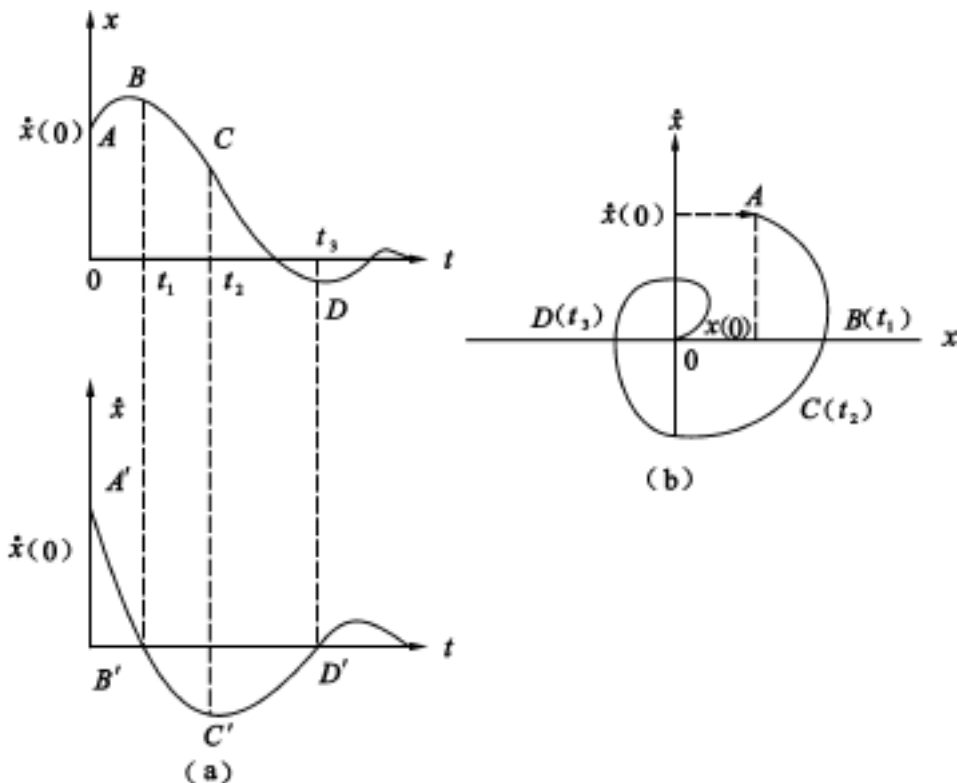


图 4.21 二阶线性系统的时间响应和对应的相平面图

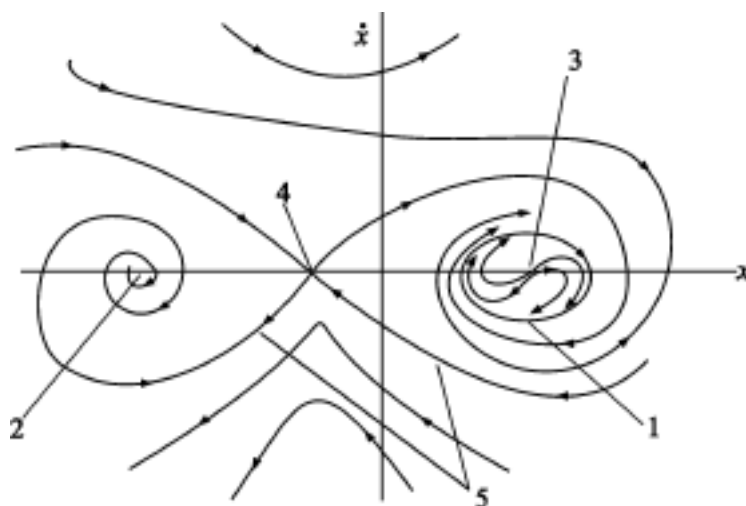


图 4.22 非线性系统的相迹图

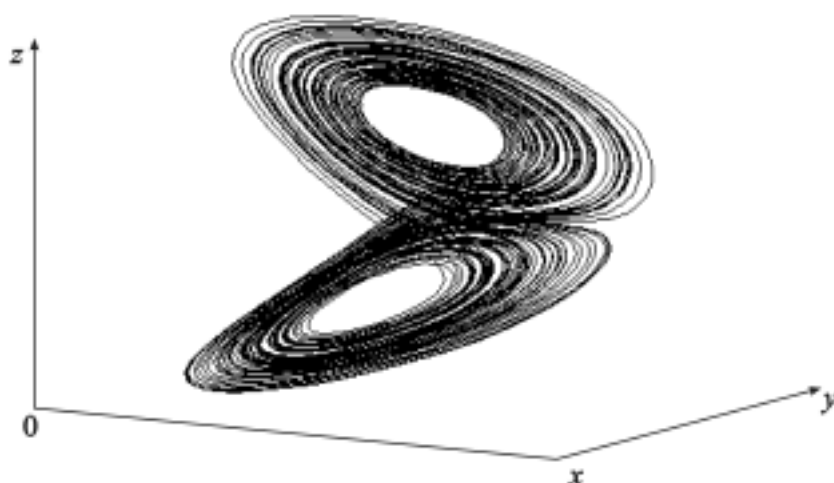


图 4.23 非线性系统的混沌现象相迹图

图 3.1 中所示的炉温自动调节系统,如采用极化继电器带动直流电动机,并简化成一个二阶系统,则它的相迹图示明在图 4.24 上。相平面由误差  $e(t)$  和  $\dot{e}(t)$  构成,图中  $y = u(t)$ ,  $x = \dot{u}(t)$ , 纵坐标两旁斜线, 间为不灵敏区。这是一个含三叶的相迹图。例如,从初始点  $A_1 (t=0)$  开始在左叶作曲线运动到  $A_2$ , 再经过中叶直线运动到  $A_3$ , 然后在右叶再作曲线运动经  $A_4$  到  $A_5$ , 再经过不灵敏区到  $A_6, \dots$ , 最后控制系统运动到不灵敏区  $m_1 - m_2$  间的  $a$  点停止。这说明控制系统是稳定的,并是一个有差系统。图中不灵敏区间  $m_1 - m_2$  就是图 4.23 中极化继电器的不灵敏区。一个稳定的具有极化继电器的自动控制系统

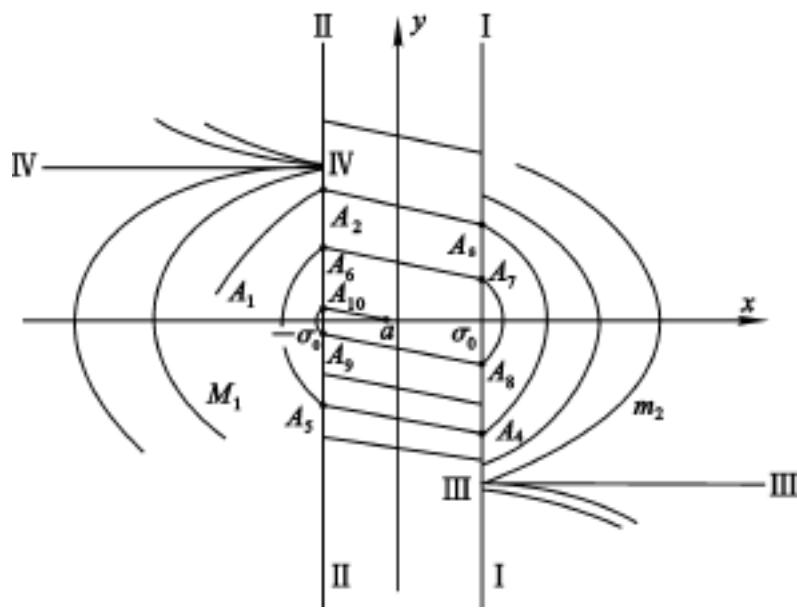


图 4 24 具有不灵敏区的继电器非线性系统的相迹图

统,最终一定停留(静止)在这个不灵敏区上。在图 4 24 中,任取一点作初始点,从相迹图上可以大致知道系统的运动规律。因而,相平面(相空间)法(Phase Plane Method)是研究非线性控制系统的一个重要工具。

## 4 .8 优化控制

优化控制(Optimizing Control)一般用于大系统、工业过程(如化工反应器、反应塔等)的控制,特别是大型工业过程的控制。这里“过程”是指一类被控工业对象(参阅第 5 章第 5 .3 节),其中工业过程各子过程的 PID 控制器用来决定工业过程的工况,即决定过程运行的一些重要被控参数值,如被控过程的温度、压力、流量、液位(物位)、成分、物性等等。各控制器的比例、微分、积分值都已设置得使控制系统能稳定和良好地工作,包括有最优调节过程。而工况各重要被控参数的值,是由各个相应控制器的设定值按工艺规程要求所决定的。

要求的工况在设计时所规定的条件情况(如原料成分和触媒剂活性等)下工业过程能给出一个最高,或接近最高的生产效果(如化学反应速度最快和生成物最多)。这类工业过程总是进行着连续生产,长期

地处于某种稳态工况下运行。从产品生产的角度来看,这种工况称为稳态工况,是影响生产效益的决定因素。工业过程稳态优化控制的目的是为了克服环境变化、各种原材料和触媒剂成分变化等因素形成的慢扰动,使工业过程经常运行于最优工况之下,以达到增加产量、减少消耗、提高产品质量的目的。换言之,稳态优化控制就是要在各种慢扰动作用下,在工业过程的工况偏离最优点时,寻找甚至搜索这个最优工况点,并通过改变子过程控制器的设定值将大工业过程重新置于最优工况点。

工业过程的稳态优化或最优工况,需要用—个目标函数(Objective Function)来定量表征。它可以是对利润、产量、能源使用效率等取极大值,或者是对能耗、原料消耗等取极小值。最优工况点的寻找或搜索在数学上是一个求解最优化(Optimization)问题,它是在一定条件下进行的,这种条件称作“约束”(Constraint)。这个最优化问题在数学上是一个静态优化问题,即将工业大系统在稳态时的行为表征量,以与时间无关的代数方程式(过程的稳态数学模型)或不等式表示。这就相应地是等式约束或不等式约束。最优工况的求解是在计算机上用搜索法来进行的。找到最优化的解以后就按此解来变动各过程控制器的设定值。

由此可见,优化控制与第4章第4.4节的“最优控制”不同。后者经常是将自动控制系统的控制器设计成,使它的与动态调节过程有关的品质指标为极值。而本节的优化控制是稳态优化控制,是在工业过程的上述五大参数已经用各自的控制器控制在要求工况,甚至设置成最优控制以后,如何使控制器的设定点优化,使整个工业过程的稳态处在最优工况下运行,即使一个生产指标或技术经济指标为极值。

在上海华东理工大学等单位协助下,四川化工总厂开发合成氨过程的计算机在线稳态优化控制。合成氨过程的生产可分为六个车间(子系统)如图4.25所示。由于石油等原料价格不断上涨,所以以节约能源为总目标函数。过程的工况由众多的控制器所决定,但受到原料成分变动、触媒剂老化等的影响而偏离最优点。在过程众多的工况变量中研制者选择6个为最重要的工况点,它们是“一段炉温度”、“一段

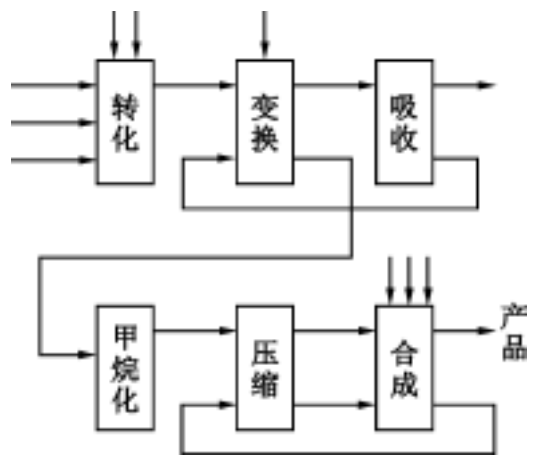


图 4 25 合成氨过程的分解和主要控制器的设定

烟气氧含量”、“转化水碳比”、“合成氢氮比”、“合成气的惰性气含量”和“合成弛放量”。相应地这 6 个控制器的设定点作为在计算机上搜索最优工况的决策变量(图 4 25 上有关子系统方框上的 6 个箭头)。根据基于机理的数学模型(约束),实施计算机在线优化控制的结果表明,可以降低能源消耗,提高经济效益,每年可超过 50 万元人民币(按 1987 年价格计算)。

沧州化肥厂主要产品是尿素,但装置严重老化,操作工况严重偏离设计值,经验因素在生产操作中占重要地位,故建立基于机理的数学模型很困难。在上述基础上研制出采用人工神经网络来为尿素部分建模和优化控制。后者以氨耗最低、能耗最小为目标函数。实施计算机在线优化控制的结果表明,年新增经济效益达数百万元(按 1994 年价格计算)。

城市大型交通控制网络是优化控制的另一典型实例。国际大都市的空气污染主要来源于汽车的尾气排放。而在汽车停车交叉等待通行的绿信时,这种有毒尾气排放尤其严重。据国外统计资料报道,站立交叉口指挥交通的警察其患肺癌的概率要比一般城市居民显著增高。此外,城市交通拥挤会造成燃料消耗高、生产或休息的时间减少,频繁的停车、起步会造成车辆的额外磨损。我国国内百万人以上的大城市每年由交通拥塞造成的直接间接经济损失约计 1600 亿元,相当于国内生产总值的 3.2%。

大型交通控制网络每个交叉口是网络的一个小的交通控制系统(子系统)。一般采用基于定时器的定时开环自动控制。如用计算机进行交通控制,就是要根据交叉口纵、横的车流量,包括正在通行和正在排队等候的车队,来操作指挥信号灯的紅、绿信号(长度)比来对交叉口纵、横的车流量进行闭环自动控制。这比一般采用定时器的定时开环自动控制(定比例)的方法要合理得多,也减少了污染。至于车流排队

等候的长度,可以在近交叉口处安装超声波测量装置等地面装置来进行测量。这时往往采用在排队等候的车辆数最小作为系统优化的目标函数。

对一个大都市而言,还须进一步调整两个相邻交叉口(子系统)的交通控制指挥信号灯的“相位”。即要做到当绿色信号开始时穿过交叉口的车队以正常速度到达相邻交叉口(下一子系统)时,那里的信号灯也是开始给出绿色信号,不再需要等候。在上海等地的最主要大街都有采用这种控制的报道,同时对大都市而言,应该要求其繁华地区的所有各交叉口在排队等候的车辆数的总和为最小作为大型交通控制网络优化的目标函数。

多出、入口匝道的高速公路自身也可进行优化控制。其优化目标函数可以是拥挤时间的车辆流通量最大,或非拥挤时间的车辆最快速通过。为此,大城市交通控制系统,应该将受交叉口信号灯控制的繁华地区交通控制系统与城市高速公路交通系统(如上海的内环高架快速)结合在一起,通过出入口匝道的排队来控制后者,并依靠动态路由导航来指引和疏导。此时上述整个大城市交通控制系统要进行集成的优化控制。图 4.26 为日本一城市环城高速公路(左)及市区交通(右)控制中心,大型显示屏上的右半图为左半图白色公路环绕的市区的放大图。我国大都市北京、上海、广州等都有类似的控制中心。



图 4.26 环城高速公路(左)及市区交通(右)控制中心(日本)

## 4.9 产品质量控制

在工业生产中,传统的自动控制系统中被控制量就是产品的质量。例如对公共供电电压,应自动控制在 220V,这就是电压的质量指标。然而供电电压还有其他的质量指标,如频率和波形。轧钢机钢板材的厚度自动控制系统中,被控制量是钢板厚度,也就是钢板的质量指标。然而,以多辊热连轧机板材生产线为例,质量指标除了钢板材厚度外还有板材的金属物理性能,如断裂延伸率、抗拉强度、屈强比及冲击功等。而后者是由板材的材料试验所在薄板材卷取精整后采样测定的。

而在大型工业过程控制系统中,情况就要复杂得多,蒸馏塔的被控制量是塔顶温度、塔顶压力、中段回流温度、塔底液面温度、各侧线温度等。而各侧线的产品就是蒸馏塔的产品,各侧线产品的质量就是蒸馏塔的质量。如一线产品汽油的干点、闪点等等。这些产品的质量是上述诸被控制量的函数。此时产品质量的精确控制是颇为不易的。长期以来,人们采用由化验室人工分析来测定各侧线产品的质量指标。根据此指标再来修正有关被控制量的控制器设定值。由于人工化验是定时进行,并且化验本身也需要时间,所以对产品质量的控制难免不能很及时。注意,此时各被控制量,如塔顶温度等,是由控制器实现闭环自动控制的,但对于产品质量而言,这是通过修正有关被控制量的控制器设定值人工进行控制。虽然,有特制的质量仪表能在线对某个质量指标进行测量,并能将质量指标信息反馈至控制系统中用来修正有关的被控制量,以维持产品质量。但这是一个有大滞后的质量自动控制环路,有这样环路的自动控制系统往往不易处理,且价格非常昂贵。近几年来,人们开始采用各类神经网络经过被控制量和一个产品质量指标(由化验室人工测定)的许多数据对进行训练(学习),形成产品质量模型(Product Quality Model),然后可用来对该质量指标进行预测,其预测精度可达到只差几个百分点。这称为软测量技术(Soft Sensing)。甚至可以利用这种产品质量模型来实现在线对有关被控制量的修正。这称为产品质量控制(Product Quality Control)。

### 4.9.1 工业过程的产品质量模型

以下以生产镍的闪速熔炼过程为例,详细阐述产品质量模型和质量控制。闪速熔炼技术是一种新型强化冶炼技术。镍闪速熔炼炉由以下几部分组成: 反应塔; 沉淀池;

渣贫化区; 上升烟道。闪速熔炼工艺过程的示意图示明在图 4.27 上。日处理精矿在 1 200 ~ 1 400 t。熔炼过程是将经过选矿处理的干燥后镍精矿、熔剂与烟尘、重油、富氧鼓风一起从反应塔顶部的四个精矿喷嘴喷入塔内,借精矿中硫、铁等元素的氧化反应热和重油

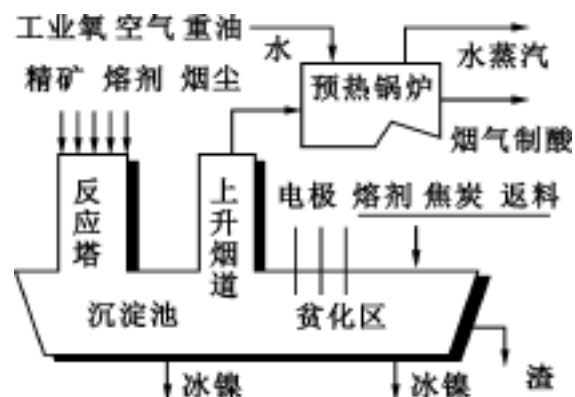


图 4.27 镍闪速炉的工艺流程

燃烧热,在塔内形成约 1 550 的高温炉气,使入炉物料在瞬间完成熔炼过程的冶金化学氧化反应,形成冰镍、炉渣落入沉淀池,含有  $\text{SO}_2$  的烟气由烟道排出。熔剂用于在渣与冰镍分离后,控制渣排除时的流动性,使弃渣能够顺利地排出。在贫化区,通过电极和加入添加剂使渣中有价值的金属进一步还原,最后排出弃渣;产品冰镍从炉子底侧部流出。通过对闪速炉工艺过程的分析,可以看到,闪速熔炼是非常复杂的冶炼过程,其中伴有强烈的氧化和还原反应,物相的变化,能量的转换。从控制的角度看,该过程属于典型的多输入多输出非线性系统,伴有大滞后、强耦合、分布式参数和明显的不确定性。

镍闪速熔炼炉和其他工业过程或大工业过程一样,在负荷(原料)不变的稳态工况下连续生产。由于工业过程的非线性,稳态质量模型依赖于特定负荷。冶炼厂镍闪速炉在负荷精矿量不变的稳态工况下,从产品质量模型的角度来看,关键输入变量为:氧单耗、熔剂量、重油量及空气单耗,各量都由各自控制器加以设定;确定其关键输出变量为三个质量指标:冰镍品位、冰镍温度及渣中铁硅比。选取三个 BP 神经网络经过输入变量和质量指标的许多数据对进行训练(学习),得出镍闪速炉的三个稳态冰镍子质量模型。此外,还选取一个 BP 神经网络经



过输入变量和冰镍产量的许多数据对进行训练(学习),得出镍闪速炉的在线稳态冰镍产量模型。其中三个质量指标和一个产量是由离线理化分析仪器、在线湿料计量秤和 X 射线荧光分析仪等分析、计量后得到,每班进行一次。扰动变量(精矿成分、烟尘等)暂未作为神经网络的输入变量。为了缩短训练时间,采用三个 BP 神经网络来替代一个能得出三个质量指标的 BP 神经网络。今将其中以冰镍品位为指标的冰镍质量模型和冰镍产量模型的拟合效果分别示明在图 4.28 和图 4.29 上。在图中横坐标表示镍闪速炉的时间运行序列(班次),实线表示实际运行曲线,虚线表示神经网络学习(拟合)曲线。从学习曲线看,BP 神经网络能够较好地逼近实际运行曲线。

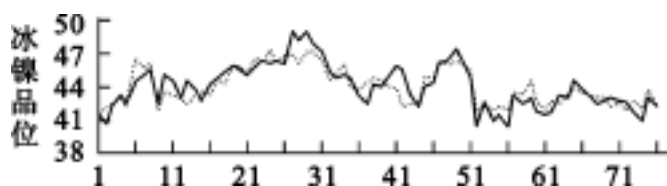


图 4.28 冰镍品位的学习曲线

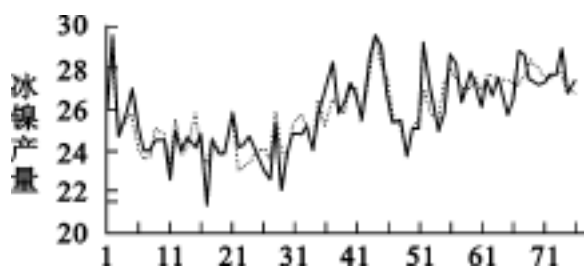


图 4.29 冰镍产量的学习曲线

基于上述冰镍质量模型和产量模型,可对镍闪速炉实施稳态优化控制。以能耗最低为目标函数,以冰镍质量和产量(通过相应的神经网络)为约束,在计算机上用搜索法进行优化控制求解。这 and 第 4.8 节介绍的合成氨工业过程和尿素工业过程过去不以质量为约束的稳态优化控制,有所不同。这时可求出最优工况所对应的控制器设定值,它能满足各约束,即产品质量是保证的,以及产量是不低于要求值而能耗是最低的。实例研究表明,上述基于产品质量模型和产量模型的优化控制,能为工厂节约能耗计值 500 ~ 700 余万元/年。

### 4.9.2 工业生产线的产品稳态质量模型

质量模型可推广应用于工业生产线,这是与(大)工业过程完全不同的场合。现代化钢铁企业生产的一个特点是多道工序,以多辊热连铸连轧机板材生产线为例,它由板坯加热炉、粗轧机、精轧机、卷取机和精整机组组成,每步都对最终产品(板材)的质量有影响(图4.30)。根据理论分析和实际操作经验,经过模型抽象和变量筛选,应用“数据库知识发现”(数据挖掘,参见第4.13节)技术,将整个生产线抽象为一个具有32个关键输入变量和3个关键输出变量(产品质量指标)的非线性函数关系。这32个关键输入变量中包括23个化学元素变量和9个其他类型变量,如加热炉出口温度、板材厚度等;3个质量指标是板材的金属物理性能,如断裂延伸率、抗拉强度及屈服比。从大量现场收集到的数据中,选取8600对进行训练和测试由BP神经网络组成的板材三个质量模型,每个质量模型的输出是一个质量指标。图4.31所示为以断裂延伸率为质量指标的连铸连轧生产线板材质量模型。其输入变量有32个,输出变量为1个。因而,BP神经网络具有32个神经元的输入层、60个神经元的隐层和1个神经元的输出层。这样的板材质量模型可以帮助多辊热连铸连轧机板材生产线的新产品和新工艺设计。例如,对图4.31板材质量模型,可以尝试略减少几种贵金属钛(Ti)、锰(Mn)的含量,而保持断裂延伸率不变。

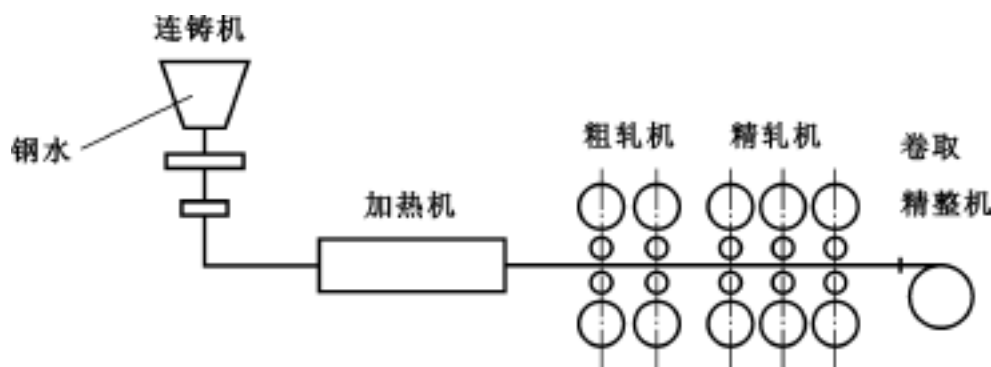


图 4.30 连铸连轧机板材生产线示意图

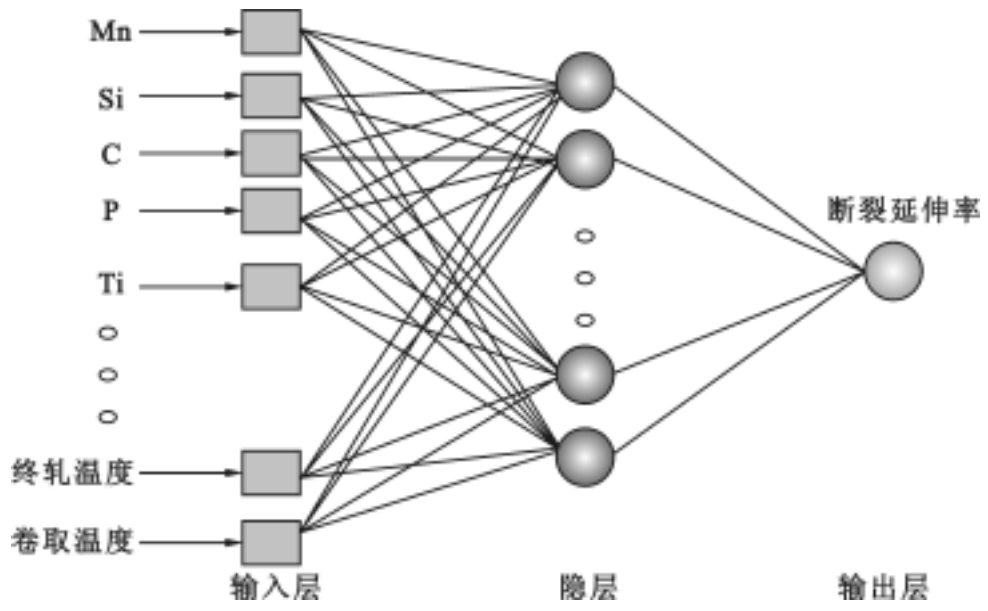


图 4 31 连铸连轧生产线板材质量模型

## 4 .10 系统辨识

第 2 章第 2 .3 4 .1 节提到,只有被控对象的数学模型已经精确知道,才能采用经典控制理论的一些分析和设计方法,以及现代控制理论的状态空间法和最优调节器的设计方法。因此求取被控对象的数学模型的理论和技术的就显得非常重要。

系统辨识是根据系统输入、输出数据为系统建立数学模型的理论和方法。它与系统建模或系统模型化不同,后者采用基于系统机理的建模方法。因此,系统辨识定义为:辨识就是在输入和输出数据的基础上由规定的一类模型中确定一个模型,使之与被辨识系统等价。这里所说的规定的一类模型是指连续时间模型或离散时间模型、输入输出模型或状态空间模型、线性模型和非线性模型等等中的一类。

系统辨识包括两个方面:结构辨识和参数估计。但辨识的基础是输入、输出数据,而数据来源于系统的实验和观测。因此,辨识归根到底是从数据中提取有关系统的信息的过程。为此,系统辨识的实验要精心设计。一般,人们都有一些有关系统的先验知识并明确建立模型

的目的。例如人们总可以了解统辖系统的基本定律(牛顿定律,基尔霍夫定律,物质守恒定律等),这可以用来确定模型结构,至少可以在模型结构选择上有重要的作用。在知道被辨识系统的结构包括方程的阶次之后模型中一些参数是未知的,基于输入输出数据按一定算法确定模型的这些参数值的步骤就是参数估计。参数的值必须选择成,使在同样的输入数据之下模型的输出与系统的输出(数据)尽量接近。所用的算法应保证这一点。

模型的适用性验证,是检查所建立的模型能否达到辨识的目的。可利用先验知识检验或利用数据检验。系统辨识的各步骤间的关系,可示明在图 4.32 上。

辨识技术已经推广到工程和非工程的许多领域,如化学化工过程、核反应堆、电力系统、航空航天飞行器、生物医学系统、社会经济系统、人口系统、环境系统、生态系统等。自适应控制系统是辨识与控制相结合的一个范例,也是辨识在控制系统中的一个应用。

针对不同的研究需要和选定的模型类别可采用不同的结构(阶次)辨识和参数估计方法。

而相关分析-最小二乘两步法(Two-step Method)是一种常用的有效辨识方法。

系统的数学模型可以有多种表示方法。人们将模型分成两大类:非参数模型(Non-parametric Model)和参数模型(Parametric Model)。前者包括脉冲响应和频率响应,后者包括微分方程、差分方程(Difference Equation)和状态方程等。脉冲响应(Impulse Response)是系统在脉冲型输入下系统的响应。这种脉冲型输入类似于在实际工业系统中有短暂时间的极大的输入(或扰动),如飞剪的剪切钢棍和飞机遇到阵风暴。相关分析法就是利用系统输入、输出数据来辨识系统的脉冲响应的一种相关方法。

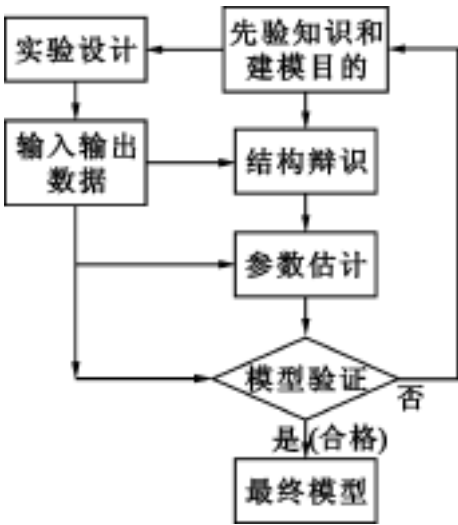


图 4.32 系统辨识的一般步骤

实验设计中,首先,所选择的输入信号必须能对系统进行充分的激励,即能激发起系统固有的从低频到高频的所有频率响应(Frequency Response)。工业上都采用二位式伪随机信号作为对系统的测试信号——输入信号。它是一个连续时间不等间隔的周期性方波信号(图 4.33)。它的周期  $N=15$ ,  $\Delta$  为时续脉冲的宽度。序列信号的幅值不是  $a$  就是  $-a$ , 故称二位式。它的变动表面上似乎是随机的,实际上有一定规律,故称伪随机信号(Pseudo-random Signal)或伪随机过程。这种时间序列是由移位寄存器按一定的规律产生的。

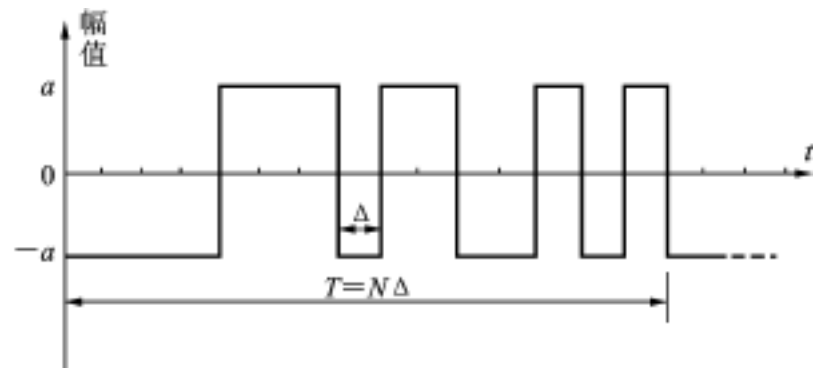


图 4.33 伪随机二位式时间序列

按照随机过程的理论,随机过程有它的自相关函数(Autocorrelation Function)  $R(\tau)$ ,用来描述随机过程上相距  $\tau$  两时刻的值的积的平均值,也即自相关的程度。图 4.33 上的伪随机信号,其自相关函数  $R(\tau)$  是一个底为  $2\Delta$ 、高为  $a^2$  的三角型脉冲——近似的理想脉冲。

其次,辨识系统脉冲响应的相关分析法,就是采用伪随机二位式时间序列作为对系统的输入信号,在其自相关函数已知时,测量系统的在该信号激励下的系统输出并设法求得输入输出间的互相关函数(Cross Correlation Function)  $R_{uy^*}(\tau)$ ,然后代入维纳-何甫方程(Weiner-Hopf Equation)求解出系统的脉冲响应  $h(t)$ ,而最终  $h(t) = R_{uy^*}(t)$ 。

图 4.34 为一个加热原料的加热炉示意图。图 4.35 上  $u(t) + u_0$  为燃料调节阀门上的操作压力,  $y^*(t)$  为从记录仪表得到的炉膛温度。今用相关分析法来辨识从燃料阀门压力到炉膛温度的数学模型。根据研究需要和先验知识,确定以线性差分方程模型作为规定的一类模型。实际上,燃料阀门上的操作压力有两部分:  $u_0$  是常值部分,表示加热炉

在正常稳态温度时所需的燃料阀门上的操作压力； $u(t)$ 是为辨识而附加的、图 4.33 上的伪随机二位式时间序列信号，其中  $T = 4\text{min}$ ， $N = 15$ ， $a = 0.03\text{kg/cm}^2$ ， $y^*(t)$  的单位为  $^{\circ}\text{C}$ （图 4.35）。通过实验测定得到  $y^*(t)$  的记录三个周期的数据，如图 4.36 的下部分。图中上部分还画出相应的波形。三个周期的记录曲线并不完全重复，这是因为在生产条件下存在随机干扰。由于  $w$  的存在，计算出来的系统的脉冲响应曲线（图 4.37 上的小黑点）有一个相应的常值分量应予删除。这对辨识系统的动态模型并无影响。根据系统的脉冲响应可以采用，在每个横坐标点累加已知响应（左侧）的所有纵坐标的办法，得到系统的阶跃响应（Step Response）曲线。这是因为输入的脉冲信号其积分就是阶跃信号；而线性系统输出的脉冲响应其积分就是阶跃响应。根据这个阶跃响应，再用恰当的辨识方法来确定线性差分方程模型的阶数，以及采用最小二乘参数估计方法来确定线性差分方程模型的各系数。这完成相关分析-最小二乘两步法的第二步。即最后又从系统的非参数模型——脉冲响应，通过辨识和参数估计得出系统的参数模型——差分方程模型。

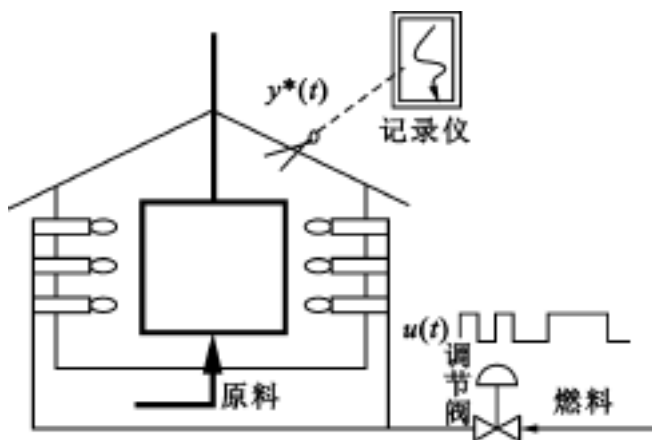


图 4.34 加热炉的辨识试验

系统辨识是现代控制理论的一个重要分支，发展很迅速。其重要研究内容有：多变量系统的辨识、有滞后的系统的辨识、连续时间系统的辨识、随机多变量系统的辨识以及非线性系统的辨识等。

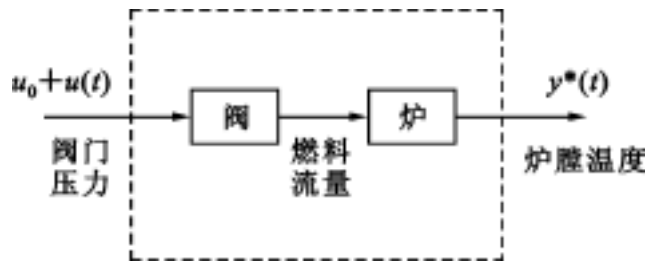


图 4 35 加热炉的辨识试验框图

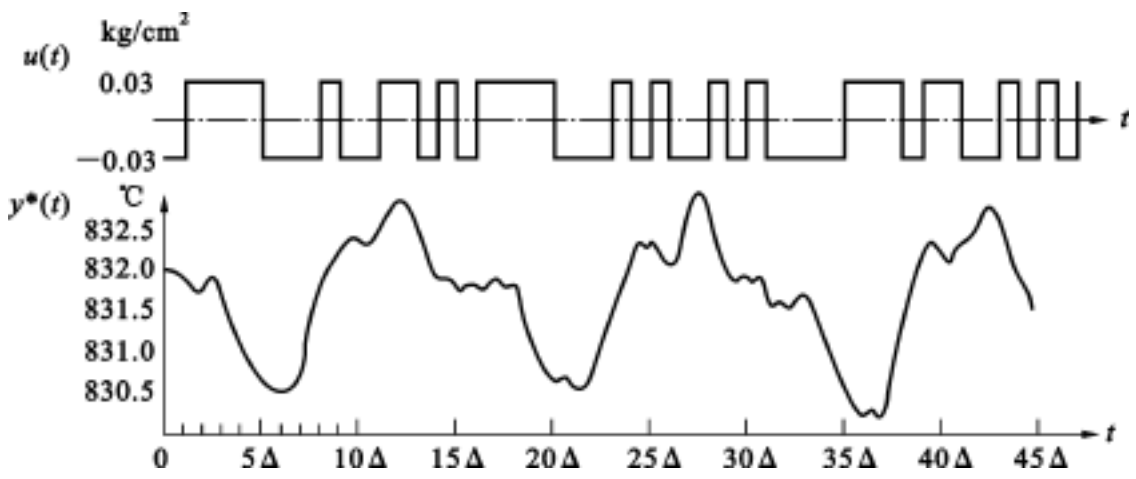


图 4 36 辨识的得出系统脉冲响应

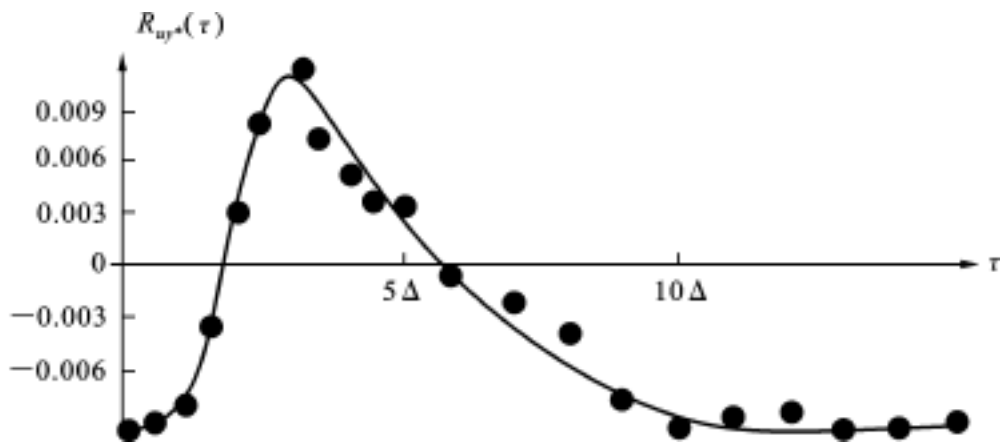


图 4 37 输入伪随机信号  $u(t)$  与输出响应  $y^*(t)$

## 4 .11 故障诊断

随着科学技术的发展,人类建造的系统越来越复杂。由于这些复杂系统举足轻重的地位,人们对其安全性和可靠性提出了前所未有的苛刻要求,特别体现在航空、航天、航海、核能以及连续化、流程化运行的领域。其中,现代化的系统常常包含内部相互联接的成千上万元器件或子系统,系统的局部故障往往会导致整个系统的瘫痪,从而造成人类财产、生命的巨大损失,甚至会破坏人类赖以生存的环境。前苏联“切尔诺贝利”核电站泄漏事故以及美国“挑战者”号航天飞机的机毁人亡事故充分说明了这一点。因此,为保证系统高效、安全地运行,及时检测和诊断出控制系统和运行设备的故障,就显得非常重要。通过20多年的实践和探索,逐渐形成自动控制领域的一个新分支——故障检测与诊断(Fault Detection and Diagnosis,简称FDD),简称故障诊断。故障诊断是一涉及多个门类的边缘学科,如现代控制理论、可靠性理论、数理统计、信号处理、模式识别、人工智能、计算机及网络技术等,并与工业对象的过程和工艺紧密结合。

故障可理解为系统中至少有一个重要变量或特性偏离了正常范围。故障检测与诊断系统的一般结构如图4.38所示。

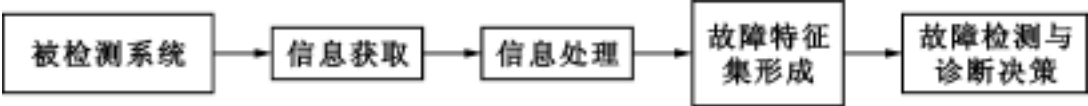


图 4.38 故障检测与诊断系统的一般结构

故障诊断的方法可分为三大类:基于解析模型的方法、基于信号处理的方法和基于人工智能的方法。现分述如下:

### (1) 基于解析模型的故障诊断方法

通过将被诊断系统的可测信息和与系统模型的正常信息进行比较,从而产生残差,再对残差进行分析和处理而实现的故障诊断方法。

### (2) 基于信号处理的故障诊断方法

被诊断系统的输出信号在正常工作条件下,都有典型的时域、频域



及统计特征。当系统的这些特征发生一定偏离时,则表明系统发生了故障。因而此类方法是由系统的特征反推系统状态(或故障)的方法,是(1)的反问题。

(3) 基于人工智能的故障诊断方法

随着人工智能技术的发展,人工神经网络、模糊推理、模式识别、专家系统和故障树等方法被应用到故障诊断领域,在系统的建模、推理、分类和决策等方面起到一定的作用。

由于实际被诊断系统的复杂性和各种诊断方法所固有的局限性,指望一种故障诊断方法就完全解决实际系统的诊断问题几乎是不可能的。这就需要研究如何把多种方法有机地结合起来进行综合诊断。

在实际应用中,故障诊断大多用(2)来实施,即从系统特征反推系统的状态。例如旋转机械常见机械故障的振动特征,从有关专业诊断资料中可以查到,如表 4 .1 所示。

表 4 .1 旋转机械故障振动特征举例

故障状态	特征频率	常伴频率	振动稳定性	振动方向	相位特征	轴心轨迹	轴心进动方向
转子不平衡	1 倍频		稳定	径向	稳定	椭圆	正进动
转子不对中	2 倍频	1、3 倍频	稳定	径向、轴向	较稳定	香蕉型	正进动
转子弯曲	1 倍频	2 倍频	稳定	径向、轴向	稳定	椭圆	正进动

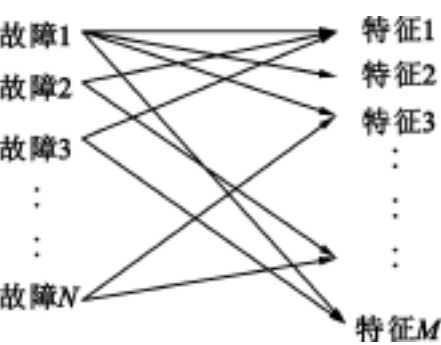


图 4 39 故障和故障特征  
的对应关系

其他的常见故障如“ 转子碰摩 ”、“ 地脚螺栓松动 ”等也都可列出上述类似故障振动特征。表中倍频是指转子的旋转频率,如3 000r / min则倍频是 50 Hz。如果将已知的故障模式一一列举,就可发现故障和故障特征往往不存在一一对应的关系,而呈现模糊性和不确定性,如图4 39所示。即实际情况中,一个故障对应多个特征,而一个特征对应多个故障,或者不同的故障其特征却差不多,而且这些对应关系也不很严格,与机器的

紧固、润滑、工况、安装质量等诸多因素有关,行业中甚至有“ 一个机器一

个样”的说法。如果存在严格的对应关系,像数学条件那样严密,则理想精准的专家诊断系统早就应该诞生了,因此故障特征的模糊性也是故障难以明确分类的重要原因。近年来在故障诊断领域,利用人工神经网络进行模式(状态)的分类是一种常用的手段。

分类和识别问题是神经网络(参见第 4 .6 .3 节)的一大应用领域,对于复杂的系统,当人们尚未来得及完全认识它时,在尚不了解它的故障模式时,或者其故障根本不可能用规则或函数来描绘时,手中却可能掌握着不少实际数据,此时应用神经网络无疑是非常好的选择。

人工神经网络不包含任何规则,它是通过样本训练网络中的权重值,最后达到某一稳定状态,类似于人类的形象思维。通过大量训练的神经网络,从具体示例达到一般化(泛化能力),使之能解决那些具体示例以外的输入数据的结果。由此可见,神经网络方法具有高度的自适应性、很强的自学习能力和容错性。

这里以大型旋转机械为例,说明应用神经网络进行故障分类的过程。

信号取自转子轴瓦同一截面相互垂直的两个位移传感器,用来测量转子的振动,获得时间域的振动波形曲线,再对其进行频域分析及相关的信号处理,得到信号的一系列谱特征。

人们可以把频谱上的频率、相位特征作为诊断用的特征指标,也可用各频段上的能量比例作为诊断用的特征指标。

为了得到理想的故障分类,必须利用各种有效的分析方法、已有大量的诊断知识和各次历史故障案例对应的特征数据资料。以离心式压缩机组为例,对三种最常见故障的特征数据资料进行统计,可以列出各种故障和对应的 8 个特征参数的关系(表 4 .2)。

表 4 .2 转子常见故障和特征参数(频段能量比例)的关系

谱特征 故障模式	0 ~ 1/ 4 倍频	1/ 4 ~ 3/ 4 倍频	3/ 4 ~ 1 倍频	1 倍频	2 倍频	3 倍频	高次 偶频	高次 奇频
不平衡	0	0	0	0 .9	0 .1	0	0	0
油膜涡动	0	0 .6	0	0 .3	0 .1	0	0	0
不对中	0	0	0	0 .6	0 .4	0	0	0

使用第 4 章第 4 .6 .2 节中的 BP 神经网络,设计成输入层有 8 个节点(神经元),对应 8 个特征参数(频段能量比例);输出层有 3 个节点,对应 3 种常见故障状态;隐层取 8 个节点。表 4 .3 是经过 1 200 次迭代后的神经网络诊断效果。

表 4 .3 经 1 200 次训练后神经网络的诊断效果

诊断结果 检验样本			
	不平衡	油膜涡动	不对中
不平衡	0 .94	0 .00	0 .06
油膜涡动	0 .00	0 .96	0 .04
不对中	0 .16	0 .04	0 .90

表 4 .3 的第 1 行表示,当输入一组‘ 不平衡 ’故障时,得出该故障的置信度为 0 .94,而其他故障几乎为 0;第 2 行表示,当输入一组‘ 油膜涡动 ’故障时,得出该故障的置信度为 0 .96,而其他故障几乎为 0;第 3 行表示,当输入一组‘ 不对中 ’故障时得出该故障的置信度为 0 .90,而其他故障接近为 0。如训练次数更多,则所得的神经网络能提供更高置信度的、同一诊断结论。这里,置信度表示所检验样本是这种故障的可信程度。

4 .12 网络化控制系统

前文所介绍的自动控制系统,都采取封闭式结构,即图 3 .4 上各个环节处于与外界隔离的状态。第 3 章第 3 .7 节提到对人造卫星的控制,或者对火星探测小车的控制是以射频波束通过空间进行的。但在通信网络迅猛发展的今天,出现了控制回路通过实时网络闭环而成的反馈控制系统,称为网络化控制系统(Networked Control Systems),或网络环境下的控制系统。而控制系统的各个环节(传感器、控制器、执行器等)之间的数据不是传统的点对点式地传输,而是通过网络来传输的,所以是开放式结构(图 4 .40)。这导致在通信网络区域内实现现场设备的分布化和网络化,加强现场控制与上层管理的联系(图 4 .41)。这使信息资源共享、连接线大大减少、易于扩展和维护。

这里所谓网络包括现场总线系统(参见第 5.3.2 节)、企业信息网、工业以太网(Ethernet)和互联网(Internet)。

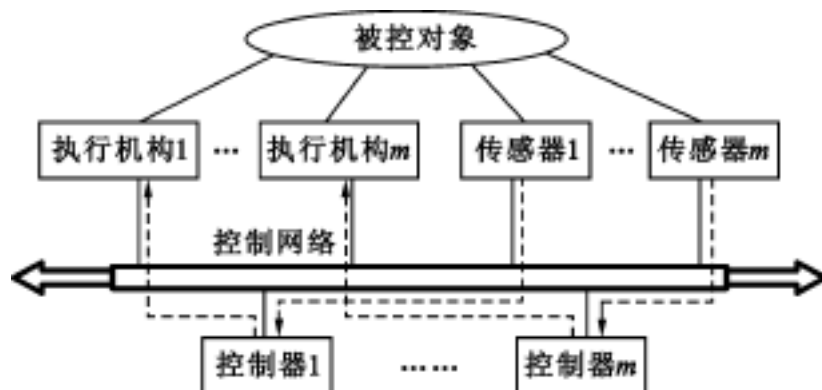


图 4.40 典型网络化控制系统设置和信息流向

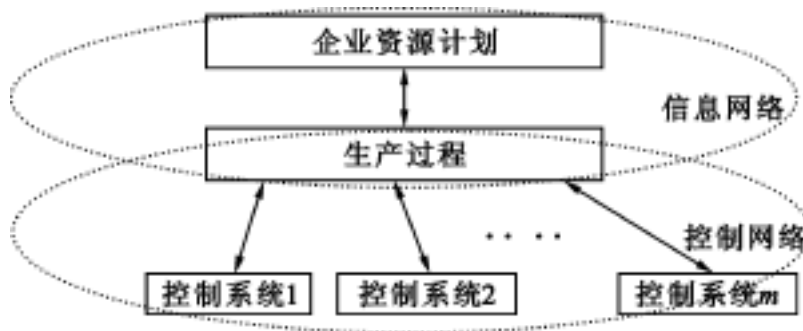


图 4.41 工业企业网络集成

网络技术赋予自动化新的内涵,使自动化超越了时、空和地域的限制。网络化控制系统可以广泛用于自动化的制造工厂、发电厂、机器人、高级航天飞行器和电气化运输工具的控制。使用网络化控制系统的原因是在于它的价格低,易于维护,且可靠性强。然而,它对控制理论还有些新的要求。

网络化控制系统是控制技术和网络通信技术的融合,因而对它的分析设计也常常从网络和控制两个角度来进行。

(1) 从网络的角度设计一种通信协议,来减小网络滞后、数据丢失等这些问题对控制系统的影响。滞后主要来自数据在网络上的传输时间和控制器的运算时间;

(2) 从控制的角度,就是将现有的网络结构、协议当作既定条件,在此基础上设计控制系统的结构、控制算法等来补偿或减少网络滞后、数据丢失等问题对控制系统的不良影响。

网络化控制系统已经在我国开始实际使用。其中利用工业以太网和企业信息网或现场总线的网络化控制系统还使用较多。2003 年有报道:桂林橡胶机械厂开发了轮胎硫化网络化控制系统——GRM Link 计算机工业网络化控制系统。它有三个类型:以太网控制系统、工业现场总线控制系统和以太网多机控制系统。它们采用网络技术和控制技术(PID 控制器、可编程序控制器等技术),在上位机可监控生产状态、生产参数和记录参数变化曲线,以及更改控制器的参数,上位计算机可直接和企业局域网连接形成管理级。该计算机工业网络控制系统可大大提高轮胎产品质量,降低废、次品率,降低生产成本,减少停机时间。目前已在贵州轮胎股份公司投入使用。

基于互联网的机器人控制是目前研究得较多的、典型的网络化远距离控制系统。如美国华盛顿大学圣路易斯分校的美籍华裔教授谈自忠和他的学生经过互联网对 1600km 外的一个机器人进行实时远距离控制和监视。他们用小操纵棒指挥机器人绕过障碍并拾起物件,再将它安置在要求位置,用视频监视器为操纵者提供被控机器人的行为图像。由此可见这个基于互联网的网络化控制系统发送的控制命令(被控机器人的给定)经过互联网传输到机器人,而被控机器人的相应行为并没有经互联网反馈,而是经机器人自身形成闭环。视频监视器只起监视机器人的相应行为的作用。图 4.42 是基于互联网机器人控制系统的常用结构。控制端采用一台个人计算机(Personal Computer, PC),被控端采用分布式结构。用一台专门计算机完成基于 Web 的英特网信息服务,而图像采集与存储、机器人控制由另外两台计算机完成。Web 服务器、图像服务器、机器人服务器之间采用包交换技术进行数据通信。

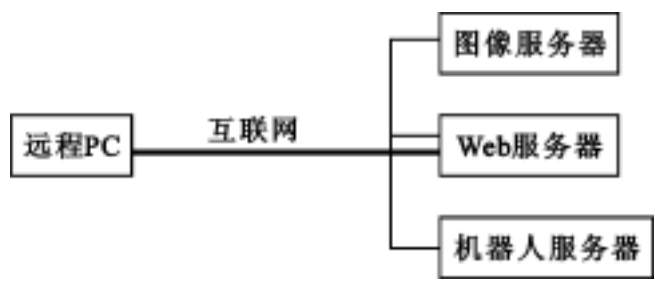


图 4.42 基于互联网机器人控制系统结构

基于互联网的控制系统为互联网打开新的用途和前景,使得传统上仅用于通信的网络可以用来传递“力”。同时基于互联网的机器人控制系统允许人们在很远的地方监视和指导机器人作业,从而在作业过程中融入人的智慧,这大大扩展机器人的应用领域,应用前景是十分广阔的。如危险环境中的作业、远程制造、培训和娱乐等。基于互联网的机器人远距离控制还有一些新的重要的技术问题需要进一步解决:

(1) 不确定的大滞后问题。互联网的链路上有大量的网络节点,网络上有数量巨大的使用者,因此,命令从操纵者发出,到机器人收到命令,中间必须经过好多节点,必然存在大的不确定传输滞后;

(2) 数据包丢失问题。节点的数据包传输负载过大或链路上非正常的连接中断,都会导致数据包丢失;

(3) 状态预测。由于命令传输大滞后的存在,机器人收到命令时,其状态已经改变,需要对这种变化进行预测。

上述这些难点问题的研究解决,对推广和实际应用基于互联网的控制系统有极重要意义。

## 4.13 控制、信息与系统

### 4.13.1 控制论、信息论与系统论

自动控制系统由如第3章第3.4节所述的各环节、部件组成,或按开环的控制原理工作;或按反馈控制、扰动(前馈)补偿或复合控制的闭环的控制原理工作。反馈控制是一种最基本的控制原理(方式),要求根据误差信息通过一定的控制算法形成控制信息(见第1章第1.3节(6)控制)。所以在自动控制系统中有着信息的测量(提取)、处理(加工和变换)和信息的传输、存储及利用,形成控制作用。从上叙述中可以看出系统、信息和控制的关系。例如第4章第4.3节的比例+微分+积分控制就是一种控制算法;而第3章第3.6节的对误差信息的采样及模/数转换器、数/模转换器等就是对信息的处理,以计算机程序来实现PID控制规律就是另一种控制算法。特别是第4.12节所讨论的

网络化控制系统将网络通信(信息在网络上的传输)技术和控制技术融合在一起,形成新型控制系统,而通信网络成为其中的一部分。



美国数学家、控制论专家 N.维纳(图 4.43),和一批神经生理学家、医学家、神经解剖学家和人类学家们一起发现,反馈控制在生命有机体中普遍存在。如在动物体内有心跳、血压、体温等自动调节系统,动物的运动也由自动控制系统加以统辖。而这个反馈控制在人类的社会经济系统中也能广泛应用。在这个基础上,在 20 世纪 30 ~ 40 年代自动控制理论、技术和应用迅猛发展的基础上,如第 2 章第 2.3.3.1 节所述,

图 4.43 N 维纳(1894 ~ 1964) 述,公元 1945 年,N.维纳把反馈的概念推广到生物等一切控制系统,他抓住了通信和控制系统的共同特点——信息处理,并与生物的控制机构进行类比。1948 年他出版了名著《控制论》一书,为控制论奠定了基础,1961 年出版了第二版。书的全名是《控制论,或关于在动物和机器中控制与通信的科学》。在第 5 章第 5.8 节的生物控制和第 5.10 节的社会经济控制中对控制在这两方面的应用作了简明的阐述。

信息的定义在第 1 章第 1.3 节已经阐明。C.香农创始的《信息论》,是研究信息传输和信息处理系统中一般规律的学科。核心问题是信息传输的有效性和可靠性以及两者间的关系。信息科学和技术对于通信自动化系统和远距离控制系统特别重要。

自动控制系统是动态系统的一个代表,“系统”的定义已在第 1 章第 1.3 节中阐明。“系统”本身是“系统科学”(System Science)这个科学技术部门的研究和应用的对象。其中直接用于改造客观的工程方法和技术,称为系统工程(Systems Engineering)(参见第 5 章)。而其中用于揭示系统普遍性质和一般规律的基础科学,称为“系统论”(Systematology)。“系统论”、“信息论”和“控制论”一起俗称三论,是与“控

制科学与工程”学科密切相关并是它的理论基础。因此,自动化科学与技术是一门综合而年轻的学科,同信息处理、网络与数据通信、计算机应用等科学与技术密切相关,具有广阔的应用和发展前景。

#### 4.13.2 信息时代与信息化

目前世界正处于信息时代,又称信息丰富、信息爆炸的时代。这是知识成为生产力的时代。人们运用自己大脑中的知识进行工作,他们采集信息并加工信息以产生新的信息。例如设计人员根据工程或用户需要设计出新的控制部件或系统的产品,新产品的设计图纸也是信息加工后的产物。

信息时代的特征之一是:大量使用计算机采集、加工和处理信息;特征之二是:大量开发和建立管理信息系统、决策支持系统;特征之三是:运用信息进行工作,并将信息加工成产品或服务的工作者,远远超过其他工作者。这里管理信息系统(Management Information systems,简称 MIS)是指,基于计算机、能向管理者提供信息,支持有效的决策和每日业务的反馈的信息处理系统。而决策支持系统(Decision Support Systems,简称 DSS)是指,基于计算机、能帮助决策者利用数据(信息)和模型来解决结构不确定和结构半确定的决策问题的交互式信息处理系统。

信息化起源于计算机化(数字化)和网络化,进而是智能化和知识化。例如,企业的信息化是指生产经营的自动化、电子化,管理决策的智能化,商务贸易的无纸化、网络化。所以,信息化包含信息产业蓬勃发展、信息基础设施普遍建设及信息技术广泛应用等三个相关的大方面。在美国,知识与信息工作所创造的价值已占美国国民生产总值的75%,从事这类工作的劳动力约占70%。

2002年江泽民在中共十六大的大会报告指出:“优先发展信息产业,在经济和社会领域广泛应用信息技术”。“信息化是我国加快实现工业化和现代化的必然选择。坚持以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,……”。

信息化是当今世界经济和社会发展的趋势,信息化水平已成为



一个国家综合实力的标志。自动化是信息工业与传统工业的接口,是信息化带动工业化的重要手段。

在企业信息化的基础上企业生成、收集、存储和处理数据的能力大大提高,数据量与日俱增。在 20 世纪 90 年代,人们企图对数据库中的隐含知识进行发现、挖掘,即“数据库知识发现”(Knowledge Discovery in Databases,简称 KDD)又称“数据挖掘”(Data Mining)技术进行研究。人们迫切希望能从堆积如山的数据中找出真正有价值的“知识”,为管理、技术决策支持服务。“数据库知识发现”技术是从大量数据中提取出可信的、新颖的、有效的、具有潜在价值的并能被人理解的模式。或者说,“数据库知识发现”的基本含义是,综合利用统计学方法、模式识别技术、人工智能方法、人工神经网络技术,以及相关信息技术等,对各行各业大量的生产数据、管理数据和经营数据等进行组织、处理、分析、综合和解释,以期从这些数据中挖掘出能揭示客观规律、反映内在联系和预测发展趋势的知识,提供技术决策与经营决策的依据,使企业在激烈的市场竞争中,能立于不败之地。例如,中国的公安部门也在研究利用“数据库知识发现”技术总结各类案件的共性和发生规律,从而在宏观上制定最有效的社会治安综合治理的方案和措施;在微观上指出犯罪人的特点,划定罪犯的范围,为侦破工作提供方向。上海宝山钢铁公司等一批信息化搞得好从而已积累大量数据的工厂、企业也正积极开展“数据库知识发现”技术的应用研究。

### 思 考 题

- 4.1 试说明自动控制系统中发生的控制过程是一个动态过程。
- 4.2 试描述自动控制系统中发生的不稳定现象及其原因。
- 4.3 扰动的补偿方法,是否形成一个闭环控制?
- 4.4 试比较反馈控制和扰动补偿两种方法,分析各自的优、缺点。
- 4.5 比例-积分-微分控制器中比例项在自动控制系统中起什么作用?
- 4.6 比例-积分-微分控制器中微分项在自动控制系统中起什么作用?
- 4.7 比例-积分-微分控制器中积分项在自动控制系统中起什么作用?
- 4.8 试述最优控制的概念与一般控制概念的异同。
- 4.9 什么是最快速的控制系统?

4 .10 自校正控制适用于何种场合？

4 .11 试述四种智能控制方式：专家控制系统、模糊控制系统、神经控制系统和学习控制系统，它们各自的特点。

4 .12 何谓非线性控制系统？研究非线性控制系统有何重要性？

4 .13 相平面和相迹图是什么？有什么用处？

4 .14 优化控制与最优控制有何区别？

4 .15 产品质量控制有什么优点？

4 .16 试述“系统辨识”的重要性。

4 .17 “故障诊断”这一研究方向的意义。

4 .18 试述网络化控制系统与一般控制系统的异同。

4 .19 控制、信息和系统三者存在什么关系？

4 .20 何谓信息时代？试以自己的体会说明。

## 5 控制与自动化技术的应用范畴

### 5.1 引言

控制与自动化是不断发展的高、新科学技术,对人类生产、生活和科学研究有着非常重要的影响。控制与自动化技术发展至今,可以说是已从“人类手脚的延伸”扩展到“人类大脑的延伸”。控制与自动化技术时时在为人类“谋”福利,可谓无所不在、无处没有。

控制与自动化技术正在迅速地渗入家庭生活中。比如全自动洗衣机,不用人动手就能把衣服洗得干干净净。电脑控制的微波炉,不但能按时自动进行烹调,做出美味可口的饭菜,而且安全节电。电脑控制的电冰箱,不但能自动控温,保持食物鲜美,而且能告诉食物存储的数量和时间,还能为烹饪美味佳肴提供建议。还有空调机能提供温暖如春的环境,清扫机器人能打扫房间等。

在工厂,人们使用各种自动化装置或系统,如机器人、自动化小车、数控机床、柔性生产线和计算机集成制造系统等,完成产品的加工、装配、包装、运输、存储等工作。在钢铁、石油、化工、农业、渔业和畜牧业等生产和管理过程中,人们用自动化仪表和自动化装置来控制生产参数,实现生产设备、生产过程和管理过程的自动化。

在办公室,人们广泛地引入微型电脑及信息网络、文字处理机、电子传真机、专用交换机、多功能复印机和秘书机器人等技术和设备,不断实现办公自动化。利用自动化的办公设备,可自动完成文件的起草、翻译、修改、审核、分发、归档等工作,并利用信息高速公路、多媒体等技术进一步提高信息加工与传递的效率,实现办公的全面自动化。办公自动化的主要目标是企业管理自动化。

在交通运输中采用自动化设备,实现交通工具自动化及管理自动

化,包括车辆运输管理、海上及空中交通管理、城市交通控制、客票预订及出售等。在医疗保健事业及图书馆、商业服务行业中,在农作物种植、养殖业生产过程中,都可以实现自动化管理及自动化生产。

在生态、环境和社会等复杂系统中,控制科学和技术为人类开辟了崭新的研究途径,为决策和管理的科学化提供了可能。在现代的和未来的战场上,飞机、舰艇、战车、火炮、导弹、军用卫星以及后勤保障、军事指挥等,更是时时处处离不开控制与自动化技术。

以下将对控制与自动化技术在几个典型领域的应用作进一步介绍,从而帮助读者对本专业的应用范畴有更深入、全面的了解。

## 5 2 机械制造自动化

机械制造是现代工业重要的组成部分,对国民经济建设有非常巨大的影响。机械制造自动化技术从 20 世纪 50 年代至今,经历了单机自动化、刚性生产线、数控机床、加工中心和柔性生产线、柔性制造三个阶段,正向计算机集成制造(CIM)发展。微电子技术的引入,数控机床的问世以及计算机的普及使用,促进了机械制造自动化向更深层次、更广泛的工艺领域发展。

### 5.2.1 数控技术和数控系统

随着科学技术和生产的不断发展,社会对各种产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求。产品加工工艺过程的自动化是实现高质量、高效率最重要的措施之一。现在许多生产企业,如汽车、农业机械、家用电器等生产厂家,都已经大部分采用了自动机床、组合机床和自动生产线。这对保证产品质量、提高生产效率和减轻操作者的劳动强度起到了很好的作用。

但是,在产品加工中,大批量生产的零件并不很多。据统计,单件与小批量生产的零件约占机械加工总量的 80% 以上。对这些多品种、加工批量小、零件形状复杂、精度要求高的零件的加工,采用专业化程度很高的自动机床和自动生产线就显得很不合适。因为在市场经济的

大潮中,产品的竞争日趋激烈,为在竞争中求得生存与发展,各企业纷纷在提高产品技术档次、增加产品品种、缩短试制与生产周期和提高产品质量上下功夫。即使是批量较大的产品,也不可能是多年一成不变,必须经常开发新产品,频繁地更新换代。这种情况使不易变化的“刚性”自动化生产线在现代市场经济中暴露出致命的弱点。

已有的各类仿形自动加工设备在过去的生产中部分地解决了小批量、复杂零件的加工。但在更换零件时,必须重新制造模具并调整设备;不但要耗费大量的手工劳动,延长了生产准备周期,而且由于模具加工误差的影响,零件的加工精度很难达到较高的要求。

为了解决上述这些问题,一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产技术——数字控制(简称数控)技术在这种情况下应运而生。

简单地说,数控技术是一门以数字的形式实现控制的技术。传统的数控系统,亦即 NC (Numerical Control)系统的核心——数字控制装置,是由各种逻辑元件、记忆元件组成的随机逻辑电路,是采用固定接线的硬件结构,它是由硬件来实现数控功能的。这类数控系统称之为硬件数控。随着半导体技术、计算机技术的发展,微处理器和微型计算机功能增强、价格下降,数字控制装置已经发展成为计算机数字控制(Computer Numerical Control)装置,称 CNC 装置。这是一种采用存储程序的专用计算机,它由软件来实现部分或全部数控功能。

计算机数字控制系统是由程序、输入输出设备、计算机数字控制装置、可编程序控制器(PC)、主轴驱动装置和进给驱动装置等组成,如图 5.1 所示。

数控技术是美国从数控机床的研制开始的。几十年来,数控装置和数控机床经历了研究、试制(1948 ~ 1955 年)、在工业上应用(1956 ~ 1959 年)和高速度发展(1960 年到现在)三个发展阶段。实践证明,数控装置和数控机床在提高生产效率,节省人力,提高加工精度,降低加工费用等方面都具有很大的优越性。特别是数控机床减少工夹模具,缩短新产品试制周期,有利于加速新产品的试制。

数控技术在近年来获得了极为迅速的发展,它不仅在机械加工中

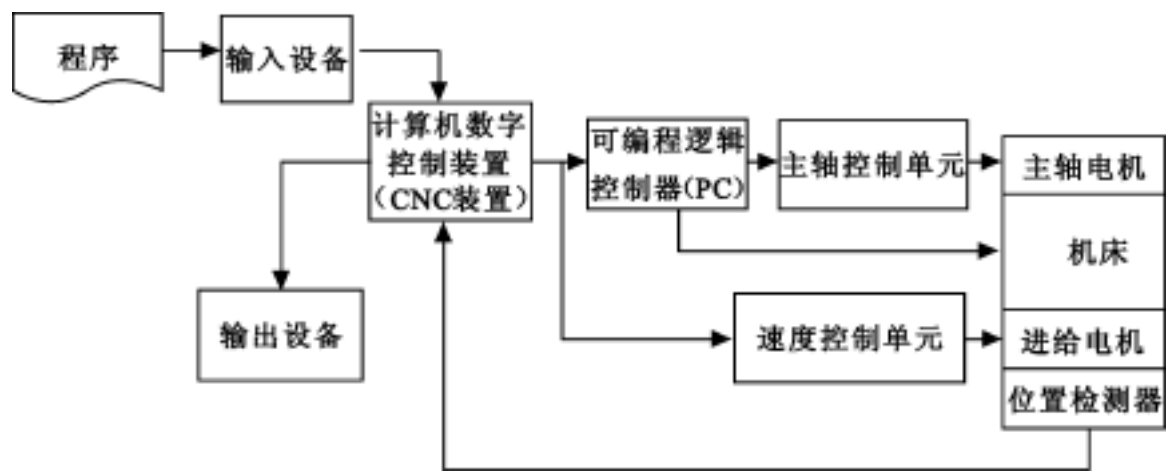


图 5 .1 计算机数控系统结构图

越来越普遍得到应用,而且在其他设备中也广泛应用。例如,数控精密火焰切割机和电火花切割机、数控肋骨冷弯机、数控弯扳机、数控检查机、数控弯管机、数控压力机、数控绘图机、数控线切割机、数控绕线机、数控电焊机、数控坐标测量机等。特别是高效自动化机床,是机床自动化方面一个新的、重要发展方向。它是随着微电子技术和计算机技术的发展而产生的,并综合地应用了自动控制、精密测量、机床结构设计和工艺等各个技术领域里的最新技术成就而发展起来的一种既具有广泛的通用性,又具有很高的自动化程度的新型机床。数字控制机床的出现,标志着机床工业进入了一个新的发展阶段,也是当前工业自动化的主要发展方向之一。

5 .2 .2 柔性制造系统(FMS)

柔性制造系统(Flexible Manufacturing Systems,简称 FMS)是在计算机直接数控(DNC)基础上发展起来的一种高度自动化加工形式。它是由统一的控制系统和输送系统连接起来的一组加工设备,包括数控机床、材料和工具自动运输设备、产品零件自动传输设备、自动检测和试验设备等,不仅能进行自动化生产,而且还能在一定范围内完成不同工件的加工任务。柔性制造系统由加工系统(多台制造设备)、物流系统(设备间自动传输材料、工具和产品零件)、中央管理系统(执行整个系统的生产计划与作业调度、集中监控以及加工程序管理等工作)组成。

柔性制造系统一般包括以下要素：

- (1) 标准的数控机床或制造单元(制造单元是指具有自动上下料功能或具有多个工位的加工型及装配型的数控机床)；
- (2) 在机床和装卡工位之间运送零件和刀具的传送系统；
- (3) 发布指令,协调机床、工件和刀具传送装置的监控系统；
- (4) 中央刀具库及其管理系统；
- (5) 自动化仓库及其管理系统。

在目前柔性制造系统发展的过程中,它的组合方案是多种多样的。简单一点的小型柔性制造系统,只具备前三个要素;复杂一点的柔性制造系统,除具备上述五个要素外,还需要一些附加设备。柔性制造系统的结构图如图 5.2 所示。

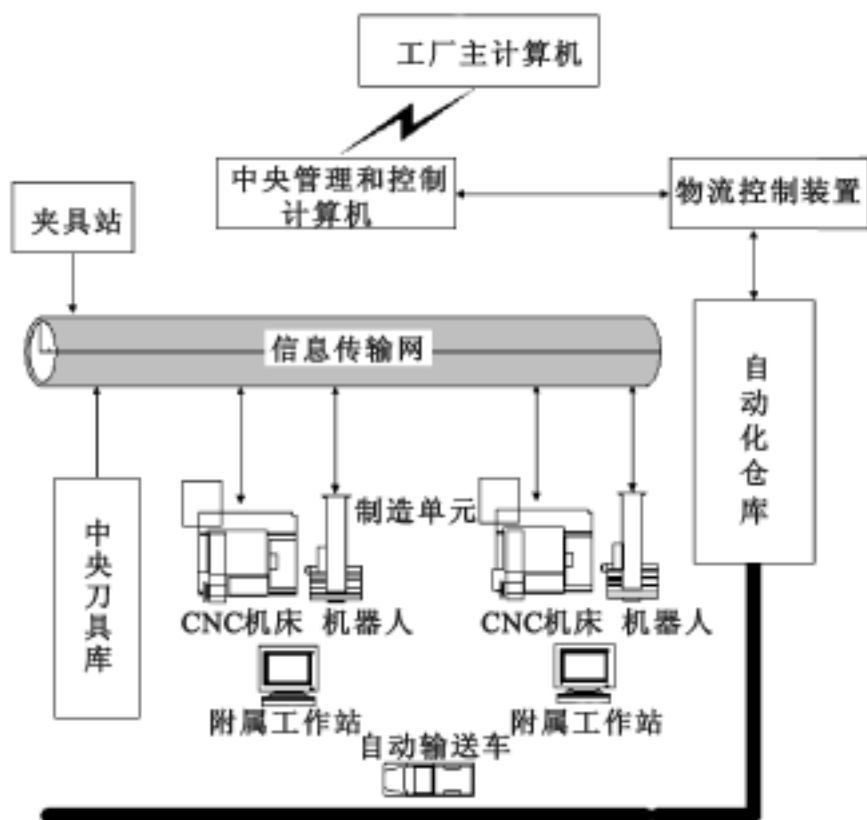


图 5.2 柔性制造系统结构图

柔性制造系统是在成组技术、数控技术、计算机技术和自动检测与控制技术的迅速发展基础上产生的综合技术产物,是当前机械制造技术发展的方向。它具有高效率、高柔性和高精度的优点,是比较理想的

加工系统,能解决机械加工中高度自动化和高度柔性化的矛盾。

5 2 3 计算机集成制造系统(CIMS)

计算机集成制造系统是 (Computer Integrated Manufacturing Systems,简称 CIMS)在自动化技术、计算机技术及制造技术的基础上,通过计算机及其软件,将制造工厂全部生产活动(设计、制造及经营管理,包括市场调研、生产决策、生产计划、生产管理、产品开发、产品设计、加工制造以及销售经营等)与整个生产过程有关的物料流与信息流实现高度统一的综合化管理,把各种分散的自动化系统有机地集成起来,构成一个优化的完整的生产系统,从而获得更高的整体效益,缩短产品开发制造周期、提高产品质量、提高生产率、提高企业的应变能力和竞争能力。

实际上,它消除了传统科室与车间的壁垒,使车间和科室彼此都能快速地作出动态响应。它具有很大的柔性,能对市场需求变化做出快速反应,是适合于多品种、中小批量生产的高效益、高柔性的智能制造系统。

如图 5 3 所示,计算机集成制造系统包含了制造工厂的设计、制造及经营管理三种主要功能:

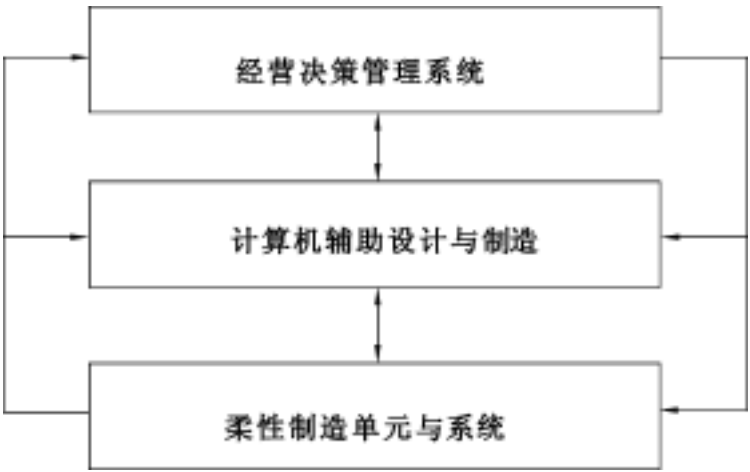


图 5 3 计算机集成制造系统组成框图

(1) 设计功能

包括计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅



助工程(CAE)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)等。

### (2) 加工制造

按照数控代码将一个毛坯加工成合格的零件并装配成部件、产品。

### (3) 计算机辅助生产管理(CAPM)

包括制定年、月或周的生产计划,物料需求计划,生产能力(资源)平衡以及财务、仓库等各种管理计划,还包括市场预测及制定长期发展战略计划等。

为使上述三个主要功能集成起来运行,还需要数据库以及工厂局域网网络等支撑环境才能达到信息集成的要求。

据国外资料统计,在生产过程中普通机床真正用在切削金属上的有效时间仅为 1.5%,而在计算机集成制造系统工厂中机床的有效切削时间可以达到 50%。生产率的提高可以降低成本,设备利用率的提高可以节约厂房面积和设备投资。信息集成可以进一步改善产品质量,提高设备利用率,使生产管理科学化以及对制造新产品的灵活响应。例如库存控制、库存状态可一目了然,这样就可以采用各种科学方法来管理库存,使库存减到最低水平,以压缩仓库面积和占用资金。设计、制造、管理的信息集成,对企业的经营、应变能力都有很大的提高。由此可见,集成度的提高,使各种生产要素之间的配置得到更好的优化,各种生产要素的潜力得到更大的发挥,实际存在于工业企业生产中的各种资源浪费减到最小,从而获得更好的整体效益。

## 5.3 过程工业自动化

工业化水平是一个国家现代化程度的重要标志,所以几乎所有国家都在工业建设方面投入了大量的人力、物力和财力。现代工业包含许多内容,涉及面非常广。但从控制的角度出发,人们可以把现代工业分成三类:连续型、混合型和离散型。在离散型工业中,主要对系统中的位移、速度、加速度等参数进行控制,例如数控机床、机器人控制、飞行器控制等都是离散工业中的典型控制问题。在连续型工业中,主要对系统的温度、压力、流量、液位(料位)、成分和物性等六大参数进行控

制。至于混合型,则介于两者之间,往往是两种控制系统均被采用。

习惯上,把连续型工业称之为过程工业(Process Industries),有时为突出其流动的性质而称之为流程工业(Fluid Process Industries)。其生产特征是:呈流体状的各种原材料在连续流动过程中,经过传热、传质、物理、生化和化学反应等加工,发生了相变或分子结构等的变化,失去了原有的性质,最终形成一种新的产品。

过程工业包括电力、石油化工、化工、造纸、冶金、制药、轻工等国民经济中举足轻重的许多工业,研究这些工业的控制和管理成为人们十分关注的领域,是本学科非常重要的应用领域之一。

### 5.3.1 过程工业自动化的研究内容及特点

人们一般把过程工业生产过程的自动控制称为过程控制,它是过程工业自动化的核心内容。过程控制研究过程工业生产过程的描述、模拟、仿真、设计、控制和管理,旨在进一步改善工艺操作,提高自动化水平,优化生产过程(提高产品的产量和质量,降低原材料和能源的损耗),加强生产管理,最终显著地增加经济效益。

过程控制和其他类型的控制相比,有下列明显的特点:

(1) 连续型工业加工过程包括了信息流、物质流和能量流,同时还伴随着物理化学反应、生化反应,还有物质和能量的转换和传递。因此,生产过程的变化机理十分复杂,有的还非常不清楚。

(2) 过程工业往往处于十分苛刻的生产环境,例如高温、高压、真空,有时甚至是在易燃、易爆、有毒的环境,因而生产中的人身安全和设备安全被放在最重要的位置,相应的故障预测、预报、诊断和安全监控系统受到特别的重视。

(3) 过程工业的生产过程是连续的,因而强调生产控制和管理整体性,应把各种装置和生产车间连接在一起成为一个整体来考虑,实现了个别设备或装置的优化不一定是整体最优的,应谋求全厂的最优化。

### 5.3.2 基于计算机技术的过程控制系统

早期的过程控制系统主要采用基地式仪表、气动单元组合式仪表、

电动单元组合式仪表等传统技术工具,尽管这些仪表、工具在过程工业的多数工厂中还在应用,但随着微处理器和工业计算机技术的发展,目前广泛采用可编程单回路、多回路调节器以及分布式计算机控制系统(Distributed Computer Control System,简称 DCS)。近年来迅速发展起来的现场总线网络控制系统(FCS),更是控制技术和计算机技术高度结合的产物。正是由于计算机技术的高速发展,才使得在控制工程中研究和发展起来的许多新型控制理论和方法的应用成为可能,复杂控制系统的解耦控制、时滞补偿控制、预测控制、非线性控制、自适应控制、人工神经网络控制、模糊控制等理论和方法开始在过程控制中发挥越来越重要的作用。

### (1) 直接数字控制系统

直接数字控制(DDC)是过程控制中最先采用的计算机控制方式。如图 5.4 所示,计算机在过程控制中代替常规调节仪表(控制器),实现集中控制。这样构成的系统目前在许多小型系统中还有一定的应用。

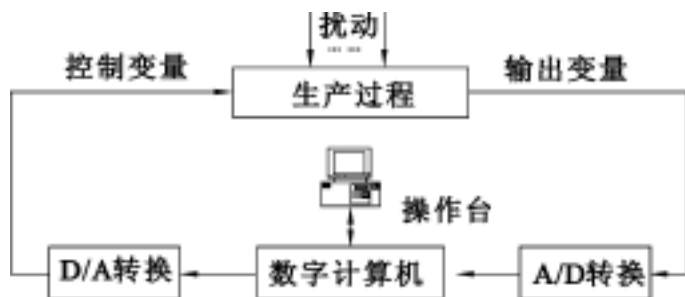


图 5.4 直接数字控制系统

### (2) 分布式计算机控制系统

分布式计算机控制系统(DCS)又称集散控制系统、分散控制系统,其主要特点是在硬件上将控制回路分散化,而数据显示、实时监督等功能则集中化,目前被大型过程工业的用户普遍采用,效果甚好。原理图如图 5.5 所示。

### (3) 两级优化控制系统

采用上位机和分布式控制系统或电动单元组合式仪表相结合,构成两级计算机优化控制系统,实现高级过程控制和优化控制。这种过程控制系统在算法上将控制理论研究的新成果,如多变量解耦控制、多

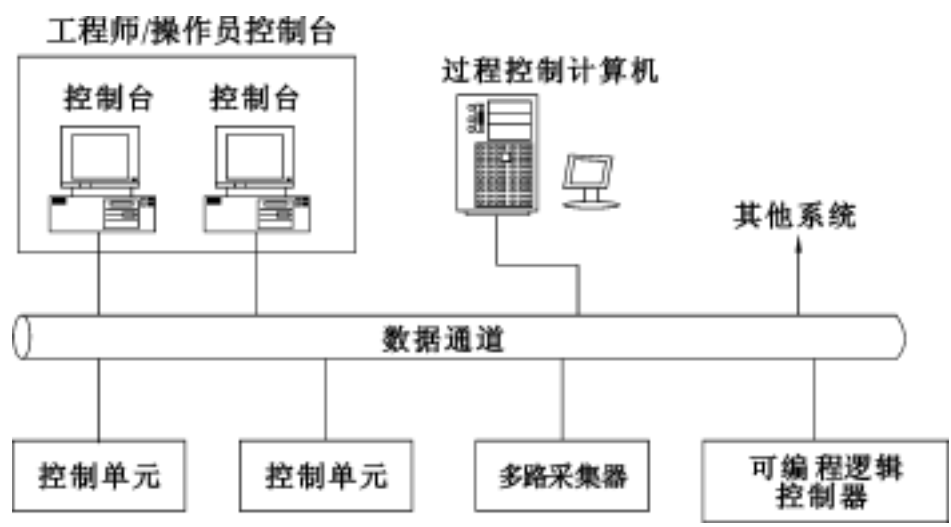


图 5.5 分布式计算机控制系统

变量约束控制、预测控制、推断控制和估计、人工神经网络控制和估计以及各种基于模型的控制和动态或稳态最优化等,应用于工业生产过程并取得成功。

(4) 现场总线控制系统

现场总线是近年来快速发展起来的一种数据总线技术,它主要解决工业现场的智能化仪器仪表、控制器、执行器等现场设备间的数字通信问题,以及这些现场控制设备和高级控制系统间的信息传递问题。现场总线把通信线一直延伸到现场仪表,使得用于生产现场的设备和控制室自动化设备连接在同一条通信总线上进行数字通信,构成现场通信网络。现场总线采用全数字化、双向传输、多变量的通信方式,用一对通信线连接多台数字智能仪表来替代目前一对信号线只能连接一台模拟仪表的传统模式。和传统控制仪器仪表相比,现场总线的好处显而易见。

现场总线正在改变传统分布式控制系统的结构模式,把分布式控制系统变革成现场总线控制系统。

5.3.3 计算机集成生产系统

与机械制造系统中的计算机集成制造系统(CIMS)类似,计算机集成生产系统(Computer Integrated Production Systems,简称 CIPS) 将计划优化、生产调度、经营管理和决策引入计算机控制系统,使市场意

识与优化控制相结合,管理与控制相结合,促使计算机控制系统更加完善,将产生更大的经济效益和技术进步。为了强调与计算机集成制造系统的区别,人们常将计算机集成生产系统(CIPS)称为生产过程计算机集成控制系统。

生产过程计算机集成控制系统是一种综合自动化系统。目的是要使企业用最短的周期、最低的成本、最优的质量,生产出适销对路的产品,以获取最大的经济效益,增强国内外市场的竞争能力。其实质就是将过程控制、计划调度、经营管理和市场销售等信息进行集成,并求得全局优化,也就是实现企业中信息的集成和利用,为各级领导、管理和生产部门提供辅助决策与优化的手段,进行经营决策、优化调度和优化操作,并将这些决策和优化与生产控制联结起来,成为一体化的信息集成系统。它由信息、优化、控制和对象模型等组成,具体可分为五层,如图 5.6 所示,即决策层、管理层、调度层、监控层、控制层。

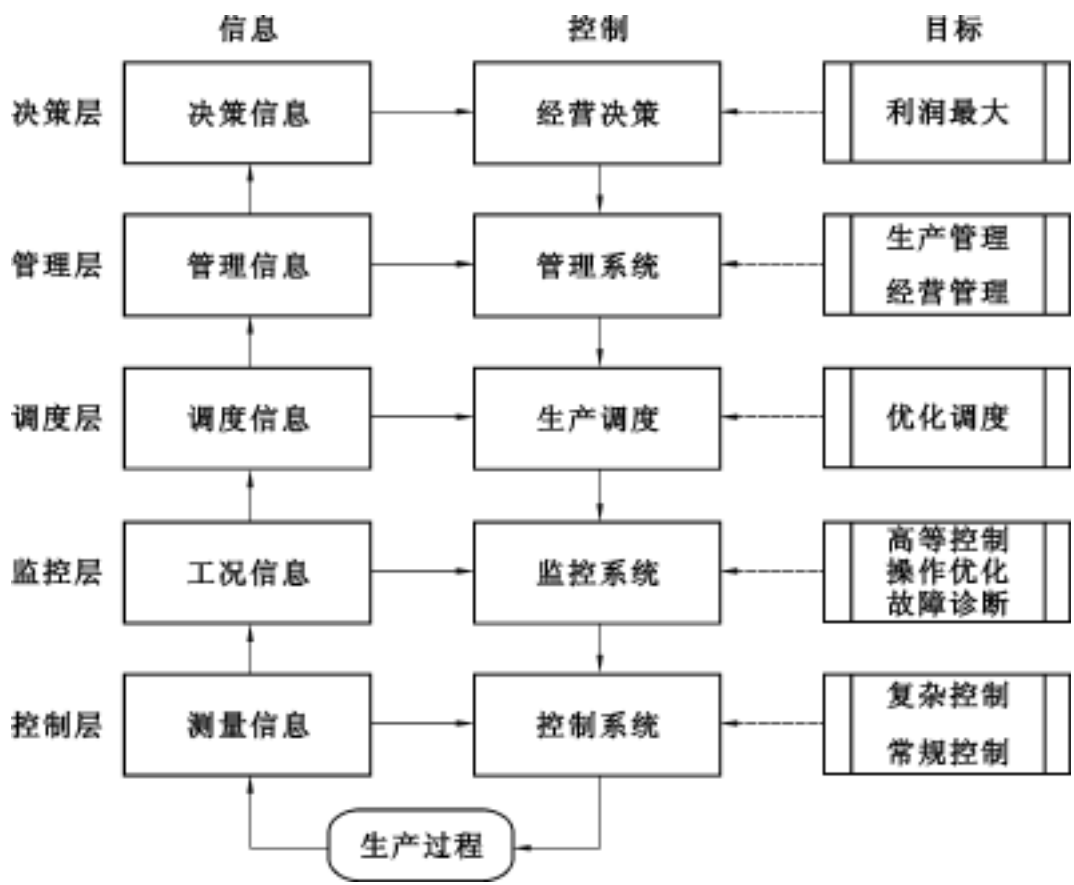


图 5.6 计算机集成生产系统的结构模型

计算机集成生产系统是过程工业自动化的最新成就和发展方向,是自动控制与自动化技术非常重要的应用领域。分布式控制系统、先进过程控制及计算机网络技术、数据库技术是实现计算机集成生产系统的重要基础。

## 5.4 电力系统自动化

电力是人类社会使用最广泛的二次能源,对国民经济建设和人们的日常生活有着非常巨大的影响。目前人们使用的电力主要来源于水电站、火力发电厂和核电厂,伴随一次能源(如煤炭、石油等)的日趋紧张和匮乏,加上人类对生态环境的日益重视,人们正在加速研究和发展太阳能、风能、生物能和海洋能等可再生的新能源。可以预见,为人们提供电能的电力系统将更加丰富和多元化。

不管是何种形式的电力系统,对其都有三个方面的基本要求:安全性、经济性和必要的供电质量。为了满足这些基本要求,电力系统自动化是必不可少的。电力系统自动化是过程工业自动化重要的组成部分,但其中也有一些离散工业自动化的内容。

### 5.4.1 安全供电离不开自动化

即使对于单个的火力发电系统,为了保障发电机的安全,需要采用自动装置进行过电压保护、过电流保护、接地保护、功率反向保护或差动保护。对汽温、汽压、真空度、水位、炉膛压力、燃烧情况以及汽轮发电机的电流、电压、轴承温度等参数需要进行检测和监控。这些都是电力系统基础自动化的基本内容。

目前单个的电力系统已经很少见,由不同规模、不同性质的电力系统形成复杂的联网已经成为电力系统发展的必然趋势。若干电厂联在一起后,电力系统的安全已经不仅是单个电厂的安全问题,此时,需要考虑输电线路的故障及保护措施,需要考虑电厂间的相互影响和相互作用等问题。简单的单项自动装置已经不能解决问题,要检测和识别更多的参数,并及时地做出正确的综合判断。如果信息不准或不及时,

值班调度人员不能及时掌握实况,搞不好将造成大面积停电,从而严重影响正常的生产和生活秩序。

### 5.4.2 经济运营需要自动化

若干联网电厂总的经济性和单个机组经济性的考虑出发点不同,不能仅考虑单个机组的经济性。对于火力发电厂,不但要考虑每个电厂的煤耗量,更要考虑电厂的煤耗微增率(即增加单位负荷所需的煤耗量)。此外,还要考虑不同电厂在输电过程中的不同线路损耗。电力系统形成复杂的联网时,有多个电厂向电网输入电力,由于环网之间的出力分配相互影响,人们将面临一个多输入、多输出的大系统,单单线路损耗的计算就不可能靠人工完成。

对于建在同一条江河上的梯级水电系统,需要考虑上下游水电厂之间的相互配合问题,还要考虑上游流到下游的时间差,经济用水和电力系统内节省燃料,这些都有很复杂的关系。对于用水库储水发电的水电站,如何经济运行除要考虑水库的经济用水外,还须考虑来水量的随机性,考虑库容的综合利用(如防洪、灌溉、发电、保持航道水位等)。

所以,联网后的电力大系统,有大量、复杂的信息处理,还需要进行短期(几小时)和长期(几天)的负荷预测。人工的直觉或感觉是无法取得合理的经济运行效果的,必须借助基于计算机的自动化管理与控制系统才能达到希望的效果。对于大容量的电力系统,哪怕是些微小的局部节省,也会带来可观的能源和资金节约。例如一般的经济调度大约可以节省全系统有功功率的 1% 左右,对于容量为 1000 万 kW(千瓦)、年发电量为 500 亿 kW·h(千瓦小时)的电力系统来讲,经济调度的收益每年可达 5 亿 kW·h,这是非常可观的。

### 5.4.3 供电质量的自动化要求

供电质量主要指电压质量和频率质量。

我国电力系统的频率标准是 50 Hz,频率偏离标准将使许多机电设备不能正常工作,会给生产带来严重后果。例如频率下降时,鼓风机出力减少,锅炉给水泵打不上水,火力发电厂的锅炉将不能运行;油泵不

能供应轴承润滑油,汽轮发电机的轴瓦将被烧坏。频率变化对电子设备的影响更大。

频率变化是电力系统内电力盈亏的标志。电力系统内发电出力多于用电量时,多余的电力转化为加速电机转速的动能,频率将加快;发电不足时,发电机付出动能来满足用电的需要,频率将下降。所以,电力系统运行中,需要自动调频装置来保持电力的正常盈亏平衡,根据实际情况及时自动调节电力系统的出力或限制负荷。

电压质量直接影响到用户的用电质量。电压过高会损害用电电器,或响应其寿命;电压过低则电灯不亮,荧光灯不能启动,甚至会由于转矩不够而烧坏电动机。自动调节发电机的端电压、保持用户用电电压稳定是电力系统自动化的主要任务之一。

#### 5.4.4 从两次历史停电事故看电力系统自动化

历史上曾经有很多次大面积停电事故,目前每年也还有或大或小的一些电力系统供电事故。1965年,纽约大面积停电事故给人们留下了深刻的印象。加拿大东部与美国纽约州等几个电网互联在一起形成一个称为 CANUSE (Canada-United States Eastern Interconnection) 的联营电力大系统。加拿大和美国边境处有一个利用尼亚加拉瀑布水力的贝克水电站,有5条出线,把电力输给加拿大多伦多电力系统,同时又和纽约州的电力系统联网。5条去加拿大多伦多地区的线路平均负荷已达35.6万kW,接近断电保护装置的后备过电流整定值37.5万kW。当时纽约州电力系统调度员并不了解该情况。11月9日下午5点16分11秒,其中一条线路的后备保护误动作把线路开关跳开,负荷转加给了其他四条线路,使它们先后在161周波内(美国电力系统频率为60Hz,相当于2.72s)断开。于是贝克水电站的发电机由于失去负荷而加速,频率上升,电力向纽约州强送,使纽约州内一些重要输电线路涌进了大量电力,在50~90个周波(大约1.5s)内,这些线路的过载保护先后动作而断开,造成纽约市缺电大约130万kW,从而又使附近新泽西州的电力向纽约市涌进了100万kW,以至电压和频率不能平衡。几分钟内,该区内频率下降,电厂的风机和水泵出力降低,甚



至停转,发电机只得相继断开。由于润滑泵停运,区内三台大机组因轴承损坏而停运,最终导致全市停电。高楼电梯、地铁客车、交通信号灯以至路灯等都不工作,全市大乱。在这一连串意外动乱中,调度员不明真相,不知道祸从何来,给系统恢复带来了很大困难。在黑暗和寒冷中度过了 13.5h。当时的总统林登·约翰逊致信联邦电力委员会主席,称:“今天的事故重新令我们认识到不间断的电力供应对国民健康、安全、福祉以及国防的重大意义。”

2003 年 8 月,美国和加拿大大片地区再一次发生历史上最严重的电力供应突然中断事故,共造成缺失电能 6200 万 kW,5000 万人失去电力供应。14 日下午 3 时许,俄亥俄州北部克利夫兰地区一条 34.5 万 V 的超高压输电线路突然出现过载现象。本来按照设计,过载电流可以由附近其它线路“吃进”,但大量电流回流,导致输电线路温度急剧升高,并随高压电线急剧扩散,最终烧断。26 分钟后,“吃进”过载电流的第二条 34.5 万伏超高压输电线路因温度过高,导致线路软化,落在树枝上,短路停电。2 条输电线路相继“罢工”,导致克利夫兰地区剩余 3 条超高压输电线路工作负荷急剧增加,最终“不堪重负”,分别在下午 3 时 41 分、3 时 46 分和 4 时 06 分断电。此后 5 分钟内,从美国东部到加拿大五大湖区,巨大的电流无路可走,在迂回数千公里的输电线和变电站之间乱窜。俄亥俄州的几座主要发电厂出于保护电机设备的需要,过载保护应急系统自动启动,率先关闭发电机组。此后,密歇根州、纽约及加拿大安大略省的发电机组也相继自动关闭,14 日下午 4 时 11 分,美加中东部近 5000 万人陷入一片黑暗之中。截止到美东时间 15 日早晨 8 时为止,大面积断电 16 个小时后仍然没有恢复。从美国纽约、克利夫兰、底特律,到加拿大多伦多、渥太华,一片混乱。这些地方的电梯、地铁、火车、民航班机等停止了运行。与此同时,这一带的电视、电台广播也全部中断。当地的交通指挥系统陷入瘫痪状态。而在克利夫兰市,大面积断电还影响了当地的自来水供应。大停电使得美国纽约州、新泽西州、俄亥俄州和密歇根州等四个州的九座核反应堆被迫停止运行。这次大规模停电事故是北美历史上程度最深的一次停电,其规模和影响范围超过了 1965 年上述那次停电事故。事后调查及

数据分析表明,位于美国俄亥俄州的第一能源(FirstEnergy)公司下属的电力监测与控制管理系统“XA/21”出现软件错误,是这次大停电的罪魁祸首。

上述事故告诉人们:先进、可靠的电力自动化系统是多么重要和必要呀!



图 5.7 大停电造成 的严重交通阻塞与混乱

## 5.5 飞行器控制

飞行器是人类征服自然、改造自然过程中发明的重要工具。现代飞行器有很多种类,例如有飞机、导弹、人造卫星、直升机、运载火箭、宇宙飞船、航天飞机等。不同种类的飞行器具有不同的用途,同一种飞行器也由于功能、性能不同而分为不同类型。例如导弹又可以划分为反坦克导弹、地对空导弹、空对空导弹、空对地导弹、舰对舰导弹、地对地导弹、巡航导弹等。不管是何种飞行器均离不开自动控制系统。而且不同的飞行器其控制系统也各不相同,系统的性能、功能和结构可能截然不同。因此飞行器是自动控制最重要的应用领域,许多先进的、新型控制理论和技术正是为了适应飞行器工程的高要求而发展起来的。

飞行器控制的内容非常丰富,以下仅以导弹的控制问题为例简要说明飞行器控制这一重要的应用领域。

### 5.5.1 导弹控制系统的功用

导弹是依靠液体或固体推进剂的火箭发动机产生推进力,在控制系统的作用下,把有效载荷送至规定目标附近的飞行器。导弹的有效载荷一般是可爆炸的战斗部,有效载荷最终偏离目标的距离是导弹系统的关键指标(命中精度)。目标可以是固定的,如敌方阵地、工厂、发电厂、重要建筑物等;目标也可以是活动的,如来袭飞机、导弹、坦克等。

导弹控制系统的主要任务是:控制导弹有效载荷的投掷精度(命中精度);对飞行器实施姿态控制,保证在各种条件下的飞行稳定性;在发射前对飞行器进行可靠、准确的检测和操纵发射。

以打击远距离固定目标的弹道导弹为例,在动力装置(发动机)工作阶段(主动段)结束后,飞行器(或有效载荷)沿抛物线轨道自由飞行。飞行轨道位于以主动段终点、目标点与地球中心三点构成的平面内。主动段的飞行性能对于保证有效载荷任务的实现起着主导的作用。主动段的飞行时间一般较短,但却经受着内外干扰、多种环境条件的恶劣影响,因而往往偏离预计轨道和预计飞行状态。控制系统的作用就是消除或减小这些干扰和影响的后果,控制导弹准确、可靠地完成飞行动作,最后飞向目标。为了提高命中精度,新型弹头还配有末段控制系统,当弹头接近目标时,自动进行目标定位、识别并控制弹头进行必要的机动飞行。

实现飞行器控制功能涉及导航、姿态控制、制导等方面,如图 5.8 所示。

### 5.5.2 导航系统

所谓导航,是指利用敏感器件测量飞行器的运动参数,并将测量的信息直接或经过变换、计算来表征飞行器在某种坐标系的角度、速度和位置等状态量。而由测量、传递、变换、计算几个环节组成并给出飞行器初始状态和飞行运动参数的系统则称为导航系统。

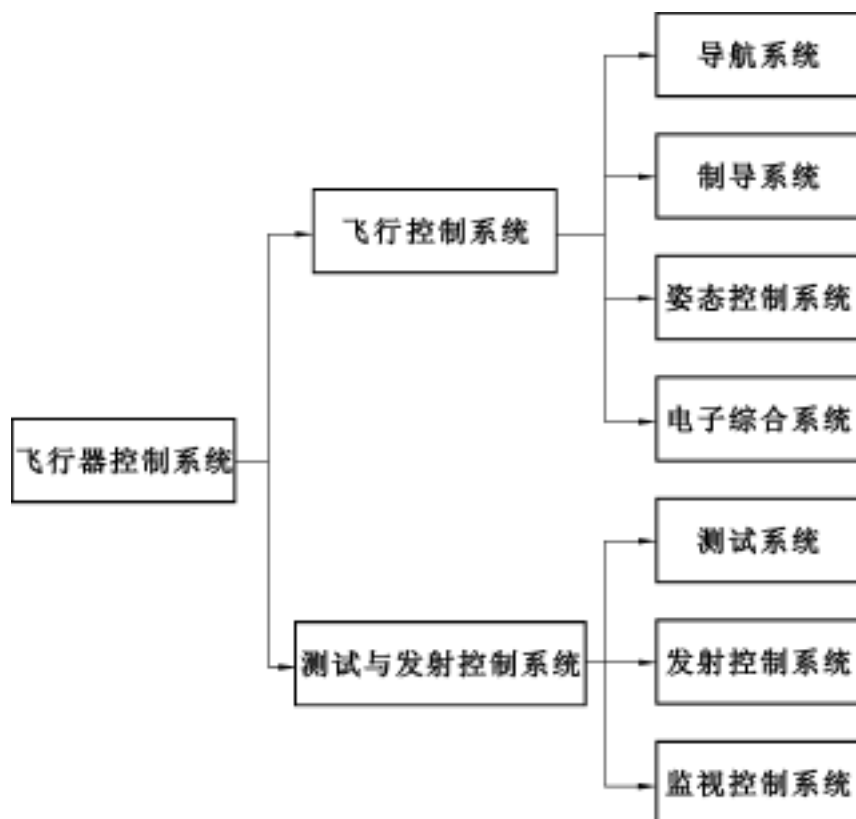


图 5.8 飞行器控制系统的构成

飞行器是六自由度运动体,包含角运动和线运动,一般分别称为绕质心运动和质心运动。绕质心运动参数(如姿态角度、角速度)的测量主要利用惯性器件,质心运动参数(如位置、速度、加速度)的测量有惯性测量方法和依靠外界参照信息的无线电测量、光学测量方法几类。

根据多普勒效应的原理,对飞行器进行测速、定位的系统称为无线电导航系统。近年发展和完善起来的全球卫星定位系统,如美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS,可以方便地确定飞行器的经度、纬度、高度和速度,这也是无线电导航系统。GPS 接收机的恰当组合还可以测量出飞行器的姿态角度、角速度等。

不仅飞行器需要导航系统,车辆、舰船也不同程度地离不开导航系统。

### 5.5.3 制导系统

制导系统的主要功能是利用导航系统提供的飞行器运动参数,对质心运动进行控制,使飞行器从某一飞行状态达到期望的终端条件,保

证飞行器以足够的精度命中目标。制导系统俗称大回路。

对于打击远距离固定目标的地对地导弹,一般是将导弹自身的实时运动参数与事先设计好的标准弹道相比较,由此获得误差信号来控制导弹的运动,最终使导弹沿标准弹道飞行直到命中目标。目前,许多地对地弹道式导弹是通过控制关机点参数来完成的。

对于攻击活动目标的导弹,制导系统不仅需要知道导弹本身的参数,还要实时测量活动目标的相关参数,根据一定的制导规律控制导弹飞向目标。简单地讲,制导规律就是引导导弹飞向目标的反馈控制算法。

典型的制导规律有追踪法、三点法和比例导引法等。追踪法起源于自然界中动物间的追逐。控制导弹速度始终对准目标飞行(图5.9),这就是一种追踪法。如果导弹速度高于目标速度,追踪法可以引导导弹飞向目标。但当导弹和目标间的距离较小时,目标进行一定的转弯机动,可以使导弹来不及转弯而造成脱靶。三点法是根据射手三点一线的思想,控制导弹始终沿制导站(例如地面制导雷达)与目标间的连线飞行(图5.10),最终可引导导弹飞向目标。纯粹的追踪法和三点法在实际中已经很少见,但改进或修正形式仍在某些导弹系统中使用。目前,比例导引法及其变种广泛应用于许多导弹系统。比例导引法起源于古代航海者船舶碰撞的经验,它控制导弹速度方向的变化率正比于导弹和目标间连线(称为视线)的角速度(图5.11),最终引导导弹命中目标。随着控制理论不断发展,许多新的制导规律正在不断发展、完善。

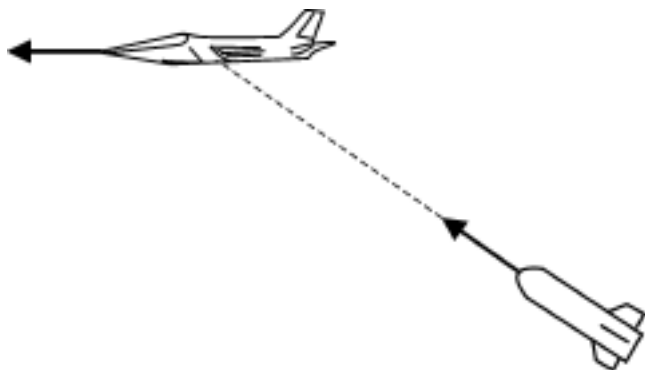


图 5.9 追踪法示意图

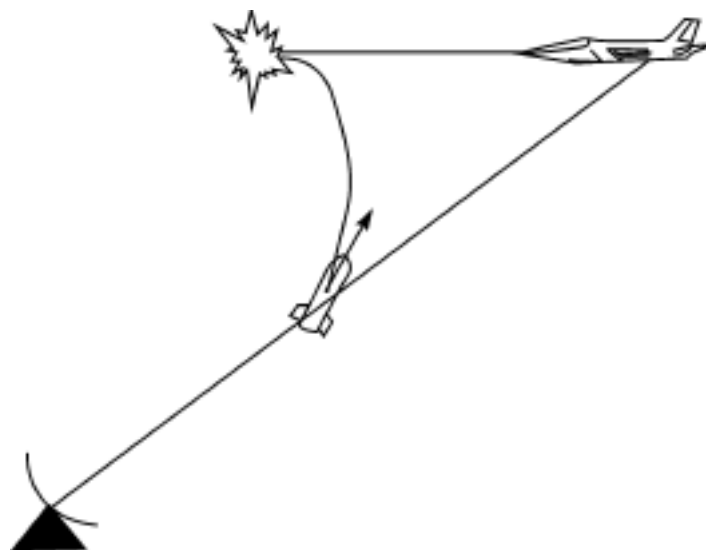


图 5.10 三点法示意图

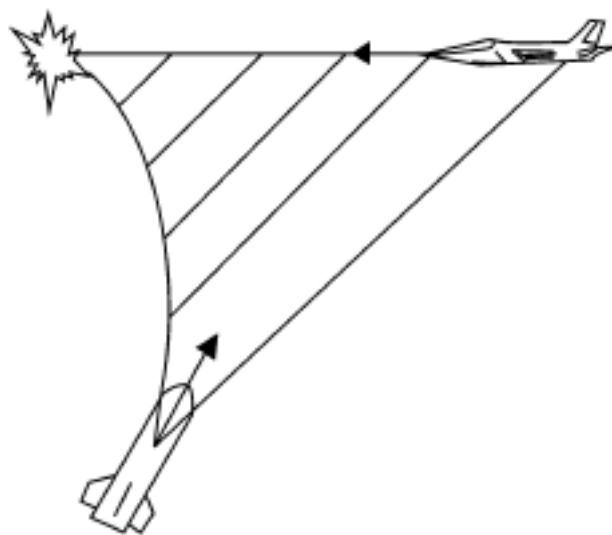


图 5.11 比例导引法示意图

#### 5.5.4 姿态控制系统

飞行器姿态控制系统又称为稳定控制系统,俗称小回路。许多文献中所讲的飞行控制系统,实际上是指姿态控制系统。姿态控制系统的作用是控制飞行器姿态、保证飞行稳定性,同时实施制导系统(制导规律)产生的制导指令。姿态控制系统接受两个方面的控制信息。一是来自姿态敏感器的信息,该信息是由于飞行器受干扰作用使姿态偏离原来状态而产生的。姿态敏感器信息经过自动稳定装置(控制器)生

成控制信号,再通过伺服机构产生控制力。控制力作用于弹体,使弹体回到原来姿态位置,这样形成一个负反馈的闭环控制回路,保证飞行器姿态稳定。另一控制信息来自制导系统,它们是飞行器机动转弯的导引指令,在保持飞行器状态稳定的同时,改变、调整飞行器质心运动的轨迹。

### 5.5.5 飞行控制电子综合系统

飞行控制电子综合系统是实现导航、制导、姿态控制等功能的电子系统,主要包括控制信息的传输、变换、综合、控制信号(指令)生成等,涉及系统功能的综合实现,动作指令分配,电源配电,发射前飞行控制系统对准等。

### 5.5.6 测试与发射控制系统

测试与发射控制系统是导弹武器系统的重要组成部分,用以对导弹进行测试、监视和控制发射。

对于地面发射的导弹武器系统来讲,测试与发射控制系统包含测试监视和发射控制两部分内容,具有在地面对导弹进行测试、初始对准、状态监视和操纵发射的功能。为确保导弹准确无误地飞行,在发射前必须检查、测试飞行控制系统各个部分的功能和参数,以及各部分间的匹配性及相关性能。发射控制在发射阵地进行,用于临射状态的过程监视、指挥决策、远距离对导弹的状态操纵、控制点火发射等。发射控制是导弹进入飞行状态前不可缺少的环节。

## 5.6 智能建筑

随着社会经济的高速发展和物质文明的不断进步,人类对自身居住和生活的环境提出了越来越高的要求。为了适应这种不断发展的需求,一个崭新的综合领域——智能建筑,正在向人们迎面走来。现代自动控制、自动化技术对智能建筑起着举足轻重的作用。

### 5.6.1 智能建筑的概念及构成

智能建筑(Intelligent Building), 又称为智能大厦, 是把现代建筑技术和信息技术有机地结合起来, 设计和建造安全、舒适、高效、节能、方便灵活的现代化建筑。世界上公认的第一座智能化大厦是 1984 年美国康涅狄格州哈特福特市的“城市广场”。日本于 1985 年底成立了国家智能建筑专业委员会, 准备将智能化建筑从单一扩大到整个城市、国家。新加坡政府的公共事业部门为推广智能建筑, 专门制定了《智能大厦手册》。英国、法国、加拿大、瑞典、德国等国相继在 20 世纪 80 年代末 90 年代初建成了各具特色的智能建筑。据初步统计, 在美国已有上万座智能建筑, 日本在建的大型建筑中约有 60% 是智能型的。我国新建的许多住宅小区也具备了智能建筑的一些功能和特点。

目前, 智能建筑还没有严格、统一的公认定义。美国智能建筑学会将智能建筑定义为: 通过对建筑物的结构、系统、服务和管理这四个基本要素以及它们之间的内在关联的最优化组合, 而获得的一个投资合理且高效、舒适、安全、便利的环境。智能建筑通过综合布线系统与各种信息终端来“感知”建筑物内各个空间的信息, 经过计算机处理作出相应的对策, 使建筑物具有某种“智能”。建筑物的使用者和管理者可以对大楼的供热、供水、空调、电气、电梯、照明、音乐、防火、防盗、电话、传真、闭路电视(或卫星电视)、计算机通信、购物、保健等设施实现按需控制, 对建筑物的关键部位或特殊部位进行监控并提供与互联网(Internet)的有效连接。

一般认为智能建筑包含三大基本要素, 即楼宇自动化(Building Automation, 简称 BA)系统, 通信自动化(Communication Automation, 简称 CA)系统和办公自动化(Office Automation, 简称 OA)系统, 三者是有机结合在一起的, 成为智能建筑“3A”结构。有时为了强调消防和保安的重要性和独特性, 将消防自动化(Fire-protecting Automation, 简称 FA)和保安自动化(Security Automation, 简称 SA)从楼宇自动化中单列出来, 从而得到所谓的“5A”结构。3A 结构的智能建筑功能框图如图 5.12 所示。不管是 3A 结构还是 5A 结构的智能建筑,



综合布线系统(PDS)是连接所有自动化子系统的物质基础。

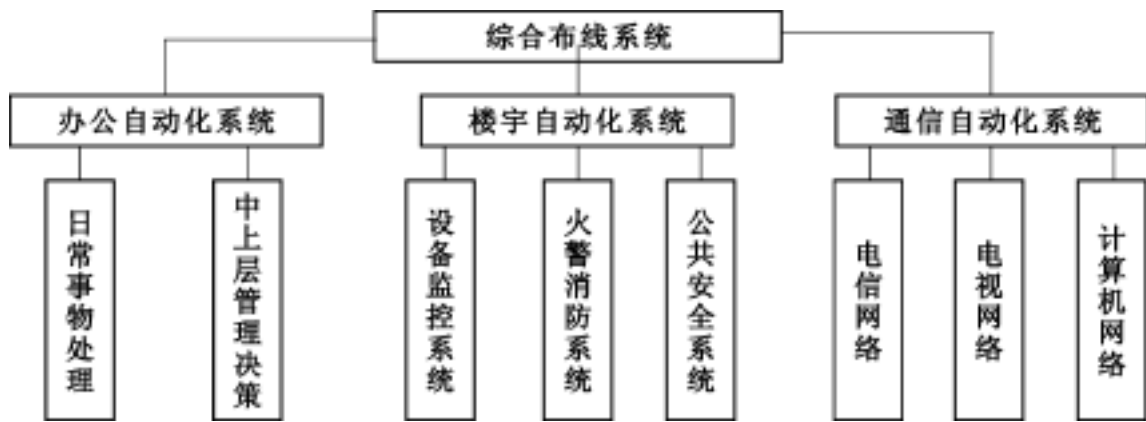


图 5 .12 3A 智能建筑的构成

5 .6 .2 楼宇自动化系统

建筑物的智能化往往总是从楼宇自动化开始的。楼宇自动化系统 (Building Automation System, 简称 BAS) 是建筑智能化的必备要素之一, 缺少楼宇自动化系统就不成其为“ 智能建筑 ”了。楼宇自动化系统主要包括大楼设备监控子系统、火警消防子系统和公共安全子系统等。楼宇自动化系统结构模式如图 5 .13 所示。

楼宇自动化系统实现对大楼供电、照明、报警、消防、电梯、空调等设备子系统的监控和管理, 对设备运行参数进行实时控制与监视, 对动力设备进行节能控制, 对设备非正常运行状态报警, 从而实现对设备的优化管理与控制, 保障设备运行的安全性和可靠性。并通过与办公自动化及通信自动化系统的综合设计, 支持面向用户的服务功能, 提高大楼的舒适性、安全性、节能性, 降低费用, 实现高度的集成化管理。

传统的楼宇自动化系统采用的是集中监视、集中控制的方式。集中式楼宇自动化系统的基本结构如图 5 .14 所示。其中, 控制器实现对现场信号的数据采集和实时控制, 大部分的系统运算及处理功能仍需集中到中央控制室内由计算机主机进行处理。中央监控系统的功能多限于设备状态的初级变化显示、报警、报表生成和直接控制管理以及对现场传来的数据进行运算。这类集中式楼宇自动化系统结构简单、投资少、设计施工周期短, 一般只适合简单子系统的监控。若子系统采用

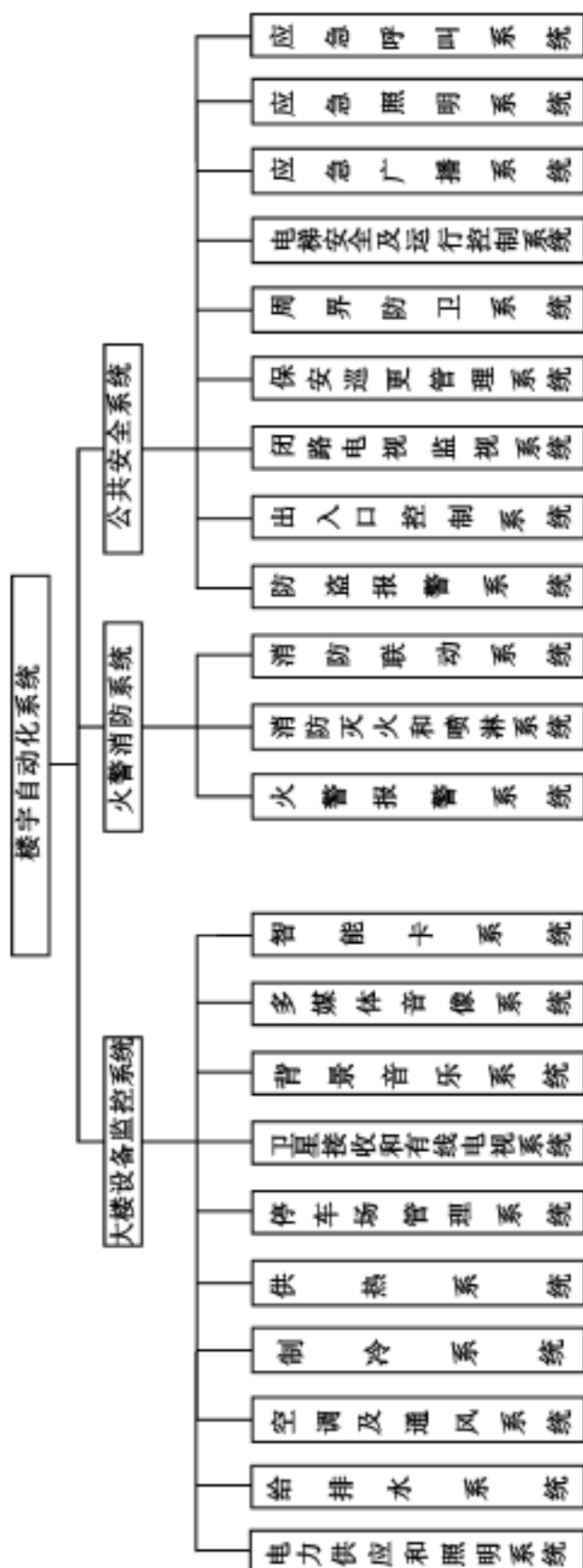


图5.13 楼宇自动化系统的构成

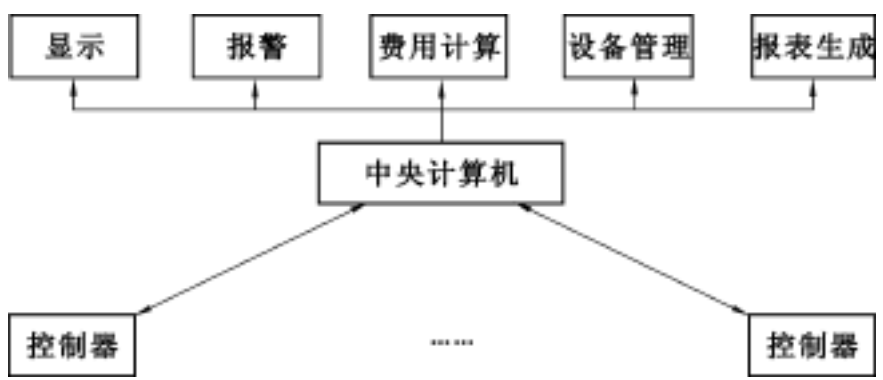


图 5 .14 集中式楼宇自动化系统的结构

这种集中式结构,则在构成整个楼宇自动化系统时,各子系统操作和管理软件可以不在一个计算机平台上。但在进行系统集成时,中央控制计算机需与各子系统之间建立通信协议。

近年来,由于并行分布式计算机网络技术以及集散型监控系统的发展,分布式楼宇自动化系统成为目前楼宇自动化系统广为采用的一种结构。分布式楼宇自动化系统的基本结构如图 5 .15 所示。其中,系统各现场控制器通过通信的方式与监控管理计算机连接在一起,各控制器独立地完成系统分配给自己的任务,如数据采集、计算、处理、检测、控制等。控制器对现场数据进行采集并进行简单的处理后,把信号送入监控管理计算机,通过分布式操作系统(可实现双机或多机运行)软件来调度现场控制器所采集到的信息,并设置信息传输路径。监控管理计算机系统的任一并行处理主机可以接收和处理全部信息,也可以通过系统的信息路径(通信网络)分配、接收和处理某一个系统的信息。监控中心通过网络接收监控管理计算机发送的系统状况信息并

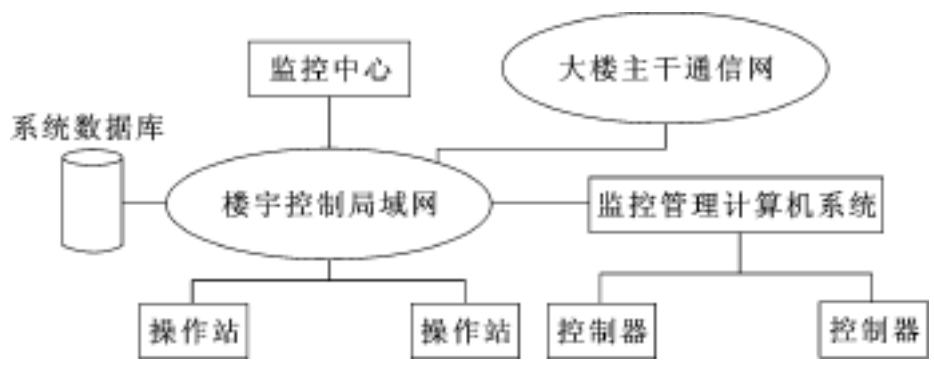


图 5 .15 分布式楼宇自动化系统的结构

及时显示有关运行参数或报警。系统数据库保存系统状态数据、事故数据等。操作站支持基本的系统管理(如用户的增删与更改、查询数据库数据、查看系统状态等)。分布式楼宇自动化系统采用实时多任务、多用户、分布式操作系统,把多个数据处理系统的通用部件合并为一个具有整体功能的系统。各软硬件资源管理没有明显的主从关系,而是强调分布式计算和并行处理,既做到了整个系统硬件和软件资源的共享,同时也做到了任务和功能的动态分配。由于组成系统的硬件和软件均采用标准化、模块化和系列化的设计,因而系统配置的通用性强、组态灵活、控制功能完善、响应速度快、数据处理方便、显示操作集中、人机界面好、容错能力强。分布式楼宇自动化系统采用全面综合设计,故在产品开发时难度较大、费用较高,但由于它所配置的各子系统软硬件不会重复,因而造价比采用集中式楼宇自动化系统节省。分布式楼宇自动化系统是智能大厦楼宇自动化系统发展的方向。

### 5.6.3 通信自动化系统

通信自动化系统(CAS)是大厦智能化的“中枢神经”。它由各种通信设备、通信线路以及相关计算机软件组成。它主要包括传送话音、数据和图像的基本通信网络;实现楼层间(内)各种终端、微机、工作站之间通信的楼层局域网;沟通楼群或楼内计算机与楼内各个局域网间通信联系的楼群或楼内高速主干网以及与公共信息资源(如 Internet)相通的远程数据通信网。

一般说来,一幢建筑应有一个高速主干通信网络,每个楼层有一个或几个局域网络,各局域网联接到高速主干网。高速主干网沟通计算中心主机及各局域网,同时负责实现楼群间的通信联网。智能建筑的体系结构如图 5.16 所示。

这个结构实际上是一个分层的星型结构。从物理结构设计角度出发,其中的部门子网分布在同楼层的各个部门之间,它从每一层的集成室发散到各个工作室与用户的计算机或外围设备相连;楼层局域网贯穿同一建筑各层,分别伸展到各层的集成室并和各层的部门子网的集中线路相连;高速主干网在楼层局域网和部门子网的层次结构之

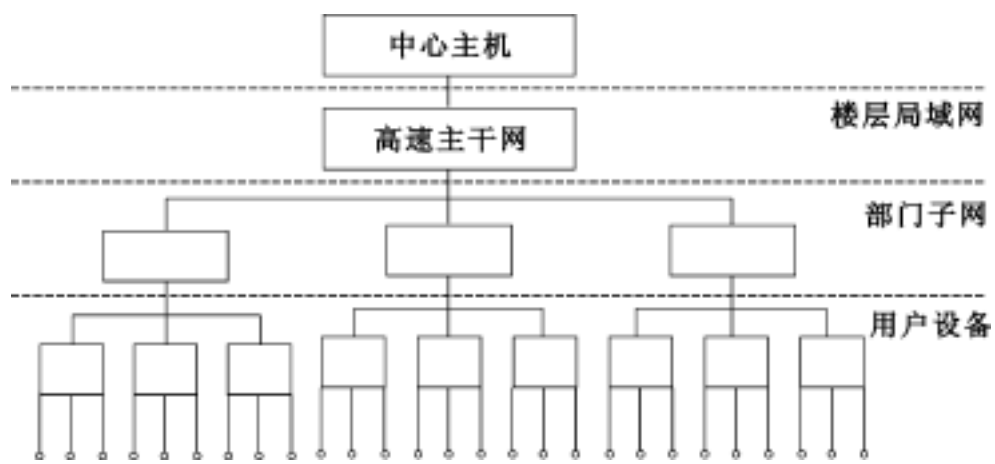


图 5.16 智能建筑的通信网络结构

上,它的作用是将各个建筑物中的网络线路集中起来连接到总配线设备。中心主机作为大楼的信息中心,它与高速主干网的连接必须保证主机与高速主干网之间的传输速率能满足多个局域网同时访问主机的要求。如果速率太低,就可能成为多个局域网同时访问主机的瓶颈。

5.6.4 办公自动化系统

办公自动化,有时也称为办公室自动化。办公自动化系统(OAS)可以有效地提高工作效率和质量、辅助决策,充分利用信息资源,促进办公体制的改革和发展,使管理更加科学、更加合理。智能大厦的办公自动化系统具有文字处理、资料管理、行政管理、图像或图形处理、声音处理、网络通信等多种功能,可以对智能大厦内的数据网络控制中心提供动态信息资源分配、故障诊断及恢复、信息处理及网络性能等进行监控。

5.6.5 综合布线系统

综合布线系统是智能大厦的基础。

在传统的布线系统中,弱电中的各个子系统的布线都是独立的。这种独立布线设计繁杂、施工工作量大、不便于管理、不便于维护,且缺乏统一标准,不能任意更换。

综合布线系统是 AT&T 等公司在多年潜心研究基础上提出的。根据用户的需求不同,他们推出了以办公自动化环境和商务环境为主

的建筑与建筑群综合布线系统(PDS)、以大楼自控环境与舒适为主的智能大楼布线系统(IBS)、以特殊信息和适应快速变化的工业通信为主的工业布线系统(IDS)。

建筑与建筑群综合布线系统主要是针对计算机和通信设备的布线系统而设计的,它能满足各类计算机和通信设备传输信号的不同要求。它在网络上的对象是:模拟/数字语音信号;高速/低速的数据信号;传真机、图像终端、绘图仪等需要传输的图像资料信号;电视会议、安全监视电视的视频信号;建筑楼内保安系统和各个测控器的信号。为了适应当今社会信息化与经济国际化的需要,在建筑大楼内将大量使用计算机、网络通信设备以及其他多种自动化高技术建筑设施。因而对大楼内的供电配线、空调、照明、防火、防盗、运营管理、出租服务管理等,提出了一系列不同于传统建筑设计的新要求。建筑与建筑群综合布线系统(PDS)的设计内容已不能包含以上新要求。

智能大楼布线系统(IBS)能将建筑群内所有的设备子系统集为一体,具有很强的综合支持能力,系统管理效率高。智能大楼布线系统是一种灵活性很高的建筑布线网络,它能连接话音、图像和数据以及各种用于楼宇控制与管理的装置。智能大楼布线系统是一种工程化的、专门设计的完整系统,它可以被广大建筑设计师、楼宇主人、房地产经纪入、设施管理人及财产管理者使用。

## 5.7 智能交通系统

交通运输是国民经济支柱性产业,对人类的生产和生活有着非常重要的影响。不仅发展中国家,发达国家同样面临道路交通日益拥挤、路网通行能力不能满足交通量增长需要的问题。智能交通系统(Intelligent Transportation System,简称 ITS)正是为了改变现在的交通状况、减轻交通拥挤、减少交通事故、制止交通环境的恶化,使现代化的交通更好地为经济建设服务而出现和发展起来的一个综合领域,自动控制和自动化技术在其中扮演着十分重要的角色。

### 5.7.1 智能交通系统的概念

智能交通系统是将先进的数据通讯传输技术、电子传感技术、控制技术以及计算机技术等有效地集成运用于整个地面运输管理体系,而建立起的一种在大范围内、全方位发挥作用的,实时、准确、高效的综合运输和管理系统。在公路运输领域,该系统将汽车、驾驶员、道路及其相关的服务部门相互联结起来,并使汽车在道路上的运行功能智能化,从而使公众能够高效地使用公路交通设施和资源。具体地说,该系统将采集到的各种道路交通及服务信息经交通管理中心集中处理后,传输到公路运输系统的各种用户(驾驶员、居民、警察局、停车场、运输公司、医院、救护排障等部门),出行者可实时选择交通方式和交通路线;交通管理部门可自动进行合理的交通疏导、控制和事故处理;运输部门可随时掌握车辆的运行情况,进行合理调度。最终,使路网上的交通流运行处于最佳状态,从而改善交通拥挤和阻塞,最大限度地提高路网的通行能力,提高整个公路运输系统的机动性、安全性和生产效率。

智能交通系统可以广泛应用于包括高速公路、城市道路、桥梁等设施的庞大的运输网络,也可应用于数量日益增多的各种车辆,包括小汽车、公共汽车、卡车和火车,从而更好地管理和改进政府部门、运输企业、卡车货运商等提供的服务。

智能交通系统对于公路交通带来的影响主要包括以下几个方面:

(1) 提高公路交通的安全性。据专家估计,采用智能交通系统,在今后 20 年内可降低 8% 的交通灾难。每年交通事故的死亡人数可减少 30% ~ 70%。美国国家公路交通安全局(NHTSA)估计,如果所有商业车辆都使用智能交通系统的防撞避撞、车尾碰撞警告系统、道路偏离警告系统以及变换车道安全避撞系统等,将使商业车辆的碰撞交通事故减少 17% 以上,这意味着每年能节约 260 亿美元的交通事故损失。

(2) 节约基础投资成本。与传统公路建设投资相比,智能交通系统能大大降低基础建设的投资成本。例如,据最保守的预算,在今后的 10 年里,美国公路需求量将增加 30% 以上,即使让公路保持现有的交

通拥挤水平,美国的公路基础建设里程也至少要增加 30% 才能满足基本交通的需要。如果采用传统公路建设管理方法,估计投资额将达到 870 亿美元,建设公路里程至少要求 7.1 万 km。而使用智能交通系统,投资额则只要 570 亿美元,公路建设里程也只要 2.4 万 km。换句话说,在公路基础设施的整个生命周期内,使用智能交通系统代替传统公路,其非折旧投资成本节约将达到 50%,折旧投资成本节约也将达到 35% 以上。

(3) 提高运输生产率和经济效益。据美国交通部估计,如果美国最大约 50 个中心城市都使用智能交通系统中的高级交通管理系统,则可以减少 35% 的政府税赋。实地实验也证明,智能交通系统在美国 75 个最大的中心城市地区的效益/成本比约为 8.8 : 1;高速路管理系统使现有道路及其它物理基础结构能够承担比过去多 8% ~ 52.2% 的交通流,在线车辆的行驶速度提高 16% ~ 62%,从而有效地缓解交通拥塞,提高运输效益;交通事故管理系统能够降低因事故造成的交通拥塞或延误 50% ~ 60%;电子收费系统的效益更加明显,能够提高 200% ~ 300% 的劳动生产率。

(4) 降低能源消耗,减少汽车运输对环境的影响。

(5) 提高公路网络的通行能力。智能交通系统可以减少交通拥挤和阻塞,从而提高公路交通的机动性和通畅性。据估计,智能交通系统可使现有高速公路的通行能力至少增长一倍。有人预测,到 2012 年,智能交通系统技术可使交通堵塞减少 20%。

(6) 降低管理部门的运营成本。智能交通系统的实时交通管理、自动收费管理以及卡车安全检查等系统,能够显著地降低智能交通系统的运营成本。美国智能交通系统试验表明,高级公共交通管理系统在 265 个实验地区、在今后 10 年里将为美国政府节约运营费用 380 ~ 740 亿美元,而不降低服务标准;商用车辆管理系统能够为各级政府节约管理劳动力成本 9% ~ 18%。

### 5.7.2 智能交通系统的主要研究内容

目前,美国、日本、欧洲等经济发达国家或地区都在大力研究和发



展智能交通系统,取得了许多非常有意义的阶段性成果。但由于出发点和着眼点不同,所走的研究和发展道路也不尽相同,对智能交通系统的认识也不完全相同。

美国智能交通系统的雏形是始于 20 世纪 60 年代末期的电子路径导向系统(ERGS),中间暂停了 10 多年。20 世纪 80 年代中期,加州交通部门研究的“路径探测器”(PATHFINDER)系统获得成功,之后开展了一系列这方面的研究。1990 年美国运输部成立智能化车辆道路系统(IVHS)组织,1991 年国会制定了 ISTEA 综合地面运输方案,1994 年智能化车辆道路系统更名为智能交通系统。其实施战略是通过实现面向 21 世纪的“公路交通智能化”,以便从根本上解决和减轻事故、拥挤、低效率、能源浪费等交通中的各种问题。

日本的智能交通系统发展始于 20 世纪 70 年代,从 1973 年到 1978 年日本成功地组织了一个叫动态路径诱导系统的实验。20 世纪 80 年代中期至 90 年代中期的 10 年时间相继完成了路车间通信系统(RACS)、交通信息通信系统(TICS)、宽区域旅行信息系统、超智能车辆系统、安全车辆系统及新交通管理系统等方面的研究。1994 年 1 月成立路车交通智能协会(VERTIS),1995 年 7 月成立道路交通信息通信系统(VICS)中心。1996 年 4 月正式启动道路交通信息通信系统,先在东京圈内而后推向大阪、名古屋等地,1998 年向全国推进。日本的道路交通信息通信系统是智能交通系统实用化的第一步,居于世界领先水平。

1988 年,欧洲 10 多个国家共同投资了 50 多亿美元,联合发展一项旨在完善道路设施、提高服务质量的 DRIVE 计划。现在已经进入第二阶段的研究开发工作。目前欧洲各国正在进行 Telematics(原意为“远动技术”)的全面应用开发工作,计划在全欧范围内建立专门的交通无线数据通信网。智能交通系统的交通管理、车辆行驶和电子收费等都围绕 Telematics 和全欧无线数据通信网来展开。欧洲民间也联合开展了一个叫“普罗米修斯”(PROMETHEUS)的研究计划,即欧洲高效安全交通系统计划。

当前,一般认为智能交通系统的主要研究内容有下列七大方面。

### 5.7.2.1 先进的交通管理系统

先进的交通管理系统(ATMS)是在以信号控制为中心的管制中心基础上增加管制中心与道路上运行车辆的双向通信机能,能收集旅行时间等交通信息并向交通参与者实时提供信息,使管理中心可以对运行的车辆进行微观控制。交通控制指挥中心可进行交通监视、车流量管理、交通控制指挥(包括交叉口信号灯的自适应控制),并且能够实时、准确、全面地掌握公路网的交通运行情况,进行及时调度与事故处理。

### 5.7.2.2 先进的旅行者信息系统

先进的旅行者信息系统(ATIS)利用通信系统向交通参与者全面提供交通堵塞、道路施工、交通事故和突发事件等信息。该系统通过采集各路段、交叉口处交通流的各种数据及图像信息,经处理后形成各种交通情报向车辆提供交通诱导:提供行车限速显示信息、提示方位及提供道路诱导信息,使汽车绕开交通特别拥挤区域等;同时可为出行者推荐适合出行的时间、方式、路径,并能为正在途中的出行者推荐最好的行车路径等。

### 5.7.2.3 先进的公共交通系统

大力发展公共交通是智能交通系统中重要的理念。先进的公共交通系统(APTS)通过各种车辆自动定位设备(例如全球定位系统 GPS 等)对管辖路网内的公交车辆进行实时定位,了解其运行及分布动态,在公共车站显示出即将到达的车次及到达时间,从而极大地方便公众的出行。

为保证公共汽车、公共电车优先通行,一些发达国家的某些大城市在主要交叉路口设置电视监视器和自动信号控制器,并在公交车上安装发射信号装置。当公交车辆驶进交叉口时,将红灯变换成绿灯,从而尽量减少公共汽车、公共电车在交叉口的滞后时间。有的则在公共汽车、公共电车通过的路段埋设与交叉口信号灯相接的微波探测器,当公交车辆通过探测器时,探测器马上将信息传给信号灯控制装置,系统自动给公交车辆提供绿灯信号。巴黎从 1991 年开始研究借助卫星对公交车辆进行全方位的监控管理,该项技术实施起来后,可以不用大规模

进行基础设施建设就能做到准确、随时地监控管理所有运营中的公交车辆。该系统的调度人员可随时与驾驶员通话,下达调度指令;营运中若发生事故,驾驶员可开启一台隐蔽的摄像机,使中心安全控制台直接观察到车内的情况。如有需要,中心安全控制台还可以调度装备有同样定位系统的车辆赶往现场进行处理。

#### 5.7.2.4 营运车辆调度管理系统

营运车辆调度管理系统(CVOS)通过计算机和通信设备对所属车辆进行调度,对线路上的车辆实行监控,还设有旅客自动问询系统及计算机售票系统。还包括运输场站利用电子数据交换(EDI)及车辆自动定位技术掌握客流、物流的配载、流向及换乘等实时信息,使客货运输流向合理,减少空载,充分提高运输效率。

#### 5.7.2.5 先进的车辆控制系统

先进的车辆控制系统(AVCS)应用先进的传感、通讯和自动控制技术,为驾驶员提供各种形式的避撞和安全保障措施。系统具有对障碍物的自动识别和报警,自动转向、制动、保持安全间距等避撞功能。系统的这些功能在很大程度上改善和代替了驾驶员对行车环境的感应和控制能力,从而可以提高行车安全性,减少交通阻塞,进一步提高了道路的通行能力和运输效益。在特定的路段(如高速公路或环城快速路)上,还可以实现车辆的自动驾驶。

#### 5.7.2.6 应急管理系统

应急管理系统(EMS)用以提高对突发交通事件的报警和反应能力,改善应急反应的资源配置。按安全规则形成的操作程序构成对事故反应的知识库,根据现场传来的事故信息,经过实时处理,得到要对出事地点相关的路段发出禁行命令与信号(红灯),给出疏导交通的命令与信号(绿灯),给相关地段的可变情报板显示当前的限速与警告信息。以上的所有应变方案,得到操作员确认后,即可以在瞬间完成所有的信号灯控制及可变信息显示的切换。有了这样一些决策支持系统,无论对常见的还是罕见的事故,均可以为操作员提供足够、恰当的信息,帮助他们更快更好地采取相应的措施,使他们少犯或不犯错误。

### 5.7.2.7 电子收费系统

电子收费系统(ETS)在智能交通系统中具有特殊的地位,电子收费系统能大大提高车辆通行能力。此外,常规的人工收费加计算机管理模式使停车收费时间较长,账目管理不严格,所以全自动、不停车的收费系统大受公路管理部门的欢迎。

新加坡在 1997 年就推行了电子公路收费系统,用电子计费卡控制车流。采用该系统的车辆的挡风玻璃上贴有一张类似信用卡的“储值卡”,同时在车内安装一个“读卡器”。当车辆经过感应器时,控制器就会通过每道闸门上的天线发出微波信息,由读卡器自动在储值卡上扣除道路使用费。若车辆没有装备读卡器或储值卡款额不足时,第二道闸门上的摄像机就会自动拍下车牌号码,并由控制器传到中央计算机处理。在高峰时段和拥挤路段,它还可以自动提高通行费,从而达到控制交通流量的目的。

### 5.7.3 我国的智能交通系统

我国的智能交通系统研究还刚起步,但作为其基础的城市交通控制系统的开发研究早在 20 世纪 70 年代就已开始。20 世纪 90 年代初,我国开始注意国际上已经提出的智能交通系统。从 1995 年开始,我国专家积极参与了国际上智能交通系统的研究和开发活动,并且在国内有条件的地方和高速公路上进行了初步试验。例如:北京市有关单位在国家 and 地方政府的支持下与国外进行合作,在北京的二、三环路上进行了以电视监视和大型信息显示板为主体的交通控制和诱导试验;交通部作为全国交通运输和建设的主管部门,组织研究和制定了全国智能交通系统发展战略,现在正在着手组织实施。智能交通系统在大范围内的应用,有赖于统一的标准,在国家质量技术监督局和交通部的组织下,我国的专家也参加了智能交通系统标准化的国际活动,并且已经着手我国智能交通系统有关标准的制定工作。在许多中心城市已经建立起交通信号控制和电视监视系统、警车定位系统、交通地理信息系统,以及交通事故、车辆和驾驶员档案等静态信息系统等;在某些省市还建立了不停车自动收费系统和 IC 卡驾驶员管理系统等。

总的说来,我国的智能交通系统还处于发展的初级阶段,研究与开发还都是就某一地区或城市进行的,全国范围的智能交通系统研究计划尚没有制定,但已有许多部门、机构正在致力于这方面的工作,还需要包括自动化领域在内的科技工作者长期不懈的努力。

## 5.8 生物控制

有人预测 21 世纪将是生命科学和信息科学的世纪。依照这种观点,作为生命科学和信息科学相互渗透而产生的生物控制必将对人类生产、生活带来巨大影响和改变。生物控制(Biological Control)是维纳开创的控制论在生物领域的研究体现(参见第 1 章)。

### 5.8.1 生物控制的研究内容及特点

生物控制研究的内容十分广泛,主要包括:研究生物体中通信和控制的动态过程,研究生命体遗传、发育、进化中的动力学规律,研究生物体与周围环境相互联系和制约中的反馈机制;进一步通过信息技术和自动化手段在不同的结构层次(群体、个体、器官、细胞、分子、量子)上予以控制,乃至把高度发达的生物机能作为工程系统或社会经济系统控制或决策中的“参考系”等。具体研究方向有生物控制系统(血压控制系统、呼吸控制系统、体温控制系统、神经控制系统、内分泌控制系统和肌肉起动控制系统等)、遗传及其控制、神经控制、生物行为控制、仿生学等等。

生物控制的研究一方面丰富和发展生物学的内涵,另一方面将使人们认识到的关于生物系统的原理、结构、功能等用于构造更加有效的人工系统。生物是自然界长期进化、发展的产物,对生物系统的深入了解和研究,有助于发展新型的控制理论、控制算法和控制系统。目前,迅速发展的人工智能、人工神经网络、遗传优化算法等,都是生物控制领域派生出来的引人注目的成就。构造具有人类相似的精细结构、会思维、有智慧的机器,是控制专家和科学家们长期的奋斗目标和理想。这需要生物控制技术的发展、进步和突破。

### 5.8.2 神经控制

动物和人体的控制系统基本上分为两大类:一类是神经控制系统,一类是体液调节系统。由于神经系统在脊椎动物机体的功能调节控制中起决定的作用,所以在生物控制中特别注重对神经控制系统的研究。神经控制主要研究动物及人体神经系统中信息传递、变换与处理等方面的问题。

由于神经控制是研究神经系统的控制调节问题的,因此神经元模型和神经网络的信息处理能力的研究是神经控制研究的一个最基本的方面(参见第4章)。神经系统是由大量的神经元组成的,如人类大脑皮层就大约有一百多亿个神经元,每个神经元都是一个信息处理单元。第一个神经元的数理模型是1943年麦克卡洛(McCulloch)和匹茨(Pitts)提出的。目前已经提出了一百多种不同类型的神经元模型。另外,神经元不是孤立存在的,每个神经元都与许多神经元相互联接。在人的大脑皮层中,每个神经元平均与一千个左右的神经元联接,由此构成一个复杂的神经系统控制网。因此,在对神经元进行研究的同时,还要对神经网络的信息处理能力进行研究。总体上讲,神经控制的研究重点是为神经网络建立数学模型,并通过电子技术模拟网络的活动。

目前已经提出了很多种人工神经网络模型,一方面它们在不同侧面揭示了生物神经系统的本质或功能,另一方面它们在信息处理、系统辨识、智能控制等领域已经发挥了非常重要的作用。

在开展生物神经控制系统细微结构研究与模拟的同时,人们借助计算机技术,开展了脑功能的宏观模拟。即从宏观的角度,用特殊的所谓启发式程序模拟人脑的功能,如人如何下棋,如何证明数学定理等。这些研究统称为人工智能。

此外,基于美国科学家L.扎德(Zadeh)教授1965年提出的模糊集合理论,人们建立了模糊逻辑信息处理系统和模糊逻辑控制技术,在复杂系统的信息处理和控制中发挥了惊人的作用(参见第4章)。实际上,模糊逻辑系统也是在宏观上模拟人脑,主要是模拟人脑思维过程的模糊特性。

总的说来,目前神经控制中对脑信息处理的研究、对脑模型的研究等仍较初步,但为人们研究人脑信息处理、研究脑这个复杂的自组织系统已经建立了一条有效的途径,并为发展新一代控制理论——智能控制提供了宝贵的物理原型。神经控制还有待于进一步发展完善。

### 5.8.3 仿生技术

生物体具有高度的自适应、自学习、自修复、自繁殖能力;存在于生物群体或个体中的特异功能,特别是人脑的高级神经反馈机制,为人们的研究与开发工作提供了极为丰富的高级模型。

简单地讲,仿生(Bionics)就是用人造装置对有生命物质进行模拟。广义地,仿生技术可以概括为模拟生物系统的信息加工、能量转换和力学结构,用以改进或建造工程技术系统。

仿生技术研究的内容非常广泛,大致有五个方面:

#### (1) 信息仿生

包括感官仿生,细胞内和细胞间通信、动物间通信仿生,以及智能仿生等方面。例如,模仿青蛙眼睛制成的电子蛙眼,可以用来识别飞行中的导弹。现在已投入使用的一种人造卫星自反差跟踪系统就是模仿蛙眼制成的。采用电子鸽眼改进的雷达系统,可设置在机场边缘或国境线上,它只对飞进来的飞机、导弹有反应,因而提高了发现目标的精确度。又如,模仿苍蝇嗅觉器官制成的高灵敏度小型气体分析仪,已经用于分析宇宙飞船座舱内的气体成分。

#### (2) 控制仿生

包括体内稳态调控、肢体运动控制、动物的定向导航、生态系统的涨落等。例如蜜蜂具有天然“太阳罗盘”,人们模仿它制成了导航设备偏光罗盘。又如,借助超声波回音定位,海豚在3km以外便能发现鱼类,蝙蝠在飞行中能分辨直径0.1mm的线。这些功能对提高雷达的灵敏度和抗干扰性能极有参考价值。

#### (3) 力学仿生

主要是关于动物飞行、运动动力学的研究。例如,按照海豚体形和身体各部位比例建造的新型核潜艇,速度提高了25%。又如,模拟企

鹅体形的雪地汽车速度可达 50km/h。

#### (4) 化学仿生

主要研究生物体内一些特殊的化学过程,以便使这些过程也能在工业中实现。如生物体中对于物质合成起关键作用的生物酶,比起化学工业中使用的催化剂效率要高得多,而且不需要高温、高压等条件。生物酶的模拟成功,必将给化学工业带来一场革命。

#### (5) 医学仿生

主要是研究用人工仿制品代替人的有机体的某一部分,如人工心脏、人工肾、人造假肢等等。生物医学的图像识别及医学信号的分析 and 处理也是医学仿生的研究范围。

仿生技术有着极为广阔的发展前景,各行各业、各个学科都可以从中得到启示,对生物控制无疑也起着很大的促进作用。尽管仿生技术目前还处于成长阶段,然而它的发展必将给现代生产和科学技术带来重大突破。

### 5.8.4 生物控制与中医学

中医学是我国人民经过几千年实践总结出来的一门关于人的科学,它和生物控制研究方法的共同点是注重整体性和系统性。

我国早在两千多年前已成书的《黄帝内经》,可以说是世界上最早的生物控制论著。其中记载的经络学说实质上是世界上最早的古典生物控制理论。我国古代的医学家们在“阴阳五行说”等原始唯物论与朴素辩证法思想的影响下,形成了对人体控制系统的总认识。所谓经络,它是内属脏腑,外络肢节,联系内外,沟通表里,网络全身的气血运行的通路。它将人体的五脏六腑,四肢百骸,五官七窍联系起来,使全身上下左右,前后内外,相互协调,有机地组成一个有生命的整体。所谓气血,则和控制论中信息与载体的概念十分相似。在方法上,经络学说以整体观念为基本特点,并着重论述系统的功能。如心经、肝经、脾经等术语,不是指解剖学中的某些组织与器官本身,而是关系到相应器官的生理功能的系统。此外,在经络学说中也有控制理论中的输入-输出研究方法,例如,中医的针灸就是向人体系统输入信息,中医诊断的望、



闻、问、切就是观测人体系统的输出反应。

中医长期的医疗实践与临床现象表明,经络的功能是客观存在的,但是至今在解剖上还没有发现奇异的经络实体,这引起了许多人对经络学说科学性的怀疑。经络的实质究竟是什么呢?根据经络学说的论述,从生物控制的观点看来,可以认为经络实质上是指人体整个生命活动的功能控制系统。因为它是一个功能控制系统,而不是个别的器官、组织,所以不能找到特定的实体结构。这个功能控制系统是一个以脑为控制中心的多级闭环控制系统,在经络学说中,称脑为“元神府”,它通过督脉(总督全身的阳经)、任脉(总任全身的阴经)等,控制五脏六腑、四肢百骸,而五官七窍、体表穴位则为测量装置(传感器)与外界环境发生联系。

总之,中医理论对控制科学的许多思想、观点、方法都可以有所启发和丰富。反过来,生物控制理论及技术也可以使中医学的科学性得到准确的说明和鉴定,使中医理论真正建立在科学基础上,以进一步得到发展。生物控制和中医理论的结合将为中医理论的发展开辟一条新的广阔途径。

## 5.9 生态与环境控制

人类只有一个地球,保护地球生态,保护人类环境,是造福子孙后代的战略问题,意义非常深远、巨大。生态控制、环境控制的意义正在于此。

### 5.9.1 生态控制

自然生态系统(Ecological System)在演化过程中,依靠生物与环境的相互作用自动地逼近最优目标。生命的化学组成和生理机制是长期自然选择下遗传和变异的结果。生命与环境之间构成的复杂动态反馈系统通过能量、质量和信息的交换而达到动态平衡。作为开放系统(Open System),生态的动态平衡是在耗散结构意义下远离热力学平衡态的稳定平衡。旧的平衡总是不断打破,然后又在新的条件下建立

平衡。平衡是相对稳定的,但却是不可逆的。一方的破坏或灭绝,往往导致另一方灾难性的后果。在自然生态系统中,物种越多,食物网越复杂,相对稳定性就越好。生命系统(Life System)总是在不断自我调控中协同发展。在没有人为破坏的前提下,生态平衡是自动完成的,而且是在最优意义下完成的。

生态控制的基本任务之一是用系统和信息观点和方法分析、设计、规划和控制人工生态系统的结构要素、工艺流程、反馈机制,使之最大限度地符合人类整体和长远利益。资源的合理利用和再循环、环境的综合治理和优化、在新的生态平衡格局下人类怎样适应和协调,都是生态控制研究的重点。因此,发展系统组成部分间的共生和再生关系,加强物质循环能力以提高生态效益;改善和加强系统的自我调节功能,加强各分系统间的横向反馈,实现管理和调控优化;研究人-机(Human-Machine)关系和工效,把人的主导性和适应性结合起来,是生态控制的主要目的。

### 5.9.2 环境控制

人类在高速发展工农业生产时往往忽略了保护自己赖以生存的环境质量,历史上有许多次环境惨案和事故,对生态环境产生了极大的破坏。如何保证人类社会的健康、合理、可持续发展,已经引起了有识之士的重视。许多国家、地区开始投入巨大的人力、物力和财力开展环境的保护和治理工作。

环境控制(Environment Control)就是将环境当作受控的开放系统,研究、实施有效的控制行为,使人们的生存环境质量维持在一个良好的水平。环境控制中的控制行为主要有三个方面:局部污染处理、综合环境治理和环境系统管理。

局部污染处理主要是采用自动控制的方法和技术,研制和设计污染物的处理设备,并按整体效益观点回收副产品,做到综合利用。

综合环境治理采用反馈控制的原理,开展下列工作:

- (1) 掌握环境与污染物之间的信息流;
- (2) 努力减少或阻断从资源(原料)转变为污染物的物质流;

(3) 力图削弱污染物流通途径上的能量流以把污染效应降低到最小水平;

(4) 改变或转移污染物的流动路径或方向;

(5) 按系统分析的一般步骤安排环境治理。

环境系统管理主要包括:

(1) 建设区域性或全国性环境监测系统或监测网;

(2) 根据监测系统获取的信息做出实时反馈控制;

(3) 充分利用大自然的自我净化能力和生物降解污物的能力,最大限度地降低环保费用。

在自动控制工程中,有时把环境控制理解为狭义的环境控制技术,主要包括加热、通风与空气调节(Heating, Ventilation and Air Conditioning, 简称为 HVAC)。将这种意义上的环境控制技术应用于农业生产,便是所谓的农业自动化的主要内容。它可以为生产者提供一个几乎不受自然天气条件影响的人工环境,使无土栽培等现代化农业成为可能。

## 5.10 社会经济控制

控制科学在各种工程系统中取得了举世瞩目的成就,在生物系统、生态系统及环境系统等领域也大显身手、崭露头角,人们自然会问能否开展社会控制的研究呢?答案是肯定的。然而,社会控制(Social Control)较之工程控制要复杂得多,涉及社会学、国家管理、行政管理、法与法律、经济学、人口学、企业管理等等。其研究对象是包括人在内的结构复杂、规模宏大、具有多种不确定因素的大系统,涉及人与政治、经济、道德、伦理、法律的交互作用、相互影响。所以,要完整地解决社会控制中的所有问题还需要管理阶层、决策阶层、控制科学家以及其他领域的专家共同长期的努力,也许还需要发展新的方法和理论。目前,社会控制中相对成熟的是社会经济控制(Socioeconomic Control)。

简单地讲,社会经济控制就是将控制科学中的原理、概念和方法应用于经济领域(包括经济活动和经济管理)。它有两个突出的特点:

(1) 将社会经济系统 (Socioeconomic System) 看成是一个具有反馈调节,特别是信息反馈的控制系统;

(2) 对社会经济系统进行定量的描述与处理,以求达到最优控制,作出有效、合理的经济决策。

社会经济控制的主要任务是:给出最优的经济决策,通过最优的经济管理,实现预期的经济指标。社会经济控制的主要内容包括以下几方面:

(1) 建立社会经济控制系统的数学模型;

(2) 通过计算机仿真比较各种方案,寻找最优或次优的经济决策;

(3) 运用自动控制理论、系统工程、运筹学等方法 and 工具,从整体上研究社会经济控制系统的各种特性,特别是系统的稳定性;设计相应的施控系统,通过信息反馈对其受控系统进行及时的、有效的自动调节和控制,力求通过最优的途径保证指标或目标的实现;

(4) 建立完善而合理的经济信息系统。

我国已将社会经济控制的理论和方法,应用到国民经济计划的制订、修改和国家宏观经济调控、政策制订及其效果分析等。

## 5.11 大系统控制与系统工程

现代科学技术正在以前所未有的高速度飞快发展,一方面学科越分越细,产生了越来越多新的学科分支、学科领域;另一方面,学科之间相互渗透、相互影响,形成了许多崭新的交叉学科、交叉领域。尤其是后者更加引人注目,过去不太相关的学科今天正在有机地结合,为人们解决以前单一学科望尘莫及的各种问题提供了可能,是现代科学技术发展中一个显著的特点。大系统理论、系统工程就是这样正在形成和发展的科学技术。

### 5.11.1 大系统控制

简单地讲,所谓大系统就是规模宏大、结构复杂的系统。例如,现代大型企业的多级计算机管理和控制系统(如大型钢铁联合企业),大

型工程项目的计划协调与组织管理系统(如长江三峡施工组织管理系统),全国性或地区性的供电网络的调度、管理和优化运行系统,社会经济系统,大都市的交通管理与控制系统,环境生态系统以及航天运载火箭、洲际导弹等,都是典型的大系统。

为了适应大规模复杂系统的广泛应用,在现代控制理论的基础上,形成了所谓的大系统理论。大系统理论研究的对象是规模庞大、结构复杂的各种工程或非工程系统的自动化问题。它不仅包含工程的因素,而且还包含着人和社会的因素。主要研究内容有大系统建模、分析与综合等方面,包括研究系统结构、模型简化、控制方案、系统稳定性以及最优化等。

在目前大系统的研究中,主要有三种控制结构方案,即多级(递阶)控制、多层控制和多段控制。

(1) 多级(递阶)控制

这是受到广泛注意的方案,以三级递阶结构为例,结构图如图5.17所示。其中,第一级为局部控制级,它直接控制大系统的各局部过程或对象,构成各局部的小系统;第二级为递阶控制级,它对第一级各子系

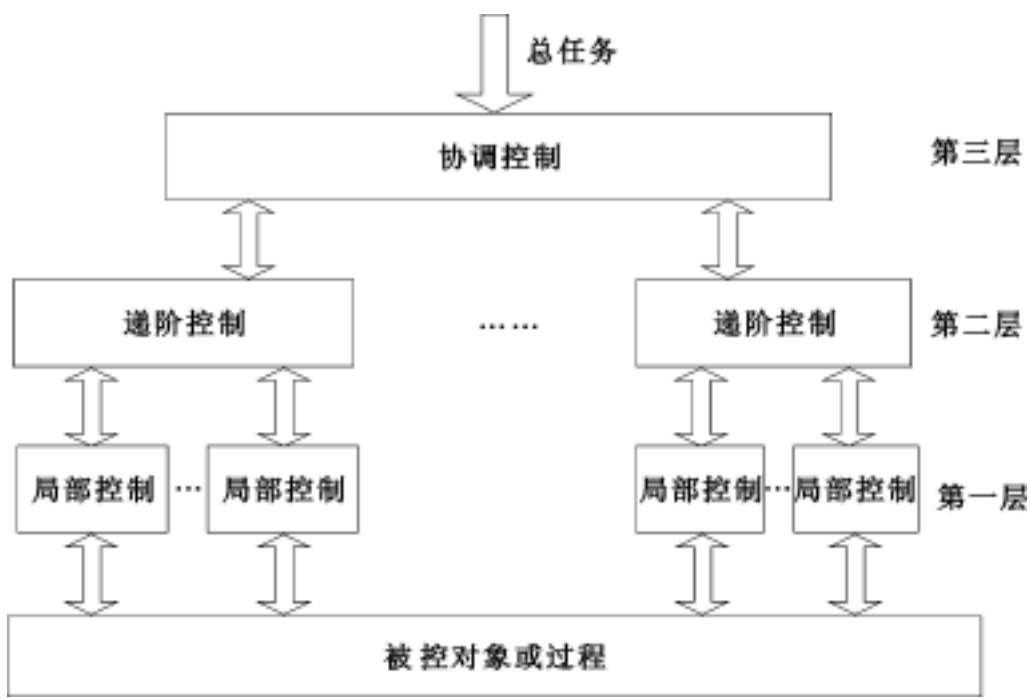


图 5.17 三层递阶控制结构

统进行协调控制;第三级为协调控制级,根据大系统的总目标,对第二级进行协调控制,完成大系统管理、控制的总任务。这是一种金字塔式的递阶控制结构。

在我国的四川化工总厂实现了对大型合成氨装置和在沧州化肥厂实现了对大型合成氨及尿素装置的多级(递阶)控制,并总体最优化。

(2) 多层控制

多层控制方案的特点是按任务或功能分层。较高层的任务功能较复杂,所受扰动因素变动较慢;较低层的任务功能较简单,所受扰动变化较快。各层之间的关系具有“分工”性质,上下层之间也有隐含的“支配”与“被支配”的关系。这种结构具有纵向的信息交换,除了由上层到下层的信息交换之外,还有从被控过程或对象到各层的反馈信息。

大系统的多层控制结构方案如图 5.18 所示。其中,第一层为直接控制层,它根据最优控制层的指令,直接控制生产过程或被控制对象的运行状态,克服快变化的扰动的的影响;第二层为最优化层,它根据给定的目标函数、约束条件及系统的数学模型,进行最优化控制;第三层为自适应层,它根据对象特性或运行情况变化,对最优化层的目标函数、

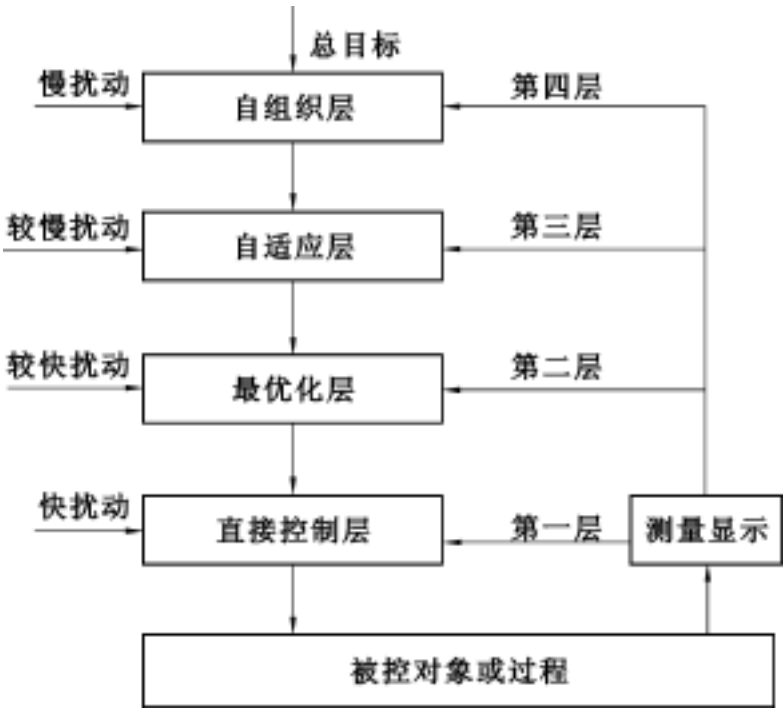


图 5.18 多层控制结构

约束条件及数学模型进行适当的修正,保证系统最优运行;第四层为自组织层,它根据大系统的总目标和总任务,考虑环境变化的条件,制定决策、计划协调与组织管理。

(3) 多段控制

多段控制结构方案的特点是按被控过程时间分段,根据被控过程先后时间顺序或“航程”,将全过程分为若干时段,每一时段形成一个小系统,如图 5 .19 所示。这里的协调模块按衔接条件进行协调,把前时段终点边界条件与后时段初始边界条件衔接起来,完成全过程的控制任务。

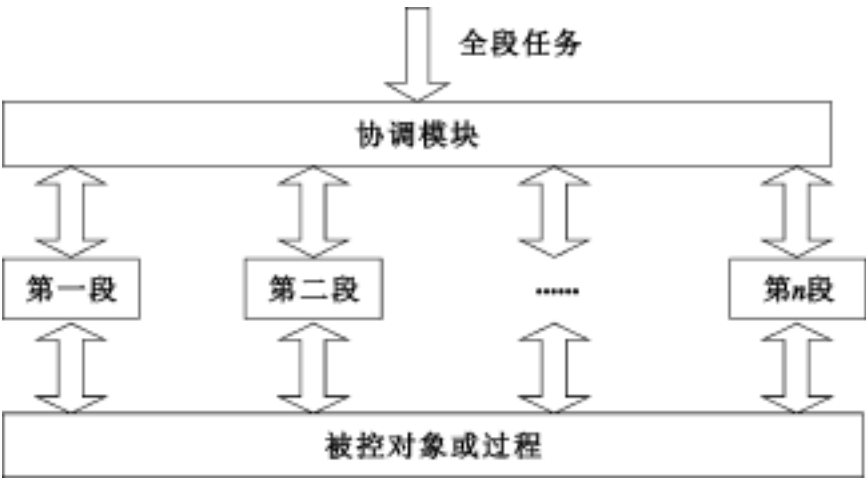


图 5 .19 多段控制结构

5 .11 2 系统工程

(1) 系统的概念

系统工程是以系统(特别是大系统)为研究对象的一门跨学科的边缘科学。它是根据总体协调的需要,把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等从横的方面有效地组织起来应用于人类实践中,是应用现代数学和电子计算机等工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和自动控制等进行分析、研究,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标,是为更加合理地研制和运用大系统而采取的各种组织管理技术的总称。

系统工程的研究对象主要是大系统。像“阿波罗登月计划”那种举

世闻名的大系统,全部构件达 300 多万个,调动了 2 万多家公司、工厂和 120 所大学、实验室的 42 万余名研制人员,耗资 300 多亿美元,历时 11 年,终于把人送到月球又安全返回地面,取得了实验的成功,就是系统工程的典型运用。如此庞大而复杂的系统,如果有一个环节发生故障或延时完成,都会使飞船无法按期发射。但是由于采用了系统工程的方法,使大量的组织管理技术得到协调平衡,环环扣紧,从而顺利地完成了计划。

### (2) 系统工程与自动化的关系

系统工程与自动化密切相关。任何现代化的大系统都是与自动化密切相关的,越是庞大的、复杂的系统就越需要自动化;而自动化水平越高的系统,就越要用系统工程的方法去实现。许多现代企业已经逐步由生产线的自动化发展到车间自动化,甚至全厂性的综合自动化,即前面讲的计算机集成制造/生产系统。而在发展这些自动化系统时,往往需要运用系统工程。可见系统工程和自动化是相互依赖、密不可分的。

### (3) 系统工程的应用范围

系统工程涉及的领域非常广泛,除了各种工程领域,还涉及社会、经济、政治、军事、文化、教育等领域。其应用范围包括国家系统、社会系统、军事系统、生产系统和各种工业系统,以及流通服务系统、自然对象系统、人体对象系统等等。目前被人们广泛重视并取得有价值结果的应用领域有社会系统工程、宏观经济系统工程、区域规划系统工程、环境生态系统工程、能源系统工程、水资源系统工程、运输系统工程、农业系统工程、工业及企业系统工程、工程项目管理系统工程、科学管理系统工程、智力开发系统工程、人口系统工程、军事系统工程等。

## 思 考 题

5.1 试列举五种你认为对人类生产和生活最有影响的自动化技术或系统。

5.2 计算机技术和自动控制或自动化技术有非常密切的关系,试举例说明之。

5.3 从控制的角度,现代工业可以分为哪些类型?它们各具有什么样的



特点？

5.4 试分析计算机数控系统的信息流动过程,并指出反馈原理是如何在其中表现的。

5.5 简要说明刚性生产线、柔性制造系统和计算机集成制造系统的基本含义,并分析三者间的相互关系。

5.6 和集中控制相比,分布式控制系统有哪些主要优点？

5.7 CIMS 和 CIPS 分别代表的含义是什么？对比分析 CIMS 和 CIPS 的异同点。

5.8 电力系统为什么需要自动化？试列举若干电力系统中的具体自动化技术或设备。

5.9 飞行器控制的主要问题是什么？制导系统与姿态控制系统的区别在哪里？能否认为制导就是轨道控制？

5.10 导弹姿态控制有哪些主要组成部分？试给出一种导弹姿态控制系统的原理框图。

5.11 什么是智能建筑？它主要涉及哪些自动控制技术？

5.12 智能交通系统和传统交通系统有什么差别？你认为自动控制工程师和研究人员在智能交通系统的发展中能起怎样的作用？

5.13 你认为我国发展智能交通系统将会遇到哪些问题？哪些问题应该优先考虑？

5.14 简要分析生物控制与生命科学的关系。

5.15 试指出并分析计算机技术和自动控制技术在中医学中的可能应用。

5.16 根据你的经验和知识,详细说明生态和环境控制的重要性。

5.17 社会经济控制包含哪些主要研究内容？

5.18 试列举一个你认为最复杂的大系统,并说明它可以用何种大系统控制结构方案来进行有效控制。

5.19 系统工程的主要研究内容有哪些？系统工程和自动化有什么样的关系？

5.20 试列举 2~3 个本节介绍内容之外的控制和自动化技术应用领域。

## 6 控制和自动化的展望

自动化技术的发展水平是一个国家在高技术领域发展水平的重要标志之一,它涉及到工农业生产、国防建设、商业、家用电器、个人生活诸多方面。本章将通过几个当前发展较快的领域来讨论自动化技术以及控制科学与工程学科未来的发展。

### 6.1 计算机集成制造系统

#### 6.1.1 计算机集成制造系统(CIMS)的产生和发展

计算机集成制造(Computer Integrated Manufacture,简称 CIM)是随着计算机和自动化技术在制造领域中广泛应用而产生的一种生产模式,而计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,简称 CIMS)则是在计算机集成制造思想指导下,逐步实现企业生产经营全过程计算机化的综合自动化系统。

计算机集成制造的初始概念产生于 20 世纪 50 年代。随着数字计算机及其相关新技术的出现,对于制造业产生了积极的影响,导致了数控机床的产生。随着计算机技术的进一步发展,接着陆续出现了各种计算机辅助技术,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)等。到了 20 世纪 60 年代早期,随着现代控制理论与系统论概念和方法的急剧发展,在制造业中产生了利用计算机不仅实现单元生产柔性自动化,并把制造过程(产品设计、生产计划与控制、生产过程等等)集成为一个统一系统的设想,同时试图对整个系统的运行加以优化。这样,计算机集成制造的概念在 20 世纪 60 年代后期便产生了。1969 年,计算机集成制造系统的概念开始以模型来描述,如图 6.1 所示。

从 20 世纪 70 年代直至 90 年代初期,世界上各工业发达国家都付

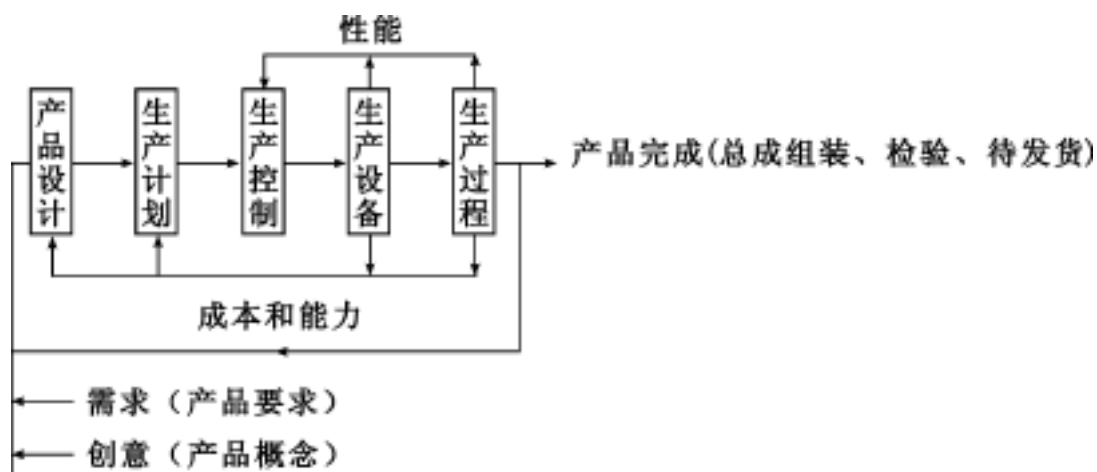


图 6.1 计算机集成制造系统的初始概念(1969 年)

出了极大努力,将计算机集成制造的概念和技术加以发展,并不断付诸实践,期望获得重大效益。这些期望的效益包括:

- (1)降低生产成本;
- (2)提高生产效率;
- (3)提高生产的柔性;
- (4)增强产品对市场的适应性;
- (5)提高产品质量;
- (6)减少生产准备时间和库存;
- (7)增加企业员工对企业的满足感;
- (8)增加用户满意度。

然而,世界上只有少数几个公司在实施计算机集成制造系统中取得示范性的效益,而大多数公司却几乎失败了。后来,人们逐渐认识到,制造企业缺乏适应计算机集成制造系统需要的合格工程师,而计算机集成制造系统技术对于忽视人力资源要素造成的影响又特别敏感。国际标准认证组织(ISO)的标准(TC184/ SC5/ WG1,1992 年)提出:计算机集成制造是把人及其经营知识和能力与信息技术、制造技术综合应用,以提高制造企业的生产率和灵活性。显然,ISO 标准关于计算机集成制造的定义,是对人及其能力与技术的并重。由此,计算机集成制造系统的功能开始将一个企业所有的人员、功能、信息和组织集成为一个整体。在 20 世纪 90 年代,人们基于这一新的认识,产生了制造系统运作的新观点,即首先培养并使用从事制造业的人的能力,进而开发先

进的制造技术。这意味着整个行业在放弃首先开发制造技术,然后利用人的能力来支持技术的传统观念。或者说计算机集成制造概念从以技术为中心转向以管理为中心。人力资源要素对制造企业实施计算机集成制造系统技术的成败起着关键的作用。

### 6.1.2 计算机集成制造系统所涉及的自动化技术

计算机集成制造系统是多学科的交叉,涉及到许多不同的技术领域。现在仅就涉及的自动化技术加以说明。

(1) 数控技术。制造业的基本工具是各种类型的机器,而现代机器则以数控(NC)技术为基本的控制操作手段。尤其是大型加工中心(Machining Center),具有复杂的结构和控制系统。我国在数控技术领域已经取得举世瞩目的成就,但与世界先进水平尚有很大差距。

(2) 计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)等。这是借助于计算机进行零部件设计和加工的自动化系统,可以大大提高效率。我国在此领域发展很快,在全国的各类企业普遍推广,但需要继续提高才有可能达到国际先进水平。

(3) 立体仓库与自动化物料运输系统。计算机集成制造系统中一项重要技术就是物料的自动化管理和配送。立体仓库就是实现物料管理的全部自动化,由仓储单元、机器人和相应的管理软件等构成,可以实现物料的自动存取。而自动化物料运输系统可以是供料线,也可以是自动小车等,达到物料的自动输送。我国云南的红河烟厂已经安装了全部国产的立体仓库与自动化物料运输系统,取得了很好的效果,但我国的总体技术水平还不高。

(4) 自动化装配与工业机器人。这是实现制造业自动化的关键技术之一,用机器进行零部件的自动装配,其中关键的是各种装配机器人,需要快速性与精确性的高度结合。除了合理有效的机器人结构外,有效的控制算法也是十分重要的。我国在此领域起步较晚,目前的水平还不是很高。

(5) 计算机辅助生产计划制定。制造业的理想状况就是完全根据用户需求和企业生产资源配置最优地制定生产计划,即达到最大限度

地满足用户需求,最经济合理地利用生产资源,和最大限度地提高经济效益。然而这是一个非常复杂的规划问题,只有借助于计算机和各种计算方法才有可能达到相对最优的状况。

(6) 计算机辅助生产作业调度。制造业中一个很复杂的问题是生产作业调度,即被加工的各种工件在资源(机床、输送线、机器人等)中的路径选择和时序安排的问题。其中有许多不确定因素的影响,如单台机器对具体工件的加工时间延迟、机器的故障等。近年来关于调度问题在理论上建立了各种各样的模型,主要是以离散事件动态系统(DEDS)理论为基础的各种模型,包括排队网络模型、数学规划模型、自动机模型、Petri 网模型、极大代数模型、摄动模型等。但是,目前最实用的还是各种启发式算法。

(7) 质量监测与故障诊断系统。产品制造的质量对企业经营至关重要,而利用各种方法对产品和零部件进行在线质量监测,则是保证产品质量的重要手段。同时,设备的运行正常与否也是影响产品质量的重要因素,而如何根据各种量测信息在线判断设备的运行状态并进行故障检测与诊断,也是一项关键技术。目前我国在此领域已经取得重要进展,技术仍在发展中。

(8) 办公自动化与经营辅助决策。现代企业的重要标志之一就是信息化与自动化水平。实现办公自动化是实施计算机集成制造系统的一个重要条件。但是,除了提高办公效率之外,对企业而言非常重要的是商业信息、市场预测和经营战略的调整。计算机辅助决策系统将有助于企业完成经营决策的制定。

### 6.1.3 我国发展计算机集成制造系统技术的前景

为跟踪国外计算机集成制造系统这一先进技术,我国在 1987 年开始实施“863 高技术计划”的CIMS主题,这一时期国外正强调计算机集成制造系统的核心是“集成系统体系结构”。我国在实施中不可避免地受其影响,经过 10 多年的努力实施,有成绩,也有教训。我国取得的主要成绩可概括如下:

以少量的科技投入,鼓励一批专业技术人员很快初步掌握了计算

机集成制造系统及其单元技术,为我国发展该领域的高技术奠定了基础。经过几年的努力,在高校、企业已经培养了一大批掌握计算机集成制造系统技术及相关技术的人才。

高等院校的科技人员积极走向社会,与企业结合,大力在企业中推广计算机集成制造系统及有关单元技术,使企业具有了应用高技术、提高综合竞争能力的现代企业意识。

通过计算机集成制造系统计划示范项目的实施,推动了企业应用信息技术,提高了生产效率和经营管理水平,为探索我国大中型企业在现有条件下发展计算机集成制造系统高技术及其产业化道路提供了经验和教训。部分企业取得了明显的经济效益。开发建立了若干具有自主版权、且已初步形成商品的软件产品。

建立了计算机集成制造系统工程技术研究中心和一批实验网点与培训中心,为计算机集成制造系统技术的研究、试验、人员培训打下了良好的基础。清华大学的 CIMS 工程中心、西安交通大学 CIMS 中心等完成了一系列重点示范工程,取得举世瞩目的成就,为国家赢得了荣誉。

但是,为了进一步发展和推广应用计算机集成制造系统技术,仍然存在一些值得思考的问题,这包括:

(1) 基础研究与工程应用的关系问题。在未来实施计算机集成制造系统项目时,一定要把基础研究和工程应用严格区分开来。未经实验验证的基础研究成果不能直接应用于工程实际。与此同时,主管部门应积极支持基础研究,并力争把更多的基础研究成果转化为现实应用技术。

(2) 局部集成与企业整体集成的关系问题。在实施计算机集成制造系统的企业中,不能单纯强调企业的整体集成,必须根据企业发展的实际状况以及对计算机集成制造系统的需求,有步骤、有计划地实施单项技术的局部集成,条件成熟后再进行整体集成。否则,将可能造成投资负担,甚至使企业面临严重的决策失误。

(3) 做好试点与推广的问题。计算机集成制造系统本身属于多学科、多专业知识的高度综合,也是管理科学与技术科学的高度综合。因

此,实施计算机集成制造系统的企业需要具有相当好的技术基础与管理基础,需要有比较高的经济效益支持。另外,计算机集成制造系统的实施需要高投入,而我国绝大多数企业在近期内仍不具备这些条件。因此,开展计算机集成制造系统的研究与试点工作是必要的,等条件成熟后再大面积推广。

计算机集成制造系统必定是未来制造业的发展方向。

## 6.2 机器人应用于生产和社会生活的各方面

### 6.2.1 机器人发展概况

机器人作为人类 20 世纪最伟大的发明之一,在短短的 40 年内发生了日新月异的变化。机器人已经不仅成为先进制造业不可缺少的自动化装备,而且正以惊人的速度向海洋、航空、航天、军事、农业、服务、娱乐等各个领域渗透。

机器人主要分为两大类:用于制造环境下的工业机器人(如焊接、装配、喷涂、搬运等机器人),和用于非制造环境下的特种机器人(如水下机器人、农业机器人、微操作机器人、医疗机器人、军用机器人、娱乐机器人等)。

20 世纪 80 年代中期,技术革命的第三次浪潮冲击着全世界,在这个浪潮中,机器人技术起着先锋作用,工业机器人总数每年以 30% 以上的速度在增长,推动汽车工业形成全球规模的产业。在智能机器人的研究开发方面,美国国防部提出了自主陆行车(ALV)计划。欧洲尤里卡计划提出了自主机器人计划。日本通产省组织开展了在极限环境下作业的机器人计划。

智能移动机器人是机器人研究领域中的一个重要分支。智能移动机器人集人工智能、智能控制、信息处理、图像处理、检测与转换等专业技术为一体,跨计算机、自动控制、机械、电子等多学科,成为当前智能机器人研究的热点之一。智能移动机器人可分为室外智能移动机器人和室内移动机器人。而室外智能移动机器人又称自主陆地车辆或无人

驾驶车辆。

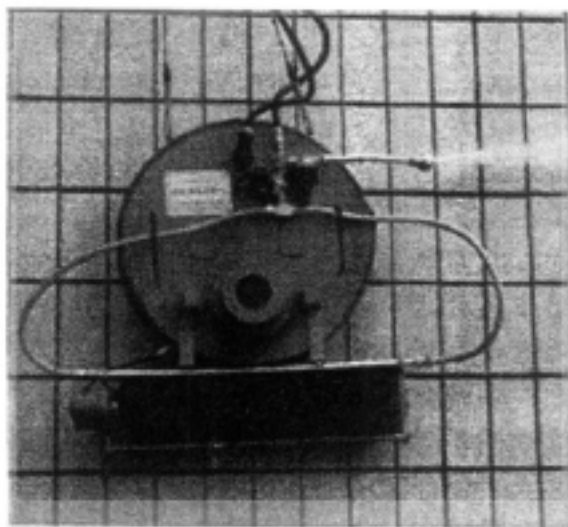


图 6.2 机器人正在清洗瓷砖壁面

机器人也正在向个人机器人的方向发展。个人机器人被视为后 PC 时代的标志,于 1999 纷纷问世。最典型的是 1999 年日本索尼公司生产的“ AIBO ”和美国 Tiger Electronics 生产的“ Fabe ”相继在日、美两国上市。AIBO 是外形像哈叭狗的机器人,有头、躯干、尾巴,还有四条带关节的腿。尽管它的售价高达 25 万日元(约 2200 美元)。而且限量出售(在日本出售 3000 只,在美国出售 2000 只),但是在日本仅 20 分钟 3000 只便一售而空。Fabe 比较简单,像绒布制的玩具,但上市那一天玩具店后门也排起了长队。与此同时,各种特种机器人如高楼洗壁机器人(图 6.2)大量问世,改变着人们的生活方式。

特种机器人在海洋与农业、服务与医疗、生物与基因工程、航空与航天等领域的应用显示出强大的生命力,如安全微创的脑外科辅助定位机器人、雕刻机器人、导游机器人等都进入实用化阶段,其中许多产品已开始了产业化,形成机器人新的技术与经济增长点。

始于 20 世纪 80 年代中期的多机器人、特别是双机器人协调运动控制问题,以其广泛的工程应用需求和大大高于单机器人的控制复杂程度吸引了众多学者的研究兴趣。经过十几年不懈的基础研究和实验探索,人们在多机器人运动描述方法、编程语言、协调控制的策略与方法、动力学控制、载荷分配、抓取规划、工作空间和防碰撞等诸多方面积



累了丰富的研究成果。近年来,多机器人系统的理论研究又进一步扩展到多机器人的协作与组织的方法,形成了称作“协作机器人学”的新的研究领域。

机器人正在科学技术以及人们日常生活的各个领域发挥着特殊的作用。

### 6.2.2 机器人涉及的自动化技术

机器人是多学科技术合成的产物。但是,自动化仍然是机器人的核心技术,对机器人的研究和发展起着举足轻重的作用。现就机器人所涉及的自动化技术作简单介绍。

(1) 变结构控制与学习控制。对于固定位置的机器人,无论是简单的机械手,或者是复杂的多机器人协调运动,其运动控制由于固有的非线性和结构的柔性而变得非常复杂。多关节机械手是一个典型的非线性对象,传统的反馈控制很难保证其控制精度。变结构滑动模控制一直是机器人控制研究的重点,因其直观上的合理性而得到特别的重视。但是,由于滑动模切换容易引起局部振颤,所以在高精度定位控制中很难奏效。近年来关于滑动模控制又有新的进展,自适应滑动模控制等新方法对传统的方法做了重要的改进。其次,在许多场合中,特别是装备机器人工作的场合,这种运动往往是重复的动作。轨迹规划、学习控制等是适合这类对象的控制方法。有关柔性杆的控制则变得更加复杂。

(2) 机器视觉与机器智能。在所有机器人传感器,包括机器听觉、机器视觉和机器触觉等研究中,机器视觉是最有挑战性的。如何获取场景和目标的图像信息,并把其处理成机器能够理解的特征或模式,是机器智能中非常困难的研究课题。现在,机器视觉的研究已经取得了重大进展,关于图像分割、特征提取、模式分类等关键技术都取得长足进展。关于人体特征识别、运动目标视觉跟踪、三维视觉图像重构等都有了新的发展。一个机器智能广泛应用于生产过程和日常生活的时代即将到来。

(3) 智能控制与信息融合。移动机器人是机器人研究中的热点之

一,分为室外智能移动机器人和室内移动机器人两大类。室外智能移动机器人所涉及的关键技术包括移动机器人的控制体系结构、机器人视觉信息的实时处理、车体的定位系统、多传感器信息融合技术,以及路径规划技术与车体控制技术等。由于室外移动机器人不但在军事上存在特殊的应用价值,而且在公路交通运输中有着广泛的应用前景,因此引起世界各国的普遍重视。在这方面,美、德、法、日等国走在世界的前列。所谓路径规划导航与控制,就是根据运动目标以及传感器对周围环境的检测信息,对移动机器人的运动路径进行规划,并按规划的路径进行导航与控制。所谓多传感器信息融合,就是对于各种(同类或异类)传感器获取的不同信息进行联合处理,以获得准确性更高、更具有利用价值的综合信息。

机器人涉及到自动化技术的方方面面。

### 6.2.3 迈向 21 世纪的中国机器人

1986 年我国把智能机器人列为高技术发展计划,研究目标是跟踪世界先进水平,工作内容主要是围绕特种机器人进行攻关。国家“七五”科技攻关将工业机器人和水下机器人的研究和开发列入计划,组织了点焊、弧焊、喷漆、搬运等类型的工业机器人的攻关,使中国工业机器人一起步就瞄准了实用化方向。

我国在完成 1000m 水下无缆自主机器人的研制后,又开展国际合作,成功地研制了 6000m 水下无缆自主机器人,并实现了工程化。1995 和 1997 年在夏威夷东南太平洋 5800m 水深处成功地进行了两次大洋探测试验,用它进行海底录像、摄影、海底地势与水文测量和海底多金属结核丰度测量,自动记录各种数据,取得了海底锰结核分布的宝贵资料,使我国成为世界上少数几个具有深海探测能力的国家之一。

受国家“863 计划”机器人主题办公室支持,由中国科技大学研制的“全光学生物微操作系统”,通过光来完成对生物细胞、细胞器及其他微小粒子的微加工。激光光镊可以在三维空间拖动微粒,使之准确定位,用来完成分选粒子(或细胞),使两个或多个粒子相互密接,从而观察其相互作用。激光光刀则对被光镊夹持的“工件”进行穿孔、基因传



图 6 3 焊接机器人

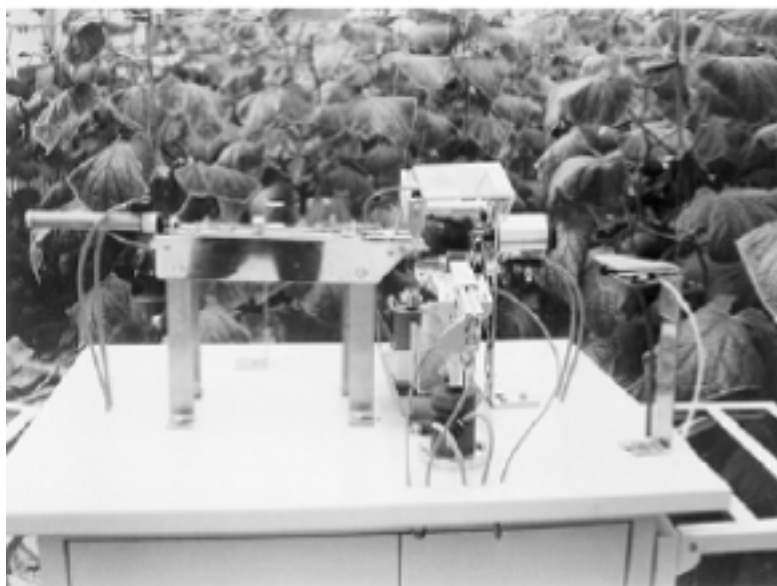


图 6 4 蔬菜嫁接机器人

导、细胞器切割、焊接等加工。光学处理的另一特点是在不操作粒子(细胞)表面情况下,深入其内部进行操作或微加工。该系统已成功地运用于选择性细胞融合、染色体切割与分选、基因传导等生物医学领域,达到世界先进水平。

机器人技术辐射到国民经济的相关领域,激活了企业产品更新换代,在工程机械方面表现尤为突出。例如,由徐工集团开发的机器人化装载机、智能型沥青混凝土自动摊铺机,通过将机器人技术应用在传统

工程机械产品上,提高了产品的技术含量和可靠性,增强了市场竞争力。目前在 16 类工程机械中,我国正在进行 9 类工程机械产品的机器人化与智能化开发。我国相继完成了无人驾驶振动式压路机、隧道凿岩机、大型喷浆机、机器人化装载机、自动摊铺机等机器人化工程机械的研究、制造,在国家基础设施建设和西部大开发中一显身手。

我国在研制出遥控移动机器人及爬壁机器人以后,又根据市场需求开发出排爆机器人、面壁清洗机器人、多种口径的管道机器人、医疗辅助机器人、足球机器人等。由北京航空航天大学、清华大学、海军总医院联合研制的脑外科医疗辅助定位机器人,即基于医学图像轮廓线提取、三维重构、手术路径规划与导航,研制出新一代面向无框架立体定向手术的机器人化导航系统及操作平台。该系统已成功地为 130 位患者进行手术,实现了脑外科手术的安全与微创。由西安交通大学等研制的机器人视觉系统,可完成运动目标跟踪等。

在 863 计划的支持下,国家机器人主题专家组与从事机器人科学研究、产品开发、应用工程的科技人员和企业界共同努力,艰苦奋斗,取得了一大批科研成果。未来中国的机器人发展将会有新的突破。

## 6.3 高速列车和太空飞行器的智能控制

### 6.3.1 高速列车简介

“春城号”是我国目前唯一的动力分散型电动车组高速列车,由长春客车厂、株洲电力机车研究所和昆明铁路局联合开发。该车的电力传动系统是在我国第一列 KDZ1 型电动车组的基础上采用近年来电力机车交直电传动的成熟技术和最新开发的微机控制技术设计而成的。车组的持续功率为 2160kW,持续速度 75km/h,最高运行速度 120km/h,具有空电联合、电制动优先、电子防滑、空重车调节、储能停车制动等先进的功能。另外,全车还装有多单元重联通信、诊断、显示的微机系统,具有牵引制动特性控制,空转保护,过流、过压、超速保护,总线通信重联控制,自动过电压分相控制,总线传输的信息采集和显示

功能。图 6.5 就是“春城号”。



图 6.5 快速列车的牵引车头

200km/h 交流传动电动车组是在 200km/h 交直传动电动车组及 DJ 型交流传动电力机车基础上,采用了交流传动技术,设计了较大细长比的流线型头形、轻量化鼓形车体、动力学性能较好的小轮径动力车转向架等,动力车和拖车车体采用了统一的断面轮廓,减小了断面,使两相邻车箱距离缩小,架装了导流板,而控制系统采用了 MITRAC 分布式微机控制装置等,使该车组技术性能进一步完善和提高。

我国引进德国制造的磁浮列车,于 2002 年 12 月 31 日在上海试运行通车,图 6.6 是高速行驶中的上海磁悬浮列车照片。当日上海磁浮示范运营线试运行通车,磁浮列车单程行驶 8min,行驶里程 30km 达到设计最高时速 430km/h。

上海浦东高速磁悬浮铁路正线全长 30km,将上海市区与东海之滨的浦东国际机场连接起来,单向运行时间约 8min,平均运行速度达到每秒 60~70m。

上海磁悬浮设计时速和运行时速分别为 505km/h 和 430km/h,是目前为止在商业运营中跑得最快的列车。此外,上海磁浮列车项目还是世界上第一条投入商业化运营的高速磁浮线路,目前每天运营时间:8:30-17:30,每 20 分钟一班。这是中德两国在高科技领域合作的最新



图 6.6 高速行驶中的上海磁悬浮列车

成果。

### 6.3.2 人类太空飞行与 国际空间站

自古以来太空飞行就是人类的梦想,只有到了 20 世纪,这个梦想才变成现实。自从前苏联的加加林首次登上飞船遨游太空以来,人们就不断地进行太空飞行试验和建立空间站。

国际空间站是一座有两个标准足球场大小的空间站,将成为人类历史上第一个完备的太空实验室。这样的太空实验室能够进行许多项目的科学研究。科学家们预测,在今后太空实验室里培育出来的种子,会引起一场新的“农业革命”。在国际空间站,科学家们将研制最理想的半导体材料,在太空里寻找治病的新方法。科学家相信,今后在太空实验室人们能够逐步掌握人体蛋白质的构造和特点,同时研制出能够附着在有缺陷的蛋白质上的药物,从而可治愈如艾滋病、癌症、心脏病等多种疾病。当然,太空实验室里的研究项目还远不止这些。可以预料,本世纪里,太空中将不断传回令人振奋的科技成果报告。

我国于 2000 年成功发射了神舟二号飞船。飞船在太空飞行的几天中,进行了一系列的空间材料、空间天文和空间生物等实验。在这艘

飞船上装有空间晶体生长炉、空间生物培养箱、宇宙天体高能辐射监测仪、大气密度探测器等实验设备,俨然一个太空实验室。

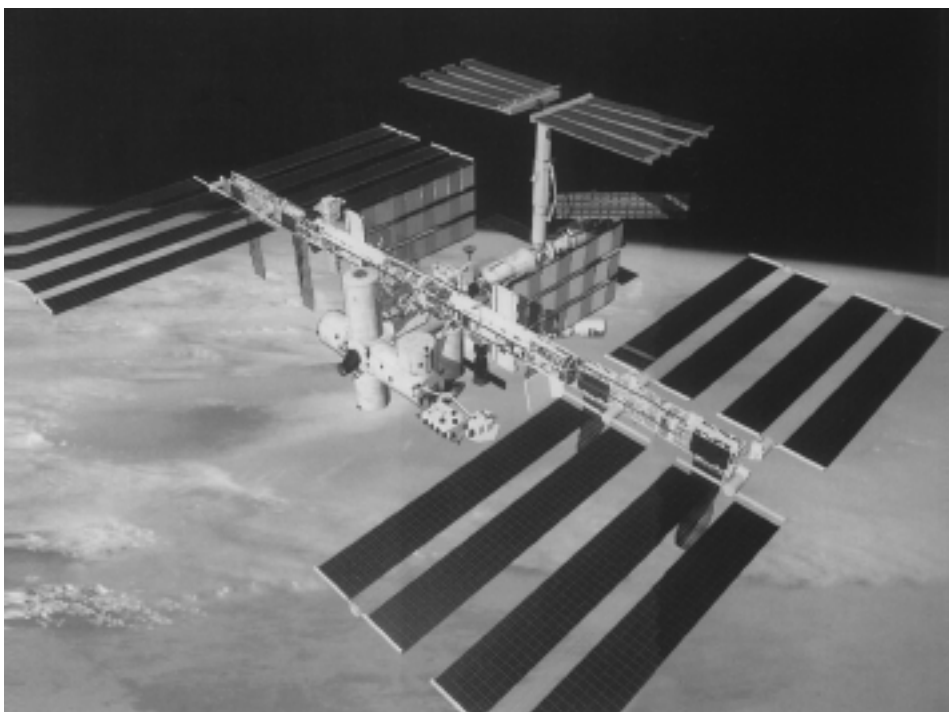


图 6.7 国际空间站

神舟二号飞船的三个舱段的各个角落,几乎都安装了大大小小的科学实验设备,返回舱有 15 件,轨道舱有 12 件,附加段竟有 37 件。由这 64 件第一次上天的仪器设备组成的“军团”,组成了一个太空实验室。这些仪器设备各有各的用途,有进行空间材料科学试验的多工位空间晶体生长炉和空间晶体生长观察装置;有进行空间生命科学试验的空间蛋白质结晶装置和空间通用生物培养箱;有进行空间天文观测的太阳和宇宙天体高能辐射监测仪,包括超软 X 射线、X 射线和  $\gamma$  射线探测器;有进行空间环境探测的大气成份、大气密度和固体径迹探测器;有有效载荷公用系统,还有微重力测量仪等。

2003 年 10 月 15 日,我国神舟五号载人飞船发射成功。图 6.8 是神舟五号载人飞船发射前的照片。

神舟五号载人飞船回收控制系统,为我国神州五号回收系统中核心部件,是飞船回收舱开伞系统的关键控制单元,为飞船回收提供精确的高度控制信号。当飞船回收舱进入大气层,在到达距地面 11km 高空时,静压高度控制器就会自动启动,发出精确的高度控制信号,指令



图 6.8 发射前的神州五号

飞船拉出引导伞、降落伞、减速伞及主伞。如果主伞出现意外,该控制器将在距地面 6km 高度下再次发出信号,启动备用伞,保证飞船回收百分之百安全降落。该系统同时还为飞船自动抛掉返回舱防热大底和航天员缓冲座椅升起等方面提供可靠的数据支持。神州五号飞船的控制器在生产过程中对环境的要求非常高,生产厂房为全封闭式的,其净化要求近乎于真空。

1998 年 9 月我国某公司生产的高质量、高可靠性的控制器,被安装在神州系列飞船上。从神州一号到神州五号飞船的顺利飞行和返回,充分验证了控制系统是完全可靠的装置,为我国首次载人航天飞行成功立下了汗马功劳。

该控制系统的各项技术指标要求十分苛刻,就拿承受冲击强度来说,控制器必须要达到 1 500G,即在相当于时速 200km 的汽车对撞产



生的巨大压力下,仍毫发无损地正常工作。

图 6.9 是神舟五号载人飞船航天员杨利伟走出回收舱后的照片,这是一个历史性的镜头。



图 6.9 航天员杨利伟走出回收舱

### 6.3.3 用于高速列车和太空飞行器的智能控制

无论是高速列车,或者是空间飞行器,都面临着非常复杂的控制

问题。

高速列车在钢轨上高速行进,如果控制不当,巨大的离心力足以使其在拐弯处倾覆,而所有关键部件的运行状态则涉及到旅客的人身安全。关于高速列车的智能控制一直是个热门的研究课题,即根据机车运行状态及时地调整列车的摆动位置。这种高速响应的控制必须用智能控制方法来完成。其次,高速行进中的列车制动器、减振簧等关键部件,需要不断地检测其运行状态,并进行故障诊断,这也需要智能检测和信息融合(Information Fusion)技术。

空间飞行器控制也是非常复杂的,除了发射阶段的控制之外,轨道控制需要智能控制方法。此外,在神舟二号飞船上还安装有大气成分探测器、大气密度探测器、径迹探测器,以监视空间环境的变化,为空间环境预报和报警提供实时监测数据。即利用空间环境预报中心,收集、综合、分析国内外卫星和地面观测数据,提供飞船运行轨道的有关大气参数及太阳活动和地磁活动参数,预报飞船发射、运行期间空间环境状况和可能出现的空间环境异常,并在出现危急情况时发布警报。在载人航天工程的各个阶段发布远期、中期、近期预报,为载人航天器运行的空间环境提供安全保障。

## 6.4 虚拟现实技术

### 6.4.1 虚拟现实技术简介

虚拟现实技术(Virtual Reality,简称VR),又称为灵境技术。它的兴起,为人机交互界面的发展开创了新的研究领域,为智能工程的应用提供了新的界面工具,为各类工程的大规模的数据可视化提供了新的描述方法。这种技术的特点在于,计算机产生一种人为的虚拟环境,这种虚拟的环境是通过计算机图形构成的三维空间,或是把其他现实环境编制到计算机中去产生逼真的“虚拟环境”,从而使用户在视觉上产生一种沉浸于虚拟环境的感觉。这种技术的应用,改进了人们利用计算机进行多工程数据处理的方式,同时它在许多不同领域的应用可

以带来巨大的经济效益。

虚拟现实技术的起源可回溯到 20 世纪 50 年代的美国,而正式提出“Virtual Reality”一词是 20 世纪 80 年代末期美国可视编程语言(VPL-Programming Language)公司的创始人 J. 拉尼尔(Lanier)。1990 年,在美国达拉斯召开的 Siggraph 国际会议对虚拟现实进行了专题研讨,并首次确定了虚拟现实的三大主要技术构成,即实时三维计算机图形生成技术,多传感器交互技术以及高分辨率显示技术,为虚拟现实的研究奠定了基础并指明了方向。

虚拟现实技术因此具有以下四个重要特征:

#### (1) 多感知性

即除了一般计算机所具有的视觉感知外,还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知,甚至包括味觉感知和嗅觉感知等。理想的虚拟现实应该具有人所具有的全部感知功能。

#### (2) 临场感

或称沉浸感,是指用户作为主角感到存在于虚拟环境中的真实程度。理想的虚拟环境应该达到使用户难以分辨真假的程度。

#### (3) 交互性

是指用户对模拟环境内物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度(包括实时性)。例如,用户可以用手去直接抓取环境中的物体,这时手有握着东西的感觉,并可以感觉物体的重量,视场中的物体也随着手的移动而移动。

#### (4) 自主性

是指虚拟环境中物体依据物理定律动作的程度。例如,当受到力的推动时,物体会向力的方向移动、或翻倒、或从桌面落到地面等。

20 世纪 80 年代,美国宇航局(NASA)及美国国防部组织了一系列有关虚拟现实技术的研究,并取得了令人瞩目的研究成果,从而引起了人们对虚拟现实技术的广泛关注。1984 年,美国宇航局 Ames 研究中心虚拟行星探测实验室的 M. 麦克格里维(McGreevy)和 J. 汉弗莱(Humphries)博士组织开发了用于火星探测的虚拟环境视觉显示器,将火星探测器发回的数据输入计算机,为地面研究人员构造了火星表

面的三维虚拟环境。在随后的虚拟交互环境工作站(VIEW)项目中,他们又开发了通用多传感个人仿真器和遥现设备。

进入 20 世纪 90 年代,迅速发展的计算机硬件技术与不断改进的计算机软件系统相匹配,使得基于大型数据集合的声音和图像的实时动画制作成为可能。人机交互系统的设计不断创新,新颖、实用的输入输出设备不断地进入市场,而这些都为虚拟现实系统的发展打下了良好的基础。例如 1993 年的 11 月,宇航员利用虚拟现实系统成功地完成了从航天飞机的运输舱内取出新的望远镜面板的工作,而用虚拟现实技术设计波音 777 飞机获得成功,是近年来引起科技界瞩目的又一件工作。可以看出,正是因为虚拟现实系统具有极其广泛的应用领域,如娱乐、军事、航天、设计、生产制造、信息管理、商贸、建筑、医疗保险、危险及恶劣环境下的遥操作、教育与培训、信息可视化以及远程通讯等,人们对迅速发展中的虚拟现实系统的广阔应用前景充满了憧憬与兴趣。

#### 6.4.2 常用的虚拟现实系统

虚拟环境是计算机生成的具有沉浸感的环境,它对参与者生成诸如视觉、听觉、触觉、味觉等各种感官信息,给参与者一种身临其境的感觉。因此,虚拟环境是一种新发展的、具有新含义的一种人机交互系统。

##### (1) 飞行仿真系统

飞行仿真系统一般由四部分组成,即飞行员的操纵舱系统、显示外部图像的视觉系统、产生运动感的运动系统,以及计算和控制飞行运动的计算机系统。

计算机系统是飞行仿真系统的中枢,用它来计算飞行的运动、控制仪表及指示灯、驾驶杆等信号。视觉系统和运动系统与虚拟现实密切相关,其中,视觉系统向飞行员提供外界的视觉信息。该系统由产生视觉图像的“图像产生部”和将产生的信号提供给飞行员的“视觉显示部”组成。在图像产生部,随着计算机图形学的发展,现在使用称为计算机成像 CGI(Computer Generated Imagery,简称 CGI)的视觉产生装置。在计算机成像装置中利用纹理图形驾驶可以产生云彩、海面的波浪等

效果。另外,利用图像映射驾驶可以从航空照片上将农田以及城市分离出来,并作为图像数据加以利用。视觉显示部向飞行员提供具有真实感的图像,图像的显示有无限远显示方式、广角方式、半球方式以及立体眼镜和头盔式显示器等四种方式。

作为飞行仿真系统的构成部分,运动系统向飞行员提供一种身体感觉,它使得驾驶舱整体产生运动,根据自由度以及驱动方式的不同,可以分为万向方式、共动型吊挂方式、共动型支撑方式以及共动型六自由度方式等。利用该运动系统,飞行员可以感觉到实际飞机一样的运动感觉。

## (2) 作战仿真系统

各个国家在传统上习惯于通过举行实战演习来训练军事人员和士兵,但是这种实战演练,特别是大规模的军事演习,将耗费大量资金和军用物资,安全性差,而且还很难在实战演习条件下改变状态,以反复进行各种战场态势下的战术和决策研究。近年来,虚拟现实技术的应用,使得军事演习在概念上和方法上有了一个新的飞跃,即通过建立虚拟战场来检验和评估武器系统的性能。例如一种虚拟战场环境,它能够包括在地面行进的坦克和装甲车,在空中飞行的直升机、歼击机、导弹等多种武器平台,并分别属于红、蓝交战双方。

图 6.10 为一虚拟战场的场景,在虚拟的背景中两架“数字”飞机正在飞行。实际上,在网上还连着地面威胁环境、空中威胁环境、背景干扰环境等结点。该系统的主要研究目的是对飞机的飞行、火控、航空电子系统进行综合研究,同时研究多机协同空战战术。

## (3) 与虚拟生物对话

研究人员设计了一种与虚拟生物对话的仿真系统。在该系统中,虚拟世界中的虚拟生物和现实世界中的生物一样,可以决定自己的行动,并且能够动态地应付周围的情况。对于人的挑逗也能够根据情况的不同做出各种复杂的反应,甚至能够进行对话。通过引进虚拟生物,可以实现系统的自主性、交互性及其自然的魅力。

## (4) 用于遥控机器人的遥现技术

遥现(Remote Presence)技术是指当实际上在某一个地方时,可以



图 6.10 虚拟战场的—个场景

产生在另一个地方的感觉。虚拟现实涉及到体验由计算机产生的三维虚拟环境,而遥现则涉及到体验一个遥远的真实环境。遥现技术在实际应用中需要虚拟环境的指导。例如,在遥控宇宙空间站的开发计划中,从安全性以及费用的角度考虑,有必要使用空间机器人。这种空间机器人的特点是由地面上的操作员进行遥操作,或进行部分自主操作。对于像零件更换的固定操作可以完全自主进行,而对于故障检修等难以预测的操作则有必要依赖于遥操作。这时,虚拟现实技术和遥现技术将发挥重要的作用。为研究新一代空间机器人的遥操作技术,日本开发了宇宙开发地面实验平台。该实验平台由人机交互、计算机系统以及机器人系统所构成。现在,在该实验平台上进行了零件更换等空间机器人的典型操作实验,实现了实验平台的基本功能。

### 6.4.3 虚拟现实涉及的自动化关键技术

虚拟现实的关键技术可以包括以下几个方面:

#### (1) 动态环境建模技术

虚拟环境的建立是虚拟现实技术的核心内容。动态环境建模技术的目的是获取实际环境的三维数据,并根据应用的需要,利用获取的三维数据建立相应的虚拟环境模型。三维数据的获取可以采用计算机辅

助设计技术(有规则的环境),而更多的环境则需要采用非接触式的视觉建模技术,两者的有机结合可以有效地提高数据获取的效率。

### (2) 实时三维图形生成技术

三维图形的生成技术已经较为成熟,其关键是如何实现“实时”生成。为了达到实时的目的,至少要保证图形的刷新率不低于 15 帧/秒,最好是高于 30 帧/秒。在不降低图形质量和复杂度的前提下,提高刷新频率将是主要研究内容。

### (3) 立体显示和传感器技术

虚拟现实的交互能力依赖于立体显示和传感器技术的发展。现有的虚拟现实还远远不能满足系统的需要,例如,数据手套有滞后大、分辨率低、作用范围小、使用不便等缺点。而虚拟现实设备的跟踪精度和跟踪范围也有待提高,因此有必要开发新的三维显示技术。

### (4) 应用系统开发工具

虚拟现实应用的关键是寻找合适的场合和对象,即如何发挥想象力和创造力。选择适当的应用对象可以大幅度地提高生产效率,减轻劳动强度,提高产品开发质量。为了达到这一目的,必须研究虚拟现实的开发工具。例如,虚拟现实系统开发平台、分布式虚拟现实技术等。

### (5) 系统集成技术

由于虚拟现实中包括大量的感知信息和模型,因此系统的集成技术起着至关重要的作用。集成技术包括信息的同步技术、模型的标定技术、数据转换技术、数据管理模型、识别与合成技术等。

## 6.5 巡航导弹和预警飞机

### 6.5.1 巡航导弹及其测控系统

20 世纪 50 和 60 年代冷战期间,美国、原苏联以及世界上大多数国家的战略思想是摧毁对方的大中城市、政治经济中心、交通枢纽和战略基地,所以集中力量发展中高空远程战略轰炸机和远程弹道导弹。从 20 世纪 70 年代初开始,美国的战略思想发生了变化,以打局部战

争、加强突防、迅速向纵深发展为主导思想,于是在翼式导弹和无人驾驶遥控飞机的基础上,利用红外成像技术、精密制导技术、隐形技术,配之以先进的电子集成电路、微型计算机等,研制出小巧、机动灵活、精度高、成本低的低空突防武器——巡航导弹(图 6.11)。巡航导弹在现代战争特别是局部战争中发挥着重要作用。以巡航导弹发起饱和攻击在先,机群出动实施轰炸在后,已成为现代战争中以强凌弱的一种重要战术。巡航导弹之所以能引起世人的关注,因它的两大特点:一是它的大部分飞行弹道处在“巡航”状态(发射时使用助推器),为了巡航飞行,它必须自主推进,所以飞行的全程都是有动力的;二是它的地形匹配飞行能力,即能根据地形地物调整自己的飞行航迹,特别是飞行高度。



图 6.11 美制战斧式巡航导弹

在一般飞行段上,巡航导弹的飞行轨迹和飞行姿态是事先设定的,与所处的地形地物无关,其飞行高度比周围的最高地物至少高出 100m。

目标匹配区是指巡航导弹根据环境作“匹配”飞行的区段,目标即周围的地形地物作目标匹配飞行时,巡航导弹的探测雷达和电子地图启动,其姿态和飞行高度按雷达探测结果与电子地图综合后的信息进行调整。实战中的贴海飞行和在山川河谷中的隐蔽飞行就属于这类范畴。

景象匹配区是巡航导弹临近攻击目标时的飞行区段,一般不超过 2km。在景象匹配区中,导弹的传感器(包括成像传感器)同时工作,巡



航导弹主要根据图像的引导确定目标位置,并对目标发动攻击。此时,其飞行的精度达到最高。

巡航导弹测控与弹道导弹测控有很大差别,其特点主要表现为:

(1) 飞行高度极低

贴地飞行或贴海飞行时的最低高度可达 5m 以下,一般飞行高度也在 100m 以下,地面雷达的探测波束会受到地物的遮挡,在许多地段无法对巡航导弹实施测量。

(2) 试验环境复杂

试验场包含有山、河流、谷井、丘陵等地形,它们会产生强的杂波干扰背景和多径效应;它们会影响到巡航导弹的测量精度,甚至可能使对导弹的跟踪完全失败。

(3) 反射面积很小

与弹道导弹相比,巡航导弹属“小巧”型、它的直径只有 1m 左右,长度约 6m。所以它的反射面积很小,一般情况下为  $0.1 \sim 0.05\text{m}^2$ ,如果采用了隐形技术后可以小到  $0.01\text{m}^2$ ,对于应答式测量和反射式测量均有难度。

(4) 机动性强

因巡航导弹的主要作战任务是进行低空突防,其飞向目标的过程中随时可能根据指令变化飞行方向。由于机动性强,整个飞行轨迹不确定。

(5) 飞行距离远

巡航导弹的作用范围大,比如美国的“战斧”系列巡航导弹作用距离在 2500km 左右,前苏联的巡航导弹作用距离在 3000km 左右。要求对全程的绝大部分飞行段进行测控,这要求设备的工作时间长。在很低的飞行高度下对它进行全程测量,难度是可想而知的。

(6) 要求测量精度高

巡航导弹要求更高的全程位置测量精度,因为飞行在离地面 5m 的高度时,位置测量误差必须小于 5m 才能保证巡航导弹的安全飞行,这比弹道导弹测量要求更严格。

### 6.5.2 巡航导弹测控中的自动化技术

巡航导弹测控系统一般也采用协作工作方式,即在目标上安装应答器或其他信号增强装置。这样,可以使从巡航导弹返回到测量设备的信号增强,提高测量精度,简化设备,降低成本和技术难度,还可实现遥测、遥控等一系列功能。

巡航导弹测量的传感器类型一般为普通光学、激光(红外)、声学、无线电波等。声学传感器由于作用距离较近且易受干扰,不常用于巡航导弹这种环境复杂的低飞目标的精密测量。常规光学测量设备包括弹道照相机、光电经纬仪、电视等,其优点是只要与目标通视即可实施测量,精度高,不受周围地形地物的影响,但其缺点是作用距离近、作用距离对能见度的依赖性强、设备庞大、实时性差等。无线电测量是导弹测控中使用最广泛、技术最成熟的手段,主要工作在毫米波段,且随着测量精度要求的提高,频率越来越高,其缺点是天线部分比较大、角度测量精度低、受到海地杂波和多径效应的干扰严重等。随着一系列关键技术的突破,激光能在极低的信噪比下工作,获得很高的测量精度,只要与测量目标通视,即使在仰角很小的情况下也不会产生波束擦地,特别适宜于低飞目标的测量。

由于激光雷达的波束角窄,角度测量精度高,所以只要单台便可进行高精度跟踪测量,利用一部雷达测得目标的距离、方位角和高低角来进行目标定位。在这种定位体制下,距离越远,测角误差产生的定位误差越大。微波雷达由于角度测量精度不可能很高,在靶场对导弹飞行轨迹实施精密测量时,基本不使用它的角度信息作为导弹定位解算元素,而是用多台雷达组成干涉仪系统或多边测距系统,完全用距离信息解算导弹的位置。

为了增强回波信号,要在巡航导弹上安装协作目标。激光雷达的协作目标是体积很小的光学玻璃,称为角反射器,它能将照射来的激光沿原路反射回去,使回波信号比导弹弹体或地面产生的漫反射强很多倍,增加了激光雷达的作用距离,也提高了系统的抗干扰能力。出口在导弹上安装  $20\text{cm}^2$  大小的角反射器(重量约 200g),一般激光雷达的作

用距离达 40 ~ 50km。

激光雷达的波束宽度太窄,不能自主捕获目标。因此,在搜索跟踪巡航导弹的初期,一般都用一部电视跟踪仪或微波雷达进行引导,首先使目标落在引导设备终端显示器的中心,然后使激光雷达自动跟踪目标。此外,多系统协同工作时,可用已知导弹的理论飞行数据引导激光雷达。

测量平台分陆基、空基和天基三类。

#### 6.5.2.1 陆基平台

将主体测量设备放在地面,以所处地面坐标系为基准对巡航导弹实施测量。其优点是技术成熟、建站投资较少、技术难度较低,特别是测量基准坐标系的确定非常容易,可事先通过大地测量等非实时手段精确测出,整体可实现性高。缺点是作用距离偏低(一般不超过 20km),站址选择受地球曲率、地形、地貌条件限制很大,设置地点越低,低空测量能力越差。在巡航导弹作用距离越来越远的今天,不宜用于进行全程测量。

#### 6.5.2.2 空基测量

指将测量主体设备置于载体上,载体可以是各种飞机、气球、飞艇和无人驾驶机等。载体升空,测量设备对目标实施下视测量。在远程巡航导弹测量中一般选用飞机。空基测量的显著优点是:

(1) 彻底避免了低仰角跟踪这一目前尚未有重大突破的技术难关;

(2) 视野宽,易使雷达的有效作用区得以发挥;载体还可以对巡航导弹伴飞,一套设备即可完成巡航导弹的全程测量;

(3) 机动性强,能在场区内机动飞行或巡航飞行,转场方便,能适应不同场区、不同射向的巡航导弹的飞行试验鉴定需要;

(4) 还能解决边境、沙漠、高山、丛林等无法或难以布设地面测量站的矛盾。

其缺点是大多数情况下需对载体的位置、运动速度和姿态进行精密测量,这些测量误差将影响到目标测量的总误差。此外,由于载荷有限,对跟踪测量设备提出了更高的要求。

空基测量是目前世界上用于巡航导弹测量的主流。

### 6.5.2.3 天基测量

利用卫星或其他航天器对巡航导弹进行测量。已有的可资利用的系统有美国的全球定位系统(GPS)、俄罗斯的 GLONASS 系统,其他的如双星定位等都具有发展潜力。全球定位系统和 GLONASS 天基测量包含了空基测量的所有优点,除此之外,其独特之处还有:

(1) 能在全球范围,至少是全国范围,全天 24 小时提供目标的七维信息,巡航导弹试验可完全不受时间、地形、射向的限制,这很符合要用各种地形特征不同航迹作试验的巡航导弹试飞的要求。

(2) 测量设备主体被转移到天空,用户实施测量时所需的附加设备量很少,成本低,管理方便。

(3) 具有同时对多个目标进行精密测量的能力,这是绝大部分陆基和空基测量网无法做到的。天基测量是巡航导弹调控的重要发展方向。

### 6.5.3 预警飞机概述

空中预警飞机是用于搜索、监视和跟踪空中和海上目标的作战支援飞机。

早在 20 世纪 60 年代,美国和前苏联两个超级大国就开始研制和使用预警飞机,而目前已经有多个国家能够研制和生产出高性能的机载预警系统。在海湾战争和科索沃战争中,预警飞机都起到了非常重要的作用,更引起各国决策层的严重关注。现就各国主要预警飞机型号和主要功能分别说明如下:由美国格鲁门公司为美国海军研制的 E-2“鹰眼”舰载预警飞机,于 1960 年 10 月首次试飞成功,1964 年开始装备美国海军。目前共有四种改进型和一种派生型,其中 E-2C 是当前使用最广泛的机型,共生产 165 架,直接装备美国海军 136 架。前苏联于 20 世纪 60 年代设计的 Tu-126“苔藓”预警指挥飞机,1962 年首次试飞,并于 60 年代末装备部队。前苏联于 20 世纪 70 年代研制 A-50 预警飞机,20 世纪 80 年代生产并交付使用,截止 1992 年共生产 40 架。P-3A EW&C 是澳大利亚购买美国飞机改装的空中预警飞机。



图 6.12 美制 E-3‘望楼’空中预警飞机

美国波音公司的 E-3‘望楼’空中警戒和控制系统,于 1977 年 3 月交付使用,其中 E-3A 是主要机种,目前共生产 68 架,全部投入使用。美国波音公司于 1985 年开始研制 E-8“联合监视和目标攻击雷达系统”,1989 年研制成功,1991 年参与海湾战争,是目前性能最完善的预警飞机机型之一。印度于 20 世纪 80 年代开始研制机载预警与控制系统(AWACS),1991 年试飞。

“Phalcom”预警指挥飞机是以色列埃尔塔公司研制的远程、高性能、多传感系统,1993 年研制成功,代表了当前空中预警技术的发展方向。“萨伯-340”AEW&C 预警飞机是瑞典 FML 公司研制的,于 1994 年进行首次试飞,1997 年装备部队。“极乐鸟”Mk2 预警飞机,是荷兰福克公司正在研制的一种相控阵雷达预警飞机。

在 20 世纪 70 年代以后历次重大的国际局部战争中,特别是近期的海湾战争和科索沃战争中,预警飞机的作战效能已经日益显著,甚至在特定场合已经成为战争胜败的关键。预警飞机已被视为先进国家空海军中一个不可缺少的机种。因此从国家安全和完成祖国统一角度来看,加快发展我国的预警飞机是非常必要的,而且是十分紧迫的任务。

机载预警系统通常由雷达、通信、导航、指挥控制、敌我识别、数据处理和电子对抗等电子设备构成,已经成为集指挥、控制、通信和情报

于一体的空中 C<sup>4</sup>I 系统,其目的是达到快捷准确发现敌人目标、有效跟踪目标,并指挥拦截或阻击敌人目标。

预警飞机除主要军事应用外,还可用于救生支援、火灾预警、水灾预警等许多场合。

#### 6.5.4 机载预警系统中的自动化技术

机载预警系统主要由“预警雷达”、“敌我识别系统”、“通信系统”、“导航设备”、“电子对抗系统”、“机载计算机系统”和“指挥与监控系统”等部件构成。各部件的主要功能和技术要求分述如下:

##### (1) 有源相控阵雷达技术

以“Phalcom”预警指挥飞机为例,安装 EL/2075 型雷达,工作频率为 L 波段(900~1550MHz),采用三部共形相控阵天线阵,能同时覆盖并自动跟踪所选择的全部目标。当飞行高度大于 9000m 时,方位覆盖 260°,能同时跟踪 100 多个目标,并能同时引导 20 多架飞机进行空中作战。对战斗机和舰船的探测距离为 400km,对直升机的探测距离为 180km。相控阵雷达应用电扫描取代了机械扫描,通过控制相控阵天线中各个单元的相位,得到所需的波束。要求相控阵天线扫描周期短、重量轻、分辨率高、频带宽、成本低等,同时能完成搜索、跟踪、通信、导航、敌我识别和电子对抗等功能。

##### (2) 阵列信号、空时二维信号处理技术

由于机载雷达的地物杂波呈现空时耦合谱特性,杂波抑制需要先进的阵列信号、空时二维信号处理方法。关键技术是有效的实时处理算法。

##### (3) 机载环境下光学探测及图像处理技术

需进一步提高光学探测部件的分辨率和探测距离;研究图像信息的去噪、高效压缩算法,运动的估计和动目标监测等技术。

##### (4) 多目标跟踪与多传感信息融合技术

需要对由相控阵雷达获得以及由战术数据链传来的机上和机外数据进行信息融合,以便对探测隐身飞机、直升机、巡航导弹、弹道导弹等多种目标进行跟踪。关键技术是多目标跟踪算法、融合算法和实现

技术。

#### (5) 敌我识别技术

以“Phalcom”预警指挥飞机为例,安装 EL/M-2610 型敌我识别系统,采用固态相控阵技术,能执行目标询问、译码和目标检测,并采用标准模式进行跟踪,通过单脉冲处理实现方位测量。方位覆盖范围为  $360^{\circ}$ ,俯仰覆盖范围为  $60^{\circ}$ ,工作距离 300km,每次扫描能识别 400 批目标,距离精度 150m,方位精度  $0.5^{\circ}$ 。

#### (6) 机载并行计算机技术

高可靠 RISC 计算机的设计与实现技术;基于通用 64 位微处理器的高性能并行多处理器计算机的设计与实现技术;全局时钟及全局时间同步机制;处理器、存储器、总线、处理器之间的互连结构的双备份和多备份设计与实现;多处理器系统中的故障发现、故障恢复算法及实现技术;多处理器系统的重构技术;具有自主知识产权的实时操作系统的任务调度算法及实现方法;并行体系结构上的高性能编译优化算法及实现技术;并行处理的任务调度、负载平衡、性能测量及可视化分析技术。

#### (7) 态势评估、威胁评估和战斗辅助决策指挥技术

根据信息融合系统以及机外数据链提供的各种信息,对战场上敌我双方的态势进行评估,并对所有可能的目标的威胁程度给出定量描述,特别是敌方对我方目标的威胁。同时根据攻防态势、威胁目标态势和己方战争资源,建立高效的规划算法,迅速给出攻击策略,为战场指挥提供辅助决策信息。

#### (8) 导航技术

捷联惯导/全球定位系统等组合导航新模式,为预警飞机提供精确的位置、速度、姿态和时间信息,一般由全球定位系统接收机、领航数据处理器、陀螺仪、加速度计和传感器等组成。领航数据处理器将全球定位系统数据和惯导仪的数据融合,提供载机精确的参数。

## 6.6 数字地球与机敏传感网络

### 6.6.1 《数字地球北京宣言》

在 20 世纪末,20 多个国家和地区的 500 多位科学家、工程师、教育家、管理专家及企业家相聚北京出席了首届“数字地球(Digital Earth)”的国际会议,并于 1999 年 12 月 3 日会议闭幕式上发出了《数字地球北京宣言》。该宣言指出:新世纪将会是一个以信息和空间技术为支撑的全球知识经济的时代,“数字地球”能够回应人类在社会、经济、文化、科学、教育、技术等方面的挑战。呼吁科学、教育、技术、工业、政府部门以及区域与国际组织共同推动“数字地球”的发展,并在建立“数字地球”过程中,优先考虑解决环保、灾害管理、自然资源保护、经济与社会的可持续发展以及提高人类生活质量等方面的问题。由此可见,“数字地球”具有非常重要的意义。

“数字地球”的核心思想是采用数字化技术和手段,整体化地解决地球及其空间位置相关性的问题,从而最大限度地利用人类社会的信息资源。具体而言,就是设想把有关地球海量的、多分辨的、三-维的、动态的数据按地理坐标集成起来,形成一个一体化的“数字地球”。“数字地球”的倡导者也就是“信息高速公路(Information Super-highway)”的倡导人——前美国副总统戈尔。他对于“数字地球”的定义是:“一种能够嵌入巨量的地球空间信息(系统),对于我们星球所做的多分辨率的三维描述。”换言之,就是把整个地球“数字化”之后,装进计算机里面,借助它,人们无论走到哪里都可以按地理坐标了解地球上任何一处、任何方面的信息。在空间数据基础设施基础上发展的数字地球,将为信息高速公路提供内容丰富、形式多样的信息货物,是未来信息社会的重要信息资源。“数字地球”是一种以信息高速公路和国家空间数据基础设施为依托的整体性、导向性的战略思想。

应该看到,任何科学技术的发展都有双重效应,“数字地球”也不例外。它既可以给人类社会带来福利,也可以带来威胁。既是加强综合



国力不可缺少的得力工具,也可作为“ 实力威慑 ”的重要手段。“ 数字地球 ”对人类的积极作用,无论如何想象都不会过分。与此同时,它对于军事领域的深刻影响,无论如何想象也不会过分。“ 数字地球 ”的出现,在改变着人类社会方方面面的同时,也必然会给战争领域带来崭新的变革！

6 .6 .2 机敏传感网络

机敏传感网络(Smart Sensor Web,简称 SSW)是美国国防部专家提出的一个概念(图 6 .13)。由于巨大的技术进步,在过去二十年内传感器、微电子和通信领域都取得了跨越式的发展。尤其是国际互联网的出现,使得在战场上为军事指挥官和士兵提供大量的综合信息成为可能。机敏传感网络将会按正确时间提供所需正确的信息包括:数字地图、三维地形特征、光谱综合分析所得到的信息等。这些信息对于那些下层的士兵们起到了高度防范作用。机敏传感网络将给士兵们提供有关基本问题的解答信息。例如,我在哪儿?我军和盟军在哪儿?他们的状况如何?怎样知道敌人和他们的情况?我的下一个任务是什么?什么时候在哪儿行动?

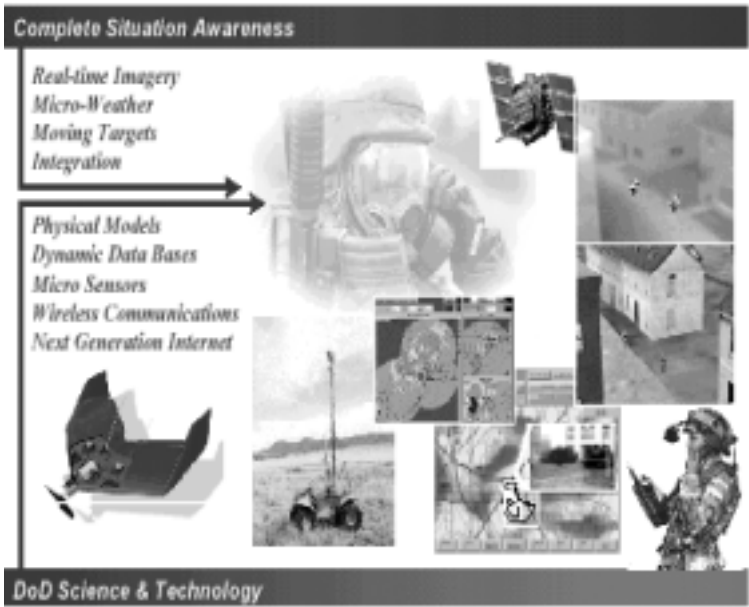


图 6 .13 机敏传感网络的概念

机敏传感网络将为士兵提供实时图像、微观气象、移动目标、集成

信息等有用信息,所采用的技术可能包括物理模型、动态数据库、无线通信和下一代互联网等。

在未来的社会中,传感器将无处不在,到处充满了各种各样的传感器,包括军用的和商用的。这些传感器包括影像和非影像传感器,影像传感器包括:电视摄像机、弱光电荷耦合摄像器件(CCD)、各种热像仪、激光雷达、多谱成像器和成像雷达等;非影像传感器包括:激光测距仪、天气传感器、化学传感器、生物传感器、生理传感器、声音传感器和磁性传感器等。有了这些传感器还不够,需要建立机敏网络使信息合理利用。试想,如果从遍布战场的传感器所获得的信息不能被军事指挥官加以利用或共享,那么布置这些传感器就会失去意义。大量传感器组成的网络将提供大量的有用信息给用户。

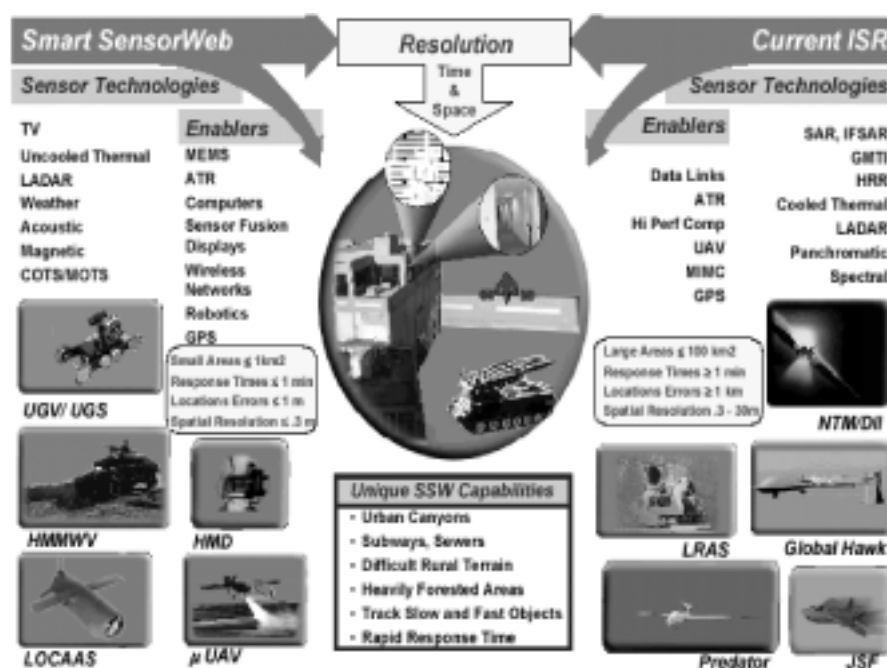


图 6.14 机敏传感网络的构成及其对传统传感器信息融合的挑战

互联网在商业领域中普遍应用是技术进步所带来的结果。由于使用互联网的人数成指数增长,这样在有限的时间内获得大量信息将成为可能。这就为军用的机敏传感网络的实施提供了概念基础。军队用户可以通过网站由机敏传感网络获取各种信息。然而,为了有效地利用传感网络,必须使之智能化,使之能够有效地传递和提供正确的信息。首先,需要得到机敏传感器,包括影像传感器和非影像传感器。这

些传感器能在战场上收集环境信息、目标特征信息,而且能快速地将其转换为数字图像或其他信息。

这些数字化的信息能够在单个传感器级别上进行处理,能够对影像信息进行分类、识别等。自动目标识别(ATR)方法现在已经成熟了,能用在影像加工过程,而且需要很少的存储空间。利用神经网络将可能使自动目标识别方法能在一个宽的背景中找寻新的目标,提高识别准确性,减少虚警信息。在一些特定的场合,可能需要把一系列传感器获取的信息,包括其他信息综合利用,即完成多传感器的信息融合过程。大量传感器信息的融合改善了自动目标识别搜索、辨认、跟踪目标的过程,甚至对伪装的敌人识别上都有了很大的提高。机敏传感网络是一个很复杂的项目,有大量技术上的挑战存在。例如,为了使战场上的传感器联接更容易,需要制造更庞大、更复杂的传感网和通信设施。许多新的技术还有待于开发。

### 思 考 题

6.1 为什么说计算机集成制造系统(CIMS)是需要慎重推广应用的技术?我国大多数国有企业还有哪些方面与之不相适应?应该怎么办才能促进计算机集成制造系统的快速发展?

6.2 你认为中国发展机器人的正确方针应该是什么?你对机器人的未来作何设想?

6.3 你了解智能控制吗?智能控制究竟应该怎样发展?如何解决理论脱离实际的问题?

6.4 你想象中的虚拟现实是什么样的?你认为“灵镜技术”神秘吗?如果让你设计一个太空旅游的虚拟现实系统,你的构思是什么?

6.5 你如何看待现代高科技的“两面性”?它如何为人类带来便利,又如何为人类带来灾难?在面临世界局势变化不定的情况下,你认为我国发展高技术武器系统的必要性如何?

6.6 你认为数字地球仅仅是一种概念,还是一种战略?如果数字地球迅猛发展的话,我们如何应对?

## 7 自动化类专业的教学安排

通过前面的介绍,大家对本专业的内涵、发展、应用等有了一个基本了解。本章将介绍一些教学方面的相关内容,希望有助于大家今后的工作和学习。

### 7.1 高等院校的教学任务和特点

高等教育是在基础教育的基础上,以培养社会现代化建设需要的各种专门人才为基本目标。具体到工科大学教育来讲,则是以培养善于将科学技术转化为直接生产力的工程师为主要目的。因此,与基础教育(如中学教育)相比,高等院校的教学任务有自己的特殊性,其教学内容、方法、形式也有显著的特点。

#### 7.1.1 高等院校的教学任务

高等院校的教学任务主要有下列四个方面:

##### 7.1.1.1 系统地向受教育者传授科学文化知识

教学的首要任务是向学生传授系统的科学文化知识。知识是人类对客观事物本质的认识,是人类在长期的征服自然、改造自然活动中有效实践经验的高度总结和概括。中小学教育是基础教育,中小学学生接受的是一般文化科学知识,以便为他们成为合格的劳动者打下基础。而高等教育是专业化教育,即在普通教育的基础上,进一步实施专业基础教育,以便为国家现代化建设培养各种专门人才。因此,在传授知识方面,大学教学既要向学生传授一定专业所必需的基础知识,又要向学生传授专业知识。

向受教育者传授科学文化知识,还包括对学生进行技能、技巧的训练。技能是运用知识完成某种实际任务的能力,是所有智力活动和体

力活动中必不可少的。而技巧是技能经过反复的练习,达到准确、熟练的程度。这些技能技巧不仅使学生获得一些读、写、算和操作实验仪器等方面的技能技巧,而且也包括体育活动、审美活动和从事某一专业工作的技能技巧。

知识和技能技巧既有区别而又相互联系。知识偏重于懂不懂的问题,技能技巧偏重于会不会的问题。技能技巧是在掌握知识的基础上培养起来的;而掌握了技能技巧,反过来又可以加深对知识的理解和掌握。

#### 7.1.1.2 有效地培养受教育者的综合能力

在传授系统科学知识的基础上,发展学生的智力,培养学生的能力,是当代高等院校非常重要的教学任务。随着科学技术的发展,知识总量正在以极高的速度增长,要解决学习时间有限与知识无限之间的矛盾,唯一的重要办法是培养学生的综合能力,把科学的思维方法、把打开知识大门的钥匙交给学生。从学生学习的特点来看,学生在校学习的时间毕竟是有限的,一个人不可能一辈子都在学校学习。因此,只有掌握了科学的方法,才能根据工作的需要,在知识的海洋里进行自由猎取,为适应社会的要求创造条件。

大学教学主要是传授科学知识的同时,进行科学思维的训练,培养学生的自学能力、表达能力、实际操作能力、组织管理能力和创造能力等。

#### 7.1.1.3 积极地帮助受教育者树立科学的世界观

教学过程是传授知识、培养能力的过程,也是传播思想、培养品德的过程。对学生来讲,没有正确的人生观、世界观,不可能对社会做出积极的贡献,不能算是合格的大学生。如何结合学生实际,有目的地进行思想教育,培养科学的世界观,使思想教育寓于传授知识之中,是现代大学教学的一项重要任务。

#### 7.1.1.4 大力开展体育与美学教育

体质和体能是人全面发展的重要方面,只有拥有健康的身体,才可能有效地开展工作和学习。通过体育可以提高学生的身体机能及脑力和体力劳动的能力。

美学教育即美育,又称为审美教育。美育的任务是形成学生正确的审美观,培养学生感受美、鉴赏美和创造美的能力。美育同德育、智育、体育有着密切的联系,它既独立于各育之外,又渗透于各育之中。美育对于提高人们的认识,丰富人们的精神生活,陶冶人们的高尚情操,提高人们的道德水平,都起着重要的作用。另外,在科学研究过程中也离不开美学活动,许多科学发明和创造都是因为对美的追求或思考而诞生的。因此,它是我国高等教育中的一个不可缺少的组成部分。

上述各项任务,在教学过程中是相互联系、相互渗透的。传授知识是基础,培养能力是着眼点,形成科学的世界观是方向,增强体质是保证,而美育又渗透于各育之中。

### 7.1.2 高等院校的教学特点

#### 7.1.2.1 教学进度快、信息量大

在中学六年时间,一般只讲授 10 来门课程。课堂里,教师围绕着课本,逐句逐页地向学生进行讲授。对所有内容,一般都要反复讲、反复练习。每堂课通常只覆盖课本上 2~3 页的内容,有时更少。

大学教师在教学过程中不再是对照教材逐句逐字讲解。课堂上,老师主要是提纲性、概略性地把内容的思路讲清、重点和难点讲透;教科书上的内容,有的讲,有的也可能不讲,有时一次课就概括了书中 30~40 页的内容,许多具体的内容要同学自己去研读。另外,教师讲的内容与教科书的内容也往往并不完全吻合,教师常常会引用众多的参考资料和最新的理论观点,有时会讲述自己科研活动的经验、体会。

#### 7.1.2.2 教学形式多种多样

在大学,课堂讲授不再是唯一形式。课堂教学还包括课堂讨论、辅导课、习题课、答疑课等,授课手段上还会更多地采用电化教学、多媒体教学及其他计算机辅助教学方法。此外,还有大量的课程实验、专题实验,有课程设计、毕业设计,还有金工实习、生产实习、军事训练等。这些构成了大学教学的有机组合,缺少任何环节或不能通过任何环节的教学要求,都不能成为一名合格的大学生。

### 7.1.2.3 教学内容有明确的方向性和系统性

中学教学目的是向学生传授基础科学和普通文化知识,为广大学子将来继续深造或一般就业打好基础,基本上不考虑同学将来职业的具体要求。大学教育则不同,虽然大学教育仍不失为一种基础教育,但它是一种分专业的定向基础教育,具有明显的专业目的性。大学的教学活动是紧紧围绕着培养现代化建设所需要的专门人才而进行的,其教学内容除了更加接近社会与科学实际外,知识学习的广度和深度较之中学都有了大大的拓展。这就要求同学们在学习过程中,不仅仅是学好课本上的知识,还要尽可能地扩大自己的知识面,弥补在中学时形成的知识面狭窄的不足,并关注与本专业有关的各种信息和资料,更透彻、更科学、更准确、更灵活地把握本专业发展方向和规律。

为了把学生培养成为某一方向的专门人才,大学教学的内容是经过精心选择和组织的。一方面要让学生掌握坚实的理论基础,另一方面要让他们拥有深入的专门知识,同时还要为提高他们的实际动手能力提供必要的训练内容。所以大学设置的课程,是一个有机的整体,不可偏废。

### 7.1.2.4 教师与学生的关系

在中学阶段的教学过程中,由于中学生的知识水平和心理水平的限制,学生是在教师全面而又具体的指导下以简明、有序的方式来学习和掌握文化基础知识,是一种“手把手”的、注入式的被动教学。中学生的课外活动几乎也都是在教师或家长的严格监管下进行的。

而大学的教学活动则完全不同。除了在正常的教学活动时间,教师和学生在一起的机会和时间很少,教师和学生显得很“疏远”。在教学活动中,教师的职责是指导和辅导,是激发同学的思维,使同学真正了解学习本身的含义、学会如何去学习,不再有中学时期的那种“手把手”的教学。

### 7.1.2.5 学生拥有更多的自由

中学每天的课程总是排得满满的,几乎每天都没有什么空隙,上课、做作业、自习都是集中在教室来完成的。学习时间很紧,在学校有教师的严格管理,回到家后有家长的严格监督。学习时间和学习内容

有严格的规定和限制。

而在大学,一般工科院校新生每周排课为 23 ~ 34 学时左右,每学期不一定每周都有课,每周不一定每天都有课,每一天也不是每节都有课,经常是整个上午或整个下午都没课。大学生拥有更多的自由时间和空间,但这也意味着大学生的大部分学习要在课外进行并完成。为了适应这一教学特点,大学生必须学会创造性地安排自己的课余时间,并根据学习任务,合理使用时间,管理安排好自己的学习,达到学习上的最高效率。另外,大学生还应该学会利用图书馆、实验室等教学设施,积极组织、参加各种课外活动,充分利用好属于自己的宝贵时间和空间,自主学习并掌握好课堂内外的相关文化知识。

另外,大学中的许多作业、实验不再有唯一的标准答案,要求学生综合应用所学的知识、积极思考才能给出问题的可能解或建立合理的实验方案。这是大学教学中给予学生的另一种“自由”。

## 7.2 工科课程的类型

大学教育是以培养高级专门人才为任务的专业教育。不同专业的课程有不同的特点,课程类型也多种多样。国外有些高校把课程分为自然科学、社会科学、人文科学、技术科学和工程科学等知识模块,并根据各专业的课程和特点,确定出各知识模块在整个教学计划中所占的比例。这种划分有利于按学科体系设置课程,形成学生合理的知识结构。

我国工科大学一般按照课程的性质和目的,将大学课程划分为公共课程、基础课程、专业基础课程和专业课程四大类。按课程的性质及目的进行的这种分类,可以反映课程之间的衔接关系和在培养专门人才过程中的地位和作用,便于编制计划和组织实施教学。这种分类方法反映了专业技术人才应该具有的金字塔型知识结构,如图 7.1 所示。

### 7.2.1 公共课程

公共课程是由国家统一规定设置的,是任何专业的学生必修的课





图 7.1 金字塔型知识结构

程。我国大学的公共课程主要有政治理论、外语、法律基础、体育、德育、生产劳动、军训等。其目的在于使所有专业的大学生都具备马列主义基本理论知识,掌握一门外国语言,增强社会文明意识,发展社会实践技能等。公共课程未必直接同某个专业联系,但它为培养德、智、体、美全面发展的人材所必需。这类课程常常把不同学科的内容联系在一起,有利于开拓学生视野,提高学生的一般文化素养和政治理论素养,并为终身学习作好准备。

在美国,这类课程被称为“普通课程”,主要有计算机科学、英语写作、自然科学、数学、外语、艺术、历史、哲学等等。香港高校把这类课程称为“通识课程”,主要有逻辑思考、思想方法论、数学语言和技巧、中外历史、法律、文化与社会、艺术、文学、哲学等。

### 7.2.2 基础课程

基础课程是根据各专业的特点和性质设置的,它没有应用背景,是学生学习知识、进行科学思维和基本技能训练、培养能力的基础,也为学生提高基本素质以及学习后续专业课程奠定良好的基础。工科院校的基础课程主要有数学、物理、化学、生物等。基础课程一般安排在大学一年级和大学二年级阶段,这类课程的内容和标准一般比较稳定,是学习专业课程的基石。

### 7.2.3 专业基础课程

专业基础课程,或称技术基础课程,是与专业理论和专业技能相联

系的基础课程,包括专业理论基础课程和专业技术基础课程。专业基础课程有一定的应用背景,但不涉及具体的工程或产品,因而它的覆盖面较宽,有一定的理论深度和知识广度,还具有与工程科学密切相关的方法论。这类课程与基础课程共同构成了高校学生学习专业课程、形成专业能力的重要基础,并与专业课程共同构成了大学专业教育的核心课程体系。相近专业往往具有类似的专业基础课程,一般可以分为若干大类,例如力学类、电工类、电子类课程就是工科典型的专业基础课程。这类课程对于学生专业能力的发展关系重大,其作用犹如高层建筑的基础,只有有了坚实、宽厚的基础,才可能建设起高大、宏伟的建筑。

#### 7.2.4 专业课程

专业课程是根据社会对某种高级专门人才的业务和知识结构的要求,即根据专业培养目标而专门开设的。工科专业的学生只有学习并掌握了本专业的专业课程,才有可能胜任相应的技术工作。一般说来,学生的专业能力和专长主要来自他们所学习的专业课程。

#### 7.2.5 必修课与选修课

按课程的修习性质,可以把高校课程分为必修课和选修课两类课程。必修课程是某一专业的学生必须学习的课程,是学生获得专业知识的根本保证。在实行学年制的高校中,公共课程、基础课程、专业基础课程和专业课程基本上都是必修课程。选修课程是高校根据专业需要和人才培养要求设置的、可供学生自己挑选的课程。

选修课最早产生于18世纪末和19世纪初。由于科学技术的迅猛发展,高等学校在保持原有基础科学课程的基础上,需要增设新生的科学技术课程,以便学生的知识水平达到当时科技的最新水平。科学知识的膨胀使学生不可能在有限的年限内全部修完所有的课程,而只能在一定范围内学习其中的重要课程。于是德国的大学最先采用了选修课程制,后来英国的大学也逐步推广和改进了一种制度。选修课程的产生自然导致了学分制的产生以及相应的教学管理方法。

选修课主要有两类,一是限制性选修课,即规定学生须在指定的某一学科领域或一组课程中选修若干;另一类是非限制性选修课,学生可根据自己的需要和兴趣选修。选修课程有三方面的作用:

(1) 介绍科学技术的最新研究成果;

(2) 扩大学生知识面,满足学生求知欲,通过文理渗透、学科交叉来开拓学生视野;

(3) 发展学生某方面的潜能,满足学生某些方面的兴趣、爱好等。

世界上许多先进国家的大学都非常重视选修课的价值。

## 7.3 自动化类专业的课程设置

自动化类专业覆盖面较宽,加之自动化技术发展迅速,不同院校的自动化类专业课程往往侧重点不同,同一所大学在不同时期的课程设置也不尽相同。课程设置还和师资构成有关。根据目前尽量压缩学时的总要求,自动化类专业总学时一般控制在 2500~2600 学时之间。下面我们根据近年的教学实践,对自动化类专业的课程设置进行简要介绍。本节内容仅供参考。

### 7.3.1 自动化类专业的理论课程

#### 7.3.1.1 公共课程

此类课程约占总学时的 15%~20%,主要包括:

- 毛泽东思想概论
- 马克思主义哲学
- 马克思主义政治经济学
- 邓小平理论概论
- 思想道德修养
- 法律基础
- 大学外语
- 体育
- 中国传统文化

### 7.3.1.2 基础课程

此类课程约占总学时的 15% ~ 20% , 主要包括:

- 高等数学
- 线性代数
- 离散数学
- 复变函数与积分变换
- 概率论
- 随机过程
- 大学物理
- 理论力学
- 工程制图基础
- 工程化学基础(限制性选修课)
- 现代生物学导论(限制性选修课)
- 工程经济学(限制性选修课)
- 管理学基础(限制性选修课)

### 7.3.1.3 技术基础课程

此类课程约占总学时的 30% 左右, 主要包括:

- 自动化(专业)概论
- 专业外语
- 电路
- 电磁场与电磁波(选修课)
- 电子技术基础
- 数字逻辑电路
- 超大规模集成电路(VLSI)设计基础
- 数字信号处理
- 程序设计语言
- 微机原理与接口技术
- 数据结构与软件方法
- 数据库技术(选修课)
- 操作系统原理

- 信号与系统
- 自动控制原理
- 检测技术与传感器技术
- 控制电机
- 单片机原理及应用(选修课)
- 可编程逻辑器件原理及应用(选修课)
- 数字信号处理技术及应用(选修课)

#### 7.3.1.4 专业课程与专业选修课程

此类课程约占总学时的 5% ~ 10%, 主要包括:

- 现代控制理论
- 非线性控制技术
- 数字控制技术
- 计算机控制技术
- 工业控制课程组(包括自动化仪表、过程控制、电力拖动系统等)
- 飞行控制课程组(包括导引头、自动驾驶仪、制导系统分析与设计等)
- 惯性技术与导航课程组(包括惯性器件、捷联惯导、数据融合等)
- 智能控制基础(选修课)
- 分布式控制系统(选修课)
- 系统建模与仿真(选修课)
- 人工智能导论(选修课)
- 可编程控制器原理及应用(选修课)
- 控制系统计算机辅助设计(选修课)
- 系统工程与系统集成(选修课)
- 系统辨识(选修课)
- 卡尔曼滤波(选修课)
- 神经网络导论(选修课)
- 自适应控制(选修课)
- 图像处理与模式识别(选修课)
- 计算机图形学与科学计算可视化(选修课)

### 7.3.1.5 其他选修课程

此类课程一般不超过总学时的 5%，包括人文社科类、经济管理类、艺术类以及其他跨专业选修课程。

### 7.3.2 自动化类专业的实践性环节

实践性环节约占总学时的 15% ~ 20%，主要包括：

- 军事训练
- 军事理论
- 公益劳动
- 金工实习
- 电子实习
- 生产实习
- 毕业设计
- 物理实验
- 计算机文化基础
- 电子技术课程设计
- 控制理论专题设计
- 检测技术与传感器实验
- 计算机控制课程设计
- 可编程控制器(PLC)课程设计(选修)
- MATLAB 专题实验(选修)
- 电子线路设计训练(选修)

### 7.3.3 自动化类专业的课程特点

以上介绍的内容构成了自动化类专业课程的有机整体。

数理知识是学习后续课程的理论基础，其中尤以高等数学和工程数学占的比例最大。技术基础课程可分为三大类，即电类、计算机类和控制类。其中，电类包括电路、电子技术基础等，它刻画了本专业的基本特征——与电(弱电为主、强电配合)密切相关。计算机类包括操作系统原理、数据结构、微机原理及接口技术等，几乎涵盖了计算机技术

学科的全部主要课程,这说明计算机技术已经成为本专业非常重要的工具。控制类包括自动控制原理、信号与系统、检测技术与传感器技术等,是进行控制系统设计、分析和综合的基础。对于不同的专业方向,技术基础课程中可能还需要加入特定领域的课程。如对于飞行器制导、导航与控制来讲,需要加入飞行力学、飞行器设计等课程;对电气工程及其自动化来讲,需要加入电力拖动系统、电力电子技术等。

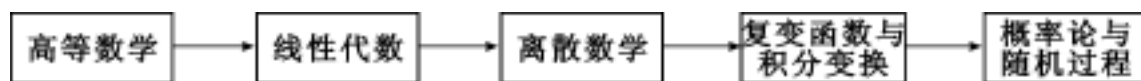
本专业的理论和技术发展特别快速,使得专业课程内容非常丰富,包含了大量的专业选修课。如果把不同专业方向的课程都包含进来,那更将浩瀚如烟。许多内容需要同学们进入研究生阶段进一步研习。

在重视理论课程教学的同时,本专业还特别注重学生的动手能力、解决实际问题能力的培养。所以,在课程安排中包含了大量的实践性环节。

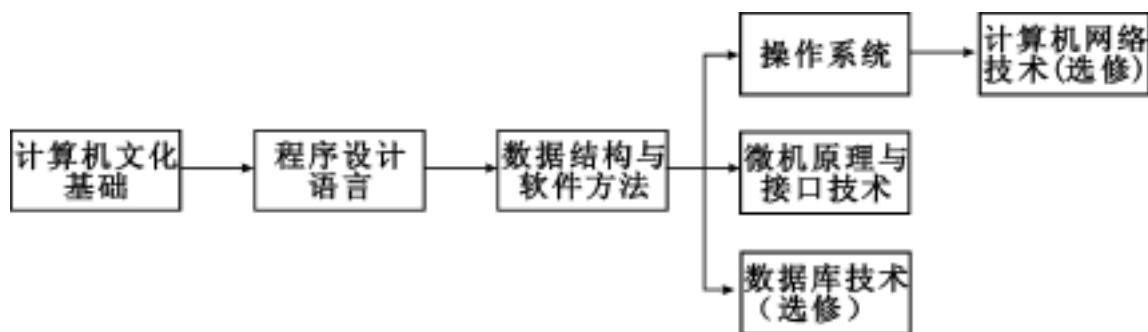
### 7.3.4 自动化类专业主要教学内容的系列与分布

#### (1) 主要课程系列

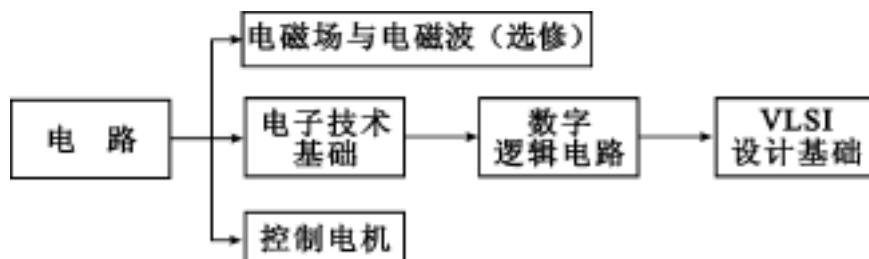
##### · 数学课程系列



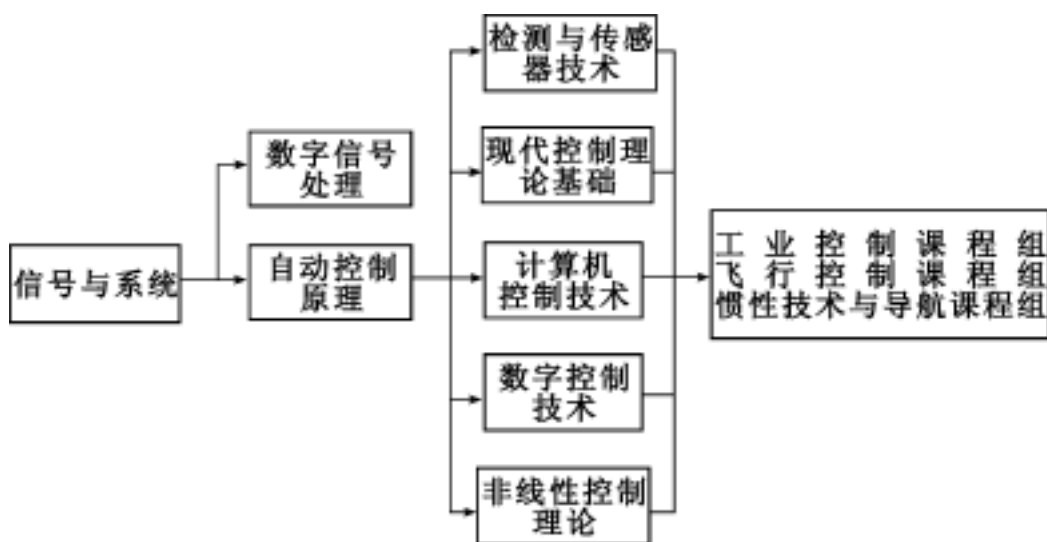
##### · 计算机课程系列



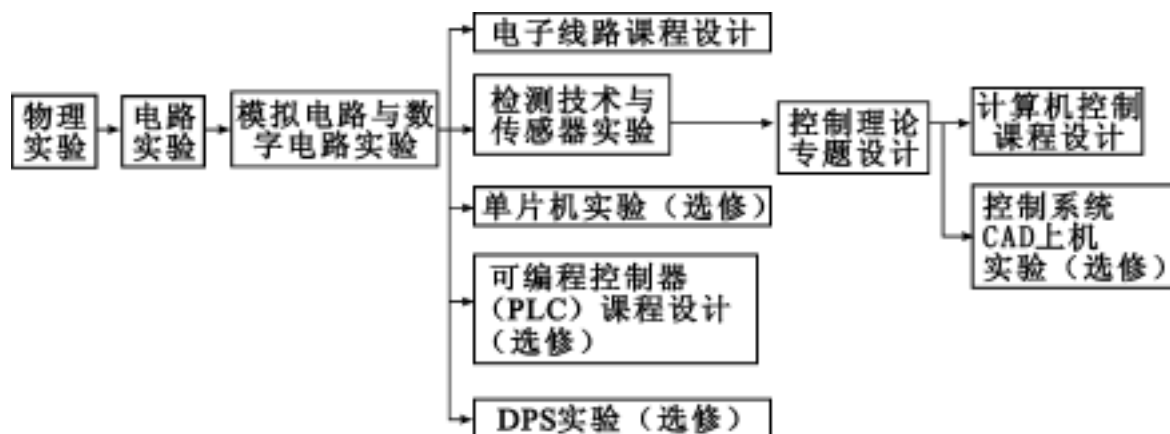
##### · 电类课程系列



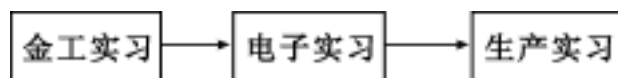
## · 控制类课程系列



## (2) 主要课程设计和实验系列



## (3) 主要实习系列



## (4) 主要课程和主要实践环节分布

表 7.1 中“自动化仪表与过程控制”是针对工业控制方向列举的专业课,对其他专业方向将对应不同的课程。此外,不同高校的自动化类专业的具体教学安排与该表可能不完全相同。



## 7.4 自动化类专业的教学环节

我国自动化类专业的教学环节和大多数工科专业的教学环节类似,主要有:课堂教学(包括课堂讲授、课堂讨论、习题课等)、习题和作业、辅导和答疑、实验、自学和自学指导、各种实习、社会调查、生产劳动、考试考查、课程设计和毕业设计等。其中课堂讨论、习题和作业、辅导和答疑、自学和自学指导等环节的学时比例和学时数一般由任课教师在授课计划中统筹安排,不同性质的课程有所不同。

### 7.4.1 课堂讲授

课堂讲授是教学的基本形式,是理论教学的主要环节。其主要作用是通过教师讲授,使学生系统地、集中地学到科学文化知识。在教学过程中学生是认识的主体,在课堂讲授时教师要调动学生的积极思维,与此同时学生应该在课前预习、课后复习。

### 7.4.2 习题课和课堂讨论

习题课和课堂讨论是课堂讲授的有效补充,目的是帮助学生理解、巩固和深化所学知识,是培养学生智能的重要环节。习题课的时效视课程性质、内容的不同而有所不同。在习题课上,教师通过分析典型例题,使学生掌握分析问题的方法和解决问题的技巧,增强学生的论证和运算能力。课堂讨论是培养学生智能的重要渠道,是一种学习与思考相结合的教学环节。课堂讨论一方面促进学生的自主学习,锻炼学生分析问题和口头表达观点的能力,培养学生的发现性思维。另一方面,教师可以通过课堂讨论检查学生的学习效果和智能发展水平。此外,一些难于理解或容易混淆的概念,通过课堂讨论甚至争辩,可以得到澄清或变得易于接受。课堂讨论对培养学生独立思考能力、拓宽思路有着很大的促进作用。

### 7.4.3 实验

实验是重要的实践性教学环节。通过教学实验,可以帮助学生巩固和加深理解理论知识,培养学生掌握基本的科学实验技能和科学研究的方法,使学生建立起严谨、科学的治学态度和实事求是、理论联系实际的学风。同时培养学生爱护国家财产、遵守纪律、相互协作等品质和素质。实验是自动化类专业不可缺少的教学环节。

### 7.4.4 实习

自动化类专业最主要的实习是生产实习,一般安排3~4周(含路途时间)。通过实习使学生接触实际,增强感性认识,巩固所学理论知识;获得生产实际知识和技能,了解组织管理生产知识,提高独立工作能力;培养忠于职守、勤奋工作、热爱集体、遵守纪律等品格以及一丝不苟的思想作风;学习科学管理的方法。传统的生产实习是集中安排的,即以班级为单位,在带队教师的指导和管理下集中到某现代化化工厂实习,主要包括安全教育、工程技术人员授课、工人师傅讲解、参观和实际动手操作等。目前在一些高校开始试行分散实习,即3~5人一组,自行到相关单位实习,最后根据实习总结报告和实习单位的评语评定实习成绩。后一种方式,由于没有教师的随行指导和管理,对学生提出了更高的要求。

### 7.4.5 课程设计和毕业设计(论文)

课程设计属于习作性作业,但又不同于课外作业。通过课程设计使学生面对模拟或实际的工程问题,运用所学的科技知识提出自己的技术设想和方案,并在实验室条件下具体实现,在较大程度上提高学生的自学、组织与创新以及科学运算、制图和使用技术资料的能力。通过课程设计,还应当使学生树立正确的设计思想、初步的工程技术方法和科研方法。自动化类专业一般安排2~3个课程设计。

毕业设计(论文)是专业学习总结性作业,也是作为专业工作者独立工作的开始。它培养学生综合运用所学知识和技能来分析和解

决问题,是工程设计和科学研究基本训练最重要的环节。自动化类专业的毕业设计安排在大学四年级最后一学期,一般为期 12~18 周。

#### 7.4.6 社会调查

社会调查原是文科学生的必修课,后来被引进到工科教育作为了解社会,进行国情教育的一个环节。一般结合其他课程或教学环节进行,在教学计划中没有硬性规定。

#### 7.4.7 考核

考核主要有考试和考查两种,其目的是检测与评价教学质量,为教学工作提供反馈信息,同时也是为了鉴别和发现优秀人才。目前几乎所有重点大学都推行保送研究生制度,即应届毕业生中 10% 左右的优秀学生可以免试进入研究生阶段学习,其主要的选拔标准就是学生从大学一年级到大学四年级各门课程的考核成绩。

考试按实施周期可分为期中考试、期末考试和小测验,按实施方式可分为口试、笔试和实践考试(操作考试)。其中笔试又可分为开卷、闭卷等形式。期末考试的内容较多,而且带有总结性质,通过系统地总结和复习,可以对整个课程有一个全面的、整体的了解。

有些课程结束时不进行考试,而用考查的办法确定成绩。一门课程是考试还是考查,将由教学计划决定。一般说来,必修课程通常都是考试课程,而选修课程通常是考查课程。

## 7.5 课外教育活动的意义和内容

教学计划内所设置的课程是传授知识、培养智能的重要途径,但不是唯一途径。课外教育活动,简称课外活动,同样可以获得知识、培养智能,是高等院校教育和教学活动不可缺少的部分,所以有人称课外活动为第二课堂。

### 7.5.1 课外教育活动的意义

#### 7.5.1.1 巩固、加深、扩展课堂教学的内容

课堂教学的内容是专业培养计划(教学大纲)对学生的基本要求,但往往偏重于书本知识的传授,较少接触实际事物,较少得到感性认识。而课外活动则可以通过多种实际活动,让学生亲身参加实践,使许多书本知识得到应用或解释,从而得到进一步的巩固和加深;同时可以帮助学生了解学科的发展方向、研究动态,从而吸收更新鲜的知识、开拓更广阔的视野。

#### 7.5.1.2 帮助优秀人才脱颖而出、尽快成长

高等院校的教学计划是针对大多数学生(中等水平学生)制定的,因而需要一个有利于优秀学生脱颖而出的环节加以补充。课外活动恰恰可以创造优越的条件来注重学生的个性发展,为基础、兴趣、特长、能力和素质有差异的学生提供不同的机会,使优秀的、有特长的学生能够脱颖而出、尽快成长。

#### 7.5.1.3 开发学生的非智力因素

非智力因素包括兴趣、意志、情感等,它对于智力的发展、能力的培养有重要的调节和推动作用。一般来讲,人的智力差异不会很大,而非智力因素对于人才的成长有更大的作用。长期的教育实践表明,一个没有一定特殊兴趣和爱好、意志薄弱、感情脆弱的学生,哪怕他各门课程都取得优良成绩,将来也不太可能成为一个有突出贡献的人才。目前,课外活动是开发学生非智力因素最主要的途径。

#### 7.5.1.4 提高学生的人文社科综合素质

实践证明,一个现代化的人才不仅要掌握先进的科技专门知识,还必须具备社会、人文等综合素质。如何使理工科大学生增加人文和社会科学方面的知识,提高他们的人文和社会科学素质,是高等教育一个十分迫切的任务。但由于学时的限制,不可能增加很多的人文社会科学课程,而且人文素质等也不可能仅从课堂上获得。校园文化活动、人文社科讲座、各种社团等课外活动是提高理工科大学生人文、社科等综合素质的有效渠道。

### 7.5.1.5 培养和锻炼学生的社会活动能力以及自我学习、独立工作的能力

学生在校的主要任务是学习科学知识、提高专业技能,但仅仅认识到这一点是不够的。学生生活在集体的环境中,也有参加集体活动、组织集体活动、为集体服务的义务。同时通过积极参加集体活动和承担社会工作,可以培育和锻炼自己的社会活动能力,包括学会处理人际关系、培养团队精神、养成良好作风、增强组织管理能力等,为今后步入社会打下基础。

另外,课外活动既没有固定的内容、固定的模式,一般也没有教师的监督和指导,更没有分数、成绩的制约,完全是学生自我教育、自我培养的天地。需要的是学生自己动手、自己动脑,在探索中学习和发展。所以,课外活动更加可以使学生会怎样学习、怎样工作,为将来一生的工作和学习奠定良好的基础。

## 7.5.2 课外教育活动的类型和特点

### 7.5.2.1 课外活动的类型

每个学校的教育环境和条件不同,使得课外活动的类型和内涵不尽相同。一般说来有以下几类:

- (1) 政治性的课外活动;
- (2) 学术性的课外活动;
- (3) 知识性的课外活动;
- (4) 健身性的课外活动;
- (5) 娱乐性的课外活动;
- (6) 公益性的课外活动。

### 7.5.2.2 课外活动的特点

课外活动和课堂教学总的目标是一致的,即都是为了培养和造就合格的专业人才,但在教育内容、形式和方法等方面又有明显的区别。

(1) 课外活动的内容不受本专业教学计划、教学大纲的限制。课外活动的具体内容是由该活动的目的、学生的愿望以及物质条件、人力资源等确定的,活动的次数可多可少,活动计划具有较大弹性。

(2) 课外活动的形式灵活多样,没有绝对的模式。课外活动的规模、场所以及时间都应该根据在可能的条件下如何达到最佳的效果来决定。

(3) 课外活动是学生自己的活动,一般从活动的规划、设计和具体操作都应该是学生独立自主完成的,学生是主体,教师仅在需要时进行必要的指导。当然,学术性较强的课外活动可能离不开教师的指导。例如在全国有较大影响的“挑战杯”科技竞赛活动,指导教师通常在其中起十分重要的作用。

(4) 学生参加什么样的课外活动完全决定于学生自己的兴趣、爱好和特长,学生可以高度自主和自由地选择。但课外活动肯定要学生投入时间和精力,参加过多的课外活动势必要影响规定课程的学习,这是不允许的,应该进行必要的限制。

(5) 课外活动没有课程学习那样的考试、考查,主要是通过比赛、交流、展览、宣传等生动活泼的形式予以鼓励,有的院校还通过学分、鉴定等方式加以肯定。

值得注意的是,尽管课外活动在提高学生学习质量和素质修养等方面有许多优点,但必须清楚地认识到课外活动仅是高等教育的辅助手段。只有在高质量完成课程学习任务的基础上适度参加课外活动才是可取的,否则将是本末倒置、得不偿失。

### 思 考 题

7.1 为什么说现阶段我国的高等教育属于专业教育范畴?高等教育与初等教育的根本区别是什么?

7.2 探讨大学学习、生活的特点,论述自己如何才能有效地完成大学阶段的学习任务。

7.3 个人的特长、爱好和兴趣对青年人成长有什么重要作用?你对什么课程特别感兴趣?你课余有什么样的爱好和特长?你准备在哪些方面进行发展或调整?

7.4 公共课程、基础课程、技术基础课程和专业课程之间的相互关系是什么?你现在认识到从这几类课程中分别应该主要学到哪些方面的知识?

7.5 选修课和必修课有什么区别?选修课中限制性选修课和任意选修课有

什么不同？学习限制性选修课和任意选修课各自的目的是什么？

7.6 你认为哪些课程是本专业的主要课程(含基础课程)？明确本专业的几个主要课程系列对提高学习质量和学习效果有什么帮助？

7.7 根据本专业的教学安排,分析本专业专门人才应该具有什么样的知识结构。除了完成规定的课程学习外,你计划自学或补充哪些方面的知识？有没有较长远的计划或设想？

7.8 简述工科大学生培养中的基本教学环节,对比分析与中学阶段的教学形式的异同点,指出哪些教学环节是主要的,说明你比较喜欢什么样的教学方式。

7.9 你认为课外教育活动应该包含哪些内容？有偿家教是不是有意义的课外教育活动？你是如何对待有偿家教的？

## 8 学习原理和学习方法

本章讨论与自动化专业有关的学习原理和学习方法,旨在为本专业本科学生提供一个学习的指导。

### 8.1 大学学习的概念

与中学阶段不同,大学阶段是开始系统掌握专门知识和运用专门知识的学习过程。包括课堂授课、自习、作业练习、课程考试、课外阅读、实验课、实习、课程设计、文献检索与资料搜集、研究报告、毕业设计等等。在这个学习过程中,优秀的学生始终处于主动地位,他(或她)能够及时准确地掌握所学课程的知识要点,而且能够把理论与实际联系起来,勇于动手完成各种实验,并热爱科技作品制作。同时通过大量阅读书籍和文献,广泛涉猎相关的知识领域,举一反三,使学到的知识能够灵活运用。这样,当大学毕业时,已经显现出在本专门领域的知识功底。一旦进入更高层次的学习阶段,或者走向社会,很快就会成为本专业领域的专家。相反,有些掌握学习方法不当的同学,往往处于被动的学习过程,他(或她)总是赶不上学习的进度,不能很好地掌握知识要点,或者不善于动手完成实验,理论脱离实际等等。这样,在未来的工作中就会觉得力不从心。

因此,掌握好的学习方法,理解大学学习的特点,将对每个大学生都具有十分重要的意义。实际上,大学学习就是在教师指导下学生的一种知识(或信息)获取的过程,学生本人是学习的主体,知识就是学习的对象。在这个过程中,主体的积极性是一个关键的因素。主体的积极性来源于对学习目的的明确。也就是说,学生本人必须明确为何要上大学,上大学要干什么。在社会主义的祖国,学习的根本目的是为人民服务,而上大学就是为了增长为人民服务的本领;就是为了学会生存



和更好生活的本领,成为国家和社会的栋梁之才。学习目的明确了,也有了学习积极性,紧接着就要掌握好的学习方法。好的学习方法不是一成不变的,而且根据个人的特点的不同也有所不同。一般来说,对每门课程在课堂授课前要对授课内容进行预习,首先知道一个大概,这样在听课时就能紧跟教师的思路,不至于因学习的效率较差而白白浪费听课时间。其次,要对教师的授课内容进行复习,以便牢固掌握所学知识。更重要的是,需要通过实验来验证课堂传授知识的正确性,或者通过大量阅读参考文献来印证知识的相互联系。这样,大学阶段就会对某个专业领域的知识奠定了很好的基础。

## 8.2 自动化专业大学生的学习任务

自动化专业是一个相对比较通用的专业,它涉及到工农业生产、国防建设,甚至人们的日常生活。学习自动化专业要掌握的基本知识非常广泛,因而学习任务就相对繁重。现在就本书编者的理解对自动化专业大学生的学习任务综述如下:

### (1) 政治与人文科学的学习

自动化专业的大学生与我国所有的大学生一样,在大学阶段必须学好指定的政治与人文科学知识。正如前面所述,要树立正确的人生观和世界观,明确大学学习的目的,认识到客观世界是物质的,其演变是辩证的。因此,政治与人文科学知识的学习是必不可少的。这样才能排除社会上各种不良思潮和风气的影响。其次,在大学阶段必须学好外语。大学生要想成为这个领域的专家,需要阅读大量的外文文献以了解和掌握国外的有关动态,更需要加强与国际上的学术交流,用外语撰写并宣读学术论文,这都需要很好的外语基础,读、听、写和说四种能力都需要。

### (2) 自然科学基础理论知识的学习

因为自动化专业涉及的领域广泛,因而对包括数学在内的自然科学基础理论知识要求较高。数学的学习,除了要牢固掌握大学高等数学所包括的微积分基础知识之外,有关复变函数等应用数学的内容也

要很好掌握。此外,要求对线性代数和概率论有较好的基础。因为现代科学计算需要大量的线性代数知识,而自动化专业将来面临处理很多不确定性科学问题需要概率论知识的支持。

其次,大学物理和化学是自然科学最基础的知识,有关力学、电磁学、热学和光学的基础知识将会对工程类大学生未来的素质培养起到非常重要的作用。由于自动化专业的服务对象非常广泛,因此化学的基础知识,是非常重要的。物理和化学知识是许多行业和生产的基础。

### (3) 专业基础课程的学习

自动化专业属于信息类专业,在大学阶段必须掌握有关电路、信号与系统、自动控制理论(经典部分)等专业基础知识,同时还应该牢固地掌握微型计算机原理、数据结构等有关计算机的专业基础知识。与此同时,还应该对信息领域的其他知识有所了解,如集成电路设计、通信原理和信息论的初步知识等。特别是控制理论和计算机的知识,应是自动化专业的基础。

### (4) 专业课的学习

自动化专业的本科生应对工业仪表、可编程控制器、过程控制、分布式计算机控制系统、接口技术、现代控制理论等专业课程有比较深入的了解。并能够针对具体的应用对象设计合理的控制系统,应能进行参数整定和调试。

### (5) 专题讲座课的学习

为了拓宽自动化专业本科生的知识面,各大学都开设了一定数量的专题讲座课。本书编者认为这类讲座课应该分为两类。一类是补充自动化专业本科生课程设置的偏差,如理论力学对于自动化专业就非常重要,可以用讲座形式加以补充。另一类就是对本学科更高层次的知识进行初步的概念讲述,如随机系统分析、估计理论与卡尔曼滤波、数字信号处理、图像处理、数据库、计算机网络、最优控制等。这样就使自动化专业的本科学生有比较广泛的知识基础,为将来准备广阔的活动空间。

## 8.3 学习过程和掌握客观规律

大学本科的学习,实际上可以分为两个阶段。第一阶段是由入学到完成基础课学习。第二阶段是由进入专业基础课学习到毕业设计。

在第一阶段,大多数本科学生的学习带有盲目性,既不了解本专业的情况,也不太了解学习这些基础知识究竟是为了什么。一种最原始的学习动力就是知识本身的吸引力,经典的数学和物理学等所具有严格科学体系,使不少胸怀大志的大学生领略到知识的奥秘。大学校园浓厚的学术空气使他们感到新鲜,感到对知识的渴求。大学教师严谨的授课风格和丰富的知识也往往使他们为之倾倒。在考场上一试身手,争取得到好成绩也是一些大学生学习的动力。在此阶段,一些优秀的学生开始冒尖,他们崇拜的人物往往是牛顿和爱因斯坦,谈论的是微积分和相对论,想象中的未来是在科学上的重大发现,学习成绩一路领先。但是,有一些学生却不能很好地适应大学的学习生活,尤其不能适应强烈的竞争环境。他(或她)在中学阶段可能是全年级的佼佼者,而现在却远远地落在了别人后边。开始可能不服气,经过多次较量并失败后可能怀疑自己的能力,进而自暴自弃,成绩一落千丈。为此,在此阶段应该注重人生观的培养,尤其要明确大学本科学习的目的是培养将来为人民服务的本领。牢牢地掌握基础知识是进一步获得专业知识必不可少的环节。一次或几次考试的成败不足以说明一个人的未来。学生要争取好的成绩,但学习的目的不只是为了成绩。在此阶段,教师要引导学生们逐步掌握基础课学习的规律。既然基础课具有严格的理论体系,学习的方法就应该着重理解这种体系的核心内容,以及这种体系的科学价值。基础课需要通过大量练习才能牢固掌握演算和推理的基本功,同时物理实验之类的实践课程也是加深理解的有效途径。

在第二阶段,大多数大学生已经适应了大学的学习环境。由于开始接触专业基础知识,此时会有两种不同的倾向。一种倾向是对专门知识的新鲜感觉,特别是了解到专业领域已经取得的辉煌成就,为自己将来成为该专业领域的一员而感到自豪。此时,学习拔尖的学生会对

专业基础知识和专业知识产生浓厚的兴趣,尽量运用已经掌握的基础理论来诠释本专业遇到的各种问题,尽可能用科学实验来验证所学理论的正确性,从而取得好的学习成绩,并且打下了牢固的专业基础,对专业知识也有深入的了解。与此相反,另一种倾向是有些学生或者因为特别喜欢基础知识的严谨性,而对具有概括性和经验性的专业基础知识和专业知识不适应,总是怀疑其正确性而拒绝接受;或者因为缺乏归纳思维的能力而对相对分散的知识难以理出头绪,从而失去对专业知识的兴趣。后面几种情况都会导致学习成绩下降,达不到预期的培养目标。在此阶段,大学生们需要调整自己的心态,使之适应专业基础课和专业课学习的特点。一方面要理解不同领域知识固有的差别,要适应专业基础课和专业课相对分散的知识体系,要从将来所从事自动化事业的角度看待所学的课程,决不能按一时的兴趣进行取舍,更不能妄自菲薄,在学习上打退堂鼓。正确的方法是从将来应用的角度更多地了解本专业的课程设置和所学课程的基本内容,密切结合课程实验,培养专业兴趣,使得学习成为一种乐趣,而不是一种负担。只有这样,才能学好专业基础课和专业课。

## 8.4 对学习有重要影响的一些因素

进入大学学习的一批大学生本来都是中学时期的佼佼者,为什么在大学阶段会急剧地拉大差距?是什么因素对大学生的学习效果产生影响?要回答这样的问题是十分困难的。就本书编者的理解,大致有如下因素:

### (1) 学习的目的性

有的学生具有明确的学习目的——掌握知识,掌握为人民服务、为社会主义祖国服务的本领。在学习的过程中学会学习,学会在将来的激烈竞争的社会中生存与发展的本领。还有一些学生压根就没有想过到底为什么而学习。由于学习的目的不同,产生的学习动力也不同。学习目的不明确的人特别容易患忽冷忽热的毛病,而学习目的不正确的人往往表现为心胸狭隘,个人利益高于一切,严重影响与同学和教师

的关系,或者容易受到社会上各种不良思潮和风气的影响。只有树立正确的人生观和世界观,建立为人民服务的思想,才能树立正确的学习目的,才能持之以恒地对待学习。

### (2) 学习方法

有的学生在学习遇到困难或处于相对落后位置时,往往产生一种认识:学习好是因为天生聪明,学习不好是因为天生笨拙。因为他们与拔尖学生有着差不多的经历,也付出了差不多的辛苦,学习的态度也同样端正,为什么结果会有如此大的差别?所以容易归结为天分的高低。本书编者认为,人的大脑存在差异,聪明程度也不尽相同。但是,一批同时进入同一大学同一专业的大学生们在天资方面决不会有太大的差异。问题往往出在所采用的学习方法不同。正如前面所述,针对不同阶段所学课程特点的不同,采用与之相应的正确学习方法,就可以取得好的效果;采用不正确的学习方法,事倍功半。不仅学习吃力,而且得不到好的效果。

### (3) 环境因素

大学不是与世隔绝的书斋,社会上的任何风吹草动都会影响大学生的学习情绪。我国正在建立社会主义市场经济,这从整体上对于我国社会经济的进步有着十分重大的意义。但是,有些学生不能正确把握自己,急功近利,过早地希望在市场上一试身手,不能专心致力于课程学习,这样必然会影响自己的学习成绩。其次,大学生过多地将时间花在谈恋爱上也是影响学习的一个重要因素。尤其是刚刚入学不久的大学生,年龄太小,涉世不深,一旦沉入爱河,往往不能自拔,整天神不守舍,注意力不集中,如何能学好功课呢?再者,社会上的各种反科学的歪理邪说也是大学生们要深深警惕和抵制的。

### (4) 经济条件

现在,经济条件有时也是影响学习的一个因素。由于大学不再是义务教育的阶段,国家目前实行有限收费的制度,这对改善教学条件,发展我国的教育事业都有非常积极的作用。但是,这必然会对部分来自农村的学生和城市低收入家庭的学生产生影响。国家和学校已经采取了贷款等政策,社会上也有许多有识之士和对国家高教事业持支持

态度的企业,在高校设立了各种各样的奖学金,这为解决部分学生的困难起到很大的作用。随着我国经济的进一步发展,相信会得到进一步的改善。作为学生,务必要正确对待经济条件,不能因为家庭经济条件优越就养成乱花钱的恶习,也不能因为经济一时的困难就丧失学习的信心。正确的态度是积极争取优异成绩,为改善学习环境尽可能创造条件,尽量节约开支,同学互相支持。同学中不要拿经济条件来攀比,更不要讲究排场乱花钱。相互比较的是学习,是所具有的知识水平和从事实际工作的能力。

## 8.5 怎样学好理论课

对于自动化专业的大学生而言,理论课主要包括基础课和部分专业基础课,也包括个别专业课如自动控制理论等。所谓理论课是指具有严格的理论体系,需要定量描述和抽象思维的一类课程,如数学、物理、控制理论等。对于工程类专业设置的理论课实际上就是本专业的的基础,离开这个基础就不能深入理解本专业面临要解决的实际问题,更不能对这些问题提出有效的解决方案。如何学好理论课呢?就本书编者的理解,大致谈如下观点:

### (1) 广泛阅读教材和参考书籍,深刻理解理论体系

大凡理论课程都有比较严谨的理论体系,而不同的书籍对此理论体系的叙述方式及涉及的内容则不尽相同。为了能够对这个理论体系有全面深入的了解,学生就需要阅读不同的书籍进行相互印证。特别是数学,工学类和理学类的数学教科书的教学内容差异很大,对理论的叙述方式差别也很大。对于一个工程类的大学生,如果不满足课堂教学的内容,参阅理学类的教科书也能获益匪浅。当然,这需要根据个人的情况而定,平时学习已经感到吃力的学生则不宜大量阅读参考书。

### (2) 完成大量练习,积极讨论问题

理论课程大都附有大量的习题,严格准确地完成这些习题对加深理论本身的认识有不可替代的作用。学生做的练习越多,对理论的理解就越深入。在试做习题之前,一定要对有关理论内容,有初步的理

解,不然则是事倍功半,欲速则不达。除了大量做习题之外,同学间相互讨论也是深入掌握理论课程内容的有效手段。因为理论课程有其固有的难点,个人的理解有时会出现偏差,或从不同的角度,通过集体讨论可以纠正错误理解或相互补充。这种讨论可以是教师组织的大范围讨论,也可以是几个同学的相互切磋。养成相互讨论的学风,对于日后积极开展学术交流都有不可估量的影响。

### (3) 理论联系实际,演绎归纳并重

自动化专业的大学生和所有工学类大学生一样,学习理论的目的是为工程实践服务,而且大多数理论本身就产生于实践。理论联系实际是一个好的学习方法。只有把理论应用于实践,学生才能进一步理解理论的重要性和正确性。也只有通过实践,学生才能真正把实际问题与理论结合起来,进而把经验上升为理论。值得注意的是,许多理论课程采用的是演绎体系,即由一般到个别的过程。初学者往往在惊叹理论体系的严谨性之外,总是弄不明白怎么会得到这样的理论体系。因为,这种演绎过程条理清晰,逻辑严谨,是掌握理论知识的正确途径。但是,工程实践类的知识往往是归纳体系,即由个别到一般的过程。这种过程反映了人类掌握知识的真实过程,也是大学生日后从事科学研究和工程实践要掌握的基本方法。在学习理论课时,学生需要正确把握演绎方法和归纳方法的正确运用,这样才有可能真正掌握科学的学习方法。

## 8.6 重视实验课、重视计算机的应用

自动化专业的大学生将来主要从事的是自动化领域或相关领域的科学研究、工程设计、系统开发或组织生产等工作,大学阶段要特别重视动手能力的培养,包括课程实验、计算机应用等。要特别重视对各种常用元件和工具的熟悉和使用,如各类电表、万用表、示波器、信号发生器、微型电机以及电子元件和常用集成电路块等。书本知识的培养并不能代替能力的培养,如果忽视动手能力的培养,将来只能是一个眼高手低的空头理论家,缺乏分析问题和解决实际问题的真本领。大学

学习期间,各类课程实验不多,所以一定要特别珍惜。

如何重视实验课呢?无论是基础课的实验,还是专业基础课和专业课的实验,其共同的特点就是要求学生亲自动手完成某些操作,获得实验数据,然后分析实验结果,再撰写实验报告等。所谓重视,就是要求每个学生认认真真地准备实验,仔仔细细地操作,然后经过思考和分析,得到一个比较全面的、符合科学规律的实验结果,并体现在自己的实验报告里。其中最主要的是独立操作,独立分析,以培养独立工作的能力和严谨的工作态度。在实验课中每个学生不能依赖别人,不能抄袭别人的结果,更不能偷工减料,弄虚作假。培养科学的态度和严格的工作作风是实验课的重要目的之一,特别是通过整套的实验训练,学生可以从了解如何进行科学实验,如何严格处理实验结果,如何从实验数据中得到科学结论等等。

当代大学生与过去历代大学生最大的差别就是要求具有熟练的计算机技能,这不仅是科学和技术发展的需要,也是考核当代大学生能力的一个重要指标。熟练掌握计算机,包括对操作系统、编程语言、数据库、计算机网络等的熟练掌握,也包括对自动化领域各种计算机系统的了解,如办公自动化系统、工业过程分布式计算机控制系统、计算机辅助决策系统等。大多数大学生对于计算机的热情较高,特别对上网都比较感兴趣。此时特别要注意正确分配时间,正确掌握尺度,既要熟练掌握计算机,又不能沉溺于计算机而不能自拔。

## 8.7 重视面向实际,勇于解决实际问题

对自动化本科大学培养的最终目的,就是使学生能解决自动化及相关领域的各种科学技术问题。在大学学习的阶段他们就要注重培养解决实际问题的能力。特别是到了高年级,大学生已经开始接触并掌握了一些专业知识,这就需要进一步拓宽知识面,对本专业领域的实际问题要有所了解。自动化是一个适应范围特别宽广的专业,包括由办公自动化到各种工业过程的控制,由机器人到各种空间飞行器,由简单的逻辑控制到复杂的智能控制等等内容。因此,自动化专业的大学生



特别需要重视面向实际,要有意识地注意工程实际中提出的各种问题。要面向实际和爱好实际。在参观和生产实习中,一定要不耻下问,向工人师傅学习,向企业的工程技术人员学习,向各个领域的专家学习,向实际学习,学习实际知识,学会解决实际问题的能力。这可以缩短从大学学习后到实际单位工作间的客观存在的距离。有条件的学生最好能参与各种科技作品制作和学生科协组织的小型项目开发,这对锻炼解决实际问题的能力很有好处。

### 思 考 题

8.1 试小结你对大学学习特点的认识。哪些是适应的?哪些还不适应,应该怎样去适应?

8.2 在中学时你对什么课感兴趣?学习上有哪些特长?课余有什么爱好和特长?你准备在大学里怎样进一步发展自己的爱好和特长?如果什么都爱好,或没什么兴趣和特长,你准备怎样加以调整?

8.3 公共课、基础课、技术基础课和专业课,它们各是哪种类型的课程?你现在认识到从这几类课程中各应该学到哪些主要的知识?

8.4 你认识到哪些课程是本专业的主要课程(含基础课)?明确本专业的几个主要课程系列对提高学习质量有什么帮助?

8.5 试述听好教师的课堂讲授在学好理论课程中的作用,以及学好实践课程在培养能力方面的作用。

8.6 试述学习理论课和学习实践课在学习方法上的区别。

8.7 你认为听好教师讲课和记好课堂笔记有矛盾吗?如果无矛盾,你是怎样处理的?如果有矛盾,你准备怎样去解决它?

8.8 在学习过程中多提问题有什么好处?谈谈你和教师、同学讨论学习过程中产生问题的讨论方式,举几个讨论过程中尝到“甜头”的例子,并分析为什么这种讨论有收获。

8.9 你平时怎样处理复习和做作业的关系?在你自学的过程中,在什么情况下做作业最有效?

8.10 试总结自己的学习方法(听课和记课堂笔记、预习、复习、做作业、讨论、看参考文献和记读书笔记、学习总结等)。哪些方面可取,应该继续做好;哪些方面不可取,应该设法改进。

8.11 你是怎样看待考试的?你从长期学习实践中认识到考试的主要作用是什么?你怎样对待考试中的成功和失败?

## 参考文献

- 1 中国大百科全书总编辑委员会[教育]编辑委员会 .中国大百科全书·教育卷 .北京:中国大百科全书出版社,1985
- 2 中国大百科全书总编辑委员会[自动控制与系统工程]编辑委员会 .中国大百科全书·自动控制与系统工程卷 北京:中国大百科全书出版社,1991
- 3 罗福午 .土木工程(专业)概论 .武汉:武汉工业大学出版社,2000
- 4 (日)相良节夫 .基础自动制御 .东京:森北出版株式会社,1978
- 5 万百五 .中国古代自动装置 .取自《中国大百科全书·自动控制与系统工程卷》,1991
- 6 刘仙洲 .中国机械工程发明史 .北京:科学出版社,1965
- 7 Needham, J ., Clerks and Craftsmen in China and the West, Britain, Cambridge: At the University Press, 1970
- 8 万百五,凌维侯 .自动化技术史 .取自《中国大百科全书·自动控制与系统工程卷》,1991
- 9 吴蕴章 .自动控制理论基础 .西安:西安交通大学出版社,1999
- 10 蔡自兴 .智能控制——基础与应用 .北京:国防工业出版社,1998
- 11 Lauer H, Lesnick R and Matson .L .E ., Servomechanism Fundamentals, New York: McGraw-Hill Book Co ., Inc ., 1947
- 12 金以慧 .过程控制 .北京:清华大学出版社,1993
- 13 [前苏联]伏龙诺夫著,徐俊荣,万百五等译 .自动调整理论基础 .北京:电力工业出版社,1957
- 14 [前苏联]苏洛多夫尼柯夫著,王众托译 .自动调整基础 .北京:电力工业出版社,1959
- 15 万百五,黄正良 .大工业过程计算机在线稳态优化控制 .北京:科学出版社,1998
- 16 中国大百科全书总编辑委员会[交通]编辑委员会 .中国大百科全书·交通卷 .北京:中国大百科全书出版社,1986
- 17 韩光文 .辨识与参数估计 .北京:国防工业出版社,1980
- 18 黄文虎,夏松波等 .设备故障诊断原理、技术及应用 .北京:科学出版社,1996
- 19 万百五 .工业大系统优化与产品质量控制 .北京:科学出版社,2003
- 20 Tony Fitzpatrick . Live Remote Control via the Internet, IEEE Robotics & Automation Magazine, 1999, September

- 21 吴迎年,张建华,侯国莲等.网络控制系统研究综述(I).现代电力,20(5), 2003
- 22 陈启军,陈辉堂,王月娟.基于 Internet 的机器人控制技术及其应用.电气自动化, 23(1), 2001
- 23 陈维芳.桂林橡胶厂开发 GRM Link 轮胎硫化计算机网络控制系统.橡胶工业, 50(11), 2003
- 24 管晓宏.自动化科学与技术的发展——信息科学技术概论(讲稿).2003
- 25 钱学森,宋健.工程控制论(修订版),北京:科学出版社,1980
- 26 [英]M.G.辛,[法]A.铁托里,周斌等译.大系统的最优化及控制.北京:机械工业出版社,1983
- 27 郑春瑞.系统工程学概述(第二版).北京:科学技术文献出版社,1985
- 28 钱学森,刘再复.文艺学、美学与现代科学.北京:中国社会科学出版社,1986
- 29 王雨田.控制论、信息论、系统科学与哲学.北京:中国人民大学出版社,1986
- 30 王平洋.现代电力系统自动化与电子计算机的应用与发展.北京:水利电力出版社,1986
- 31 汪应洛,陶谦坎.系统工程及其应用.北京:科学出版社,1990
- 32 汤兵勇等.环境系统工程方法.北京:中国环境科学出版社,1990
- 33 施仁,刘文江.自动化仪表与过程控制.北京:电子工业出版社,1991
- 34 冯纯伯.自动化技术.南京:江苏科学技术出版社,1993
- 35 戴绪愚,张开逊等.现代高技术丛书——自动化技术.上海:上海科学技术出版社,1994
- 36 杨嘉墀.航天器轨道动力学与控制.北京:宇航出版社,1995
- 37 陈士橹.航天器姿态动力学与控制.北京:宇航出版社,1998
- 38 邵惠鹤.工业过程高级控制.上海:上海交通大学出版社,1997
- 39 丁飏,章以均,刘新良.人类手、脚、脑的延伸——自动化新技术(构造未来的高技术丛书 10).北京:金盾出版社/科学出版社,1998
- 40 金以慧,郭仲伟.过程系统控制与管理.北京:中国石化出版社,1998
- 41 蒋慰孙,俞金寿.过程控制工程(第二版).北京:中国石化出版社,1999
- 42 孙自强.生产过程自动化及仪表.武汉:武汉工业大学出版社,1999
- 43 徐延万.弹道导弹、运载火箭控制系统设计与分析.北京:宇航出版社,1999
- 44 侯志林.过程控制与自动化仪表.北京:机械工业出版社,2000
- 45 邵裕森,戴先中.过程控制工程.北京:机械工业出版社,2000
- 46 张建钢,胡大泽.数控技术.华中科技大学出版社,2000

- 
- 47 于功弟 21 世纪工业的主导—CIMS 电脑开发与应用,1994,7(3)
  - 48 赵欣宇,柴天佑,赵新力 .CIMS 与 CIPS 体系结构对比分析的研究 .信息与控制,1998,27(4)
  - 49 曲润涛,彭健,杜秀华 .CIMS 和 CIPS 中关键技术的比较 .化工自动化及仪表,1998,25(5)
  - 50 丁立言 运输技术的新发展——智能交通运输系统 .物流技术与应用,1998,3(2)
  - 51 王亦兵,韩曾晋,贺国光 .城市高速公路交通控制综述 .自动化学报,1998,24(4)
  - 52 王平洋 .电力系统自动化与智能技术 .电力系统自动化,1998,22(1)
  - 53 郑应平,张冬梅 .智能交通系统 (ITS)建模与控制问题 .公路交通科技,1999,16(2)
  - 54 朱学峰 .过程控制技术的发展、现状与展望 .测控技术,1999,18(7)
  - 55 陈火根,杜立贤 .智能建筑中的楼宇自动化控制系统 .能源工程,2000(6)
  - 56 俞波 .智能建筑及楼宇自动化初探 .电力现代化设备,1998(1)
  - 57 任国梁 .智能大厦——建筑智能化的趋势 .工程建设与设计,1998(3)
  - 58 董秀峰 .智能大厦 3A 系统的基本体系结构 .电信科学,1997,13(7)
  - 59 黄晖,李家滨,张尧弼 .楼宇自动化系统的设计与实现 .小型微型计算机系统,1996,17(2)
  - 60 王兆安等 .关于电气工程与自动化专业教学内容和课程体系改革的思考 .高等工程教育研究,1999 年增刊
  - 61 刘位申,张莲芳 .人工智能及其应用 .北京:科学技术文献出版社
  - 62 张际先 .神经网络及其在工程中的应用 .北京:机械工业出版社
  - 63 孙炳达,梁志昆 .自动控制原理 .北京:机械工业出版社
  - 64 廖炯生 .机器人的可靠性·维修性·安全性 .北京:科学出版社
  - 65 石书济 .飞行器测控系统:看不见的领航员 .北京:国防工业出版社,1999
  - 66 何克忠,王宏 .智能移动机器人技术研究 .机器人技术与应用
  - 67 宗光华 .爬壁机器人技术应用 .机器人技术与应用,1998
  - 68 刘淑霞 .高楼壁面清洗机器人及相关技术的研究 .自动化博览,1999(5)
  - 69 欧青立,何克忠 .室外智能移动机器人的发展及其关键技术研究 .机器人,2000(6)
  - 70 贾青 .工控计算机和 PLC 的发展现状 .自动化博览,2000(3)
  - 71 张瑞武,张凯 .城市数字化与建筑智能化 .自动化博览,2000(5)

- 
- 72 陈俊杰,黄惟一,未爱国.基于虚拟现实的临场感遥控作业系统的研究动向.机器人,2000年11月,22(6)
- 73 赵春霞,盛安冬,杨静宇,王树国,蔡鹤皋等.虚拟传感器的建模与实现.机器人,2000年3月,22(2)
- 74 欧青立,何克忠.室外智能移动机器人的发展及其关键技术研究.机器人,2000年11月,22(6)
- 75 刘淑霞,赵言正,王炎.高楼壁面清洗机器人及相关技术的研究.自动化博览,1999(6)
- 76 张永青.高等教育原理.重庆:西南师范大学出版社,1992
- 77 范印哲.大学教学与教材概论.北京:高等教育出版社,1990
- 78 谢祖钊,傅雄烈.高等工程教育概论(修订版).北京:北京航空航天大学出版社,1992
- 79 徐小偲.变与适应——大学新生生活的启示,北京:航空工业出版社,1993
- 80 李定仁.大学教育原理与方法.北京:科学出版社,1994