



高等学校“十三五”重点规划  
信息与自动化系列教材

# 自动化专业导论

ZIDONGHUA ZHUANYE DAOLUN

主 编 刘 胜 张兰勇

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

校“十三五”重点规划  
与自动化系列教材

# 自动化专业导论

ZIDONGHUA ZHUANYE DAOLUN

主 编 刘 胜 张兰勇



**HEUP** 哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书结合自动化专业定位、自动化专业人才培养目标和社会对自动化专业人才的需求,以自动化科学与技术的内涵、特征及发展趋势为主线,系统地介绍自动化的原理、基本技术及其应用,并融入了编者多年船舶控制领域科研项目的实例,具有鲜明的“三海”特色。

本书既可作为普通高等院校自动化类专业大学一年级新生的导学性教材,又可作为电气工程及其自动化、机械设计及自动化、化工自动化等本科专业宽口径教育的通识课或选修课教材。对于对控制学科和自动化技术感兴趣的广大读者,本书也是一本图文并茂、内容丰富、基础和启发并存的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

自动化专业导论/刘胜,张兰勇主编. —哈尔滨:  
哈尔滨工程大学出版社,2017.6  
ISBN 978-7-5661-1491-4

I. ①自… II. ①刘… ②张… III. ①自动化技术—  
高等学习—教材 IV. ①TP2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 084836 号

责任编辑 马佳佳

封面设计 博鑫设计

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 787mm×1 092mm 1/16

印 张 8.5

字 数 234 千字

版 次 2017 年 6 月第 1 版

印 次 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价 19.80 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

---

# 前 言

本书是面向自动化类专业本科生的第一学期专业介绍性教材,全面介绍自动化科学与技术的基本概念、学科性质、发展历史、控制方法、应用领域以及发展前景,并介绍自动化类专业的培养目标、教学安排及学习方法,目的是使自动化类专业一年级学生从一入学就能对自动化类专业及技术有初步而较全面的了解和认识,以便为今后四年乃至更长时间内的学习与研究打下基础,使其学习的目的性更明确,并立志为我国自动化事业的发展贡献力量。

本书结合自动化类专业定位、自动化类专业人才培养目标和社会对自动化类专业人才的需求,对自动化类专业的内涵以及相关知识结构进行了梳理和总结。全书采用“专业定位+基础知识+体系结构+工程实例分析”的结构进行编写,注重理论的系统性和实用性,注重素质教育和创新理念的灌输。本书部分自动化技术应用的介绍取材于编者教学科研实践,且理论联系实际,可读性强。

全书共五章,第1章较深入地介绍自动化科学技术的研究内容,介绍自动化科学技术的发展历史,自动化在工业化、信息化、经济全球化与现代化建设中的重要性,首次提出自动化科学技术是现代化进程中的基石的观点。第2章介绍自动化的最基本的原理与最核心的概念及自动化科学技术的特点。自动化科学技术包含了检测理论与技术、系统建模、控制策略设计、控制系统实现、系统仿真试验、信息管理系统、大系统集成等主要内容,并总结出自动化科学具有数学属性、对象特性、系统与社会属性、渗透与扩散特性等鲜明特点。自动化技术具有桥梁、倍增、系统集成等作用。第3章从分析自动化科学技术学科包含的内容着手,给出自动化类专业的完整知识体系和完整课程体系。自动化专业具有多学科交叉、突出的方法论、系统集成等鲜明特点。通过对世界范围内高等工程教育的整体发展趋势的分析,探讨、预测自动化类专业高等教育的发展趋势。第4章介绍了编者多年来从事船舶工程中的科研实例,培养学生从事船海领域工程的兴趣。第5章介绍了自动化技术在工业生产、交通运输、农业生产、环境保护、医药卫生、军事技术、航空航天等各个领域的广泛应用。全书内容通俗易懂,循序渐进,可以使学生对自动化专业、自动化科学技术及其应用有较深了解。

本书的撰写得到了哈尔滨工程大学教材专项的资助,在此表示感谢。同时,许长魁、战慧强、牛鸿敏、王帮民、郭晓杰、赵宝令等研究生在实例分析、图表编辑、资料整理等方面提供了帮助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免有差错和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者  
2017年5月

# 目 录

第 1 章 现代化进程中的基石——自动化科学技术 .....	1
1.1 自动化的内涵 .....	1
1.2 工业化进程中的自动化 .....	2
1.3 信息化进程中的自动化 .....	4
1.4 经济全球化进程中的自动化 .....	7
1.5 现代化进程中的自动化 .....	8
第 2 章 自动化科学技术 .....	10
2.1 自动化科学技术的发展历史 .....	10
2.2 自动控制系统原理 .....	14
2.3 自动化科学技术领域的主要内容 .....	24
2.4 自动化科学的技术特点 .....	32
第 3 章 自动化专业 .....	39
3.1 自动化专业的发展历史 .....	39
3.2 自动化专业的人才培养目标 .....	42
3.3 自动化专业的知识结构与体系 .....	43
3.4 自动化专业的特点 .....	45
第 4 章 自动化科学技术在船舶工程中的应用 .....	48
4.1 船舶横摇减摇鳍控制系统 .....	48
4.2 船舶横摇-鳍/翼鳍控制系统 .....	52
4.3 船舶航向控制系统 .....	54
4.4 船舶航向-舵/翼舵控制系统 .....	56
4.5 大型船舶航向/航迹智能容错控制系统 .....	58
4.6 船舶航向/横摇联合控制系统 .....	60
4.7 舰载捷联式猎雷声呐稳定控制系统 .....	62
4.8 多体船运动姿态水翼控制技术 .....	65
4.9 船舶动力定位系统 .....	72
第 5 章 自动化科学技术在其他领域中的应用 .....	78
5.1 工业自动化 .....	78
5.2 军事自动化 .....	94

---

---

5.3 建筑自动化 .....	110
5.4 交通运输自动化 .....	113
5.5 信息自动化 .....	116
5.6 农业自动化 .....	118
5.7 医学自动化 .....	121
参考文献 .....	123

# 第1章 现代化进程中的基石——自动化科学技术

## 1.1 自动化的内涵

自动化与机械化、电气化、工业化及信息化一样,是技术革命的直接产物,是社会发展与进步的重要推动力。

自动化科学与技术是自动化的源泉与基础,其物化结果是自动化设备与系统,其应用包括自动化设计、自动化制造、自动化工程、自动化管理、自动化决策、自动化运行等。

在《现代汉语词典》(第7版)中,“自动化”的解释为“在没有人直接参与的情况下,机器设备或生产管理过程中通过自动检测、信息处理,分析判断等,自动地实现预期操作或完成某种过程”。按“自动化”对应的英译名词“Automation 或 Automatization”,其含义或解释有三:

(1)指设备、过程或系统的自动运行或自动控制(The automation operation or control of equipment ,a process ,or a system);

(2)用于实现自动运行或自动控制的技术或设备(The techniques and equipment used to achieve automation operation or control);

(3)被自动控制或自动操作的状态(The condition of being automatically controlled or operated)。

简言之,“Automation”包含了设备、过程或系统的自动化、自动化技术或设备,以及自动化状态。

以上对自动化的解释中,包含了两层基本意思:

(1)所谓“自动”的,即没有人或很少人直接参与;

(2)虽然没有或不需要人,但应按人的要求去做。

也就是说,自动化是指设备、过程或系统,在没有人或较少人的参与下,按照人的期望和要求,通过自动运行或自动控制,完成其承担的任务。由此可看出,自动化对人类的重要性体现在:一方面,通过实施自动化,能极大地提高劳动生产率、降低工人的劳动强度,使蓝领工人转变为白领工人;另一方面,像机器人这样的自动化设备、系统能在危险、恶劣的环境下,替代人完成各种作业。

自动化设备与系统完成作业的一致性与重复性要远高于人,生产的产品质量大幅度提高,从而使产品的竞争力也大幅度地提高,这对于发展国家经济尤为重要。

从自动化的定义还可看出,自动化涉及的范围极其广泛。从深度来看,以工业生产为例,小到一个普通的设备(如电机),大到企业的整个加工、制造系统乃至企业的整个生产过程,都可以是自动化的,可称之为自动化设备、自动化系统和自动化过程;从广度来看,涉及第一产业——农业自动化、第二产业——工业自动化、第三产业——服务自动化(如办公自动化、楼宇自动化、商务自动化、交通自动化等),涉及的系统有人造系统(如机器系统、交通系统、电力系统、军事系统)和自然系统(如生命系统、生态系统),涉及的过程有生产过程、管理过程、决策过程等。

## 1.2 工业化进程中的自动化

### 1.2.1 工业化的定义

根据《现代汉语词典》(第7版)的解释,“工业化”是使现代工业在国民经济中占主要地位。根据《高级汉语大字典》的解释,“工业化”是现代工业在国民经济中占主要地位的行动或过程,相应的工业化国是指现代工业在国民经济中占主要地位的国家。

由“工业化”的定义可知:

- (1)工业化主要指工业;
- (2)工业化是一个过程;
- (3)实现工业化的标志是“现代工业”在国民经济中占主导地位。

### 1.2.2 工业化发展的三个阶段

从科学技术对“现代工业”发展影响的角度,世界范围的工业化进程大致可分为三个发展阶段——机械化、电气化与自动化,如表1-1所示。

表1-1 世界范围内工业化发展的三个阶段

工业化阶段	主要特征	起源时间	大量应用于工业时间	在工业化中的作用	备注
机械化	使用机器 (动力机、传动机、工作机)	1760年 (蒸汽机)	1870年前后	机器——奠定工业化基础	英美等国成为工业化国家
电气化	应用电机、电网	1870年前后 (发电机)	20世纪初	电机与供电网络——能量流	日本等国成为工业化国家
自动化	电子控制器	1927年(电子反馈放大器)	1950年前后	形成刚性自动化生产线	韩国等国成为工业化国家



工业化起源于1760年开始的工业革命,而工业革命起源于以蒸汽机为标志的动力机械的应用——即第一次工业革命。用机器生产机器,从动力机、传动机到工作机组成的机器系统,可以说,工业革命创造了机器体系,完成了工厂的手工业向机器大工业的过渡,逐步实现了所谓的工业机械化。毫无疑问,机械化奠定了工业化的基础,是实现工业化的基石。

在欧美等国的工业生产基本实现机械化的同时,19世纪下半叶,以电的发明与大范围推广应用为标志的第二次工业革命,使电机与供电网络逐步成为各生产机械高效、安全、方便的动力源,逐步替代机器系统中的动力机和传动机,使机器系统与机器大工业发生了革命性的变化,使劳动生产率再次大幅度提高,工业化迈上了第二个台阶——电气化,人类社会也同时进入了电气时代。

机械化与电气化使生产力大大提高,但工业生产的每个环节都必须有人参与。随着电子反馈放大器的应用,应用自动控制技术代替人工控制的各种机械、电气设备逐步成为可能。自动控制的引入,使由动力机、传动机和工作机组成的机器系统能更有效、更安全地运行,生产出的产品质量明显提高,并由此形成大规模的自动化生产线,工业化迈上了更高的台阶——自动化。

形象地说,工业化的三个阶段可表示为:

- (1) 机械化,在各种生产中大规模使用机器系统。
- (2) 电气化,在机器系统中普遍使用电机与供电网络。
- (3) 自动化,在机电系统中进一步加入自动控制技术。

### 1.2.3 世界各工业国实现工业化的历程

从世界各工业国实现工业化的历程来看有代表性的国家如下:

(1) 世界上第一个工业化国家——英国。英国正式完成了工厂手工业向机器大工业的过渡,在世界上第一个实现了工业机械化,使劳动生产率提高20倍,成为“世界市场”,于19世纪中叶率先成为工业化国。在19世纪初,机械化曾是工业化的标志。

(2) 亚洲第一个工业化国家——日本。日本于20世纪初,其工业在国民经济中占主要地位,从而成为工业化国。

(3) 新兴工业化国家——韩国。韩国成为工业化国的时间是20世纪下半叶,那时“现代工业”的科技标准已上升到不仅需要机械化、电气化,而且需要自动化,这也是现今工业化的标准。

随着时代的发展,除了要求工业在国民经济中占主要地位不变外,工业化的科技标准也在不断发展、不断提高。在进入21世纪的今天,一个国家仅仅完成了机械化、电气化不能称为工业化国,因为这样的工业化显然是没有竞争力的。

也就是说,今天衡量一个国家是否实现工业化,不仅要看其机械化水平、电气化水平,更要看其自动化水平。这样的工业化或许可称为“新型工业化”,我国政府提出的“走

新型工业化道路”的含义或许也就在于此。从这个意义上说,在当代,自动化是工业化的最重要标志,也是实现现代化的基石。

我国从 20 世纪下半叶开始工业化进程,50 年来取得了举世瞩目的成就,但任务还十分艰巨。从工业化的量的标准来看,我国的农业与手工业经济还占较大比例,且机械化、电气化水平还很低。从工业化的科技标准来看,国内工业总体上已基本实现机械化、电气化,但远未实现自动化。也正因为我国工业总体自动化水平低,所以我国工业的国际竞争力难以大幅度提高。

因此,我国工业化的艰巨任务是提高我国工业自动化的总体水平,大力发展自动化,从事自动化科学技术人员肩负着义不容辞的使命和责任。

### 1.3 信息化进程中的自动化

1998 年,美国副总统戈尔提出“数字地球”即数字化、信息化的虚拟地球,是以计算机技术、多媒体技术和大规模存储技术为基础(包括遥感技术、全球定位系统、地理信息系统、空间信息技术、虚拟技术、网络技术等),以宽带网络为纽带,以地球多分辨率、多尺度、多时间和多种类的三维描述为特征,也就是模拟地球。其应用领域包括可持续发展、政府决策、百姓生活、科学研究等。

2008 年 11 月,IBM 提出“智慧地球”的概念,2009 年 1 月,美国前总统奥巴马公开肯定了 IBM“智慧地球”思路。智慧地球的核心是借助微处理器和射频识别标签等 IT 手段,使整个社会网络化,通过数据分析、比较和数据建模,使各种数据可视化,进而对所有信息进行统一管理。

2009 年 8 月上旬,温家宝总理在无锡视察时指出,“要在激烈的国际竞争中,迅速建立中国的传感信息中心或‘感知中国’中心”。“感知中国”是中国发展物联网的一种形象称呼,就是中国的物联网。通过在物体上植入各种微型感应芯片使其智能化,然后借助无线网络,实现人和物体“对话”,物体和物体之间“交流”。物联网为我们展示了生活中任何物品都可以变得“有感觉、有思想”这样一幅智能图景,被认为是世界下一次信息技术浪潮和新经济引擎。

“信息化”一词,最早起源于 20 世纪 60 年代的日本。信息化这一概念的引入促使众多的社会学家相信人类已从农业时代、工业时代进入今天的信息时代。也可以说,人类已从农业社会、工业社会步入了今天的信息社会。

自 1967 年日本科学技术与经济研究团体提出“信息化”这一概念以来,国内外有关“信息化的定义与包含内容”的研讨与争论就一直没有停止过,以至于不仅在英文词典中,而且在汉语字典以及英汉、汉英词典中,至今都没有“信息化”一词,更没有相关的解释。

对“信息化”如何认识,如何定义,虽然至今尚未有统一意见,但不能否认的是,近10年来,“信息化”以及其英译名词“*Informatization*”,频频出现在中国政府的各种报告中及国内的各种媒体上,成为许多中国人耳熟能详的新名词。

### 1.3.1 制造业自动化

广义的信息化进程中的制造业包含了第二产业——工业的大部分,如机械、汽车、航空、航天、船舶、家电、冶金、石化、医药等工业。因此制造业自动化几乎就成了工业自动化的代名词。

对工业,尤其是制造业来说,从信息技术发展与应用的角度来看,到目前为止,信息化发展也可分为三个阶段,顺序为计算机化(或称为数字化)、网络化、系统化(或称为集成化),如表1-2所示。

表1-2 工业信息化的阶段划分(从信息技术发展与应用角度)

信息化阶段	主要特征	起源时间	大量应用于工业时间	在工业“信息化”中的作用
计算机化	应用计算机	1946年	1960年前后	计算机——信息化基础
网络化	通信、网络	1969年	1980年前后	网络——信息流
系统化	系统、管理、集成	1973年	1990年前后	先进自动化形成 CIMS, CIPS

计算机化起源于20世纪40年代,1946年世界上第一台计算机诞生;网络化起源于20世纪60年代,1969年世界上第一个计算机网络 ARPANET 在美国启用;而系统化则起源于20世纪80年代,1973年提出计算机集成制造系统 CIMS 的概念,1984年美国开始大规模实施。

由此可看出,对工业,尤其是制造业来说,信息化就是在机械化、电气化与自动化基础上,在自动化机电系统中进一步使用数字计算机——计算机化,再进一步联网——网络化,继而引入系统与管理——系统化或集成化,从而构成计算机集成制造系统 CIMS 与计算机集成过程系统 CIPS,成为更先进的自动化系统——物联网系统。换言之,对工业而言,信息化实质上就是更先进的自动化。

形象地说,英美等发达工业化国的工业发展顺序经历了以下六个阶段:

- (1) 机械化,在各种生产中大规模使用机器系统。
- (2) 电气化,在机器系统中普遍使用电机与供电网络。
- (3) 自动化,在机电系统中进一步加入自动控制器。
- (4) 计算机化,在自动化机电系统中大规模使用数字计算机。
- (5) 网络化,在自动化机电系统中大规模实现计算机联网。
- (6) 先进自动化,综合集成了系统控制与管理理念。

仔细分析工业化与工业信息化之间的关系还可以发现,工业化三个阶段与工业信息

化三个阶段有相当明显的一一对应关系。图 1-1 给出了这六个阶段相互之间的关系图。

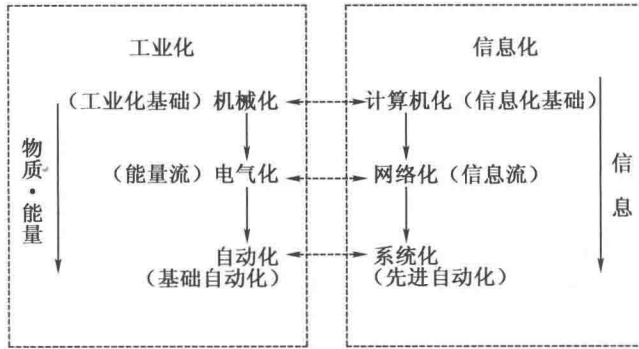


图 1-1 工业化与工业“信息化”对应关系示意图

由图 1-1 可看出,除了处理对象不同之外(从现代科技的角度,工业化处理的是“物质与能量”,工业信息化主要处理的是“信息”),工业化与工业信息化之间有着惊人的相似:

(1)工业化的基础是机械化,对应着信息化的基础是计算机化,都以“机”为基础。

(2)电气化(电网化)实际上是工业化中的能量流。虽然机械化阶段靠气、液等提供能量,但真正形成能量流是在电气化之后,并迅速取代了气、液,成为能量流的重要载体。同样可从信息流的角度看“信息化”中的网络,虽然早期的计算机间也能完成简易通信——点对点通信,但真正形成信息流是在建立了网络之后,并迅速取代了简易通信,成为信息流的主要载体。即两者都以“网”与“流”为特征。

(3)在“机”的基础上通过“网”与“流”分别构成基础自动化与先进自动化。

由以上分析可知,计算机化、网络化和系统化实际上都是自动化的组成部分。其中计算机化、网络化是先进自动化的基础、手段与工具(对应着信息技术中的信息传输与信息处理),而系统化或集成化是先进自动化的内涵与目的。因此可以说,先进自动化是制造业“信息化”的最重要标志之一。

### 1.3.2 信息化进程中的非制造业自动化

在“信息化”进程中,不仅对工业,对第一和第三产业,自动化同样起着十分重要的作用。

顾名思义,非制造业是指除制造业以外的所有产业,包括第一产业农业、林业、牧业、渔业等,第二产业中的矿产业、建设业等和第三产业(服务业全部)。因而可以预见,非制造业自动化对人类社会的影响不亚于制造业自动化。

从 20 世纪 50 年代开始,由于制造业自动化取得的辉煌成就,生产效率大大提高、产品价格大大下降,并使工业化国家从事制造业的人数逐步减少。而与此同时,服务业就

业人数急剧增加,服务价格不断攀升。表1-3给出了德国从1976年到1994年期间不同产业从业人员的变化。可以看出,第二产业的从业人员大大减少,而第三产业的从业人员大大增加。据报道,美国目前有2/3的人从事服务业,只有约13%的人从事制造业。

表1-3 德国不同产业从业人员变化

产业	行业	1976年从业人员(基数)	1994年从业人员	20年增减数
工业	制造、建设	1 000	104	-896
服务业	旅馆、饭店、社区、家政及与个人有关的服务	1 000	1 236	+236
	交通、运输、通信	1 000	1 684	+684
	金融、房地产、租赁、商业	1 000	2 174	+1 174
	教育、医疗、公共事业与国防	1 000	2 617	+1 617

因此,20世纪90年代以来,随着制造业自动化发展水平逐步趋于饱和及人们对生活质量要求的不断提高,非制造业自动化尤其是服务业自动化呼之欲出。对第一产业农业、林业、渔业和对第二产业中的矿产业、建设业等来说,发展非制造业自动化能极大地减轻从业人员的劳动强度、提高安全系数、提高劳动效率;对第三产业即服务业来说,发展服务业自动化同样能极大地减轻从业人员的劳动强度、提高安全系数、提高劳动效率,同时还能提高服务质量,并使服务价格趋于稳定。如美国,为了减少交通事故(据统计,由于交通事故,美国每年在公路上死亡4万人、受伤170万人,损失超过1500亿美元)和减少交通阻塞(由于交通阻塞造成的经济损失每年超过500亿美元),1993年美国正式开始研发全自动高速公路系统AHS。随后日本启动类似的计划,旨在使用全自动高速公路系统。

因此,从自动化的发展来看,在经历了制造业自动化以及所谓的办公自动化和商务自动化发展后,将是非制造业自动化(包括农业自动化、地下作业自动化、水下作业自动化、地面建设作业自动化、交通自动化和范围更广泛的服务自动化等)的快速发展时期。如果说,在20世纪下半叶,一个国家制造业自动化的水平决定了该国整体工业的水平,那么,在21世纪上半叶,一个国家非制造业自动化的水平将决定该国第一与第三产业的水平。

## 1.4 经济全球化进程中的自动化

随着20世纪末信息技术的飞跃发展,经济全球化的发展势不可挡。我国于2001年正式加入WTO,我国的经济全面融入国际经济,国内市场就不得不逐步地全面对外开放。

发达工业国在先进的自动化理念下,应用先进自动化设备和先进自动化系统,通过先进自动化过程,制造出的各种高质量的工业产品、农产品以及服务产品,就有可能长驱直入,不仅占领我国的高端产品市场(目前已占领了很大一部分),还在进一步占领我国的中低端产品市场。

近些年,我国每年花费大量外汇进口的主要是各种先进自动化设备与系统(含软件),如2000年我国进口额2500亿美元的70%是买国外的生产线和各种工业、农业和服务业的机械化和自动化装备。而同期我国出口额2550亿美元的90%以上是原材料与初级低端产品。

我国用了短短的十几年时间,一跃成为造船大国,但还不是造船强国,其主要原因是造船附加值低,船用配套设备本土化生产能力水平低,缺乏具有自主创新、核心竞争力的高端产品。

因此在经济全球化的浪潮下,“与狼共舞”,大幅度地提高我国产品,尤其是具有高附加值的高端工业产品的国际竞争力的历史性艰巨任务已摆在我们面前。而要做到这一点,除了需要进行产业体制改革、产业结构调整等一系列改革外,提高我国的先进自动化水平也是至关重要的。只有采用先进自动化设备和先进自动化系统,通过先进自动化过程(包括设计自动化、管理自动化),才能大幅度地提高产品质量,制造出各种高档、高质量的产品。

## 1.5 现代化进程中的自动化

何为现代化,尚无确切的定义。不同国家、不同时代的人有不同的理解。

在《现代汉语词典》及《高级汉语字典》中,对“现代化”这一条款的解释是“使具有现代先进科学技术水平”。根据这一解释,现代化也是一个不断发展的概念,大到国家、小到某个设备,具有现代先进科技水平就可称之为现代化国家、现代化设备。同样根据这一解释,只有为数不多的发达工业国才能称之为现代化国家。工业现代化、农业现代化,国防现代化、科技现代化——“四个现代化”,一直是中国人的伟大梦想——“中国梦”。

2003年初,由中国科学院“中国现代化战略研究课题组”编写的“中国现代化报告”中,将世界范围内的现代化分为以工业化、城市化为主要特征的第一次现代化进程和以知识化、信息化为主要特征的第二次现代化进程。同时指出,从1950年到2001年的50年间,我国第一次现代化实现程度从26%上升到78%,平均每年上升一个百分点。根据中国共产党中央委员会十六大报告,我国要在21世纪头二十年中,基本实现工业化,“中国现代化报告2003”中定义的(第一次)现代化基本上就等同于工业化。

由此看来,自动化在第一次现代化进程中的地位类同于自动化在工业化进程中的地位。

(1)对农业来说,从种、管、收采用各种机器人与自动化装备,是否为农业现代化?

(2)对工业来说,包括办公室、研究室、工厂企业里采用各种机器人与自动化装备,实现了自动化设计、自动化制造、自动化运行到自动化管理、自动化决策,是否为工业现代化?

(3)对军队来说,各种武器、装备到指挥作战系统高度自动化甚至无人化,是否为国防军事现代化?

(4)对家庭来说,每家每户采用各种自动化设备,甚至烧菜也能自动化,是否为生活现代化?

当然,简单地将现代化比拟为自动化并不合适。但不管对现代化到底如何定义与认识,有一点可以肯定的是,自动化必定是现代化的重要标志之一。

综上所述,自动化科学技术是现代化进程中的基石。

## 第2章 自动化科学技术

### 2.1 自动化科学技术的发展历史

远在两千年前,在我国就有自动控制技术方面的发明。据历史记载,春秋战国时代,我国发明的指南针,就是一个按扰动控制原理构成的开环控制系统。北宋时代苏颂和韩公廉制造的水运仪象台使用了一个天衡装置,实际上就是一个按被测量偏差控制原理构成的闭环控制系统,而且还是一个直接调节的位置无差闭环非线性自动控制系统。

荷兰人 Drebbel 在 1620 年前后发明的温度调节器,用来保持鸡蛋孵化器温度的恒定。孵化器是用火通过其内外夹层中的水间接加热的,火焰的大小靠孵化器顶部通风口挡板的开度来调节,内部温度由温度计测量,温度升降可以使通风口开度减小或增大。

人们普遍认为最早应用于工业过程的闭环自动控制装置,是 1788 年左右瓦特发明的飞球离心式调节器,它被用来控制蒸汽机的转速。此装置利用飞球的转动控制阀门的开度,从而控制进入蒸汽机的蒸汽流量,达到控制蒸汽机转速的目的。

最先对反馈控制系统的稳定性进行系统研究的是麦克斯韦(J. C. Maxwell),1868 年他的一篇论文《论调节器》,基于微分方程描述,从理论上给出了系统是否稳定的条件是其特征方程的根是否具有负实部。

数学家劳斯(E. J. Routh)和赫尔维茨(A. Hurwitz)分别在 1877 年和 1896 年独立地提出了两种著名的代数形式稳定判据,这种方法不必首先求解微分方程式而直接从方程式的系数,也就是从“对象”的已知特性来判断系统的稳定性。劳斯的稳定判据简单易行,至今仍广泛应用。

1892 年,俄国学者李雅普诺夫发表了题为《运动稳定性的一般问题》的论文。他在数学上给出了稳定的精确定义,提出了两个著名的研究稳定问题的方法(李氏第一法和第二法),为线性和非线性系统理论奠定了坚实的理论基础。他所创立的运动稳定性理论具有重要的意义,并成为后来一切有关稳定性研究的出发点。他的研究成果直到 20 世纪 50 年末才被引进自动控制系统理论领域。

1922 年,米纳斯基(N. Minorsky)给出了位置控制系统的分析,并给出了 PID 控制规律;他研制了船舶操纵自动控制器,并且证明了如何从描述系统的微分方程中确定系统的稳定性。1931 年,美国开始出售带有线性放大器和积分作用的气动控制器。1934 年,哈仁(H. L. Hazen)给出了伺服机构的理论研究成果。1942 年,齐格勒(J. G. Zigler)和尼



克尔斯(N. B. Nichols)又给出了PID控制器的最优参数整定法。

控制理论的发展也同反馈放大器的发展紧密相关。第一次世界大战之后,随着电子管放大器的诞生,长距离的电话通信变成可能。但是随着距离增加,信号能量损耗加大,造成信号失真。针对长距离电话线路负反馈放大器应用中出现的失真等问题,1932年,奈奎斯特(Nyquist)提出了用回路频率特性图形判别系统稳定性的频域稳定性判据,这种方法只需利用频率响应的实验数据,不用导出和求解微分方程。根据这个理论,美国学者波特(H. Bode)进一步研究通信系统频域方法,提出了频域响应的对数坐标图描述方法,并于1945年发表《网络分析与反馈放大器设计》,将反馈放大器原理应用到了自动控制系统中,这是一项重大突破,出现了闭环负反馈控制系统,提出了反馈放大器的一般设计方法,这就是频域分析法。1943年,哈尔(A. C. Hall)利用传递函数(复数域模型)和方框图,把通信工程的频域响应方法和机械工程的时域方法统一起来,人们称此方法为复域方法。频域分析法主要用于描述反馈放大器的带宽和其他频域特性指标。

第二次世界大战期间,使用和发展自动控制系统的主要动力来源是设计和发展自动导航系统、自动瞄准系统、自动雷达探测系统和其他在自动控制系统基础上发展起来的军事系统。这些控制系统的高性能要求和复杂性,促进了对非线性系统、采样数据系统,以及随机控制系统的研究。

第二次世界大战结束后,经典控制技术和理论基本建立,1948年,伊万思(W. R. Evans)又进一步提出了属于经典方法的根轨迹设计法,发表了“根轨迹法”,在理论上提供了根据系统的微分方程式模型研究系统的一个简单有效的方法。他给出了系统参数变化与时域性能指标变化之间的关系,其根据是当系统参数变化时,特征方程式根变化的几何轨迹。直到现在,它还是系统设计和稳定性分析的一个重要方法。至此,复数域与频率域的方法得到了进一步完善。由于这项贡献,控制工程发展的第一个阶段基本上完成了。建立在奈奎斯特判据及伊万斯根轨迹法上的理论,目前统称为经典控制理论。到20世纪50年代,它已发展到相当成熟的地步,在工程应用中呈现出爆炸性的增长,并列为大学正式课程。

以奈奎斯特稳定性判据和波特图为核心的频率域分析法和根轨迹分析法两大系统分析方法配之以数学解析方法的时域分析法,构成了经典控制理论的基础。在经典控制理论的研究中,所使用的数学工具主要是线性微分方程、基于Laplace(拉普拉斯)变换的传递函数和基于傅里叶变换的频率特性函数;研究对象基本上是单输入单输出系统,以线性定常系统为主。在此阶段,较为突出的应用是直流电动机调速系统、高射炮随动跟踪控制系统及一些初期的过程控制系统等。在此期间,也产生了一些非线性系统的分析方法,如相平面法和描述函数法以及采样离散系统的分析方法。

1945年贝塔朗菲的《关于一般系统论》、1948年维纳的《控制论》与香农的《通信的数学理论》、1950年莫尔斯的《运筹学方法》,以及1945年冯·诺依曼提出的现代计算机体系结构先后问世。其中,对自动化科学与技术发展影响最大的当属维纳的《控制论》与