

文章编号: 1002-0411(2000)06-07-0481

# 自动化制造系统的产生与发展

王天然 刘海波

(中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110015)

摘要: 探讨了自动化与制造业的产生和互促发展过程, 论述了自动化制造系统的形成和不同发展阶段的内涵及重大作用, 指出自动化技术与制造技术是驱动自动化制造系统发展的两个轮子, 不能忽视任何一个侧面, 自动化研究与制造技术研究相结合是发展先进制造技术的必由之路。

关键词: 自动化, 制造技术, 自动化制造系统, 先进制造, 智能制造

中图分类号: TP27; TH16

文献标识码: A

## 1 引言

制造业是带动经济快速增长的“发动机”。目前, 一个加快制造业发展、实现制造业高技术化的浪潮正在兴起, 它推动制造业进入一个新的先进制造技术时代。先进制造技术(Advanced Manufacturing Technologies, AMT)是一种产生于 20 世纪 90 年代, 面向 21 世纪的新的高技术体系。“先进制造技术是支持自动化制造系统(硬件及软件)进行规划、设计、开发、运行和集成的各种技术, 以及为了支持产品在其从原理设计, 经过制造交货, 运行服务, 直至报废的整个生命周期中, 考虑到物理、人工、环境与安全等方面, 所关联的研究、方法、工具、控制、信息(数据)与通信系统等的集合。”<sup>[1]</sup>自动化制造系统(Automated Manufacturing System, AMS)不仅是先进制造技术的主要研究内容, 而且还是正确表述自动化与制造关系的动态概念。随着科学技术的进步和生产的发展, 其内涵不断扩充和深化, AMS 的产生和发展过程就是自动化技术与制造技术不断更新、结合及互促进步的过程。

## 2 自动控制技术与制造业相伴产生并促进了工业革命

自动控制是自动化的核心, 近代自动控制技术的产生是从 Watt 发明调速器, 解决蒸汽机转速控制问题开始的<sup>[2,3]</sup>。18 世纪工业的发展, 迫切需要解决动力机问题。1705 年 Newcomen 发明了蒸汽机, 由于效率很低, 当时除了煤矿排水和通风外, 其他领域均未采用。1764 年 Watt 开始对蒸汽机进行改进和创新, 他用分离式凝汽器提高热效率和输出功率, 用行星齿轮机构把活塞的往复运动转换为主轴的旋转运动, 扩大其应用范围<sup>[4]</sup>。但转速不能控制, 使用不安全又成为影响蒸汽机推广应用的主要问题。1788 年, Watt 又发明了离心式调速器, 用反馈原理实现了蒸汽机的转速自动调节<sup>[5]</sup>, 他还给锅炉装上水位和压力控制系统。Watt 蒸汽机采用了压力控制、水位控制和转速控制三种控制技术, 第一次实现对锅炉和蒸汽机组成系统的相互关联的三个变数进行自动控制, 使 Watt 蒸汽机成为实用于一切部门安全可控的动力机<sup>[2]</sup>。由于 Watt 蒸汽机可以提供比人力、畜力和自然能更强大的动力, 它的推广和应用使手工业开始向以蒸汽机为动力的机器大工业过渡, 机器动力代替人力, 手工作坊变成了机器制造工厂。控制

收稿日期: 2000-08-14

基金项目: 国家 863 智能机器人主题资助项目(863-512-9805-26); 沈阳先进制造技术基地资助项目(F990802)

技术与机器制造业相伴形成和互促发展,开始了工业大生产的新时代,并引发了工业革命。

Watt 离心式调速器的发明不仅开创了近代控制技术应用的新纪元,而且对控制理论的形成和发展产生重要影响!<sup>5</sup>由于与蒸汽机配套的离心式调速器的大量制造和使用,如何设计稳定的离心式调速器成为亟待解决的问题.1868年,Maxwell 为解决这一问题发表了《论调速器》的论文,对反馈作了理论论述,并提出用微分方程来描述和分析机械调速器的稳定性问题,开辟了应用数学方法研究控制系统现象的途径.Routh 和 Hurwitz 推进了 Maxwell 的工作,分别在 1875 年和 1895 年独立地建立了直接根据代数方程的系数判别系统稳定性的判据.为建立根据频率响应法判断反馈控制系统的稳定性的经典控制理论奠定了基础<sup>51</sup>.控制论(Cybernetics)创始人 Wiener 对蒸汽机调速器是十分重视的,1948 年他选用“控制论”作为学科命名是与纪念 Watt 调速器和 Maxwell 的《论调速器》论文有关的<sup>61</sup>.从字源上说,Cybernetics(控制论)与拉丁文 Governor(调速器)源于同一希腊文 κυβερνήτης

在以往的许多文献和教科书中,叙述 Watt 的贡献往往只谈及 Watt 蒸汽机的凝汽器,而忽略了 Watt 蒸汽机的调速器.如上所述,Watt 调速器等控制技术的应用才使蒸汽机变为安全、可控、实用的动力机,推广普及才成为可能.由上述可知,控制技术在机器制造业的形成和第一次工业革命中起到了重要作用.

### 3 刚性自动化制造系统带来了 20 世纪的工业文明

早期的自动化制造系统与自动化概念是同时出现的.1946 年,美国福特汽车公司研制出由自动化传送机和冲压机等组成的生产流水线.当时该公司的机械工程师 Harder 首先提出将该生产线的机器之间零件转移不用人去搬运称为自动化(Automation)<sup>[5,7]</sup>.自动化一词第一次在出版物上出现是 1948 年 10 月 21 日《美国机械师》杂志介绍福特公司自动化研究成果,并把自动化定义为:“用机械装置去操纵工件的进出,在各项操作之间转送零件,消除废料,使生产设备按照一定时序去完成这些任务,使流水线能部分或全部地处在集中控制站的按钮控制之下的一种技术”<sup>[7]</sup>.自动化生产线的产生显示出强大的生命力,它推动了制造业从单件生产方式向大批量生产方式变革.由于这种由机械式或液压式的自动车床或专用机床组成的大批量制造流水线的生产节拍固定,改变生产品种非常困难和昂贵,故称此种流水线为刚性自动化(Rigid Automation).刚性自动化制造系统可使复杂产品以合理的成本进行大批量生产,与以前生产流水线相比,大大提高了效率,节省人力,缩短了生产周期,降低了制造成本,促进了汽车工业和整个制造业的大发展.Wiener 高瞻远瞩,首先预料到自动化与制造结合的重大战略意义,他在 1950 年出版的《The Human Use of Human Beings》一书中,对自动化制造(Automated Manufacturing)概念赋予新的含义,他指出:“自动化制造实质上是将反馈控制和计算机应用到机器制造中去的结果”.他坚信当时发展起来的自动化制造将导致第二次工业革命,他说:“我相信这一发展必将是决定未来社会生活和技术生活的巨大因素之一,是第二次工业革命的导火线”.他还预言:“自动控制将使自动化工厂在 25 年内成为普遍的现实”<sup>[7]</sup>.20 世纪中期,以刚性自动化制造系统为代表的大批量生产方式成为主流,为社会创造了巨大物质财富,并带来了 20 世纪的工业文明.

### 4 柔性自动化制造系统使自动化工厂成为普通的现实

70 年代以后,由于市场多变竞争激烈,产品品种日益增多,产品生命周期和交货期日益缩短,产品的复杂程度也随之提高,使产品和设备更新换代加速.显而易见,以往采用刚性自动化

的单一品种大批量生产方式已不能适应需要, 必须建立提高制造柔性和生产率的新的生产方式. 50 年代初, 电子计算机技术在机械制造中应用, 出现了数控机床和工业机器人. 1967 年, 英国 Molins 公司推出了名为“Molins System - 24”(意为 24 小时无人值守自动运行)的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System FMS)之后, 美、欧、日也相继开发出由加工系统、物料运储系统、计算机控制与管理系统等组成的 FMS, 如图 1 所示. FMS 是一种能根据制造任务或生产环境的变化而迅速进行调整的自动化制造系统<sup>[8]</sup>.

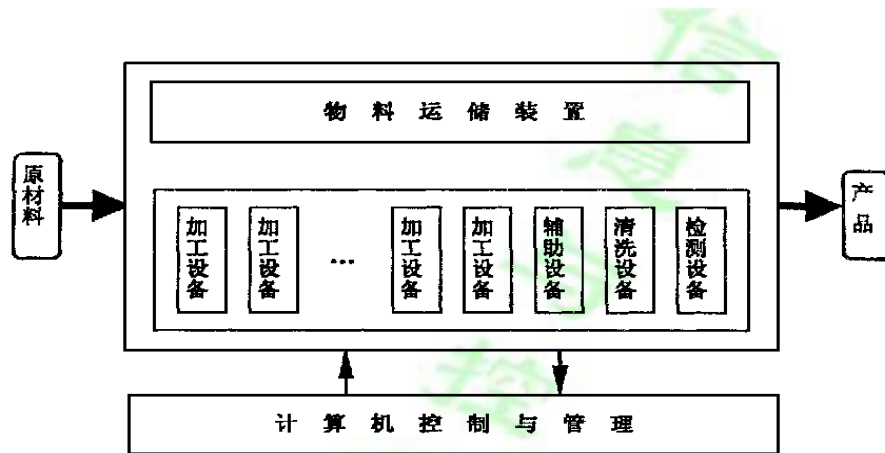


图 1 FMS 的系统构成

即在设备和技术规范范围内, 自动适应加工条件和生产批量的变化, 具有较高的更新产品品种和市场应变能力, 柔性好, 生产率高, 适合于多品种、中小批量生产. 因此柔性自动化与制造技术结合而出现的柔性自动化制造系统是制造业生产及管理上的重大变革. 70 年代后, 由于 LSI 和微机的应用, 提高了数控机床、工业机器人和计算机控制系统的可靠性, 其成本也大大降低, FMS 开始广泛应用, 使制造业进入以柔性自动化制造系统为代表, 以多品种中小批量生产方式为特征的柔性自动化阶段. 出现了大批的自动化工厂, 证实了 Wiener 25 年前的预言, “自动化工厂成为普遍的现实”.

进入 80 年代后, 用户对产品的要求不断提高, 高质量、新产品的竞争成为企业生存与发展的主要问题, 于是从 TQC 发展为 TQCS. 微电子技术、计算机和信息技术的应用, 使自动化制造向更深层次更广泛的工艺领域扩展. 各种计算机辅助工具如 CAD、CAE、CAPP、CAM 等发展很快, 各种柔性高效的生产设备如 DNC、CNC、机器人、FMC、FMS、FAS 等也越来越多地被采用. 为了全面提高企业的经营生产效益, 要求全面实现从生产计划决策、产品设计、加工直到市场销售服务的整个生产过程的自动化. 1973 年美国 Harrington 博士提出的计算机集成制造的思想在 80 年代受到美、欧、日等国的重视, 积极开展 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 研究, 美国 1986 年投资 1400 万美元建立了以国家标准技术研究所 (National Institute of Standards Technology, NIST) 为主持单位, 有麻省理工学院 (MIT) 和普杜大学 (Purdue) 等 10 个单位参加的美国自动化制造研究基地 (Automated Manufacturing Research Facility, AMRF), 并提出了有影响的 CIMS 五级递阶控制结构, 如图 2 所示<sup>[9]</sup>. 美国自动化制造研究基地是美国向工业部门转移各种 CIM 技术的研究试验中心. CIMS 的产生是自动化制造系统向广深发展的必然, 在广度上把系统的空间扩展到市场、产品设计、加工制造、检验、销

售以及用户服务等全部过程,在深度上,不仅涉及到物流的自动化,而且还包含了信息流的自动化<sup>[10]</sup>.CIMS 使生产实现了高效化、柔性化和省人化.90 年代,CIMS 研究和应用使第二代自动化制造系统达到了顶峰<sup>[11,12]</sup>.

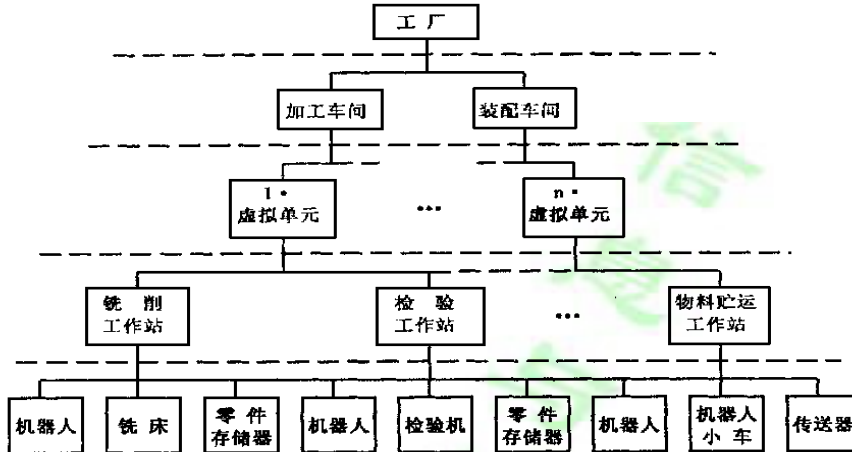


图 2 CIMS 五级递阶结构

## 5 智能化制造系统将推进新的制造技术革命

世界市场的激烈竞争是推动自动化制造向更高层次发展的直接动因.20 世纪 90 年代以来,世界自由贸易体制进一步完善以及全球交通运输体系和通信网的建立,使世界制造业变成一个统一的大市场,现代生产已在全球规模展开.同时制造对地球生态和环境的影响也日益引起重视,人们要求在生产和消费过程中更加注意生态和环境方面的相容性和友善性.从制造系统的观点处理这些问题,比以往的制造系统的范围扩大了许多,需要考虑产品全生命周期,包括产品的使用环境、产品的再循环、节能等.因而全球产业界进入了结构大调整的重要时期,制造业的全球化与一体化的格局已在形成.制造技术的发展必须与此相适应,先进制造技术不仅限于国际化经营,也包括了从设计、生产、供应链的全过程的全局化.另外,随着社会需求的个性化和多样化,人们对产品的要求不仅在于物质功能,而且附加了非物质的如文化、艺术、行销方式等方面的需求,未来的制造产品趋向于“客户化、变种变批量、快速交货”.产品的内涵已变为一组满足消费需求的解(Solution).制造企业的一切活动开始转向利用信息与自动化技术满足以用户要求为核心的竞争.市场的动态多变性迫使制造企业改变竞争战略,把市场响应速度提高到首位.另外,随着制造技术的进步,在制造过程中人的体力劳动通过自动化技术获得了很大的解放,而脑力劳动自动化程度(其实质是决策自动化程度)则很低,制约制造业未来发展的“瓶颈”就是“制造智能”和制造技术的“智能化”.适应此种需要,出现了智能制造技术,“智能制造技术是指在制造工业的各个环节,以一种高度柔性性与高度集成的方式,通过计算机来模拟人类专家的制造智能活动,对制造问题进行分析、判断、推理、构思决策,旨在取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动;并对人类专家的制造智能进行收集、存贮、完善、共享、继承和发展”<sup>[13]</sup>.世界各国,尤其是发达国家非常重视智能制造技术,把智能制造技术作为先进制造技术发展方向和 21 世纪占领世界制造技术领先地位的基石,积极开展研究并建立了许多重要实



验基地, 制订出智能制造研究规划<sup>[14]</sup>.

1985 年, 美国的智能制造国家工程中心首先提出智能制造(Intelligent Manufacturing, IM)概念, 并对智能制造单元技术(包括制造过程的建模和加工模拟系统, 制造知识智能处理系统和专家系统, 设计和工艺规划的智能化数据系统, 制造过程监测、控制的智能化系统等)和系统集成技术开展研究, 其最终目标是研制出分布式智能制造系统. 美国自动化制造研究基地(AMRF)把“为下一代以知识库为基础的自动化制造系统提供研究和实验设施”作为其三大任务之一. 近年来, 美国国家基金会(NSF)也连续数年重点资助了与智能制造有关的研究项目. 包括制造过程中的智能决策、基于多智能体(multiagent)的智能协作求解、智能并行设计、物流传输的智能自动化、智能加工系统和智能机器等.

欧共体也制订和实施了“FGMS”智能制造计划. 在智能制造研究和发展计划方面最有影响的是日本“智能制造系统国际合作计划”, 日本、美国、澳大利亚、加拿大、欧共体等 6 个国家和 84 个制造业组织参与此项计划, 共同投资, 开展研究. 从 1995 年开始进入 IMS 计划的全面实施阶段. 目前对已批准的企业集成全球人 21(Globeman21), 下一代制造系统(NGMS), 全能制造系统(HMS), 变结构物料贮运系统(MMHS), 快速产品开发(RPD)、人机共存系统的组织问题(HUMACS), 知识系统化(GNOSIS), 创新型和智能型现场工厂建设研究(IGT), 数字化模具设计系统(3DS), 智能复合产品, 人的感觉因素对产品全生命周期的影响(INCOMPRO), 适于全球分布式企业设计、规划、运行的建模与仿真环境(MISSION)等 12 个项目正在进行研究.

新一代的自动化制造系统是具有分散、自律、敏捷、仿生、分形等特点, 其主要类型有: 以提高制造系统智能性为目标, 以机器人(Robot)、智能体(Agent)或全能体(Holon)为手段的智能制造系统(Intelligent Manufacturing System, IMS), 如图 3 所示<sup>[15]</sup>; 通过互联网把企业或企业间的建模(Modeling)、加工(Manufacturing)、测量(Measurement)、机器人操作

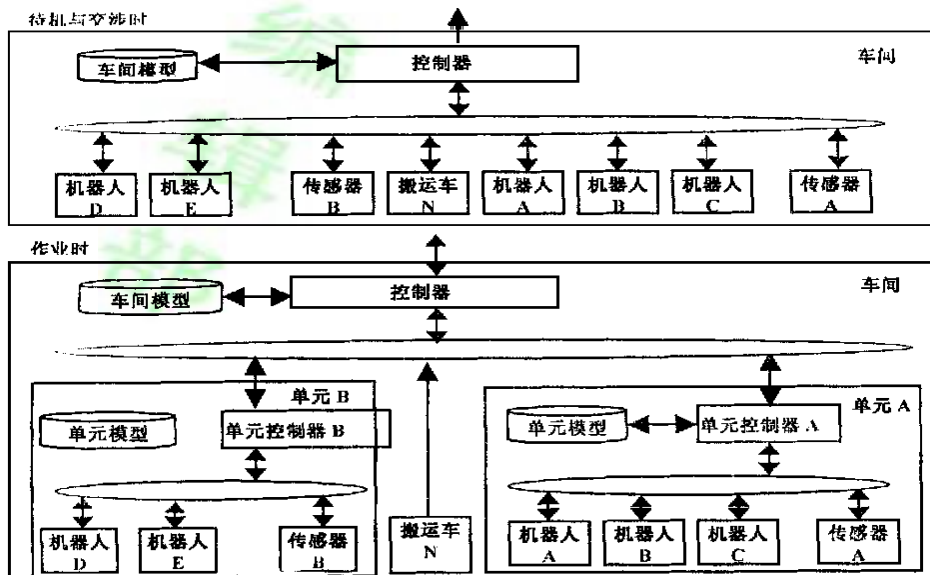


图 3 根据作业需要可重构的全能机器人单元

(Manipulation)一体化的智能自动化制造系统,如图4所示<sup>[16]</sup>;以及使制造系统具有生物特点,采用生物的问题求解方法的生物型制造系统(Biological Manufacturing System, BMS)等。制造业的全球化与智能化,这是一种在更大范围内和更高层次上实现的自动化。预计21世纪,自动化技术仍将是高技术前沿,它的继续发展是推进新技术革命的核心力量<sup>[17]</sup>。智能自动化与制造技术的结合与发展,将使制造业进入以智能自动化制造系统为代表,以变品种变批量生产方式为特征的智能自动化阶段,推进新的制造技术革命。

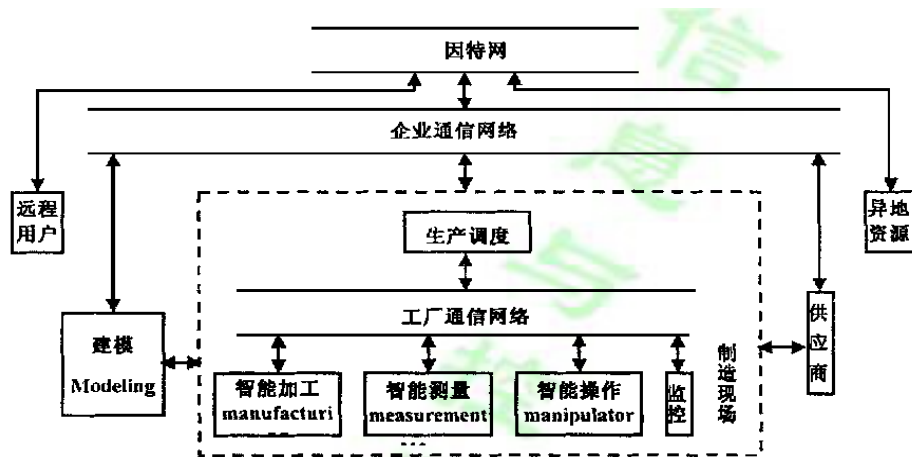


图4 智能自动化制造系统

## 6 结论

回顾自动化与制造业的发展历程可以看出,自动化与制造业是相伴产生,在结合中互促发展。从自动化在制造业中诞生以来,随着自动化从刚性自动化→柔性自动化→智能自动化的发展,也推动制造模式由单件生产模式→大批量生产模式→多品种中小批量生产模式→变品种变批量生产模式变革。刚性自动化制造系统、柔性自动化制造系统以及智能自动化制造系统是制造技术不同发展阶段的主要标志。自动化制造系统是自动化与制造的融合体,是先进制造技术的主要研究内容。自动化与制造是驱动自动化制造系统发展的两个轮子,不能忽视任何一个侧面。

控制技术和自动化都是萌生于制造业的沃土,自动化的新理论、新方法和新技术的生长点蕴藏在先进制造技术的应用中。自动化研究与制造技术研究紧密结合是发展先进制造技术的必由之路。

## 参 考 文 献

- 1 ISO/TC184 504R Standardization for Advanced Manufacturing Technologies (Memorandum M-1T-04)
- 2 示村悦二郎·自动制御の源流·计測と制御,1975,24(8):57~66
- 3 Mary O·Origins of Feedback Control·M. I. T. Press,1970
- 4 中国大百科全书《机械工程》编辑委员会,中国大百科全书·机械工程卷,北京:中国大百科全书出版社,1987
- 5 中国大百科全书,《自动控制与系统工程卷》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

- 6 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, 1988
- 7 McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology (in 1 Volumes) McGraw-Hill Book Co., 1982, 5th ed
- 8 孙大涌主编. 先进制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 9 刘飞等编著. CIMS 制造自动化. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 10 张 曙. 先进制造技术讲座. 机电一体化, 1996(3): 38~ 41
- 11 袁清河, 吕传毅, 赵汝嘉. 先进制造系统及 21 世纪制造业的研究. 我国先进制造技术发展学术研讨会论文集, 上海, 1998
- 12 福田好朗. 生产システムの轨迹・精密工学, 1999, 65(1): 13~ 18
- 13 杨叔子, 丁洪. 智能制造技术与智能制造系统的发展与研究. 中国机械工程, 1992, 3(2): 15~ 18
- 14 赵东标, 朱剑英. 智能制造技术与系统的发展与研究. 中国机械工程, 1999, 10(8): 927~ 931
- 15 藤田信幸. ホロニク 組立てシステム・日本ロボット学会志, 1997, 15(6): 17~ 19
- 16 国家自然科学基金委员会. 先进制造技术基础. 北京: 高等教育出版社, 柏林: Springer 出版社, 1998
- 17 宋 健. 智能控制——超越世纪的目标. 自动化博览, 2000, 17(1): 1~ 5

## EMERGING AND DEVELOPMENT OF AUTOMATED MANUFACTURING SYSTEM

WANG Tian-ran LIU Hai-bo

(Shenyang Institute of Automation, the Chinese Academy of Sciences 110015)

**Abstract:** This paper presents the formation and mutual-promoting development of automation and manufacturing industry, and discusses the connotation and important role of automated manufacturing system during its formation and development phases. It points out that automation and manufacturing technology are the two wheels to drive advanced manufacturing system to advance; neither of them can be ignored. The paper concludes that combination of the researches on automation and manufacturing technology is the only road to the development of advanced manufacturing technology.

**Keywords:** automation, manufacturing technology, automated manufacturing system, advanced manufacturing, intelligent manufacturing

### 作者简介

王天然(1943- ), 男, 研究员, 博士生导师, 现为中国科学院沈阳自动化研究所所长, 机器人技术国家工程研究中心主任. 研究领域为人工智能、机器人、机器人应用工程、自动化制造系统. 获院部级以上奖励 3 项, 发表论文 10 余篇, 著编专著(合作)1 部.

刘海波(1938- ), 男, 研究员. 研究领域为自动化、机器人学、软科学. 获院科技进步奖 6 项, 发表论文 40 余篇, 著编译作(含合作)5 部.