

# 先进制造技术及其发展趋势\*

杨叔子 吴波

(华中科技大学 武汉 430074)

摘要: 分析了制造业(特别是装备制造业)在工业与国民经济中所占的重要地位, 指出发展先进制造技术是我国目前紧迫的重大任务。指出现代制造业市场的特征、制造企业的特征和机械制造业的特征。从八个方面重点分析了先进制造技术的发展趋势和特色: “数”是核心, “精”是关键, “极”是焦点, “自”是条件, “集”是方法, “网”是道路, “智”是前景, “绿”是必然。强调了这八个方面彼此渗透, 相互支持, 形成整体, 并且扎根在“机械”与“制造”的基础上, 服务于制造业的发展。

关键词: 制造 先进制造技术 装备 机械 信息化 数字化

中图分类号: T-11

## 0 前言

“问渠哪得清如许? 为有源头活水来!”一般认为, 人类文明有三大物质支柱: 材料、能源与信息。其实, 应是四而非三, “制造”也应是一大支柱。可以说, 没有“制造”, 就没有人类。恩格斯在《自然辩证法》中讲得对: “直立和劳动创造了人类, 而劳动是从制造工具开始的。”的确, 可形象地讲, 人类是从制造第一把石刀开始的。

应该说, 制造业是“永远不落的太阳”, 是现代文明的支柱之一; 它既占有基础地位, 又处于前沿关键, 既古老, 又年轻; 它是工业的主体, 是国民经济持续发展的基础; 它是生产工具、生活资料、科技手段、国防装备等及其进步的依托, 是现代化的动力源之一。

值得特别提出的是机械制造业, 尤其是装备制造业。马克思在《资本论》有一段名言, 至今仍熠熠生辉: “大工业必须掌握这特有的生产资料, 即机器的本身, 必须用机器生产机器。这样, 大工业才建立起与自己相应的技术基础, 才得以自立。”生产机器的机器, 我国称为机床; 英文叫 Machinetool, 机器工具, 有道理; 德文叫 Werkzeugmaschine, 工具机器, 更有道理。我们完全赞成这一讲法, 机床制造业是装备制造业的心脏。可以说, 没有制造业, 就没有工业; 而没有机械制造业, 就没有独立的工业, 即使制造业再大再多再好, 也受制于人。也可以说, 我国这么一个大国, 如果没有强大的装备制

造业, 特别是同高科技相应的机床制造业, 我国就不可能有独立自主的制造业与工业。例如, 在信息化日益发展的今天, 计算机、微电子产品在信息化中起着特别重大的作用, 芯片的重要性不言而喻, 而我国目前还不能生产芯片; 预计 2005 年我国需要芯片 365 亿块, 目前自给率小于 20%, 自主开发率约 5%, 关键就是我国制造不出生产芯片的装备, 形势是严峻的<sup>[8]</sup>。正因为制造业, 特别是装备制造业如此重要, 所以在党的“十六”大报告中, 数次强调了制造业的发展, 特别是装备制造业的发展。

制造业, 装备制造业, 决不是“夕阳产业”, 但是, 制造技术中确有“夕阳技术”, 这是同信息化大潮格格不入的技术, 这是同高科技发展不相应的技术, 这是缺乏市场竞争力的技术, 甚至还可能是危害可持续发展的技术。我们所谓的“先进制造技术”, 其实就是“制造技术”加“信息技术”加“管理科学”, 再加上有关的科学技术交融而形成的制造技术。“先进制造技术”就是这么一个交融的技术, 它生气勃勃地适应与占领现代制造业市场。

## 1 现代制造业的基本特征

现代的制造业市场大致有如下五大特征: 第一是买方市场。这是科学技术与生产力发展的必然结果, “卖方市场”已成为过去。第二是多变性市场。由于科技发展快, 技术更新快, 产品换代快, 如微电子产品半年到两年就得更新, 从而产品非大量化、分散化、个性化的生产越来越强, 市场越来越大, 竞争日趋激烈, 不确定因素猛增, 市场变化很

\* 纪念《机械工程学报》创刊 50 周年——“机械工程技术的历史、进展与展望”主题征文。国家自然科学基金中港联合资助项目 (No.7001161949)。20030611 收到初稿, 20030815 收到修改稿

快。第三是国际化市场。市场打破国界,走向区域化,走向国际化,WTO与各种区域经济组织应运而生而兴。第四是新兴产品市场。这不仅涉及对传统产品用高新技术加以改造与发展而成的产品,而且更涉及前所未有的新类型的“产品”,从而导致如技术、软件、环保等产业的出现,特别在第三产业中更是如此。第五是虚拟市场。信息化的进一步是网络化,网上的产品广告、商品展示、商品交易、客户关系和代理制等均属于虚拟市场。

与此市场相应,制造业企业大致有如下六大特征:第一是满足“客户化”要求。这是最根本的,这是“买方市场”必然导致的结果,“顾客就是上帝”,企业服务客户。第二是对市场的快速响应,对生产的快速重组,从而要求生产模式必需有高度柔性,有足够敏捷性,这是“客户化”必然导致的结果,而信息技术与管理科学为此提供了重要的保证。第三是既竞争、又合作地参与市场,走向“双赢”、“多赢”。这是“纳什方程”给出的结果,而不一定是“鱼死”,或“网破”,或“两败俱伤”。网络化为此提供了更有利的条件。第四是本土化与国际化交互。走向全球化,既竞争,又合作,自然导致朝这一方向发展。第五是应用虚拟技术。利用虚拟技术以加快企业有关活动的节奏,提高产品质量,节约成本,及时适应客观变化,这是实现以上各点之所需。第六,“以人为本”,加强企业人文文化建设。应该说,这是现代企业成败要害之所在。在科技高度发达与快速发展的今天,如果只见“物”不见“人”,只见“技术”,不见“文化”,不见“精神”,必将导致企业走入“误区”,遭至严重挫折乃至失败。

对于机械制造业,特别是对于装备制造业而言,除了上述六大特征外,还有四大变化:第一是产品本身的变化,“质”与“量”均如此。机械产品在性质上不仅取代、加强或延伸人的体力劳动,而且首先由于信息化,还有了一定“智能”,即信息感知功能、信息处理功能、信息存储与显示功能以及功能整体的整合。机械产品在数量上,种类与品种日益繁多,可以说是“无所不包,无孔不入”。第二是增产方式的变化。过去以加大资金投入,加大资源消费,加大人力使用这种“粗放”方式实现增产,现在主要以开发“知识”资源这种“集约”方式作为主要增产方式来增产。第三是对产品要求的变化。开始是“物美”、“价廉”,后来加上了“交货期短”、“服务好”,现在还要加上“文化含量高”,产品不仅是一个工业产品,还应是一个艺术产品,经得起“看”与“想”。第四是学科基础的变化。过去的基础,在理论上是靠力学,在实践上是凭经验,而现

在是以多学科、新成就作为基础,而且正努力将制造技术与上升为制造科学,以利于制造技术进一步高质、高速、高效地发展<sup>[1]</sup>。

## 2 先进制造技术发展趋势

与科学技术和市场经济的发展相应,先进制造技术,特别是先进机械制造技术有如下八方面的发展趋势与特色:“数”是核心,“精”是关键,“极”是焦点,“自”是条件,“集”是方法,“网”是道路,“智”是前景,“绿”是必然。现分述如下。

### (1) “数”是发展的核心

“数”就是“数字化”。“数字化”,数字地球,数字城市,数字工厂,数字制造,数字装备……,狂澜巨浪,势不可挡。“数字化”不仅是“信息化”发展的核心,而且也是先进制造技术发展的核心。信息的“数字化”处理同“模拟化”处理相比,有着三个不可比拟的优点:信息精确,信息安全,信息容量大<sup>[3]</sup>。

数字化制造就是指制造领域的数字化。它是制造技术、计算机技术、网络技术与管理科学的交叉、融和、发展与应用的结果,也是制造企业、制造系统与生产过程、生产系统不断实现数字化的必然趋势。它包含了三大部分:以设计为中心的数字制造,以控制为中心的数字制造和以管理为中心的数字制造。对制造设备而言,其控制参数均为数字化信号。对制造企业而言,各种信息(如图形、数据、知识和技能等)均以数字形式,通过网络,在企业内传递,以便根据市场信息迅速收集资料信息,在虚拟现实、快速原型、数据库和多媒体等多种数字化技术的支持下,对产品信息、工艺信息与资源信息进行分析、规划与重组,实现对产品设计和产品功能的仿真,对加工过程与生产组织过程的仿真,或完成原型制造,从而实现生产过程的快速重组与对市场的快速响应,以满足客户化要求。对全球制造业而言,用户借助网络发布信息,各类企业通过网络,根据需求,应用电子商务,实现优势互补,形成动态联盟,迅速协同设计并制造出相应的产品。这样,在数字制造环境下,在广泛领域乃至跨地区、跨国界形成一个数字化组成的网,企业、车间、设备、员工、经销商乃至有关市场均可成为网上的一个“结点”;在研究、设计、制造、销售和服务的过程中,彼此交互,围绕产品所赋予的数字信息,成为驱动制造业活动的最活跃的因素。在此还应着重指出,制造知识(包括技能、经验)的获取、表达、存储、推理乃至系统化、公理化等,这是使制造技术发展到制

造科学的关键<sup>[1]</sup>，而这又与数字化不可分开。

## (2) “精”是发展的关键

“精”是“精密化”。它一方面是指对产品、零件的精度要求越来越高，一方面是指对产品、零件的加工精度要求越来越高。显然，这两方面是一回事；有了前者，才要求有后者；有了后者，才促使前者得以发展。“精”可以说，是指加工精度及其发展，精密加工，细微加工，纳米加工等。20世纪初，超精密加工的误差是10 μm，30年代达1 μm，50年代达0.1 μm，70至80年代达0.01 μm，至今达0.001 μm，即1 nm。再由一组数据，可以看到微电子产品对加工精度的依赖程度，电子元件制造误差为，一般晶体管50 μm，一般磁盘5 μm，一般磁头磁鼓0.5 μm，集成电路0.05 μm，超大型集成电路达0.005 μm，而合成半导体为1 nm。

在现代超精密机械中，对精度要求极高，如人造卫星的仪表轴承，其圆度、圆柱度、表面粗糙度等均达纳米级；基因操作机械，其移动距离为纳米级，移动精度为0.1 nm。细微加工、纳米加工技术可达纳米以下的要求，如离子束加工可达纳米级，借助于扫描隧道显微镜(STM)与原子力显微镜的加工，则可达0.1 nm<sup>[4,5]</sup>。实际上，纳米级的加工就是移动原子级的加工。

至于微电子芯片的制造，有所谓的“三超”<sup>[5]</sup>：

① 超净，加工车间尘埃颗粒直径小于1 μm，颗粒数少于每6.45 cm<sup>2</sup> 0.1个。② 超纯，芯片材料中的有害杂质的质量分数小于10<sup>-10</sup>，即十亿分之一。③ 超精，加工精度达纳米级。显然，没有先进制造技术，就没有先进电子技术装备；当然，没有先进电子技术与信息技术，也就没有先进制造装备。先进制造技术与先进信息技术是相互渗透、相互支持、紧密结合的。

## (3) “极”是发展的焦点

“极”就是极端条件，就是指在极端条件下工作的或者有极端要求的产品，从而也是指这类产品的制造技术有“极”的要求。在高温、高压、高湿、强磁场和强腐蚀等条件下工作的，或有高硬度、大弹性等要求的，或在几何形体上极大、极小、极厚、极薄、奇形怪状的。显然，这些产品都是科技前沿的产品。其中之一就是“微机电系统(MEMS)”，这是工业发达国家与有关国家所高度关注的一项前沿科技。甚至可以说，“极”是前沿科技或前沿科技产品发展的一个焦点。例如，在信息领域中，分子存储器、原子存储器、量子阱光电子器件、芯片加工设备；生命领域中，克隆技术、基因操作系统、蛋白质追踪系统，小生理器官处理技术、分子组件装

配技术；军事武器中，精确制导技术，精确打击技术，微型惯性平台，微光学设备；航空航天领域中，微型飞机，微型卫星，“纳米”卫星(0.1 kg 以内)；微型机器人领域中，脑科手术，清除脑血栓，管道内操作，窃听与收集情报，发现并杀死癌细胞；微型测试仪器，微传感器，微显微镜，微温度计，微仪器等。MEMS 可以完成特种动作与实现特种功能，乃至可以沟通微观世界与宏观世界，其深远意义难于估量。2002年，美国伯克利大学不仅制造了直径为300 μm的镜头，配以微米级探针的纳米级显微镜，可深入植物细胞内观察，而且正在开发镜头直径为500 nm的纳米级显微镜。2002年美国康纳尔大学还宣布研制出原子级纳米“晶体管”，可以说，由单个原子输送电流的“晶体管”还是首次，这项成果被我国科技专家评为2002年世界十大科技新闻之一。

## (4) “自”是发展的条件

“自”就是自动化。它就是减轻人的劳动，强化、延伸、取代人的有关劳动的技术或手段。显然，自动化是重要的，自动化总是伴随有关机械或工具来实现的。可以说，机械是一切技术的载体，也是自动化技术的载体。第一次工业革命，以机械化这种形式的自动化来减轻、延伸或取代人的有关体力劳动。第二次工业革命，电气化进一步促进了自动化的发展。据统计，从1870年至1980年，加工过程的效率提高为20倍，即体力劳动得到了有效的解放；但管理效率只提高了1.8~2.2倍，设计效率也只提高了1.2倍，这表明自动化为体力劳动所带来的效果是非常明显的。即使在美国，1984年，CAD在福特公司的应用只占40%，通用公司占34%，Chrysler为67%<sup>[2]</sup>，此后，CAD发展极为迅速。今天在我国，CAD已十分普及。信息化、计算机化与网络化，不但极大地解放了人的体力劳动，而且更为关键的是有效地提高了脑力劳动自动化的水平，解放了人的部分脑力劳动。

“自动化”从自动控制、自动调节、自动补偿和自动辨识等发展到自学习、自组织、自维护和自修复等更高的自动化水平；而且今天自动控制的内涵与水平已是今非昔比，从控制理论(如多Agent系统的理论与方法、基于网络的控制理论、复杂系统的控制理论……)、控制技术(如智能化检测、多媒体信息检测……)、系统(如网络控制系统、复杂系统……)、控制元件(如具有生物特征的传感元件……)<sup>[9]</sup>，都有着极大的发展。自动化是先进制造

技术发展的前提条件。

#### (5) “集”是发展的方法

“集”就是集成化。它有三个方面：技术的集成，管理的集成，技术与管理的集成。归根结底，其本质就是知识的集成，当然亦即知识表现形式的集成。已如前述，先进制造技术就是制造技术、信息技术、管理科学与有关科学技术的集成。“集成”就是“交叉”，就是“杂交”，就是取人之长，补己之短，这是发展的一大方法。目前，“集”主要指：  
① 现代技术的集成，机电一体化是个典型，它是高技术装备的基础，如微电子制造装备，信息化、网络化产品及配套设备，仪器、仪表、医疗、生物和环保等高技术设备。显然，在机电一体化技术中，关键往往是：(a)检测传感技术。(b)信息处理技术。(c)自动控制技术。(d)伺服传动技术。(e)精密机械技术。(f)系统总体技术。而这些技术又同许多学科有关，又是一个“集”。  
② 加工技术的集成，特种加工技术及其装备是个典型，如增材制造(即快速原型)、激光加工、高能束加工和电加工等；当然，加工技术的集成只是现代技术集成的一个特殊部分。  
③ 企业集成，即管理的集成，包括生产信息、功能、过程的集成；包括生产过程的集成、全寿命周期过程的集成；也包括企业内部的集成，企业外部的集成。如并行工程、敏捷制造、精益生产和 CIMS 等都是“集”的典型表现。当然，管理的集成不可能不包含管理与技术的集成。

从长远看，还有一点很值得注意，即由生物技术与制造技术集成的“微制造的生物方法”，或所谓的“生物制造”；即依据生物是由内部生长而成的“器件”，而非同一般制造技术那样由外加作用以增减材料而成“器件”。可以预期，这是一个崭新的充满着活力的领域，作用难以估量，道路也将是漫长的。

#### (6) “网”是发展的道路

“网”就是网络化。应该讲，制造技术的网络化是先进制造技术发展的必由之路，使制造业走向整体化、有序化，这同人类社会的发展是同步的。制造技术的网络化是由两个因素决定的：一是生产组织变革的需要，二是生产发展的可能。这是因为制造业在市场竞争中，面临多方的压力，如采购成本不断提高，产品更新速度加快，市场需求不断变化，客户定单生产方式迅速发展，全球制造所带来的冲击日益加强等；企业要避免传统生产组织所带来的一系列问题，必须在生产组织上实行某种深刻的变革。这个变革体现在两方面：一方面利用网络，在产品的设计、制造与生产管理等活动乃至企业整个业务流程中充分享用有关资源，即快速调集、

有机整合与高效利用有关制造资源；与此同时，这必然导致制造过程与组织的分散化网络化，企业要抛弃传统的“小而全”与“大而全”这类“夕阳技术”，而集中力量在自己最有竞争力的核心业务上。一个企业有无自己最有竞争力的核心业务，这是关键，“山不在高，有仙则名；水不在深，有龙则灵。”而科学技术特别是计算机技术、网络技术的发展，使得生产技术的发展到可以使这种变革的需要成为可能<sup>[6]</sup>的地步。

在制造技术网络化中，值得关注的是电子商务的应用。电子商务是将业务数据数字化，并将数字信息的使用和计算机的业务处理同 Internet 进行集成，成为一种全新的业务操作模式。在电子商务的网络化制造中，供应链管理、客户关系管理、产品生命周期管理共同构成了制造的增殖链。它具有两大优点：商务的直接化与透明化，这对降低成本、加快流通、提高效率、增加商业机会大有好处，从而对企业内部重组、经营战略与竞争模式有着深刻影响。但是，中国科学院 2002 年 5 月《发展我国电子商务的对策研究》咨询报告中指出，我国在电子商务的应用上，还存在一系列问题，使其没有得到应有的应用；这些问题大致是：在宏观层面上，不够统一；在企业层面上，“用”“体”分离；在社会服务体系上，服务滞后；在软环境上，商务活动缺法又乏诚；在商业模式上，电子商务规模大于其效益，形成泡沫；而在基础设施上，又十分缺乏，形成瓶颈。

制造技术的网络化不可阻挡，它的发展会导致一种新的制造模式，即虚拟制造组织，这是由地理上异地分布的、组织上平等独立的多个企业，在谈判协商的基础上，建立密切合作关系，形成动态的“虚拟企业”或动态的“企业联盟”。此时，各企业致力于自己的核心业务，实现优势互补，实现资源优化动态组合与共享。正因为如此，对我国而言，大力发展“中场产业”，使之具有精湛的最强有力的核心业务，不失为发展机械制造业的重要战略之一。

#### (7) “智”是发展的前景

“智”就是智能化。制造技术的智能化是制造技术发展的前景。近 20 年来，制造系统正在由原先的能量驱动型转变为信息驱动型，这就要求制造系统不但要具备柔性，而且还要表现出某种智能，以便应对大量复杂信息的处理、瞬息万变的市场需求和激烈竞争的复杂环境，因此，智能制造越来越受到高度的重视<sup>[3]</sup>。

智能化制造模式的基础是智能制造系统，智能制造系统既是智能和技术的集成而形成的应用环境，也是智能制造模式的载体。与传统的制造相比，

，也是智能制造模式的载体。与传统的制造相比，智能制造系统具有以下特点：①人机一体化。②自律能力。③自组织与超柔性。④学习能力与自我维护能力。⑤在未来，具有更高级的类人思维的能力。由此出发，可以说智能制造作为一种模式，是集自动化、集成化和智能化于一身，并具有不断向纵深发展的高技术含量和高技术水平的先进制造系统，也是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化系统。它突出了在制造诸环节中，以一种高度柔性集成的方式，借助计算机模拟的人类专家的智能活动，进行分析、判断、推理、构思和决策，取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动。同时，收集、存储、处理、完善、共享、继承和发展人类专家的制造智能；当然，目前还只能算初步，但潜力极大，前景广阔。

随着知识经济时代的初露端倪，知识将作为发展生产力主要的源泉，并导致以知识生产率取代劳动生产率，从而智能化制造的价值日益攀升。目前，特别是分布式数据库技术、智能代理技术和网络技术发展，将突出知识在制造活动中的价值地位。知识经济是继工业经济后的主体经济形式。尽管智能化制造道路还很漫长，但是必将成为未来制造业的主要生产模式之一。

#### (8) “绿”是发展的必然

“绿”就是“绿色”，“绿色”是从环境保护领域中引用来的。

人类社会的发展必将走向人类社会与自然界的和谐，就是走向“天人合一”。人与人类社会本质上也是自然世界的一个部分，部分不能脱离整体，更不能对抗与破坏整体。《老子》讲的“无为”就是这个意思，即不去“为”违背客观规律之“为”。人类必须从各方面促使人与人类社会同自然界和谐一致，制造技术也不能例外。江泽民同志讲得好，保护环境，就是保护生产力；改善环境，就是发展生产力。

制造业的产品从构思开始，到设计阶段、制造阶段、销售阶段、使用与维修阶段，直到回收阶段、再制造各阶段，都必须充分计及环境保护。所谓环境保护是广义的，不仅要保护自然环境，还要保护社会环境、生产环境，还要保护生产者的身心健康。在此前提与内涵下，还必须制造出价廉、物美、供货期短、售后服务好的产品。作为“绿色”制造，产品还必须在一定程度上是艺术品，以与用户的生产、工作、生活环境相适应，给人以高尚的精神享受，体现着物质文明、精神文明与环境文明的高度交融。每发展与采用一项新技术时，应站在哲学高

度，慎思“塞翁得马，安知非祸”，即必须充分考虑可持续发展，计及环境文明。制造必然要走向“绿色”制造。

### 3 结论

综上所述，数、精、极、自、集、网、智、绿这八个方面反映了先进制造技术发展的基本特点，从制造业、特别是机械制造业的发展来看，这八个方面应该是彼此渗透，相互依赖，相互促进，形成一个整体；而且，它们是服务于制造技术的，此即，“机械”是基，“制造”是础，这八个方面是一定要扎根在“机械”和“制造”这个基础上；这就是说，要研究与发展“机械”本身与“制造”本身的理论与机理，而且这八个方面的技术要以此理论与机理为基础来研究、开发、发展，要与此基础相辅相成，最终是要服务于制造业的发展。离开“机械”与“制造”的本身去研究、开发、发展这八个方面的技术，都是迷失了方向的。

同时，还值得高度重视的是，在科学技术高度发达与高速发展的今天，在先进制造技术迅速发展的今天，应深深了解“先进制造技术”如同一切先进技术一样，是不可能不“以人为本”的，不能见“物”不见“人”，见“技术”不见“文化”、不见“精神”；离开人，离开人文文化，离开人的精神，先进技术就失去了“灵魂”，只是一个空躯壳，甚至造祸于民。我们应记住江泽民同志在“七一讲话”中所作出的深刻论断：“人是生产力中最具有决定性的力量。”进一步而言，要“以人为本”，就必须“教育先导”，就必须通过各种形式的教育，培养出合乎时代潮流与我国国情的制造业的科技人才与管理人才。人才是根本，教育是基础。根本如无，树凋木枯；基础不牢，地动山摇；根本深固，树荣木绿；基础坚牢，大厦凌霄。总之，要从根本、从长远着想。

在此应感谢南京航空航天大学朱剑英教授，文中某些资料是参考或采用了他在2000年“高等学校机械工程教学指导委员会会议”（昆明）上所做的专题报告。

#### 参 考 文 献

- 1 杨叔子，熊有伦. 重视制造科学的研究. 科学时报，1999.7.14
- 2 杨叔子. 知识经济·高新科技·历史责任. 中国机械工程，1999，10(3): 241~246
- 3 杨叔子，熊有伦，管在林，等. 信息时代和网络条件下

- 的制造业发展前景. 湖北省 2001 年科学论坛论文集, 湖北省科协, 2001: 5~9
- 4 朱剑英. 机械工程科学前沿与发展的思考(2). 机械制造与自动化, 2001, 2: 1~3
  - 5 朱剑英. 机械工程科学前沿与发展的思考(4). 机械制造与自动化, 2001, 4: 1~7
  - 6 杨叔子, 吴波, 程涛. 网络经济时代的制造企业策略. 技术科学与展望——院士论技术科学(2002 年卷), 山东教育出版社, 2002: 391~398
  - 7 宋健. 制造业与现代化. 机械工程学报, 2002, 38(12): 1~9
  - 8 雷源忠, 雒建斌, 丁汉, 等. 先进电子制造中的重要科学问题. 中国科学基金, 2002, 16(4): 204~209
  - 9 王成红. 关于自动化领域中若干基础科学问题的思考. 中国科学基金, 2002, 16(4): 227~230

## TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY

*Yang Shuzi Wu Bo*

*(Huazhong University of Science and Technology)*

**Abstract:** With some analysis on the fundamental and important position that manufacturing industry (especially the equipment manufacturing industry) holds in the whole of the nation's industrial and economic lives, the present compelling importance is pointed out for the development of (AMTs). The trends in the market of modern manufacturing enterprises are then described, together with some challenges to manufacturing enterprises themselves as well as changes in the whole ma-

chine-building industry. Following these, efforts are put on the addressing of the new trends and characteristics in the development of AMTs, which asserts in the following 8 aspects that for the development of AMTs, digitalization is the core, precision holds the key, extremes in functions become the focus, automatization keeps the precondition, integration provides the technique, networking paves the pathway, intelligence forms the prospects, and sustainability stems a necessity. It is finally emphasized that all the 8 factors above overlap and support each other to form the whole, and they take roots on the basis of 'machine' and 'manufacturing' so as for serving the development of manufacturing industry.

**Key words:** Manufacturing

Advanced manufacturing technology

Equipment Machine

Informationization Digitalization

作者简介: 杨叔子, 男, 1933 年出生。中国科学院院士。中国科学院咨询委员会委员, 国务院学位委员会学科评议组成员, 国家博士后流动站评议组成员, 教育部高等学校文化素质教育指导委员会主任委员, 中国高等教育学会副会长, 中国机械工业教育协会副理事长, 高等学校机械工程教学指导委员会主任, 中国振动工程学会副理事长, 华中理工大学学术委员会主任《机械工程学报》编委。荣获国家级突出贡献专家、全国教育系统劳动模范、全国高校先进科技工作者、全国优秀教师等光荣称号, 并获全国五一劳动奖章。科研工作立足于机械工程领域, 把机械工程同控制论、信息论和系统论紧密结合, 致力于同微电子技术、计算机技术、信息技术和网络技术等新兴技术领域的交叉的研究与教学, 特别在先进制造技术、设备诊断、信号处理、无损检测新技术、人工智能与神经网络的应用等方面获得一系列成果。荣获国家自然科学奖、国家发明奖和省部级科技进步奖 20 项, 获专利 4 项。发表学术论文 500 余篇, 出版专著教材 12 部。获国家级、省部级教学和图书奖励 12 项。