

高端制造装备创新与 产业推进

——提高高档数控机床与
基础制造装备创新能力的途径

◎ 主编 邱城

GAODUAN ZHIZAO ZHUANGBEI CHUANGXIN YU
CHANYE TUIJIN



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014039348

F426.4
133

高端制造装备创新与产业推进

——提高高档数控机床与基础制造装备创新能力的途径

主 编 邱 城

副主编 方 杰 叶 猛



F426.4

133



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北航

C1726759

014038348

本书分析并评价了高档数控机床与基础制造装备创新能力，总结出具有推广和示范意义的创新模式；围绕战略性新兴产业需求确定应拓展的方向及重点，前瞻性地提出未来我国能够实现突破的重点装备及推进产业发展的途径。对政府有关部门把握数控机床与基础制造装备技术发展方向，制定具有针对性的政策措施具有重要意义，能够为企业和社会各界参与和支持并进一步推动数控机床与基础制造装备发展提供参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高端制造装备创新与产业推进：提高高档数控机床与基础制造装备创新能力的途径 / 邱城主编. — 北京：机械工业出版社，2014. 1

ISBN 978-7-111-45358-1

I. ①高… II. ①邱… III. ①数控机床 - 产业发展 - 研究 - 中国 ②机械制造 - 工艺装备 - 产业发展 - 研究 - 中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 321266 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：胡端阳

北京兴华昌盛印刷有限公司印刷 · 机械工业出版社发行

2014 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 15.25 印张 · 267 千字

定价：60.00 元

本书编写人员

主 编	邱 城		
副 主 编	方 杰	叶 猛	
编辑人员	屈贤明	李中廉	潘凤湖
	裴方芳	张 红	孙兴林
	周超英	王 斌	王禹昊
	古依莎娜	焦 炬	张 威
	赵 曦	赵 菁	汪晓光

前 言

高档数控机床与基础制造装备是实现制造技术和工业现代化的基石，其性能、质量和拥有量已成为当今衡量一个国家工业化水平、综合国力的重要标志。“高档数控机床与基础制造装备”是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020年）》确定的16个科技重大专项之一。本书是“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项共性技术项目“高端制造装备创新能力分析与产业推进研究”的研究成果。

本书在分析国外高档数控机床与基础制造装备发展动态和技术发展趋势、国内高档数控机床与基础制造装备创新水平和能力现状的基础上，收集了大量国内外企业创新能力水平数据，结合国际国内企业发展的成功案例，运用科学方法分析我国高档数控机床与基础制造装备领域各个行业的优劣，并对我国高档数控机床与基础制造装备创新能力水平进行评价和比较。通过对新能源、高端装备制造、节能与新能源汽车、新材料四个产业广泛而深入的行业调研，提出主要战略性新兴产业对高档数控机床与基础制造装备的新需求。深入剖析了多个国内技术创新典型案例，总结出推进专项产品研发的六大创新模式。从功能部件专业化和社会化、装备与工艺结合、提升系统集成成套能力、大力发展现代制造服务业等方面提出了推进高档数控机床与基础制造装备产业发展的途径。在上述大量研究工作的基础上，前瞻性地提出未来我国高档数控机床和基础制造装备领域的八大创新重点。

希望通过本书的出版，能够为提高我国高档数控机床与基础制造装备行业的自主创新能力、拓展专项应用领域，以及为政府相关部门、研究机构、数控机床与机床制造装备企业在产业发展规划、制定相关政策等方面做出有益的贡献。



目 录

前言	V
第一章 国外高档数控机床与基础制造装备发展动态	1
第一节 高档数控机床与基础制造装备的发展趋势	1
一、世界正处在划时代的科学和技术大变革的前夜	1
二、技术创新呈现出新的特点	4
三、国际先进制造技术与装备发展趋势	6
第二节 国外推动产业发展的举措	14
一、辛辛那提公司的“群狼”计划	14
二、快速原型制造技术的突破	15
三、国外典型企业实现服务创新	16
第二章 国内高档数控机床与基础制造装备创新现状	18
第一节 国内高档数控机床与基础制造装备发展综述	18
一、产业发展现状	18
二、创新能力概况	22
第二节 创新能力评价方法研究	25
一、创新能力分析模型	25
二、创新能力评价体系	31
三、评价方法	33
第三节 数控机床与基础制造装备创新能力评价	38
一、评价对象与范围	38
二、评价指标	38
三、综合评价	42
四、面临的挑战	49
第四节 典型企业创新能力对比	50
一、数控金属切削机床企业	50

二、数控特种加工机床企业	53
三、锻压设备企业	54
四、铸造设备企业	57
五、焊接设备企业	58
六、热处理设备企业	59
七、功能部件企业	60
八、数控系统企业	63
第三章 战略性新兴产业对高端制造装备的需求分析	65
第一节 新材料产业技术发展趋势及其对高档数控机床与基础制造装备的需求	65
一、新材料产业技术发展趋势及产业发展展望	65
二、新材料产业对高档数控机床与基础制造装备的需求	69
第二节 高端装备制造业技术发展趋势及其对高档数控机床与基础制造装备的需求	74
一、高端装备制造业技术发展趋势及产业发展展望	74
二、高端装备制造业对高档数控机床与基础制造装备的需求	84
第三节 新能源产业技术发展趋势及其对高档数控机床与基础制造装备的需求	93
一、新能源产业技术发展趋势及产业发展展望	93
二、新能源产业对高档数控机床与基础制造装备的需求	100
第四节 节能与新能源汽车产业技术发展趋势及其对高档数控机床与基础制造装备的需求	103
一、节能与新能源汽车产业技术发展趋势及产业发展展望	103
二、节能与新能源汽车产业对高档数控机床与基础制造装备的需求	110
第四章 数控机床与基础制造装备领域的创新途径	117
第一节 国内典型创新案例	117
一、沈阳机床高档数控机床创新案例	117
二、大连机床 DL-20MST 双主轴上下刀塔数控车床创新案例	122
三、北京第一机床厂与科堡公司协作开展产品创新案例	124
四、秦川机床开发高精度大尺寸齿锥齿轮数控机床创新案例	128
五、广州数控设备有限公司数控系统创新案例	129

六、济南二机床创新案例	135
七、中冶京唐大型多向模锻液压机创新案例	138
八、大连理工大学“硬脆材料复杂曲面零件精密制造技术与装备” 创新案例	142
九、汉江机床高精度数控螺杆转子磨床创新案例	144
第二节 创新模式总结	147
一、基础技术孕育原始创新	147
二、深入研究用户工艺,实现通用机床专用化	148
三、海外并购,通过联合设计掌握关键技术	149
四、嫁接技术诞生全新装备	150
五、从低端做起,迈向高端	150
六、对多国引进技术持续消化吸收并进行包容性再创新	151
第三节 培养创新文化	152
一、深挖需求	152
二、充满好奇	152
三、独立思考	152
四、异想天开	153
五、甘愿冒险	153
六、坚韧不拔	153
第四节 推进原创突破的途径分析	153
一、实现原创产品突破的要素分析	153
二、实现原创的重点产品方向选择	156
第五章 高档数控机床与基础制造装备产业的推进途径	160
第一节 提升高端装备系统集成能力	160
一、国内高端装备系统集成能力现状	160
二、国外系统集成案例	161
三、提升系统集成成套能力的途径	162
第二节 推进装备与工艺结合	164
一、国内基础制造工艺发展现状	164
二、国外支持基础工艺发展的措施与政策	166
三、加强工艺与装备结合的途径	169

第三节 提高功能部件专业化、社会化能力	169
一、国内功能部件发展的现状及问题	170
二、我国功能部件产业发展面临的形势	171
三、国外支持功能部件发展的典型借鉴	173
四、提高功能部件专业化、社会化能力的途径	176
第四节 完善创新平台建设	177
一、现有创新平台分析	177
二、创新平台运行机制研究	204
三、创新平台建设重点建议	207
第六章 高档数控机床与基础制造装备的创新重点	214
第一节 智能化机床和基础制造装备创新的制造系统	214
一、内涵	214
二、重要性	214
三、主要内容	215
第二节 超精、微纳制造技术与装备	217
一、内涵	217
二、重要性	217
三、主要内容	218
第三节 增量制造技术与装备	218
一、内涵	218
二、重要性	219
三、主要内容	219
第四节 高速、高精、高柔性加工设备	220
一、内涵	220
二、重要性	220
三、主要内容	221
第五节 新型复合材料制备与成形装备	221
一、内涵	221
二、重要性	221
三、主要内容	222
第六节 快速、低成本整体成型技术与设备	223



一、内涵	223
二、重要性	223
三、主要内容	223
第七节 工艺数据库与工艺优化系统	224
一、内涵	224
二、重要性	224
三、主要内容	225
第八节 新的焊接技术与装备	225
一、内涵	225
二、重要性	225
三、主要内容	226
图表索引	227
参考文献	230

第一章 国外高档数控机床与基础制造装备发展动态

近年来,后金融危机时代的全球经济进入了结构调整期,呈现出两大重要动向。一是实体经济的战略意义凸现。发达国家反思虚拟经济带来的弊端,开始重新重视实体经济,再工业化趋势明显。二是新的技术和产业革命。工业发达国家凭借其在高新技术方面的优势,纷纷制定和实施新的高端制造战略,以期在这场制造业革命性的变化中抢占产业竞争制高点,掌握未来经济发展的主动权。

第一节 高档数控机床与基础制造装备的发展趋势

一、世界正处在划时代的科学和技术大变革的前夜

国际金融危机发生以来,“世界正处在科技革命的前夜”的说法频频见诸报端。之所以作出这样的判断,首先从科学技术的发展规律看,自20世纪下半叶以来,尽管知识呈爆炸性增长态势,但基本上都是对现有科学理论的完善和精细化,尚未出现可以与上半世纪的相对论等六大成就相提并论的理论突破或重大发现,“科学的沉寂”至今已达60余年。再从近现代技术革命发生的周期看,每隔一个世纪左右发生一次技术革命。发生于20世纪30-40年代的第三次技术革命距今也已有近80年,新的科技革命已箭在弦上。历史经验也表明,每一次经济危机往往带来科学技术的新突破,孕育新的产业发展方向和新的经济增长点,催生新一轮的经济繁荣。工业革命是经济起飞和加速发展的重要标志。从这个意义上说,全球金融危机或许正在加快新的技术和产业革命的到来。

1. 第三次工业革命正向我们走来

第三次工业革命是当今社会非常风靡且议论颇多的话题,尽管有一些不成熟



之处,但这个趋势已经被世人所认可。研究和判断当下或不远的将来将以怎样的技术和方式推进新一轮经济的发展,对于我们实现由制造大国向制造强国的转变意义重大。

(1) 第三次工业革命综述

第三次工业革命的核心是能源,它由相辅相成的5大支柱构成:①面向可再生能源转型;②将每一大洲的建筑转化为微型发电厂,以便就地收集可再生能源;③在每栋建筑物以及基础设施中使用氢和其他存储技术,以存储间歇式能源;④利用互联网技术将每一大洲的电力网转化为能源共享网络,这一共享网络的工作原理类似于互联网(成千上万的建筑物能够就地生产出少量的能源,这些能源的多余部分既可以被电网回收,也可以在各大洲之间通过互联网而共享);⑤将运输工具转向插电式以及燃料电池动力车,这种电动车所需要的电可以通过洲与洲之间共享的电网平台进行买卖。

美国著名未来学家杰里米·里夫金在《第三次工业革命》一书中为人们展望了第三次工业革命的美好愿景:数以百万计的人们将实现在家庭、办公区域以及工厂中自助生产绿色能源的梦想。此外,正如人们在互联网上可以任意创建属于个人的信息并分享一样,任何一个能源生产者都能将所生产的能源通过一种外部网格式的智能型分布式电力系统与他人分享;分散式技术的应用将引发社会和经济变革。

(2) 第三次工业革命的特点

第一次工业革命创造了“蒸汽时代”,第二次工业革命将人类带入“电气时代”。人们将“三维打印”称为第三次工业革命的导火索。20世纪90年代美国麻省理工学院(MIT)发明了“三维打印”——一种快速成型技术,准确地说是增量叠层制造技术。创意提出伊始,就树立了可以制作任何材料、任何几何形状的零件的愿景。20多年来增量制造技术一直向这个愿景逼近。增量制造技术之所有受到人们如此重视,并非这项技术本身,而是它开创了直接数字制造的时代——一种个性化、互动式的创造模式:简化了生产过程及装备;实现了完全定制的、个性化的产品;通过网络传输就地制造、无需仓库,降低了物流成本;根本性地改变了生产经营模式。

有学者提出,第三次工业革命是建立在互联网和新材料、新能源相结合基础之上的工业革命,是以制造业数字化为核心的革命。其重要特征是新材料、新能源和信息技术的深度融合和与之相适应的生产方式的重大转变,既不同于福特模式下低成本的大规模生产,也区别于高成本的个性化定制,在差异化产品和批量



产品生产之间寻求生产成本的有效平衡。

2. 人工智能、机器人和数字制造技术相结合将引起制造业革命性的变化

2012年2月24日,美国学者在华盛顿邮报上发表了题为“中国该为制造业担忧了”的文章。文章指出:目前有3个以指数形式加速发展的技术——人工智能、机器人、数字制造,当我们将人工智能、机器人和数字制造技术相结合,将会发生一场制造业的革命。它使得美国企业家在本地建厂开工,生产出各种各样的产品,就像Kinko发明了纸张2D数字打印机一样,将共享如同TechShop那样的公共制造设备,制作出3D产品。

未来学专家也认为第三次工业革命的作用可与计算机和互联网媲美。我们所有的制造行业,都面临如何迎接以新材料、新能源、信息技术为中心的新技术革命的挑战和发展机遇。无论是纳米科技、生物技术(包括生物制药和基因工程)、信息技术(包括计算机和通讯)、认知科学(包括认知神经科学)等汇聚技术的革命性推动,还是工业无线网、微传感器网、新传感器、RFID的应用性拉动,无不给制造业生产过程和产品带来巨大的开发和创造空间,推动制造业向高端发展。

3. 工业发达国家再工业化趋势明显

2008年3月,美国国家科学和技术委员会的制造业研究和发展机构工作组在题为《制造业的未来:美国制造业研发的优先领域》的报告中提出制氢技术研发、纳米制造、智能和集成制造3个重点技术领域作为联邦的发展机遇。2009年,美国奥巴马政府发布了《美国制造业振兴框架报告》。

欧洲发布了《欧洲2020》战略,提出改善结构条件,为研究与创新开辟融资渠道,以保障创新性思想能够转化为产品与服务,并拉动增长与就业。

2010年,日本政府公布第四期科学技术基本计划草案,提出2020年度的政府研究开发投资在国内生产总值中所占比例将由2008年度的0.67%提高至1%。日本文部科学省在“开发创新体系计划”(Project for Developing Innovation Systems)的框架下,将原有计划进行整合,以建立和强化产-学-研-官网络,促进产-学-研-官与拥有研发潜力的本地核心高校和其他研究机构的联合研究,以形成能提供可持续创新的集群,促进区域自持续能力。

2010年11月,英国启动《制造业增长框架》,为确保英国制造业尤其是制药、航空和汽车领域的国际领先地位,2011年政府出资5100万英镑用于资助超精密中心、产业可持续化中心、全寿命工程服务中心、复合技术中心、智能自动化中心、添加制造中心、连续制造与结晶中心等9个先进制造研发中心建设,其

中 600 万英镑用于支持制造业的未来尖端研究。

二、技术创新呈现出新的特点

杰里米·里夫金指出：在这次工业革命中，所有的纵向权力等级结构将向扁平化方向发展，不仅人们的思维方式、方法手段以及工具设备需要大调整，而且生产方式和生活方式也需要进行大的调整。经营活动由集中转向分散，对技术创新方法和组织模式将产生影响。

1. 跨学科跨领域的协同创新趋势明显

与分散生产方式相适应的协同创新趋势明显。随着组织结构的扁平化，从基础研究到应用研究再到试验开发，从产品小试、中试到产业化，从商品、供应、流通到销售，3 个链条上的各个环节和社会各个阶层，都会产生创新的需求和创新的源泉，从信息、知识、技术、产业、市场到消费会出现各种各样的创新，形成全社会共同参与、协同创新的格局。

2. 联盟成为 21 世纪技术创新的重要组织形式

20 世纪 90 年代中期，现代管理学之父彼得·德鲁克指出“工商业正在发生的最伟大的变革，不是所有权为基础的企业关系的出现，而是以合作伙伴关系为基础的企业关系的加速度发展。”现代科技的发展出现了许多新领域、新动向，多个学科相互交织，多种技术相互融合；科学与技术正在以前所未有的深度和广度加速融合，科技成果转化生产力的周期日益缩短。在市场竞争日益激烈的环境下，从企业的角度看，按照最有市场竞争能力的原则，从市场上来获取先进技术进行集成，形成具有竞争能力的产品，是实现企业技术创新的一个很重要的或者说极为重要的途径。从研究机构的角度来看，高校和科研院所不可能把全部的成果都通过自身的努力转化为产品，一方面，没有这种能力；另一方面，高新技术的产业化具有极大的不确定性。正因为如此，如今企业竞争已经从一对一的企业竞争走向联盟之间的竞争。从世界科技创新的潮流看，由企业独立创新到产学研用联合创新，已经成为技术创新的普遍趋势和有效形式。

3. 政府在产业技术创新中的作用凸显

技术是有生命周期的。1957 年美国爱荷华州立大学在分析玉米种子采购行为时，提出了技术生命周期的概念，但并没有引起重视，直到 1962 年 Everett M. Rogers 出版《技术创新的扩散》，技术生命周期的概念才获得了人们的广泛认同。技术生命周期如图 1-1 所示。



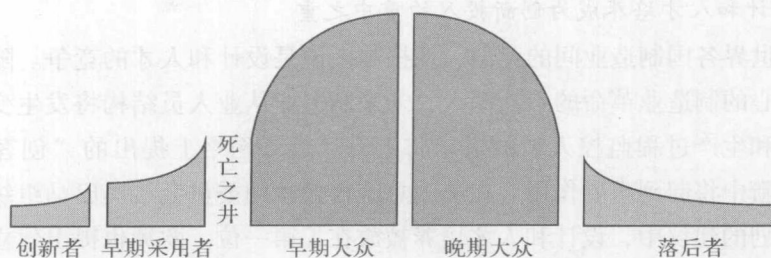


图 1-1 技术生命周期

一项技术从诞生到失去重要价值要经历创新者、早期采用者、早期大众、晚期大众和落后者 5 个阶段。第一阶段大约会有 2.5% 的用户参与，他们是冒险家。第二阶段大约会有 13.5% 的用户参与，他们大多对创新所在的行业熟悉且敏感，是意见领袖群体。第三阶段大约有 34% 的用户参与，他们是早期大众，技术的真正使用者。第四个阶段也大约有 34% 的用户参与，虽然用户的需求基本一致，但他们相对保守。第五个阶段大约有 16% 的用户参与，他们被称为落伍者。

1991 年 Geoffrey A. Moore 在《跨越死亡之井》一书中提出了“死亡之井”的概念：在第二和第三阶段间，由于早期使用者和早期大众之间的思维模式和需求的差异性，存在一个死亡地带。一项技术可能被早期采用者所接受，但在市场中没有早期大众跟上，从而进入冬眠期。这种现象在以新技术为驱动的现代创新中尤其突出。在这种“市场失灵”的情况下，需要政府发挥调控作用。在以知识为基础的技术创新中，政府的作用越来越重要。

4. 中小企业技术创新受到高度重视

从世界经济发展规律看，企业的发展趋势，一方面是少数企业的大型化、集团化，具有极强的自我发展能力，是国家实力的象征；另一方面是多数众多的中小企业，具有较强的灵活性和市场应变能力，是国民经济的肌体。在激烈的市场竞争环境下，中小企业要生存、要发展，必须有自己的“Know How”，即怎样做才能市场中生存和发展。尤其是科技型中小企业，在国民经济发展中具有特殊的重要性，微软、苹果等典型案例表现了在市场经济下科技型中小企业和高科技企业发展的规律。正因为技术突破和市场机遇的不确定性，各国更加重视对中小企业创新的支持。

2011 财年美国先进制造业伙伴关系计划将目标锁定在：加快和促进小规模制造企业采用技术革新，特别是清洁生产和过程技术，提高美国制造业的竞争力。

5. 设计和人才培养成为创新投入的重中之重

当今世界各国制造业间的竞争,从根本上说是设计和人才的竞争。随着以数字化为核心的制造业革命的不断深入,未来制造业从业人员结构将发生变化,对创意设计和生产过程监控人员的需求将上升。近来网络上提出的“创客”在未来技术创新中将起到重要作用。在美国总统科技顾问委员会给奥巴马组织实施先进制造计划的建议中,设计和人才培养被放在了第一位。欧洲也提出建立机电一体化的教育愿景,以满足建立竞争型、创造型欧洲工业的需要。

三、国际先进制造技术与装备发展趋势

20世纪80年代,美国在国家研究计划中首先提出了先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)这一名词。先进制造技术涉及机电产品的全生命周期,目前人们通常将先进制造技术分为现代设计技术、先进制造工艺和装备、系统管理技术。综合先进制造技术预测研究成果,绿色和智能将成为先进制造技术的主要发展方向。其中,智能制造技术是躯干,绿色制造技术是血液。在智能和绿色大方向下,先进制造技术发展呈现出以下趋势。

1. 设计方法和工具向高级阶段发展

目前,机电产品的设计理论和方法体系已经形成。如全寿命周期设计、绿色设计、可靠性设计等,将生产全过程要素和环保要求等贯穿于产品设计中;在设计手段上,知识信息以数字化的形式贯穿于设计制造过程,初步实现了三维快速实体造型、结构强度分析以及工艺优化的整体设计。随着以参数化建模为核心的三维设计技术的普及应用,机电产品的设计技术将向更高级阶段发展,具体表现为:

(1) 设计理念更加丰富

设计理念从产品的性能参数拓展到全寿命周期,并不断丰富文化内涵和增加对情感的表达。

(2) 设计方法和工具不断创新

围绕快速低成本设计,一方面是并行设计、面向“X”的设计(Design For X, DFX)、稳健设计(Robust Design)、优化设计(Optimal Design)、反求工程技术(Reverse Engineering)、绿色设计等设计方法的不断发展和相互结合,如基于产品生命周期的多方法综合设计优化技术、数字化协同产品开发技术、网格计算技术在数字化设计中的应用等;另一方面是数字建模与多学科仿真理论、方法、工具的发展,使跨学科系统建模的新方法得到推广应用。

在“EMO 2007”期间,德马吉公司首次向世界展示了基于功能性、人体工效学以及工业设计相结合的机床设计产品。德马吉新一代机床的鲜明元素是加工区域有更好的可视性,其安全玻璃制成的视窗扩大了40% (更有部分机型的视窗扩大了80%),并配有19寸显示屏的DMG ERGOline 控制系统,不仅极大地提高了加工过程的透明度,而且显示了德马吉产品的操作舒适性。

2. 加工制造技术向高性能、高可靠性、用户友好、自适应方向发展

(1) 高性能

高性能技术主要包括:高精度和高速度。

①精密和超精密加工技术。精密和超精密加工技术发展总趋势是:向更高精度、更高效率方向发展;向大型化和微型化方向发展;向加工检测一体化方向发展。

微加工成为常规性制造技术。制造业的常规性尺度将由微米级精度下移一两个数量级,亚微米及纳米级制造及测量成为制造技术和制造工艺的主流。

光制造技术广泛应用。光加工、光化学加工、光电加工变得如此重要,制造技术变得如此离不开光科学,以至不了解光学基本知识的工程师与不懂电气基础知识同样地不可思议。

生长型制造的比重迅速提高。特别是在微制造领域,“从下而上”的制造和生长/去除(“从下而上”+“从上而下”)复合型制造将成为主要制造方式。

生物工程成为制造技术的重要组成部分。生物加工和为生物技术提供仪器设备成为制造业的重要组成部分,对生物体、柔性体的处置加工成为与加工金属体和刚性体同样普遍的制造方式。

②高速加工技术。高速加工技术的发展趋势是:向全面高速化、低能耗、多工序复合方向发展。

超高速切削、高速粗加工成为常规性制造技术。

快速制造技术(Rapid Manufacturing, RM)广泛应用。随着RM材料、RM多材料工艺和计算机辅助设计、快速制造流程和标准等使能技术发展,定制产品和零件制造成为重要的制造方式。

欧洲提出的目标是:使每一领域都能有所突破,实现超高性能的制造过程,即提高数控轴的加速度3~5倍;提高速度3~5倍;提高数控机床的生产率5倍;大幅度提高机床的加工精度。

(2) 可靠系统——监测、预测和诊断

机器和生产系统的可靠性对于高效低成本生产至关重要,用户总是希望机器

