

21 世纪的制造科学——一个必须应对的挑战

Exploration of the Development of China's Manufacturing Industry in the 21st Century

邹十践

(机械部天津工程机械研究所, 研究员 天津 300131)

目前国内外存在一种不科学的提法, 把制造业说成是夕阳产业, 或把传统制造工业称之为夕阳工业; 而把计算机网络、电子商务和生物工程行业叫做朝阳产业, 把微电子技术、高技术产业称为朝阳工业。这种提法无论在理论上或在实践中都是站不住脚的。试想如果没有制造业, 一切产品包括高技术产品何能产出、何以存在? 制造业是制造任何产品的生产工具, 没有生产工具哪有产品, 又有什么产业! 任何时代的生存和发展都要靠制造业, 制造业有其不可替代的特性。信息产业、高科技产业更需要制造业作基础、作载体, 才能发展起来。制造业和高技术产业两者之间的相互关系显然是相互依存, 互为载体, 互相渗透、融合的。以下笔者就 21 世纪制造科学的挑战和对策谈点看法。

一、现代制造科学的形成及其研究方向

现代意义的制造科学是 20 世纪下半叶, 随着信息技术、高新技术逐步渗透、融合到制造业中后形成的。具体地说, 现代制造科学是微电子、计算机、自动化、网络通讯等信息科学、管理科学、生命科学、材料科学诸工程学科与机械工程相互交叉、融汇, 相互渗透、衍生的结果。这是制造工程科学发展的必然趋势, 也是从传统的制造业发展到现代制造科学的必由之路。

制造的概念和内涵是动态发展的, 它在“范围”和“过程”两方面均已大大扩展。以范围而论, 已不仅局限于“机械制造”, 实际还包括冶金、电子、化工、轻工、纺织、食品和军工等国民经济的许多行业。制造业已被具体定义为: 将可用资源(物料、能源等)通过相应生产过程转化成为工业品和消费品的产业。从现代意义上看, 制造业已是大制造、全过程和多学科的交叉与融合。所谓大制造应包括光机电产品的制造、工艺流程制造、通用产品和高精尖产品的制造, 以及材料制备。因此它是一种涵盖面很广的广义制造概念即大制造概念。以制造方法而

论, 它不仅包括机械加工方法, 而且还包括高能束加工方法、硅微加工方法、电化学加工方法等。以过程而论, 它不但包括从毛坯到成品的加工制造过程, 而且还涉及产品的市场信息收集与分析, 产品选型决策, 产品的设计、加工和制造过程, 产品的销售和售后服务, 报废产品的处理, 以至产品的疲劳强度和全寿命过程的预估等产品整个生命周期的全过程。

现代制造科学涉及计算机学科、半导体学科中的微电子器件和计算机器件的设计与制造, 涉及自动化学科的制造过程和制造系统的控制理论与方法, 涉及光学和光电子学科的器件和光学仪器的设计与制造、光电测试理论与方法, 涉及机械工程学科的零件和机器的设计制造理论与方法, 涉及力学学科的材料力学、理论力学、结构力学、液体力学、断裂力学和机电系统动力学的应用, 涉及材料学科中新材料制备科学、冶金学科中材料成分配比与其成形科学, 涉及化学工程中化工流程科学和化工产品的制造科学, 涉及借鉴生物学科的仿生制造和仿生机械学, 涉及物理学科中的纳米科学, 还涉及管理学科中关于企业的重组和可重组制造系统理论、企业管理方法和工业工程理论等。

根据高科技发展趋势来看, 制造科学还将进而与生物科学、信息科学、纳米科学、管理科学共同成为 21 世纪的五大主流科学。与此相应的五大高新技术及其产业将整个改变世界科技与制造业发展的面貌和格局。制造科学与信息科学、生命科学、材料科学、管理科学的学科交叉、融汇与衍变正是现代制造科学得以健康发展的必由之路, 也是今后推动我国制造科学发展必须坚持的研究方向。

具体地说, 21 世纪制造科学研究应包括以下领域的科学问题: (1) 现代制造过程和制造系统的基础理论; (2) 制造过程与系统的数学描述、建模、仿真及优化, 制造中的计算机几何; (3) 设计及制造过程信息的获取、表达及传递, 非全信息状态下的决策、非符号信息表达、制造信息保真及传递, 海量制

造信息的管理；(4) 网络/虚拟制造基础理论，网络及虚拟环境下制造系统的体系结构及全局最优决策理论；(5) 支持产品设计和制造过程创新的理论及方法；(6) 现代制造过程和制造系统的多学科模拟/仿真；(7) 现代制造过程和制造系统中的人机环境界面交互、协调和统一理论；(8) 先进制造生产模式及管理理论与方法，适合我国国情及文化背景的高效、快速、可重组的先进制造生产理论及其模式；(9) 适应社会主义市场经济和制造生产模式的经济管理及虚拟企业的基础理论及运作方法；(10) 计算机、微电子和光学关键零件的制造工艺基础；(11) 微型机电系统的设计、制造理论和方法；(12) 新材料制备，微、纳米制造和仿生制造的理论基础；(13) 现代制造过程和制造系统的控制理论和方法；(14) 基于资源节约和环境保护的制造理论和方法。

二、影响现代制造科学发展的领域

进入 21 世纪，纳米制造科学、仿生制造科学、制造信息科学和制造管理科学将是影响现代制造科学发展的四个重要科学领域。

1. 纳米制造科学是泛指纳米级 (0.1nm ~ 100nm) 尺度的微型材料制备、零件和系统的设计、加工制造、测量和控制的科学技术及相关的科学技术，它是人类进入 21 世纪从宏观领域进入微观领域的前沿科学技术之一。纳米制造科学涉及到材料科学、信息科学、物理科学、光学、生物学和制造科学等。纳米制造科学是将制造科学从宏观领域向微观领域扩展，虽难度极大，但对科技、国防和经济具有不可估量的意义与作用。

原在宏观物质领域研究中所用的物理量，如弹性模量、密度、温度、压力等，已不适用于微观尺度领域；常用的牛顿定理、欧几里德几何、热力学、电磁学、流体力学、断裂力学等可能多也不再适用了。而量子效应、物质的波动性、原子力等微观物理特性将起重要作用。某些宏观脆性材料，在纳米尺度时则表现出很强的塑性，流体在微管流动中，其液体表面张力和对管壁的附着力已不可忽略。在纳米加工及表面质量分析中，还必须考虑原子间的结合力，并需用界面物理的观念、知识予以处置。现已有科学家在研究纳米零件的设计与制造，包括利用移动不同的物质原子来构造理想性能的器件。

2. 制造科学与生命科学的交叉衍生出仿生制造科学。实际上，制造过程、制造系统和生命过程、生命系统在许多方面都有相似之处。制造系统和生命系统都是非线性耗散系统，都有生命周期。生命系统和现代制造系统的结构也有许多相似之处，它们都具有大脑(计算、思维和控制系统)、四肢(执行系统)、传感和神经(信息系统)。生命系统和现代制

造系统都有自组织性、自适应性、协调性、应变性、智性和柔性。因此，在现代制造系统中研究和应用这些生物特性是制造科学的新的前沿课题。

21 世纪也将是仿生制造科学全面发展的时代，机器人、假肢、人工关节、机械手和智能机器人都是典型的体现机械仿生功能而体现制造科学发展的实例。仿生制造科学的主要研究内容有：(1) 与仿生机械相关的生物力学原理；(2) 生物制造基础理论与技术；(3) 组织工程材料成形的信息模型与物理模型；(4) 面向生物工程的微操作系统原理、设计与制造基础；(5) 仿生系统的控制理论与方法；(6) 仿生系统的集成理论与技术。

3. 制造信息科学是在制造科学与信息科学交叉与融汇的过程中发展起来的一门新兴科学。现代产品的信息含量在产品价值中的比重不断增大，产品的生产成本越来越受到制造信息的制约。许多现代产品的价值增值主要体现在信息的获取和应用上。制造信息科学所涉及的信息主要有产品信息、工艺信息和管理信息。主要研究内容和方向如下：(1) 制造信息的获取、处理、存储、传递和应用，海量制造信息向知识和决策的转化；(2) 非符号信息的表达、制造信息的保真传递、海量制造信息的管理、非完整制造信息状态下的生产决策、虚拟制造、基于网络环境下的设计与制造，制造过程与制造系统中的控制科学问题。制造信息科学在促进 21 世纪制造科学的发展中将会起到极为重要的作用。

4. 先进制造生产模式对制造过程、制造系统和产品的优质将起着关键的作用，而制造生产模式是管理科学、社会人文科学与制造科学的交叉、融汇和发展而成的结果，因此在制造过程中的管理科学就有着统率生产过程、决定产品质量和市场竞争能力的独特作用。制造企业要想成为国际名牌企业，除了要拥有世界一流的制造技术、制造系统、制造模式、高素质的人才以外，还应有世界第一流的组织管理模式和管理水平，也就是说，需要一流的制造管理科学。随着世界经济向全球经济一体化发展，以及国际市场竞争的激化，制造管理科学在加速高新技术的发展、促使制造生产模式的现代化方面，以及在生产高精尖产品和增强产品的市场竞争力过程中，将会发挥越来越大的作用。

要想使制造科学在 21 世纪中得到迅速有效的发展，就必须在以上四个领域中有所创新、有所突破，才能达到目的。

三、我国制造业发展思路的探讨

我国自 1865 年李鸿章在上海创建江南机器制造局便有了近代制造业，迄今已有 135 年的历史。我国制造业在解放后有了很大的发展，在一段历史时

期里基本上实现了“装备中国”的重任。改革开放以来,我国先后引进了国外发达国家的先进制造技术,提高了我国产品的档次,但目前我国制造业在应用高新技术和产品质量方面仍与国外水平有相当的差距。面对21世纪制造科学的挑战,如何加快发展我国的制造业,已成为人们所关注的热点和焦点问题。以下从几个方面来探讨我国制造业的发展思路。

第一、制造企业必须进一步专业化。我国产品质量提不高的原因之一,就是制造企业长期存在大而全、小而全的生产组织结构。一个工厂不可能生产全部优质的零部件,只需研制出主机的关键部分和一部分优质配件就可以了,其余配件应由配套的厂家来生产。一个国家亦是如此,不可能是万能的,什么零件都能研制。即使国外工业高度发达的国家,它也向别国购买少量优质的零配件为其主机配套,而倾注其全力研制整机的关键部分和总成,他们这种高度专业化生产的优点很多,确保了主机的质量和市场的竞争力。日本加藤公司由于采用专业化生产,虽只有员工250人,却年产挖掘机4000台,人均生产率为16台/年·人,而1992年我国六大挖掘机厂仅生产90吨级以下各类挖掘机1900台,人均生产率为0.08台/年·人,可见专业化生产提高生产效率的作用。我国制造企业一定要走真正的专业化生产之路。

第二、引进技术国产化。自改革开放以来,我国相当多的制造企业都引进了国外先进技术,如工程机械行业在1979~1998年的20年间共引进国外先进技术168项。要将国外的先进技术转化为中国的产品、中国的生产力,就一定要实现国产化。我国在实施国产化过程中曾走过弯路,因此,我们还应对国产化有一个正确清醒的认识,即使是工业高度发达的国家其产品也不是百分之百的国产化,例如西欧许多工业发达国家都买德国海卓玛蒂克公司的液压件来为其产品配套,如果强制性地硬性要自己来研制自己的国产液压件来代替进口的优质件,恐怕得不偿失,一时难以奏效,还不如买国外优质配套件合适。一台主机有相当大部分零部件是自己生产的,就很不错了,不必追求百分之百的国产化。如果一味苛求每个配套件都要国产化,势必延误产品上批量和妨碍实现规模经济,乃至造成劳民伤财、得不偿失的结果。

第三、配件优质化。我国制造业既然要走专业化生产道路,就必然要在国内外选购一些配件。工程机械中常用的配件包括发动机、液压液力元件(如泵、阀、马达、管接头和液力变矩器)等。而整机出现故障往往是由配件的劣质引起的,所以我们在选择外配件时,一定要选择优质厂家的优质配件,唯此才能确保整机高效无故障地作业。

第四、工人技术素质要强化。近年来我国制造业的工人技术素质偏低,令人堪忧,因老工人大都已退休、青年工人大多未经严格培训就上岗顶岗。殊不知工人的技术素质、综合素养对产品质量和性能至关重要。我国经济参考报曾报道过“我国青年工人中实际水平达到高级工的仅占1%、中级工的约占10%、初级工占到70%,绝大多数初级工实际水平达不到生产岗位的要求,在青工中普遍缺乏一专多能的本领,不少企业青工的平均技术水平甚至低于五六十年代的水平。在已获得技术职称的青工中,一部分人名不符实,高级别低能力,有的差距竟达二三级。每年新增加劳力的90%没有接受过培训”。这则报道确实令人震惊。即使我国制造企业有好的设计图纸、好的加工工艺、好的加工设备,而没有高技术素质的优秀工人也是生产不出优质品来的。可见,我国必须采取强化措施来提高工人(特别是青工)的技术素质,才能确保提高我国产品的技术档次和质量可靠性。

第五、机电一体化。要改造和提高我国传统的制造业,还必须采用微电子技术。20年以前,美国在新开发的机械产品中,有90%以上采用了微处理器,这也就是机电一体化的产品了。在国外,工业机器人和柔性机械制造系统的应用相当普遍,而这两种有代表性的机电一体化产品在我国尚处于开发试用阶段。国外各工业发达国家都已普遍采用了数控设备来加工零部件,而我国许多企业还在大量使用普通机床。国外一些大的制造企业都有专用集成电路厂,为该公司机电一体化服务,因为机电一体化产品所需专用集成电路的品种多、批量小、修改频繁。为了提高产品质量、扩大其功能、不断更新换代、推出机电一体化的新产品,就要不断地修改专用电路,因此美国一些机械制造企业都有很强的专用电路设计制造能力、足够的软件开发人员;而我国大多数制造企业是在50年代建立的,虽经过40年的充实、改造和发展,但迄今为止还没有哪家企业专门建立专用集成电路生产点,来配合其产品的机电一体化,这不能不说是我国制造业的一个严重问题。前几年,我国个别企业曾对机械产品(如液压挖掘机)进行过机电一体化的设计和试制,但这只是极个别的试验性探索,结果往往还因为接口元件和传感技术不过关而功亏一篑。实现我国机械产品的机电一体化不仅是迎接21世纪挑战的需要,而且也是我国制造技术创新不能回避的必由之路。

第六、加大资金投入力度。我国制造业特别是传统制造业要创新、要推出竞争力强的高科技产品,就要保证有足够的研究与开发经费。日本的资料表明,企业的科研和开发投入经费若仅占其销售额的1%,则很难生存;占2%则可以勉强维持;占5%才有竞争力。世界上百强企业投入的科研与开

试论新型的高效洁净能源——煤层气

On the New Efficient and Clean Energy——The Coal Bed Gas

李明宅

(中联煤层气有限责任公司, 高级工程师

北京 100011)

21 世纪, 世界能源将进入天然气大发展时代。我国天然气工业有着广阔的拓展空间, 社会的进步、生活水平的提高、改善能源结构、保护大气环境都需要加快天然气工业的发展。根据我国的基本国情, 在部署中长期国民经济发展战略时, 要研究、制订和调整能源发展战略。在保障新世纪供需平衡的前提下, 使我国能源结构逐步趋向于洁净化, 已成为迫在眉睫的任务。煤层气作为一种新型的高效洁净能源, 是我国天然气能源的有益补充。它的出现将为我国天然气工业的发展注入新的活力。

一、世界煤层气工业发展概况

煤层气是以吸附状态赋存于煤层中的非常规天然气。目前, 世界上有 29 个国家开展了煤层气研究、勘探和开发活动, 其中以美国最为成功。20 世纪 80 年代以来, 美国为了发展煤层气产业, 先后投入 60 多亿美元进行大规模的科研和试验, 取得了勘探开发技术的突破。企业在煤层气税款补贴政策、大量的科技成果和相应配套技术的推动下, 使煤层气产量从 1983 年的 6.7 亿 m^3 猛增到 1997 年的 300 亿 m^3 , 约是我国同年天然气产量的 1.5 倍; 开发基地也

发经费通常占其销售额 10% 以上, 有的甚至高达 15% 以上。有了这种雄厚的财力支持, 制造业才能创新, 才能“制造一代、开发一代、研究一代、构思一代”; 有了这种技术储备, 才有市场竞争的实力。美国为什么成为世界上头号科技强国, 关键之一就在于其对科技投入的经费多, 如 1998 年美国政府和民间投入的科研和开发经费高达 2 206 亿美元, 居世界之首。而我国机械工业科技投入的三项费用(新产品试制费、科研费和中试费)在 1980 年只占总产值的 0.19%, 这是一个多么微乎其微的数值! 我国全社会研究发展经费占国内生产总值的比例从 1990 年的 0.7% 下降至 1996 年的 0.48% (刘颖冰, 刘树德, 1998 年)。这和 1995 年日本的 2.77%、法国的 2.32%、德国的 2.28% 相比, 仍是一个小数字。所以我国要迎接 21 世纪制造科学的挑战、向现代制造

从最初的 San Juan 和 Black Warrior 两个盆地发展到现在的 12 个盆地。近年来, 美国又开发出了既可以提高作业效率、降低成本, 又可以极大地提高煤层气产能的新技术, 利用空气钻井、液氮压裂改造煤层大大提高了气体采收率, 还试验成功了注入 N_2 、 CO_2 开采 CH_4 的高效新技术。美国快速发展煤层气产业的经验已引起世界产煤国家的广泛关注, 英、德、澳、波兰、印度等国都已经制定了相应的鼓励政策, 积极推动本国煤层气产业的发展。

二、我国煤层气勘探开发现状与发展的有利条件

1. 煤层气勘探开发现状

我国煤层气勘探起步较晚, 初期以排放煤矿瓦斯减少生产灾害为目的, 到 20 世纪 80 年代, 特别是 90 年代才真正转变观念, 把煤层气作为一种新能源来加以研究, 进行专门的煤层气勘探试验, 在地质评价、技术储备、技术力量培养等方面初步形成了一套工作体系。

“七五”期间, 煤炭系统以减少煤层瓦斯灾害为目的进行了煤层气钻井试验, 开始由巷道瓦斯抽放

科学发展, 首先要加大对科研开发费用的投入力度, 否则只能是望洋兴叹而已。

最后, 我国还必须结合信息技术来提高制造业的创新能力, 目前我国应用 CAD 技术的企业仅占全国制造业的 1/1 000, 而且采用的主要目的仅是“甩掉图板”, 尚未考虑应用、开发其设计功能。今后我国制造业只有大力应用 FMS、FMC、CAD/CAM/CAE、CIMS、CAPP 和 MRP 等高新技术, 才有赶上制造科学现代潮流的可能。

当今的制造科学技术已发展成为一个涵盖整个生产过程、跨多个学科, 且高度复杂的集成系统, 我国制造业只有从这个高度去拓展我们的发展思路, 才有可能真正迎接 21 世纪制造科学的挑战。

(略去 25 篇中文参考文献)

(责任编辑 蔡德诚)