

# 中国制造科技的现状与发展

路甬祥\*

(中国科学院,北京 100864)

## 1 制造业是为国民经济发展提供技术装备的基础性产业

制造是人类创造工具,发展生产力,创造财富的主要形式和手段。制造业创造国民经济和社会文明的物质基础,为国家安全提供装备保障,是国家竞争力的重要基石。

美国20世纪90年代末期制订的“下一代制造计划”,提出了人、技术与管理为未来制造业成功的三要素,确立了技术在制造业的关键地位。为了挽回20世纪70—80年代由于政策失误造成的制造业竞争力衰退,美国重新提出“制造业仍是美国的经济基础”,要“促进先进制造技术的发展”。由于政府强有力的支持,美国重新夺回了制造科技及竞争优势。其中的“集成制造技术路线图计划”,提出了多项未来制造业需要优先发展的关键技术,主要是:快速产品/工艺集成开发系统,建模与仿真技术,自适应信息化系统,柔性可重组制造系统,新材料加工技术,纳米制造技术,生物制造技术及无废弃物制造技术等。

2004年年初,美国商务部发布的《美国制造业》报告中指出,美国制造企业是美国经济的基础和美国价值的具体体现。他们不但增强了美国的竞争力,而且大大改善着公众的生活水准。今天,制造业仍占美国国内生产总值的16%,制造业年增加值相当于我国的4倍,日本的2倍。

先进制造技术在美国的普及应用,已彻底改变了美国制造业工人的“蓝领”形象,制造业岗位几乎已经全部是高技能的技术密集型工作。制造业工人的平均受教育程度大为提高,不少人甚至拥有博士学位。制造业工人的平均年收入,在2000年已达到了54000美元,比全美平均就业人员的收入水平高

出20%。在最近的一项调查中,42%的制造商声称自己面临机械师和高技能工人这两类职工的短缺。《华尔街日报》引述的另一项研究认为,到2020年,美国制造业将需要一千万新型的高技能工人。

技术创新是美国制造业保持强大竞争力的源泉。1963—2000年将近40年的统计表明:制造业获得的美国专利数量,占全部美国专利总数的90%。这一异乎寻常的旺盛技术创新活动,主要得益于制造业的大量研发投入。制造业使用的研发经费数量最为庞大,2000年占产业界总研发经费的64%。美国先进制造业同盟2000年发布的一份报告认为,技术创新将是美国制造业未来保持竞争力的要诀。

日本政府制定了“制造基本技术振兴基本法”,并在2002年6月发表的《日本制造业白皮书》中明确提出了要重新确立日本制造业优势的政策与战略。为加强新技术、新产品的研究开发,日本制造业不惜投入巨额科研经费。据《日本经济新闻》调查,在2004会计年度中,日本437家上市公司计划投入的科研经费总额达到近8.6万亿日元,平均比上年度增长5.9%。近年来,日本全国每年的R&D经费总额占国内生产总值的3.3%以上,这一比例大大高于美国、德国、英国等其他发达国家,为世界前列。R&D经费总额的85%投向制造业,制造业科研经费占销售额的比重达到4%左右。增加科研投入使日本企业具备了较强的自主研究开发能力和新产品生产能力,从而提高了企业的竞争力。

我国制造业的工业增加值约占GDP的35%左右,超过三分之一的国民生产总值由制造业创造。工业的税收90%在制造业,约90%的工业就业岗位依靠制造业提供。党中央国务院非常重视制造业的发展与振兴,在国务院8号文件《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》中指出,制造业是为国民

\* 中国科学院院士,中国工程院院士,全国人大常委会副委员长,中国科学院院长。  
本文系作者在2006年6月20日第七届海内外青年设计与制造科学会议上的报告。  
本文于2006年7月10日收到。

经济发展提供技术装备的基础性产业。大力振兴装备制造业,是贯彻落实科学发展观、走新型工业化道路、提高国际竞争力、实现国民经济全面协调可持续发展的战略举措。加快振兴装备制造业,要坚持市场竞争和政策引导相结合,引进技术和自主创新相结合,产业结构调整 and 深化企业改革相结合,重点发展和全面提升相结合。要选择一批对国家经济安全有重要影响,对促进国民经济可持续发展有显著效果,对结构调整、产业升级有积极带动作用、能够尽快扩大自主装备市场占有率的重大技术装备和产品作为重点,加大政策支持和引导力度,实现关键领域的重大突破。

## 2 增强科技创新能力刻不容缓

半个世纪以来,我们在制造业及其科技领域取得了举世瞩目的成就,出现了一批具有国际影响的研究成果和技术成就。特别是进入20世纪80年代后,中国先后在正负电子对撞机、石油注水开采新工艺、空气动力实验、原子能级操纵和原子能级加工、深水机器人等方面达到世界先进水平。以计算机领域的成就为例,高性能计算机研究取得突破,“曙光”、“银河”、“深腾”等超级计算机相继研制成功,使我国在并行计算机、超级服务器方面迈入国际先进行列。氮化物蓝光激光器件研究达到国际先进水平,在氮化镓材料上制作PN结,实现了电注入蓝光发射,使我国成为目前国际上惟一掌握该技术的国家。10 Gb/s SDH传输系统及色散调节关键技术的突破,使我国成为世界上少数几个掌握并可提供10 Gb/s技术的国家之一。

显然,中国在制造科技方面有了很大发展,但与世界发达国家相比,还存在较大差距。首先体现在产业结构的不合理,装备制造业发展滞后。作为国家核心竞争力关键的装备制造业工业增加值占制造业的比重仅为26.46%,比发达国家约低10个百分点。国民经济和高技术产业发展所需要的装备依赖进口严重,2001年,全国进口装备制造业产品约1100亿美元,占全国外贸进口总额的48%左右。其中某些行业尤为严重,集成电路芯片制造装备的95%、轿车制造业装备、数控机床、纺织机械及胶印设备的70%依赖进口。造成这种状况的主要原因在于我国科技自主创新能力较弱,制造科技整体水平较低。

具体说来,我国制造科技领域主要存在以下几方面的问题:

(1) 科技投入占GDP的比重仍然很低,且投入不足和浪费低效并存。我国历史上科技投入占

GDP的比重最高是1960年的2.32%,以后逐年下降,到1998年为0.69%,2000年以后有所回升,到2004年为1.23%,而创新型发达国家及新兴工业化国家这一比重一般在2%以上。

(2) 对外技术依存度居高不下,产业发展受制于人。我国对外技术依存度高达50%,而美国、日本约为5%左右,一般发达国家这一比率也在30%以下;关键技术自给率低,占固定资产投资40%左右的设备投资中,有60%以上要靠进口来满足,高科技含量的关键装备基本上依赖进口。值得注意的是,许多重点领域特别是国防领域的对外技术依赖,会对国家安全构成严峻挑战。

(3) 高层次人才严重不足,技术创新缺乏动力。虽然我国人才总体规模已近6千万,但高层次人才十分短缺,能跻身国际前沿、参与国际竞争的战略科学家更是凤毛麟角。在158个国际一级科学组织及其包含的1566个主要二级组织中,我国参与领导层的科学家仅占总数的2.26%,其中在一级科学组织担任主席的仅1名,在二级组织担任主席的仅占1%。

(4) 发明专利的数量少,国内科研论文的质量相对较低。我国目前发明专利数量仅占世界总量的2%,绝大多数的三方专利(美国、欧洲和日本授权的专利数)为世界公认的20几个创新型国家所拥有;我国国际科技论文数量虽然已跃居世界第五位,但还缺乏引领学科发展的重大原始性创新成果。1993—2003年,世界各学科领域按照作者统计的SCI(科学引文索引)论文被引用次数,前20名没有中国学者,前100名仅有2人。

(5) 企业缺乏核心技术,创新能力薄弱。我国高技术产业发展迅速,但具有自主知识产权的产品不多,大部分高新技术产品出口是由三资企业完成的,拥有自主知识产权的企业仅占企业总数的万分之三;企业难以掌握核心技术,重引进、轻消化吸收再创新的问题一直未能有效解决,2004年,规模以上工业企业技术引进经费支出397亿元,消化吸收经费支出仅61亿元,远远低于日本和韩国水平。

当今世界,制造业的中心正在向我国等发展中国家转移,中国已经成为全球性的制造大国,令世界瞩目。然而,由于缺乏具有自主知识产权的核心技术和品牌,制造业的许多领域还停留在国际价值链分工的低端。如何改变这种局面?如何从“中国制造”走向“中国创造”?答案只有一个:必须在制造业领域创造中国人自己的设计理论和方法,先进制造工艺技术,创造具有中国自主知识产权的装备、仪器、工程系统!

### 3 制造科技的发展面临新的机遇和挑战

21世纪前20年是我国经济社会发展的重要战略机遇期。在这个新的历史时期,工业文明的基础产业——制造业肩负着重要的责任,并发挥更加重要的作用。我国制造业将作为主导产业以更快的速度发展,并在2020年步入世界制造业强国之列,成为世界制造中心之一。

为了实现这个目标,国家《十一五规划》和《国家中长期科学与技术发展规划(纲要)》针对我国经济发展诸多问题的症结,明确要求制造业从优化产业结构中求发展、从节约资源,环境友好中求发展,从自主创新中求发展,改变目前总体规模不小,但素质不高,竞争力不强的现状。

#### 3.1 两个《规划》为制造科技的发展创造了良好的环境,提出了更高的要求

两个规划将“立足于增强自主创新”提到“国家战略”高度,按照自主创新,重点跨越,支撑发展,引领未来的方针,要求全面提高原始创新能力、集成创新能力和引进消化吸收再创新的能力。两个规划对中国制造业未来的发展具有重要的转折性意义,勾勒出中国制造业今后5—20年新的发展思路和途径,对有关制造业的优先主题、重大专项、前沿技术和基础科学的发展做了全局性的部署,将带动一系列的政策转变。这些政策的新取向将为制造科技的发展创造良好的环境。

##### (1) 重点领域和优先主题

《规划(纲要)》围绕着提高装备、关键材料和零部件的自主设计制造能力,发展高效、节能、环保和可循环的新型制造工艺,用高技术提升制造业、大力推进制造业的信息化等三个重点领域,设立了优先主题。其中包括,研究和开发重大装备所需要关键基础件和通用部件的设计、制造和批量生产的关键技术;大型及特殊零部件成型加工技术;数字化设计制造集成技术;流程工业的绿色化、自动化及装备;基础原材料、新一代信息功能材料及器件、军工配套关键材料及工程化。

##### (2) 重大专项

《国家中长期科技规划(纲要)》针对国家急需的重大紧迫性问题确立了16个重大专项,涉及国家安全、能源、环保、人民健康,其中包括,核心电子器件、高端通用芯片及基础软件、极大规模集成电路制造技术及成套工艺,新一代宽带无线移动通信,高档数控机床与基础制造技术,大型油气田和煤层气开发、大型先进压水堆及高温气冷堆核电站,水体污染控制与处理,转基因生物新品种培育,重大新药创制,

艾滋病和病毒性肝炎等重大传染病防治,大型飞机,高分辨率对地观测系统,载人航天与探月工程等。

##### (3) 前沿技术

为了适应未来制造业信息化、极限化和绿色化的发展方向,为了给制造业未来的发展奠定赖以生存和可持续发展的基础,《规划(纲要)》以高度的前瞻性和战略性,确立了极端制造技术、智能服务机器人、重大产品和重大设施寿命预测技术等一系列的前沿技术专项。其中重点研究微-纳机电系统、微-纳制造、超精密制造、巨系统制造和强场制造相关技术;智能服务机器人的共性基础技术;零部件材料的成分设计及成形加工的预测性控制和优化技术,零部件和重大产品、重大系统的寿命预测技术。

##### (4) 基础研究

当前,综合国力的竞争已经前移到基础研究,而且愈加激烈,我国作为快速发展中的国家,更要强调基础研究服务于国家目标,通过基础研究解决未来发展中的关键和瓶颈问题。根据基础研究厚积薄发、探索性强、进展情况往往难以预测的特点,《规划(纲要)》对基础学科进行战略布局,突出学科交叉、融合与渗透、培育新的学科增长点,通过长期、深厚的学术研究积累,促进原始创新能力的提升,促进多学科协调发展。重点的基础研究专项包括:材料设计与制备的新原理和新方法,极端环境条件下制造的科学基础,航空航天重大力学问题,支撑信息技术发展的科学基础理论,纳米材料的结构、特征及其调控机制,加工和集成原理,概念性、原理性的器件等。

今年是两个规划启动实施之年,一批适应国家战略需求的重大科技专项将正式启动,这将给制造业科技发展带来前所未有的机遇和挑战。实施好这些重大专项,对于整合科技资源,加快攻克事关全局和长远的科技难关,带动相关领域技术水平的整体提升,具有重大的现实意义和深远的战略意义。

#### 3.2 资源和环境的严重制约要求资源节约、绿色制造技术的研究加快步伐

当前,我国制造业的发展面临资源和环境的严重制约。未来20年制造业的增长,如果单纯依靠数量,资源能源和环境是难以承受的。因此,我们必须依靠科技进步,采用绿色制造技术,在提高产品质量和附加值的同时努力降低资源消耗和能耗,这是未来制造业的发展方向。

立足于节约资源、环境友好,促使增长方式由主要依靠增加资源投入带动向主要依靠提高资源利用效率带动转变,是当前形势所迫。《纲要(草案)》把建设资源节约型、环境友好型社会摆在突出位置,提出了明确任务和措施,认真落实这些任务和措施,将

会明显提高资源利用效率,基本遏制生态环境恶化的趋势。

在绿色制造技术方面,将重点研究开发绿色流程制造技术,高效清洁并充分利用资源的工艺、流程和设备,相应的工艺流程放大技术,基于生态工业概念的系统集成和自动化技术,流程工业需要的传感器、智能化检测控制技术、装备和调控系统。此外,还要加紧开发大型裂解炉技术、大型正气裂解乙烯生产成套技术及装备,大型化肥生产节能工艺流程与装备等。

在高耗能和高污染的传统钢铁工业领域,需要加速研究开发可循环钢铁流程工艺与装备,其中将重点研究开发以熔融还原和资源优化利用为基础,集产品制造、能源转换和社会废弃物再资源化三大功能于一体的新一代可循环钢铁流程,作为循环经济的典型示范,同时开发二次资源循环利用技术、冶金过程煤气发电和低热值蒸汽梯级利用技术,高效率、低成本洁净钢生产技术,非粘连煤炼焦技术,大型板材连铸机、连轧机组的集成设计、制造和系统耦合技术等。

此外,国民经济基础产业发展需求的高性能和具有环保和健康功能的绿色材料也将是今后研究开发的重点。

### 3.3 为产业结构优化升级提供新型的技术装备

大力振兴装备制造业,是贯彻落实科学发展观、走新型工业化道路、提高国际竞争力、实现国民经济全面协调可持续发展的战略举措。在两个规划开启之年,国务院正式颁布《振兴装备工业的若干意见》。按照《若干意见》精神,力争到2010年发展一批有较强竞争力的大型技术装备制造企业集团、制造业集中地和工程研发中心,初步建立以企业为主体的技术创新体系,增强具有自主知识产权的重大技术装备制造能力,逐渐形成合理分工、相互促进、协调发展的装备制造业格局。当前,相应的各项政策措施正在抓紧落实,通过完善体制机制,加大政策支持力度,为装备制造业技术的发展创造良好的条件。

(1) 大力发展重大成套装备和基础装备。选择大型高效清洁发电设备、百万吨级大型乙烯设备、大型煤化工设备、大型薄板冷轧成套设备、大型煤炭井下综合采掘提升选洗设备、高速列车和新型地铁车辆、大型施工机械、新型纺织机械等一批对国家经济安全和国防建设有重要影响,对产业升级有积极带动作用,能够尽快扩大自主装备国内市场占有率的重大装备,加大政策支持和引导力度,以求实现重大突破。

(2) 为新兴产业提供装备。制造业必须根据市

场的需求变化,不断拓展服务领域,由传统的钢、电、煤、化、油等产业部门扩展到信息、电子、通信等领域及新兴产业。高新技术及其产业的发展,特别是信息技术及其产业、生物技术及生物制品产业、新能源技术及其产业、新材料技术及其产业、海洋技术及其产业等高技术产业的发展,对以极大规模集成电路专用制造设备为代表的电子工业专用设备、生物制药和中药现代化设备、风能等可再生能源发电设备、煤液化设备、海水淡化和资源综合利用设备、深海资源开采设备等提出了技术越来越高、市场越来越大的新需求,制造业必须高度关注、及早介入。

(3) 加快发展现代制造服务业,由制造向服务延伸。制造业不但要关注有形产品的生产,还要顺应制造业的发展趋势,借鉴工业发达国家的做法和经验,重视发展现代制造服务业。现代制造服务业属于生产性服务业,主要是围绕有形产品的产前、产后发展起来的,是市场经济环境下用户需求的产物。现代制造服务业所创造的利润,在制造业的整个价值链中所占的比重越来越大,具有广阔的发展前途。这是制造业实现产业升级的重要方向之一。

## 4 增强我国自主创新能力,切实促进制造科技整体水平的提高

### 4.1 自主创新需要着力加强基础研究和战略高技术研究

基础研究是新技术、新发明的先导,基础研究的重大进展往往可以推动高技术的重大突破,带动新兴产业群的崛起。同时基础研究注重严谨性和原创性,强调理论思维与实证研究相结合,是造就高素质人才的重要途径。如果在这方面没有坚实基础和重大建树,没有原始创新能力,将很难在全球经济分工中取得优势和主动地位。

战略技术研究建立在综合性科学研究的基础上,是技术领域的前沿和关键。目前,信息技术、生物技术、新材料技术、先进制造技术等已成为对增强综合国力最具战略影响的高技术。战略高技术的突破,能够引领产业与技术发生跨越式发展和重大变革。战略高技术依赖于自主创新,反映了一个国家自主创新的能力和水平。

### 4.2 发挥市场拉动和技术推动双重驱动力的作用

自主创新能力的提高应以市场需求为导向,在市场拉动作用和科技推动作用双重驱动力作用下,迅速提高制造技术的整体实力。

自主创新包括原始创新、集成创新、消化吸收再创新三种途径。原始创新孕育着科学技术的重大发展和飞跃,是自主创新能力的坚实基础和科技竞争

力的源泉。因此,对制造业中的科学问题、交叉学科及前沿技术应给予足够的重视。我国制造科技工作者,应努力关注和把握世界科技新发现和新进展,重点聚焦于涉及国家经济发展和国家安全的重要装备的基础问题和前沿领域,开展有关科学和技术方面的原始创新性研究。

#### 4.3 着力解决好影响创新能力的根本问题

第一,解决引进技术消化吸收不良的顽症。国家应加大对重大技术和重大装备引进、消化吸收和再创新工作的宏观管理;通过国家的资金投入引导企业和全社会用于消化吸收的资金投入,改变引进技术有钱、消化吸收没钱的局面;对重大装备的引进,用户单位应吸收制造企业参与,并在消化吸收和国产化的基础上,共同开展创新活动,形成自主知识产权。

第二,解决系统设计、系统集成技术薄弱的问题。我国制造业特别是重大技术装备制造业,系统设计、系统集成技术薄弱,难以为用户提供全面解决方案和“交钥匙工程”。因此,必须积极发展系统设计和系统集成技术,形成重大装备成套和工程承包能力。

第三,尽快改变产业共性技术研究开发缺位的状况。在市场经济体制尚未完善,企业技术创新机制还无根本转变,广大中小型企业又无力进行自主开发,由政府推动产业共性技术研究设施的建设,支持并形成一支高水平、精干的研究队伍,是强化国家技术创新体系、弥补目前企业创新能力不足的迫切需要。

第四,解决学科发展和技术发展结合、交叉不够的问题。制造科技发展的总趋势是多学科交叉和综合。而当前学科发展和技术发展中,相互之间的关联和结合度较弱,影响了集成创新的进行和成功。因此,制造科技工作者,应努力关注相关交叉科学和技术的发展态势,利用交叉科学的新技术、新创造,引入新装备、新系统,形成集成创新。

#### 4.4 加速建设以企业为主体的技术创新体系

科学的发现、技术的原始创新、产业和工艺方面的应用开发,只有经过企业的运作,转变为物质财富,进而转化为国家的经济实力和竞争力。所以,企业是否自觉成为创新的主体是建设创新型国家的根本所在和关键之一。

建设以企业为主体的技术创新体系,最根本的是要通过多种方式,把企业的创新潜能激发出来。政府要从法律法规、金融税收、政府采购等方面健全公平竞争的市场机制和鼓励自主创新的政策引导,特别要加强对知识产权全面提高的执法力度;要从对创新技术的投入、开发、应用、转化各个环节,强化企业的主体地位,形成以市场为导向、产学研紧密结合的技术创新体系;要通过企业的努力、政府的支持,在大企业建成一批可以与国外大公司研发中心相抗衡的企业技术中心,并以此带领广大中小企业成为制造业技术创新的主体;在此基础上,要培育和造就一批具有强大自主创新能力、拥有重要核心技术知识产权和著名品牌的跨国企业,以及一大批拥有创新活力的中小企业集群。

#### 4.5 培育良好的创新环境

要提高自主创新能力,必须着力培育良好的创新大环境。为此,我们要做到:

(1) 加速建设技术创新体系时,还要注意创新人才培养,对新一代科技人员进行创新教育。要革除应试教育、注入式教学方法的弊端;倡导理论与实践相结合,教育与研究相结合;着力培养自主创新的自信心、勇于创新的精神和自主创新的能力。

(2) 创新文化环境建设也是必须予以重视的。要完善法制化的公平竞争市场环境;要树立科教兴国,创新为民的创新价值观;克服学术界浮躁之风,构建求真务实,宽容失败,注重效率,协力创新的良好科学道德、学术风气与创新环境。

(3) 转变并理清政府职能,发挥政府在科技创新上的基础性作用,加大对基础研究、公益研究、产业共性技术与高技术前沿探索研究的投入;加强法律、规划和政策引导,加强知识产权保护;加强政府的服务职能,完善科学评价和激励体系,着力构建鼓励自主创新的法制环境、市场环境和文化环境。

(4) 在构建技术创新体系中企业主体地位的同时,要加强产学研结合。在研究机构和大学加强和新建一批制造科技相关重点实验室;积极发展设计咨询中心,共性技术、技术标准、技术监测与认证、中试孵化等技术中介和服务中心;扶持企业建立制造技术研发中心、工程中心,提升自主创新能力;建设共享、互联的先进制造技术信息网络及数据库;注重全球化、网络化、知识化、绿色化先进制造经营管理创新研究。