

# 迎接制造工程的新纪元

## To Meet the New Era of Manufacturing Engineering

陈玉宝

(美国密西根大学,教授)

在国际间经济竞争日益激烈的大环境下,高新技术的发展和运用对一个国家的经济发展起着关键作用已成为不争的事实。然而,摆在各国面前一个严峻而又迫切的问题是:在有限财力和诸多高新技术领域选择的困境中,究竟那一项工程技术领域的发展和研究最值得重视和扶持?纵观各发达国家,经过一番反省、思索和研究,几乎不约而同地将高科技研究发展重心移到了制造工程领域。

### 一、制造工程发展的历史与现状

制造工程是研究从产品设计、生产,到使用、维护整个过程的工程科学,制造技术传统上亦称为生产技术;而制造生产业是将人类科技成果转化为财富的最后环节,在一个国家国民经济中,制造业的发展起着举足轻重的作用。尽管制造生产贯穿整个人类发展阶段,有悠久的历史,但对制造工程作为一门学科来进行系统研究却是近代的事。直到100多年前,制造生产过程基本上是简单、重复的手工或机械操作,因而形成了人们“制造生产技艺性强,对高等科学知识依赖性弱”的错觉。人们对制造技术的认识还停留在初始阶段,比如在工程学科的划分上,制造工程未被广泛接受为一个专门学科,充其量它只能寄生于机械工程之中,成为躲在机械工程身后的一只丑小鸭。

在50年代以前,人们对制造工程的研究集中于单一独立的技术,诸如各种切削过程、夹具设计、热处理等等,形成了传统的机械工程学科。50年代末60年代初,经过几代杰出大师的默默耕耘,人们逐渐开始对制造过程从系统上进行描述和研究,从而开创了制造系统工程的概念。之后,随着计算机的出现和发展,对制造技术的研究更进一步从单一、独立走向系统和相关,并进一步拓宽推广到生产规划、产品设计、售后维修以及市场反馈等方面。尤其是近十年来,计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统

(CIMS)技术的日趋成熟,使许多高新技术诸如信息技术、自动化技术、计算机技术,均在制造工程领域找到了广阔的用武之地,大放其彩。

但是,与之极不相称的是:制造工程本身仍未被当成一门学科,其研究被支离于机械工程、工业工程、电机工程及计算机工程等学科之中。在这种情况下,各学科往往偏重于本学科特点,而忽略了制造工程本身的特性。以美国为例,在第二次世界大战后的一段时期,其制造工业曾经执世界之牛耳,而正是从这时开始,美国高等院校开始放弃制造工程专业,少有的几个制造工程系或被兼并,或被取消。当进入80年代,面对新兴制造技术的挑战,美国各大公司转向教育界要人时,几乎目瞪口呆,原来高等院校没有制造专业!结果是美国制造工业在欧、日制造业逼人的攻势下节节败退,吃足苦头。

痛定思过,从80年代起,美国上下开始组织起各种专门委员会、专家小组,对其制造工程现状从科学、教育、工业等各个方面进行了反复详尽的研究,尽管这些研究的角度、对象有所不同,但结论却颇为一致。其中,以美国科学研究理事会题为《走向美国制造工程的新纪元》的报告的结论最具代表性:①美国主导世界制造业的时代已经结束;②一个新的制造业革命时代已经到来。与此同时,其他发达国家也作出了类似的结论。一个以制造技术为中心的科技竞争在发达国家之间悄悄展开,方兴未艾。

对制造工程的重新认识,可以综合归纳为以下几点:

**1. 制造业是一个国家经济发展的支柱** 这主要表现在,当前衡量一个国家科技发达和经济发展的程度,已不再以它拥有多少项发明、发现为主要标准,而是以它能为世界提供多少可造福人类的产品为主要依据。没有制造业的发达和支持,科学技术上的发明和发现只能停留在纸上。以美国、日本为例,正当美国自满于有多少项发明、发现时,日本

却已悄悄地把主要精力投入到制造技术上,以致于出现了这种情况:在美国最早发明的东西,却由日本最先做成产品投入市场,取得巨大经济效益。可以说,在未来竞争中,谁掌握了先进的制造技术,谁就掌握了经济市场。

**2. 现代制造工程是一门新兴的交叉学科** 制造工程不再被认为是支离破碎的、可有可无的,而是一个集机械、电子和材料为一体的新型交叉学科,这个系统亦不再是单一、独立的过程,而是一个“闭环”的系统。在大力提倡学科交叉的今天,制造工程的重新界定为实现真正的学科交叉和渗透提供了实施领域。

**3. 当前科技发展的趋势要求将高科技实施的重点放在制造工程领域** 这种趋势表现为科学成果的积累远远多于技术成果的积累;科学成果转化为制造技术的周期越来越短;军事科技的投资比重越来越小;世界经济的竞争主要是制造业的竞争。

基于这种认识,各发达国家开始重新审视其产业政策和科技政策,以适应加速本国制造工程研究和制造业发展的迫切要求。同时近几年来,各发达国家与制造工程有关的研究计划、中心纷纷出现,这些中心、计划,或由政府扶持,或由公司资助,或二者结合。以制造技术为主的国际会议及刊物也逐渐增多。一个跨工业、学术两界的,以制造工程为中心的研究、开发和人才培养体系正在形成。从世界范围来看,目前最大的跨国、跨地域工程研究计划即是由日本发起,并得到了美国、欧洲、加拿大,以及澳洲等发达国家积极响应。

总之,制造工程正从传统的机械工程脱胎而出,成为各发达国家高技术发展、应用领域中的宠儿,“制造技术”一词已从以前被冷落成为一个时髦的名词,制造工程作为一门新兴的交叉学科越来越受到各国在制定产业、科技和教育政策时的重视。制造业的革新为当前高技术革命提供了最直接、最广阔,并具有最高经济效益的用武之地。

## 二、制造工程的主要高技术研究领域

如前所述,现代制造工程是一门集机械、电子、材料等学科为一体的新兴交叉学科。横观其主要研究发展领域,可以归纳为以下四个方面:同步工程技术;智能制造技术;信息与系统技术;材料技术。

### 1. 同步工程技术

同步工程技术旨在将产品设计与制造以及相关过程进行系统的综合,以期在产品设计的同时将生产、维修的各个环节考虑进去,大大缩短产品生产周期。这项技术的关键在于,打破以往设计、试验、生产的串型环节,引进动态并型机制,即将产品生产周期中的各种因素进行有机综合、并型处理,

将产品的生产计划、生产加工、质量检验、市场分析等进行同步规划。之所以这项技术被认为是最有潜力的,乃是因为今后制造业的竞争主要看谁最先投放市场,例如目前美国新车型的平均设计开发周期为5年,而日本则少于4年,美国制造业把缩短这个周期当成一项战略举措。同步工程的研究与开发主要集中于计算机辅助设计(CAD)、制造(CAM)、及检测(CAI)的有机集成。例如,美国福特汽车公司联合相关企业正在开发一种被称为“直接工程”(Direct Engineering)的技术,旨在建立一种大数据信息库,方便设计者在一开始便能获得以后各个生产环节的参数。任何一个设计参数经修正输入系统,便可预知它对以后各个环节的影响,诸如配料、夹具、过程规划的相应变化,乃至生产成本均可估出,大大方便了设计,减少了很多试验、修改的环节。另一个值得注意的趋势是:美国麻省理工学院学者在仔细比较了日本汽车生产和其他国家的生产过程之后,归纳出一种新的生产制造型态——瘦型加工(Lean Manufacturing),并指出,与之相对应的大批量生产(Mass Production)在未来将会逐渐向瘦型加工过渡,因为后者更具有灵活、多变、柔性的优点。

### 2. 智能制造技术

智能制造技术(IMS)是指在制造过程中,系统能够自动监测其运行状态,在受到外界或内部激励时能够自动调整其参数,以期达到最优状态。这与传统的自动控制技术有所不同,自动控制技术要求对所控制的系统有详尽的了解,建立数学模型。而对于一个制造系统来说,由于其本身的复杂性和随机性,建立一个或数个准确的数学模型是不现实的。以往制造过程中,总少不了有经验丰富的工人或操作员进行监控,智能制造技术旨在将人工智能溶进制造过程的各个环节,同时又不受传统控制技术的限制。在这一方面,各种人工智能研究成果被广泛应用于制造过程,由日本发起的国际间最大的制造工程研究计划即是以智能制造技术为主要目标的。在智能制造系统中,知识的采集与传递将更为迅速、有效;并且智能系统能自动更新其知识库,从而控制功能及效果将会大大增强;人工智能的各种技术,如专家系统、神经网络技术、模糊逻辑以及信息采集和最优编码等将会找到广泛的用武之地。

### 3. 信息技术

信息技术是涉及信息的采集、归纳、传递和更新的一个高科技领域,在当今信息社会的形态下,产业更是从以往的劳动密集、资本密集逐步转化为知识密集、信息密集的形式,信息技术在制造工程方面的应用前景非常广阔。事实上,自从60年代国际商用机器公司(IBM)提出生产信息控制系统(COPICS)的概念以来,人们一直在设法将信息技

术引入制造系统,今天的计算机辅助生产规划(CAPP)、及时供料(JIT),乃至计算机集成制造系统(CIMS),都采用了大量的信息技术。将信息技术与生产制造过程进一步结合,已成为目前制造工程技术研究与开发的一个重要内容。

信息技术用于制造工程的第一个环节是制造信息的采集与归纳,如何将这些制造数据用信息技术进行合理分类、表达和优化,已引起了许多业者的高度重视。信息技术与成组技术的结合、材料与加工条件数据库的结合,等等,均具有非常现实的经济效益。制造知识和信息的传递也是 CIMS 中的一项关键,通讯技术中的编码及降噪均为 CIMS 中的数据传递提供了有效的方法。网络技术、多媒体技术、自动化生产规约(MAP)在制造系统中的应用均会进一步加深。

#### 4. 新材料开发及其加工技术

新材料、新成果的不断问世,极大地推动了制造加工技术的发展,例如超导材料、光电子材料、精细陶瓷、新型玻璃以及各种高性能复合材料。同时,光加工、高速加工和精加工等技术也得到了进一步的发展,金属材料及复合材料的应用范围也在不断地拓宽,人工材料及复合材料将会进一步取代碳钢和铝合金,生产全塑汽车已成为汽车制造商竞争的目标之一,非金属材料(如高技术陶瓷材料)的开发利用进一步加强。同时,新材料的应用对加工工艺提出了新的要求,除了对传统加工方法(如切削、模压、焊接等)的进一步研究以外,更集中于研究复合材料的模压成形技术、网状晶体粉末冶金、精密锻造、注塑、等温加工及激光切削等等。

### 三、发达国家主要的制造工程研究发展计划

#### 1. 智能制造系统计划(IMS)

1989年初,日本首先提出建立一个国际性的研究智能制造系统的计划,设想在未来十年内将投入10亿美元,用以将各发达国家最先进的制造技术加以集成、推广;确立国际制造技术今后的发展方向;建立国际智能制造标准。之后,陆续得到了美国、加拿大、西欧以及澳大利亚等国的响应。经过历时三年的讨价还价,反复磋商,终于于1993年2月开始正式实施,最先实施的六个项目分别为:加工工业中的纯净制造技术、全面同步工程技术、世界制造业集成技术、全息控制系统技术、产品快速成形技术、知识系统化技术。这些项目不是由一个地区、一个部门来完成,而是由多个地区、多个部门、企业中心合作完成。此项计划的成功,将会大大推动世界制造技术的发展,也可能进一步拉大各参与的发达国家与其他国家之间在制造业水平上的差距。

#### 2. 美国与制造工程相关的主要计划

如前所述,美国上下经过近十年的失败、困惑和痛苦反省,终于认识到制造工程在整个国民经济中的重要性,认识到进一步提高其制造技术水平的迫切性。最近,各机构和部门纷纷建立与制造工程发展相关的计划、中心和机构,其中全国性的主要计划包括:

##### (1) 高等制造技术首创计划(AMT)

1993年,美国国家最高科技政策办公室接受国家科学、工程与技术协会的建议,并经总统批准,将“高等制造技术首创计划(AMT)”做为94年度预算重点扶持的唯一科技领域(1993年为生物工程技术,1992年为高等计算机技术)。在此计划下,政府将投入14亿美元资金,直接用于与制造技术有关的研究和发展项目。

##### (2) 制造科学与技术计划(MS&T)

此项计划是从原制造技术计划(ManTech)发展而来,由美国国防部主持。其主旨为集中国防部所属各兵种的财力,致力于军转民和军民两用制造技术的开发研究。其主要研究方向为高等电子制造技术、可行性验证技术、制造科学与技术发展。此计划1994年预算逾5000万美元。

##### (3) 高技术计划(ATP)

此计划由商务部主持,国家标准与技术院具体管理,于1990年开始实施,计划资助以工业界为主导的研究开发项目200万美元左右。其主旨为扶持与工业生产直接有关的,可大大提高美国经济竞争力的通用技术。这项计划是美国近年来最为成功的国家计划之一,也是克林顿政府目前大力推行的科技战略的重要组成部分;其总额从开始的1000万美元增至1993年的6800万美元。1994年预算为19000万美元,到1997年将达75000万美元。此计划直接调动了公司企业投资搞科研的主动性和积极性,大大缩短了科研成果产品化周期。

##### (4) 小企业开发研究计划(SBIR)

这是一项由国防部(DoD)、能源部(DoE)、航空航天部(NASA)、国家科学基金会(NSF)等11个部门共同资助的计划,旨在扶持小型企业(500人以下)在技术研究开发方面的能力。这项计划大大调动了小型企业搞科学研究的积极性,并由此扶持了一大批小型高科技公司。为了进一步增进小企业和高等院校之间的联系,在SBIR计划基础上,美国从今年开始实施一项新的计划——小型企业技术转移计划(STTR),鼓励高等院校和小型企业共同申请研究开发项目。

##### (5) 工程研究中心计划(ERC)

从1986年由美国国家科学基金会(NSF)开始实施,旨在建立以高等院校为主体,有工业界参与的工程研究中心。这些中心以某一专门技术为主。

其中以制造技术为主的有七个,例如普渡大学的智能制造工程研究中心;俄亥俄大学的近网状体制造工程研究中心,等等。这些中心每年可从国家科学基金会得到逾百万美元的资助。ERC的另一层意义在于促进对工业界所需高级制造人才的培养。

美国国家科学基金会最近还建立了两个与制造工程直接有关的机构:捷迅制造技术工业研讨会(IFAM)和捷迅制造技术研究所(AMRI)。这两个机构旨在从工业应用角度对各种新兴捷迅制造技术进行可行性评估,以加速其从实验室成果向工业应用的转化。

#### 四、对我国制造工程发展的一些思考

当前世界制造工程的发展正处于一个新的起点。中国应抓紧时机,尽快起步,把制造技术领域作为高科技发展的一个主战场。

##### 1. 制定相应的科技和产业政策

首先,应对我国制造工程技术现状进行全面的、详尽的、客观的评估。应在不同的层次上建立专家委员会,从工业生产、科学研究和教育培训各个方面对中国制造工程的现状作一调查和研究。

·第二,进一步建立健全产业立法,尤其是和商品直接有关的制造技术应在投入的初期,就将产权规范化和契约化,这不仅为了避免以后的矛盾纠纷,更能通过明确维护各方面利益,调动其积极性、主动性。在这基础上,进一步明确我国产业政策,确认哪些产业应当保护,哪些应当重点扶持,以及如何由国家投入、地方投入、企业投入或科技贷款等办法来保证实施。

第三,应注意已成熟的制造技术的推广应用。在大力发展高新技术的同时,不应只追求字面上的“高新”;而应从实际出发,将那些已成熟而尚未推广应用的制造技术划为高新之列,将实验室成果转化为企业能够应用的制造技术。比如,我国激光技术的开发研制已达到世界先进水平,却至今尚未形成自己的激光产业,应将着眼点放在实际生产的应用技术上。在某种意义上来说,技术扩散比技术创新更为重要。

第四,国家的主导和扶持对科技发展至关重要。科技的发展不同于经济的发展,有其特殊性,在大力推行市场经济的今天,应充分认识到国家计划对扶持科技发展的重要作用。近年来,美国制造工业的一个重要经验教训就是:政府在制造技术发展上过分依赖市场机制,造成本国工业之间的恶性技术竞争,而在国际竞争中失利。因而国家应担负起制定发展战略、协调科研力量和资金的责任。比如国家应经常组织各种专家小组制定和调整技术发展方向,为科技资金分配提供依据。一旦方向确定,

在项目实施时则应采用市场机制,即各研究机构及企业可自由选题、自由结合、自由竞争,各研究机构及企业也可通过自筹资金自行立项。

##### 2. 重视高级制造工程技术人才的培养

国际制造工程师协会(SME)在《迈向二十一世纪》的调查报告中指出:21世纪世界制造工程发展的严峻问题是合格人才的严重缺乏。80年代初,美国已经吃了人才缺乏的苦头,痛定思过,近年来美国加强制造工程技术人才培养的呼声日高,成为其重振制造业的一项重要战略举措。在政府和企业的大力扶持下,一些以制造工程为中心的大学本科和研究生培养计划在美国大学纷纷出现。可以说,技术的竞争实际上是人才的竞争,尽快建立我国相应的高级制造人才培养体系对加强中国制造业今后在国际市场上的竞争力至关重要。

第一,尽快在高等院校建立制造工程人才培养计划或专业。目前我国制造人才主要由高校的机械系培养,硕士以上的人才绝大多数面向学术研究,真正走向企业从事制造技术开发的为数极少,这对我国制造工程发展极为不利。因此,在高等院校建立跨系的制造工程专业,真正做到学科交叉、渗透,面向企业培养输送高级制造技术人才,既必要又迫切。

第二,提高社会对制造技术研究和发展的重视。由于种种历史原因,社会上对制造工程仍有很大的偏见。比如一流学生不大情愿报考机械类专业,国家对制造工程的重视程度与其在国民经济中所占比重也不相称。必须采用适当措施加以改进,例如建立职业制造工程师制度,对经过考核合格者发给证书,并与其经济利益挂钩。同时,应当增加从事制造工程研究的专家任中国科学院院士的比例,以体现机械、制造工程学科不受轻视。

第三,加强在职工程师的培训。将在职工程师定期送回学校进修培训,同时也可增进在校学生对工厂实际的了解。在向国外派遣进修人员时,应注意增加面向公司企业的比例,因为发达国家的先进制造技术主要集中在公司企业。

##### 3. 集中力量,加强制造工程技术的研究开发与推广应用

我国制造工业的一个致命弱点,在于大多数工厂不具备科研能力,工厂的技术更新基本上依赖于花大量资金引进,而对引进技术的消化、吸收、改进、提高也困难重重,这种状况急需改善。首先,应采取具体的减免税、贷款等优惠措施,调动公司企业投资搞科研的积极性、主动性。第二,建立跨地区联合的制造技术研究中心,充分发挥大陆,台湾,香港,及其他地区华人的优势。第三,在制定制造技术研究方向时,既应取别人之长补自己之短,亦应知

(下转第34页)

识产权协议,将进一步强化这种垄断地位(见朱雪忠:《论关贸总协定“知识产权协议”的特点与我国的对策》,《科技导报》1994年第1期)。这一情况对早已存在的“南北关系”问题的解决将带来更大的难度。总之,高技术领域的国际合作趋向必将对未来国际政治、经济、科技与社会产生不容忽视的影响,值得人们密切关注。

### 三

面对高技术领域的国际合作趋向,我国应采取相应的对策,以便抓住机遇,尽快提高我国的科技水平,增强我国的经济实力。当然,发展我国的高技术应以自力更生为主,但这并不意味着可以忽视国际合作。事实上,自力更生能使我们具备参与国际合作与竞争的条件,反过来,国际合作又会增强我们自力更生的能力,两者是互相促进的。理论和实践表明,一个国家只有全方位参与国际科技与经济合作,才能实现技术要素、生产要素的大尺度、大范围优化配置和合理流动,并获得最佳经济效益,最终增强在国际市场的竞争能力。改革开放以来,我国科技、经济获得长足进展,综合国力有了较大提高,这为我国参加高技术领域的国际合作提供了有利条件。为此,特提如下建议:

首先,我国有关部门应制定措施并提供条件,鼓励企业界及科技界积极介入发达国家在高技术领域的合作研究与开发。成果的商品化过程力争在我国进行,可由外方及我方共同投资或由国家控股。这种合作一方面可加速我国高技术的研究与开发,另一方面也能尽快获得经济效益。

其次,国内有实力的企业可仿效台湾公司的做法,兼并国外的高技术公司或购买其部分股份或控股,以利用发达国家在科技、人才、市场的优势并获取我国需要的高技术。这种办法见效快,对在短期内提高我国某些高技术领域的水平会有较大帮助。事实上,台湾一些企业通过这种兼并方式,已大大提高了其整体技术实力,受到台湾企业界及管理当局的重视。这种做法的意义,正如美国旧金山罗伯森·斯蒂芬投资银行负责人本·毕恩所评论的:

“(台湾人在这里进行的)许多笔兼并企业的交易都是战略性的。”通过兼并,不仅可以直接获得有关的高技术成果或专利并利用相关的科技力量,而且还能利用被兼并企业已开拓的市场。这一点亦十分重要。比如,台湾阿瑟公司兼并阿尔托斯公司后,利用后者的原有市场(1 500 个经销商)使自己的产品在美国市场的年销售额翻了一番,超过 2.5 亿美元,而其全球销售额更增到 10 亿美元之巨。同时,阿瑟公司推出的新型计算机还利用阿尔托斯的原有商标出售。我国企业在实施兼并战略时,一般可由一家较有实力的技术公司牵头,其他公司或研究机构入股的方式联合行动。我国中西部省份一些国有大中型企业技术力量相当雄厚,而沿海地区(特别是经济特区)对外开放较早,企业资金充裕,故两者可充分发挥各自的优势,合作实施兼并战略。在资金,特别是外汇方面,有关部门也应给予优惠,以支持这种兼并。另外,有实力的企业也可考虑在国际金融市场筹措资金。台湾阿瑟公司在收购阿尔托斯公司时,就申请了美国美洲银行和巴克莱银行的 8 000 万美元临时贷款。这对我们似应有一定的启示和借鉴作用。

再次,我国应有针对性地培养一批既懂科学技术,又熟悉经营管理和国际惯例的高级人才,以满足高技术领域国际合作的需要。国际高技术合作,一方面需要专门的高技术研究人员,另一方面也需要相应的高级管理人才。因为高技术的国际合作,不仅涉及技术问题,还与诸如科技管理、技术贸易(许可证贸易)、知识产权、法律、金融、人才管理、国际惯例等多方面问题有关。因此,高级管理人才是不可或缺的。这类人才可由国内高校与企业界合作培养,必要时也可与国外有关的专门培训公司或学校联合培养。

最后,我国政府有关部门、企业界、科研机构及高等院校,应充分利用现有海外企业或办事机构在信息、人才及国际经验等方面的优势,加强同他们的联系,有针对性地注意跟踪发达国家高技术企业界及高技术研究领域的动向,以便把握良机,及早打入国际高技术合作领域。

(责任编辑 蔡德诚)

(上接第 38 页)

自己之长和他人之短。

#### 4. 加强信息交流

信息流通的不畅,使我国许多大学的制造技术研究在低层次上的重复相当严重,造成了极大的浪费。首先,是否可以成立以制造工程为中心的实体,由中国机械工程学会牵头,联合其他学会组成,并吸引广大企业技术人员和管理人员参加;其次,建立国

家级制造技术信息库,广泛收集和传递制造技术研究、开发的动态和成果,经常性地定期地举办不同层次的制造技术会议和展览等;再次,应广开言路,鼓励各学会、机构、企业主办各种与制造技术有关的刊物,尤其应增加面向广大企业工程技术人员

(责任编辑 王宏章)