

# 对我国航天制造技术发展的探讨

赵 航

( 哈尔滨工业大学科技部 哈尔滨 150001 )

张铁军

( 中国航天科工集团公司科技质量部 北京 100083 )

**文 摘** 在分析航天制造技术的重要作用及特征的基础上,总结了我国航天制造技术发展取得的成绩,剖析了现存的主要问题,结合我国航天事业发展的需要,提出了发展航天制造技术需要重点采取的对策。

**关键词** 航天制造技术,敏捷制造,并行工程

## A Discussion of the Development of Aerospace Manufacturing Technologies in Our Country

Zhao Hang

( Harbin Institute of Technology Harbin 150001 )

Zhang Tiejun

( China Aerospace Science and Industry Cooperation Beijing 100083 )

**Abstract** On the basis of discussing the importance and the characteristic of aerospace manufacturing technologies, achievements and problems are analysed in this field. Some countermeasures are prented to meet the requirement of our areospace industry.

**Key words** Aerospace manufacturing technologies, Agile manufacturing, Concurrent engineering

### 1 航天制造技术及特点

航天技术作为武器装备技术的一个重要组成部分支撑着卫星及导弹的研制生产任务,在国防建设和国民经济发展中具有影响全局的重要作用。在航天技术体系中,制造技术又占有极大比重,几乎涉及整个技术体系,具有无所不在的独特性质。

在信息经济时代,以航天技术为代表的先进制造技术以及武器装备先进制造技术,又成为经济建设和国防建设中获得产品价值和武器性能主要来源的关键措施<sup>[1]</sup>。不仅能为社会创造物质财富和开拓新的领域,而且能为国民经济各部门和国防部门提供先进的手段和装备,从而成为市场竞争或在战场

对抗中获胜的支柱,成为提高国防威慑力和促进国家繁荣昌盛的基础,成为衡量国家综合实力的标志。

航天技术具有四大特征。

(1)系统性。从航天技术的构成来看,具有跨学科、跨专业高度综合的特征,各类技术有机结合,构成了航天技术体系。

(2)尖端性。空间探索的延伸,导弹武器打击能力的提高,需要用新的高精尖技术支撑。

(3)研制的高投入和高风险性。由于航天技术体系庞大,系统性强,因此在开发研制中需要投入大量的人力、物力和资金;同时由于航天技术具有开拓性,未知领域多,探索性强,参与单位多,研制周期

收稿日期:2002-03-28

赵航,1970年出生,硕士,主要从事航天制造技术政策法规及发展战略研究工作

长,因此具有较高的风险性。

(4)军民两用性。航天产品包括了军品和民品两部分,与此项对应,大多数航天技术既可以用于军事,进行武器装备的开发制造,又可以用于生产民用产品或和平开发利用外层空间。

## 2 我国航天制造技术的发展现状及存在的问题

从我国航天制造技术的发展水平来看,经过 40 余年的不懈努力,已经由最初的单纯仿制逐步发展到目前自行研制为主,而且正向低成本、快速反应制造的方向发展。目前已经形成了包括制造过程自动化技术、超精密加工技术、特种加工技术、成型技术、连接技术、表面改性技术、无损检测、表面安装技术、推进剂设计及工艺、复合材料构件制造在内的较为全面的专业技术体系,由此支撑航天型号的研制和生产并取得了显著的成绩。在一些领域实现了相当数量关键工艺技术的突破,有些已达到国内领先水平,并接近国际先进水平。

尤其是“九五”期间,航天制造技术取得了重大的进展。依据“需求牵引,技术推动”的指导思想,以航天特种新工艺为核心,原航天总公司于 1995 年底作出了“关于振兴航天工艺”的决定与实施计划,并且在“九五”期间,航天系统安排了 100 余项预研项目,目前部分项目已经完成,在先进制造技术的研究和应用方面取得了较大的进步,突破了相当数量的工艺关键技术。

虽然我国航天制造技术在近年来获得了长足的发展,但与世界武器装备制造技术水平相比差距很大,“九五”期间曾有人作过认真评估,认为先进制造技术领域中的各项技术基本落后 10~20 年,只有少数技术接近或达到世界先进水平。尤其是在关键产品配套技术研究、快速研制、常规制造技术现代化、批生产快速转换及前沿基础技术研究等方面问题更为突出。就航天制造技术的发展来看,存在 5 个方面的具体问题。

### 2.1 关键产品制造技术配套性差

近年来,国防科工委、总装备部和国家科技部为促进国民经济的发展和提高尖端武器装备的研制能力,分别制定了国家“863”、国防预先研究、国防基础科研等数个五年计划,突破了一批关键技术,但与之相关的配套技术并未列入计划加以研究,制约了产品整体制造水平的提高,阻碍了产品生产能力的

提高。在航天制造技术领域,以制造惯性器件的精密加工为例,动压马达的亚微米级零件经过预研和攻关已生产出来,但由于缺少清洗、装调、检测等配套技术,致使合格的零件难以装配成性能合格的马达。各种精确制导武器是局部战争中不可缺少的装备,制导系统和驾驶仪的制造也是尚未解决的关键技术,其中除超精加工技术外,电子微组装和光电子微组装及头罩制造也处于“卡脖子”状态,因而必须开展对产品性能和生产有重大影响的关键配套技术的研究,力争对“卡脖子”项目的制造基础从总体上予以突破,促进产品整体制造能力的提高和产业化发展。

### 2.2 制造技术和设备落后且更新缓慢

先进制造技术和加工设备是武器装备研制、生产的重要基本保证。长期以来制造技术和加工设备更新速度十分缓慢,导致加工精度与自动化程度较低,从而对武器装备的可靠性、寿命和研制周期造成影响。据 1994 年 8 月对所有企业设备统计,具有国际先进水平的仅占 0.7%,国内先进水平占 9.2%,其中超过折旧年限的占 42%。多数设备的状况精度低,手工操作为主,人为因素影响大,难以保证稳定的产品质量。生产效率低,生产周期长,成本高,适应批量生产的生产线和设备不多。仅以航天关键零件加工所必需的数控设备为例,在先进的工业国家,数控设备占设备总数的 15%~30%,而我们只占 0.5%~1%,同时由于工艺、工装和工具的不配套,开机率一般只在 20%~40%。设备陈旧已是我国航天科技工业基础差的一个明显标志,严重影响了火箭、卫星和导弹等产品的研制和生产,因而常规通用生产技术的现代化改造已成为航天先进制造技术发展亟待解决的一个问题。

### 2.3 快速研制能力低,产品研制周期长

目前,我国航天工业尚未具备实现快速制造所需条件。大多数企业还没有建立企业内部信息网,即使有 MIS 系统也未能实现 CAD/CAE/CAM/PDM 的综合集成,未能形成敏捷制造所需的内部条件,同时企业外部信息集成系统尚未建立起来。由于长期以来实行的是传统的顺序工程,即一种科研与生产相脱节,设计与生产分家的生产模式,导致了研制周期过长,无形中增加了研制成本。与国外相比,我国的武器装备的快速研制能力十分薄弱,研制

周期一般长三分之一至两倍以上。一些单位虽然已在并行工程、柔性加工、虚拟制造等领域开展了一些研究,但多为探索性工作,距离实用还存在相当长的距离,需要尽早开展实质性的研究。同时要对快速整体成形技术进行进一步的研究和完善,使之实用化,形成生产力,通过简化生产工序,缩短制造周期,提高效率、降低成本,实现先进武器系统的快速研制,以促进武器装备研制和国防综合能力的提高。此外,现有的体制致使企业条块分割,不利于动态联盟的形成,也阻碍了航天企业向快速制造方向的发展。

#### 2.4 批生产和产品生产转换能力薄弱

包括航天在内的我国国防工业长期以来执行的是以解决有无为主的方针,多研制、少生产的指导思想占主导地位,大部分的尖端武器装备为试验、试制或实验室产品,没有批量生产的手段和能力,产品的生产仅处于小批量甚至是无批量状态,根本没有考虑过大批量生产问题;常规武器即便是具备小批量的生产能力,其生产线也是刚性组合,不仅满足不了战时的需求,更缺乏与新产品相适应的灵活性,不能实现产品的迅速转换和扩大批量的要求。柔性(数控)加工设备近些年得到了较快发展,由于对其功能未能很好的开发利用,工艺水平普遍偏低,数控工艺研究少,同时也缺乏通用性组合工夹具,使得加工能力和对产品的适应性受到了限制。

#### 2.5 前沿技术研究力度和技术储备不够

长期以来,我国国防武器装备制造技术研究贯彻的是“型号牵引、技术推动”的指导思想,对于尚无型号需求的尖端国防技术的研究极少立项,为此使得武器装备研制的制造技术储备极度缺乏,许多关键技术与型号研制脱节,有的甚至落后于型号的进程。由此造成型号研制开始后还要不断攻关的现象,致使武器的设计指标难于实现,同时也严重拖延了研制周期,影响了武器的更新换代。上述情况在卫星、导弹等航天产品的研制开发中都存在。制造技术开发能力的不足限制了新武器的发展,从而使我国的武器装备处于一种“设计得出来,制造不出来”的局面<sup>[2]</sup>。

### 3 发展我国航天制造技术的对策

航天高科技的发展同样需要先进的制造技术支撑。现代航天系统是高科技的结晶,光机电结合、陆

海空天一体要求小体积、高可靠、高性能、高精度。先进的航天型号产品必须有先进的制造工艺技术做支撑。发展航天制造技术应该结合我国航天事业发展的现状,以提高武器装备的性能为目标,围绕快速研制能力和批量生产及快速响应能力的形成,考虑我国经济的可承受性及市场竞争的因素,重点采取以下对策。

#### 3.1 要正确处理航天制造技术发展中的几个关系

鉴于航天制造技术在航天技术体系中的重要作用,必须正确认识航天制造技术的地位,将其作为实现新时期战略目标的关键和支柱,毫不犹豫地把现代生产和研究重心向工艺转移,把落后的制造技术尽快转为先进的制造技术,向新技术要质量、要效益。处理好以下几个方面的关系。

首先是制造技术与设计技术的关系。设计技术和制造技术同为实现航天产品研制生产的重要因素。先进的设计技术是实现高质量产品的主导因素,先进的制造技术是实现高质量产品的基础保证。因此要二者并重,相互结合,同步匹配发展。要把制造技术和生产优势联系在一起,以寻求综合竞争优势,这就要求我们在目前的状态下更加重视制造技术的发展,针对制造技术相对滞后的局面,将现代生产和研究的中心适当向制造技术转移,同时制造技术的提高又不断满足先进设计需要的良性发展循环。

其次是处理好国家拨款与多方筹资的关系。研究开发经费的来源是发展航天制造技术所面临的主要困难之一。伴随着航天企业向“四自”经济实体的转变,企业应转变过去计划体制下单纯等、靠、要的倾向。除积极向国家争取立项拨款和利用国家的各项政策来获得经费之外,还要积极开拓新的筹资渠道,多方筹措资金。一方面,企业要从内部挖掘潜力;另一方面,应该到系统寻求出路,对于那些有效益的军民两用技术,要积极通过技术转让、寻求合作伙伴或商业贷款的支持来获得资金。

同时,还处理好提高单项制造技术水平与提高航天制造技术总体水平的关系。单项技术和整体技术的关系是一个局部和全局的关系。没有单项水平的积累就谈不上整体水平,特别是对那些目前处于落后的甚至是影响总体水平的制造技术“瓶颈”,更要加紧开发,实现突破。同时更要重视航天制造技

术总体水平的提高。要树立总体观念,在制订规划、计划,论证工艺方案和技术改造方案,确定若干个制造技术研究中心以及制造技术布局调整等,都要从提高航天制造技术整体水平的高度考虑。既要承担自己单位和本专业单项制造技术研究,又要体现本专业所在领域的制造技术水平;既要承担本单位的研究工作,又负责专业带头、推动、推广、支持整体的义务。

### 3.2 发展敏捷制造,推行并行工程

在航天制造技术发展中实现敏捷制造,首先要建立畅通的企业信息网。随着信息技术的发展,信息高速公路和 Internet 网逐渐成熟,建立企业信息网已成为保障企业及其基础机构正常运作的最基本手段。从国外的企业来看,企业信息网一般按信息控制结构分成四层:顶层提供市场信息、生产管理、计算机辅助工程和计算机辅助设计与制造的管理;第二层完成计划、资源调拨、质量保证及有关任务;第三层监控检查和协调工厂层的机床;底层控制生产层的机床加工<sup>[2]</sup>。为此,航天企业应该根据敏捷制造的特点对企业内部的 MIS 进行调整,同时发展企业外信息集成系统。

其次,是以 CAD/CAM 为基础,利用现有技术发展拟实制造。拟实制造填补了 CAD/CAM 技术与生产过程和企业管理之间的技术鸿沟,使企业的生产和管理活动在产品投入生产之前就在计算机屏幕上演示,是实施敏捷制造的重要工具。因此可以以此为基础,利用计算机信息技术对型号设计、制造、装配运行试验、空气动力学检查、评估等仿真分析的可视化。这样可以大大节约时间,降低成本和风险,使企业能够尽快响应市场,提高竞争力。

并行工程(CE)是集成地、并行地设计产品及相关过程,包括制造过程和支持过程的系统化方法。它要求产品开发人员从一开始就考虑到产品生命周期中从概念设计到报废的各种因素,包括质量成本、企业调度及用户需求。作为现代制造技术的发展方向,并行工程日益受到各国工业界和学术界的高度重视<sup>[3]</sup>。它是美国国防部 90 年代,乃至下一世纪发展武器装备系统的战略方针。

在航天制造技术发展中推行并行工程,不能够强求一步到位,从国外推行并行工程的经验来看,一般是将上述两个条件分为两个阶段进行。第一阶段

从组织管理方面着手,通过转变观念,组成产品多功能开发小组,共同确定产品要求过程,以实现产品的并行研制。这种方法见效较快,但难以持久和深入,所以必须转入下一个更深入发展的阶段。第二阶段是开发并行工程的新技术,即计算机辅助工程环境。多功能小组成员掌握和运用新技术可以高效率地解决设计问题和分析设计、生产保障间的相互影响。

在组织与管理上,应普遍采用自上而下的管理方式,根据任务的不同建立相应的多功能小组,核心小组最普遍的形式为集成产品开发小组(IPT)<sup>[4]</sup>,且小组成员一般接受过培训,整个组织管理系统注意结合了本企业文化和产品的特点。在设计技术上,更多地采用通过协同工作的组织形式和相应的计算机辅助技术及工具等手段,进行产品设计开发。普遍采用 DFM、DFA、Taguchi 方法、MDO 等设计方法。在计算机技术上,要普遍采用 CAD/CAM/CAE 等系统和单元技术,如 3D CAD/CAM 系统、NC 机床、FMC/FMS 等<sup>[3,4]</sup>。

### 3.3 走产学研结合的道路

加速产学研的结合,尤其是加强航天企业与国内部分高校和一些研究机构的结合,在当前对于提高航天制造技术水平,促进科研成果向型号研制生产中转化具有重要意义。我国已经加入世界贸易组织(WTO),这必将加速科学技术发展的进程,给我们带来新的机遇和挑战。面对科技大跨越发展的趋势,航天工业作为高技术产业,其发展更加依赖于科技进步和劳动者素质的提高;航天的企业应当率先成为技术创新的主体,成为科技成果转化和高技术产业化的载体;高校则应当成为科技创新的重要源头,成为培养创新型、创业型人才的主要基地。但现状离这些要求还有较大的差距,一方面,以军工企业为主体的国防技术创新体制和运行机制尚未真正形成,企业的技术创新能力、综合配套能力和引进技术的消化吸收能力不强,尚未真正成为技术创新的主体;另一方面,高校仍有大量的科技成果和人才资源独立于技术创新体系之外,缺乏与企业结合的接口、通道和机制<sup>[5]</sup>。这就迫切需要通过产学研结合这一有效途径,将部分高校制造技术方面的科技成果、人才资源引入航天企业,促进科技成果转化和技术创新,实现航天制造技术大跨度地发展。

### 3.4 建立航天制造技术开发体系

航天产品系统复杂、专业多,制造技术涉及光、机、电气、电子、化工等各类专业,分散在各研制单位,缺乏统一规划和充分交流,低水平重复较为严重。航天工业现正进行体制及运营机制的改革,处于发展的关键时期,对制造技术的发展要给予大力重视。要结合产业结构的调整,资产的优化重组,优化制造技术资源,建立专业化的技术研究、产品开发体系。这样,既可避免低水平重复投资建设,又可有效的提高航天工业的创新和持续发展能力。

#### 参考文献

- 1 张伯鹏,汪劲松,郑力.先进制造技术基础研究现状及发展趋势.先进生产与管理技术文集,宇航出版社,1998:3
- 2 简兆权.面向新型制造业的企业组织与管理模式.管理现代化,1996;(5):43~46
- 3 王—然.并行工程(CE)在航天工业中的应用研究.先进生产管理技术,1998;(3):8~13
- 4 陈国权.企业实施敏捷制造的过程框架.清华大学学报,1999;(2):56~59
- 5 唐恒,严新娟.全方位多形式的高校产学研工作.科学管理研究,2000;(2):44~45

(编辑 李洪泉)

---

## 磁头铁芯气隙成型和铁芯—浮动块粘接技术

本成果是运用玻璃作为粘合剂的一种磁盘磁头气隙成型技术和铁芯—浮动块粘接技术。在气隙成型方面,做出了  $\pm 0.5 \mu\text{m}$  的甚窄缝隙,满足了在高密度磁记录情况下窄工作气隙宽度的要求。在铁芯—浮动块粘接中,成功率达到 85% 以上的无气孔粘接。本成果已成功用于磁盘磁头的生产制作。

## 金属基颗粒增强复合材料的喷射共沉积工艺

该工艺是先将雾化室抽真空,充入惰性气体,拔开塞杆使合金液沿坩埚底部小孔流下,通过雾化器时,合金液被雾化为细小液滴,在飞行过程中加入增强相颗粒,最后雾化流与增强颗粒一起喷射到基体上,便共同沉积成金属基复合材料。本工艺的前提条件是:凝固前沿无液态金属积累、流动;几微米的液态金属薄膜覆盖凝固前沿;急冷凝固;不饱和方式供给液态金属。雾化沉积工艺参数依不同的雾化系统及雾化介质、基体合金成分和增强相颗粒性质而变化,而当前依经验而定。增强相分布均匀与否关系到整个复合材料的机械性能。喷射沉积装置由金属液加热保温炉、雾化器、喷粉装置、沉积基底、雾化室等组成。制取的材料性能与基底合金成分、增强颗粒性质以及设备结构、工艺参数控制和后处理状态等密切相关。本工艺可用于汽车制造业,电子封装、消音减振行业。

· 李连清 ·