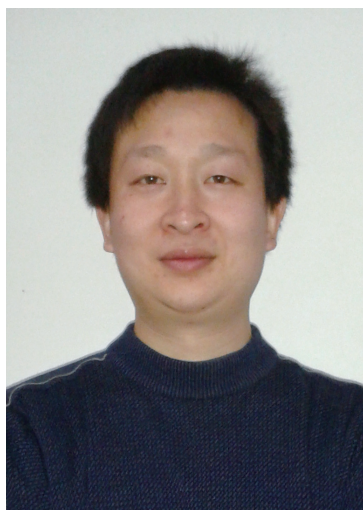


# 国产高档数控机床的发展现状及展望

## Current Situation and Prospect of Domestic Advanced NC Machine Tool

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 刘大炜 汤立民



刘大炜

现任中航工业成飞数控加工工厂主任技师,高级工程师,博士。主要研究领域为数控机床精度测评与优化、数控机床状态监控与预防性维修,参加国家科技重大专项课题 9 项,其他课题 8 项,在国内外期刊发表论文 9 篇,申请专利 11 项。

制造业是推动经济发展的发动机,而数控机床作为现代制造业的关键核心装备,其发展一直受到国家和相关行业的高度关注。近些年随着我国经济社会的快速发展,我国机床行业有了长足的进步,产业规模、产品质

在“高档数控机床与基础制造装备”国家科技重大专项(04 专项)的推动下,我国高档数控机床近几年得到快速发展,航空航天、船舶等高端制造业作为用户企业,在促进我国高档数控机床发展中发挥的重要作用也得到业内专家的广泛认可,紧密结合用户企业的未来需求成为我国高档数控机床产业化及批量应用的重要保障。

量和系列规格都有了很大提升,而国民经济发展中急需的高档数控机床过度依赖进口的局面已有所改善<sup>[1]</sup>。

受累于低迷的世界经济形势,我国机床行业从 2011 年下半年进入下行状态<sup>[2-3]</sup>,在国产数控机床行业总产值及利润纷纷下滑的情况下,高档数控机床的需求却稳步上升<sup>[2-3]</sup>,成为我国机床行业当前发展的一大亮点,高档数控机床也成为我国机床行业推进产业结构调整、实现转型升级的重要着力点。在“高档数控机床与基础制造装备”国家科技重大专项(04 专项)的推动下,我国高档数控机床近几年得到快速发展,航空航天、船舶等高端制造业作为用户企业,其在促

进我国高档数控机床发展中发挥的重要作用也得到业内专家的广泛认可,紧密结合用户企业的未来需求成为我国高档数控机床产业化及批量应用的重要保障。

### 我国数控机床行业的发展现状

经过多年发展,我国数控机床行业的产业规模、产品类型及应用领域等都有了长足进步,而在 04 专项的支持下,通过数控机床制造企业及机床用户企业的共同努力,我国的高档数控机床也有了较大发展,已在我国航空航天、船舶、汽车、发电等高端制造业得到初步应用。

我国机床行业近年来产业规模大幅增加。“十一五”期间,金切机床行业工业总产值年平均增长率为23.6%,2010年达1306亿元人民币,并在2011年达到1542.9亿元人民币的历史最高点,其中数控机床的发展速度更快,数控机床产量占金切机床总产量的比重由2005年的13.2%提高到2010年的29.6%,国产数控机床产值市场占有率也在2010年达到56.7%<sup>[1]</sup>。

在高档数控机床方面,随着04专项的深入实施,一大批数控机床关键制造技术得到突破,多种构型的国

产五轴联动及复合加工机床实现了在用户生产现场的小批量应用,广泛用于飞机结构件、大型水轮机叶片等多种复杂零件的加工,加工材料涵盖了铝合金、钛合金、不锈钢、复合材料等。以国产高档数控机床在中航工业成飞公司的应用为例,成飞公司现装备6台国产五轴联动数控机床,故障率比国外同型机床稍高,但已基本满足飞机结构件批量加工。

五坐标数控龙门机床方面,济南二机床集团有限公司的XKV27系列龙门移动式五轴联动镗铣床(图1),配备大扭矩机械式A/C双摆角数控

万能铣头,工作台面宽度可达5m,长度可达40m,已在鞍钢重型机械有限责任公司、上海航天设备制造总厂应用。中航工业北京航空制造工程研究所的G5 2560 ABJ五坐标数控龙门铣床配备A/B摆角式机械主轴头,适用于钛合金、合金钢等复杂飞机结构件加工,目前已在中航工业成飞等多家飞机制造企业应用。

五坐标立式加工中心方面,以沈阳中捷的VMC 25100U(图2)、中航工业北京航空制造工程研究所的V5 1030 ABJ为代表的国产五坐标立式低速加工中心(A/B摆角)已在中航工业成飞用于飞机钛合金零件加工,除部分指标及整机可靠性略低外,这两款机床的零件加工能力与Rambaudi公司的1201机床接近,基本满足钛合金航空结构件的五轴加工需求。

五坐标桥式机床方面,中航工业北京航空制造工程研究所的B5 2580 E桥式五坐标高速数控龙门铣床工作台尺寸为2.5m×8m,主轴转速达到24000r/min,已有多台在我国航空制造企业应用。济南二机床集团有限公司的XHSV25系列机床配备大功率、高转速双摆角数控万能铣头,工作台面最大宽度可达5m,长度最大可达30m,已在航天二院二八三厂应用。车铣复合机床方面,北一机床的XKA 28105X300超重型数控龙门车铣复合机床已在哈尔滨汽轮机有限公司投入使用。

数控系统方面,中高档数控系统的开发和生产取得明显进展,部分国产数控系统已配套五轴联动数控机床。04专项通过设立国产数控系统成套装置研制课题,已初步解决了高档数控系统的多通道、多轴联动、绕刀具中心旋转、静态误差补偿等技术难题,开发了与数控系统配套的伺服驱动及电机等硬件,形成了系列化产品。典型如华中8型、广数GSK25i、沈阳高精GJ400数控系统等,上述数



图1 XKV27系列龙门移动式五轴联动镗铣床



图2 VMC 25100U五坐标立式加工中心(A/B摆角)

控系统已配套多台 04 专项支持的中高档数控机床,部分已投入实际现场应用。

数控机床功能部件方面,形成了一批具有自主知识产权的功能部件,部分性能指标已接近国际先进水平。在 04 专项支持下,国产功能部件已突破高速主轴、高速滚珠丝杠、重载直线导轨、数控转台、刀库与机械手、A/C 双摆角数控铣头等研制。尤其是作为五轴联动数控机床关键功能部件的双摆角铣头,如济南第二机床集团研发的 A/C 双摆角数控万能铣头(图 3),可配备机械主轴和电主轴,其中机械主轴扭矩达  $2200\text{N}\cdot\text{m}$ ,转速  $1600\text{r}/\text{min}$ ,电主轴扭矩  $73.8\text{N}\cdot\text{m}$ ,转速  $24000\text{r}/\text{min}$ ,这两类铣头已配备多种构型的数控机床。



图3 济二机床A/C双摆角数控万能铣头

### 国产高档数控机床发展需解决的主要问题

我国数控机床行业已基本解决高端产品的有无问题,但产业结构、产品结构与市场需求的矛盾尚未得到有效缓解,仍面临主机大而不强,高档数控系统和关键功能部件发展滞后,技术服务能力不足等问题。

国内机床行业近几年的快速发展以中低端产品的产能扩充为主,高

档数控机床的研发投入不足,导致我国机床行业存在主机大而不强的问题,这也是近两年受全球金融危机影响,我国大部分机床企业产值、利润不断下滑的主要原因。推进高档数控机床的产业化,提高国产高档数控机床在国家重点行业的占有率,是我国机床行业摆脱当前困境,实现产业结构调整及转型升级的关键,为此,我国机床企业在发展高档数控机床的过程中需解决以下问题:

(1) 国产高档数控机床可靠性和性能稳定性较差。目前已投入实际生产应用的国产高档数控机床一般采用国外进口的数控系统和关键功能部件,在加工性能方面与进口机床没有太大差距,但机床辅助部件故障率较高,直接推高了整机的故障率。

此外,由于部件装配和调试技术水平不足,国产机床的精度、动态特性等比国外机床稍差,且上述性能在应用过程中的下降速度要高于国外机床。

(2) 国产高档数控系统及关键功能部件等主机配套产品还有待加强。近年来,国内数控系统厂以西门子、法拉克等国外高档数控系统为对标,在多轴联动加工、绕刀具中心旋转(RTCP)、误差补偿等方面进行了大量的功能开发,但仍与国外高档数控系统存在差距,体现为机床的加工精度无法满足要求。功能部件方面,以高速主轴、A/C 双摆角数控铣头为代表的功能部件已实现研发突破,但仍停留在小批生产阶段,还缺乏在生产现场的批量应用。

(3) 针对用户加工工艺需求的技术服务能力不足。国外数控机床企业很早就针对用户的具体加工对象,提供包括机床、典型工艺方案及切削参数等在内的一揽子解决方案,由于用户采购高档数控机床一般针对实际零件加工需求,这种围绕产品加工需求的全套解决方案受到用户的普

遍欢迎,这也是国外高档数控机床在国内热销的重要原因。目前,国内机床企业由于缺乏对用户产品加工工艺的了解,目前还无法提供全套解决方案,提供的技术服务也只针对机床本身,影响了国产机床在用户现场的应用效果。

### 航空制造业未来发展对国产高档数控机床的需求

高档数控机床的发展往往由被加工对象的加工工艺及用户生产需求拉动,飞机结构件作为飞机的主承力部件,具有形状复杂、加工精度要求高、材料利用率低等特点,需要五轴联动加工,一直是高档数控机床研制和应用的主要落地对象。随着现代飞机性能的不不断提升,飞机零件正朝着整体化、大型化、复杂化、高精度、新材料大量应用等方向发展,同时,数字化制造技术在航空制造企业应用逐步深入,产品加工需求及用户企业的技术发展对数控机床提出了新需求:

(1) 大型高精度数控机床及五轴联动卧式加工机床。当前,部分大型飞机结构件的长度已接近  $20\text{m}$ ,零件表面精度达到  $R_a 1.6$ ,促使加工设备向着大型化、高精度方向发展。德国 DST 公司的 FOGS 系列高精度五坐标数控龙门铣床,基于西门子 840D sl 系统开发了用于机床空间误差的自动检测及补偿的 KMS (Kinematic Management System) 系统,并对机床工作区域恒温控制,使机床在  $2.5\text{m} \times 9\text{m} \times 1.5\text{m}$  的工作空间内定位精度达到  $1.6\mu\text{m}/\text{m}^3$ 。此外,飞机结构件加工的材料去除率达 95% 以上,立式加工时,高速切削产生的大量切屑极易堆积在零件表面,造成零件的二次切削,影响零件加工质量,卧式机床以其排屑性好、具备 FMC (柔性制造单元) 功能等特点,在飞机结构件加工中的应用已越来越多,未来飞机结构件加工中卧式机床所占的比例

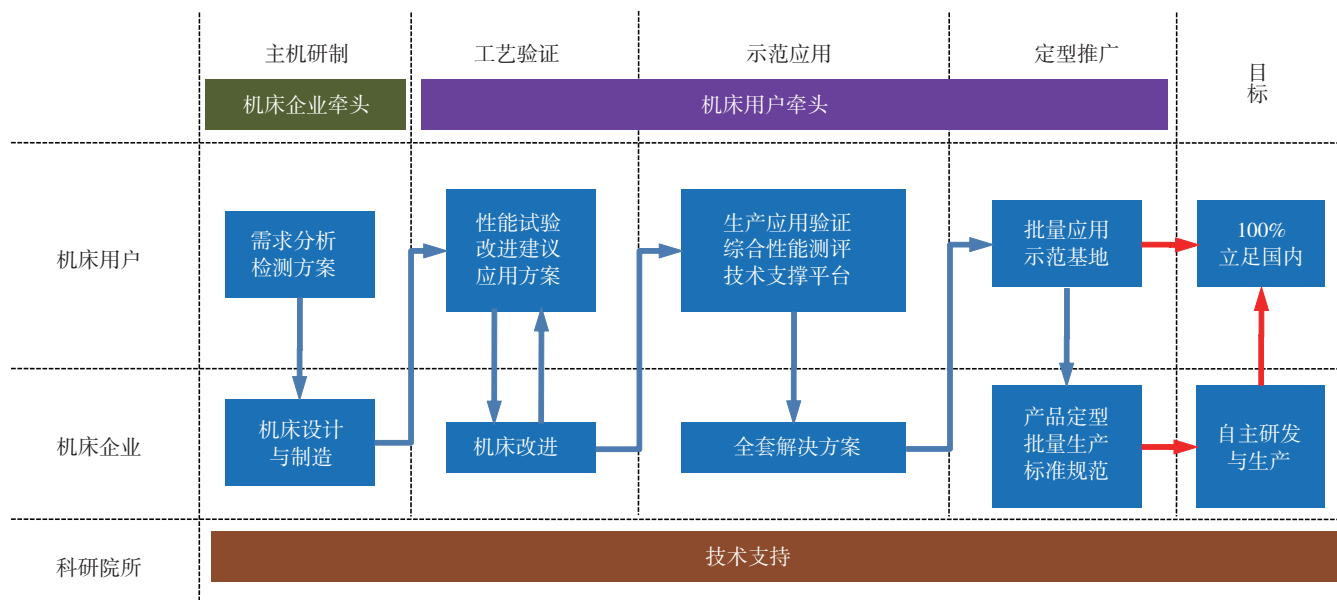


图4 高档数控机床的研发与推广应用模式

将进一步提高。

(2) 钛合金高效及复合材料加工机床。目前,钛合金和以碳纤维为代表的复合材料在现代飞机中所占的比例大幅提高,如 A350、波音 787 的复合材料比例已经超过 50%。在铝合金高速加工已基本解决的情况下,钛合金、复合材料加工将成为未来航空制造企业的主要任务。由于切削性能差,钛合金的切削效率一直很低,如何实现钛合金的高效加工是当前航空制造企业面临的一大难题,需要在高效加工设备、刀具、工艺方案等多方面入手,而高效加工设备是基础。复合材料加工主要需解决污染问题,与金属材料不同,复合材料(如碳纤维、蜂窝等)在高速切削时会产生大量粉尘,对人体及机床造成伤害,因此,航空制造企业适于复合材料加工、防护性能良好的数控加工设备有着迫切的需求。

(3) 自动化生产系统以及满足数字化制造需求的设备新功能。为提高生产效率、降低零件加工质量风险,包含运输、加工、清洗、烘干及测量等功能的自动化生产系统已出现。目前国外航空制造企业已大量应用柔性生产线,国外部分航空制造企业

在碳纤维蒙皮加工中已采用集成传输、加工、清洗、烘干及测量等功能于一体的自动化生产系统,大幅提高了零件加工效率,保证了零件加工质量。此外,数字化制造需要实时监控机床状态,从机床实时采集零件加工及机床状态数据,这要求机床具备刀具自动测量、状态自动监控、零件在线测量等功能,并可与用户企业网络互联互通。

上述目标的实现都离不开机床企业和用户企业的密切合作,需要继续坚持 04 专项提倡的“产学研用”研发模式,尤其是示范应用的方式(图 4)。通过梳理专项前期重点成果,根据市场需求集中力量在重点用户建立“应用示范基地”,充分发挥用户的数控加工工艺技术优势以及设备应用经验,弥补我国机床企业在这些方面的不足,以在用户实际生产现场“应用”的方式验证并开发适应于用户需求的新功能,最终达到完善专项成果,推进国产高档数控机床在国家重点行业批量应用,提高国产高档数控机床市场占有率的目的。

## 结束语

高档数控机床技术含量高、附加

值高,已成为我国机床行业现阶段产业结构调整及转型升级的优选方向。目前我国高档数控机床整体上已有较大提升,整机、数控系统及部分关键功能部件已接近国际先进水平,并在航空航天、船舶等高端制造企业小批量应用。在当前国产高档数控机床的产业化阶段,推动其在国家重点行业的推广应用是关键,需要我国机床企业、科研院所及机床用户紧密合作,紧跟用户最新需求,坚持“产学研用”的合作模式,最终通过“用”验证并解决国产机床存在的问题,实现 04 专项提出的国产高档数控机床取代进口的目标。

## 参考文献

- [1] 陈小明. 国产数控机床应实现均衡发展良性循环. 航空制造技术, 2012(4):48-51.
- [2] 中国机床工具工业协会信息传媒部. 2012 年机床工具行业经济运行情况分析. 2013[2013-04-16]. <http://www.cmtba.org.cn/info/2013528/2013528150528.shtml>.
- [3] 中国机床工具工业协会信息传媒部. 2013 年 1-6 月机床工具行业经济运行情况. 2013[2013-10-16]. <http://www.cmtba.org.cn/info/20131016/20131016105450.shtml>.

(责编 良辰)