



立足高端 自主创新

——沈阳机床在航空制造业的发展之路

Independent Innovation for High-Level Machine Tool

沈阳机床(集团)中捷机床有限公司 贺鑫元



贺鑫元

工学博士,曾任沈阳机床股份有限公司技术中心设计员、沈阳机床(集团)有限责任公司设计研究院室主任、沈阳机床(集团)有限责任公司设计研究院副院长。现任沈阳机床(集团)中捷机床有限公司副总经理。

沈阳机床以紧密联合具有传统学科优势的高校院所为基础、以主动贴近用户深入了解用户工艺需求为途径、以积极承担国家各级政府重大科技项目为载体,着重开展面向航空领域的研究与工作。

国内机床在航空领域的发展

航空工业的发展离不开下游支柱产业的大力支撑,特别是飞机关键零部件的制造,如航空发动机中各种结构复杂的整体机匣、叶片、叶盘等的制造,机身的梁、筋、肋板、框、壁板、接头的毛坯所用的板材或锻件等的制造,其材料大多为钛合金、高强度耐热合金或铝合金,加工时需要功率大、刚性好、效率高的机床设备。要完成以上零部件的加工,所应用的机床设备一般应具备以下特点:(1)

高刚性、大扭矩、重载特性;(2)大功率、高进给、高主轴转速特性;(3)五轴联动结构多自由度控制特性;(4)较好的精度、精度稳定性及整机可靠性。航空工业对机床的要求几乎涵盖了现代机床工业的全部成果,这也是国产机床难以进入其核心制造的原因所在。目前具备上述特点,并支撑着航空制造加工的机床设备仍然以国外进口设备为主,有统计数字显示,我国航空领域相关的高档机床设备的90%都依赖进口。之所以有着这样的事实,主要原因之一就是国产机床整体技术仍然相对落后,各方面

都与国外机床有一定差距。我国在航空制造领域属于弱国,在机床领域也处于刚刚起步阶段,特别是在高端机床市场。

沈阳机床集团、济南二机床集团公司、武汉重型机床集团公司、齐重数控装备股份有限公司、齐二机床集团公司、大连机床集团、北京第一机床厂等国内知名机床企业响应国家号召,针对国内航空企业的需求大力开发五轴机床产品,并得到一定程度的应用,整体规模及发展走势较好;但总体上仍处于起步阶段,与国外高端机床的差距仍然较大,需要国家政策上的持续支持及企业不断的努力来支撑国家航空制造业的发展。

其中,沈阳机床在2003年定位于高端机床发展路线,着力于支持飞机制造业。2004年顺应国家航空发展需要,通过消化引进、自主创新,开拓了面向航空制造业的高端机床市场,开发出适合于飞机大型铝合金材料板类零件加工的桥式龙门五轴加工中心的商品化样机。2006年推广了在飞机制造业的应用,至今该类设备已经经过若干次改进,成为该企业较具有竞争力的拳头产品。2007年4月在北京国际机床展展览会上,沈阳机床集团中捷机床有限公司针对航空领域,推出2款AB摆头五轴联动加工中心,分别用于钛合金和铝合金的高效加工,其优异的加工性能在现场产生了强烈的轰动效应,令国外机床厂商惊叹。同时更有鲜明特征的是这2个类型产品的五轴头完全拥有自主知识产权,打破了国内五轴高端机床的五轴头全部需要进口的限制。

沈阳机床面向航空领域所作的研究与工作

尽管沈阳机床近年来高速发展,在国内机床行业一直保持龙头地位,但是其大部分产品主要应用于中低端的通用行业,缺乏针对重点用户的

高端产品,例如面向航空制造业的五轴联动加工中心。沈阳机床以紧密联合具有传统学科优势的高校院所为基础、以主动贴近用户深入了解用户工艺需求为途径、以积极承担国家各级政府重大科技项目为载体,着重开展面向航空领域的研究与工作。

1 紧密联合高校院所

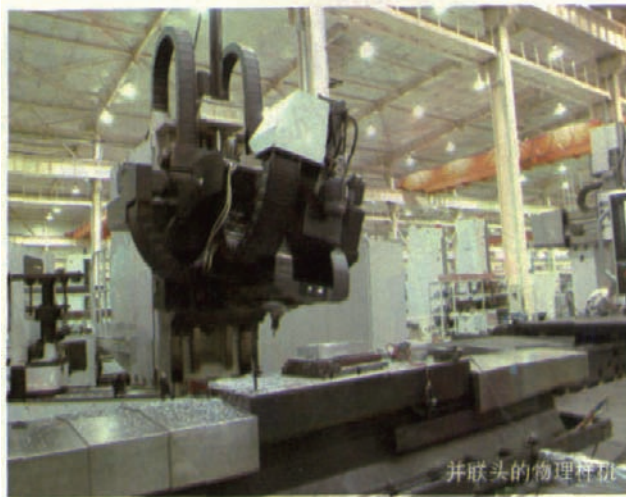
近几年来,沈阳机床积极与国内知名高校建立合作研究,充分发挥高校理论研究的特长,优势互补、相互发展。在北京,依托北京航空航天大学建立了研发中心,借助其在航空领域的学科优势,围绕加工切削参数优化开展相关基础研究工作,具体包括以下几点。

(1) 多轴联动加工动力学模型。

基于机床力学模型,针对具体多轴数控机床,建立试验系统,进行工作模态试验,通过不同加工速度来测试特定部件的工作模型,将它与理论模型的计算结果进行比较,从而对理论模型进行修正。最后通过模态实验验证机床整机理论模型的合理性。

(2) 多轴联动铣削动力学仿真。

利用自主研发的高效数控加工仿真与优化系统(SimuCut/DynaCut/OptiCut)对数控铣削加工过程“主轴



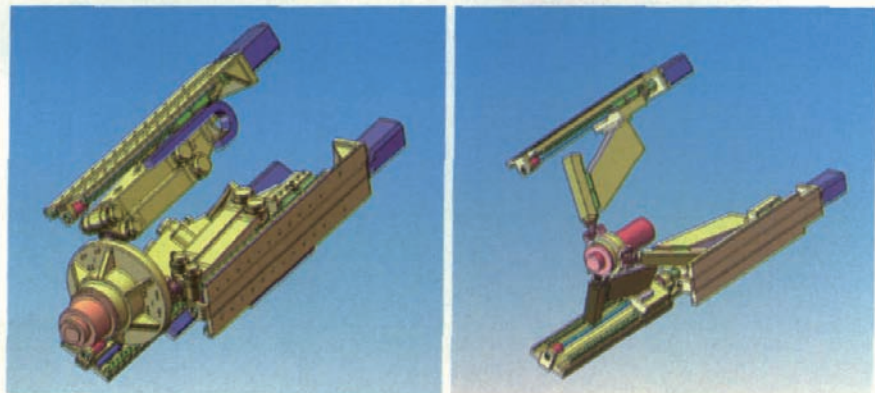
—刀具”的动力学特性参数进行测试,在确定相关的“机床—刀具—零件”等约束条件基础上,对铣削过程进行力学计算仿真,进行数控加工切削参数优化,有效地提高切削过程中的材料去除速率和机床主轴功率利用率,实现数控机床的提速增效。

(3) 切削参数优化及切削参数数据库。

构建工程化实用型数控切削加工数据库,该数据库覆盖飞机典型结构件材料、数控切削加工典型结构件的机床和刀具信息的切削参数数据库。利用加工动力学仿真系统,对加工参数进行仿真分析,形成一套参数仿真验证的方法。并结合切削试验,建立针对典型飞机结构材料和加工特征的加工参数数据库。形成切削参数处理、评估校验的规范化标准。

2 重视用户工艺研究

沈阳机床也重点强调建立基于用户需求的客户化产品研发理念,贴



并联头的2种设计方案

近用户进行工艺等的专业化需求研究。为提高大型复杂飞机结构件多轴联动数控加工的效率,主要从下面4个方面展开研究:多轴联动数控加工工艺规划、多轴联动数控加工复合加工工艺方法和多轴联动数控加工工件快速装夹方法和多轴联动数控加工刀具应用等。

(1) 多轴联动数控加工工艺规划。

针对航空件结构及其加工特征,进行加工方法选择、加工方法排序、加工阶段划分、工序划分以及定位基准选择、加工余量选择、机床选择、刀具、夹具选择等决策活动。在工艺规划过程中优化加工方法和工序顺序,结合机床加工特点和能力进行工序集中和加工方法组合设计,减少加工复杂结构件的工序数量,尽量形成复合加工工艺。

(2) 采用复合加工方法对航空复杂结构件进行加工。

针对航空复杂结构件,在工艺规范过程中进行工序复合、加工工艺复合的设计,优化工艺排序,减少工件移动和装夹次数。以现有技术为基础,改进适合航空复杂结构件加工的

多轴联动数控加工机床,同时设计相应的装夹设备、刀具选择方式。

(3) 多轴联动数控加工工件快速装夹方法。

飞机结构件本身结构复杂且制造精度要求高,装夹相对困难,为满足飞机结构件多轴联动加工的装夹要求,将通过试验研究,采用真空吸附、柔性装夹、电控永磁装夹、静压膨胀夹具等技术手段,实现飞机结构件多轴联动加工的快速、稳定、可靠装夹。研究采用组合夹具作为快速装夹的方法,以缩短夹具设计和组装时间,提高夹具柔性和精度。

(4) 多轴联动数控加工刀具应用。

对于刀具本身而言,通过采用先进的刀具、刀柄系统实现零件的高效加工,针对复合加工,研究其刀具及其刀具布局,根据飞机结构件特征及其加工特点,选择刀具材料、刀具涂层、刀具结构、刀具几何角度以及刀具与多轴联动数控机床刀具连接方式等。

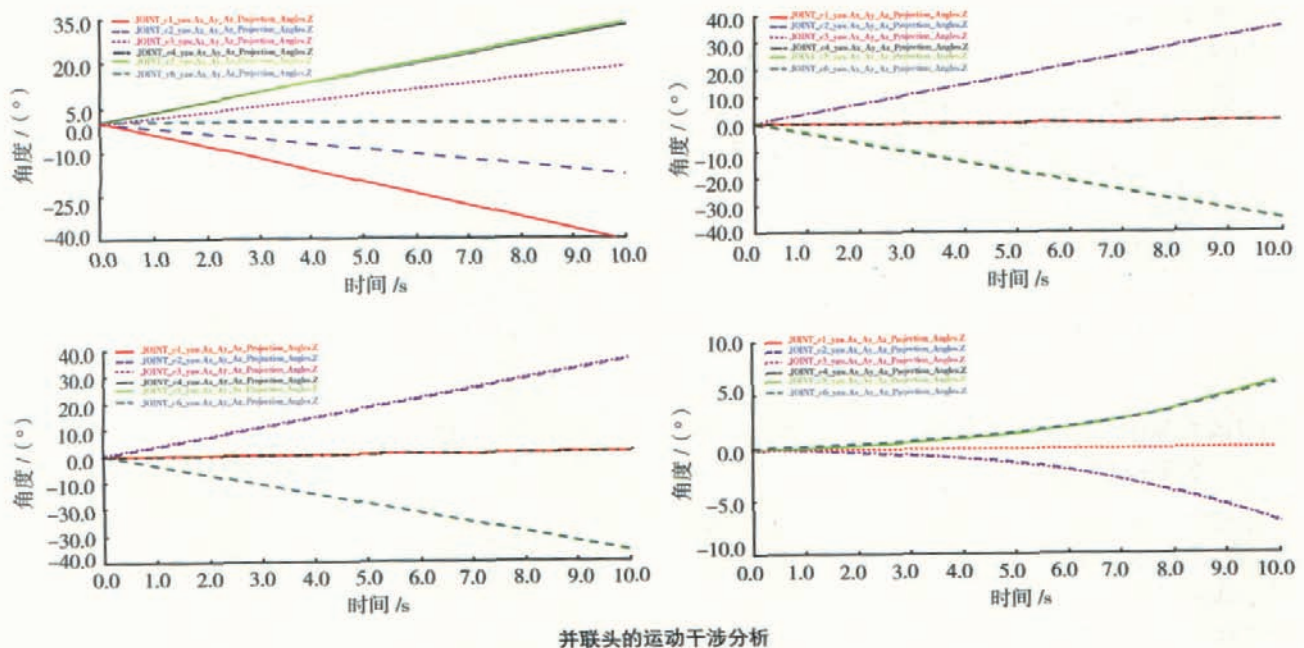
3 积极承担国家科技项目

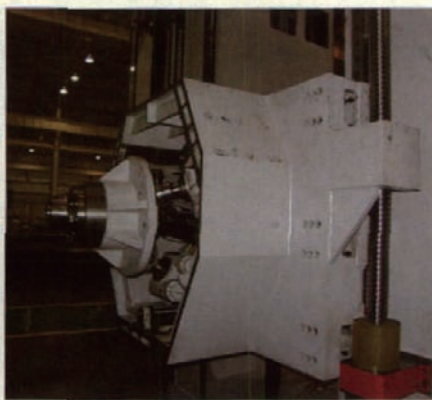
针对于航空领域积极与高校和企业合作,承担了若干国家级重大科

技项目,面向包括航空领域在内的国家“十五”863计划课题通过验收。“面向飞机大型板类件加工的横梁移动式五轴加工中心关键技术开发及应用”课题攻克了机床总体结构布局的刚性设计、部件快速及加速度控制、A/C摆角铣头设计、五轴联动编程等多项关键技术。课题组研制出的TH58200X500型横梁移动式龙门五轴加工中心,可完成任意空间曲面的加工,可用于航空、航天工业、能源设备零件的加工。由该项目所衍生的系列产品已经批量装备国内航空企业,其性能与指标完全满足飞机制造行业苛刻的需求。

国家“十一五”科技支撑计划课题、由沈阳机床与北京航空航天大学、沈飞集团联合攻关的“高效加工技术与装备研究”——“飞机部件级装配系统技术”下的子课题完成验收。该课题旨在完成飞机钛合金壁板钻孔专用设备多功能制孔执行器的设计、制造,开展钛合金切削工艺研究,完成该设备自动钻孔的切削试验。该执行器的完成,为发展机器人装配制孔技术奠定坚实基础。

沈阳机床(集团)中捷机床有





并联头的物理样机

限公司最新研发的并联主轴头在第十一届中国国际机床展览会上精彩亮相。该项目是沈阳机床承担的国家科技支撑计划项目和“863”项目,由沈阳机床与清华大学、成飞集团联合申请立项。它适应了市场需求和机床行业发展的新趋势,具有飞机结构件加工设备的国际先进技术,克服了传统主轴头效率低、集成性差等缺陷;具有刚度质量比大、响应速度快、环境适应能力强、零部件简单、技术附加值高等优势,满足了航空制造业高速化、柔性化和集成化的发展需要。

沈阳机床积极承担十一五重大科技专项 9 项,其中与航空制造相关的有:用于钛合金航空结构件加工的五轴联动加工中心、带 AB 轴的高速五轴联动加工中心、铣头可自动交换的高速龙门五轴加工中心、五轴联动精密卧式加工中心、直驱式 A/C 轴双摆角数控万能铣头等 5 个项目,涵盖了高速主轴结构优化设计技术、五轴联动数控加工装备机构设计的性能评价指标体系研究、高效加工结构优化设计技术、多轴联动加工工艺、高速龙门五轴机床上的直接驱动应用技术、高速程序预处理技术等十几个方面的深入研究和开发创新。

沈阳机床针对航空领域的高端应用

五轴联动并联高速加工装备是目前各国机床行业研究的一

个新方向,其中德国 DST 公司的 ECOSPEED 系列机床的 Z3 结构五轴加工中心在航空工业中已经进入了应用阶段,该加工中心在德国生产欧洲战斗机和空中客车结构件的主要工厂——奥格斯堡工厂应用得非常成功。为填补国内在这方面的空白,沈阳机床(集团)中捷机床有限公司最新研发了具有并联主轴头的混联五轴联动加工中心,克服了传统主轴头效率低、集成性差等缺陷。具有刚度质量比大、响应速度快、环境适应能力强、零部件简单、技术附加值高等优势。该项目立足自主创新和关键技术突破,采取“产、学、研、用”相结合的方式,采用现代数学工具,提出五轴联动加工装备的一体化建模理论和设计方法,形成虚拟样机数字化设计体系,并及时吸收国外的先进经验,采用理论联系实际和

表1 并联主轴头的技术指标

Z 轴,水平行程	670mm
Z 轴,在 $\pm 40^\circ$ 内的行程	345mm
A/B 轴转动范围	$\pm 40^\circ$
Z 轴快速移动速度	50000mm/min
A/B 轴快速移动速度	80°/s
Z 轴加速度	9.8m/s ²
A/B 轴加速度	685°/s ²
主轴最大转速	24000r/min
主轴功率	80kW

循序渐进的工作方式开展设计与开发工作。该产品的技术指标如表 1 所示。

1 并联机构的概念设计及五轴联动加工设备的总体方案

结合航空大型结构件的加工工艺及要求,在深入调研国内外相关领域发展状况和已有工作的基础上,考察各种五轴联动加工设备机械传动系统的设计方案,设计出具有自主知识产权的并联机构构型及具有工程应用价值的五轴联动加工设备。

2 五轴联动加工装备理论分析

在确定五轴联动加工装备的总体构型之后,以机构的运动学性能作为评价指标,研究机构的尺度参数设计方法。在动力学、刚度建模的基础上,研究加工装备特性,并为伺服电机的选配提供理论依据。借助商用三维实体造型软件开发五轴联动加工装备的虚拟样机,基于有限元软件实现对系统静、动态特性的预估及装备薄弱环节的改进。

3 五轴联动加工设备物理样机制造与综合性能检测

制作出五轴联动数控加工装备的零部件,对其中关键零部件的刚度和精度实施了检测与改进。同时对五轴联动加工设备的部装与总装装配工艺进行了研究,并开发出专用装配卡具,完成了样机建造,开展了运动学标定和综合性能检测等研究工作。

该项目研制的五轴联动并联加工设备紧跟国际上飞机结构件加工设备的先进技术和发展趋势,克服了传统飞机结构件加工设备的缺陷,完全打破目前国内市场上飞机结构件五轴联动加工设备全部从国外进口的局面。因此,该项目的研制有着极其广阔的市场前景,并且填补国内在航空大型复杂结构件五轴联动加工设备方面的空白,提高了国际竞争力。

(责编 侧卫)