



赵万华 ZHAO Wanhua

长江学者特聘教授

Chang Jiang Scholar

西安交通大学二级教授

Second-Class Professor of Xi'an

Jiaotong University

全国优秀教师,入选西安交通大学“腾飞人才计划”和“领军人才计划”。主要从事高速加工工艺、高速机床动力学和机电耦合方面的研究。承担的主要课题有:04 重大专项课题“数控机床精度保持性技术研究”、973 课题“超高速加工集成平台与验证”,自然科学基金重点项目“复杂机电系统多维频谱特征建模与集成设计方法”,863 重大专项以及 863 面上项目等。获得国家技术发明奖二等奖 1 项,国家科技进步奖二等奖 1 项,教育部国家技术发明一等奖 1 项,教育部科技进步一等奖 1 项。2004 年入选国家“新世纪优秀人才支持计划”,2005 年获中国机械工程学会青年科技成就奖。2002 年全国高校优秀骨干教师。获得发明专利 10 余项,发表论文 100 余篇,其中 SCI 收录 40 篇, EI 收录 50 余篇。

加强核心技术研究 促进国产机床发展

——访长江学者特聘教授、西安交通大学教授赵万华

Core Technologies Research Promoting Development of Domestic CNC Machine Tools

本刊记者 玲 犀

玲犀: 经过多年发展,我国高档数控机床有了较大发展,但与进口数控机床相比仍存在“形”似而“神”不似的情况,其差距体现在哪些方面?

赵万华: 目前国内机床制造企业基本只做床身、立柱等结构大件(光机)和一些辅助配件,甚至光机

也有专业厂家生产,其中的关键零部件,如数控系统、伺服驱动、转摆头/转摆台和高速电主轴等核心功能部件几乎全部采用高档进口部件,甚至连轴承、丝杠、导轨等基础传动件也依赖进口,这种把数控机床的制造近似为“搭积木”的过程,不可能真正

做出高性能的机床。导致这种状况的原因是,从机床的设计、制造、使用方面没有把其影响精度及精度保持性、可靠性、机床动态性能的内在机理研究透彻,也就没有形成真正的核心技术,即支撑机床企业设计制造的核心工具软件以及相应的规范及标

准,制造企业只能是凭借经验进行设计和制造,也就谈不上创新了。

：为加快高档数控机床研发,我国机床企业该如何着手?为提高国产机床精度保持性,在精度保持性方面需要解决哪些关键问题?

赵万华:首先,国内机床制造企业需要清楚认识到,核心技术是一个企业赖以生存的根本,是企业的生命,是企业占领市场的根本保证,真正的核心技术不可能依靠购买和引进获得。因此,只有自主发展才是国产机床的唯一出路,专心致力于基础研究的积累、核心技术的攻关,才能最终实现国产机床性能“质”的提升。

不论是数控机床的机械、电机及驱动、数字控制以及加工工艺,由于国内对基础研究积累的不足,相对国外专心研究几十年而言,还差的很远,没能形成相应的核心技术成果,也就无法支撑企业技术的提升和产品创新。一些企业尽管成立了研究院,但定位上值得商榷,由于高端人才缺少,也不可能从事有关机床的基础研究。因此在机制上,结合我国国情,应该是产、学、研、用的融合或协同,但需要有长期的合作,而不能像现在围绕项目合作,项目结题后合作也就终止,这种短期合作行为不可能掌握或者突破数控机床的核心技术。

数控机床的设计、制造及使用涉及多学科知识,不可能靠一个专业或者一个人短期就能对其内在机理研究透彻,因此也就难以形成具有应用价值和普适性的技术成果,一些企业开始应用商业的CAD、CAM以及CAE软件,但是这无法解决数控机床研制中的核心问题,如考虑机床精度和性能的主动设计技术、可靠性设计技术、精度保持性技术、精度稳定性技术、基于机床机械特性的多轴联动控制技术、复杂零件加工工艺技术等,很难用商业软件来解决。

精度保持性是评价数控机床性能的重要指标之一,也是影响国产数

控机床性能的主要瓶颈。当前,国产数控机床精度保持性的研究还存在概念不清等问题,导致国内没有一个比较系统的精度保持性研究体系。通过对国产数控机床精度衰退调研,发现造成国产数控机床精度保持性差的原因主要是非正常磨损,整机精度的丧失远比功能部件本身寿命快。

因此,为提高国产机床的精度保持性,需针对国产数控机床设计、制造和使用,提出精度保持性基础研究和体系和技术体系和相应的改善措施。根据前期研究的阶段性结论,可把数控机床的精度分为几何精度、主轴精度和运动精度3大类。从设计、制造两个阶段,为避免非正常磨损,在几何精度保持性方面,设计阶段重点研究考虑服役状态下的大型结合面精度设计、导轨反变形设计以及地脚螺栓布局优化等。制造阶段保证内应力的合理控制、动、静结合面的小或无应力装配,避免装配应力造成的紧固螺栓蠕变等引起的局部变形和动结合部非正常磨损。在主轴精度保持性方面,重点研究主轴轴承预紧力等装配工艺参数以及主轴密封结构等,以减小轴承非正常磨损。在运动精度保持性方面,研究运动部件正常和非正常磨损、电器元件老化造成的参数变化,以及两者间的机电参数不匹配而引起的运动精度下降机理,提出运动精度恢复与保持方法。

：针对在高速、高加速度运行时的进给系统,伺服驱动与机械系统及切削力之间的机电耦合有什么更复杂的特性,给机电耦合的研究增加了哪些难度?

赵万华:在多轴联动高速加工中,各进给轴绝大多数时间处在频繁加减速运动状态,匀速运动所占比例很小,此时机械系统、伺服驱动系统在加工中的动态特性会比中低速运行时具有本质的不同,一些非线性特征、时变特征必需考虑。截至目前,对多轴机床的联动精度一直没有明

确的定义、测试与评价方法,人们只关注定位/重复定位及跟随误差,这些参数是机床基本的精度和性能指标,但是多轴联动加工复杂曲面时,影响质量和效率更重要的是联动下的精度,实际加工下的联动和机床空运转下的联动有本质的不同,原因在于实际加工时刀具和工件处于切削啮合的状态,此时联动的机械系统与非切削时不同,我们形象地称为机械系统从“C”到“O”的变化,同时动态的切削力又作用在联动的机械系统中。多轴机床联动时至少存在3种耦合问题:一是单轴伺服驱动与机械执行系统之间的耦合;二是多轴结构之间存在耦合;三是切削力与刀具/工件啮合状态之间的耦合,这3种耦合都将对多轴联动加工后的工件精度以及表面质量起决定性作用。因此,要想真正做好机床的联动精度和保证多轴联动加工后的工件质量,必须对三轴耦合采取相应措施。

首先,机械系统作为伺服系统驱动的对象,在高速高加速场合下,其移动部件的运动过程会引起系统质量、惯量分布的变化,所受摩擦力、惯性力和负载会引起系统动静结合部力边界及其物理行为特性发生变化,造成机械系统动态特性较静态或低速情况发生改变。另外,伺服驱动系统由于电机结构非线性和驱动电路非线性导致直线电机及旋转电机输出的力/力矩存在畸变行为,包含多阶干扰谐波成份,其耦合激励的幅值、频率和相位都具有时变特性,研究这种耦合的机理及其表征变得十分复杂。多轴耦合机械结构在加减速运动时,轴间耦合力会对系统执行末端的动态响应参数造成显著影响。在复杂曲面联动加工时,刀具/工件切削啮合状态和切削负载存在强时变、参变特性。因此,在高速高加速条件下,多轴联动的高精度控制就必须表征这些耦合作用,在此基础上,提出相应的控制策略。(责编 古京)