

清华缘数控情

——走进清华大学(机械系)智能数控系统技术实验室

CNC Technology Development of Tsinghua University

[编者按]从清华大学机械工程系看数控机床的发展:1958年,中国第一台数控机床在清华诞生;1966年,清华大学王先逵、韩至骏等参与研制出第一台劈锥数控铣床,仅用2个月完成军用劈锥全年生产任务,引起巨大轰动;1992年建立中国第一个计算机集成制造试验系统(CIMS),1994年获国际制造工程师协会大学领先奖;1997年,中国第一台并联机床VAMT1Y诞生,将并联机构Stewart平台应用于支撑接收装置的方案,为FAST大科学工程贡献了清华力量……2019年值清华大学108周年校庆之际,清华大学机械工程系与大连光洋科技集团建立清华—科德智能数控系统技术联合研究中心,产学研合作之路再谋新篇。

■ 数控技术的发展 ▼

数控系统是数控机床实现工艺自动化的核心使能部件,随电子、计算机、信息技术不断发展,随更精确、更高效、更复杂、更有竞争力的工艺控制需求不断发展。经历了第一代(1952年)电子管元件数控装置/穿孔带/三轴控制/旋转交流DC伺服/APT、第二代(1959年)晶体管数控装置/液压伺服、第三代(1965年)IC数控装置/直接数控/电液伺服/步进电机、第四代(1969年)CNC装置/直接数控/晶闸管变流直流伺服、第五代(1985年)微型CNC数控装置/虚拟轴机床/PWM直流伺服、第六代(1990年)基于PC的开放式数控装置交流伺服复合加工DDT伺服,迎来了第七代——智能数控装置:多功能/集成化/智能化/绿色化。

近年来清华大学研制了超导驱动信息制导的新型机床:在国际上首次提出构造原理并研发首台超导机床运动系统,首创超导机床信息基

准原理、信息制导控制技术和零接触零传动体系结构。重要创新包括信息基准取代机械基准,信息制导取代被动导向,机床精度与机械误差、受力变形、温度变形无关。超导悬浮功耗比常规磁悬浮降低93%,可低功耗实现零接触零传动高速高精运动。

研制的活塞加工机床、异型螺杆加工机床、口腔修复体加工机床、螺纹钢轧辊加工机床等数控机床得到工程应用。

目前基本完成快速成野多叶光栅第三代样机:高集成度的8轴伺服驱动;总线实时128轴联动控制器;2.2mm厚钨合金多叶光栅叶片加工;结构功能一体化双传感位置反馈。主要用于实现X射线适形调强和剂量的精确控制,是高端放疗设备的核心使能部件,是数控技术医工交叉的典型应用。在微特直线电机($\phi 14\text{mm}$)创新设计制造及其驱动控制、128轴直线电机联动控制等技术方面取得突破。

2015年起,围绕智能制造持续与西门子研究院开展三期合作,完成

基于神经网络的表面粗糙度预测和基于遗传算法的切削参数优化。

■ 关注行业发展,聚焦核心数控关键技术 ▼

从“六五”到“十三五”40多年间,中国数控技术虽得到发展,但是国内数控企业还不能与SIEMENS、FANUC等国外数控企业比肩。目前行业存在的突出问题:(1)制造工艺方面,数控系统是实现制造工艺自动化的手段,但掌握工艺数据的一线工艺师和工人却无数据收集、分析、共享的平台;(2)电子信息方面,未能充分发挥现代社会电子信息专业研究开发的资源优势,数控系统各个模块单元技术难以极致全面实现;(3)队伍建设方面,未能针对数控系统高技术含量、多学科交叉等特点,小团队研发,没有实现开放化,各个模块相互耦合,结构变更和功能扩展异常困难,没有建立突破人员风险的有效机制。在高档数控机床、高档数控系统产品方面,已经部分实现了“做得出、用得

上”的问题,但竞争力还不够,未来将聚焦“用得好”的问题进行核心数控关键技术研发:

(1) 围绕提高五轴数控轮廓加工精度和加工效率,需要优化 CAM 输出的刀矢轨迹,平滑机床各轴的进给波动,提高加工效率和精度;研究高刚性伺服算法,基于进给伺服驱动性能,提高轮廓加工精度;研究基于人工智能的在位测量与误差补偿方法。从系统的角度提出控制、伺服、传动、在位测量解决方案。

(2) 基于动力学的样条轨迹、速度直接规划和控制。60 年未变的传统 G 代码格式极大限制了数控性能的提升,建立复杂曲线曲面直接插补控制能够更好发挥 CAM 功能,实现参数曲线直接轨迹和速度规划。

(3) 针对典型工件和特定机床,研究成套数控加工工艺,逐步解决国产数控机床做得出、用得上、用得好的问题,提高竞争力。

(4) 工业 Pad-NC+VR 技术,实现无人化机床操作。

清华—科德智能数控系统技术联合研究中心

光洋和科德在国家数控机床重大专项等支持下,建立了数控产业完整的人才链、技术链和产业链,开发了数控系统、伺服驱动、电机、传感器、电主轴、转台、摆头、铸石床身、五轴加工中心、液压元件及工装、工业机器人、自动化产线等系列化国产高端数控装备,与用户合建了“共同研发、共同提升、共同受益”的协同创新体系,掌握了不受国外限制的设计、制造、改进各类五轴机床的能力,业已成为国内五轴加工中心产销量最大且自主化率最高的企业。联合研究中心将担负起国内数控领域企业与高校、产业与科研之间的桥梁纽带作用,促进科研成果的工程化、产业化、市场化,为我国数控产业输送



基于数控加工轮廓误差建模的高速转角平滑算法

更多的优秀人才。

清华大学(机械系)智能数控系统技术实验室学术带头人叶佩青教授,长期致力于数控系统技术的研究开发。近年来,主持科研项目 30 余项,其中国家自然科学基金、国家 863、国家科技支撑计划、国家重大专项等项目 20 余项;发表学术论文 150 余篇,其中 SCI、EI 收录 100 余篇;获得国家发明专利 40 项、软件著作权 10 项,成果获省部级科技进步奖 8 项;成果在国内外得到广泛应用,2 次获清华大学效益显著奖。2005 年 7 月与大连光洋科技有限公司成立了“清华—光洋数控技术工程化联合实验室”,进行科研成果的工程化

和应用,助推大连光洋在数控系统方面技术开发和人才培养,获得企业高度认可。2019 年值清华大学 108 周年校庆之际,双方再度合作建立“清华—科德智能数控系统技术联合研究中心”,挑战精度、效率、工艺控制能力等指标的新高度,将为“产学研”合作之路再谋新篇。

清华大学机械工程系将全力以赴地支持联合研究中心建设,鼓励加强高校的关键技术攻关和科研成果转化,加强在国家重点项目、重点工程中的产学研用相结合,实现强强联合,为我国制造业转型升级、为高端制造装备的自主可控做出贡献。

(采访 良辰)