

创新前沿科技 服务国家发展

——走进机械制造系统工程国家重点实验室

Innovation of Frontier Science & Technology for the National Development

[编者按] 机械制造技术不仅是衡量一个国家科技发展水平的重要标志,也是国际科技竞争的重点。作为我国机械工程领域科技创新的重要载体,机械制造系统工程国家重点实验室1995年通过国家验收,依托西安交通大学机械制造及自动化、系统工程和管理工程3个国家重点学科共同建设运行。近年来,实验室围绕机械制造系统工程的前沿方向和国家需求,重点在增材制造、微纳制造、生物制造等方面开展了具有学科交叉特色的研究工作。同时结合国家科技重大专项“高档数控机床与基础制造装备”计划,发展高速高效加工、高性能精密测量、高精度装配等技术,支撑我国装备制造技术的提升。机械制造系统工程国家重点实验室学术团队强大,创新能力强,相关基础研究和工程应用形成了鲜明的发展特色。

条件与设备

机械制造系统工程国家重点实验室有约3万平方米的集中实验室区域,有70多台大型仪器设备,建立了网上预约的开放服务体系,通过了实验室资质认证(CMA),为社会提供仪器设备的开放服务。实验室支撑高端制造装备协同创新中心和快速制造国家工程研究中心发展,建立了军工质量保证体系和军工保密体系。通过“111引智计划”开展“微纳制造与纳米测试”国际合作,加强了国际合作交流,提升了实验室的科技创新能力和服务支撑能力。实验室自主研制专用设备12台/套,代表性设备如下。

(1) 12米高速超高精度光栅标准测长系统:自制的高速大行程高精度光栅标准测量系统能够对线位移测长传感器(光栅、磁栅、容栅、激光尺)进行精度标定、误差补偿和动

态特性测量,可以对各种速度、加速度MEMS传感器进行动态检测、计量与标定。该系统属于测长领域内的标志性设备,对推动实验室在精密测长定位技术的国内领先地位、加快实验室长度测量计量能力的国际化提升具有重要意义。

(2) 机械旋转部件高效冷却结构热-机械耦合特性测试系统:针对目前机械高速旋转部件高效冷却结构研发面临的测试问题,自主研发了测试系统,该系统可用于轴承、主轴和刀具等高效冷却机械旋转部件的热态特性和动态特性的测试,还可应用于燃机动叶高效冷却结构的试验研究,是国内高端装备的热特性方面功能最全的实验室装置。

研究项目及成果

机械制造系统工程国家重点实

验室近五年来承担国家自然科学基金项目109项,其中重点项目14项、创新群体项目1项;国家重大基础研究计划(973)项目与课题4项,获得国家高技术研究发展计划(863)项目10项,国家重大科技专项21项,国家重点研发计划项目20项,军工国防项目14项。

实验室以《中国制造2025》的核心内容为纲领,为制造技术竞争力的提升做出创新性贡献,增强实验室国际学术影响力和服务国家发展的能力。实验室突出对学科前沿和国家发展的推动作用。

(1) 先进制造原理与技术:主要研究增材制造新工艺,以及微纳制造新工艺、新原理。增材制造方面探索了复合材料的4D打印工艺,研究了可降解材料在生物医学上的4D打印及临床试验,开展了2m以上大尺寸多材料激光选区烧结成形工

艺,实现了涡轮叶片型芯型壳一体化技术研究与应用,研制了野外激光修复技术系统。微纳制造方面研究了纳米测量标准台阶,面向准三维结构制造的新型纳米压印技术,发展了结构压印转移新工艺和压印-诱导成形工艺柔性,提出了飞秒激光湿法刻蚀微纳制造方法,研究了多场协同调控的连续滚压印制造方法,发明了超长光栅连续滚压印装备,研发了高动态 MEMS 压阻式特种传感器。

(2) 制造系统的装备与集成:在大尺寸高速高精加工以及三维动态精密测量技方面开展了研究工作,研究了高速高精度数控机床动态误差控制、机床基础大件生长式拓扑优化设计技术,研制了最大加工直径可达到 $\Phi 4000\text{mm}$ 的弧齿锥齿铣磨机床、最大加工直径为 $\Phi 1500\text{mm}$ 的大孔径非球面反射及透射镜的系列化铣磨机床、国内首创的九轴联动双刀叶片加工中心和高能束激光制孔关键技术与设备、复杂工况三维全场动态变形检测技术与设备,以及工业机器人 RV 减速器关键零件检测装置及整机综合性能测试装置。

(3) 制造信息化与制造系统工程:在设备故障诊断与智能维护方面开展了研究工作,建立了机械装备复合故障智能诊断理论与方法,从复合故障的多模式解耦与微弱特征提取入手,发现了复合故障与多特征之间的表征规律,构建了智能诊断模型;在风电机组变转速诊断理论与方法方面,提出了变转速自适应与稀疏诊断的新思路,发明了系列监测诊断技术;开展了航空发动机少测点稀疏诊断原理与健康维护研究;构建了以复杂动力装备核心产品为中心的故障预示与健康状态管理网络服务平台,支撑面向产品的制造服务业发展。

(4) 先进制造系统模式:面向未来智能化、社会化、绿色化、高质量

制造业发展模式,开展了社群化制造模式的概念、实现框架、基本理论与关键技术研究;从系统优化运行角度,以节能减排为目标探索企业能源系统与生产过程的深度协同优化,达到节能减排、资源高效利用的目的;建立了数据驱动的服役质量闭环控制方法,构建了先进制造与研发过程的质量管理模式,设计出多类质量控制图方法;提出 3D 打印制造模式创新质量发展的路径;提出了系列化的供应链质量控制与协调方法,揭示了物流与制造业联动效应和规律;结合典型产业和企业,提出两化(工业化与信息化)深度融合下的产业发展路径与商业模式。针对服务型制造环境下的产品服务系统的开发、销售和服务问题,构建了面向产品服务系统的全渠道供应链管理理论。

科技成果转化

机械制造系统工程国家重点实验室积极促进基础研究向科技转化发展,通过技术入股和技术转让使得科研成果迅速向产业转移,技术转让成果 16 项。其中“空天动力智能制造”产业化项目技术、“航空航天典型零件加工工艺和刀具研究开发及产业化”取得良好的技术转让效益;增材制造技术在教育部快速成形工程中心(陕西恒通智能机器有限公司)应用,形成良好的工程效益。另外,企业应用实验室专利 62 项,为秦川机床工具集团股份公司、西安中航动力精密铸造有限公司、上海航天设备制造总厂、西安大运航空装备有限公司、浙江海德曼智能装备股份有限公司、北京微纳精密机械有限公司等企业带来巨大效益。

国内外交流与合作

机械制造系统工程国家重点实验室重视开展国际合作,在微纳制造、增材制造、机床加工、故障诊断等方面与国外优势单位开展合

作。在微纳制造方向,获批建设“微纳制造与测试技术国际合作联合实验室”,联合了澳大利亚新南威尔士大学、英国伯明翰大学、美国南加州大学、加拿大西蒙菲莎大学、香港城市大学的一批著名学者开展合作研究,由国际领军人才组成的合作队伍达到世界一流水平,开展了人员的交换和研究生的交流,取得了合作成果。在增材制造方向,与英国伦敦学院大学(UCL)在骨/软骨的 3D 打印体外构建方法和性能评价以及个性化足具的设计、3D 打印工艺研究等方向开展合作基础,共同申请了欧盟地平线 Horizon2020 框架协议项目。通过国际交流合作,形成资源共享,借助智力资源,提升研究实力和形成学术影响力。

在国内合作方面,依托实验室的基础,成立了“高端制造装备”协同创新中心。协同创新中心由西安交通大学牵头,联合浙江大学、大连理工大学、华中科技大学、沈阳机床、秦川机床、洛阳轴研科技、大连机床、昆明机床、北京工研精机、华中数控等单位,依据“国家急需、世界一流、制度先进、贡献突出”的精神,共同组建。建设高速高效加工装备、精密超精密加工装备、新工艺与装备等产品的中试试验基地,完成资源的有机集成。通过合作形成了一批成果,实现了基础研究向产业化发展。

实验室旨在建立覆盖制造系统的全流程,面向全生命周期开展制造系统研究,体系完善,不断自我创新发展,是国内外全面研究制造系统工程研究的领先基地,为国家制造强国战略发展贡献力量。实验室弘扬“西迁精神”——胸怀大局、无私奉献、弘扬传统、艰苦创业,立足西部,面向世界在科技创新、服务国家、人才培养方面做出了显著贡献,展示出在国际学术前沿和制造业创新发展中的不可替代作用。

(采访 海山)