

# 01

# 智能制造与机器人

SMART MANUFACTURING  
AND ROBOTS

/  
/



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# 目录

## CONTENTS

### 01

#### 智能制造与机器人 (18项)

1. 地面移动巡检机器人 (机电学院)	1
2. 轨道巡检机器人 (机电学院)	2
3. 面向汽车轮毂去毛刺机器人 (机电学院)	3
4. 电网线巡检机器人 (机电学院)	4
5. 特种无人车环境感知与避障技术 (航天学院)	5
6. 深海永磁电机 (电气学院)	6
7. 高温高压强永磁电机 (电气学院)	7
8. 电磁超声无损检测技术 (电气学院)	8
9. 低压大功率交流电机驱动控制技术 (电气学院)	9
10. 模块化通用型微型涡轮动力装置 (电气学院)	10
11. 电器可靠性与质量一致性关键技术及应用 (电气学院)	11
12. 密封电子元器件及电子设备多余物自动检测技术 (电气学院)	12
13. 光纤微探头式激光位移传感技术 (仪器学院)	13
14. 甚多轴高速超精密激光干涉测量技术 (仪器学院)	14
15. 宏/微跨尺度阵列式深微结构测量技术 (仪器学院)	15
16. 复杂微结构三维光学显微测量技术 (仪器学院)	16
17. 大口径光学元件原位三维显微测量技术 (仪器学院)	17
18. 大型超精密隔微振技术 (仪器学院)	18

# 1.地面移动巡检机器人（机电学院）

## 【成果简介】

针对能源、电力、煤矿等行业生产作业特别是针对园区室内外大范围人工巡检工作强度大、工作效率与质量不稳定、存在漏检等问题，团队研发了一系列先进的高效地面巡检机器人设备与系统。该技术以智能机器人为核心，基于先进的机器学习和感知技术，打破了传统巡检方式中人力资源有限、效率低下的局限性。通过模块化的科学设计，搭载高清摄像头、红外热像仪、声音采集传感器及温湿度等传感器，采用非接触检测技术、多传感器融合技术、模式识别技术及导航定位技术等，实现对仪器仪表、液位计、磁翻板、异常声音及异常温度的检测，实现对目标场景自适应的全方位、全自主智能巡检和监控，有效降低巡检人员的工作强度，降低生产运维成本，提升巡检作业和管理工作的自动化及智能化水平，为行业智能化管理和安全保障提供了可靠支持。

## 【技术指标】

机器人可在室内外场景自主巡检，室外定位精度 $\pm 100\text{mm}$ ，室内定位精度 $\pm 10\text{mm}$ ；特定场景下定制机器人可在 $-40^{\circ}\text{C}$ 极寒室外环境持续稳定运行；机器人在复杂工况巡检任务中，设备测温精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，在盲区多、易干扰条件下，针对设备的读数检测、声音异响检测等综合数据检测的识别率92.5%，明确任务场景中识别准确率 $\geq 99\%$ ，可智能识别设备区的人员及其他目标物特征，及时发现安全隐患。较传统人工巡检方法，机器人系统可实现区域无人值守，并显著提升巡检效率和准确性。

## 【应用前景】

该技术可广泛应用于发电厂、电力行业、煤矿行业、冶金行业等生产场景。已成功应用于泉州某变电站、宁德某变电站、泉州某电力机房、宜春某热电厂、鸡西某煤矿、山西某煤矿、航空煤油、福建某粮库等场景，并逐步在行业内进一步推广。

## 2.轨道巡检机器人（机电学院）

### 【成果简介】

针对煤矿行业、热电行业以及冶金行业生成场景中存在作业环境复杂、空间狭小、高空作业对人工巡视造成的阻碍以及大范围巡检导致的人工巡检频率低、时间间隔长等问题，研发了一系列先进的高效轨道巡检机器人设备与系统。通过以沿轨道运行的高可靠性移动平台为载体，集成智能控制系统、深度学习视觉算法、分布式后台服务等核心技术，实现视觉识别、设备测温、环境监测、自主定位、遇障停车、自动巡检等多种功能，为相关行业提供创新智能巡检、智能监控、智能预警的解决方案。

### 【技术指标】

机器人移动定位精度 $\pm 10\text{mm}$ ，最大爬坡 $25^\circ$ ，最小转弯半径 $500\text{mm}$ ，防护等级IP65；针对煤矿井下场景，矿用防爆设计防爆等级Exib 1 Mb；复杂工况巡检任务中，设备测温精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，在盲区多、易干扰条件下，针对设备的读数检测、声音异响检测等综合数据检测的识别率92.5%，明确任务场景中识别准确率 $\geq 99\%$ ，可智能识别设备区的人员及其他目标物特征，及时发现安全隐患。较传统人工巡检方法，机器人系统可实现区域无人值守，实际检测效率远高于人工作业。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于煤矿、冶金、热电等生产场景。已成功应用于鸡西某煤矿绞车房、磁选车间、水泵房，伊春某钢厂高炉，内蒙某热电厂等场景，并逐步在行业内进一步推广。

### 3.面向汽车轮毂去毛刺机器人（机电学院）

#### 【成果简介】

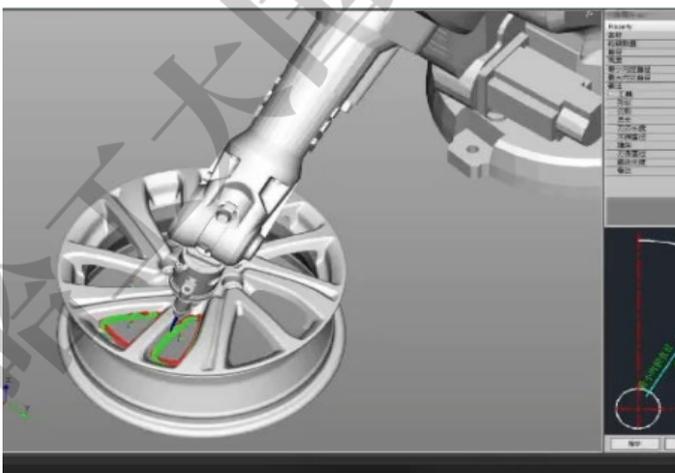
针对汽车轮毂去毛刺替代人工作业的自动化问题，面向轮毂复杂形状、多品种、形变等挑战性因素，结合去毛刺工艺和制造特点，团队研发了机器人加工轨迹离线编程和在线优化系统装备。提出基于几何特征的轮毂视觉检测与定位、基于CAD图纸的轮毂加工轨迹快速编程和基于One-Shot在线优化等方法，形成了集视觉、运动和工业机器人的集成工作站，实现了轮毂检测、机器人快速离线编程和在线轨迹纠偏等能力，解决了铝合金轮毂自动混线去毛刺加工关键技术与装备研发。

#### 【技术指标】

基于2D视觉的轮毂型号识别与定位，识别成功率99.9%，定位精度0.2mm；基于2D视觉的轮毂窗口边线提取技术及机器人轨迹在线误差补偿；去毛刺节拍：40s~80s。

#### 【应用前景】

目前针对铝合金、铝镁合金铸造、锻造汽轮及摩轮窗口毛刺自动混线解决了机器人轮毂去毛刺自动化问题，可应用于车轮毂制造单位，已在杭州、河北和安徽等区域应用，有效提升了去毛刺效率和作业可靠性。



离线编程仿真



去毛刺机器人

## 4. 电网线巡检机器人 (机电学院)

### 【成果简介】

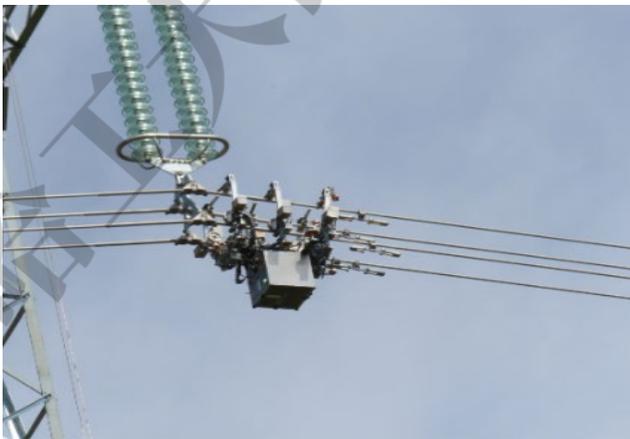
我国山区电网分布广泛，依山、跨谷、跨河等高海拔复杂分布，仅云南昆明局管辖6k多公里线路，由于山区横风等多变气候，易造成巡检的无人机摔坏，且无法对线体进行360环视检测，对高海拔的高压线巡检无人化提出了挑战。为此需要能够在线路巡检的机器人，特别是500kV交流线路间隔棒、线体、防震锤和垂线夹等多目标多方位巡查，存在检测内容多、行走困难等挑战。针对高原、大坡度和横风影响的500kV输电区域，团队开发了一种六臂式仿生500kV高压线巡检机器人，替代人工进入电场，突破了基于安全等电位、线上障碍检测与定位、行走避障、多传感器融合损伤检测和线上取电等关键技术，实现了线上可靠行走和检测能力。

### 【技术指标】

机器人采用多臂式，可续航4小时，可直接进入电场巡检作业，具备一定防水能力，适用于500kV高压线，线上定位精度小于10cm，线上爬坡能力大于20°，行走最大速度为5km/h，线上取电24V不小于2A。

### 【应用前景】

通过现场验证，500KV高压线巡检机器人具有良好的线路适应性，稳定行走和越障能力，可满足山区高压线检测挑战性需求，保障山区线路智能巡检任务，该成果可与大型电网、电力等国企央企和科研院合作。



线上巡检作业机器人



高压线巡检机器人系统

## 5.特种无人车环境感知与避障技术（航天学院）

### 【成果简介】

面向岛礁、山区等环境地形复杂地区，对无人巡逻车的实际需求，团队研发了特种无人车环境感知与避障技术，突破了非结构化场景定位与建图、敏捷避障与高低速、航向偏差突变以及环境工况变化等多模态切换控制关键技术，开发了激光雷达+相机信息融合在线建图技术、A\*+动态窗口法的组合路径规划技术、基于雷达+超声波数据融合障碍物检测的动态避障技术以及远程无线信号传输技术+近端操控系统设计技术。相关研究成果已授权软件著作权2项。

### 【技术指标】

特种无人车最大速度 $\geq 50\text{km/h}$ ，通信延迟 $\leq 50\text{ms}$ ，平均轨迹跟踪误差 $< 0.5\text{m}$ ，自主巡逻速度 $\geq 20\text{km/h}$ 。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于无人平台或特种无人装备的应急救援、管廊巡检等领域，相关研究成果已成功应用于某型号无人巡逻车上，实现批产生产。

## 6. 深海永磁电机（电气学院）

### 【成果简介】

为有效解决我国深海运载器、大型水下作业装备相关配套关键部件受国外制约的现状，项目团队针对深海永磁电机的设计、控制、制造等关键技术，成功研制了国产化产品，工作深度达到全海深，效率等指标优于国外产品。深海永磁电机主要应用于深海装备的推进器、高压海水泵、液压系统等，是各类深海装备的关键部件。在深海永磁电机及驱动器研究的基础上，项目团队开发出了系列深海推进器产品，其具有单位功率推力大，重量轻等特点。科研成果于2019年获国家技术发明二等奖。

### 【技术指标】

深海永磁电机具有体积小、重量轻、效率高等优点。电机最大功率：50KW；推进器推力：250Kg；耐水压：110MPa（全海深）。

### 【典型应用】

应用于我国“奋斗者号”、“蛟龙号”、“深海勇士号”载人潜水器等水下装备，打破了国外的封锁，填补了国内空白。可广泛应用于水下遥控机器人（ROV）、自主式水下航行器（AUV）、载人潜水器、深海采样取芯装备、深海空间站以及深海装备中，用于推进器驱动、液压泵驱动、海水泵驱动、水下机械手驱动。



深海电机及推进器

## 7. 高温高压强永磁电机（电气学院）

### 【成果简介】

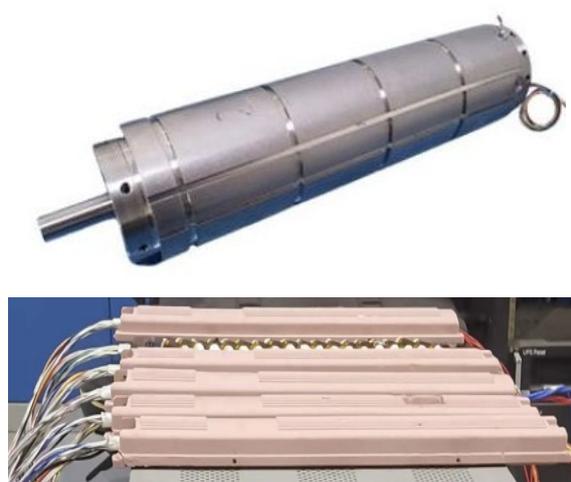
高温高压强永磁电机是油田测井和随钻装备中的关键部件，长期依赖进口，受到国外的严密封锁。项目团队经过多年的开拓与积累，已掌握了高温高压强永磁电机的设计、制造、控制等关键技术，先后为中海油、中石油、中石化等单位研制了50余种电机及相关产品，包括无刷直流电机、永磁同步电机、驱动与控制电路、涡轮发电机、磁定位器、磁力耦合器、电磁铁、电源模块、变压器等，成功应用于随钻测井系统、地层测试仪器等油气勘探设备中。产品具有效率高、体积小、控制特性好等优点，技术指标达到国际领先水平。该技术成果于2019年获国家技术发明二等奖。

### 【技术指标】

最高环境温度 220°C；环境压力210MPa；电动机功率：20W~3.5kW；发电机功率：20W~4kW；电源模块功率30W~1kW。

### 【典型应用】

应用于“璇玑”随钻测井系统、地层测试、大直径旋转井壁取心仪、井下工具、扶正器、切管机、超声成像脉冲发生器、旋转导向等油气勘探设备中。可广泛应用于随钻测井系统等各类油气田勘探设备和潜油电泵等给各类采油设备中，用于液压泵等负载驱动控制和发电系统的供电。



高温发电机、电动机及大功率电源模块

## 8.电磁超声无损检测技术（电气学院）

### 【成果简介】

电磁超声无损检测技术作为一种新兴检测技术，利用电磁耦合方式激励和接收超声波，具备非接触、无需声耦合剂、以及容易激发各种类型超声波的特点，能够适应高温、高速、在线等恶劣环境。项目团队建立电磁超声换能器多物理场耦合模型，提出考虑热场和外电路约束的电磁超声换能器多物理场-电路耦合建模方法，实现对电磁超声换能器各个物理场和等效电路模型的仿真计算，定量分析电磁超声换能器各项性能指标，建模精度优于90%。提出电磁超声脉冲压缩信噪比提升方法，通过相位和频率调制改变激励信号，分别在时间域、空间域和时空结合域采用脉冲压缩技术，电磁超声信号信噪比提升了20dB以上。

### 【技术指标】

电磁超声换能器多物理场耦合建模精度>90%；功率放大电路输出电压峰值最高2500V，输出电流峰值200A以上，工作频率覆盖8kHz~10MHz；电磁超声信号信噪比>16dB；电磁超声换能器最高工作温度1200℃；螺栓轴力测量精度 $\leq \pm 5$ ；腐蚀厚度测量精度0.001mm。

### 【典型应用】

电磁超声无损检测采用电磁超声换能器结合物联网技术，在中特检、地方特检院、中石油、中石化等10余家单位获得广泛应用，解决了高温易燃易爆管道、高压容器在线腐蚀厚度检测难题，对管道剩余寿命进行预测，能够帮助企业对腐蚀速率进行监测，提高了设备的质量和可靠性。



电磁超声无损检测设备

## 9. 低压大功率交流电机驱动控制技术（电气学院）

### 【成果简介】

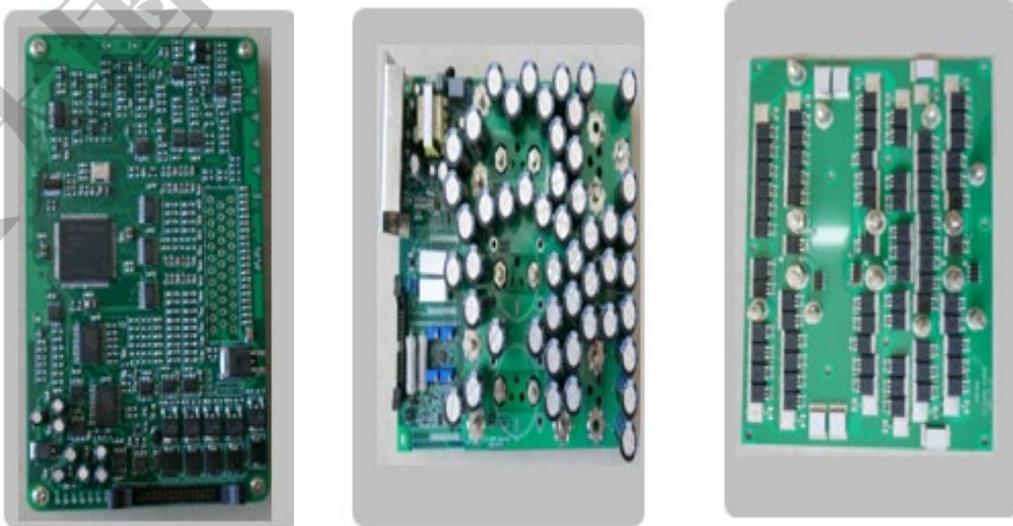
针对电动工程车辆控制器相关技术需求，团队形成了完整的低压大功率交流电机驱动控制技术，包括100V/400A、48V/450A、24V/200A等不同功率等级的技术路线，实现了永磁同步电机、同步磁阻电机、交流感应电机在电动工程车辆领域中的应用。针对目前工程车辆电机及控制系统存在问题，解决了大电流器件并联技术、电磁干扰防护、热设计、长寿命运行、电机参数在线辨识、电机最佳效率运行、车辆差速运行、故障预测等一系列重要问题。相关研究成果已经在电动搬运车、电动仓储车、电动环卫车和消防车等得到具体应用，对加快国内传统燃油车辆替代具有重要意义。

### 【技术指标】

最大输入电压(直流)：24V~100V；最大输出电流：450A；电机类型：永磁同步电机、同步磁阻电机、感应电机；电机最高转速：10000rpm；电机位置接口：AB增量编码器、ABZ增量编码器、磁编码器、旋转变压器。

### 【典型应用】

该技术可广泛应用于电动工程车辆领域，包括电动叉车、高空机械、仓储车和电动环卫车等。



低压大功率交流电机驱动控制技术

## 10. 模块化通用型微型涡轮动力装置（电气学院）

### 【成果简介】

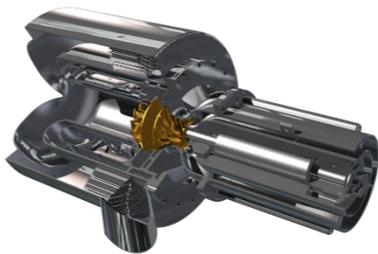
传统的锂电池、小型活塞式发动机或发电机等动力源面临着前所未有的挑战，能量/功率密度低、体积和重量大、制造成本较高等是其致命因素。基于无人系统对高性能动力源的迫切需求，团队基于航空发动机技术，解决了几何尺寸仅为常规航空发动机的5%-10%、功率高约5-10倍、转速高十几倍等技术难题，创新性的研发出了一种重量轻、体积小、排放低、能量密度高的多燃料适应性能量转化机械-模块化通用型微型涡轮动力装置，综合性能指标处于国际领先水平。可实现高效可靠的能源供应，可与电池等能源设备相互补充，共同构建一个更加稳定、可靠、环保的综合能源混合供应系统。

### 【技术指标】

可实现0~16万转/分全转速稳定运行、额定输出功率6KW、油耗达0.5kg/(kW·h)、功重比为1.1kW/Kg、热效率 $\geq 19\%$ ；同总重、同载重下续航时长为锂电池的4-6倍；重量仅为5公斤，是同功率等级柴油发电机组的1/3~1/6，低于同体积锂电池； $\text{NO}_x$ 排放 $< 12\text{ppm}$ ，约等于同功率等级柴油发电机组的几分之一；设计寿命约等于30000小时，为同功率等级柴油发电机组的3倍以上。

### 【典型应用】

已成功研制了应用于微小型智能无人系统的数kW量级的两款微型涡轮动力装置产品，分别为无人机辅助电源油电混合动力系统和便携式电源。该成果还可应用于高压比微型离心压气机内部复杂流动机制及其设计技术；高膨胀比微型向心涡轮内部复杂流动机制及其设计技术；微型燃烧室内高效燃烧及低损失流动组织技术；基于模块化设计思想的微型涡轮动力装置总体设计技术。



产品原理样机及性能试验

# 11. 电器可靠性与质量一致性关键技术及应用 (电气学院)

## 【成果简介】

针对我国电子元器件可靠性与质量一致性差，制造成熟度低、成本高等技术难题，以电子元器件中量大面广的电器为研究目标，开展可靠性与质量一致性共性基础理论与技术研究，构建全链条设计制造技术体系。项目团队提出了电器机构正向设计新模式，形成了理论方法、软件工具、标准规范，大幅提高了电器可靠性与质量一致性，有效提升了制造成熟度，打破了长期依赖和跟仿国外产品的局面，并向其他电子元器件推广应用，赋能高可靠低成本科学制造，推动科研制造转向产业制造。研究成果荣获2021年度国家部委科技进步一等奖。

## 【技术指标】

电器高可靠机构设计与理论建模、全寿命周期质量一致性评价与设计技术居国际领先水平，典型电器开关电寿命从2万次提升至20万次、过负载能力从2倍提升至8倍、耐振动水平从20g 10~2000Hz提升至30g 10~3000Hz、合格率由73.6%提升至94%，优于国际同类产品技术指标。

## 【典型应用】

成果已成功应用于142个系列电器产品，支撑电器高端装备国产化率由90.5%提高至98.8%、质量问题占比下降18.2%，助力厦门宏发、中航光电等企业实现跨越发展。成果正在半导体分立器件、单片集成单路、通用元件等4大专业236系列电子元器件中推广应用，并具备向全部电子元器件及高端装备推广应用的能力。

# 12.密封电子元器件及电子设备多余物自动检测技术 (电气学院)

## 【成果简介】

元器件及电子设备内部存在多余物问题一直是影响装备可靠性和安全性的重大难题。团队通过建立多余物颗粒碰撞动力学模型，提出多余物检测最佳试验条件，并通过建立多余物检测信号的耦合模型，提出了基于小波分析、聚类分析、模糊判别和随机共振等多余物检测方法，解决多余物检测精度低和误判漏判率高的重大技术难题。通过建立多余物材质识别模型，提出了基于数据融合和神经网络的多余物材质识别方法。首次实现了多余物材质识别，解决复杂模式识别模型识别精度低和泛化能力差的重大技术难题。团队成功研制系列化密封电子元器件及电子设备多余物自动检测系统，实现多余物高精度自动检测和材质识别，打破PIND（颗粒碰撞噪声检测仪）设备长期依赖国外进口局面，主要技术指标达到国际领先水平，填补国内空白，并成为我国拥有自主知识产权多余物检测设备的唯一生产单位，市场占有率达60%。2012年获国家部委技术进步一等奖，2014年获国家科学技术进步二等奖。

## 【技术指标】

金属多余物最小检测：0.1 $\mu\text{g}$ ，非金属多余物最小检测：1 $\mu\text{g}$ ；检测准确度：90%，材质识别正确率：80%。

## 【典型应用】

研制的系列化密封电子元器件及电子设备多余物自动检测系统已成功应用于华为问界汽车电控装置（IPU）、立讯精密5G基站用滤波器、厦门宏发汽车继电器的多余物检测中，可推广应用于所有含密封腔体的电子元器件及电子设备中。

# 13. 光纤微探头式激光位移传感技术（仪器学院）

## 【成果简介】

针对微传感头式超精密位移测量对体积极小、易嵌入、能在狭小空间中执行测量任务的迫切需求，研发了光纤微探头式激光位移传感技术与仪器装置。该技术旨在取代国外同类进口仪器，打破西方的垄断和封锁，推动国家超精密加工制造领域的快速发展。相关研究成果入选中国科协-科创中国先导技术榜单。

## 【技术指标】

相较于传统测量仪器，独特优势在于：测头集成度极高、体积极小，易嵌入实验装置或精密装备中，可在狭小空间中执行测量任务；测头与主机仅通过单光纤连接，装调便捷且不引入热污染，易达成超精密测量目标。

## 【应用前景】

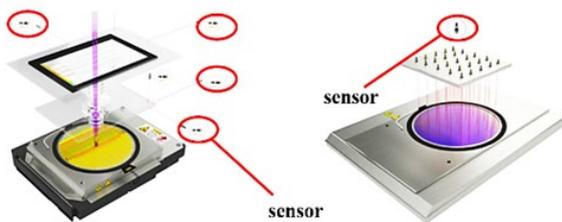
该技术可广泛应用于高端装备制造、基础物理研究等领域，支撑传感式超精密测量需求，为我国高端装备研发提供嵌入式在线位移测量手段。



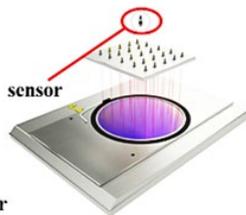
(a)掩模板滑移测量场景



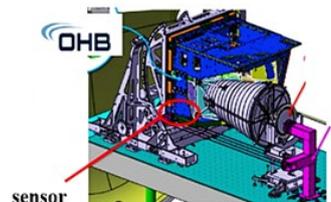
(b)纳米压印轴跳动测量场景



(c)运动位置测控



(d)光学形变监测



(e)卫星内部嵌入测量

光纤微探头激光干涉仪的典型应用需求

# 14. 甚多轴高速超精密激光干涉测量技术（仪器学院）

## 【成果简介】

针对我国高端装备制造提出的超精密测量重大需求，突破甚多轴高速超精密激光干涉测量技术。其重大价值表现在两方面：一是作为光刻机等高端装备中不可替代的核心单元，直接决定装备极限精度与性能；二是作为国家溯源精度最高的长度计量测试仪器，准确统一全国相关量值，并支撑国际单位制量子化变革等前沿研究。该技术主要用于先进光刻机，其内部通常需嵌入包含20个以上测量轴的高速超精密激光干涉测量仪器，以实时测量米/秒级高速运动的掩模/硅片的相对位置，其测量精度要求已达数纳米，并将进一步突破至亚纳米量级，技术处于国际领先。

## 【技术指标】

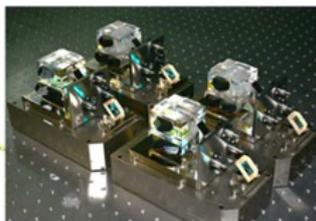
较传统激光干涉测量技术，本技术的仪器稳定性、测量分辨力、测量速度等核心指标均提高一个数量级以上，可在m/s级高速测量下，实现0.1nm级测量精度。

## 【应用前景】

成功应用于光刻机领域，有力地推动了我国高端装备研发进程；应用到德国联邦物理技术研究院高精度计量装备中，促进了超精密测量领域的国际合作。



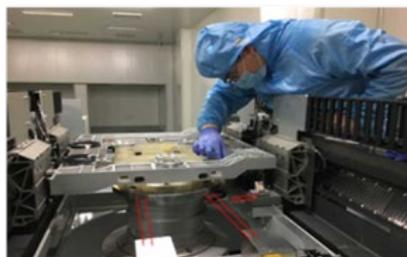
高精度水冷热稳频激光器



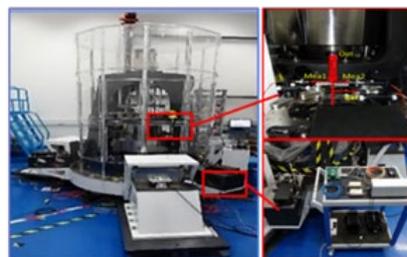
高精度多轴干涉镜组



高速高分辨力干涉信号处理卡



仪器应用—高端装备领域



仪器应用—精密计量领域

## 甚多轴高速超精密激光干涉仪及其应用

# 15.宏/微跨尺度阵列式深微结构测量技术（仪器学院）

## 【成果简介】

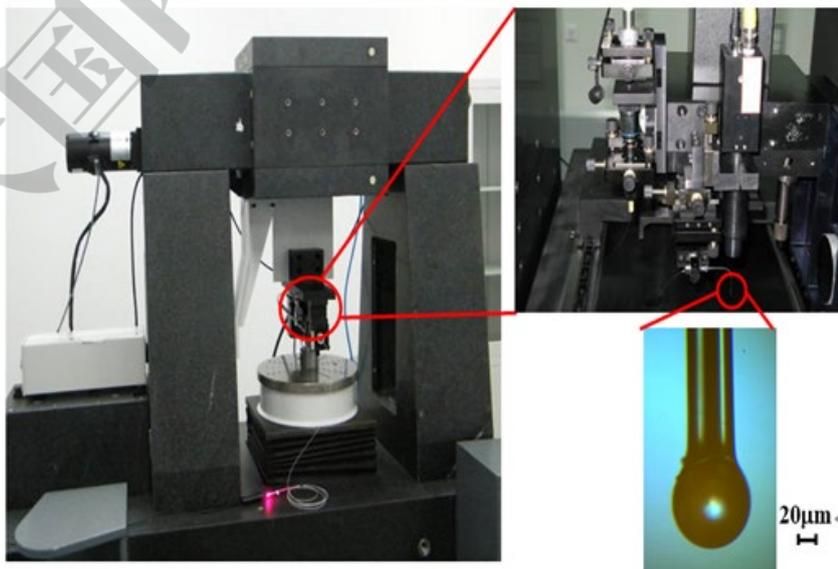
针对我国高端装备制造领域缺乏必要的质量控制手段问题，研发了宏/微跨尺度阵列式深微结构测量技术与装置。本技术通过在传感技术和视觉引导技术两个方面进行突破，以获得快速、全三维、高精度、各向同性的阵列深微结构尺寸位置误差综合参数。在传感技术层面，通过结合光纤测头和弹性测头的优势，提出一种测量特性各向同性的高精度三维测头；在视觉引导技术层面，将视觉引导技术与微测头传感技术结合，通过机器学习综合理解相机采集到的视觉信号以及微测头传感器采集到的触测信号，获得阵列中各微结构的宏观位置信息，并利用宏观运动控制系统引导测头对各微结构进行测量。相关成果获2013年度国家技术发明奖二等奖。

## 【技术指标】

被测宏观尺度不超400mm×400mm；被测微观尺度不小于0.3mm×0.3mm，深宽比不超过10:1；阵列微结构测量路径自动寻优，测量结果不确定度优于1 $\mu$ m；视觉测量过程可自动变焦。

## 【应用前景】

该技术可广泛应用于航空航天、高档汽车和运输装备等高性能发动机中微孔节流与雾化喷注技术中的阵列式微结构的尺度、形状、位置等测量，已在三维直喷雾化部件、直喷式发动机阵列微孔式喷油雾化部件等等多种型号产品中应用。供嵌入式在线位移测量手段。



纳米分辨力微孔直径测量样机

## 16.复杂微结构三维光学显微测量技术（仪器学院）

### 【成果简介】

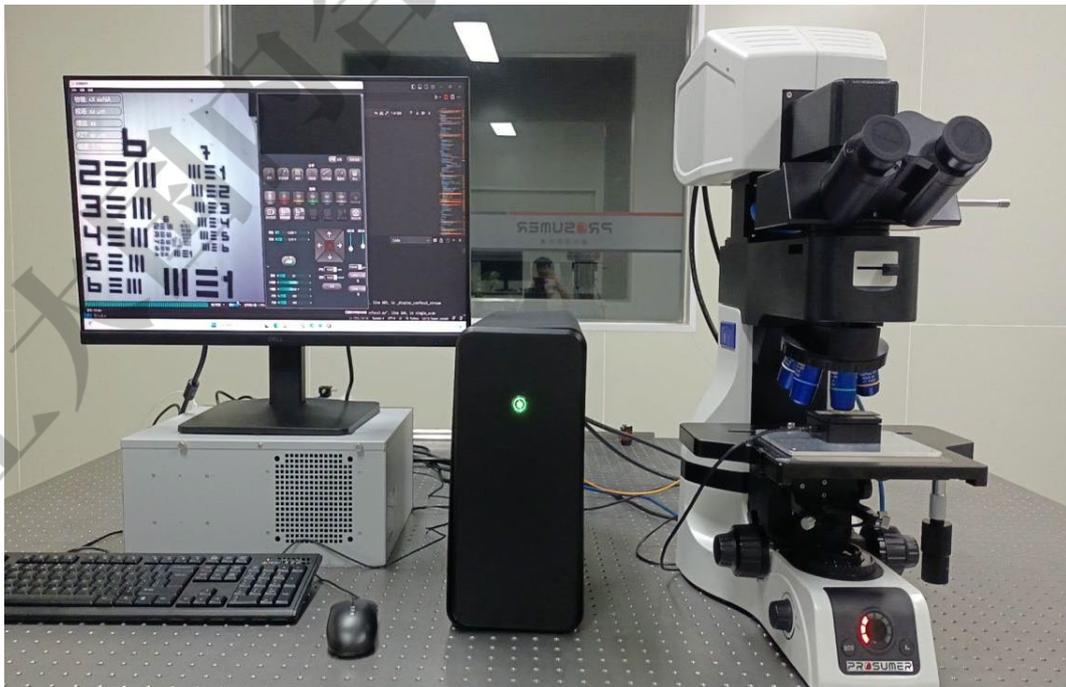
突破复杂微结构表面测量瓶颈和高精密光学元件亚表面缺陷检测难题，研制复杂微结构三维光学显微测量仪。仪器集成明场、暗场、热波和荧光四种三维显微成像模态，可实现表面与亚表面高精度一体化三维测量，同时具备缺陷吸收性评估和识别功能。通过选择不同模块和配件，满足各种个性化的测量需求。

### 【技术指标】

显微视场 $\geq 120\mu\text{m} \times 120\mu\text{m}$ ；水平方向表面显微分辨率 $\leq 200\text{nm}$ 水平方向亚表面显微分辨率 $\leq 300\text{nm}$ ；垂直方向测量范围 $1\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ ；垂直方向分辨 $\leq 15\text{nm}$ ；光滑微结构测倾斜角度 $\geq 60^\circ$ ；单一材料台阶高度测量误差 $\leq 3\%$ ；多层材料台阶高度测量误差 $\leq 5\%$ ；亚表面缺陷检测深 $\geq 110\mu\text{m}$ ；缺陷检出灵敏度 $\leq 200\text{nm}$ ；深度定位精度 $\leq 1\mu\text{m}$ 。

### 【应用前景】

成果仪器可应用于高能激光领域，实现高能光学元件表面与亚表面缺陷测量；可应用于半导体集成电路领域，实现芯片特征尺寸测量。



复杂微结构三维光学显微测量仪

# 17.大口径光学元件原位三维显微测量技术（仪器学院）

## 【成果简介】

针对大口径光学元件的制造/装调原位检测需求，研制了大口径光学元件原位三维显微测量仪，以多轴机械臂作为运动执行机构，兼顾加工状态原位测量（卧式）和装调状态原位测量（立式）。在测量方法上创新性提出暗场共焦三维测量新方法，实现表面及亚表面缺陷微观几何结构三维成像；同时针对原位显微测量存在的环境微振动影响，提出基于加速度传感器的振动监测方案，实现环境微振动补偿和测量校准。该技术可以用于遥感相机光学元件的制造原位检测和装调原位检测，为生产制造和运行维护提供检测及计量保障。

## 【技术指标】

大口径光学元件原位三维显微测量仪，主要技术指标包括：最大可检测元件口径 $\geq 1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ ；缺陷检出灵敏度 $\leq 280\text{nm}$ ；横向分辨力优于 $300\text{nm}$ ；纵向深度定位分辨力优于 $1\mu\text{m}$ ；准确率 $\geq 85\%$ ；最大深度 $> 120\mu\text{m}$ 。

## 【应用前景】

仪器可应用于遥感相机大口径光学元件相关的亚表面缺陷检测。



大口径光学元件原位三维显微测量技术

## 18.大型超精密隔微振技术（仪器学院）

### 【成果简介】

针对光刻机、电镜等高端超精密仪器装备、大型科学实验系统中环境微振动干扰问题，突破被动式气浮/磁浮阵列、主动负刚度与主动阻尼等创新方法，系统掌握大型精密气/磁隔微振技术，实现超大、超重、超精密隔微振性能的兼顾。形成系列大型精密隔微振器、大型/超大型精密隔微振平台、嵌入式隔微振器产品，成功研制浮起重量1500吨的超大型超精密气浮隔振平台，用于航天关键应用，发挥了重要作用。研究成功北京大学大科学工程“多模态跨尺度生物医学成像设施”项目中3000吨级超大型超精密隔微振平台，支撑大科学装置。该方向获授权发明专利120余项，获教育部技术发明一等奖、国家技术发明二等奖等。

### 【技术指标】

最大浮起重量：几吨至几千吨；隔振固有频率：1Hz；平台振动速度：最好可达VC-G级。

### 【应用前景】

该技术可广泛用于扫描电镜等超精密仪器，光刻机等超精密加工装备，以及大型科学实验系统。已在航空航天领域应用上百台套。



大型/超大型精密隔微振平台与隔振器

# 01

# 智能制造与机器人

SMART MANUFACTURING  
AND ROBOTS

/  
/



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# 目录

## CONTENTS

### 01

#### 智能制造与机器人 (12项)

- |                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. 激光增材再制造技术 (材料学院)            | 1  |
| 2. 高爆发超高功率密度微型伺服驱动器 (电气学院)     | 2  |
| 3. 高端装备精密直线电机系统 (电气学院)         | 3  |
| 4. 大型精密光学载荷磁悬浮重力卸载技术 (电气学院)    | 4  |
| 5. 基于光纤光栅传感器的结构健康监测技术 (航天学院)   | 5  |
| 6. 大尺寸微结构滚筒模具超精密加工技术与装备 (机电学院) | 6  |
| 7. 航空子午胎新型钢丝圈缠绕设备 (机电学院)       | 7  |
| 8. 复合型操作机器人 (机电学院)             | 8  |
| 9. 螺栓紧固机器人 (机电学院)              | 9  |
| 10. 介电弹性体驱动器及其柔性仿生机器人 (航天学院)   | 10 |
| 11. 轨/隧道运维机器人 (航天学院)           | 11 |
| 12. 工业机器人系统安全分级评价工具 (电气学院)     | 12 |

# 1. 激光增材再制造技术（材料学院）

## 【成果简介】

针对工业界不同领域大量金属零部件的制造缺陷、服役损伤修复问题，研发了一种激光增材再制造技术。该技术可以通过零件表面激光熔覆修复工艺与装备技术、壁复杂构件的低变形高精密激光修复技术以及激光增材再制造过程智能监控技术，提供更高效、灵活、智能的解决方案，可用于制备高性能耐磨耐蚀涂层、铸造零件缺陷补焊、零件尺寸恢复、服役损伤修复等。通过与工业软件、传感系统的结合，可完成零件缺陷的自动识别、修复、质量诊断的智能化加工。

## 【技术指标】

修复区力学性能达到基材90%，无裂纹、无变形。

## 【应用前景】

该技术成果可广泛应用于航空航天、工程机械、煤矿机械、模具、农机、冶金、轨道交通等多领域。



齿轮修复



发动机叶片修复修复



零件表面涂层制备



农机强化修复

## 2.高爆发超高功率密度微型伺服驱动器 (电气学院)

### 【成果简介】

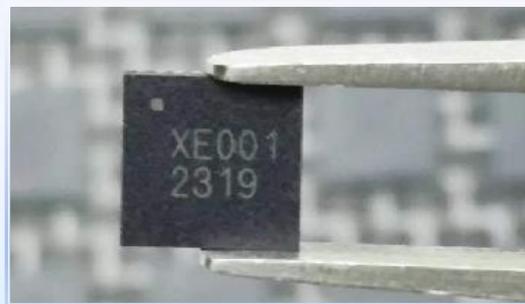
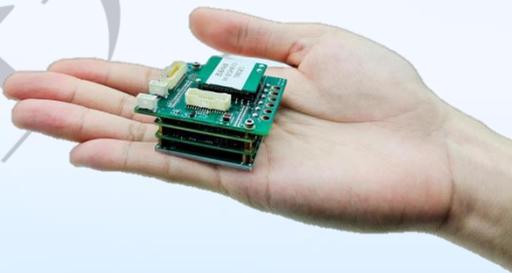
针对人形机器人下肢、手部对高灵巧、高爆发、高集成等性能的迫切需求，重点突破伺服驱动器高功率密度、高效率、智能化等技术，具体包括：开发能量转化效率达99%的栅极驱动芯片技术；开发智能化自组织电流环技术、伺服控制器参数免调试技术；开发最大连续功率达5kW、10kW、16kW的三款高功率密度伺服驱动器。该项目以第一名成绩入选工信部“2023年未来产业创新任务揭榜挂帅-人形机器人电机驱动器”项目，并获得人形机器人头部企业订单。

### 【技术指标】

栅极驱动芯片能量转化效率最高达到99%以上；5kW驱动器工作电压10-95VDC、最大连续电流幅值70A、最大连续功率5kW、体积 $<45\times45\times25\text{mm}^3$ 、重量 $<50\text{g}$ (不含散热板)；10kW驱动器工作电压20-95VDC、最大连续电流幅值140A、最大连续功率10kW、体积 $<50\times75\times33\text{mm}^3$ 、重量 $<120\text{g}$ (不含散热板)；16kW驱动器工作电压45-200VDC、最大连续电流幅值210A、最大连续功率16kW、体积 $<55\times80\times34.7\text{mm}^3$ 、重量 $<210\text{g}$ (不含散热板)。三款驱动器均采用全国产化元器件，具备智能化自组织电流环技术、伺服控制器参数免调试技术等智能化算法，最高功率密度达 $400\text{W}/\text{cm}^3$ ，技术就绪度预期等级达9级。

### 【应用前景】

应用于航空航天、医疗等领域。



高爆发超高功率密度微型伺服驱动器

### 3. 高端装备精密直线电机系统（电气学院）

#### 【成果简介】

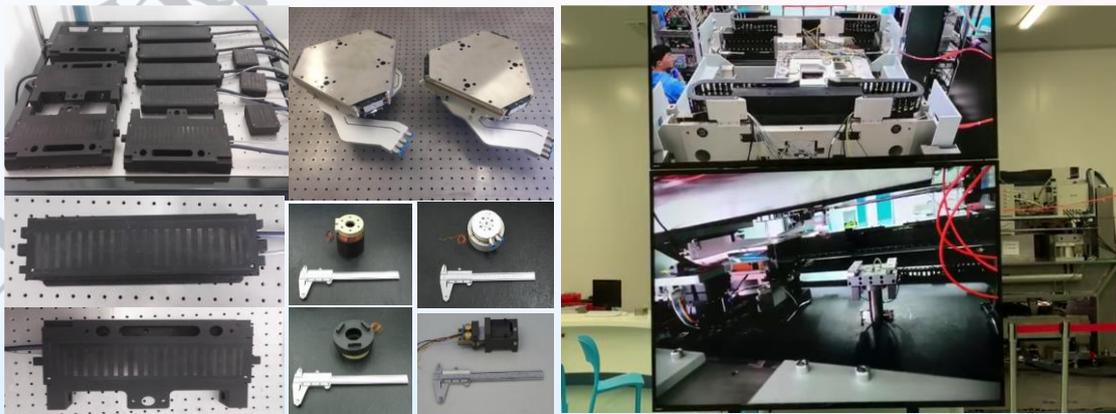
为满足我国光刻机、高档数控机床和智能生产线等高端制造装备国产化的迫切需要，重点研究精密直线电机系统关键基础理论与应用技术，攻克了精密直线电机系统中电机精细化设计、高品质推力调控驱动、强抗扰高精度运动控制策略等关键技术，取得了系列原创性成果，研制出高端装备精密直线电机系统。

#### 【技术指标】

研制长行程宏动直线电机最大峰值推力 $>1350\text{N}$ 、定位力 $<1\%$ 、表面温升 $<0.5^{\circ}\text{C}$ ，最大加速度 $>4\text{g}$ ，最大速度 $>2\text{m/s}$ ，短行程微动直线电机推力规格分布为 $15\text{N}$ 至 $430\text{N}$ ，表面温度控制在 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，定位精度 $1.3\mu\text{m}$ 、重复定位精度 $1.13\mu\text{m}$ 。

#### 【应用前景】

可应用于光刻机、晶圆缺陷检测装备、划片机等集成电路制造装备，以及高档数控机床、智能直线/平面柔性传输系统等高端设备。



精密直线电机系统

# 4.大型精密光学载荷磁悬浮重力卸载技术 (电气学院)

## 【成果简介】

大型精密空间光学载荷在发射之前需要进行地面实验验证，对光学载荷系统性能进行综合测试与评定。传统悬吊测试法与气浮测试法存在系统复杂、寄生干扰大、安全隐患大、无法实现六自由度等问题，限制了大型精密光学载荷的精确性能测试。磁悬浮重力卸载技术利用永磁体之间的相互作用力实现对大型载荷的被动支撑，结合多轴主动补偿与稳定控制，可以实现大型精密光学载荷的六自由度磁悬浮重力卸载。该项成果攻克了磁悬浮重力补偿器精确建模与低刚度实现、大气隙模块化精密直线电机研制、六自由度多支撑点精密解耦控制，大尺寸多约束精密装调等多项关键技术，支撑大型精密光学载荷的地面实验验证。

## 【技术指标】

载荷质量<5000kg、在全行程内三个维度残余卸载力均不大于2.5N、在全行程内三个维度残余卸载力矩均不大于4Nm、卸载质量适应性±10%。

## 【应用前景】

应用于精密光学载荷地面实验验证、精密隔振减振系统等。



磁悬浮重力卸载就技术

## 5. 基于光纤光栅传感器的结构健康监测技术 (航天学院)

### 【成果简介】

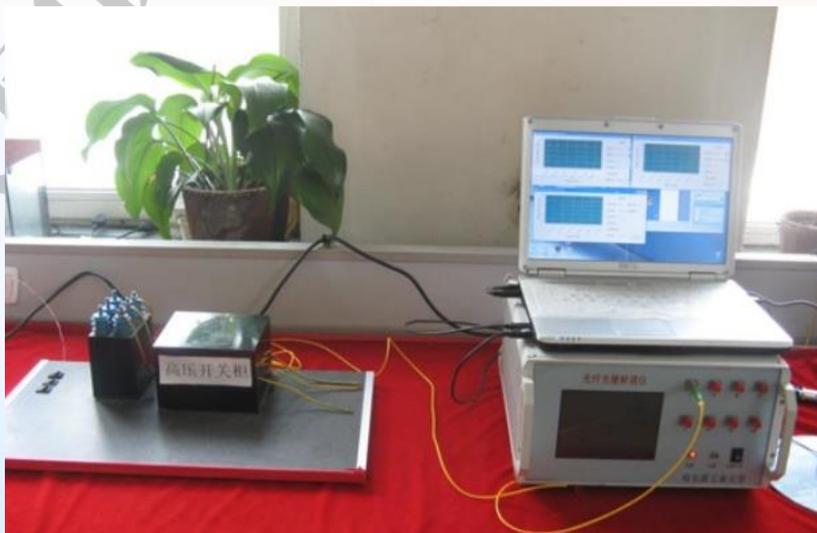
基于光纤光栅传感器体积小、应变温度多参数、准分布绝对测量、抗电磁干扰以及耐腐蚀等特点，研制开发了各种应变、温度、声发射等各种光纤传感器，开发了基于时分复用技术的光栅传感器波长解调仪器，目前已经应用到复合材料成型固化监测、服役监测，高压电力设备温度监测、混凝土应力应变以及舰船结构应力监测等领域，取得了很好的研究效果，技术水平达到国际先进水平。

### 【技术指标】

光纤光栅传感器时分复用解调仪单通道传感器连接数量可以达到500个，应变测量范围： $\pm 7000$ 微应变，温度测量范围： $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，电绝缘。

### 【应用前景】

航空航天复合材料结构、风力发电机复合材料叶片，高压电力设备、输电线/塔的温度及应力监测，土木工程领域大型结构的应力、温度监测，舰船的应力在线监测与评价，石油、化工、煤矿等领域的温度与有害气体监测等领域。



光纤光栅传感器

## 6.大尺寸微结构滚筒模具超精密加工技术与装备 (机电学院)

### 【成果简介】

在国家“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项课题的支持下，科研团队在国内率先开展了大尺寸微结构滚筒模具超精密加工的关键技术攻关，突破了基于光栅衍射原理的微金刚石刀具磨损状态在线监控、低转速条件下的高精度在线动平衡技术、正交叠加静压导轨的动刚度解耦等关键技术，研发成功了国内第一台大尺寸微结构滚筒模具超精密加工机床。目前，该机床装备已经进入实用化测试阶段，已经与国内的多家棱镜膜片生产厂家合作，利用该机床开展相关的工艺研究，争取尽快实现对昂贵的进口设备的替代，打破国外的技术垄断。该项技术为国内首创的自主研发技术，技术优势明显，相关行业需求迫切，市场前景良好。获得一定量的资金和配套场地、技术人员，采用关键核心部件自行生产、非关键核心部件外委加工的生产方式，可以快速实现该技术的商品化和产业化，作为Roll-to-Roll制造工艺的上游核心装备与技术，可以促进大尺寸微结构滚筒模具的Roll-to-Roll制造工艺在液晶面板制造、聚光太阳能发电装置制造、具有隐身及减阻功能的智能蒙皮制造、道路照明等领域快速发展，带动国家的一个战略性产业。

### 【技术指标】

机床加工的工件尺寸最大直径 $\Phi 400\text{mm}$ ；最大长度 $1400\text{mm}$ ；最大重量： $1000\text{Kg}$ 。机床坐标轴的行程：X轴 $240\text{mm}$ ；Z轴 $1500\text{mm}$ ；主轴径向刚度大于 $6000\text{N}/\mu\text{m}$ ；主轴轴向刚度大于 $5000\text{N}/\mu\text{m}$ ；静态回转精度：小于 $0.5\mu\text{m}$ ；坐标轴的运动控制分辨率： $50\text{nm}$ ；微结构的表面粗糙度：Ra不大于 $10\text{nm}$ ；微结构的最小尺寸：不大于 $100\mu\text{m}$ 。

### 【应用前景】

面向液晶面板制造、聚光太阳能发电装置制造、具有隐身及减阻功能的智能蒙皮制造、道路照明等领域，有着广泛的应用需求，是一个国家的战略性产业技术。国内行业需求迫切、未来增长趋势明显。

## 7.航空子午胎新型钢丝圈缠绕设备（机电学院）

### 【成果简介】

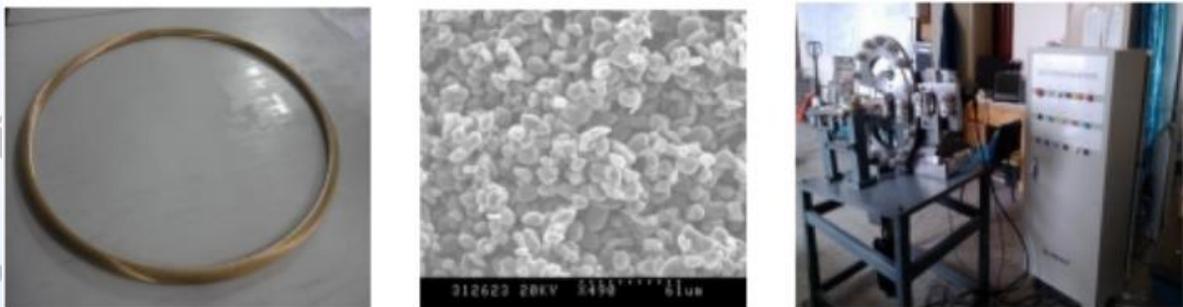
由于国外对我国航空轮胎，尤其是大尺寸航空轮胎的技术封锁，为实现生产高质量、高动态特性、高可靠性及低能耗的大尺寸航空轮胎的技术需求，实现生产高质量、高动态特性、耐高速、冲击重载、高可靠性及低能耗的大尺寸航空轮胎。该项目研制成功可生产的产品为大尺航空轮胎和载重子午胎用新型钢丝圈缠绕设备。该设备具备完全自主知识产权，打破国外技术封锁，填补国内空白，申请国家专利7项，已获得国家发明专利6项。

### 【技术指标】

目前研制成功集成化、模块化、高效率的第三代新型钢丝圈缠绕设备。该设备该新型钢丝圈缠绕设备融合了高精度运动与控制技术；高稳定、低变形夹持技术；精密张力控制技术；精确的轨迹规划技术；新型钢丝圈缠绕驱动技术、钢丝出丝及张力控制技术及装置、缠绕轨迹规划技术。

### 【应用前景】

航空子午线轮胎，高速、重载卡车及乘用轿车轮胎。



新型圆形截面钢丝圈产品及结构图、缠绕设备

## 8.复合型操作机器人（机电学院）

### 【成果简介】

针对电力、轨道交通等领域易燃易爆、粉尘气体污染环境等高危环境下或受限空间、昏暗环境、高负荷操作、高温高压带电等恶劣作业工况下，存在人工作业强度大，人员健康安全隐患的问题，研发了一系列可代替人工作业的智能复合型操作机器人系统。该技术结合高精度机器人移动底盘载体与高精度的视觉装置协同操作机械手或作业装置，相关成果为行业内突破性应用，实现高危场景下无人作业或人机协同作业新模式，降低人力资源成本，保障人员安全，切实有效的保证设备的正常安全运行，为行业智能化无人作业和安全保障提供了可靠支持，或实现应急情况下开展快速应急处置操作，缩小事故影响范围，减小事故造成的损失。

### 【技术指标】

机器人移动定位精度 $\pm 10\text{mm}$ ，在具备各类仪表、指示灯的智能识别、设备表面温度监测、场景跑冒滴漏检测能力的同时，搭载多轴机械臂，携带可易夹具，末端操作精度 $\pm 1\text{mm}$ ，可自主完成停电、接地刀闸的分合、手车的摇进及摇出、打开灭火通道、喷射灭火剂、转向架除冰等操作。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于煤矿、电力、轨道交通等生产或运维场景。截至目前，该技术已成功应用于河南某煤矿低压配电室、广东某火电6kV配电室、宁德某变电站开关室、哈尔滨某动车段作业车间、上东某电厂档案馆等场景，并逐步在行业内进一步推广。



开关室巡操机器人



低压配电室巡操机器人



高压配电室巡操机器人

## 9. 螺栓紧固机器人（机电学院）

### 【成果简介】

针对风塔、铁塔螺栓连接作业，螺栓密集、涉及高空作业、劳动强度大、危险性高、用工荒等问题，开发了主材组立的螺栓紧固机器人。研究了仿人双臂紧固作业机器人。解决了主材螺栓安装孔布局（密集）与辅材等受限空间约束下的机器人堆叠螺栓视觉检测、作业工具操作、双臂紧固操作规划和螺栓阵列任务配置等关键技术，实现了机器人螺栓对准、安装和紧固作业，提高了主材连接智能化和施工安全性。

### 【技术指标】

准确检测和定位螺栓孔、螺栓螺母零件，螺栓孔的定位误差小于0.08mm；拧螺栓机器人底盘能够沿着铁塔导轨攀爬，具有强爬坡能力、载荷能力和驻停能力；机器人行走最大速度500mm/s，负载不小于20kg，连续工作4h以上。

### 【应用前景】

研究成果为国网科研项目，目前实现了仿人双臂螺栓紧固机器人系统开发和算法集成，已可以完成螺栓拾起与紧固作业。随着产品化和工程化研究，将有利于提高电网输电塔建设提升效率以及施工安全性，批量化后进而带来可观经济效益。



螺栓紧固机器人

# 10.介电弹性体驱动器及其柔性仿生机器人 (航天学院)

## 【成果简介】

基于介电弹性体变形大、响应快、质量轻、抗冲击、仿生性好易于加工成型等特点，制作出可产生扩张、收缩、弯曲等大变形的折叠形、卷形、半球形、堆栈形、弹簧-卷形弯曲驱动器，并在柔性仿生抓取装置、柔性仿生爬行机器人等方面进行了初步应用，有望在智能仿生、航空航天、航天侦察、探测、救援及医疗等领域部分取代传统机械式装置。

## 【技术指标】

介电弹性体可以产生100%的面积应变，弹簧-卷形弯曲驱动器变形在 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 可调，介电弹性体及驱动器响应时间： $\leq 0.5s$ 。

## 【应用前景】

智能仿生、航空航天、军事侦察、科学探测、灾难救援等领域。



介电弹性体驱动器产生弯曲大变形

## 11. 轨/隧道运维机器人（航天学院）

### 【成果简介】

国内外应用于轨/隧道运维的机器人普遍为无人机-机械臂或无人车-机械臂等同时具有探测及操作能力的机器人。然而，现有平台存在着续航能力差、或空间可达性不足、或操作稳定性差等缺陷，难以胜任非结构化程度高、作业范围狭长的轨/隧道运维任务。团队研发的系列空地跨域操作机器人平台兼具空中/地面运动能力，高精度检测/高稳定操作能力，属于新型无人作业装备。轨隧道运维机器人产业具有较高的行业壁垒。

### 【技术指标】

团队已研发形成系列空地跨域操作机器人平台，平台具备在空中和地面上的运动能力和操作能力，以及空地零延时切换、高稳定度操作、易转向长续航、高空间可达性等多方面优势。能在轨道、隧道等典型运输通道内，实现卫星信号缺失/间歇失效、先验信息缺失下的自主探索与返航，并在探索过程中完成通道平整度检查、光纤插拔清洗、开关按钮拨动等典型检修任务。

### 【应用前景】

随着我国经济不断发展，铁路、公路等基础设施建设不断完善，轨隧道具有缩短运输距离、改善道路状态等诸多优点，被越来越多地运用到交通运输建设中。面对隧道环境较为复杂、人力巡检难度大、危险系数高等问题，隧道巡检机器人能够较好地适应现代化建设的需要，市场规模不断扩大。轨隧道运维机器人作为机器人细分产品之一，市场潜力巨大，具有广阔的发展前景。



轨/隧道运维机器人样机

## 12.工业机器人系统安全分级评价工具（电气学院）

### 【成果简介】

工业机器人系统普遍存在漏洞容易利用、安全设计缺乏等问题，现有风险评估标准需要大量的人工以及专家经验，评估过程工作难度较大。所开发的工业机器人系统安全分级评价工具旨在提升风险评估过程的自动化与定制化水平，融合风险评估与安全测评标准相关要求，无需对系统中每一项资产、威胁以及脆弱性进行关联，即可实现自动化的风险评估。该工具通过构建工业机器人系统安全分级评价指标体系，可分析工业机器人系统属性及风险影响，自动划分安全保护等级；根据资产类型、威胁类型以及输入信息中风险要素的链接关系，自动构成“资产-威胁-脆弱性”的风险条目，实现风险要素的关联与风险自动映射，并根据每一个风险条目下的风险要素的属性类别，自动关联相关的风险评估指标实现自动评价；融合知识图谱技术，实现风险、风险要素、风险评估指标的关联与可视化展示。

### 【技术指标】

工业机器人系统安全分级评价工具允许自定义配置评价模板，支持评估网络、存储、控制等16项资产类型；安全分级评价指标数量不低于80；支持评估软硬件故障、恶意代码、篡改等11项威胁类型，可生成工业机器人系统安全分级评价结果知识图谱以及评价报告。

### 【应用前景】

所开发工具已对21家企业的基于工业机器人的产线/车间进行了安全分级评价，可推广用于智能制造、电力、石油、化工等行业的工业机器人系统。



工业机器人系统安全分级评价工具

# 01

## 智能制造与机器人

SMART MANUFACTURING  
AND ROBOTS

/  
/



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# 目录

## CONTENTS

### 01

#### 智能制造与机器人 (15项)

1. 复杂曲面机器人扫查系统 (机电学院) 1
2. 人形机器人柔性机械臂 (机电学院) 2
3. 航空先进复材微细结构水导激光精密加工工艺与装备 (机电学院) 3
4. 可控动态锁紧释放机构 (航天学院) 4
5. 井下掘进机全景可视化与智能导航控制系统 (航天学院) 5
6. 高功率激光智能焊接技术及装备 (材料学院) 6
7. 核行业专用激光焊接技术及装备 (材料学院) 7
8. 光谱干涉深孔内径测量传感器 (仪器学院) 8
9. 激光测距传感器 (仪器学院) 9
10. 激光测长测速传感器 (仪器学院) 10
11. 激光测振传感器 (仪器学院) 11
12. 基于深度学习的发射光谱测温系统 (能源学院) 12
13. 航空航天发动机高温智能感知壁面 (能源学院) 13
14. 流量自适应可调喷嘴及喷嘴组 (能源学院) 14
15. 人形机器人电池及其智能管理器 (化工学院) 15

# 1.复杂曲面机器人扫查系统（机电学院）

## 【成果简介】

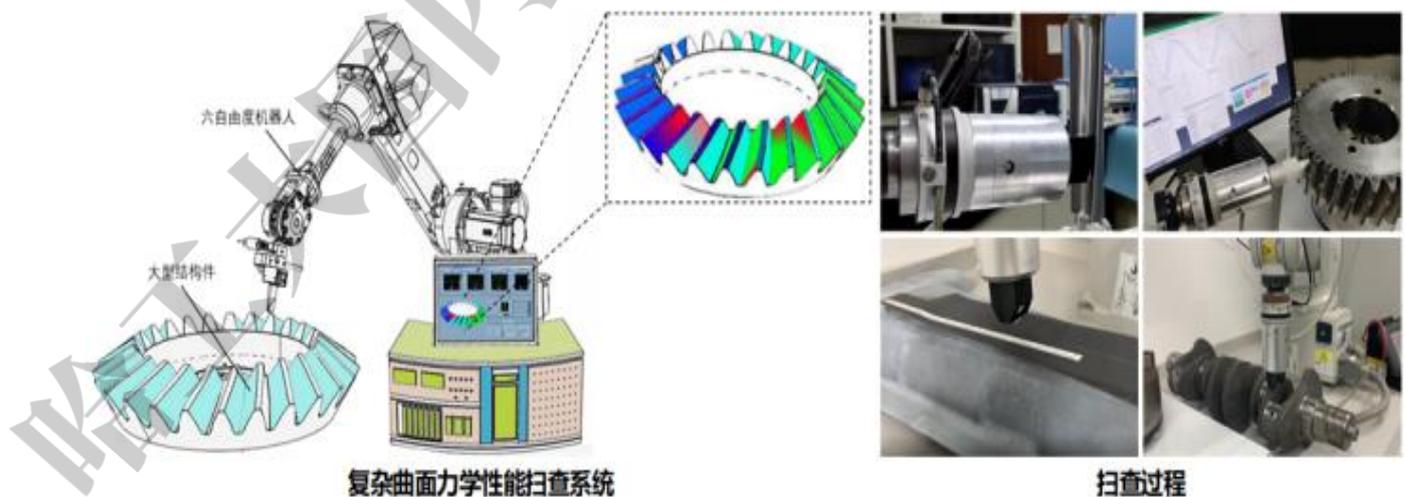
面向齿轮、叶片和曲轴等关键部件表面无损检测中存在自动化程度低、定位精度低、接触稳定性差和可视化功能缺失等问题。提出了结构件表面拓扑关系快速提取和变步长扫查路径规划方法，突破了自适应变阻抗力柔顺控制及振荡抑制技术，实现了复杂曲面力学性能的自动化扫查，保证了检测设备与部件表面间的接触稳定，提高了关键部件的力学性能检测效率和精度。项目成果发表SCI论文4篇，形成软件著作权3项。

## 【技术指标】

最高速度：42次/s；重复定位精度：0.1mm。

## 【应用前景】

复杂曲面扫查系统及力学性能成像软件可用于构建多种检测系统，实现系统的自动化全域扫查，在电力、高铁、汽车领域具有巨大市场。开发过程中形成的核心方法、关键部件和成套技术，可推广应用于我国高端装备基础零部件的制造质量控制。



复杂曲面力学性能扫查系统

扫查过程

复杂曲面机器人扫查系统

## 2.人形机器人柔性机械臂（机电学院）

### 【成果简介】

提出了一种应用于人形机器人的新型柔性手臂方案，设计了刚柔软耦合结构，在具有高灵活性和安全性的同时，增强了柔性臂的负载能力和快速响应性，适应人形机器人在不同环境中的多种任务需求。同时，混合驱动设计使柔性臂具有变刚度特性，并在保持高刚度的同时灵活地改变位姿，为人形机器人手臂的设计提供了新的思路。

### 【技术指标】

本体重量3.79kg；末端最大移动速度0.25m/s；末端定位精度1.24mm；末端负载1kg。

### 【应用前景】

该技术提出了利用柔性臂作为人形机器人手臂的概念，能够与人形机器人刚性手臂形成互补，在特定任务中具有独特优势，如：管道检测、医疗护理等。未来可推广应用于医疗、太空、危险环境侦察等多个领域。



人形机器人柔性机械臂

## 3.航空先进复材微细结构水导激光精密加工工艺与装备（机电学院）

### 【成果简介】

针对进气格栅、隔热屏和蒙皮等陶瓷基、树脂基复合材料部件加工质量差、效率低等问题，提出了水导激光精密加工技术。突破了高能激光与微细射流高效低损耗耦合等关键技术，研制了具有完全自主知识产权的水导激光加工模块和三轴、五轴专用加工装备，实现了微孔深径比 $\geq 20$ 和微槽深宽比 $\geq 40$ 、损伤层厚度 $\leq 5\mu\text{m}$ 的技术指标。项目成果获授权发明专利3项，2021年国家部委科技进步一等奖1项、2017和2015年省级科学技术进步奖2项。

### 【技术指标】

功率：100W/200W，脉宽：100-300ns，重复频率：6-20kHz，射流压力：10-40MPa；三轴设备：X/Y轴行程500mm，Z轴行程200mm，重复定位精度 $\pm 2\mu\text{m}$ ；五轴设备：X/Y轴行程600mm，Z轴行程200mm，重复定位精度 $\pm 3\mu\text{m}$ ；A轴行程 $\pm 100^\circ$ ，C轴行程 $360^\circ$ ，重复定位精度 $\pm 2.5''$ 。

### 【应用前景】

该技术能够替代超快激光、电火花、机械加工等技术，首次应用于中航工业625所的陶瓷基复材隔热屏气膜孔加工，并应用于上海卫星制造厂金刚石热沉微槽加工。还可推广应用于半导体领域碳化硅晶圆、金刚石/铜复材切割等。



航空先进复材微细结构水导激光精密加工工艺与装备

## 4.可控动态锁紧释放机构（航天学院）

### 【成果简介】

针对传统火工品冲击高、可测试性弱的国际公认难题和“天问一号”国旗锁紧释放任务，设计制备了卷绕锁定-展开模式的形状记忆聚合物复合材料的国旗锁紧展开机构，具有可重复测试、可靠性高、冲击小、结构简单、质量轻等优点。研制的国旗锁紧展开机构首次在火星上实现中国国旗的可控动态展开，为中国探测器在火星上打上“中国标识”，在国际上首次实现形状记忆聚合物智能结构在火星探测工程中应用。

### 【技术指标】

收拢尺寸：400mm\*60mm\*55mm；展开尺寸：400mm\*300mm\*55mm；使用温度：-70℃-70℃；加热功率：<40W；供电电压：21V-32V；展开时间：<15分钟。

### 【应用前景】

通过材料和结构自身的主动变形，完成空间展开结构的锁紧释放—驱动展开—刚化承载以及锁定，一个智能结构，完成多个机构动作，大大简化机构复杂性，具有机构简单、质量轻、可靠性高、成本低、可重复使用等优点，有望成为传统火工品的替代品。



中国印记



着巡合影



中国国旗动态展开过程

国旗锁紧释放机构

# 5. 井下掘进机全景可视化与智能导航控制系统 (航天学院)

## 【成果简介】

在开凿煤矿隧道时，工程师们常常用激光束引导掘进机，使掘进机沿直线前进，保证隧道方向不出偏差。但是此方法属于被动引导，掘进机每前进一段距离，与红外射线进行对比，如果偏向就调整掘进机方向。红外激光发射器也要每隔一段时间就需要调整位置容易产生操作失误。针对上述问题，团队研发了井下掘进机全景可视化与智能导航控制系统，能够在尘埃环境下清晰成像的多光谱透尘成像系统，结合激光雷达和惯性导航系统，能够对掘进机周围环境的高精度感知和实时三维建模。解决了井下作业的安全问题，减少因视野受限导致的事故和损耗，降低人工成本，提升作业连续性。实现了自动找直、视觉引导下的自动化作业，以及远程监控下的人工干预操作。

## 【技术指标】

在尘埃环境下清晰成像，内置陀螺仪、加速度计等，探测激光安全等级达到Class1 人眼安全，防护等级达到IP67。测量千米直线偏差小于5cm，偏差角度小于1°。

## 【应用前景】

煤矿机器人被国家煤矿安全监察局列为重点研发目录，具有可观的发展前景。政策鼓励研发能够自主决策、智能控制的掘进机器人，具备定位导航、纠偏、多参数感知、状态监测与故障预判、远程干预等功能，实现掘进机高精度定向、位姿调整、自适应截割及掘进环境可视化。本系统响应政策号召，应用于煤矿行业，也将应用于其他物质开采及隧道勘测等行业，有极大的发展潜力。



井下掘进机全景可视化与智能导航控制系统

## 6. 高功率激光智能焊接技术及装备（材料学院）

### 【成果简介】

针对航空、航天等领域关键部件结构复杂、焊接难度大、焊接效率低等问题，研制了高功率智能焊接技术及装备。解决了复杂构件焊接智能路径规划、路径跟踪、高精度变位、机器人离线编程、焊接机器人智能控制等技术难题。实现了复杂结构部件焊接效率、焊接精度的大幅提升。技术成果已获得2012年国家科技进步二等奖，2013年黑龙江省技术发明一等奖。

### 【技术指标】

激光功率：6kW；机器人自由度：≥6轴；运动精度：≤±0.015mm；焊缝识别跟踪精度：±0.1mm。

### 【应用前景】

该技术能够实现复杂结构关键部件的高质量、高效率焊接。目前该技术及装备已经应用于长征-5、长征-7等发动机喷管焊接大幅提高可靠性及效率；实现批量焊接，效率提高5倍的同时使产品减重30%。可在航空、航天等多领域的复杂部件焊接需求上进行大力推广。



高功率激光智能焊接技术及装备

## 7.核行业专用激光焊接技术及装备（材料学院）

### 【成果简介】

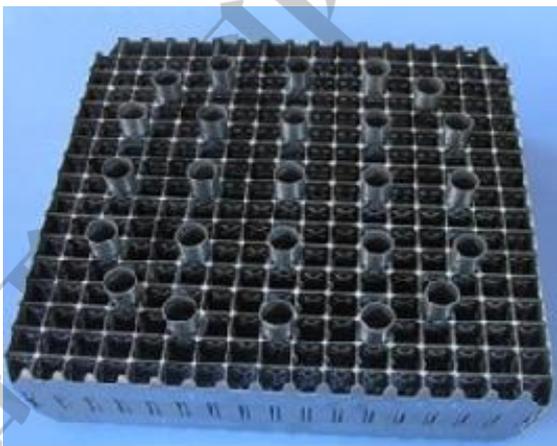
针对核能领域锆合金格架焊接、燃料棒传输及封装面临的核污染、化学污染、焊接结构复杂、焊接质量要求高等问题。开发了格架脉冲激光焊接工艺、真空舱激光束导入技术、多焊点识别与定位技术、研制了细长薄壁锆管全自动装配、焊接、传输及检测装备。解决了多焊点复杂锆合金原件的自动化焊接难题，利用特种环境实现了耐腐蚀、高质量、高效率的自动化智能焊接。

### 【技术指标】

脉冲激光最大平均功率：550W；峰值激光功率：10kW；最大脉冲能量：100J；最小脉冲宽度：1ms；重复定位精度： $\leq \pm 0.05\text{mm}$ ；控制轴数：7轴。

### 【应用前景】

该设备具备激光脉冲点焊和缝焊功能。主要用于真空环境、充氩环境特种环境的激光焊接。系统配备水、氧含量检测系统，可实时监测工作室内的环境气氛，适合焊接锆合金、钛合金、金属基复合材料、金属间化合物等。国内首次研制并应用于AP1000核电站核燃料元件格架的精密焊接。



核燃料元件焊接成品



燃料棒装配、焊接，传输、检测生产线

## 8. 光谱干涉深孔内径测量传感器（仪器学院）

### 【成果简介】

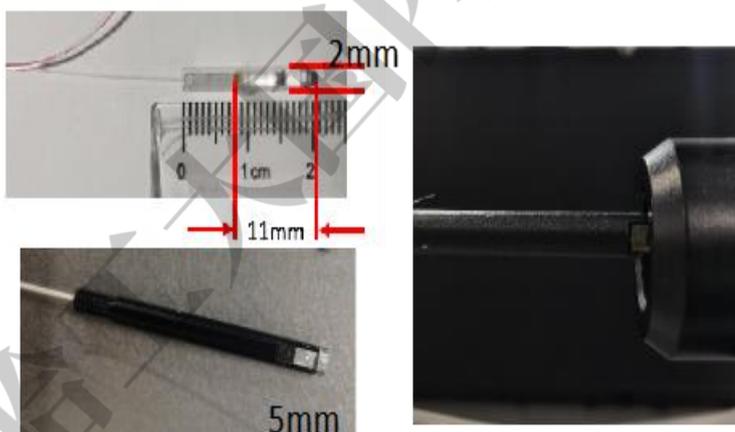
针对深孔零件内壁的检测和故障诊断领域，由于其空间封闭狭小以及要求全场三维测量等特点，现有方法存在测量精度差、效率低、普适性不强等问题。针对该问题研制了高精度白光干涉扫描三维形貌测量系统，提出了基于非均匀快速傅里叶变换（NUFFT）的距离提取算法，并基于JETSON平台，借助GPU并行运算技术实现嵌入式实时信号处理。完成了测量探头小型化设计，设计了伺服位移扫描机构，实现了狭小空间下大量程、高精度、高分辨力的快速实时三维测量。

### 【技术指标】

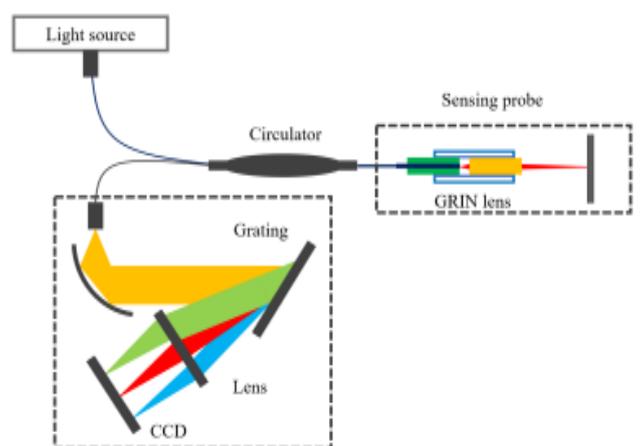
测量量程：0.2mm-18mm；测量精度：0.2 $\mu$ m；分辨率：0.1 $\mu$ m；数据输出速率：7kHz。

### 【应用前景】

深孔类零件广泛应用于航空航天和汽车工业等领域中，典型的深孔类零件有发动机气缸和某些特殊轴承等，并且孔的形状多样，测量精度要求高。本项目将为大型异形孔内壁三维高精度检测提供核心技术支撑，进而提升我国的精密制造能力。



现场测试图



系统原理图

## 9. 激光测距传感器（仪器学院）

### 【成果简介】

针对传统FMCW激光绝对测距中调频速度与调频带宽无法兼顾以及海量数据无法处理的问题，研制了基于阵列DFB-FMCW的非合作目标实时测距设备，通过拼接光谱技术，显著提高了测距精度以及分辨率；基于全并行流水线结构的采集处理系统可实现在百纳秒内对大带宽调频下FMCW测量信号的同步实时处理，使测量效率提高数百倍。所研制的测距系统可以适用于航空航天、风电水电等大尺寸三维的精密测量以及精密对接装备作业中。

### 【技术指标】

**功能：**非合作目标测距、测速；**测量范围：**50m @10%反射率；**测距精度：** $10\mu\text{m}+1\mu\text{m}/\text{m}$ ；**测速精度：** $14\mu\text{m}/\text{s}$ ；**最大测量频率：**1kHz；**阵列DFB-FMCW；测距技术：**兼顾测量速度与测量精度无需预热，开机可用；基于FPGA的全并行流水结构数字信号处理技术；核心器件国产化。

### 【应用前景】

在关键部件对接装配中，可在线检测部件的位姿信息，实现精密对准；汽车车身加工完成后需要进行全尺寸测量分析，从而提高工艺过程的稳定性和生产效率；用于大型线圈的几何尺寸精密测量；此外还可应用于轨道交通、船舶、机器人车间、大型天线加工、高分辨率望远镜加工装配、智能制造等。



激光驱动电路及收发系统



实时数字信号处理电路



现场测试图

## 10. 激光测长测速传感器（仪器学院）

### 【成果简介】

针对接触式电缆测长方法存在测量精度低、测长系统表面磨损、被测电缆线径受限等问题，基于激光多普勒效应以及相干探测技术，通过分析散射光的频移获取被测目标的速度信息，研制了一种纯国产高精度非接触式的电缆测长系统，可以实时准确获得测量目标的横向速度，长度以及加速度。准确测量电缆长度不仅是电缆生产过程中的关键环节，也是反映电缆厂技术水平和质量控制能力的重要指标。因此高精度的电缆测长系统可以大大减少资源的浪费，还能成为电缆企业的竞争优势，提高市场份额，为企业增添经济效益。

### 【技术指标】

**工作距离：**200mm~1000mm(可定制)；**速度精度：** $\pm 0.05\%$ ；**最大速度：**20m/s；**人机交互：**触屏控制、上位机控制；**数据接口：**USB数字输出(1kHz)、TTL同步、模拟输出；非接触测量，无打滑、划痕，不受被测材质影响；**使用便捷：**易集成、参数调整灵活多样、即插即用；直接替代测速辊和编码器。

### 【应用前景】

该系统设备可以用于横切长度控制、流量速度测量、标签打印控制，且适用于铝、铜、钢等金属；纸和瓦楞纸；塑料；电缆、各种管材。该设备通过精确测长为企业的经济效益和国家的节能减排具有积极推动作用。



现场测试图及实物展示图

## 11. 激光测振传感器（仪器学院）

### 【成果简介】

针对半球谐振子的谐振频率、裂解频率、品质因数等关键参数的测量问题，搭建了激光多普勒测振系统测量真空中谐振子的振动，计算其关键参数。测量时谐振子放在真空罐中，测振仪在真空罐外隔着玻璃窗对激振后的谐振子进行测量。这里给出了谐振子的振动曲线，根据振动曲线，计算出了谐振子的关键参数。成功通过项目验收。该项目隶属于“十三五”规划项目。

### 【技术指标】

测量范围：0.5m @10%反射率；最高频率：1MHz；最大速度：15m/s；位移分辨率：1nm；速度分辨率：0.6 $\mu\text{m s}^{-1}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；频率分辨率：10<sup>-5</sup>Hz。

### 【应用前景】

本设备可以对高振动频率，大振动幅度的目标进行非接触式的振动测量。结合动态非线性校正技术可以降低环境振动引入的动态寄生反射；测量特殊场景(如真空罐)下的目标。结合波分复用技术可以降低非合作目标的散斑噪声(如旋转的目标)。



激光测振传感器控制箱与测头

## 12. 基于深度学习的发射光谱测温系统（能源学院）

### 【成果简介】

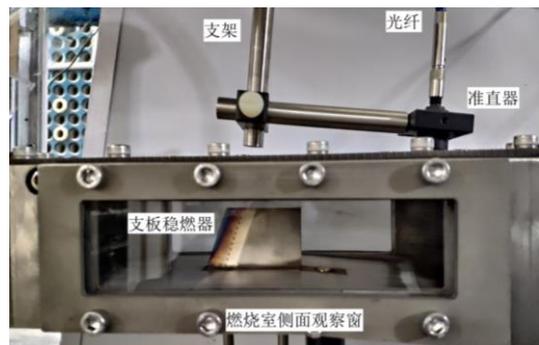
针对超声速燃烧室内高温高压高氧化性环境下，传统的接触式测温探头难以稳定长时间工作等问题，提出了精细发射光谱温度测量技术，发明了一种基于深度学习的超声速燃烧室温度测量方法，突破了超声速燃烧室复杂辐射环境下的低信噪比测量技术，实现了无需外加光源的燃烧室光谱温度测量，降低了测量成本，减小了测量装置体积。项目成果获国家发明专利一项。

### 【技术指标】

单路光谱测温系统尺寸小于75\*100\*35mm，可将多路集成为光谱测温阵列，实现燃烧温度场测量，测温精度 $\pm 1\%$ ，采样率不小于1000Hz；目前最大测量温度可达2000K，目标最大测量温度5000K。

### 【应用前景】

避免了基于接触式测温无法抵御恶劣的环境以及侵入式测量干扰原流场的问题。同时，基于深度学习的超声速燃烧室温度测量方法需要的设备体积小、对实验环境的要求低，避免了基于吸收光谱的测温手段成本较高、要求一定的工作空间、且对实验台抗震性能要求较高的问题。



基于深度学习的发射光谱测温系统

# 13. 航空航天发动机高温智能感知壁面（能源学院）

## 【成果简介】

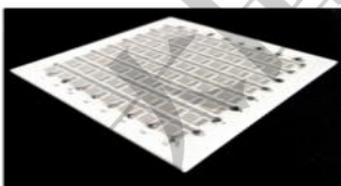
针对航空航天发动机内部参数场分布特征强，传统传感器离散点信息难以进行准确监测诊断的问题。提出了一种基于二维传感器阵列的发动机内壁面智能感知壁面，发明了适用于高温环境下的二维电阻型传感器阵列补偿电阻矩阵方法，突破了在高温部件上的二维传感器阵列精确测量技术，实现了高密度温度分布信息的精确采集，相较于传统传感器大大减少了发动机线缆数量，提高了发动机内部状态监测诊断能力。

## 【技术指标】

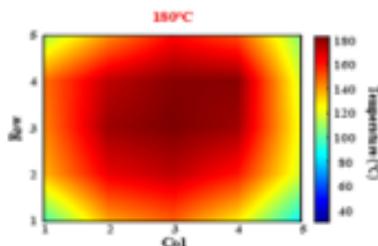
智能感知壁面可用于高温部件表面温度测量，传感器测温范围0-1200℃，传感器阵列测量误差范围不高于±3%，传感器单元布置密度1-10个/cm<sup>2</sup>，布置点间距最小3-10mm，智能感知层整体厚度不超过200μm，与同等规模测量系统相比线缆减重效益80%以上。

## 【应用前景】

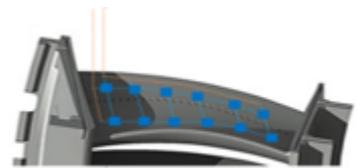
该技术能够获取高温部件表面二维参数分布信息，从而取代传统离散点的测量方式，为航空航天智能发动机监测诊断提供可靠数据。还可推广应用于大型锅炉、燃气轮机等领域中，已应用于东方电气集团东方汽轮机厂燃气轮机实验静叶温度测量。



智能感知壁面样件及贴片



智能感知壁面测量结果展示



燃气轮机静叶温度测量实验

## 14. 流量自适应可调喷嘴及喷嘴组（能源学院）

### 【成果简介】

高超声速飞行器未来向着大空域、宽速域的方向发展，针对宽速域冲压发动机智能调控需求，提出了采用燃油自适应调节的方式实现燃烧室性能调控方法，基于针栓式喷嘴基本原理，研发了一种应用于超声速燃烧室壁面的小型流量自适应调节喷嘴，通过驱动机构及移动部件调节喷注孔的面积实现燃油喷注流量的自适应调节，进一步构建了壁面流量自适应调节喷注的喷嘴组。

### 【技术指标】

小型流量自适应调节喷嘴内部安装尺寸不大于20mm，横向五喷嘴并排喷嘴组安装尺寸不大于100mm，单个喷嘴可实现0-5g/s流量范围内0.2g/s精度的流量调节，每个喷嘴可实现单独调控。

### 【应用前景】

该技术区别于传统的超声速燃烧室固定式喷嘴，可根据燃烧室燃烧情况进行实时单独调控燃油喷注实现燃烧室性能调控，可应用于各类液体燃料发动机中，提升发动机智能化水平。



流量自适应可调喷嘴及喷嘴组

# 15.人形机器人电池及其智能管理器（化工学院）

## 【成果简介】

针对人形机器人长时间续航、高倍率放电需求问题，研制了高能量密度、轻量化、高可靠、可高倍放电、快速充电的电池组，解决了防爆阻燃和高频振动工况下的安全可靠性问题，实现了电池组小型化、轻量化设计。满足人形机器人多场景下的市场需求，服务于未来人工智能场景下新产业发展，经济价值和社会效益显著。

## 【技术指标】

电池组的能量密度不低于220Wh/kg；具有过压保护，过充保护，输出保护，温度保护等功能，通过总线可上传电池电量、电流、温度、报警（过压过流等）信息；充电接口AC220V，充电能力20%~80%SOC，可实现4C充电。

## 【应用前景】

人形机器人应用在工业场景，包括处理物流、制造、安保和复杂任务等领域，替代低级和高危人工劳动、以及部分传统工业机器人无法胜任的工种，是人工智能场景的下一波浪潮，未来预期将达到万亿级别的市场规模。电池作为人形机器人的直接动力源，是其最核心、通用的部件，具备价值量占比高、复用性强的特点，有望成为下一个千亿级赛道。



电池及智能管理器研发平台