

# 08

## 空天科技

AEROSPACE  
TECHNOLOGY

/  
/



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# 目录

## CONTENTS

### 08

#### 空天科技 (13项)

- |                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 1. 极端等离子体环境产生及调控技术 (电气学院)      | 88  |
| 2. 宽带一体化矢量信号发生与分析设备 (电信学院)     | 89  |
| 3. 无人机反制系统技术 (电信学院)            | 90  |
| 4. 无人机复合探测识别技术 (航天学院)          | 91  |
| 5. 高空风探测低成本低扰动棘面气球 (航天学院)      | 92  |
| 6. 气浮式零重力模拟试验技术 (航天学院)         | 93  |
| 7. 人眼安全波段相干激光测风雷达技术 (航天学院)     | 94  |
| 8. 航空用智能变色舷窗技术 (航天学院)          | 95  |
| 9. 高灵敏高分辨精准超声无损检测探头制备技术 (仪器学院) | 96  |
| 10. 300MeV质子重离子加速器辐照试验平台 (环物院) | 97  |
| 11. 电子元器件空间辐射单粒子效应测试技术 (环物院)   | 98  |
| 12. 大型等效连续磁路屏蔽及退磁技术 (环物院)      | 99  |
| 13. 基于零磁环境磁传感器高精度标定技术 (环物院)    | 100 |

# 1. 极端等离子体环境产生及调控技术（电气学院）

## 【成果简介】

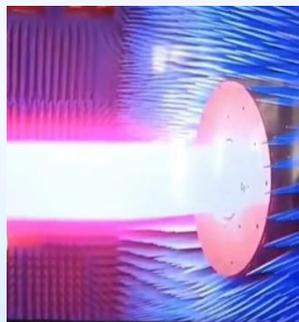
先进等离子体源研发及关键等离子体参数精准稳定控制是特殊电磁环境模拟、材料制备与处理等应用领域的首要环节。提出了基于多物理场耦合、多过程协同、多因素综合的系列等离子体发生方式及关键参数优化理论与策略，解决了极端等离子体电磁环境产生及关键参数调控难题；丰富了目标需求牵引下等离子体产生与调控关键基础理论及应用技术，相关成果成功应用于我国航天领域唯一国家重大科技基础设施“空间环境地面模拟装置”极端等离子体环境模拟，并推广应用于聚变工程技术领域，建成国内首套可实现稳态峰值热负荷大于 $10\text{ MW/m}^2$ 的高热负荷实验室模拟平台，填补了国内空白，为极端环境下特种材料服役性能检测与评价、新型材料改性与研发提供了重要条件保障。

## 【技术指标】

- (1) 大体积高密度束流：典型工作气压（ $10^2\sim 10^3\text{ Pa}$ 量级），上游最高等离子体密度 $\sim 10^{14}\text{ cm}^{-3}$ ，中下游等离子体密度 $\sim 10^{13}\text{ m}^{-3}$ ；最大束流直径 $>35\text{ cm}$ ，长度 $>170\text{ cm}$ ；具有良好清洁度；
- (2) 稳态高热负荷水平：最高等离子体密度 $\sim 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ 量级，峰值稳态热负荷能力 $>10\text{ MW/m}^2$ ，中心最高磁场 $>2\text{ T}$ 。

## 【应用前景】

空天环境模拟、先进制造、极端环境下特种材料服役性能检测与评价、新型材料改性与研发。



极端等离子体环境模拟与调控技术

## 2.宽带一体化矢量信号发生与分析设备 (电信学院)

### 【成果简介】

本成果将宽带矢量信号发生与宽带矢量信号分析功能垂直整合为一个设备，采用PXIe总线模块化架构，便于集成应用。整机由仪器硬件、驱动、算法包和应用软件组成，借助高速ADC和DAC，采用数字上下变频技术，在保证1GHz带宽的基础上大大降低了校准复杂度，通过数字技术提升多项性能指标。成果的优势是不需要校准，且核心的EVM指标优于国外最高端产品，具有业界最高的发生与分析带宽，具有业界最小体积。目前已完成初样机开发、环境试验。

### 【技术指标】

频率范围9kHz~6GHz、最高发生与分析带宽1GHz、EVM达-50dB、功率精度1dB、输出功率10dBm、支持BPSK/QPSK/16QAM等20多种调制方式，提供矢量信号、跳频信号生成、矢量信号、跳频信号分析等多个信号发生与分析功能。

### 【典型应用】

该技术以射频微波芯片测试、高端软件无线电平台为应用场景，目前系统已经成功应用到某系统频谱监测。

## 3. 无人机反制系统技术（电信学院）

### 【成果简介】

针对复杂多变环境下对无人机及信号源定位困难、误差较高的技术难题，研发了无人机反制系统，实现对无人机的侦测、识别、干扰、诱骗等功能。该技术采用TDOA（时间差）定位，采用计算到达时间差的定位方式得到无人机发射位置，并采用认知无线电协议破解技术，通过分析提取无人机控制信号和图传信号特征（电子指纹ID）、信道分布、调制方案、编码方案等信息识别无人机类型、厂商等相关信息，同时采用频谱分析技术以及定制加密算法，实现无人机电子指纹ID的精准识别和保密传输功能，最终实现目标的实时高精度定位及追踪。

### 【技术指标】

探测频段在10MHz~6GHz范围内，识别响应时间小于2s，侦察灵敏度小于-115dBm，探测识别距离大于12.5km，无人机定位精度小于10m，可同时探测识别25架以上的无人机。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于国内现有反无人机侦测与干扰领域，目前已经应用于电力系统护网行动、会议保障、铁路监控平台建设等，并向武警系统等安防安保领域进行推广。



TDOA和导航诱骗产品

成果应用于核电站

## 4. 无人机复合探测识别技术（航天学院）

### 【成果简介】

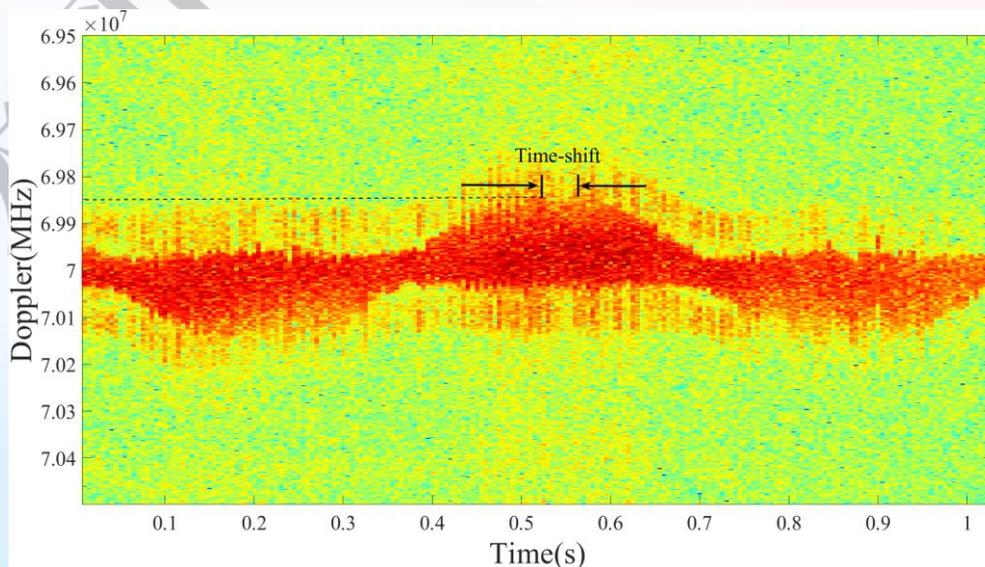
针对现有技术对无人机和飞鸟等低空目标探测识别困难的问题，研发了光学-激光复合低空目标探测识别技术与装备。该技术基于光学图像和激光微动频谱等多域信息融合机理，具有探测距离远、探测精度高、抗电磁干扰强等优点，能够有效解决恶劣天气及强光源背光照射条件下能见度低的问题，对目前的旋翼无人机和飞鸟等目标具有较高的识别率。

### 【技术指标】

该技术对无人机外形、速度、温度、距离以及旋翼组数、旋翼转速、叶片长宽比具有较高的探测精度。微动速度分辨率优于 $0.02\text{m/s}$ ，作用距离 $\geq 2\text{km}$ ，数据率 $\geq 100\text{Hz}$ ，无人机识别概率不低于85%。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于低空目标探测领域，可满足重大赛事、会议等活动中的维稳和安防保障任务要求，也可用于机场净空探测任务。



无人机旋翼激光微动时频特征实验测量结果

## 5. 高空风探测低成本低扰动棘面气球（航天学院）

### 【成果简介】

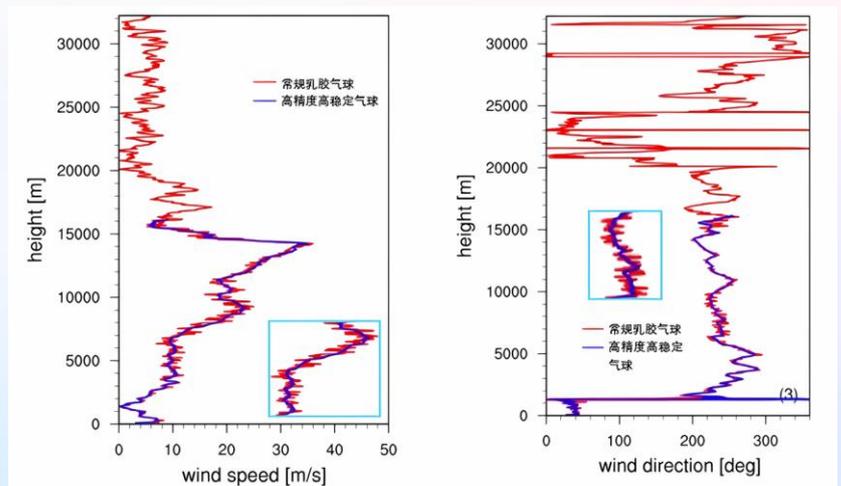
高空风的观测主要应用于所有尺度和所有纬度的业务气象预报，也用于质量场(温度和相对湿度)的观测。大气中各种物理过程和天气的变化都是在三维空间中进行的，不同层次大气的性质各不相同，各高度上气流情况就有很大的差异，因此必须进行高空观测以取得空中各高度上的气象要素值。高空风的高精度探测对各类试验、飞机等空中运输工具航行安全以及气象等方面均有重要意义。

### 【技术指标】

本产品采用的非膨胀型棘面气球，是专门设计为高精度测风用的气球，直径为2米，球面上有数百个突出物(角锥)，通过球体上的角锥实现更好的扰流，使球体升速稳定，在风速25m/s的条件下，在9km以下的升速精度为1m/s，由棘面气球轨迹的精确测量可以得出风速风向及风切变的详细资料，用于高精度测风。目前已完成几十次探空作业任务，实测结果表明测试的风速偏差 $\leq \pm 0.2\text{m/s}$ ，风向偏差 $\leq \pm 2.5$ 。

### 【应用前景】

针对精确测量风速及风切变详细信息，引入超薄高分子有限变形薄膜材料和凸起构型，有效消除侧向风导致的水漂现象，建设低成本大批量产业化生产条件。为我国空间站的建立奠定了高精度高稳定气象气球的应用基础。



测风气球样品及其参数

## 6. 气浮式零重力模拟试验技术（航天学院）

### 【成果简介】

针对航天技术研发和航天器研制中，在地面模拟零重力环境、实现航天器的低应力装配和高保真测试这一技术难题，研发了气浮式零重力模拟试验技术。该技术基于气浮原理，利用静压气体将物体悬浮起来，形成高刚度的气膜，创造近似于零摩擦的环境，实现对太空微重力环境的高保真模拟。发明了高保真零重力试验系统、高精度强适应性气浮式零重力模拟系统以及铅垂向高精度动态重力补偿和回转干扰补偿核心器件和装置，研制了国内精度最高、最完整的在轨服务技术验证平台，首次实现了全流程在轨服务技术的地面验证。该试验技术是一种解决航天器地面测试与在轨运行一致性问题最有效、最直接的途径，对于提升我国航天技术的创新能力、航天装备的研发实力、航天器研制效率、任务费效比具有十分重要的理论意义和工程价值。相关研究成果获国家技术发明二等奖。

### 【技术指标】

该试验平台水平干扰力小于自重的0.5‰，铅锤干扰力小于1‰，三轴质心配平精度小于 $1\mu\text{m}$ 。

### 【典型应用】

该技术可广泛应用于航天等尖端领域的科研生产工作中的模拟、测试、试验环节，包括商业航天公司的微小卫星地面测试试验、高校航天方面学科的教学与实验、民用航天体验与科普教育领域。相关研究成果已成功应用于空间站核心舱机械臂地面零重力模拟试验、火星车月球车地面模拟试验等航天工业部门的型号及预研任务当中。



空间机械臂初样零重力装配试验系统



三自由度卫星模拟器

# 7.人眼安全波段相干激光测风雷达技术 (航天学院)

## 【成果简介】

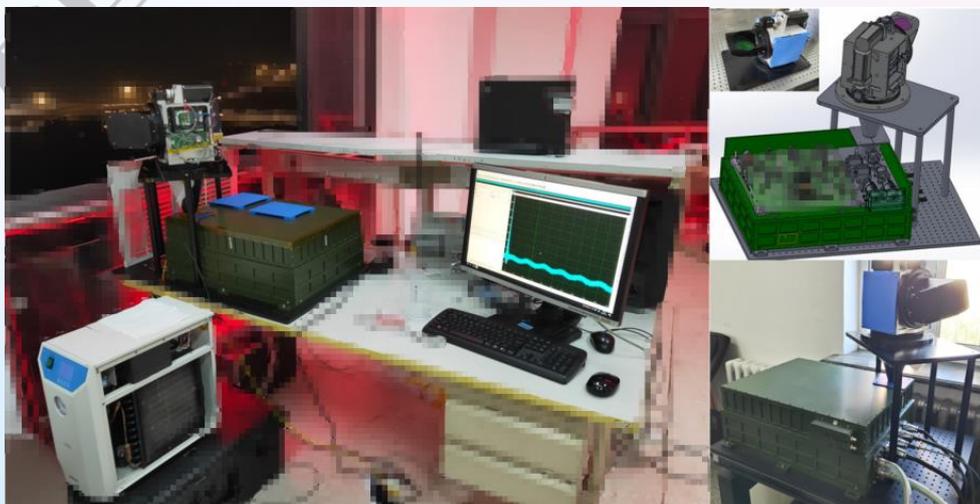
针对大气风场信息在航空航天、风能发电和气象预测等领域的重要作用，研发了人眼安全波段的相干激光测风雷达系统。该技术以1.6mm窄线宽固体激光器作为激光发射源，采用激光相干探测方式，得到高分辨率、高精度的实时风场数据。已研发三代人眼安全波段相干激光测风雷达。完成国内首台全固态1645nm脉冲激光雷达系统样机，实现了晴空条件下大于5km大气风场探测，测风精度 $< 1\text{m/s}$ 。相关研究成果已通过合作院所验收，系统已交付使用。第三代抗失调激光测风雷达已进入验证阶段，将大幅提升雷达系统运行稳定性。相关研究成果获航天科技进步一等奖等。

## 【技术指标】

已完成首台模块化设计、风冷全固态脉冲激光雷达系统样机，种子光模块仅手掌大小，重量小于5kg；雷达探头尺寸47cm\*43cm\*23cm，重量小于25kg，可单人背负，实际测量中实现了10°C~40°C环境温度下系统的正常运行。

## 【应用前景】

该项技术可用于大气风场的测量，描绘风廓线曲线，相关衍生技术可应用于激光微小振动测量。



人眼安全波段激光测风雷达系统

## 8.航空用智能变色舷窗技术（航天学院）

### 【成果简介】

针对现有航空用变色舷窗产品存在变色速度过慢、模式单一，影响客户体验感等问题，开发了基于智能光限幅吸波体材料体系制备而成的智能变色舷窗。该材料可以根据环境光的变化自动调节光线的透过率，从而达到光线限幅的目的，同时在光学和电学性能上同时拥有透明度和吸波性。采用该技术可以制造出具有多种功能的智能光窗，例如自适应调光窗、防紫外线窗、热隔离窗等。这些窗户不仅可以提高生活和工作环境的舒适度，还可以节省能源和降低碳排放。基于该技术，研发了面向C929大飞机的智能变色舷窗等系列产品，达到国际先进水平。

### 【技术指标】

该技术制备的智能变色舷窗较波音787的智能窗，在响应时间上从约90秒提速至0.15秒，节省了近99.8%的时间，且无边缘效应，实现了更一致的视觉效果；阻光性能及红外线阻隔性能与波音787相同，以保证良好的航旅环境，同时拥有波音787不具备的独家多模式调控功能，光强调节范围可以从60%降至1%。

### 【应用前景】

该技术可进一步拓展应用于飞机、高铁、汽车、建筑物等领域，为人们创造更加安全、舒适、环保的生活环境，其将成为智慧城市、智能交通、智能建筑等领域实现可持续发展和绿色生活的重要技术之一。目前，在上海飞机设计研究院客舱环境实验室已安装了首款新型飞机客舱智能变色舷窗。



智能变色舷窗安装效果

## 9.高灵敏高分辨精准超声无损检测探头制备技术 (仪器学院)

### 【成果简介】

针对我国在钢铁及新材料行业，特别是大飞机、高铁等大国重器，在生产过程中的质量在线监控、运行及使用中对精准快速的无损检测的迫切需求，研发本技术。传统的无损检测超声探头都是采用压电陶瓷，最常用的是锆钛酸铅PZT。本技术成果研发了一系列单晶，均展现出非常优异的电机性能。研制的更精准的无损超声检测设备，将极大提高国产设备及器具的无损超声检测水平。由于其可以制作大带宽超声换能器，探头产生的声脉冲信号可以调制的非常窄，使其更适合分辨细微的结构差异，对判断细微地质结构，或者无损探伤中的缺陷类型具有重要价值。

### 【技术指标】

沿晶体本征[001]c方向极化的PMN-33%PT单晶，其压电系数 $d_{33}$ 高于2500pC/N，超过传统PZT陶瓷四倍；电机耦合系数 $k_{33}$ 达到0.92以上，远远优于传统铁电晶体或陶瓷材料。

### 【应用前景】

高灵敏，高强度的超声探头不仅仅可以助力B超，也可以应用于由于信号很弱、常规超声检测不到的特殊测试场合，如大飞机、高铁的加工制造及使用过程的监测等，也可以对大型地质结构进行检测。

# 10.300MeV质子重离子加速器辐照试验平台 (环物院)

## 【成果简介】

300MeV质子重离子加速器是“十二五”国家重大科技基础设施“空间环境地面模拟装置”建设的重要平台，采用ECR离子源、直线加速器和同步加速器的组合方案，是我国目前唯一可以同时提供质子和重离子束流的装置，可实现离子束流能量的大范围调节和辐照面积的大范围调节，平台已成功调试出质子、He、O、C、Kr、Ta、Bi、U束，已为国内用户单位提供大量辐照试验服务，总服务机时累积已超过1200小时。

## 【技术指标】

质子：最高能量300MeV，最大流强 $1 \times 10^9$ ppp；He：最高能量80MeV/u，最大流强 $1 \times 10^8$ ppp；Kr：最高能量15MeV/u，最大流强 $1 \times 10^8$ ppp；Bi：最高能量10MeV/u，最大流强 $1 \times 10^7$ ppp；最大扫描面积：300mmx300mm，终端束流均匀度优于90%。

## 【应用前景】

平台可开展元器件和集成电路单粒子效应辐照研究、材料改性辐照研究、辐射生物学辐照研究、农作物辐射诱变育种研究等。



300MeV质子重离子加速器布局

# 11. 电子元器件空间辐射单粒子效应测试技术 (环物院)

## 【成果简介】

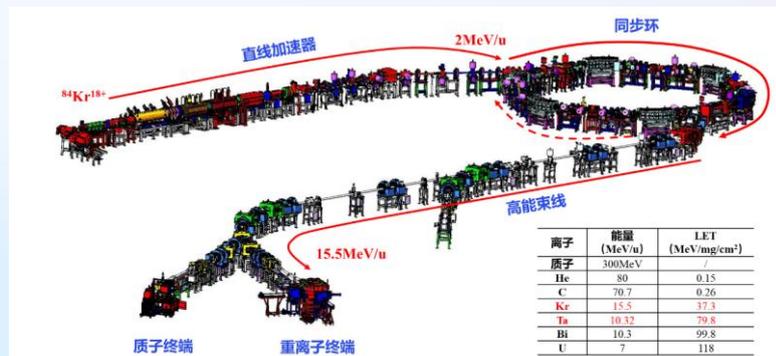
针对我国低轨道商用卫星的低成本、高可靠、长寿命需求，可以开展商用卫星材料、器件以及系统的空间辐射效应表征试验。突破了不同离子能量、注量的多探测器集成问题，实现了重离子和质子“真空-大气”一机多用，首次实现了材料、器件和系统多尺度和跨尺度单粒子效应试验测试平台。为我国地轨商用卫星的研制提供了技术支撑。

## 【技术指标】

目前可开展质子（能量70MeV~300MeV连续可调）、氪（Kr, LET $\geq$ 37MeV·cm<sup>2</sup>/mg）、钽（Ta, LET $\geq$ 75MeV·cm<sup>2</sup>/mg）、铋（Bi, LET $\geq$ 99.8MeV·cm<sup>2</sup>/mg）等粒子的电子元器件单粒子效应试验，束流能散 < 1%，空间均匀度 > 90%，剂量率100ions~105ions连续可调，上述参数满足《GJB 7742-2011: 单粒子效应试验方法和程序》和《QJ 10005-2008: 宇航用半导体器件重离子单粒子效应试验指南》等标准规范要求。

## 【应用前景】

平台已全面投入试运行和开放共享，累计供束1500机时，服务了100多个用户单位。支撑了中国科学院、星网公司等单位2000余款芯片的研制任务，推进了我国空间站、深空探测、巡天望远镜、星网商用卫星等重大工程的顺利完成。



元器件单粒子效应测试平台

## 12.大型等效连续磁路屏蔽及退磁技术（环物院）

### 【成果简介】

针对世界各国零磁装置设计值与实现值均差异巨大的普遍性问题，揭示不连续分层磁介质的工作机制并构建解析模型，提出“磁屏蔽特性计算与优化方法”，解决跨尺度磁路计算难题，支撑大型零磁装置的多层屏蔽结构层厚、层间距协同设计。提出“外磁场下屏蔽装置的磁平衡机理与方法”，能够定量阐述外磁场下磁平衡过程大幅度降低静态磁场指标的原理，并通过建立单层和多层屏蔽的退磁模型，优化退磁线圈分布，实现屏蔽体高效退磁。

### 【技术指标】

该技术可实现大尺度磁屏蔽结构的精确设计及其性能精准评估，首次实现了高于2立方米尺度下剩余磁场优于40pT近零磁指标，以及磁场梯度优于1pT/cm，磁噪声优于19fT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ （注：包含磁传感器磁噪声）。上述指标已通过国家计量院的测试。

### 【应用前景】

该技术直接支撑了哈工大承担的国家重大科技基础设施项目“空间环境地面模拟装置”的空间磁环境模拟与研究系统的设计与建设任务。同时，也为磁传感器标定、生物磁探测、航天器地面实验平台、芯片加工与测试平台所需零磁环境提供了产品。



已建成的零磁环境装置

# 13. 基于零磁环境磁传感器高精度标定技术 (环物院)

## 【成果简介】

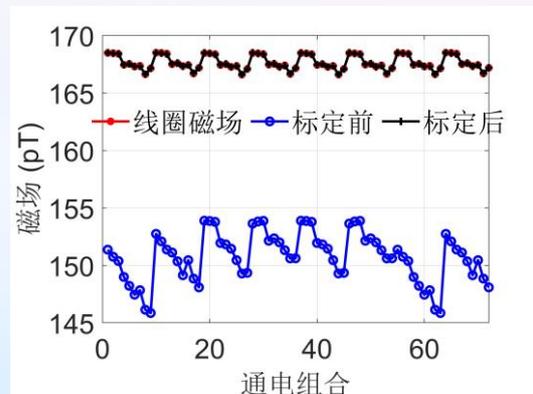
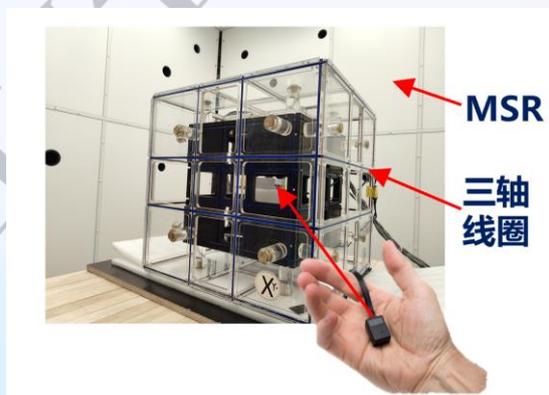
现有的磁传感器标定方法依赖于偏远自然环境磁场的稳定性，无法控制自然环境磁场及标定设备的随机磁干扰，标定精度和可信度受限，制约了航天磁场探测、生物磁探测精度的提升。技术主要创新：①首次提出利用零磁环境内可控向磁场对磁传感器进行标定，消除环境及仪器引入的磁干扰，提升了标定精度与效率；②提出了无磁矩化磁源的设计方法，解决磁源与铁磁物质的磁路耦合问题，提升磁源产生磁场的精度，进一步提升磁传感器的标定精度。

## 【技术指标】

该技术大幅降低了环境及设备的磁噪声（pT降至fT），磁传感器精度提升5~20%，达到10fT量级。支撑了空间地面模拟装置零磁环境测评、引力波探测计划中超高精度惯性传感器磁特性测量，首次将剩磁矩测试精度提升至 $0.51\text{nA}\cdot\text{m}^2$ 。有效提升了磁场探测科学数据的可信度。

## 【应用前景】

该技术可广泛应用于空间磁探测、生物磁信息探测、高精度物理实验中磁传感器标定。目前，直接支撑了哈工大承担的国家重大科技基础设施项目“空间环境地面模拟装置”的空间磁环境模拟与研究系统核心指标的测试、验收。



磁传感器标定实验平台

# 08

## 空天科技

AEROSPACE  
TECHNOLOGY

/  
/



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# 目录

## CONTENTS

### 08

#### 空天科技 (12项)

- |                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 1. 太阳能氢能无人机 (能源学院)            | 89  |
| 2. 多装备搭载多旋翼无人机 (能源学院)         | 90  |
| 3. 防爆激光雷达 (航天学院)              | 91  |
| 4. 共形天线技术 (材料学院)              | 92  |
| 5. 等离子体黑障通信技术 (物理学院)          | 93  |
| 6. 视域增强单光子雷达技术 (物理学院)         | 94  |
| 7. 扩展变换域隐蔽通信传输技术 (电信学院)       | 95  |
| 8. 基于液晶高分子材料的低成本相控阵技术 (电信学院)  | 96  |
| 9. 智能超构表面无线充电2.0系统 (电信学院)     | 97  |
| 10. 空天地测控通信跟踪一体化设备 (电信学院)     | 98  |
| 11. 空间生命科学研究系统 (环物院)          | 99  |
| 12. 超高真空传输互联与原位分析系统研究平台 (环物院) | 100 |

# 1. 太阳能氢能无人机（能源学院）

## 【成果简介】

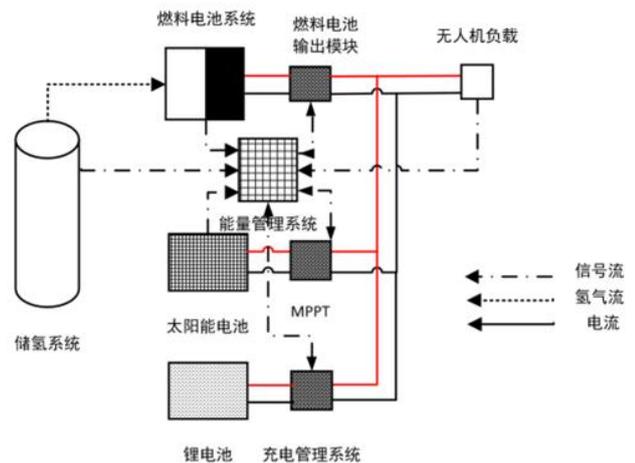
太阳能-氢能无人机为超长滞空固定翼无人机，搭载分布式氢燃料电池动力系统，与太阳能组成混合动力系统，使其能在空中超长时间巡航。相较于普通的太阳能固定翼无人机，太阳能氢能无人机翼展小、动力强、续航时间更长、操控性更好。

## 【技术指标】

太阳能氢能无人机飞行时间可达40小时。

## 【应用前景】

搭载中继通讯设备，在紧急、多变、复杂的环境条件下保障超长时间的数据通讯传输；搭载空中气象设备等，可实现大范围、长距离的空气数据采集、监测等。



太阳能氢能无人机

## 2.多装备搭载多旋翼无人机（能源学院）

### 【成果简介】

多旋翼无人可根据作业需求快速进行不同动力系统配置的转换。预留有专用任务载荷位置，根据应用场景不同，可搭载不同的任务载荷设备进行作业。

### 【技术指标】

多旋翼无人机起飞重量达到40kg，最大载荷可达7kg，飞行航时可达100min，巡航速度10m/s。

### 【应用前景】

多旋翼无人机可搭载光谱成像仪、红外成像仪、可见光相机、激光雷达等各种机载设备，实现一机多用，拓展性强。



多旋翼无人机

## 3.防爆激光雷达（航天学院）

### 【成果简介】

团队研发成功16线防爆激光雷达，拥有着强悍的防爆性能和探测能力。它经受了高温高湿和极端低温的严苛环境考核，顺利通过了模拟爆炸情况下的强度考核。目前，该成果可同时满足在爆炸性气体（II C级）与粉尘（III C级）环境使用的防爆资质，且满足IP67防护要求。该成果是2022年5月份启用的新防爆标准（GB/T 3836系列/2021）后，国内首款通过防爆资格认证的三维防爆激光雷达，通过全部防爆试验测试，获得国家防爆电气产品质量检验检测中心颁发的防爆合格证。

### 【技术指标】

**探测距离：**100m（10%反射率）；**激光线数：**单线/16线/32线/64线；**激光波长：**905nm；**激光安全等级：**Class1 人眼安全；**测距精度：**±2cm；**水平视场角：**360°；防护等级达到IP67。

### 【应用前景】

作为能够应用于石油化工等爆炸性气体环境下的移动机器人自动驾驶过程中进行环境感知、建图、避障的核心感知部件，可广泛应用于智能机器人巡检、作业等环节应用于如采矿、石油工业、气体检测等。并且作为一种应用广泛的高科技防爆空间探测设备，它能够对周围环境进行高精度的探测和识别，从而用于安全监控、智能交通、智慧城市等领域。



防爆激光雷达

## 4.共形天线技术（材料学院）

### 【成果简介】

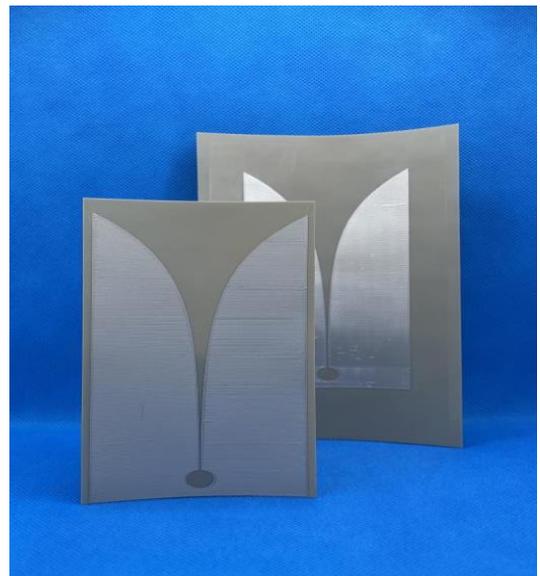
基于高精度3D打印技术，实现复杂结构表面的精确共形制造，可适用于圆柱、圆锥、球面以及不规则曲面表面的天线制造。基于界面的改性设计，3D打印共形天线与陶瓷基底界面匹配度极高，具有优异的结合力，在高温环境下（最高可达1600℃）可长时间稳定使用。该成果技术成熟度达到六级，主要应用于航空航天飞行器通讯装置，可在任意复杂曲面表面实现天线结构的精确3D打印制造，能有效减小天线使用空间，大幅度提升飞行器有效荷载。

### 【技术指标】

使用温度900℃-1600℃；成型线宽精度达到60μm以内；线间距50μm以内；成型尺寸范围400mm×400mm×200mm。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于航空航天、微波通讯、集成电路等高新技术领域。



共形天线技术

# 5. 等离子体黑障通信技术 (物理学院)

## 【成果简介】

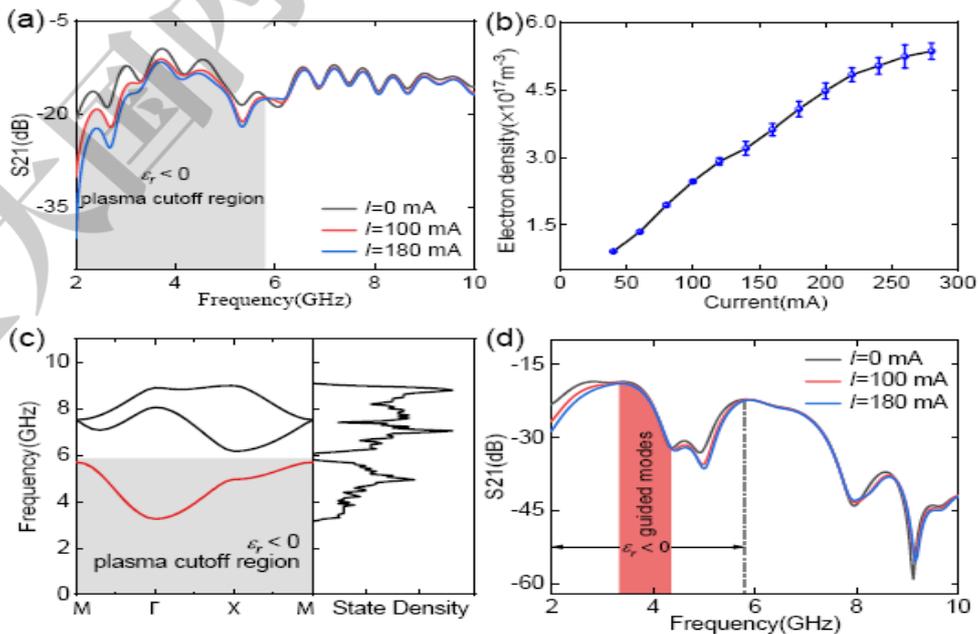
针对航空航天通信黑障问题，在等离子体负介电常数背景下，构造了等离子体光子晶体电磁通信技术。电磁波在等离子体中的势垒约束，能与紧束缚模型描述的电子系统一一对应，倏逝波在介质柱中耦合，实现电磁波在等离子体鞘套中的传播。等离子体鞘套中的烧蚀杂质会强烈散射入射波。基于此，在等离子体背景下构造了拓扑波导，保持电磁波的高效传输。本实现技术不仅为解决黑障通信问题提供新的思路，而且放电等离子体可作为新的实验平台来探索拓扑电磁现象。

## 【技术指标】

可以实现等离子体频率以下的电磁波信号传输，通信带宽可以达到1.3 GHz，信号幅度增强8dB。

## 【应用前景】

该技术将拓扑边缘态引入基于气体放电的等离子体光子晶体领域，实现了电磁波在含杂质等离子体背景中的高效传输。通过对电子密度的调节，在布里渊区中心获得三重简并的类狄拉克锥，验证了零折射率特性。不仅可为解决黑障通信问题提供新的思路，而且该设计可以作为新的实验平台来探索拓扑电磁现象。



等离子体负介电常数背景中的电磁传输

## 6. 视域增强单光子雷达技术（物理学院）

### 【成果简介】

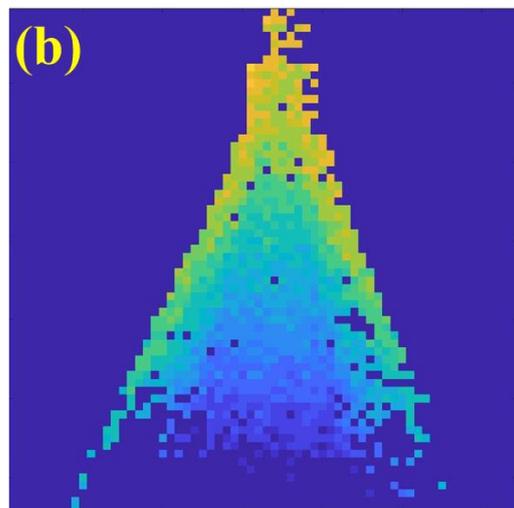
近年来，激光雷达因其优越的性能而广泛应用于各种领域。但是几十公里甚至上百公里的作用距离使得激光雷达回波能量低至单光子水平；浓雾、烟尘、雨雪、海水、植被等自然条件会对光线形成软性遮挡，造成激光雷达图像的退化；而墙体、街角、障碍物等会对光线形成硬性遮挡，致使激光雷达视域几乎完全丧失，因此亟须一种新型的激光雷达技术来解决这些难题。在人工智能发展牵引下，我们将计算光学成像和激光雷达技术相结合，探索集直视、绕视、透视功能为一体的视域增强单光子雷达新体制，服务于航空航天和工业亟需，形成具有理工交叉鲜明特色的学术方向。

### 【技术指标】

直视模式下作用距离达10km以上，成像分辨率10cm，帧率60Hz。绕视模式下可绕过常规建筑内的走廊、管道、墙角等进行成像。透视模式下可在浓雾、烟尘、浑水等场景下正常工作。

### 【应用前景】

该技术适合于车载、机载、艇载等有人或无人平台上，有望用于自动驾驶、电力巡检、植被遥绘、水下勘测、机场盲降、城市安防、灾难救援等各个领域。



视域增强单光子雷达样机和直视图像

# 7. 扩展变换域隐蔽通信传输技术（电信学院）

## 【成果简介】

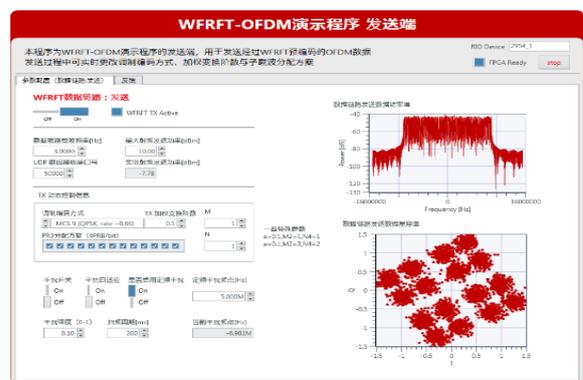
针对专用和特种通信的隐蔽与抗检测需求，利用时频协同的新型变换域理论和处理技术方法，有效提升物理层通信信号的抗检测特性，使得通信行为更具有隐蔽性，对于专用网络和特种通信的物理层安全性能具备新的设计方法与抗检测特性，可以提升物理层信号波形的安全隐蔽性。相关研究成果获得973计划、部委创新项目、自然科学基金重点项目等支持，技术具备与企业联合转化的实现基础，获得相关国家发明专利30余项。

## 【技术指标】

物理层传输波形数量，对比直接扩频序列，数量提升3个数量以上；功率谱具有类高斯特性，在2倍信号方差下，高斯置信度大于0.8；传输带宽与原有波形保持一致，并兼容OFDM体制；可以与MIMO技术融合传输。

## 【应用前景】

该技术可广泛应用于专用与特种无线传输的物理层安全与隐蔽通信中，例如对于自组网网络集群分队通信的隐蔽性和通信行为物理层安全、专用/警用系统的长时间尺度弱对抗环境中的通信指挥安全有良好提升，目前在实验室已完成SDR平台的实现技术验证并开始与企业联合开展技术转化的工作。



扩展变换域信号验证与MIMO实验平台

## 8. 基于液晶高分子材料的低成本相控阵技术 (电信学院)

### 【成果简介】

液晶相控阵对于促进无线通信、雷达领域的国家重大需求发展具有重要意义。当前美国已经开发出液晶相控阵商业化产品，但因为商业价值巨大，其相关技术细节被严密保护起来，产品也对中国严格禁运。为了打破国外技术垄断，形成我国自主研发能力，本团队从2013年开始从事液晶相控阵技术研发，经过10年持续不断的研究工作，最终攻克了液晶高分子材料介电常数高精度测量与表征、液晶相控阵电磁模型精细化构建、低损耗液晶移相器设计、液晶相控阵单元幅度动态调控、液晶相控阵波束成型快速算法、玻璃基大尺寸厚铜镀膜与通孔工艺、大尺寸厚膜液晶盒的制备与封装等一系列关键技术，具备了产业转化的能力。相关研究成果发表SCI论文百余篇，授权发明专利十余项，并承担国家自然科学基金联合基金重点支持项目等科研课题二十余项。

### 【技术指标】

较传统相控阵技术，可节约成本90%、降低功耗约50%；可在Ku、Ka、THz等多个波段实现圆极化以及线极化相控阵波束扫描，扫描角范围可达 $\pm 75^\circ$ 、增益大于30dB，满足多型号高、低轨卫星通信技术要求。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于智慧城市、自动驾驶、航空航天等多个领域，对于提高上述领域中无线通信设备性能、降低成本、节能增效具有重要作用。目前尚未开展试点应用。



本课题组研发的液晶相控阵原理样机

## 9.智能超构表面无线充电2.0系统（电信学院）

### 【成果简介】

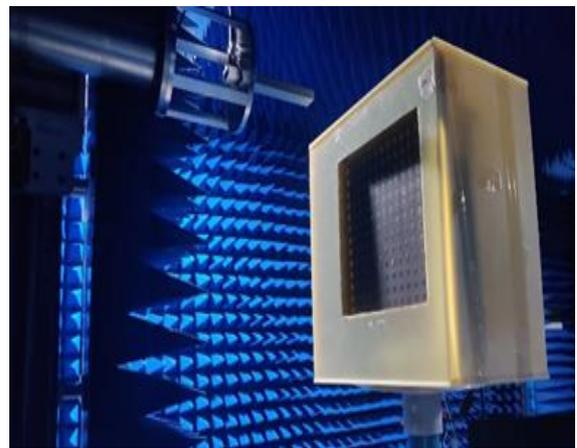
面向物联网终端设备远距离微波无线充电广泛的市场需求，研制了国内首台基于可重构超构表面的智能无线充电2.0 plus系统。突破超构表面紧凑型平面馈源、高效透射型2比特可重构超构表面、大功率GaN整流、运动充电目标智能定位感知、多波束自适应赋形等关键技术，首次实现厚度仅为7.5厘米的紧凑型智能微波能量定向发射终端。该系统结合光学/红外/微波定位技术，完成对多个运动充电目标的快速感知和定位，并通过快速波束赋形算法实现对多个目标的同时智能充电。充电范围可达2m，达到国际领先水平，相关研究成果于2024年以唯一署名单位和封面文章发表在国际顶级学术刊物Laser & Photonics Reviews。

### 【技术指标】

系统工作频率：5.8GHz；发射机尺寸：300mm×300mm×75mm；可同时充电目标：≥3个；整流端最大输入功率：≈1W；整流天线尺寸：50mm×30mm×5mm；典型工作距离：≤2000mm。

### 【应用前景】

该技术可广泛应用于电动汽车、智能手机、工业物联网小型化无线终端、传感器、智能家居、无人机等设备的无线供电。在铁路系统、电力系统等国家基础设施建设中亦有广阔的应用前景。



智能超构表面无线充电2.0系统实物、测试及典型应用场景

## 10.空天地测控通信跟踪一体化设备（电信学院）

### 【成果简介】

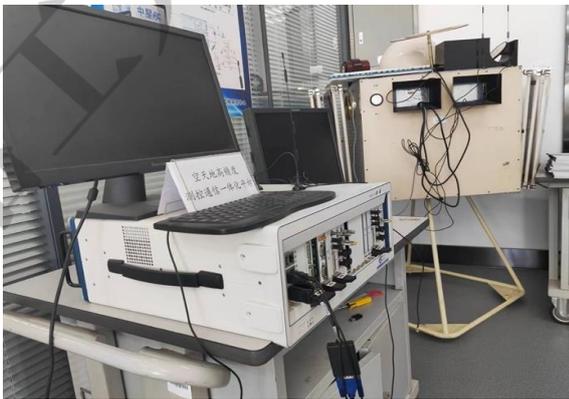
卫星互联网与地面融合的6G网络，对卫星生产运营的时效和低成本需求极其敏感。传统卫星测控体系中测控和通信分离设计、一站一星、多站一星的测控通信，已经无法支撑海量卫星测控通信运营。基于空天地测控通信一体化的理念，设计了高效、多模、多通道统一的自动化通信测控系统。突破了信号快速捕获与高精度跟踪关键技术，多通道时延补偿以及中继体制长短码切换技术。仅需一套软硬件平台，即可完成非相干扩频、相干扩频、USB、UCB、天基中继和测控数传一体化的卫星测控通信。在卫星生产测试，遥测遥控、通信跟踪各个阶段的功能和性能均达到了国际先进和国内领先水平。

### 【技术指标】

发射端口具有自环测试能力；支持调制数据帧的编辑功能，帧头可配置、帧长可配置；调制数据的基带速率可配置；基带数据采用PCM调制，支持NRZ-L/M/S三种类型的编码；支持多种数字或模拟调制功能，例如BPSK、QPSK、FM和PM调制等；支持扩频功能，扩频码生成多项式和初相可配置，扩频码速率可配置；支持加扰功能，加扰多项式可配置；支持多种信道编码功能，例如卷积（7,1/2）、BCH编码（56,63）等；支持信号动态特性模拟功能，载波多普勒频偏、载波多普勒变化率配置；支持遥测信号模拟功能，可以模拟卫星遥测信号输出；支持信号加噪功能，发射信号的载噪比可以配置；遥控调制编码方式：PCM-DSSS-BPSK，BCH编码（56,63）。

### 【应用前景】

技术可应用于卫星通信测控系统。目前系统已经成功应用到鸿雁星座融合试验星二号和三号，中星6D以及星网产线测试保障和其他某型号的发射和保障任务中。



高精度测控通信一体模块化系统



卫星互联网系统整星生产线应用

# 11.空间生命科学研究系统（环物院）

## 【成果简介】

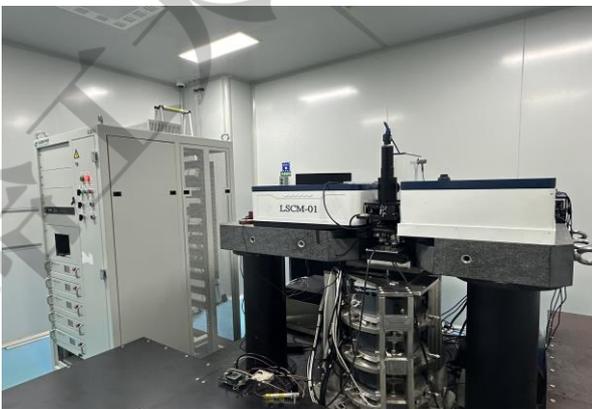
针对空间环境对生命体活动的影响因素多、过程复杂，难以长期在轨观测的问题，建立了用于模拟对生命体具有直接影响的空间因素（辐射、微重力和弱磁场）的微束辐照细胞显微装置及多因素耦合环境模拟装置，实现了亚细胞水平的低剂量辐照及同步在线观测，突破了以往单一空间因素的模拟环境，有助于揭示微重力与辐射、弱磁场耦合环境影响下的生物学效应与机制，为支撑空间科学研究及人类空间活动的重大需求提供了前沿实验研究平台。

## 【技术指标】

微束辐照细胞显微装置可实现细胞/组织的微束辐照原位在线显微观察，其核心技术指标包括光学瞄准误差 $1\mu\text{m}$ ，辐射同步误差 $1\mu\text{s}$ ，光镊重复定位精度 $400\text{nm}$ ，空间分辨率 $300\text{-}500\text{nm}$ ，高速动态成像速度 $>2500\text{fps}$ ；弱磁/辐照/微重力多因素耦合环境模拟装置，可实现单一空间因素或多空间因素耦合作用环境，结合分析测试设备，为生命体及其它物质微弱磁信息的高水平精准探测与研究，从分子、细胞水平揭示弱磁生物学效应的动态变化机制以及其多空间因素耦合作用机制，其中弱磁环境可达到 $1\mu\text{T}\sim 100\mu\text{T}$ ，弱磁调整精度 $0.3\mu\text{T}$ ，系统剩磁 $<1\mu\text{T}$ ，无磁回转微重力模拟器转速 $0\sim 100\text{r/min}$ 。

## 【典型应用】

该系列装置可广泛应用于空间生命科学研究、辐射育种等领域。



微束辐照细胞显微装置



多因素耦合环境模拟装置

# 12. 超高真空传输互联与原位分析系统研究平台 (环物院)

## 【成果简介】

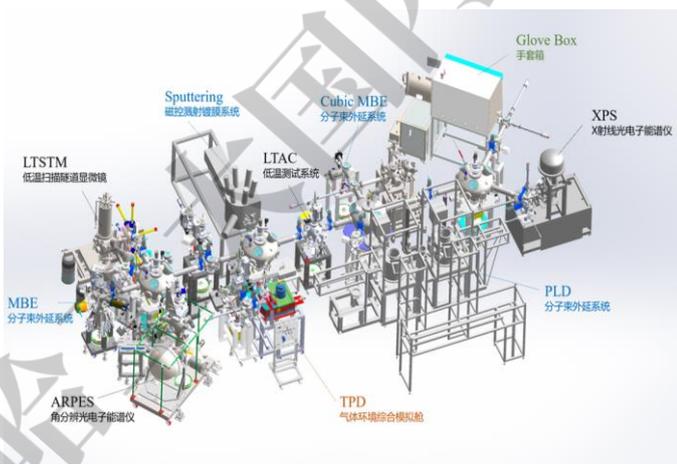
构建了国际领先的超高真空互联传输原位研究平台，能够在超高真空 ( $10^{-8}$  Pa) 条件下实现材料制备-环境处理-结构表征-性能测试的原位/半原位研究手段，真实还原空间中超高真空的物理环境并对材料表面的本质属性进行研究。同时，平台集成了气体环境综合模拟舱，可以实现超高真空、高低温、低能电子、紫外辐照、原子氢/原子氧等空间环境的模拟，进而为材料空间环境效应的微观机理分析提供了研究平台。

## 【技术指标】

互联传输系统真空指标优于  $5E^{-10}$  mbar。材料表征的能力指标主要有：材料表面形貌分析的空间分辨率可达 0.1 nm，表面电子结构分析的能量分辨率可达 10 meV，化学结构分析的能量分辨率可达 0.43 eV。

## 【典型应用】

该平台作为航天领域内首个材料与器件的空间环境效应原位/半原位科研平台，可用于空间环境作用下材料与器件的结构演化与失效机理研究。



超高真空传输互联与原位分析系统研究平台