

洛伦兹惯性敏感与平台控制技术

1 技术背景

航天器平台“甚稳超静”和“敏捷机动”的姿态控制已成为我国高分对地观测卫星和空间望远镜发展建设的短板瓶颈，是实施“高分辨率对地观测系统重大专项”亟需突破的关键技术。利用洛伦兹力高线性度特点，研究开发磁悬浮控制敏感陀螺、挠性速率陀螺仪、石英挠性加速度计等惯性敏感器件意义重大。针对现有载体式减摇装置体积重量大以及载荷式减摇装置控制带宽低、指向精度低等问题，研究开发洛伦兹惯性稳定平台，用于舰船、直升机、战车等武器装备载荷的减摇和稳瞄，能够实现武器装备“动中通”、“动中拍”和“动中打”。

2 技术方案

磁悬浮控制敏感陀螺融合控制力矩陀螺姿态控制、速率陀螺仪姿态角速率敏感，以及磁轴承振动检测与控制三重功能，将现有大闭环姿控系统拓扑为三闭环姿控方案。各环彼此嵌套，分担姿态、振动、检测和控制任务。控制系统应用双循环串联控制结构，内环为电流回路，限制最终电流，确保伺服系统的稳定性；外环为转速闭环控制，采用BP神经网络优化算法对反馈数据进行学习改进，解决了在不明确运行环境情况下控制变量不能呈现线性变化的问题，有效增强了控制系统的鲁棒性；并采用模糊自适应控制对参数进行在线辨识，根据整个系统的运行状态不断地自动调整控制参数，进一步加快调节速度，降低超调，抑制转矩波动。实现整星的高动态姿态机动与高精度姿态稳定。

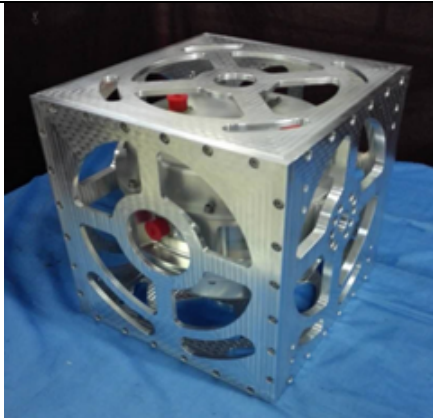


图 1 磁悬浮控制敏感陀螺



图 2 电性能测试系统

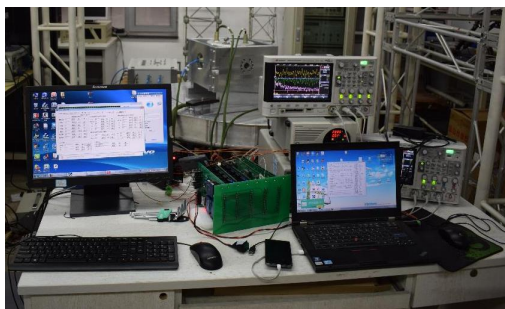
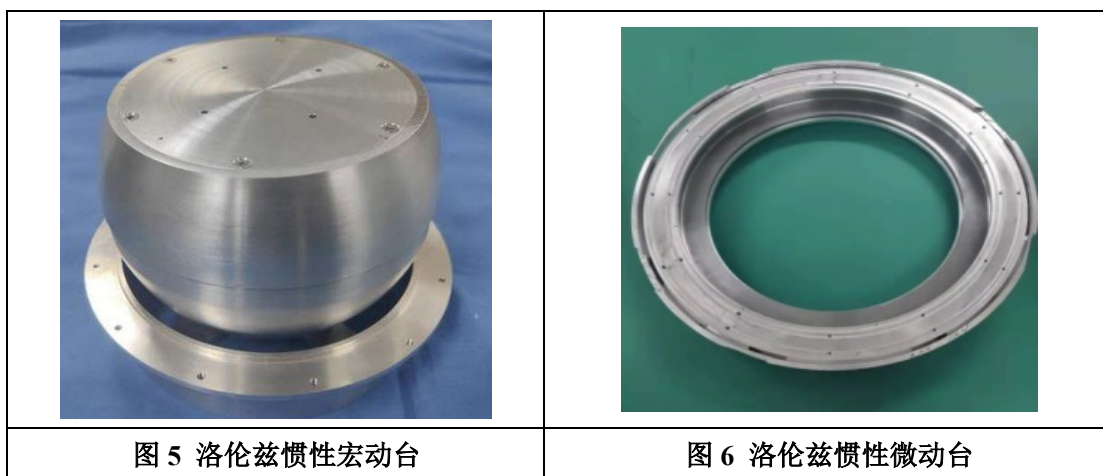


图 3 动态范围测试系统



图 4 微振动测试系统

洛伦兹惯性稳定平台分为宏动台和微动台两大类。宏动台工作时，通过模糊神经网络学习算法辨识摩擦模型动态参数，结合广义回归神经网络算法辨识不平衡参数，采用人工蜂群算法进行目标函数优化，精准建立平台干扰模型。采用继电自整定调节 PID 控制器参数方法与基于零相滤波器的迭代控制算法相结合的控制策略，提高系统的动态响应精度，可实现将平台载荷摇晃角度从 $\pm 30^\circ$ 降至 $\pm 1^\circ$ 的目标。微动台工作时，通过角速率自适应前馈控制与自抗扰控制相结合的复合控制方法，结合基于激光干涉仪反馈的自适应控制，提高系统跟随精度和响应速度，抑制载荷高频振动隔离，实现平台高带宽稳姿功能，实现台面法向角秒级指向；根据宏动跟踪微动的主从宏微控制策略，隔离外界对载荷的干扰，同时防止微动的行程出现饱和，提高微动行程。



3 技术创新点

(1) 在国际上首次提出磁悬浮控制敏感陀螺新概念，并研制出首台原理和工程样机，采用 BP 神经网络优化算法对反馈数据进行学习改进，结合自适应控制和模糊 PID 控制算法，实现转子高转速精度、高稳速精度、姿态角速率感知和航天器姿态振动抑制，为我国航天器甚稳超静姿控技术发展开辟了一条全新途径。

(2) 洛伦兹惯性稳定平台克服传统气浮宏动台地基支撑刚度要求高且支撑刚度不可控的缺陷，同时具备自适应大角度减摇能力、高带宽快速精确补偿控制能力、甚高指向稳瞄能力。

(3) 通过前馈和反馈相结合的控制策略，结合滑模变结构控制算法，完成宏动台和微动台的高精度柔性控制；采用主从双重伺服控制，结合模拟退火算法、遗传算法等智能算法，实现宏微结合的智能控制。

4 应用推广

洛伦兹惯性敏感技术可直接应用于挠性陀螺仪、石英挠性加速度计、磁悬浮惯性执行/测量机构等惯性技术国防尖端领域；洛伦兹平台控制技术还可用于稳瞄、减摇、稳姿等各类惯性稳定平台，可推广用于行车记录仪、国网巡线无人机、游轮平衡椅、高空摄像仪等稳姿场合，实现平台技术军民两用。增加其平动行程，用作音圈电机，可用于光刻机微动刻蚀台、精密快速运动定位台等高端装备制造领域。

4 对接联系

联系人：刘强（科学技术处副处长 副教授）

邮 箱：Liuqiang@bipt.edu.cn