

# 三自由度振动隔离系统动力学分析

通过建立三自由度隔振系统动力学模型，优化主动隔振控制算法的设计

林馨<sup>1</sup>, 刘润博<sup>1</sup>, 廖予溪<sup>2</sup>, 崔瑜<sup>2</sup>, 彭海珂<sup>2</sup>, 赵国英<sup>1</sup>

1. 天琴中心, 物理与天文学院, 中山大学, 珠海, 中国.
2. 物理与天文学院, 中山大学, 珠海, 中国.

## 研究目的

精密测量设备更高精度和灵敏度的需求，使地面振动抑制性能的提升成为亟待解决的问题之一。目前，常用被动隔振、主动隔振、半主动隔振和主被动隔振相结合四种方式<sup>[1]</sup>。本文建模分析的三自由度隔振平台采用主被动相结合的方式，被动隔振利用悬臂梁、柔性杆两种柔性部件使结构本征频率不超过2Hz，实现高频处至少60dB的隔振效果，同时利用主动隔振对系统进行闭环控制，实现低频处至少40dB的隔振效果。

控制算法的设计需要一个准确的系统模型，本文利用COMSOL&MATLAB联合完成三自由度隔振器的动力学建模。借助搭建虚拟样机，规避因将特殊柔性结构简化为螺旋弹簧所导致的结构高阶模态丧失的问题，更真实、全面反映系统的结构特性，使控制算法的性能更优越、准确。

## 方法

本次建模利用COMSOL&MATLAB搭建结构虚拟样机旨在无限逼近真实系统的工况，为控制算法的设计提供更准确的系统模型。该模型在Solidworks中完成结构设计，并导入COMSOL，利用多体动力学模块，依照实际工况完成结构装配与释放，结合所需系统传递函数，构建系统传感器与执行器，最后利用LiveLink for MATLAB模块导出系统状态空间方程。主要分三步：1) 系统装配；2) 系统释放；3) 系统导出。

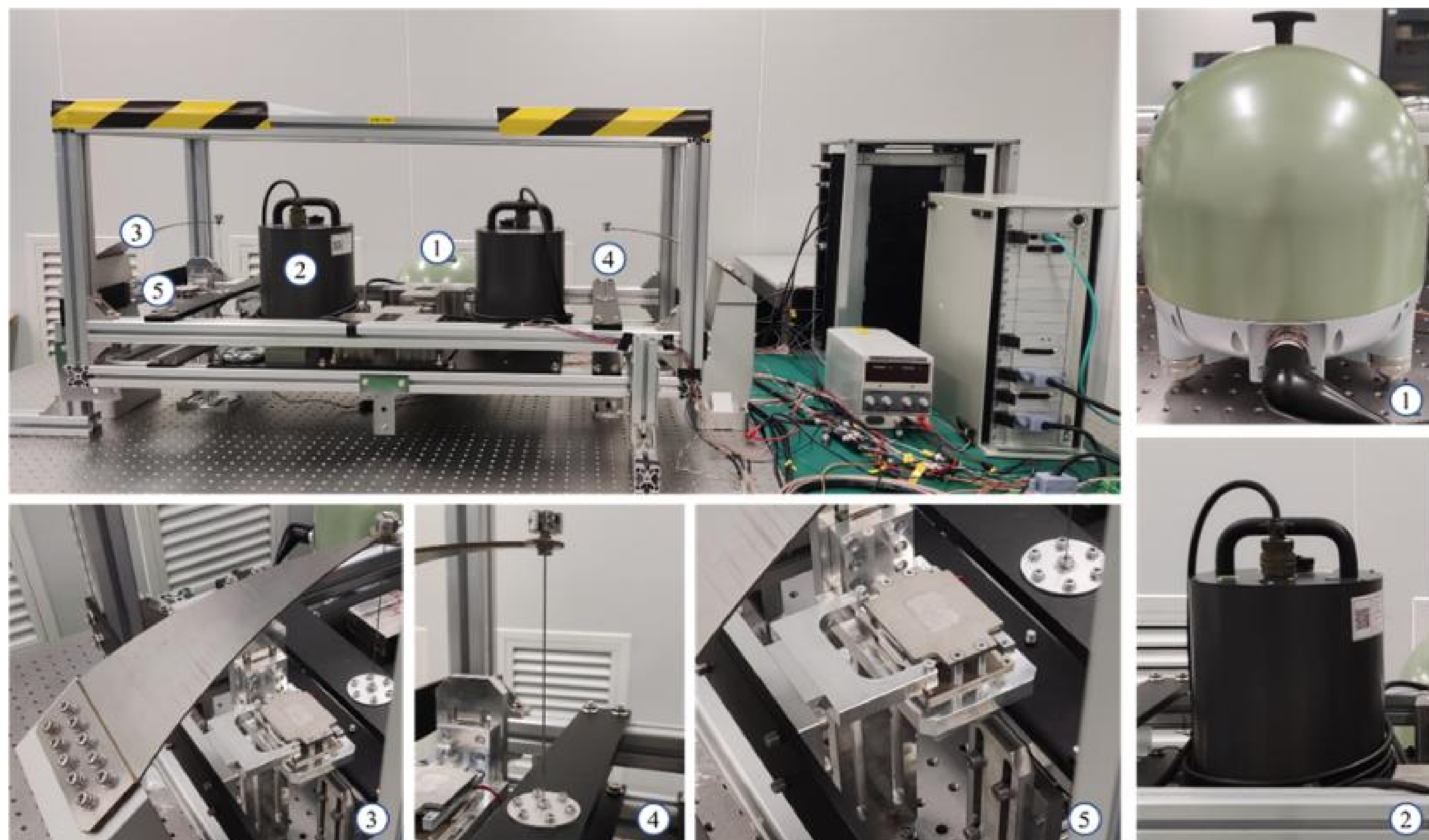


图1. 三自由度隔振平台实物图与实验环境

## 结果

当前，系统装配与释放后所对应的结构应力应变均与设计预计相吻合，系统测试与数据导出，遇到较明显的问题，这也是后续需要调整的部分。

同时，该系统也先行完成了利用LQG算法与基于互补滤波器的虚拟传感器融合算法，频域上系统利用主被动隔振相结合的方法，水平、和竖直分别实现了约20dB@1Hz、25dB@1Hz的隔振效果，超低频段水平方向实现了约40dB@0.1Hz隔振效果。

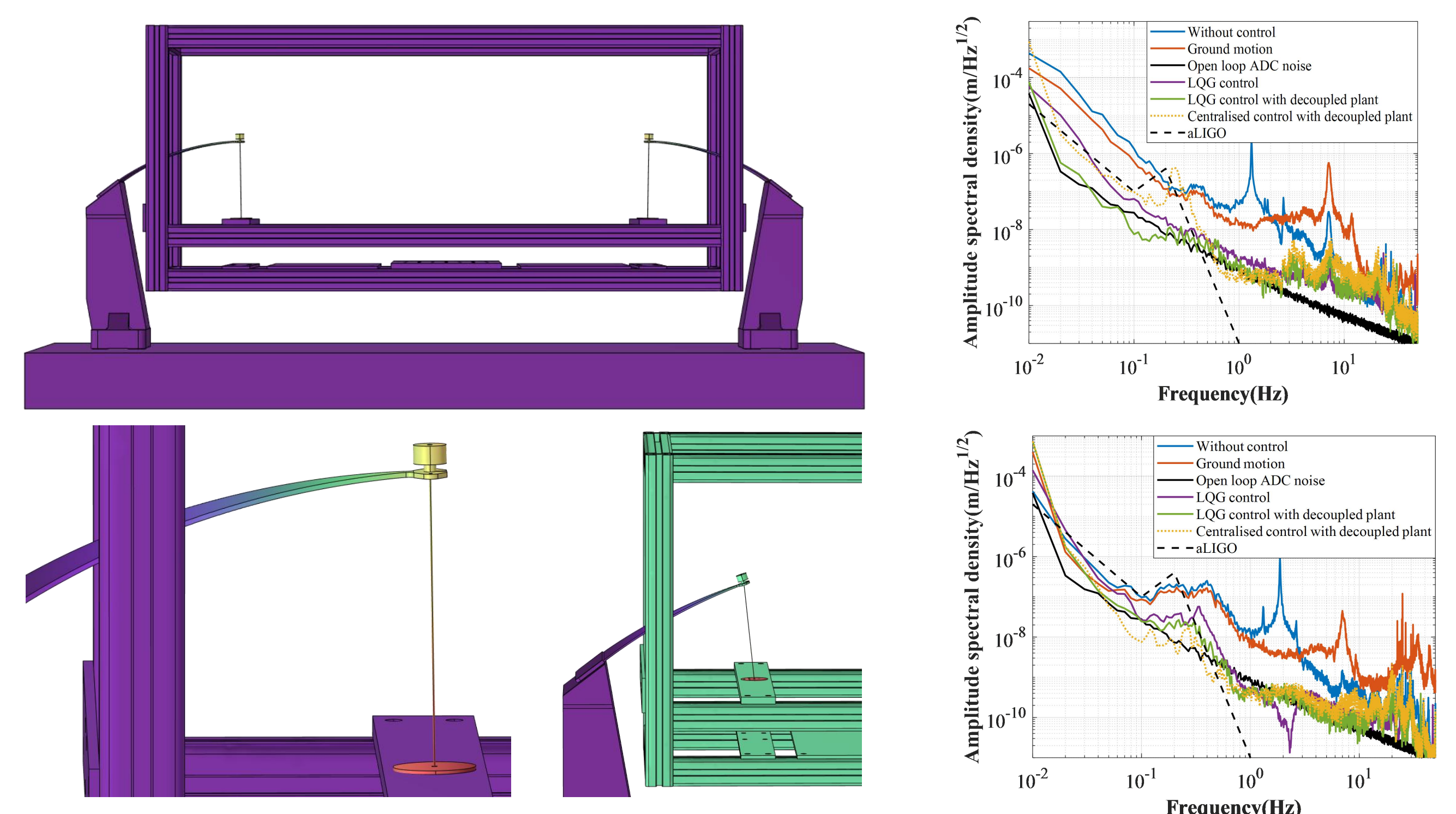
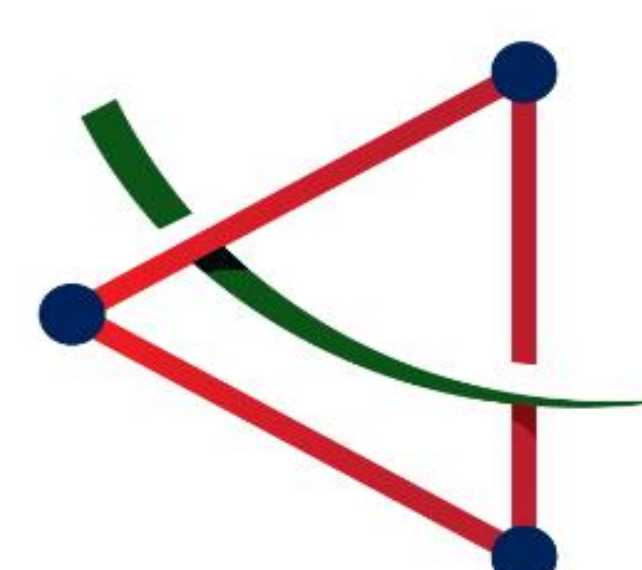


图2. 系统模型分析结果与当前控制效果图

## 参考文献

1. Tang X, Du H, Sun S, et al. Takagi-Sugeno fuzzy control for semi-active vehicle suspension with a magnetorheological damper and experimental validation[J]. IEEE/ASME transactions on mechatronics, 2016, 22(1): 291-300.
2. Lee J H, Kim H Y, Kim K H, et al. Control of a hybrid active-passive vibration isolation system[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2017, 31: 5711-5719.
3. Thenozhi S, Yu W. Advances in modeling and vibration control of building structures[J]. Annual Reviews in Control, 2013, 37(2): 346-364.



中山大学天琴中心  
TIANQIN CENTER FOR GRAVITATIONAL PHYSICS, SYSU