

2024 年招生计划
七、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介
<div>1. 博士论文研究方向：载 人 月 球 车 地 面 力 学 与 智 能 控 制</div> <div>选题类别：<input checked="" type="checkbox"/>基础性研究<input type="checkbox"/>应用性研究<input type="checkbox"/>工程技术攻关研究</div> <div><input type="checkbox"/>新开辟的研究方向<input type="checkbox"/>已有研究方向的继续<input type="checkbox"/>其他</div>
<div>2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介</div> <p>根据中国航天白皮书，中国已经开始进行载人登月关键技术攻关，计划在 2030 年左右发射载人月球车进行载人登月探测。载人月球车是宇航员远距离探测的重要载体，同时也是月壤样品运输重要工具，需要具备高通过性、高操纵稳定性、高行驶平顺性等特点。如何保证载人月球车满足宇航员顺利转移、完成既定探测任务等需求，成为了现阶段研究的一个难点，需要在载人月球车发射之前进行性能分析，对其结构设计、控制算法和人机协同操作技术进行相应的验证，使载人月球车可以更加可靠地完成月球探测任务。哈尔滨工业大学与中国空间技术研究院联合开发了一款载人月球车移动系统原理样机，为载人月球车发射折叠与落月展开机构特性研究奠定了基础。后续研究包括优化载人月球车移动系统结构，建立载人月球车控制算法和动力学仿真系统，提高载人月球车移动性能。与无人星球探测车相比，载人月球车设计速度更快、载荷更大、车轮尺寸更大，并且出于负载和安全性考虑，载人月球车车轮通常为弹性结构。美国的载人月球车 LRV 设计指标包括：整车满载质量为 700Kg，行驶速度为 8Km/h，采用弹性车轮提高了宇航员的舒适性。然而重载、高速和车轮弹性对载人月球车移动性能的影响尚不清晰。需要针对载人月球车弹性车轮进行相应的地面力学试验、建立高精度的地面力学模型，明确重载、高速和车轮弹性对载人月球车移动性能的影响，构建人在环的载人月球车智能控制体系，为中国载人登月计划的顺利进行提供数据和理论支持。</p> <p>具体的研究工作主要包括以下四个方面。</p> <div>1）重载高速载人月球车轮地相互作用力学试验研究</div> <p>进行载人月球车刚性车轮与模拟月壤相互作用力学试验，获得重载和高速运行工况对车轮移动性能的影响规律；进一步采用弹性车轮进行轮地相互作用力学试验，获得弹性变形对车轮移动性能的影响；分析试验过程中的沉陷量、车轮变形量、牵引力等指标的基本变化规律；最后基于土壤本构模型分析载人月球车弹性车轮-模拟月壤相互作用机理，分析重载、高速等因素对车轮-月壤相互作用的影响，为模型建立提供数据和理论基础。</p> <div>2）重载高速载人月球车轮地相互作用力学模型研究</div> <p>根据试验结果建立弹性车轮力-位移曲线以及轮廓变形方程，进而根据胡克定律建立车轮受力变形力学模型；综合考虑车轮载荷效应和速度效应试验结果，通过月壤受力流动机理，建立基于刚性车轮假设的重载高速载人月球车车轮-模拟月壤相互作用力学模型；将车轮变形模型与轮地相互作用模型相结合，建立弹性车轮-松软月壤相互作用耦合力学模型；建立车轮柔性矩阵、土壤承压参数、剪切参数的解耦方法，得到解析解耦的载人月球车轮地力学模型。</p> <div>3）基于灵敏度分析的载人月球车地面力学模型参数辨识研究</div> <p>基于全局灵敏度分析方法针对载人月球车地面力学解析解耦模型进行分析，将模型参数按照一阶灵敏度和总灵敏度分为主导参数与非主导参数；针对解析解耦模型中的车轮柔性参数、土壤承压参数、土壤剪切参数建立支持在线计算的辨识方法，采用有限的月面行驶数据集完成参数辨识，实现载人月球车月面行驶过程中地面力学参数实时解算，为基于动力学仿真的载人月球车在轨运行状态预测提供技术基础；最后通过试验验证方法的有效性。</p> <div>4）松软崎岖环境中载人月球车移动系统人机智能控制方法研究</div> <p>研究考虑悬架特性和车轮弹性的载人月球车移动系统动力学模型，结合前述得到的弹性车轮-地面相互作用耦合力学模型，建立载人月球车动力学仿真平台；建立地面力学-运动学-动力学快速求解方法，提出面向驾驶稳定性和平顺性的载人月球车操控智能控制方法，建立硬件在环的载人月球车智能操控验证平台；提出基于模型增强控制的人机协同控制理论体系，完成目标导向、驾驶员舒适导向的协同操控试验验证。</p>
<div>3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况</div> <p>课题来源于国家自然科学基金青年基金项目：重载高速载人月球车轮地相互作用力学建模及仿真研究（项目批准号：52205011）</p>