

七、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向：月球基地兆瓦级太阳能熔炉系统大型自展开柔性聚光镜研究

选题类别：☐ 基础性研究 ☒ 应用性研究 ☐ 工程技术攻关研究
☐ 新开辟的研究方向 ☐ 已有研究方向的继续 ☐ 其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

依托国家大科学工程“空间环境地面模拟装置”，面向我国拟在国际上首次实施的无人月球基地工程建设工程需求，本项目针对月球基地构建长期可靠能源之一 MW 级太阳能熔炉系统，研究其核心组件大型聚光镜机构设计与月表极端环境下的适应性问题。以自展开、超轻质、超弹性、大折展比、精度可控为设计目标，提出基于龙骨形状优化控型的伞式自展开聚光镜创新构型，开展大尺度超弹性薄壁结构抛物面聚光镜构型保持性、超大柔性机构多柔体系统动力学建模与仿真、在月表高真空/高低温/多辐照/带电微纳粉尘污染/高速微流星轰击等多因素综合极端环境效应作用机理及主动防控方法等基础问题研究。研制月基熔炉聚光镜原理样机，开展试验研究，为无人月球基地构建能源和超大柔性机构长期服役突破理论与技术壁垒。

(1) 基于超弹性自展开原理的大型聚光镜优化设计方法

提出基于超弹性龙骨变截面刚度调节与大型聚光镜的优化设计方法，采用变截面加强筋改变龙骨刚度，利用柔性索牵引龙骨端部成型为抛物面，支撑薄膜。主要开展：

- 1) 基于超弹性龙骨变截面刚度调节与大型聚光镜的优化设计方法研究；
- 2) 大口径轻质超弹性自展开机构创新构型；
- 3) 均匀能流密度聚光副镜形状优化设计。

(2) 大型超弹性自展开聚光镜多柔体系统动力学建模与仿真

由于大型超弹性自展开薄膜聚光镜结构大量采用薄壳、索、膜等大变形、强几何非线性结构单元，在展开过程中会发生大变形和大转动，具有强非线性、复杂接触等特点。主要开展：

- 1) 超弹性自展开机构展开过程多柔体系统动力学建模与仿真；
- 2) 超弹性自展开机构展开态多柔体非线性动力学建模与分析；
- 3) 基于展开态非线性动力学模型的聚光镜动态聚焦精度理论分析。

(3) 月表多因素耦合环境对大型柔性聚光镜机构的影响机理研究

由于受到月表高低温、太阳强辐照、聚光镜对日定向运动、微流星高速撞击等扰动因素影响，容易产生静态上的大变形和动态上的低频振动。主要开展：

- 1) 月表多因素物理场对大型超弹性聚光镜静态变形影响机制研究；
- 2) 月表动态晨昏线冷热交变环境下聚光镜结构热致振动特性建模与仿真分析。
- 3) 扰动因素对大型超弹性聚光镜的影响机制研究；
- 4) 月表多因素耦合环境对大型超弹性聚光镜聚焦精度的影响机理。

(4) 超弹性自展开柔性聚光镜原理样机研制与试验研究

- 1) 研制超弹性自展开柔性聚光镜原理样机 1 套；
- 2) 超弹性自展开聚光镜展开态结构动力学特性测试与分析；
- 3) 超弹性自展开聚光镜动态精度测试与分析。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家自然科学基金面上项目“月球基地兆瓦级太阳能熔炉系统大型自展开柔性聚光镜研究”，项目编号：52275241，主持，54 万

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：月尘充电扬尘机理与极端环境试验研究</div> <div>选题类别：<div><div><input type="checkbox"/>基础性研究</div><div><input checked="" type="checkbox"/>应用性研究</div><div><input type="checkbox"/>工程技术攻关研究</div></div><div><div><input type="checkbox"/>新开辟的研究方向</div><div><input type="checkbox"/>已有研究方向的继续</div><div><input type="checkbox"/>其他</div></div></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>月球表面经过空间风化，主要有陨石和微陨石撞击、太阳风和高能宇宙射线、以及昼夜温差的巨大变化等作用，将岩石逐渐粉化，形成表面月壤，月壤中粒径小于 20μm 的颗粒被称为月尘。月球探测活动中，月表紫外辐照环境导致月尘充电后会对航天器功能表面、运动机构以及宇航员活动产生恶劣影响。基于尘埃颗粒带电机理，研究了月表尘埃颗粒的充电过程，旨在全面的认识月尘的性质，有效地规避带电月尘对人类探月活动的危害。</p> <p>研究月尘颗粒在电子束环境下以及紫外源辐照下的带电机理,利用数值方法模拟月尘颗粒在不同背景环境下的充电过程，以探索月表尘埃颗粒的带电机理,进而便于地面月尘环境模拟装置选择合适的月尘带电方式进行空间模拟实验。给出了尘埃在电子束环境下的充电方程,并将紫外辐射带电与具体应用相结合。通过模拟结果可知，在电子束环境下，月尘表面的电荷数随粒径尺寸增大，随电子枪辐照束斑半径减少，随电子枪流强的增加而增多；在紫外源的辐照下，月尘表面电荷数随颗粒尺寸的增大以及紫外线辐照度的增加而增多。由月尘颗粒受太阳紫外辐照带电的数值模拟结果可知，月尘需要在太阳长时间的辐照下才可以带上可观的电荷数,地面模拟该过程需增加辐照源来加速实验。通过模拟结果的分析比较并结合"空间环境模拟装置"中对月尘舱的设计要求，最终优选紫外源辐照带电方式作为月尘颗粒的带电方案。</p> <div><div>(1) 月尘在紫外辐照环境中的充电机理研究</div><div><div>1) 建立月尘颗粒在紫外辐照环境下的充电物理模型</div><div>2) 通过数值解析获得充电辐照源的最优设计参数范围，建立紫外辐照源的光学模型</div><div>3) 完成紫外辐照源测量系统装置研制并开展验证实验，实现紫外月面辐照源充电环境模拟。</div><div>4) 在紫外辐照环境下分析月尘带电后的悬浮迁移现象及规律</div></div><div><div>(2) 月尘在电子辐照环境中的充电机理与试验研究</div><div><div>1) 建立月尘颗粒在电子辐照环境下的充电物理模型</div><div>2) 通过数值解析获得充电辐照源的最优设计参数范围，建立电子辐照源的光学模型</div><div>3) 完成电子辐照源测量系统装置研制并开展验证实验，实现电子月面辐照源充电环境模拟。</div><div>4) 在电子辐照环境下分析月尘带电后的悬浮迁移现象及规律</div></div><div><div>(3) 月尘在 X 射线辐照环境中的充电机理与试验研究</div><div><div>1) 建立月尘颗粒在 X 射线电子辐照环境下的充电物理模型</div><div>2) 通过数值解析获得充电辐照源的最优设计参数范围，建立 X 射线辐照源的光学模型</div><div>3) 完成 X 射线辐照源测量系统装置研制并开展验证实验，实现 X 射线月面辐照源充电环境模拟。</div><div>4) 在 X 射线辐照环境下分析月尘带电后的悬浮迁移现象及规律</div></div><div><div>(4) 月尘在电子-紫外-X 射线辐照环境中的充电机理与试验研究</div><div><div>1) 建立月尘颗粒在电子-紫外-X 射线电子辐照环境下的充电物理模型</div><div>2) 在大科学月尘舱内实现电子-紫外-X 射线月面辐照源充电环境模拟。</div></div></div></div></div></div>
<div>3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况</div> <p>国家重大科技基础设施项目“空间环境地面模拟装置”子课题——月表多因素极端环境模拟系统研制与试验研究，发改高技【2017】24 号文，在研，主持，6710 万。</p>

七、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向：火星低压尘暴环境特征及模拟试验研究

选题类别：☐ 基础性研究 ☐ 应用性研究 ☐ 工程技术攻关研究
☐ 新开辟的研究方向 ☒ 已有研究方向的继续 ☐ 其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

我国火星探测任务天问一号成功实施，在火星上首次留下中国人的印记，实现从地月系到行星际探测的跨越，下一步计划开展火星采样返回。然而，火星表面环境极端恶劣，尤其是频发的尘卷风现象会对采样探测工程任务带来极大的安全隐患，这就需要在地面建立火星低压尘卷风模拟装置，并开展火星探测器极端环境可靠性试验研究。本文针对火星尘卷风形成演化机理和地面模拟技术开展研究，提出一种多点引射式火星低压尘卷风模拟方法，设计火星大气尘暴环境模拟装置，开展 CFD 流场仿真分析，并研制原理样机进行了实验验证。

(1)火星大气环境模拟器总体方案及舱压状态分析

- 1) 对火星大气环境模拟器进行总体设计，并对多点引射系统进行相应布局。
- 2) 研究舱内压力状态的变化，对多点引射系统中引射器喷嘴及出口管道流动规律进行研究。
- 3) 基于气体动力学设计多孔引射器外形及结构，确定其合适尺寸，进而研究舱体压力平衡问题。
- 4) 将采用理论与数值计算结合的方法研究舱内出入口管道在亚音速和超音速两种状态下舱体内部压力充气、抽气和平衡阶段的变化，确定舱内压力实现平衡状态的条件。

(2)火星大气环境模拟器流场 CFD 仿真与分析

- 1) 将采用 ANSYS Fluent 软件，通过对比选取相应的湍流模型，建立边界条件，分析舱内流场时间-稳态关系，并将仿真结果与五种涡流理论曲线进行拟合，从而分析火星大气模拟器内部流场涡旋类型。
- 2) 进而分析多点引射系统结构参数(出口有效截面、引射器切向圆周半径、引射器数量以及引射器高度)和火星大气环境模拟器环境参数(引射器入射压力、舱体内部压力以及出口压力)影响下，火星大气环境模拟器内部流场的压力、温度、风速及风向等分布规律，进而确定多种工况下火星大气模拟器内部流场流动特性。

(3)火星大气环境模拟器砂尘颗粒运动的 CFD 仿真与分析

- 1) 将 Ansys Fluent 软件耦合 DPM 模型研究砂尘颗粒的流动特点。
- 2) 分析砂尘颗粒与气流耦合后的尘卷风流场特点，确定其时间-稳态关系。
- 3) 进而分析砂尘喷射结构参数(砂尘喷射点舱体径向、高度位置以及偏航角)以及环境参数(砂尘喷射质量流量、砂尘平均粒径、舱体内部压力以及重力场)影响下，砂尘颗粒在火星大气环境模拟器中的速度、数密度以及平均粒径的分布规律。

(4)火星大气环境模拟器原理样机的研制与实验验证

- 1) 研制一套火星大气模拟器原理样机
- 2) 研究真实工况下其内部流场风速与压力分布规律，分析实验数据与数值模拟、理论曲线的拟合程度，采用干冰等手段进行流场的可视化研究，并进行砂尘喷射实验
- 3) 探讨火星大气模拟器模拟真实尘卷风的可行性。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家重大科技基础设施项目“空间环境地面模拟装置”子课题——火星低压尘暴环境模拟系统研制与试验研究，发改高技【2017】24 号文，在研，主持，1078 万。