

1. 博士论文研究方向： 高效音圈式电磁作动器动态输出特性及其协同控制方法研究

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

面向我国航天事业对大批量微纳卫星在轨集群部署的迫切需求，研究音圈电磁作动器的弹射释放技术，以实现多样化载荷精准平稳释放。主要研究内容如下：

1. 具有冗余气隙的复合磁路设计与磁场分布特性分析
设计非等尺寸永磁体与磁轭间相对位置以及磁极布置方向，提出含冗余气隙的复合磁路构型方案。采用静态磁路分割法建立永磁磁路模型，探索冗余气隙、永磁体充磁长度及磁轭厚度对气隙永磁场、磁轭磁饱和与漏磁分布的影响规律。采用动态磁路分割法建立电磁磁路模型，揭示冗余气隙与永磁体宽度比例、通电线圈运动位置和永磁体充磁长度对电枢磁场分布的影响机理。联立永磁磁路模型和电磁磁路模型，分析负载磁场随主要结构参数的变化规律。

2. 音圈电磁作动器在低温与大电流工况下的输出特性分析与优化
考虑温度对电磁参数的影响，结合等效磁荷法和等效磁路法建立精确的电磁力数学模型，揭示电枢反应和低温对电磁力的共同作用机理，探究电磁力随电流大小、线圈运动位移和温度的变化规律。分析永磁体充磁长度、磁轭厚度和冗余气隙宽度等主要结构参数在大电流和低温工况下对动态电磁力的影响规律。分析弹射密度及推力波动对关键结构参数的敏感度，并对关键结构参数进行多目标优化分析，探究最优的结构尺寸方案。

3. 阵列式音圈电磁作动器电磁力分配策略
建立阵列式音圈电磁作动器协同弹射载荷的动力学模型，分析多组音圈电磁作用器施力点位置、施力点数量、电磁力大小及误差对载荷分离姿态、速度和角速度的影响。建立音圈电磁作动器磁热双向耦合模型，分析作动频次与速度对温度分布与功耗的影响。基于磁热耦合分析结果与载荷释放动力学分析结果，建立BP神经网络代理模型，以功耗温升、分离角速度和分离速度为优化目标，结合优化算法制定音圈电磁作动器电磁力最佳分配策略。

4. 电磁作动器冲击去磁特性研究
建立永磁体在不同温度及压力下的磁性转变模型，分析压力对永磁体磁化率、磁化强度以及居里温度的影响规律。建立永磁体冲击加载计算模型，采用数值模拟计算的方法分析永磁体在冲击加载状态下的动态力学响应规律。基于磁体磁化电流假设，建立冲击波作用下永磁体磁感线的动态分布模型，计算磁体磁感应强度。建立冲击去磁过程中磁电动态转换理论计算模型，分析动态磁电转换对电磁作动器输出性能的影响规律。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

重点实验室基金及横向课题，经费300万元。

1. 博士论文研究方向： 空间合作目标大容差低冲击电磁对接技术研究

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

空间载荷集群编队可满足未来多任务、多场景、多目标的应用需求，为实现空间载荷多次重复利用，需要进行在轨对接回收。现有空间交会对接技术作用距离较短，面向多载荷回收时效率低，且空间交会对接过程存在碰撞风险。针对在轨服务对合作目标的回收需求，开展电磁对接回收系统研究，突破远距离、大容差、低冲击、快速柔性对接回收技术。设计基于电磁装置的对接回收机构，建立精确的对接系统动力学模型，解决电磁对接过程中的姿轨耦合复杂问题；设计电磁对接控制系统，突破电磁系统强非线性、强耦合性控制难题，实现对接过程平稳可控；搭建地面试验系统，通过试验验证电磁对接机构及控制系统的性能。提升载荷的重复使用和母星平台的机动服务能力，为空间柔性对接、在轨功能重组和空间电磁操控等领域提供理论依据与技术支持。

针对空间合作目标远距离回收的需求，研究基于电磁对接的空间载荷回收系统，主要研究内容如下：

1. 基于电磁装置的对接机构设计

设计基于电磁对接的重复对接分离装置，实现捕获、校正、锁紧、释放多功能一体化集成。以小体积、低功耗为目标对对接所用电磁铁相关参数优化设计，探究最优布局及尺寸方案。

2. 电磁对接系统动力学建模

规划对接回收任务全过程，建立对接回收系统动力学模型；根据电磁力在不同距离区间内的作用特点分别建立电磁力和力矩的远场与近场模型，分析其误差特性以修正模型。在此基础上建立考虑地磁场、大气阻力、太阳光压等外部干扰的电磁对接姿态、轨道动力学模型，为电磁对接控制系统的设计提供依据。

3. 高精度抗干扰电磁对接控制系统设计

设计基于航天器相对位姿测量的闭环反馈控制系统，考虑电磁对接系统动力学模型误差、多种外界扰动，以减小对接相对速度为目标，综合空间电磁对接控制对鲁棒性、控制精度、收敛性等需求，研究抗干扰能力强的高精度姿轨耦合非线性控制方法。

4. 电磁对接系统地面试验验证

研制电磁对接装置原理样机，设计电磁对接装置的功能及性能测试方案，进行地面试验验证。测量电磁对接系统的磁场、电磁力和对接过程相对速度、分离过程冲击加速度；进行角度、位移偏差下的对接试验，验证系统容差能力；多次重复对接分离以验证系统重复使用能力。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

重点实验室基金及横向课题，经费200万元。