

2019年招生计划

六、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： 六自由度磁浮微动调姿平台的研制

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

2.1 选题背景及意义

在航空航天领域，多自由度精密定位微动调姿平台具有广阔的应用前景，如空间望远镜、激光靶向聚焦定位等光学成像装置一般由主副镜组成，为了实现主副镜光路精确对准，需要对镜头的姿态和位置做实时的调整，该功能的完成依靠具有精密定位功能的装置，针对不同的应用场合和需求，国外已有研究成果应用于航天仪器上，比如詹姆斯韦伯太空望远镜的指向平台、霍比埃勃利天文望远镜定位平台等。我国中长期科学技术发展纲要中提出2020年建成高分辨率的对地观测系统，在空天科学、科学试验与关键方法技术中均提到了动态、无损、灵敏、高分辨率等特征的科学试验检测成像方法，以上重大专项的实施所要解决的诸多问题之一就是目标的精确定位与位姿调整。在工业领域，主要应用于以光刻机为典型代表精密超精密加工制造领域，光刻机是芯片制造中光刻加工的核心设备，涉及精密运动、高精度微环境控制集成等技术，目前我国的半导体加工技术常常受制于其他国家，大部分芯片主要依靠国外进口，其重要原因在于我国精密定位微动平台的技术相对落后，限制了我国半导体产业的发展，因此突破国外技术封锁，自主研发多自由度微动定位设备迫在眉睫。传统微动调姿平台多采用伺服电机驱动的精密滚珠丝杠或者压电陶瓷驱动，由于难以避免固有的摩擦、爬行、磨损、接触疲劳等属性，很难突破瓶颈。近年来，随着半导体微电子电路制造，光学组件生产、精密超精密加工、航空航天等领域的发展，对微动定位平台提出了更高的要求，传统驱动技术越来越难以满足各领域的需求。以磁悬浮为驱动原理的精密定位调姿系统由于实现了完全隔离，无接触摩擦，无需润滑，避免了润滑油脂产生的污染，寿命长，稳定性好，理论上控制精度高，结构本身具有良好的减振隔振性能等显著优点，因此磁悬浮微动技术将成为微动定位调姿技术研究的主要方向。

2.2 研究内容

2.2.1 两自由度磁浮作动器优化设计

- (a) 基于本课题的设计要求和技术指标，根据空间环境对作动器小型化、集成化、模块化和轻量化的需求，考虑组成作动器额线圈数量及结构、永磁体尺寸参数对作动器力学特性的影响，完成作动器的构型设计；
- (b) 采用等效磁荷法建立永磁体磁场的数学解析表达式，完成仿真验证分析；
- (c) 以磁极质量、驱动力常数、线圈热耗为优化目标建立作动器设计的优化数学模型，采用基因遗传算法优化得到磁浮作动器的最优结构参数。

2.2.2 作动器特性分析

- (a) 开展静力学分析，计算关键结构在承载状态下的应力和变形，保证设计结构的刚度和强度。开展模态的分析，获取结构的各阶频率和振型，保证结构基频足够大，避免产生低频共振，影响浮子的定位精度。开展热分析，考查作动器在空间热环境下和自然对流环境下的变形和热分布情况；
- (b) 借助Maxwell13D电磁分析软件对作动器力学特性进行深入研究，开展全运动空间内作动器的力学特性仿真，分析浮子在全运动空间内平动以及浮子转动时驱动力常数的波动情况。

2.2.3 系统动力学建模与控制仿真

- (a) 根据作动器的布局，建立六自由度磁浮微动平台的动力学方程，完成六自由度平台的自由度解耦；
- (b) 建立系统动力学模型，完成力分配和电流分配方案，提出一种z向重力补偿方案；
- (c) 针对单自由度磁悬浮系统，完成基于ITAE指标最优的PID控制器与滑模变结构控制器设计，并在simulink中完成仿真分析。

2.2.4 系统研制与试验

- (a) 加工原理样机，开展作动器全运动空间驱动力辨识标定试验，与仿真结果进行对比分析；
- (b) 搭建磁浮作动器单自由度闭环控制系统，完成功能性验证试验与控制器控制性能验证试验；
- (c) 开展单自由度磁浮作动器闭环控制系统系统辨识试验。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本选题依托国家自然科学基金面上项目：空间微振动多维磁浮隔振系统设计方法及动态特性研究，项目执行期限为2015. 01至2018. 12。

2019年招生计划

六、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： 基于海马尾椎抓捕特性的空间捕获用连续体机器人研究

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

2.1 选题背景及意义

随着人类太空探索活动的增多，以空间机械臂为代表的空间抓捕系统被广泛应用于诸如完成辅助对接、目标搬运、在轨建设、摄像、对有效载荷捕获释放等在轨服务领域，有力地促进了空间科学试验、空间维护与建设、深空探测等空间技术的发展。然而，现有的空间抓捕系统主要针对有合作接口或标识对象的在轨操作，其末端执行器或抓捕器适应能力有限，若要实现对如己方未装置合作部件的卫星、己方失效卫星、空间碎片以及敌方航天器等特征信息未知对象的在轨操作，则会对现有空间抓捕系统带来极大的挑战。

为了实现对空间非合作目标的确定抓捕，目前智能化的空间操控机器人每个关节均为主动驱动关节，导致驱动模块多、质量大、控制系统复杂。与之对应的欠驱动机构有效地减少了驱动模块的数量，具有控制简单、适应性强的特点，但其却存在运动不确定性，使得运动结果具有一定的不可预测性。海马的尾巴通常由36块脊椎（模块）组成，每一块结缔组织（驱动/力载保持单元）连接着多个脊椎，保证了海马尾巴在异常灵活的同时又非常坚硬。借鉴海马尾巴的驱动方式，在充分研究被抓捕非合作目标几何特征的基础上开展抓捕机构驱动/力载保持单元在机构中的布局优化设计和各单元之间的协调控制，实现抓捕机构运动可控并减少驱动单元数量、降低能耗。

2.2 研究内容

2.2.1 海马尾巴缠绕行为特性研究

（1）以组成海马尾巴基本模块的四个“L”型骨板为研究对象，对海马尾巴缠绕过程的吸能缓冲特性进行建模和分析。

（2）考虑海马尾巴多模块串联分布式特点，研究其缠绕驱动机理，揭示驱动单元的数量及布置方式对其运动灵活性的影响规律。

（3）基于海马尾巴从尾根到尾尖结构尺寸渐次减小的构型，建立其与被缠绕物体间的接触和附着力模型，研究海马尾巴渐变构型、结构参数、缠绕形式等对缠绕可靠性的影响规律。

2.2.2 多点分布驱动式仿海马尾巴抓捕机构设计及其运动学分析

（1）提出一种基于结构参数渐变的模块单元组成的抓捕机构创新构型，设计基于SMA丝的抓捕机构驱动及力载保持单元。

（2）基于海马尾巴驱动机理，对驱动及力载保持单元在抓捕机构中的位置进行布局优化，形成抓捕机构多点分布式的驱动形式。

（3）考虑抓捕机构刚柔混合特性，建立抓捕机构运动学模型，以海马尾巴缠绕形成的“对数螺线”运动轨迹对抓捕机构进行结构参数优化设计。

2.2.3 多点分布驱动式抓捕机构动力学建模及其抓捕策略研究

（1）基于SMA本构模型，考虑空间环境特殊性、抓捕机构负载特性、作用时间等，建立驱动/力载保持单元的电-热-力-机的耦合作用模型，并在此基础上提出基于遗传算法或BP神经网络的简化模型。

（2）基于凯恩法建立刚柔混合抓捕机构具有柔性变胞性质的多构态变化非线性动力学模型，分析机构运动过程的混沌、分岔等特性，研究抓捕过程中产生的冲击、振动对捕获效果及机构本身的影响。

（3）分析被捕获对象的典型特征，提出相应的抓捕策略，建立参与抓捕的模块位置/数量、驱动/力载保持单元位置/数量、驱动电流等与捕获对象间的映射关系。

2.2.4 多点分布驱动式抓捕机构样机研制及其实验研究

（1）研制抓捕机构的原理样机、控制系统、实验工装、典型空间被捕获对象模拟件，并搭建抓捕机构综合实验测试平台。

（2）开展抓捕机构功能和性能测试，验证机构驱动特性、轨迹特征、重复精度等；通过驱动抓捕机构对不同典型抓捕对象模拟件的多次抓捕实验，验证提出的抓捕策略及抓捕机构的自适应特性。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本选题依托国家自然科学基金青年基金项目：空间气动连续体机器人及其捕获特性研究，项目执行期限为2018.01至2020.12。