

三、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： 自生长软体机器人运动机理与控制方法研究

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

在轨探测与近地行星探测是未来一段时间内航天科技研究的前沿阵地。空间站作为人类探索太空的跳板和进行科学实验的基地，集成多种先进航天技术，支持人类长期驻留太空，进行各种科研和探测任务，是目前最复杂人造科学系统之一，但其构造复杂、空间狭小、仪器精密、线路紧凑的舱内环境使其检修任务具有极高的难度。而外星体作为深空探测的重点目标，具有丰富的可开发资源，因此，建立外星体基地、开发星体资源是世界各国航天活动的必然趋势和竞争热点，有效开展星表探测与土壤采样已成为现阶段星体研究的关键，然而，土壤疏松、地形崎岖、沙暴频繁、复杂未知的星表环境也对其探测装备提出了更高的要求。

目前用于空间站的故障检修任务大多是通过一端固定的多自由度机械臂来完成，末端可携带探测和维修工具，具有很高的控制精度和负载能力，但面对狭小、精密的舱内环境，其体积大、工作范围小、灵活性和顺从性差，且存在的刚性冲击易对仪器和线路造成损伤。而在星表的探测采样任务中，常用的星球车在面对疏松土壤以及陨石坑、地堑、沟壑等复杂未知的星表环境时，极易侧翻、易深陷等较差的环境适应性。因此，现有的航天探测操作设备多为刚性结构，在狭小精密的空间站以及复杂未知的外星表环境中存在一定的局限性，制约了深空探测技术的发展，亟需发展柔性深空探测装备，补充现有探测装备的不足。面对此难题，近年来软体机器人的出现迅速成为各领域研究的热点，为深空探测设备提出了新的思路。

软体机器人是一种本体由柔性材料制成的新型柔性机器人，区别于传统刚性机器人的电机驱动，软体机器人的驱动方式大多为流体驱动或智能材料驱动，具有高顺应性、高安全性、高灵活性，高收纳比以及低成本等优点，能够适应各种非结构化环境。软体机器人是机器人研究领域的重要分支，是近年来国际学术研究的热点与前沿方向。其中的气动自生长软体机器人仿生了自然界藤蔓类植物的运动方式，其主体由薄壁筒膜制成，通过内部气压驱动的薄膜的外翻实现尖端生长运动，其空间应用的优势在于：①气动外翻的运动形式可以脱离环境实现运动，适合空间微重力环境；②柔性特征可以规避对环境和自身造成的损伤，保护精密仪器；③理论上的无线延伸和多自由度可以扩展运动范围，运动平稳可靠。同时其生长尖端可以携带摄像头、抓手等探测、采集和维修工具，在精确到达目标位置的基础上，丰富了其尖端操作功能。因此设计满足空间应用条件的多自由度气动自生长软体机器人的运动系统和控制系统成为其应用于深空探测所必须解决的关键问题。

气动自生长软体机器人具有很高的收纳比、适应性、灵活性、安全性，此特性及其外翻运动方式和优越的运动效率在空间应用中具有天然优势，但其柔性特征给其运动学建模和控制精度带来了新的挑战，此外，空间站以及星表复杂环境给自生长机器人的运动性能和路径规划提出了更高的要求。因此，为了实现软体机器人高效精准探测和复杂路径规划能力，发展基于自生长软体机器人的深空探测及操作技术，必须开展面向空天复杂环境的自生长软体机器人结构设计、理论模型、传感反馈、控制策略、样机制作及应用等基础研究。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本课题来源于上海市空间飞行器机构重点实验室开放项目（编号 18DZ2272200：仿藤蔓软体机构自生长机理研究）。旨在研究自生长软体机器人结构设计及控制方法，明确影响柔性机构性能的关键因素。建立软体机器人空间位姿数学模型，研究三维空间环境下软体机器人运动路径控制算法，研制仿藤蔓空间软体机器人自主运动检测的原理样机，实现目标位置的故障检测和尖端修复操作，为软体机器人在空间站狭小环境下的应用提供技术支持。