

2020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： 基于爆炸驱动的软件仿青蛙机器人关键技术研究

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

一、选题背景与研究意义

软体机器人因其基体材料的柔顺性和依从性，已经成为新的研究热点。近年来随着化学燃料爆炸驱动技术的发展，研制小型、甚至接近于生物尺寸大小的软体仿生机器人已经变得可行。目前多个国外科研机构已经对此展开深入的研究，2014年瑞士联邦理工学院研究的硅胶燃爆驱动柔性泵，由甲烷与空气燃爆反应，使腔体变形产生压力使液体通过泵体。2015年哈佛大学发表于《Science》的弹跳软体机器人，由丁烷和氧气反应产生动力驱动机器人跳跃。2016年哈佛大学发表于《Science》的软体章鱼机器人，采用复杂的微流控制逻辑控制由过氧化氢分解产生的氧气驱动机器人运动。2015年康奈尔大学研究的水下游动软体机器人，由氢气与氧气燃爆反应来驱动机器人运动。

青蛙是典型的两栖生物，目前对仿青蛙两栖机器人的研究均是通过机械刚性结构来构建样机，再用电机或气动肌肉等驱动单元来实现陆地跳跃或水下游动，存在机构本体尺寸大、结构非独立，无法有效模拟青蛙生物外型的缺点。本课题将基于微流控制的化学爆炸驱动技术，采用软体材料研制新型仿青蛙软体机器人，从多关节式软体运动机构的制备工艺、基体构型、微流网络、控制策略、机理分析等方面，对仿青蛙软体机器人技术进行深入的研究，为我国软体仿生机器人技术的研究和发展提供理论基础和技术储备。

二、主要研究内容

1) 爆炸能量驱动单元设计与高效燃料微流控制方法研究；

设计基于爆炸能量驱动的高效小型驱动单元，针对爆炸驱动功能所需要的爆炸燃料储存室、燃料反应室、能量驱动器单元以及高效燃料微流控制方法进行深入研究，设计与爆炸驱动相适应的青蛙内部爆炸系统与驱动结构。

2) 基于刚、柔、软材料一体的仿青蛙机器人仿生结构建模与制备方法研究；

深入研究青蛙的生物肌骨骼结构，进行生物青蛙的仿生结构建模，在此基础上结合3D打印技术，软光刻技术等，研究软体仿青蛙机器人的仿生结构制备方法，进行软体仿青蛙机器人的本体结构研制。

3) 仿青蛙软体机器人运动分析与结构仿真优化；

研究仿青蛙软体机器人的运动分析和结构仿真方法，建立机器人与环境接触的动力学模型。针对青蛙的结构与爆炸驱动方式，进行跳跃和水中游动功能的仿真，建立青蛙机器人在跳越和游动时的运动学和动力学模型。

4) 机器人精确姿态调控与高效爆发性运动控制方法研究；

针对仿青蛙机器人机构运动对精确姿态调整和爆发性推进的功能需求，研究爆炸高压气体定量稳定可控输出的燃料供给控制方法，以及仿青蛙机器人关节精密伺服控制策略，实现对机器人姿态的精确调整与爆发性推进的稳定运动控制。

5) 仿青蛙软体机器人原理样机研制与两栖运动实验研究。

设计基于爆炸能量驱动的仿青蛙软体机器人原理样机，搭建实验平台，进行仿青蛙机器人两栖运动实验研究，验证论文在爆炸能量驱动系统设计、青蛙结构物理特性和肌骨骼系统作用机理分析、肌骨骼系统建模与结构设计、复杂环境下机器人与环境的接触作用动力学建模以及青蛙两栖运动控制策略等方面所取得的理论研究成果。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

该选题主要依托以下两个科研项目

1、国家重点研发计划智能机器人专项项目，“仿蛙软体跳跃机器人关键技术研究”，项目批准号：2017YFB1300104，执行年限：2017年12月—2020年11月。项目经费：258万元。

2020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： 复杂环境下软体仿青蛙机器人动力学建模与控制策略研究 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 一、选题背景与研究意义 青蛙在陆地上凭借高效的跳跃运动，能适应不平或松软的地面，越过数倍甚至数十倍于自身的障碍物，在水中借助其带蹼的脚掌和后肢的推进机制，能在水面和水底灵活的游动。因此，研制适应复杂环境的仿青蛙两栖机器人具有重要实用价值和现实意义。将水下游动与地面跳跃功能相结合，以腿式结构实现灵巧的两栖运动是该机器人的最大亮点。 仿青蛙机器人跳跃过程的动力学问题包含了连续动力学状态和碰撞离散状态，需要分析不同子相运动状态切换的条件以及机器人跳跃过程的欠驱动特性；而其水下游动动力学过程需要求解刚体动力学与流体力学求解之间的流固耦合问题。解决上述动力学问题的核心是建立复杂环境与机器人交互作用机理模型以及青蛙两栖运动机构模型，尤其是青蛙柔性脚蹼模型，统一机器人各个运动状态的动力学建模。 软体机器人因其基体材料的柔顺性和依从性，已经成为新的研究热点，近年来化学燃料爆炸驱动技术也发展迅速。利用软体机器人柔顺性以及爆炸驱动技术的爆发性，非常适合研究软体仿青蛙机器人。但是，软体机器人由于躯体材料与驱动方式的特性，具有强烈的非线性特点，使该机器人控制策略研究成为一个重点和难点。本课题将基于新型软体仿青蛙软体机器人，从两栖复杂环境与机器人运动之间的交互作用机理出发，研究基于爆炸方式驱动的软体仿青蛙两栖机器人在复杂环境下的动力学建模与两栖运动控制策略问题，为我国面向复杂环境的仿生机器人技术的研究和发展提供理论基础和技术储备。 二、主要研究内容 1)) 仿青蛙机器人与复杂环境交互作用动力学建模 研究基于爆炸方式驱动的软体仿青蛙机器人两栖运动的动力学问题，难点在于建立软体机器人与复杂环境交互作用的动力学模型。针对陆地与两栖过渡环境，分析软体仿青蛙机器人与环境接触的动力学作用，研究柔性脚蹼在被动刚度特点与主动可控变形在过渡环境中的作用机理。针对青蛙在水中环境的桨式推进方式，求解水环境与机器人之间的流固耦合作用，研究机器人基于脚蹼推进的桨式游动机理，分析脚蹼运动模式及其几何形态参数对游动速度、推进力及推进效率的影响。 2) 爆炸驱动输出特性研究与软体仿青蛙机器人最优运动模式研究； 仿青蛙两栖机器人的特殊性在于其两栖运动皆通过后腿结构与驱动器实现，因此机器人运动规划需要协调其肌骨骼系统输出特性在跳跃和游动中的应用。研究爆炸驱动特性，建立驱动器等效输出模型，一方面，研究机器人跳跃和游泳运动在驱动器极限输出能力限制下的最优运动规划问题，另一方面，研究实现机器人两栖运动的爆炸驱动器设计参数优化问题。为软体仿青蛙机器人的本体结构研制提供模型基础。 3) 机器人两栖姿态调控与运动控制策略研究； 针对仿青蛙机器人两栖运动的不同构型及其运动机理，设计基于爆炸驱动方式的机器人软体关节控制器，研究爆炸式驱动器稳定可控输出问题。针对机器人与复杂环境的交互作用所产生的环境干扰力、运动震颤效应和能量消耗问题，建立解析化的能量优化及姿态平稳性约束机制，以环境接触力学参数的在线辨识结果作为控制策略调整的依据，研究具有环境适应能力的自适应最优控制策略。 4) 仿青蛙软体机器人原理样机研制与两栖运动实验研究。 设计基于爆炸能量驱动的仿青蛙软体机器人原理样机，搭建实验平台，进行仿青蛙机器人两栖运动实验研究，验证机器人动力学建模、爆炸式驱动器设计、最优两栖运动规划以及控制策略的可行性与正确性。
3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况 该选题主要依托以下两个科研项目 1、国家自然科学基金面上项目，“面向复杂环境应用的仿青蛙两栖机器人肌骨骼系统作用机理研究”，项目批准号：51675124，执行年限：2017年1月—2020年12月。项目经费：62万元。

七、招生计划申报导师确认

表中所填内容经本人确认属实。

导师签字：年 月 日

八、所在单位党支部意见：

党支部书记签字：年 月 日

九、所在院（系）党委（党总支）意见：

☐ 同意申报 ☐ 不同意申报

党委（党总支）书记签字：年 月 日

十、院（系）意见

☐ 同意招生计划，且建议给予 个博士生招生名额

☐ 不同意招生计划

其他需要特殊说明事项：

院长（系主任）签字：年 月 日

十一、研究生院审核备案意见

负责人签字（盖章）：年 月 日