

附件3

2025年度福建省科学技术奖 提名项目公示内容

高校（盖章）：

项目名称：刚柔耦合广义张拉整体变刚度机理与高性能仿生推进规律

提名奖种：福建省自然科学奖

提名单位：福建省教育厅

项目简介：深远海探测是国家海洋强国战略的重要组成部分。真实鱼类之所以拥有极高的游动性能，其物理基础在于由柔性筋膜与刚性骨骼构成的“生物张拉整体系统”，通过刚柔耦合实现刚度调节与优异的流固交互。然而，现有仿生机器鱼受限于“离散刚体”或“连续柔顺”的相对孤立范式，缺乏宽范围主动变刚度能力，长期陷入“形似而神不似”的困境，游动性能与真鱼差距显著。本项目在国家自然科学基金等支持下，首创刚柔耦合广义张拉整体仿生鱼体，系统开展了变刚度机理与高性能推进规律研究，取得了以下三大重要科学发现：

(1) 针对广义张拉整体预应力致稳/致失稳转化机理及刚度重构难题，项建立了目体空间的统一刚度映射模型，证明了纯转动不定刚度是结构失稳根源，并给出了稳定性解析判据。揭示了拮抗预应力通过构型演化主导弹性能重分配与刚度跃迁的内在机制，明确了主被动刚度解耦的定量边界。该发现打破了传统数值判别的局限，为仿生鱼体实现大范围、高动态的主动变刚度提供了坚实的理论基础与解析设计框架。

(2) 针对鱼体波模态选择激励与动态相似性难题，提出了张拉柔性关节的刚度各向异性设计方法，揭示了单点谐波激励即可激发刚柔耦合鱼体主导振动模态（如S形与C形）的选择性激励机制。提出基于行波系数的鱼体波复模态表征方法，统一刻画了鱼体波驻波一行波混合属性，量化了自然鱼与仿生鱼在复杂模态特征上的动态相似性。

(3) 针对鱼体波整体传播特征跨工况作用及刚度匹配规律不清的问题，构建了驱动特性、鱼体波传播和推进性能的关联分析框架，揭示了行波系数与游速、步长等的跨工况定量关系。提出了身体刚度非均匀分布的高可控设计方法，通过刚度动态重构可将游速最高提升 59%，揭示非均匀刚度分布与驱动频率的游动性能影响机制。

项目研究成果发表于 *IEEE Transactions on Robotics* 和 *Soft Robotics* 等国际知名期刊。研究工作获国内外院士等知名学者多次引用及积极评价，有重要学术价值和应用前景。

主要完成单位：福州大学、哈尔滨工业大学

主要完成人及其贡献：

第一完成人：陈炳兴，男，博士，福州大学校聘教授，博导，长期从事变刚度仿生机器鱼与机构学研究，是本项目所涉国家自然科学基金青年项目负责人，对发现点 1、2、3 做出重要贡献，是代表性论文 1、2、4、5 的主要合作者，在广义张拉整体刚度特性分析、仿生鱼鱼体波分析、变刚度推进机理等方面做了大量的创新工作。在研发工作中投入的工作量占本人工作量的 90%。

第二完成人：姜洪洲，男，博士，哈尔滨工业大学教授，是本项目研究实施的重要贡献者，对发现点 1、2、3 作出重要贡献，是所有代表性论文的主要合作者，在本项目广义张拉整体、变刚度游动机理和模态分析等等方面提供关键学术思路和重要工作。投入本项目的工作量占本人工作量 60%。

第三完成人：李康康，男，博士、是本项目研究实施的贡献者。对发现点 1、3 作出贡献，是代表性论文 3 的主要合作者。负责仿生鱼主被动刚度解耦设计、机器人系统的设计和分析研究工作；参与本项目关键学术思想与研究思路探讨；协助进行实验数据的分析和论文撰写工作。投入本项目的工作量占本人工作量 50%。

主要知识产权目录：

无

代表性论文专著目录：

示例：刊名、论文（专著）名称、影响因子、年卷页码、发表时间、SCI/EI 收录情况、他引次数、作者：排序/姓名

1. 刊名：Soft Robotics；论文名称：Swimming performance of a tensegrity robotic fish；影响因子：6.16；2019 年 6 卷 520 页；2019 年 8 月发表；SCI/EI 收录；SCIE 他引次数：77；作者：1/Bingxing Chen, 2/Hongzhou Jiang*。

2. 刊名：IEEE Transactions on Robotics；论文名称：Body stiffness variation of a tensegrity robotic fish using antagonistic stiffness in a kinematically singular configuration；影响因子：6.835；2021 年 37 卷 1712 页；2021 年 10 月发表；SCI/EI 收录；SCIE 他引次数：54；作者：1/Bingxing Chen, 2/Hongzhou Jiang*。

3. 刊名: *Journal of Bionic Engineering*; 论文名称: *A Soft Robotic Fish with Variable-stiffness Decoupled Mechanisms*; 影响因子: 2.463; 2018 年 15 卷 599 页; 2018 年 7 月发表; SCI/EI 收录; SCIE 他引次数: 28; 作者: 1/Kangkang Li, 2/Hongzhou Jiang*, 3/Siyu Wang, 4/Jianmin Yu。

4. 刊名: *Mechanism and Machine Theory*; 论文名称: *Instability results from purely rotational stiffness for general tensegrity structure with rigid bodies*; 影响因子: 5.2; 2022 年 167 卷; 2022 年 1 月发表; SCI/EI 收录; SCIE 他引次数: 11; 作者: 1/Bingxing Chen, 2/Hongzhou Jiang*。

5. 刊名: *Biomimetics*; 论文名称: *Complex Modal Characteristic Analysis of a Tensegrity Robotic Fish's Body Waves*; 影响因子: 3.9; 2024 年 9 卷; 2023 年 12 月发表; SCI/EI 收录; SCIE 他引次数: 2; 作者: 1/Bingxing Chen, 2/Jie Zhang, 3/Qiuxu Meng, 4/Hui Dong*, 5/Hongzhou Jiang*。

其他支撑材料目录

序号	证明材料名称	提供单位
1	任务来源	国家自然科学基金委员会
2	评价证明目录	施引科技论文
3	其他证明: 检索报告(他引); 论文清单和其他论文; 合作关系证明	福州大学