

2026 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

水下航行器推进系统动力学设计与振动抑制方法

二、提名者及提名意见

提名者：中共陕西省委军民融合发展委员会办公室

提名意见：

该项目面向国家海洋强国战略及其重大海防需求，在国家自然科学基金等项目支持下，在水下航行器电动力推进轴系声振特性预估与抑制的基础研究与技术创新方面开展了长期、深入的研究工作，提出了推进轴系机电激励力算法及动力学建模方法、建立了水下航行器推进轴系内部多源激励表征方法与动载计算模型、发展了水下航行器推进系统多接触界面动力学建模与振动抑制理论，形成了“量化激励+识别路径+抑制振动”三位一体的推进系统振动抑制新模式，取得了重大原创性科学发现，形成了高水平学术论文和发明专利等研究成果，实现了水下航行器推进轴系振动准确预估与抑制，有力推进了我国转子系统动力学建模和振动抑制理论的发展，获得国内外同行的广泛引用和正面评价，产生了重要的学术影响力，推进解决了我国百吨级超大型无人水下航行器、高速水下航行器以及水下舰艇等重大装备推进系统声振特性预估与振动噪声抑制瓶颈问题。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省自然科学奖提名条件。鉴于该项目取得了国际转子故障诊断领域重大原创性理论成果，形成了面向国家重大装备需求的重要技术成果，特提名陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介

本项目属于机械动力学领域，为水下航行器推进轴系的高可靠性和低振动噪声设计提供基础理论与方法支撑。

电动力推进是水下航行器未来的主流发展方向之一。作为水下航行器动力传输的核心组件，因水下航行器内部复杂有限空间限制，推进轴系具有设计要求高、加工工艺复杂、装配难度大等特点。实际海洋工况中，推进轴系不仅会受到高背压、浪涌和螺旋桨诱发的时变动载等外部激励作用，也不可避免地受到**机电耦合效应、元件接触界面演化、制造安装误差**等内部激励作用，**内外激励耦合作用严重影响推进轴系的动力学行为与服役性能，是水下航行器动载与振动噪声抑制领域面临的重大挑战之一。**

在国家自然科学基金等项目支持下，围绕电动力水下航行器推进系统服役过程中面临的声振特性准确预估与低频振动噪声有效控制难等技术挑战，凝练出关键科学问题：**振动位移与电磁场耦合作用下的电磁激励力演变机制、制造安装误差诱发的元件接触演化及其激励机理、轴-壳耦合界面动态载荷表征与冲击振动传递规律**，开展了系统的研究工作，主要发现点如下：

发现点 1：建立了水下航行器推进电机动态气隙磁导等效磁路模型，揭示了推进轴系元件制造误差—转子动态位移—电磁激励的耦合作用机制；构建了水下航行器推进轴系机电耦合动力学模型，实现了推进轴系机电耦合振动特性的准确计算

建立了推进电机转子动态位移及元件制造误差复合形位激励的推进电机动态气隙磁导等效磁路模型，揭示了推进电机复合形位激励与电磁激励力耦合作用机制及其演变规律，克服了传统基于形函数法的推进电机等效磁路模型无法准确描述水下航行器推进轴系机电激励耦合行为的问题；综合考虑非理想电流的谐波激励、时变气隙磁导、轴承时变激励力、转子柔性变形等因素的影响，提出了推进轴系机电耦合系统动力学建模方法，揭示了机电耦合激励作用下的推进轴系振动特征演变规律。被国际同行评价为：“更有效地计算具有柔性变形和不平衡质量的电机转子系统的振动特性”、“发现了滚子和滚道弹性变形将显著影响转子系统振动特性”。

发现点 2：建立了水下航行器推进轴系时变刚度和位移耦合激励表征模型，揭示了推进轴系内部接触界面演化规律和多源时变激振机制；提出了制造安装误差激励的接触元件内部动态载荷解析计算方法，实现了推进轴系内部动态载荷的准确预估。

提出了元件制造安装误差诱发的推进轴系时变刚度和时变位移计算方法，探明了推进轴系内部多源激励时变激振机制，克服了传统基于小位移假设的定刚度模型无法准确描述制造安装误差诱发的推进轴系连接花键与轴承刚度动态演变的问题；考虑制造安装误差激励的内部轴承动态载荷计算方法，揭示了元件制造安装误差激励的推进轴系内部动载演化规律；提出了考虑齿间制造安装误差的花键啮合力计算方法，完善了水下航行器推进轴系内部激励建模理论。被国际同行评价为：“为该领域研究提供了新的模型和方法”、“创新性地提出了一种耦合基体刚度、平行不对中和侧隙的花键刚度模型”、“克服了传统静态解析模型的计算误差”和“提出了一种轴承解析计算新方法，显著提升了计算精度与效率”。

发现点 3：构建了轴-壳系统声振耦合动力学模型，揭示了多接触界面振动传递规律与声-振耦合机制；提出了推进系统多约束低频振动优化设计方法，实现了水下航行器内外多源激励耦合条件下低频振动特性有效抑制。

建立了考虑共形接触的轴-壳耦合界面动态载荷计算模型，揭示了推进轴系轴-壳耦合界面时变激励机理，解决了轴-壳耦合界面动态演化导致的载荷分布难以准确计算的难题；考虑推进器时变载荷影响，构建了推进轴系轴-壳系统声振耦合动力学模型，揭示了多接触界面振动传递规律和声振耦合机制；提出了新型层状周期隔振结构设计方法，克服了推进系统低频振动衰减难的问题；构建了推进轴系振动评价体系，确定了推进轴系和推进器设计参数，开展了关键变量敏感性分析，形成了推进系统多约束振动优化设计方法，实现了推进系统低频振动的有效抑制。被国际同行评价为：“一种新的转子系统动力学建模方法”，“提出了单层和双层隔振结构，可用于抑制影响水下滑翔机精密器件工作的振动特性”和“该

结构具有实际应用价值和通用性”。

围绕以上创新工作发表 SCI 论文 142 篇，出版学术专著 3 部，授权 24 项国家发明专利。5 篇代表性论文 Web of Science (WOS)他引共计 431 次，篇均 WOS 他引 86 次，其中，**1 篇入选 ESI 热点论文(前 0.1%)**，**3 篇入选 ESI 高被引论文(前 1%)**。5 篇代表性论文被来自 39 个国家/地区 367 个科研机构的 1708 名学者在 132 种出版物上引用，被 **7 名院士**、ASME 等国际权威学会 **14 位 Fellow** 在内的国际同行引用和正面评价。

四、客观评价

该项目成果获得国内外同行的广泛关注和正面评价，5 篇代表性论文被来自 39 个国家/地区 367 个科研机构的 1708 名学者在 132 种出版物上引用，Web of Science(WOS)他引共计 431 次，篇均 WOS 他引 86 次。

五、代表性论文专著目录（不超过 8 条，其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部）

序号	论文专著 名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发 表 时 间	通 讯 作 者	第 一 作 者	国 内 作 者	他 引 总 次 数	检 索 数 据 库	知 识 产 权 是 否 归 国 内 所 有
1	Dynamic modelling of the defect extension and appearance in a cylindrical roller bearing	Mechanical Systems and Signal Processing	Jing Liu, Linfeng Wang, Zhifeng Shi	2022 年 17 卷 109040-1-26 页	2022 - 3-19	Jing Liu	Jing Liu	刘静, 王林峰, 师志峰	113	WOS 核心合集	是
2	An analytical calculation method of the load distribution and stiffness of an angular contact ball bearing	Mechanism and Machine Theory	Jing Liu, Changke Tang, Hao Wu, Zidan Xu, Linfeng Wang	2019 年 142 卷 103597-1-16 页	2019 - 8-21	Jing Liu	Jing Liu	刘静, 唐昌柯, 吴昊, 徐子旦, 王林峰	109	WOS 核心合集	是

3	A dynamic model for the planetary bearings in a double planetary gear set	Mechanical Systems and Signal Processing	Jing Liu, Xinbin Li, Min Xia	2023 年 194 卷 110257-1-23 页	2023 - 7-1	Jing Liu	Jing Liu	刘静, 李鑫斌	73	WOS 核心合集	是
4	Theoretical and experimental research on the effect of bi-directional misalignment on the static and dynamic characteristics of a novel bearing	Mechanical Systems and Signal Processing	Zhongliang Xie, Jian Jiao, Bin Zhao, Jianbo Zhang, Fangcheng Xu	2023 年 208 卷 111041-1-29 页	2023 - 12-23	Zhongliang Xie, Bin Zhao	Zhongliang Xie	解忠良, 焦见, 赵滨, 张建波, 徐方程	86	WOS 核心合集	是
5	Numerical study of flow-induced vibrations of cylinders under the action of nonlinear energy sinks (NESs)	Nonlinear Dynamics	Dongyang Chen, Laith K. Abbas, Guoping Wang, Xiaoting Rui, Pier Marzocca	2018 年 94 卷 925-957 页	2018 - 6-7	Laith K. Abbas	Dongyang Chen	陈东阳, 王国平, 芮筱亭	56	WOS 核心合集	是

6											
7											
8											
合 计									431		

六、主要完成人情况（不超过 6 人）

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
刘静	1	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	作为该项目第 1 完成人，是该项目的组织、设计、指导与直接参与者，负责项目研究思路的总体把握和研究方案与技术路线的确定，协调项目顺利完成。是代表性论文 1-5 的唯一第一作者，在本项目的 3 个发现点中，提出了水下航行器推进轴系机电激励耦合行为及动力学建模方法、水下航行器推进轴系内部多源激励时变激振机制与动载计算方法、水下航行器推进轴系振动抑制与性能优化方法的研究思路，并分别指导其余项目完成人开展相关工作。
陈东阳	2	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	作为该项目第 2 完成人，是该项目的直接参与者，负责水下航行器推进器时变激励计算与振动抑制工作。是代表作 5 的第一作者，在项目的发现点 2 和 3 中，提出了水下航行器推进器时变载荷计算方法和振动抑制方法。
解忠良	3	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	作为该项目第 3 完成人，是该项目的直接参与者，负责水下航行器推进轴系轴承的内部激励建模与分析工作，

						提出了考虑制造安装误差的轴承动态载荷计算方法。是代表作 3 的作者，在项目的发现点 2 中，揭示了推进轴系轴承时变激振机制。
李鑫斌	4	无	无	西北工业大学	西北工业大学	作为该项目第 4 完成人，是该项目的直接参与者，负责水下航行器推进轴系连接花键的内部激励建模与分析工作，提出了考虑齿间制造安装误差的花键啮合力计算方法。是代表作 3 的作者，在项目的发现点 2 中，揭示了推进轴系内部多源时变激振机制。
	5					
	6					

七、主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	学校承担了支撑项目的立项、计划管理和组织实施等工作，对项目研究工作给予了大力支持，投入主要的人力和物力支持，对研究成果的顺利完成提供了重要保障措施，也为研究成果的应用提供了必要条件。
	2	
	3	

八、完成人合作关系说明

本项目由第 1 完成人刘静与第 2、3、4 完成人陈东阳、解忠良、李鑫斌等人合作完成。项目完成人在国家自然科学基金等项目支持下，围绕电力水下航行器推进系统服役过程中面临的声振特性准确预估与低频振动噪声有效控制难等技术挑战，开展了深入、持续的合作。项目完成人均为西北工业大学的研究人员。其中，本人是本项目的组织、设计、指导与直接参与者。

第一完成人与其他完成人共同取得以下成果：

（1）刘静与陈东阳自 2016 年至今，在推进器时变动载计算与振动抑制等方面进行合作，共同发表论文 4 篇，共同获陕西高等学校科学技术研究优秀成果一等奖 1 项；

（2）刘静与解忠良自 2016 年至今，在轴承时变激励表征与振动抑制等方面进行合作，共同参与项目 1 项；

（3）刘静与李鑫斌自 2019 年至今，在推进轴系内部动载计算与动力学建模方法等方面进行合作，共同发表论文 15 篇，授权国家发明专利 6 件。