

2026 年度中国造船工程学会提名公示内容

(适用于项目主要完成单位、主要完成人所在单位)

填表日期：2026 年 9 月 17 日

项目名称	面向大型船舶的智能清洗机器人关键技术及应用
提名奖项及等级	中国造船工程学会科技进步一等奖
提名者	招商局船舶工业集团有限公司
项目简介 (1200 字以内)	随着航运业绿色低碳发展需求提升，大型船舶船体海洋生物污损会增加航行能耗、加速船体腐蚀并带来生物入侵风险，现有传统船体清洗机器人连续作业精度不足、高效无损清洗难以兼顾及功能拓展困难，及潜水员水下清洗方式存在作业成本高、安全风险大，且难以满足港口日趋严格的环保管控要求。 对此，完成单位开展智能清洗机器人总体设计及模块化搭载技术研究，提出抗流姿态控制与多源融合导航技术，实现复杂海域厘米级定位与智能路径规划；揭示自激振荡空化机理，突破空化射流调控、柔性贴壁清洗等技术，实现船体低损伤高效除污；构建装备模块化平台体系，提出 AI 具身智能作业方法，支持多任务快速配置。其中多级变截面自振空化射流、基于 VIO 及动力学模型的水下定位技术跻身国际领先行列。取得以下三方面创新性成果： 1.提出了复杂环境下清洗机器人高鲁棒性抗流姿态控制方法，研发了多源信息融合自主导航定位技术,实现了复杂海洋环境下厘米级高精度定位能力及智能作业路径规划。 2.揭示了自激振荡空化强化机理，提出了射流反作用力动力学耦合建模方法，开发了多级耦合空化射流调控、机械臂抗干扰运动控制及柔性自适应贴壁清洗等技术，实现了船体及防腐涂层低损伤、高效除污的清洗效果。 3.构建了水下清洗装备模块化、标准化及平台化设计的架构体系，开发了多场景作业的模块化整机集成与工程化开发模式，提出了 AI 驱动的水下智能清洗机器人具身智能作业方法，实现了多系统协同优化、多任务场景快速配置及自主感知智能决策的功能，加快了清洗机器人的快速重构与维护进程。 该项目获授权发明专利 17 件、实用新型专利 11 件、计

	计算机软件著作权 9 项，发表学术论文 27 篇，研究成果成功应用于招商局船舶工业集团威海船厂、新加坡 YOT PTE LTD 等国内外工程项目，累计完成超过 2000 艘船次清洗，经济社会效益显著。
提名书 相关内容	1. 周翰文，刘文智，刘汉强，王顺礼，于力明。基于 VIO 和动力学模型的水下机器人定位系统及方法[P]. 中国，ZL201910080899.5，2020-4-17. 2. 刘文智，王顺礼，朱金霄，于力明，周翰文，刘汉强，秦明达。一种半潜式无人航行器 [P]. 中国，CN202410430939.5，2024-8-9. 3. 刘文智，韩锦亮，刘汉强，黄杰，于力明，孙玉飞。一种可快速布放的集装箱紧急示位仪 [P]. 中国，CN202010306287.6，2023-10-20. 4. 刘文智,刘汉强,秦明达,王顺礼,韩锦亮,于力明,周翰文,张志强,刘伟,刘丕业。一种水下智能清刷机器人[P].中国，ZL202110746569.2，2021-9-14. 5. 刘文智,刘汉强,秦明达,王顺礼,韩锦亮,于力明,周翰文,张志强,刘伟,刘丕业。一种一体化水下清刷工具[P].中国，ZL2024105087202，2019-10-1. 6. 方珍龙，郭江涛，黎秀能，侯文江，范世东。一种后混合冰磨料射流喷嘴优化方法[P].中国，ZL202511316304.3，2025-11-21. 7. 方珍龙;张梦达;康勇;江攀;吴强;熊庭;危卫;李登。高围压水射流实验装置[P].中国，ZL201810131227.8，2021-9-14. 8. 方珍龙，黎秀能，范世东，侯文江，王连安。一种冰粒磨料射流发生系统[P].中国，ZL202511666171.2，2026-2-6. 9. 方珍龙;王思凝;陈彦。一种激光切割装置及激光切割方法 [P].中国，ZL2023 1 0017919.0，2025-9-16. 10. 方珍龙，成家骏，水中和。一种养殖网箱清洗机械臂路径规划方法[P].中国，ZL202511007151.4，2025-9-26.

	11. 张修占, 卢宇, 李远鹤, 陈峰落, 洪学武, 李磊, 刘建成, 梅先志, 张辉, 戚宝运, 李琴, 谢宇。一种引入射流反作用力的船舶除锈机械臂抗干扰运动控制方法[P]. 中国, ZL202511301134.1, 2026-1-31. 12. 张修占, 陈峰落, 李远鹤, 卢宇, 洪学武, 刘建成, 李磊, 吴四川, 张辉, 戚宝运, 魏佳康, 李浩, 邱何伟。一种用于船体表面清洗的自旋式三级变截面自振空化喷嘴[P]. 中国, ZL202511462086.4, 2026 -1-30. 13. 方珍龙, 黎秀能, 范世东, 侯文江, 王连安。一种辅助深海采矿的磨料水射流喷头装置 [P]. 中国, ZL202511203137.1, 2025-10-31. 14. 方珍龙, 黎秀能, 范世东, 水中和。一种网箱网衣水下清洗机器人[P]. 中国, ZL2025 1 0638899.8, 2025-7-25. 15. 方珍龙, 黎秀能, 范世东, 侯文江, 王连安。一种用于海上风电的水空两栖巡检机器人 [P]. 中国, ZL202510918701.1, 2025-9-16. 16. 方珍龙, 余厚文, 水中和。基于机器视觉的水泥网箱水下网衣破损检测方法 [P]. 中国, ZL202511029304.5, 2025-9-26. 17. 张修占, 李远鹤, 李琴, 谢宇, 邱何伟, 卢宇, 魏佳康, 李浩, 洪学武, 刘建成, 李磊, 陈峰落, 戚宝运, 张辉。一种污垢识别清洗方法、装置及设备 [P]. 中国, ZL 202511660152.9, 2026-4-21. 18. 刘文智, 刘汉强, 秦明达, 王顺礼, 韩锦亮, 于力明, 周翰文, 张志强, 刘伟, 刘丕业。一种水下智能清刷机器人[P]. 中国, ZL202110746569.2, 2021-9-14. 19. 刘文智; 韩锦亮; 王顺礼; 于力明; 刘汉强; 周翰文; 张志强; 秦明达; 刘丕业。一种具有耐腐蚀功能的水下电机[P]. 中国, ZL202122100456.3, 2022-1-7
--	--

	20. 刘文智; 韩锦亮; 王顺礼; 于力明; 刘汉强; 周翰文; 黄杰; 张志强; 秦明达; 刘丕业。一种新型水下螺旋桨推进装置[P]. 中国, ZL202022512323.2, 2021-6-22 21. 刘文智; 韩锦亮; 王顺礼; 于力明; 刘汉强; 周翰文; 黄杰; 张志强; 秦明达; 刘丕业。一种用于水下工作的电机[P]. 中国, ZL202022510998.3, 2021-6-4 22. 刘文智; 韩锦亮; 王顺礼; 于力明; 刘汉强; 周翰文; 张志强; 秦明达; 刘丕业。一种用于水下机器人的水下开关[P]. 中国, ZL202122342488.4, 2022-1-7 23. 刘文智; 刘汉强; 秦明达; 王顺礼; 韩锦亮; 于力明; 周翰文; 张志强; 黄杰; 刘丕业。一种适用于水下环境清刷的智能清洗机器人[P]. 中国, ZL202121146900.9, 2022-1-4 24. 刘文智; 韩锦亮; 王顺礼; 于力明; 刘汉强; 周翰文; 黄杰; 张志强; 秦明达; 刘丕业。一种水下机器人的动力装置及水下机器人[P]. 中国, ZL202022511606.5, 2021-5-28 25. 刘文智; 刘汉强; 秦明达; 王顺礼; 韩锦亮; 于力明; 周翰文; 张志强; 黄杰; 刘丕业。一种水下清刷设备[P]. 中国, ZL202121496355.6, 2022-1-4 26. 刘文智; 刘汉强; 秦明达; 王顺礼; 韩锦亮; 于力明; 周翰文; 张志强; 黄杰; 刘丕业。一种水下机器人的推进器及水洗机器人[P]. 中国, ZL202022511061.8, 2021-6-22 27. 刘文智; 刘汉强; 秦明达; 王顺礼; 韩锦亮; 于力明; 周翰文; 张志强; 黄杰; 刘丕业。一种水下机器人结构[P]. 中国, ZL202121496189.X, 2022-1-4 28. 刘文智; 韩锦亮; 王顺礼; 于力明; 刘汉强; 周翰文; 黄杰; 张志强; 秦明达; 刘丕业。一种水下照明灯及应用该照明灯的水下机器人[P]. 中国, ZL202022511514.7, 2021-5-18 29. 招商局深海装备研究院（三亚）有限公司。水下智能清洗机器人路径规划软件 1.0 [CP/DK].
--	--

	30. 智真海洋科技 (威海) 有限公司。船舶清洗机器人总控软件平台[CP/DK]. 2020SR1182234 31. 招商局深海装备研究院（三亚）有限公司。电机调试软件 V1.0 [CP/DK]. 2023SR1392710 32. 智真海洋科技 (威海) 有限公司。智真水下机器人数据采集处理系统[CP/DK]. 2020SR1544542 33. 武汉理工大学。深水桩基修复机器人运动控制软件 1.0 [CP/DK].2025SR0939986 34. 智真海洋科技 (威海) 有限公司。智真水下机器人无线远程控制 系统[CP/DK]. 2020SR1544543 35. 智真海洋科技 (威海) 有限公司。智真水下机器人远程数据传输系统[CP/DK]. 2020SR1559167 36. 智真海洋科技 (威海) 有限公司。智真水下机器人自主路径导航控制系统[CP/DK]. 2020SR1544553 37. 武汉理工大学。深蓝清检一体化管控系统 V1.0 [CP/DK].2024SR1296788 38. Lianan W, Shidong F, Wei W,et al.Cavitation flow in a self-excited oscillation nozzle under curved surface constraints[J].Ocean Engineering,2026,354:125025（1-17） 39. Yao Y, Wang H, Fang Z, et al. Experimental study and prediction model of the cleaning effect induced by self-resonating cavitating waterjet [J]. J Mech Sci Technol, 2022, 36: 5097 – 5106. 40. 卢宇，邱何伟，张修占，刘建成，李磊，李远鹤。国内外船体水下清洗标准对比分析 [J]. SHIP & OCEAN ENGINEERING, 2025, 54（6）： 6-10. 41. 熊庭，康丁，方珍龙。基于 ALE 算法的高速水射流对船体表面冲击特性研究 [J]. 振动与冲击， 2023， 42（17）： 17-24+60. 42. 康丁，熊庭，方珍龙，等。斜流作用下清洗机器人流场大
--	--

	涡模拟 [J]. 船舶工程, 2023, 45 (04) : 21-26+158. 43. Fang Z, Yu H, Hou B, et al. Evolution of vortex-cavitation coherent structures in self-excited cavitation waterjets under sound waves excitation[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2025: 107634. 44. Zhenlong Fang Jiangtao Guo Qiqiang Gao,et al.CFD-DEM investigation of flow characteristics and nozzle wear in post-mixed ice abrasive waterjets[J].Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (2026) 48:560. 45. Fang Z, Hou W, Xu Z, et al.Large Eddy Simulation of Cavitation Jets from an Organ-Pipe Nozzle: The Influence of Cavitation on the Vortex Coherent Structure[J].Processes,2023, 11: 2460. 46. Fang Z, Zeng F, Xiong T, Wei W, et al.Large eddy simulation of self-excited oscillation inside Helmholtz oscillator[P].International Journal of Multiphase Flow,2020, 126: 103253. 47. Xiuneng Li,Xide Cheng,Wenjiang Hou,et al.Study on the coupling mechanism of nozzle structure-cavitation impact under submerged environment[J].Ultrasonics Sonochemistry,2025, 122: 107632. 48. Hou B, Hou W, Fang Z, et al.The kinetic mechanism of vortex-cavitation interaction in dual-chamber self-excited oscillation waterjets[J].Physics of Fluids,2024, 36: 085159. 49. 王怡, 方珍龙。五自由度双清洗盘清洗机械臂的运动学分析与路径规划 [J]. 船舶工程, 2025, 47 (02) : 119-128. 50. Li X, Cheng X, Hou W, et al. A comparison of Helmholtz oscillators with differently shaped petal nozzles[J]. Physics of Fluids, 2024, 36(8). 51. Fang Z, Ji Z, et al. Cavitation damage characteristics following marine fouling cleaning by a self-excited oscillation cavitation waterjet [J]. Applied Ocean Research, 2023, 139:
--	--

	103692.
	52. Fang Z, Hou W, Fan S, et al. Coherent structure analysis of cavitation waterjets using dynamic mode decomposition[J]. Physics of Fluids, 2024, 36(3).
	53. Fang Z, Wu Q, Zhang M, Liu H, Jiang P, Li D. Large Eddy Simulation of Self-Excited Oscillation Pulsed Jet (SEOPJ) Induced by a Helmholtz Oscillator in Underground Mining [J]. Energies, 2019, 12(11): 2161.
	54. Z L Fang et al. Numerical investigation on flow field characteristics of Helmholtz Oscillator [J]. 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2019, 240: 062047.
	55. Ji Z, Fang Z, Kang D. Experimental study on cavitation water jet cleaning of marine fouling [J]. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2024, 2756(1): 012036.
	56. Wu Q, Wei W, Deng B, et al. Dynamic characteristics of the cavitation clouds of submerged Helmholtz self-sustained oscillation jets from high-speed photography [J]. J Mech Sci Technol, 2019: 621 – 630.
	57. 侯博文；方珍龙，超声振动边界下亥姆赫兹腔室空化性能及涡行为分析[J].流体机械，2025,53(02):41-49.
	58. 高启强；方珍龙；侯文江，后混合磨料射流固液两相流动特性[J]，流体机械，2024, 36: 085159.
	59. 张修占，侯文江，刘建成，等。用于船体表面清洗的风琴管喷嘴冲击特性 [J]. 船舶工程，2022，44（10）：142-148+163.
	60. Xiuneng Li, Xide Cheng, Wenjiang Hou,et al.Unsteady cavitation flow and impact patterns of submerged water jets based on multiscale modal decomposition[J].Ocean Engineering,2026, 355: 125122.
	61. Fang Z, Hou W, Xu Z, et al.An experimental study on the erosion of sandstone by self-excited oscillation cavitation waterjet in submerged environment[J],Ocean Engineering,

	2023, 279: 114546. 62. Ji Z, Fang Z, et al. Experimental study on concrete-breaking by self-excited oscillating cavitation waterjet in a submerged environment[J].Physics of Fluids,2024, 36(9): 095131. 63. Wang L, Fan S, Fang Z, Li X, Wu W, Large-eddy simulations of the cavitation impact performance in reflux self-excited oscillating nozzles[J].Physics of Fluids,2024; 36 (10): 103305. 64. Fang Z, Cheng J, Wang Y, You H. Research on vibration suppression control of ship-cleaning manipulators based on improved ADRC. Transactions of the Institute of Measurement and Control. 2026;0(0). doi:10.1177/01423312261425858.
主要完成人	张修占、方珍龙、王顺礼、陈峰落、李远鹤、刘汉强、戚宝运、侯文江、卢宇、陈云赛、范世东、王玉甲、洪学武、方云虎、钟良省
主要完成单位	招商局深海装备研究院（三亚）有限公司、武汉理工大学、智真海洋科技（威海）有限公司、哈尔滨工程大学南海研究院、招商局海洋装备研究院有限公司、武汉理工大学三亚科教创新园、哈尔滨工程大学、招商局重工（深圳）有限公司、招商局船舶工业集团威海船厂有限公司