

同行专家业内评价意见书编号： 20250855130

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名： 郝亮亮

学号： 22260017

申报工程师职称专业类别（领域）： 机械

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年05月20日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

（一）基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

通过参与1. 轻作业级ROV研制项目、2. 多功能运维ROV系统的设计研发项目和3. 深海特种作业机器人-

面向海底管道运维巡检的多机协同机器人装备及其示范应用项目，我系统掌握了机器人学、自动化控制理论和自主路径规划等理论知识以及嵌入式开发，ROS2开发等专业技能。在基础理论方面，我提出了一种基于RBF神经网络干扰观测的自适应控制技术，解决了PID控制不适用于水下机器人这种非线性系统和传统滑模控制具有抖振缺陷的痛点，提高了复杂水环境中机器人的抗扰稳姿控制性能。同时，还提出了一种基于控制障碍函数与模型预测控制的局部路径规划算法，解决了模型预测控制规划方法优化时间长和安全性不足的痛点，增强了多障碍物环境下机器人自主路径规划的安全性和实时性。

在专业技术层面，我掌握了嵌入式开发技术搭建了机器人的基本框架，为实践单位研发了水下机器人的通用主控PCB，并用c++11开发该主控，为部门提供了一套通用的软硬件解决方案。熟练应用ROS2（机器人操作系统）解决多机分布式通信问题，同时采用ros2-control框架编写水下机器人的控制逻辑，完成了控制算法和路径规划算法的优化与部署。水下机器人的研发整合了流体力学、机械、控制和计算机技术等多学科知识，通过跨领域知识融合实现了水下设备巡检和水下机器人作业等功能，彰显了解决复杂工程问题的综合应用能力。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

在杭州申昊科技股份有限公司的软件开发实习生岗位实践中，我参与了“轻作业级ROV研制”、“多功能运维ROV系统的设计研发”和“深海特种作业机器人-

面向海底管道运维巡检的多机协同机器人装备及其示范应用”等项目，累计投入397天。我的核心职责是负责部门多台水下机器人的软件开发工作，并实现机器人稳姿控制和路径规划。具体为：

机器人嵌入式框架：

为项目设计了一款通用性的主控，芯片采用STM32H743VGT6，480M高速主频，集成了网口、USB、5路串口（含232、485）、IIC、CAN、SPI、PWM等外设，并用c++11开发了水下机器人嵌入式软件，面向对象语言使代码可读性更强，同时又不损失性能极大降低了应用层的编写难度。在此过程中还向CJsonObject贡献了自己在FreeRTOS上使用该库修改的代码，并创新性引入micro-ros接入ROS2分布式通信体系。

算法开发与优化：开发了基于RBF神经网络干扰观测的自适应控制算法，完成了水下机器人的定深、定艏及位姿锁定等功能；同时开发了基于控制障碍函数与模型预测控制的自主路径规划算法，完成了机器人自主避障功能。最终基于Nav2和ros2-control框架，将算法部署至多款水下机器人平台，确保系统在工业场景的鲁棒性。

团队协作与项目管理：与机械工程师、各设备供应商紧密合作，顺利完成产品的研发，轻作业级ROV获得余杭交通局、三门县公安局等价值数百万的订单

通过实践，我不仅深化了对工业级机器人技术的理解，还掌握了企业级项目的开发规范与质

量管理方法，为后续真正投入工程师岗位奠定了基础。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例（不少于1000字）

（一）复杂工程问题的背景与挑战

目前，海洋经济已经成为新的全球经济增长点，随着水下资源开发的深入，包括水库大坝、海上风电与石油平台、海底管道等水下基础设施大量建成投产。然而，这些水下设施长时间处于水体浸泡冲刷、水下生物附着、地质运动等恶劣环境中，容易发生损伤，影响水下设施的安全工作性能。因此，需要对水下设施进行巡检监测，及时发现和预防安全隐患。传统的解决方案是潜水员携带相关设备进行定期巡检，但复杂多变的水下环境对潜水员安全造成严重威胁，而且潜水员无法长时间水下工作，巡检过程受人为因素影响大，导致巡检效率低、巡检结果可靠性难以保障。随着水下机器人技术的发展，基于ROV、AUV和HOV等水下机器人的巡检技术逐步兴起，然而为了有效提升巡检效率，工程还面临以下技术难点：

1. 水下机器人复杂情况下姿态稳定性欠佳。水下机器人在对设备执行巡检任务的时候，需要较强的姿态稳定性为搭载的检测设备如声纳、相机等提供一个相对稳定的平台。但复杂水况和不确定水动力的影响加剧了控制上的误差，从而对巡检性能造成严重影响。
2. 水下机器人自主路径规划能力不足。在机器人对水下设施巡检的过程中，经常会遇到未探明的暗礁，桩基等，若无法检测、绕开障碍的同时跟踪管道路由，不仅会影响巡检效率，严重的甚至造成机器人在水底的撞毁丢失。
3. 水下机器人巡检系统在拓展灵活性方面不够。不同水下设施巡检对机器人搭载的传感与检测设备需求不同，，所以水下机器人仍需提高其设备拓展和更换的灵活性，在机械结构、电气连接和软件框架等方面模块化设计并预留拓展接口，以适应各种不同的任务需求和工作环境。

（二）系统化解方案的设计与实施。

针对上述挑战，项目团队采用分模块思路构建了轻作业级ROV的解决方案体系：

1. 硬件部分。主要是机器人本体的研发，包含①

机械本体。包括浮力材料、电子密封舱、结构框架等部分。保证机器人在水下的耐压与配平。②

各种传感器。主要包括IMU、深度计、高度计、水下相机和扫描声纳等传感设备。保证机器人对周围环境与自身运动信息的感知能力，便于实现高级控制规划算法。③

能源与通信模块。包括湿端电力载波器、网络交换机和嵌入式控制器等。保证机器人供电和与陆地通信能力。④

嵌入式主控模块。包括工控机和运动控制器，实现机器人的运动控制，人机交互和自主导航等功能。

2. 软件部分。ROV的软件主要分为嵌软部分，规划控制部分与人机交互部分。嵌软部分主控采用STM32H7系列，创新性使用c++11开发基本框架，面向对象语言使代码可读性更强，同时又不损失性能极大降低了应用层的编写难度。在此过程中还向CJsonObject贡献了自己在FreeRTOS上使用该库修改的代码，并引入micro-ros接入DDS网络，实现分布式通信；规划控制部分，采用ros2-control框架编写ROV的控制逻辑框架，并将该框架开源获得了60+的stars，采用RBF干扰观测的准滑模控制算法实现机器人的水中稳姿，并对传感器数据进行卡尔曼滤波。通过声纳感知水下周围环境，最终利用Nav2框架进行MPC与CBF结合的局部路径规划算法，实现了机器人在水下的自主移动；人机交互部分，研制了一款携带10.1寸屏幕的手柄，能够显示多路水下相机、声纳的视频，RK3566作为嵌入式linux平台运行显控软件，采用QT跨平台软件库开发，同时完成了ADC、GPIO、串口485等驱动的编写以完成对工业霍尔摇杆，旋钮，按键等信息的采集，实现陆地上操纵人员对机器人指令的下发。

3. 仿真-

实物场景渐进式跨越。为了验证各种算法的有效性与可行性，为部门搭建了一套基于Dave的巡检仿真平台，模拟ROV对管道、桥梁等设施的巡检，验证所提出机器人控制算法和路径规划算法的优越性；最后将其部署在实物系统上，解决各种极端情况下通信、传感器及算法的鲁棒性，并在余杭塘河，千岛湖和三门县东海入海口等实地进行多次水下实验，跨越仿真-实物场景的鸿沟。

（三）项目取得成果

轻作业级ROV产品如期发布，立马获得了余杭交通局和三门县公安的订单，为企业创造了数百万的利润，特别是交通局在杭州市余杭区安溪大桥采用团队所研发的ROV进行桥梁检测，顺利完成验收，让桥梁“健康诊断”进入科技精准时代，为桥梁桩基的高效检测运维提供了全新解决方案。

该项目的成功实施，不仅解决了实际工程问题，也为我积累了丰富的工程实践经验，锻炼了我的技术创新能力和解决复杂工程问题的综合能力。通过团队协作，我深刻理解了从需求分析、方案设计到产品落地的完整工程实践流程，掌握了跨学科知识的综合应用方法。

(二)取得的业绩(代表作)【限填3项,须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实,并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/ 授权或申 请时间等	刊物名称 /专利授权 或申请号等	本人 排名/ 总人 数	备注
一种用于水下设备巡检的协作型AUV及巡检方法	发明专利申请	2024年08月26日	申请号：202411174651.2	1/7	
一种具有双模作业能力的履带型ROV	发明专利申请	2023年03月13日	申请号：202310235626.X	4/5	
面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检关键技术研究	学位论文送审专家评审结果全优	2025年04月30日			

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 87 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1.1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 85 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！	
申报人签名： 郝 亮 亮	

二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现 考核评价	非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价： ☒ 优秀 ☐ 良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）：
申报材料 审核公示	根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下： ☐ 通过 ☐ 不通过（具体原因： 工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）：

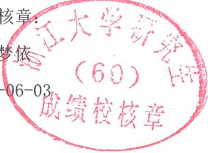
浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260017	姓名：郝亮亮	性别：男	学院：工程师学院	专业：机械	学制：2.5年
毕业时最低应获：26.0学分	已获得：31.0学分			入学年月：2022-09	毕业年月：
学位证书号：			毕业证书号：		
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	91	公共学位课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	97	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	制造过程先进试验和无损检测		2.0	92	跨专业课
2022-2023学年冬季学期	工信交叉前沿技术		2.0	81	跨专业课
2022-2023学年秋季学期	研究生论文写作指导		1.0	81	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	高阶工程认知实践		3.0	79	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	智能工业机器人及其应用		3.0	95	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	87	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语		2.0	80	公共学位课
2022-2023学年春季学期	数学建模		2.0	87	专业选修课
2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	80	公共学位课
2022-2023学年春季学期	研究生英语基础技能		1.0	74	公共学位课
2022-2023学年春夏学期	人工智能制造技术		3.0	91	专业学位课
2023-2024学年冬季学期	工程中的有限元方法		2.0	97	专业选修课
2023-2024学年冬季学期	工程伦理		2.0	97	公共学位课
	硕士生读书报告		2.0	通过	

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制，两级制（通过、不通过），五级制（优、良、中、及格、不及格）。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章：
成绩校核人：张梦依
打印日期：2025-06-03





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118938972 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 12

(21) 申请号 202411174651.2

(22) 申请日 2024.08.26

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

申请人 杭州申昊科技股份有限公司

(72) 发明人 郝亮亮 金浩然 徐盛凯 张钰炯
周志新 吴海腾 杨克己

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公
司 33200

专利代理师 刘静

(51) Int. Cl.

G05D 1/485 (2024.01)

G05D 101/10 (2024.01)

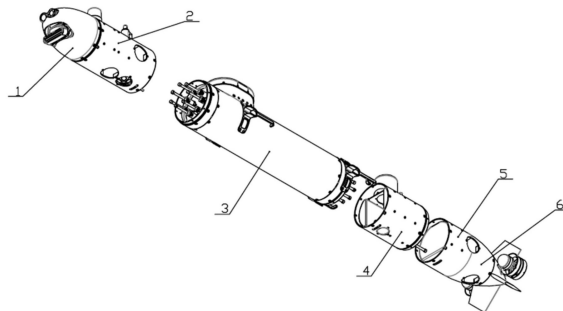
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种用于水下设备巡检的协作型AUV及巡检方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于水下设备巡检的协作型AUV及巡检方法,该装置主要组成依次为艏部负载舱、艏部辅推舱、电子舱、艏部负载舱、艏部辅推舱和主推舱。所述艏部负载舱搭载相机和图像声纳,所述艏部辅推舱装有辅助推进器,机械环扫声纳及定位信标,所述电子舱内有电池和工控设备,顶部装有无线充电设备,所述艏部负载舱装有各个传感器设备和水声通讯机,所述艏部辅推舱装有两个辅助推进器,所述主推舱按两个推进器均布的方式。本发明协作型AUV可以与ROV母机协同作业;可通过无线充电装置从ROV母机里取电,从而完成大范围的巡检任务;水声通信系统可以与ROV母机一对一通信,与直接和岸基通信相比,拥有更高的水声通信效率。





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116373514 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 04

(21) 申请号 202310235626.X

(22) 申请日 2023.03.13

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 李琪琪 金浩然 张钰炯 郝亮亮
杨克己

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

专利代理师 郑海峰

(51) Int.Cl.

B60F 3/00 (2006.01)

B63C 11/52 (2006.01)

B63B 35/00 (2020.01)

B62D 55/265 (2006.01)

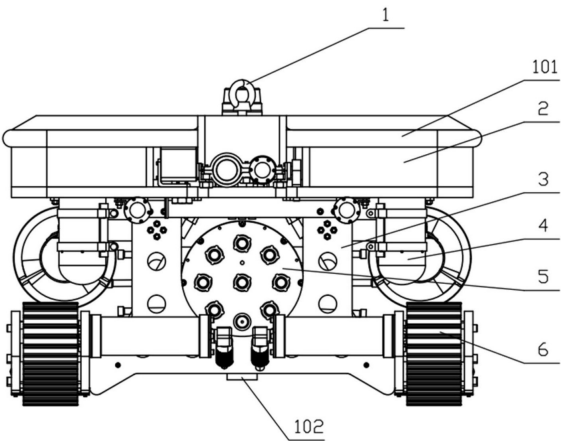
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种具有双模作业能力的履带型ROV

(57) 摘要

本发明公开了一种具有双模作业能力的履带型ROV,包括ROV本体和 underwater 履带模组;ROV本体包括机架、吊装机构、电子舱、推进器组、大浮材、水下传感及作业设备,所述推进器组安装在机架上,大浮材安装在机架顶部,吊装机构安装在机架顶部贯穿大浮材,电子舱位于机架中心,水下传感及作业设备安装在机架上;水下履带模组包括履带、履带轮模块、防水电机、小浮材、履带压板、侧板,所述履带轮模块、防水电机、履带压板安装在侧板上,履带安装在履带轮模块上;水下履带模组安装在ROV本体底部。本发明主要具有以下优点:ROV兼具浮游和爬行两种作业模式有效拓展使用范围,提高ROV吸附在任意角度及材质壁面上作业的稳定性的稳定性。



技术专利

思想收入

2. 打印《浙江大學碩士學位論文非密

参考文献:

審計結果：

11

学号: 22260017

姓名: 杨光尧

论文题目: 面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检关键技术研究

英文题目: Research on Key Technologies of Cooperative AUV Inspection for Underwater Pipeline Robot Maintenance



评阅意见

评阅意见:

论文根据水下管道运维的实际需求, 面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检关键技术研究, 紧密结合实际需求, 具有重要的理论意义和工程应用价值。论文的主要研究内容和创新性工作如下:
1. 论文详细阐述了水下管道运维的重要性及现有技术的局限性, 明确了协作型AUV巡检的必要性, 设计了协作型AUV巡检系统的总体方案, 阐述了系统组成的关键技术。
2. 提出了基于深度学习的管道缺陷检测算法, 提高了缺陷检测的精度。
3. 设计了一种新型管道缺陷检测算法, 提高了缺陷检测的精度。
4. 研究了一种面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 验证了所提技术和系统的有效性, 达到了预期设计目标。
论文结构清晰, 逻辑严谨, 论证合理, 论文工作原创, 论文作者具有综合运用本专业知识解决科学问题和工程问题的能力以及从事研发工作的能力。

不足之处及修改意见:

1. 对控制策略和通信策略的控制策略可以进一步阐述, 以突出其创新性。
2. 控制策略设计, 需要考虑到系统。
3. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。
4. 建议补充对系统的性能测试结果, 尤其是对系统性能、系统性能测试结果。

总体评价:

A (优秀)

评阅结果:

同意推荐

[返回](#)

11

学号: 22260017

姓名: 杨光尧

论文题目: 面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检关键技术研究

英文题目: Research on Key Technologies of Cooperative AUV Inspection for Underwater Pipeline Robot Maintenance



评阅意见

评阅意见:

本文对面向水下管道运维的协作型AUV巡检中的关键技术进行了研究, 主要研究工作如下:
1. 针对AUV巡检过程中存在的问题, 提出了基于深度学习的管道缺陷检测算法, 提高了缺陷检测的精度。
2. 设计了一种新型管道缺陷检测算法, 提高了缺陷检测的精度。
3. 研究了一种面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 验证了所提技术和系统的有效性, 达到了预期设计目标。
论文结构清晰, 逻辑严谨, 论证合理, 论文工作原创, 论文作者具有综合运用本专业知识解决科学问题和工程问题的能力以及从事研发工作的能力。

不足之处及修改意见:

1. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。
2. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。
3. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。
4. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。

总体评价:

A (优秀)

评阅结果:

同意推荐

[返回](#)

11

学号: 22260017

姓名: 杨光尧

论文题目: 面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检关键技术研究

英文题目: Research on Key Technologies of Cooperative AUV Inspection for Underwater Pipeline Robot Maintenance



评阅意见

评阅意见:

论文根据水下管道运维的实际需求, 面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检关键技术研究, 紧密结合实际需求, 具有重要的理论意义和工程应用价值。论文的主要研究内容和创新性工作如下:
1. 论文详细阐述了水下管道运维的重要性及现有技术的局限性, 明确了协作型AUV巡检的必要性, 设计了协作型AUV巡检系统的总体方案, 阐述了系统组成的关键技术。
2. 提出了基于深度学习的管道缺陷检测算法, 提高了缺陷检测的精度。
3. 设计了一种新型管道缺陷检测算法, 提高了缺陷检测的精度。
4. 研究了一种面向水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 验证了所提技术和系统的有效性, 达到了预期设计目标。
论文结构清晰, 逻辑严谨, 论证合理, 论文工作原创, 论文作者具有综合运用本专业知识解决科学问题和工程问题的能力以及从事研发工作的能力。

不足之处及修改意见:

1. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。
2. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。
3. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。
4. 论文中提到的水下管道机器人运维的协作型AUV巡检系统, 需要进一步细化, 建议增加一些具体的测试数据, 例如不同水深、不同水下的AUV性能表现。

总体评价:

A (优秀)

评阅结果:

同意推荐

[返回](#)

分类号: TP23

单位代码: 10335

密 级: 公开

学 号: 22260017

浙江大学

工程硕士专业学位论文



中文论文题目: 面向水下管道机器人运维的
协作型 AUV 巡检关键技术研究

英文论文题目: Research on Key Technologies of Cooperative AUV
Inspection for Underwater Pipeline Robot Maintenance

申请人姓名: 郝亮亮

校内导师组: 金浩然、杨克己

行业导师: 吴海腾

专业学位类别: 机械

研究方向: 机电一体化

培养类型: 全日制非定向

所在学院: 工程师学院

论文提交日期 二零二五年四月

摘 要

水下管道作为生活和生产资源及海洋油气运输的重要组成部分,易受自然环境和人为因素等影响而产生故障,可能造成严重的环境污染和财产损失,甚至人员伤亡。因此,开展水下管道运维以确保管道运行安全,具有十分重要的现实意义。目前,随着机器人技术及水下检测与作业技术的发展,水下管道机器人运维已成为业内研究的热点,其中遥控潜水器(Remotely Operated Vehicle, ROV)因具有长效供电和良好的人机远程交互能力,适合水下管道的运维作业,但受制于缆线的束缚难以灵活和有效的巡检。而自主水下航行器(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)尽管运动自由灵活,但其依赖于电池供电,运维作业能力有限。因此,将 AUV 与 ROV 两者优势互补,通过 AUV 巡检与 ROV 作业的协作模式已成为水下管道运维技术发展的重要方向。然而,在复杂水体环境中运行,AUV 位置位姿难以得到保障,严重影响了其成像能力和检测性能,但目前常用的 PID 和传统滑模控制方法已无法满足 AUV 巡检对高标准稳姿的控制需求。同时,水下管道 AUV 巡检是在全局路径已知的情况下实施,但其运维环境中往往会存在障碍物,如何在确保 AUV 巡检安全性的前提下,使 AUV 偏离全局路径尽可能短以抵近目标管道成像检测,进而保障巡检性能,目前仍面临挑战。加之,协作模式下更需要进一步提升 AUV 的水下续航时长和通信交互能力。基于以上背景,提出开展面向水下管道的协作型 AUV 巡检关键技术研究。在系统了解 AUV 巡检相关技术研究现状及其发展趋势的基础上,明确协作型 AUV 巡检系统总体方案,重点突破 AUV 的稳姿控制和局部路径动态规划等关键技术,并解决 AUV 水下充电与分布式通讯问题,研发出一套面向水下管道机器人运维的协作型 AUV 巡检系统。同时,开展相关实验研究。主要研究工作和取得成果如下:

1) 搭建了 AUV 稳姿控制与路径动态规划的理论基础,设计了协作型 AUV 巡检系统的总体方案。总结了 AUV 巡检技术存在的问题及相应的对策,介绍了控制障碍函数及分析了滑模控制和模型预测控制原理。同时,明确了 AUV 巡检系统的功能需求和性能目标,完成了系统总体方案的设计,并凝练了亟待解决的关键技术,为后续研究指明方向。

2) 提出了基于 RBF 神经网络干扰观测的自适应准滑模 AUV 稳姿控制技术。针对 AUV 巡检过程中稳姿难的技术痛点,在建立 AUV 动力学模型和确定水动力系数的基础上,采用“边界层+在线调整增益”的控制策略及引入径向基(Radial Basis

Function, RBF) 神经网络干扰观测器, 推导出基于 RBF 神经网络干扰观测的自适应准滑模控制理论表达式, 完成 AUV 稳姿控制器的设计, 有效克服了传统滑模的抖振问题, 并能实时监测外界未知干扰以补偿控制器输出, 从而实现水下环境中 AUV 的稳姿控制。仿真结果表明, 相较传统方法, 本文所研发的稳姿控制技术在性能方面得到了明显提升。

3) 提出了基于控制障碍函数与模型预测控制的 AUV 局部路径动态规划技术。

针对复杂环境下 AUV 局部路径动态规划能力不足的技术痛点, 在利用卡尔曼滤波进行多信息融合完成 AUV 水下定位的基础上, 通过提取障碍物在声纳图像中的前沿轮廓, 采用具有噪声的密度聚类算法完成多障碍物区域的聚类及对聚类点集生成最小包围圆, 并结合 AUV 运动信息获取出障碍物的空间位置。同时, 依据 AUV 点质量运动模型, 构建了模型预测控制路径优化目标函数, 还在约束中引入了控制障碍函数的安全边界条件, 有效缩短了预测步长, 增大了与障碍物的最小安全距离, 从而实现了复杂环境下 AUV 的局部路径动态规划。仿真结果表明, 相较其它局部规划算法, 本文所研发的局部路径动态规划技术在性能方面得到了明显提升。

4) 研发了一套面向水下管道机器人运维的协作型 AUV 巡检系统, 并开展了实验研究。根据设计的系统技术方案与取得的关键技术成果, 完成了样机的结构设计、配件选型、软硬件开发与系统集成工作。同时, 利用所研发的系统分别开展了 AUV 稳姿控制、AUV 局部路径动态规划和水下管道机器人协作运维等实验, 验证了本文所研发技术和系统的有效性与可行性, 达到了预期设计目标。

关键词: 水下管道; 机器人运维; 协作型 AUV; 稳姿控制; 局部路径动态规划