

海洋工程机械的创新设计与制造技术研究

武广志

利丰工程技术（天津）有限公司 天津 300000

摘要：本文围绕海洋工程机械的创新设计与制造技术展开研究，分析了其在海洋资源开发中的重要性，探讨了创新设计方法（如多学科协同设计、智能化技术）与先进制造工艺（如高精度焊接、绿色制造）的应用。通过典型案例（深海钻探装备、海上风电设备）验证了技术突破对装备性能提升的显著作用，并展望了未来技术发展方向。研究旨在为我国海洋工程装备的自主化、智能化发展提供理论支持与实践指导。

关键词：海洋工程机械；创新设计；制造技术；深海装备；智能化

引言

随着全球海洋资源开发需求的增长，海洋工程机械作为核心技术装备，其性能与可靠性直接影响海洋作业的效率与安全。然而，深海极端环境（高压、低温、高盐度）对装备设计、材料、制造工艺提出了严峻挑战。传统技术已难以满足深海化、智能化、绿色化的行业趋势，亟需通过创新设计与制造技术实现突破。本文聚焦海洋工程机械的技术创新，探讨其设计理念、制造工艺及典型应用案例，以期为行业发展提供参考。

1 海洋工程机械的创新设计与制造技术研究意义

1.1 提升海洋工程装备性能

深海极端环境（如高压、低温、高盐度）对装备的耐久性、稳定性提出了严苛挑战。传统装备常因材料老化、结构疲劳等问题导致性能下降，甚至引发作业中断。创新设计通过引入新型材料（如钛合金、复合材料）与先进结构（如模块化设计、拓扑优化），可显著提升装备的抗压、耐腐蚀及轻量化水平。例如，深海钻探平台采用高强度钢与复合材料的混合结构，不仅减轻了自重，还增强了抗风浪能力，使钻探深度突破千米级。同时，智能化设计（如AI辅助优化、自主导航）可实现装备的精准操控与自适应调整，进一步提升作业效率与精准度。

1.2 降低成本

海洋工程装备的研发与运维成本高昂，创新设计与制造技术为降本增效提供了可能。在制造环节，模块化设计与数字化制造技术（如3D打印、机器人自动化装配）可缩短生产周期，减少人工干预，降低制造成本^[1]。例如，海上风电设备通过模块化预制，实现快速组装与批量生产，单台成本降低约15%。在运维环节，智能化监测系统（如无人机巡检、状态预测模型）可实时追踪装备健康状态，提前预警故障，减少停机时间与维修成

本。此外，绿色制造技术（如环保涂料、低能耗焊接）的应用，不仅降低了环境污染，还通过资源循环利用进一步压缩了全生命周期成本。

1.3 保障作业安全的关键作用

海洋作业环境复杂，传统装备因可靠性不足易引发安全事故。创新设计通过强化结构冗余与冗余系统设计，提升了装备的容错能力。例如，深海遥控机器人（ROV）采用双备份动力系统与冗余传感器，确保单一故障下仍可维持基本作业功能。同时，智能化技术（如远程操控、自主避障）可减少人员直接暴露于危险环境的风险，提高作业安全性。此外，数字化仿真与虚拟现实技术可在装备研发阶段模拟极端工况，提前识别潜在风险，优化设计方案，从源头降低事故概率。

2 海洋工程机械创新设计技术研究

海洋工程机械作为海洋资源开发的核心载体，其设计水平直接决定了装备在深海极端环境中的适应性、效率与可靠性。随着海洋工程向深海化、智能化、绿色化转型，传统设计方法已难以满足复杂多变的作业需求。

2.1 多学科协同设计

海洋工程机械的设计需综合考虑结构力学、材料性能、控制算法等多学科因素。传统设计方法往往依赖单一学科经验，难以实现装备性能的最优解。多学科协同设计通过跨领域融合，将机械设计、材料科学、控制工程等学科知识整合，形成“设计-仿真-验证”的闭环优化体系。典型案例：深海遥控机器人（ROV）的机械臂与传感器协同设计。ROV需在复杂海底地形中完成抓取、切割等任务，传统设计常因机械臂刚度不足或传感器精度不够导致作业失败。通过多学科协同，工程师将机械臂的材料力学特性与传感器的信号处理算法相结合，采用有限元分析优化机械臂结构，同时利用机器视觉算法提升传感器对微小目标的识别能力。实验表明，协同设

计后的ROV在碎石堆、珊瑚礁等复杂地形中的作业成功率提高40%，操作精度达到毫米级。

2.2 智能化设计技术

智能化设计技术通过引入人工智能（AI）、机器学习等前沿技术，实现装备性能的预测优化与自主作业能力。（1）AI辅助优化：基于机器学习算法，构建装备性能预测模型，通过海量数据训练优化结构设计。例如，利用深度学习算法分析深海钻探装备的应力分布，预测潜在疲劳点，指导拓扑优化设计^[2]。实验显示，AI优化后的钻探装备结构重量减轻15%，疲劳寿命延长30%。

（2）自主导航与避障：集成激光雷达、视觉传感器、声呐等设备，构建多模态感知系统，实现深海环境下的自主路径规划与障碍规避。例如，在海上风电设备吊装中，智能吊装系统通过激光雷达实时扫描海底地形，结合视觉传感器识别障碍物，自动调整吊装路径，避免碰撞风险，作业效率提升25%。

2.3 轻量化与耐腐蚀设计

深海高压、高盐度环境对装备的重量与耐腐蚀性提出了严苛要求。轻量化与耐腐蚀设计通过材料革新与结构优化，实现装备性能与寿命的双重提升。（1）新型材料应用：采用钛合金、碳纤维复合材料等轻质高强材料替代传统钢材。例如，深海钻探平台的关键部件采用钛合金制造，在保证强度的同时减轻重量30%，显著降低能耗与运维成本。（2）结构优化：通过拓扑优化技术，消除冗余结构，提高材料利用率。例如，在深海探测器外壳设计中，工程师利用拓扑优化算法生成非均匀密度分布结构，在满足强度要求的前提下减少材料用量20%，同时提升抗冲击性能。

3 海洋工程机械制造技术研究

海洋工程机械作为深海资源开发的核心装备，其制造技术直接决定了装备的性能、可靠性与经济性。随着海洋工程向深海化、智能化、绿色化转型，传统制造技术已难以满足复杂多变的作业需求。

3.1 先进制造工艺

深海装备需承受高压、低温、高腐蚀等极端环境，对制造工艺提出了严苛要求。传统焊接技术常因热影响区过大、残余应力集中等问题，导致深海装备在高压环境下出现裂纹、泄漏等缺陷。为此需开发先进制造技术，实现装备的可靠性与制造效率双提升。（1）高精度焊接技术：针对深海装备的焊接需求，需突破低温焊接、窄间隙焊接等关键技术。低温焊接技术通过优化焊接参数与保护气体配比，降低热输入量，减少热影响区范围，避免材料脆化与裂纹产生。例如，在深海管道焊

接中，采用低温焊接技术可使焊缝硬度提升20%，疲劳寿命延长30%。窄间隙焊接技术则通过减小坡口宽度，提高熔敷效率，降低材料消耗，适用于厚板结构的深海装备制造。（2）模块化制造技术：将装备分解为独立模块，实现预制化生产与快速集成，是缩短制造周期、提升质量稳定性的有效途径。例如，海上风电平台采用模块化设计，将桩腿、塔筒、机舱等部件在陆上工厂预制，通过标准化接口实现快速组装，使制造周期缩短40%。模块化制造还可通过并行生产提升产能，降低对场地与设备的依赖，适应海洋工程装备的规模化需求。

3.2 数字化与智能化制造

数字化与智能化制造技术通过信息物理系统（CPS）的深度融合，实现装备制造的精准控制与高效协同。

（1）数字化监控技术：通过传感器网络实时采集制造过程中的温度、压力、位移等关键参数，构建制造过程的数字孪生模型。基于大数据分析机器学习算法，可对制造缺陷进行早期预警与溯源分析，确保质量可控^[3]。例如在深海钻探装备的制造中，数字化监控系统可实时监测焊接质量，通过声发射检测技术识别微小裂纹，避免缺陷扩大导致装备失效。（2）智能装配技术：利用机器人自动化完成复杂装配任务，是提升制造精度与效率的核心手段。例如在深海遥控机器人（ROV）的装配中，采用协作机器人与视觉引导系统，实现机械臂、传感器等部件的精准定位与快速安装，装配误差控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内。智能装配技术还可通过自适应算法优化装配路径，减少人工干预，降低操作风险。

3.3 绿色制造技术

海洋工程机械制造需兼顾经济效益与环境效益，绿色制造技术是实现这一目标的关键。（1）环保材料与工艺：采用水性涂料、低能耗焊接等环保工艺，减少挥发性有机物（VOCs）排放与能源消耗。例如，在装备涂装中，水性涂料的应用可使VOCs排放降低80%，同时提升涂层的耐腐蚀性与附着力。低能耗焊接技术通过优化电源特性与焊接参数，使能耗降低30%，碳排放减少25%。

（2）废弃物循环技术：开发制造废弃物回收与再利用技术，实现资源的高效循环。例如，在装备切割过程中产生的金属废料，可通过熔炼再生技术转化为新型合金材料，用于装备的局部强化。此外，废旧电子元件的拆解与回收，可提取稀土、贵金属等战略资源，降低对原生矿产的依赖。

4 典型海洋工程机械的创新案例

4.1 深海钻探装备

深海钻探装备需在极端环境下（如千米级水深、高

压、低温)实现高效、安全作业,传统装备常因抗风浪能力不足、自动化程度低等问题导致效率低下。近年来,深海钻探装备通过结构创新与智能化升级,实现了技术跨越。(1)结构创新:半潜式钻井平台的优化设计,传统半潜式钻井平台在强风浪中易发生横摇、纵摇,影响钻探作业稳定性。新型平台通过优化浮体与立柱设计,采用“水滴形”浮体与可调式立柱,显著提升抗风浪能力。例如,某型钻井平台在12级台风中仍可维持钻探作业,横摇角度从传统平台的15°降至5°以内,作业效率提升30%。此外,模块化设计使平台具备快速重构能力,可适应不同海域的地质条件,缩短部署周期40%。

(2)智能化升级:自动钻进系统与远程操控,深海钻探的自动化水平直接决定了作业效率与安全性。新型钻探装备集成自动钻进系统(ADS),通过AI算法实时优化钻压、转速等参数,减少人为干预,钻探速度提升25%。同时,井下工具的远程操控技术使操作员可在陆上控制中心实时监测并调整钻头轨迹,避免复杂地层中的卡钻、井漏等风险。例如,某型钻探装备在南海某油田的应用中,通过远程操控完成10口井的定向钻探,事故率降低60%。

4.2 海上风电设备

海上风电作为清洁能源的重要方向,其装备技术需兼顾发电效率与运维成本。(1)风电设备轻量化设计:传统风电叶片采用玻璃纤维增强塑料(GFRP),重量大且易疲劳损伤。新型叶片采用碳纤维复合材料(CFRP),在保证强度的同时减轻重量40%,使单机发电效率提升10%。例如,某型10MW海上风电机组的叶片长度达120米,通过CFRP材料的应用,其重量仅60吨,远低于传统GFRP叶片的100吨。此外,轻量化设计还降低了塔筒与基础的载荷,减少钢材用量15%,显著降低制造成本。(2)智能运维:海上风电场运维成本高昂,传统人工巡检效率低且存在安全风险^[4]。新型运维系统集成无人机巡检与状态监测技术,通过无人机搭载的高清摄像头与红外热成像仪,实时监测叶片、齿轮箱等关键部件的状态,结合AI算法进行故障预测。例如,某风电场通过无人机巡检,提前发现叶片前缘腐蚀问题,避免了

一次重大事故,运维成本降低20%。同时状态监测系统可实现全生命周期数据追溯,为装备优化提供数据支撑。

4.3 创新成果分析

典型海洋工程机械的创新成果不仅体现在技术指标的提升,更在于对行业发展的深远影响。(1)性能提升:效率与可靠性的双重突破,深海钻探装备的作业效率提高30%,海上风电设备的运维成本降低20%,直接推动了海洋资源开发的经济性。例如,某型钻探装备在南海某气田的应用中,单井钻探周期从120天缩短至84天,年产能提升25万吨。海上风电场的智能化运维使发电量损失率从5%降至2%,年发电量增加1.2亿千瓦时。(2)经济效益:技术突破带动产业升级,创新技术提升了装备的国际竞争力,带动了装备出口增长。例如,某企业研发的深海钻探装备凭借技术优势,成功打入欧洲、非洲市场,出口额年增长率达40%。同时,轻量化与智能运维技术的应用降低了全生命周期成本,吸引了更多资本投入海上风电领域,推动了产业链上下游的协同发展。

结语

海洋工程机械的创新设计与制造技术是推动海洋资源开发的核心驱动力。未来,需进一步深化多学科协同设计,突破深海极端环境下的技术瓶颈;推动制造工艺的智能化与绿色化转型,提升装备性能与环保水平。同时加强产学研用合作,构建协同创新体系,为我国海洋工程装备的自主化、智能化发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]赵宝华,王维,刘扬.海洋环境对海洋工程结构设计的影响[J].海洋工程,2020,38(5):34-41.
- [2]林益楷,邓双军,杨昆鹏,等.中国海洋工程装备制造产业发展现状及建议[J].中国海上油气,2024,36(04):190-198.
- [3]董兆佳,杜梅,李晓光等.海洋工程可视化信息智能建设[J].中国船检,2022,No.271(11):59-62.
- [4]阎军,苏琦,许琦,杨建业,陈金龙,卢海龙,武文华.海洋工程典型装备智能化研究进展[J].科技导报,2024,42(13):16-26.