

海洋工程机械的创新设计与制造技术研究

黄映辉

天津博迈科海洋工程有限公司 天津 300452

摘要: 本文聚焦海洋工程机械的创新设计与制造技术研究,海洋工程机械专为海洋环境作业设计,涵盖水下、海面、海岸三类设备,在全球海洋开发中作用关键。创新设计上,基于先进技术、考虑特殊环境,采用模块化与集成化设计方法;制造技术方面,注重高性能材料应用、先进制造工艺与技术,以及制造过程的质量控制与检测。此外,文章展望了其智能化与自动化、绿色环保技术应用、深海与极地开发等发展趋势,为海洋工程机械的技术发展提供参考。

关键词: 海洋工程机械; 创新设计; 制造技术; 高性能材料; 智能化; 绿色环保

引言: 在全球化深入发展与资源需求持续攀升的当下,海洋作为人类尚未充分开发的巨大资源宝库,其开发进程正不断加快。海洋工程机械作为海洋开发的关键装备,其性能与质量直接决定着海洋资源开发的成效。然而,海洋环境复杂恶劣,对工程机械的设计与制造提出了极高挑战。在此背景下,深入探究海洋工程机械的创新设计与制造技术,成为推动海洋开发事业发展的关键所在。

1 海洋工程机械概述

1.1 海洋工程机械的定义

海洋工程机械是专为海洋环境作业设计的特种机械设备总称,用于海洋资源勘探、开发、利用及海洋工程建设。与陆地工程机械不同,它要适应海洋高盐雾、高湿度、强风浪、深水压等特殊环境,满足复杂作业场景下高精度、高可靠性要求。设备类型包括水下作业装备(如遥控潜水器、水下盾构机)、海面作业平台(如海上风电安装船、海洋钻井平台)、海岸工程设备(如港口起重机械、滩涂挖掘机)三大类。这些设备需通过结构优化等技术手段适应海洋环境,且要符合国际海事组织及各国关于海洋设备安全、环保的专项标准,保障作业中不破坏海洋生态,确保人员与设备安全。

1.2 海洋工程机械在海洋开发中的作用

在全球海洋开发中,海洋工程机械是“装备基石”,其技术水平决定海洋资源开发深度与广度。在海洋油气开发领域,海洋钻井平台可实现千米深海油气勘探开采,配套水下生产系统远程输送油气,解决了深海资源开采难题,2024年全球海洋油气产量占比超35%得益于它。海上可再生能源开发中,海上风电安装船吊装风电机组,海底电缆铺设机布设电缆,推动全球海上风电装机容量年均增长超20%。此外,在海洋矿产开发、工程建设、环境治理等领域,它也发挥不可替代作用,提升开发效率,

降低人力成本与作业风险,为海洋资源探索利用提供关键技术保障^[1]。

2 海洋工程机械的创新设计理念与方法

2.1 基于先进技术的设计理念

当前海洋工程机械的创新设计,正以先进技术融合为核心驱动力,打破传统设计的局限。人工智能(AI)技术的融入,实现了设备的“自主决策”能力——通过在设备上搭载多传感器(如压力传感器、振动传感器),实时采集作业数据与环境数据,借助AI算法(如深度学习、强化学习)进行数据分析,可提前预测设备故障(如轴承磨损、液压系统泄漏),预测准确率可达90%以上,大幅降低突发故障导致的停工损失。大数据与物联网(IoT)技术则构建了“远程监控与协同作业”体系,以海上风电运维船为例,通过IoT技术将船上设备与岸基监控中心实时连接,运维人员可远程查看设备运行参数,结合大数据分析优化运维方案,实现“岸基指挥+海上作业”的协同模式,运维效率提升30%。此外,数字孪生技术的应用,可在虚拟环境中构建设备的全生命周期模型,从设计阶段即可模拟设备在不同海洋环境下的作业状态,提前优化结构设计,减少物理样机的研发成本,缩短研发周期,某海洋工程装备企业通过数字孪生技术,将新产品研发周期缩短了25%,研发成本降低20%。

2.2 考虑特殊环境的设计思路

针对海洋特殊环境对设备的影响,海洋工程机械的设计需建立“环境适配”的核心思路,从材料、结构、防护三大维度形成系统性解决方案。在材料选择上,需优先考虑耐腐蚀性与抗疲劳性——对于设备外露部件(如平台栏杆、吊装臂),采用超级双相不锈钢(如SAF2507),其耐盐雾腐蚀性能是普通碳钢的10倍以上;对于水下关键部件(如潜水器壳体),则选用钛合金或碳纤维复合材料,在保证强度的同时,降低海水腐蚀对设

备寿命的影响。在结构设计上,需应对强风浪与深水水压的挑战:海上作业平台采用“抗风浪型船体设计”,通过优化船体线型减少风浪对平台的冲击力,同时增加压载水系统调节平台平衡,确保在8级风浪下仍能稳定作业;水下设备则采用“球形或圆柱形壳体结构”,利用几何形态分散水压,某深海潜水器通过该结构设计,可承受11000米深海的高压(约110MPa)。此外,防护设计需覆盖“全设备、全场景”,设备电气系统采用IP68级防水密封,关键部件(如液压油箱)增设防腐涂层,同时设计排水系统及时排除设备内部积水,避免湿度超标导致的电路故障,全方位提升设备对海洋环境的适应性。

2.3 模块化与集成化设计方法

模块化与集成化设计是提升海洋工程机械通用性、可维护性与作业效率的关键方法,已成为当前设计的主流趋势。模块化设计的核心是将设备拆解为独立的功能模块(如动力模块、作业模块、控制模块),每个模块具备标准化接口与独立功能——以海洋工程船为例,可将船上的吊装模块、钻井模块、清淤模块设计为标准化单元,根据不同作业需求(如海上吊装、深海钻井)进行模块更换,更换时间可从传统的7天缩短至2天,大幅提升设备的多功能性与复用率^[2]。同时,模块化设计还简化了设备的维护与升级,当某一模块出现故障时,无需整体拆解设备,仅需更换故障模块即可,维护成本降低40%以上,且后续技术升级时,仅需更新对应功能模块,无需淘汰整台设备,延长设备生命周期。集成化设计则强调“功能整合与空间优化”,在有限的设备空间内整合多种功能,例如海底探测机器人,将探测传感器、样本采集装置、数据传输系统集成于一体,避免了多设备协同作业的复杂性,同时缩小设备体积,使其能在狭窄的海底地形中灵活作业;某集成化海底探测机器人的作业效率,是传统多设备协同作业的2倍,且作业成本降低25%,实现了“小体积、多功能、高效率”的设计目标。

3 海洋工程机械的制造技术关键点

3.1 高性能材料的应用

高性能材料是海洋工程机械性能与寿命的核心保障,其选用需契合设备作业环境与功能需求。结构材料中,高强度低合金钢板(如Q690)广泛用于海洋平台主体结构,屈服强度达690MPa,能承受海上强风浪与设备自重,经控轧控冷工艺提升韧性,避免低温脆性断裂。与普通碳钢相比,Q690钢板可减重20%,降低整体能耗。复合材料(如碳纤维增强树脂基复合材料)在轻量化与耐腐蚀性要求高的部件(如海上风电叶片、水下机器人壳体)中应用广泛,密度仅为钢的1/5,强度是钢的3-5倍,且不

受海水腐蚀。采用该材料叶片后,风电机组发电效率提升15%,叶片寿命延长至25年。功能材料方面,耐磨涂层材料(如碳化钨涂层)用于易磨损部件,耐磨性是普通钢材的5-8倍,延长部件寿命3倍以上;防腐涂料(如氟碳涂料)用于设备表面防护,在海洋高盐雾环境下,涂层寿命可达10年,减少维护成本,保障设备稳定运行。

3.2 先进制造工艺与技术

先进制造工艺与技术对提升海洋工程机械制造精度、效率与质量稳定性至关重要。3D打印技术(增材制造)在复杂零部件制造中优势明显,对于海洋工程机械中的异形结构件(如水下设备流道部件、液压系统复杂阀体),传统铸造易出现气孔、裂纹等缺陷,而3D打印技术(如激光选区熔化SLM)通过层层堆积精准成型,材料利用率从传统工艺的60%提升至95%以上,成型部件力学性能更均匀,采用该技术制造的水下阀体,合格率从传统工艺的75%提升至98%。数字化制造技术构建“全流程智能化生产”体系,通过CAD、CAM与MES协同,实现设计到生产的无缝衔接。在海洋平台船体制造中,数字化切割精度达 $\pm 0.5\text{mm}$,机器人焊接效率提升40%,焊缝质量合格率达99%。柔性制造技术可实现多品种、小批量设备高效生产,调整工装夹具与程序参数即可切换生产不同型号部件,满足市场多样化需求,降低生产线改造成本^[3]。

3.3 制造过程中的质量控制与检测

海洋工程机械制造质量关乎作业安全与设备寿命,必须构建全流程、高精度的质量控制与检测体系。原材料检测环节至关重要,运用光谱分析、力学性能测试(如拉伸试验、冲击试验)等手段,严格把控原材料成分与性能。以用于深海设备的钛合金材料为例,要检测其杂质含量(氧含量需 $\leq 0.15\%$)与抗拉强度,确保符合设计标准。借助X射线荧光光谱仪,能快速检测钢材化学成分,检测时间从传统24小时大幅缩短至30分钟,极大提升了原材料入场效率。零部件制造过程中,采用在线检测技术(如激光测量、视觉检测)实时监控加工精度。以海洋钻井平台的法兰部件为例,利用激光干涉仪检测其平面度,精度可达 $\pm 0.001\text{mm}$,有力保障了部件装配时的密封性,防止油气泄漏。对于焊接部件,采用无损检测技术(如超声波检测、射线检测)排查焊缝内部缺陷,全自动超声波检测系统可实现焊缝检测100%覆盖率,缺陷检出率提升至99%。整机装配完成后,需开展“模拟海洋环境”的整机测试,在高压舱内测试水下设备耐压性能,在风浪模拟试验台测试海上平台稳定性,同时进行连续72小时满负荷运行测试,验证设备可靠性,达标后方可出厂,保证交付高质量设备。

4 发展趋势展望

4.1 智能化与自动化发展趋势

未来海洋工程机械将迈向“更高程度智能化、全场景自动化”，目标是实现“少人化甚至无人化”作业，降低人力成本与风险。智能化上，设备“自主感知与决策”能力更强，搭载多模态传感器（如视觉、声学传感器），可实时识别海洋环境中的障碍物与作业目标，结合AI算法自主规划路径，无需人工干预完成复杂作业。像深海采矿机器人，能通过视觉识别定位多金属结核，自主调整采矿臂采集并避开障碍物，效率较传统操控提升50%。自动化方面，“无人化作业平台”成主流，如无人海上风电运维船，可远程控制完成巡检、诊断与维修，岸基人员监控指挥，降低海上作业风险，还能24小时不间断运维。智能化还将延伸至全生命周期管理，通过大数据构建健康管理模型，实现“预测性维护”，预计2030年，超80%的海洋工程机械将具备不同程度的智能化与自动化功能。

4.2 绿色环保技术的应用趋势

全球“双碳”目标与海洋生态保护需求下，绿色环保技术将深度融入海洋工程机械设计与制造，达成“低碳作业、生态友好”。动力系统上，新能源（如氢能、锂电池、风能）逐步替代传统燃油动力，氢燃料电池驱动的海洋工程船零碳排放，续航超1000海里；锂电池驱动的水下机器人噪音低，避免干扰海洋生物。制造过程里，绿色工艺成主流，水性防腐涂料替代传统涂料，减少80%挥发性有机化合物排放；余热回收技术降低生产能耗，某企业绿色改造后，生产能耗降15%，碳排放减20%。另外，“可循环设计”受重视，设计阶段考虑材料回收再利用，采用可拆卸式结构，预计2035年，海洋工程机械材料回收率将超90%，作业碳排放较2025年降40%，实现开发与生态保护协同。

4.3 深海与极地开发的技术需求趋势

浅海资源开发饱和，全球海洋开发加速向深海（水深超3000米）与极地（北极、南极）拓展，对海洋工程机械提出更严苛技术需求。深海开发方面，设备要突破“超高压、低能见度、低温”瓶颈，深海潜水器需承受110MPa以上高压，搭载高分辨率声学成像系统；深海采矿设备要适应复杂地形，采用履带式或多足式行走机构，某企业研发的机器人可在30°坡度海底稳定作业。极地开发上，设备要应对“超低温、海冰撞击”挑战，极地海洋工程船采用“抗冰型船体设计”，配备破冰装置；液压与电气系统采用低温适配技术。另外，还需解决“远程通信与能源供应”问题，通过卫星中继通信远程控制，采用核动力或可再生能源供能，预计2040年，适配深海与极地开发的海洋工程机械将形成完整技术体系，支撑资源规模化开发。

结束语

海洋工程机械作为海洋开发的核心装备，其创新设计与制造技术的进步对海洋资源开发意义重大。当前，在先进理念与方法推动下，设计不断优化，制造技术持续升级，质量把控愈发严格。展望未来，智能化、自动化、绿色环保以及适应深海与极地开发将成为重要方向。随着相关技术的不断突破，海洋工程机械将更高效、环保、可靠，为人类深入探索和利用海洋资源提供更有力的支撑，推动海洋经济迈向新高度。

参考文献

- [1]陈力浩.机械设计与制造技术的创新实践研究[J].造纸装备及材料,2023,52(07):96-98.
- [2]张海鹏,曲华景,张涛,等.海洋工程机械喷砂工艺研究[J].石油工程建设,2024,46(12):163-165.
- [3]田献旺.海洋工程机械液压系统状态监测和故障诊断机理研究[J].石油工程建设,2023,45(7):89-91.