

船舶设计数字化转型现状及趋势分析

虞朋舟

浙江省海洋水产研究所 浙江 舟山 316000

摘要: 船舶设计数字化转型已进入深度应用阶段,以三维建模、数字孪生为核心技术,实现从几何样船向性能仿真的跨越。国内沪东造船厂SPD3、611所SB3DS等系统推动自主设计能力提升,但与欧美国家集成产品数据环境(IPDE)相比,仍存在多系统协同不足的差距。未来趋势聚焦于AI驱动的智能设计、基于大模型的自动化方案生成,以及氢能船舶等新能源船型的全生命周期数字孪生优化。

关键词: 船舶设计;数字化转型;现状;趋势

引言:在数字化浪潮席卷全球工业领域的当下,船舶设计作为传统制造业的关键环节,正经历着深刻的变革。传统船舶设计依赖二维图纸与经验驱动的模式,已难以满足现代船舶向大型化、绿色化、智能化发展的需求。随着三维建模、人工智能、数字孪生等新兴技术的突破,船舶设计正加速向数字化、网络化、智能化转型。这一转型不仅关乎设计效率与质量的提升,更成为船舶工业突破技术瓶颈、实现高质量发展的必由之路。

1 船舶设计数字化转型的技术基础

1.1 三维数字样机(3DDMU)技术

(1) 核心功能:实现设计过程可视化、协同化,构建完整三维数字样船,涵盖船体、舾装、机电等全系统,可直观呈现各部件装配关系,减少设计盲区,大幅提升设计精度与协同效率,打破传统二维设计的局限。(2) 数据一致性:基于单一数据源(SingleSourceofTruth)理念,整合所有设计环节的数据资源,实现设计、修改、审核全流程数据同步,彻底解决传统设计流程中数据版本混乱、各专业数据不一致、重复录入等痛点。(3) 案例:沪东造船厂通过SPD3三维设计系统,全面应用三维数字样机技术,将船舶设计周期缩短30%,设计错误率降低50%以上,显著降低后续施工返工成本。

1.2 数字孪生与仿真技术

(1) 应用场景:广泛应用于船体结构强度分析、推进系统性能优化、消防系统设计、航行姿态模拟等核心环节,可提前预判设计缺陷,减少物理样机试制成本。(2) 技术突破:通过高精度有限元模型分析雷达桅杆振动特性,精准定位振动源并提出有效减振方案;研发模块化消防水炮系统,解决大型集装箱船消防覆盖不全、适用性差的问题。

1.3 人工智能与大数据分析

(1) 设计优化:利用机器学习算法对船型线型进行

迭代优化,有效降低船舶航行阻力,提升燃油经济性;基于海量历史设计与航行数据,建立船舶性能预测模型,精准指导设计方案迭代升级。(2) 智能化决策:集成船舶各类传感器实时数据,结合大数据分析,实现航行路线动态优化、设备故障提前预警与自主避障,提升设计方案的智能化水平^[1]。

1.4 工业互联网与物联网技术

(1) 船岸协同:依托5G-A与低轨卫星通信技术,实现全球海域无死角、高稳定通信,支撑岸基团队对船舶进行远程运维、设计参数实时调整与数据交互。(2) 供应链整合:引入区块链技术,打通船舶设计、零部件采购、生产制造全链条数据,提升供应链透明度与可追溯性,确保设计数据与零部件规格精准匹配,规避供应链风险。

2 船舶设计数字化转型的现状

2.1 国际领先企业案例

(1) 美国:船舶设计数字化起步较早,技术应用成熟。20世纪80年代,DDG51驱逐舰项目率先全面采用三维设计技术,打破传统二维设计模式,大幅提升设计精度与效率;90年代,LPD17两栖船坞运输舰项目进一步集成IPDE一体化设计环境,实现船舶设计、建造、运维全生命周期数字化管理,为后续数字化转型奠定坚实基础,其技术经验被广泛应用于各类船舶项目。(2) 欧洲:聚焦环保与高效,数字化技术应用特色鲜明。挪威船级社(DNV)推出CLEANDESIGN环保设计标准,融合数字化仿真与全生命周期碳排放核算技术,推动船舶环保设计技术升级,引领全球绿色船舶设计潮流;德国船舶企业则深度应用数字孪生技术,对客滚船的船体结构、动力系统进行虚拟仿真优化,有效缩短设计工期,降低研发成本,提升船舶运营安全性与经济性。

2.2 中国船舶设计数字化转型成果

(1) 政策支持：“十四五”期间，国家出台多项扶持政策，聚焦船舶工业绿色化、智能化发展，推动船舶设计数字化转型加速，我国在氨氢融合燃料、智能航行控制、低碳动力系统绿色智能化技术领域取得突破性进展，为数字化设计提供坚实政策与技术支持。(2) 企业实践：头部企业引领转型，成果显著。中船集团发布“齐耀”船用发动机系列，可适配氨、氢、甲醇等多种绿色燃料动力，获颁全球首张船用氨氢燃料发动机原理认可证书，氨替代率达86%，处于国际领先水平；上海船舶研究设计院研发全球首艘氨燃料动力1400TEU集装箱船，其能效设计指数大幅降低，每年可减少二氧化碳排放约1万吨，树立绿色船舶设计标杆^[2]。(3) 软件国产化：打破国外核心技术垄断，自主创新能力大幅提升。目前，CAD、PLM等船舶设计核心工业软件自主率超95%，国产软件不仅实现功能全覆盖，还深度融合人工智能、大数据等技术，适配我国船舶设计需求，大幅降低对国外软件的依赖，为数字化转型提供自主可控的技术保障。

2.3 典型应用场景

(1) 绿色船舶设计：依托数字化仿真技术，优化货舱、船体线型等结构设计，减少材料浪费与船舶航行阻力，提升燃油经济性；重点突破氨燃料储罐设计等关键技术，优化供给与加注系统，提升船舶续航能力，助力航运业实现“双碳”目标，满足国际海事组织严苛的减排要求。(2) 智能船舶设计：集成自主航行系统与高精度定位技术，实现厘米级定位精度，提升航行安全性；运用数字孪生技术构建船舶虚拟模型，实时模拟复杂海况、航行姿态及设备运行状态，动态调整航行路线，提前预警设备故障，推动船舶设计向智能化、自主化升级。

3 船舶设计数字化转型的挑战与瓶颈

3.1 技术层面

(1) 数据孤岛：船舶设计、制造、运维属于不同环节，各环节采用的数据源、数据标准不统一，缺乏统一的数据交互规范，导致设计数据无法高效共享、互联互通。设计环节的参数修改无法及时同步至制造、运维环节，反之运维中的问题也难以快速反馈至设计端优化，严重制约各环节协同效率，增加重复工作与成本。(2) 技术成熟度：氢能作为船舶领域核心绿色能源，其相关关键技术尚未完全突破成熟。固态储氢材料存在储氢密度低、成本高、安全性不足等问题，高效燃料电池则面临寿命短、功率密度不足、适配性差等瓶颈，这些技术短板直接影响氢能船舶的设计研发与市场化推广，阻碍绿色数字化转型进程^[3]。(3) 系统集成：船舶设计涉及流体力学、结构力学、机电工程等多个学科领域，多学科设计优化

(MDO)是实现数字化精准设计的关键。但目前不同学科的设计软件接口不兼容、壁垒突出，难以实现多领域数据无缝衔接与耦合分析，无法充分发挥数字化技术的协同优势，限制设计方案的优化空间。

3.2 管理层面

(1) 人才短缺：船舶设计数字化转型对人才提出复合型要求，既需要掌握船舶设计、航运工程等传统专业知识，又要精通三维建模、数字孪生、人工智能等数字化技术。目前行业内此类复合型人才储备匮乏，现有从业人员多存在传统知识与数字化技能脱节的问题，人才缺口成为制约转型速度与质量的重要因素。(2) 标准化滞后：国际船舶数字化设计标准体系更新缓慢，难以适配快速发展的数字化技术与行业需求，部分老旧标准甚至与数字化设计理念冲突。同时，中国在国际船舶标准制定中的参与度不足、话语权较弱，无法充分结合国内船舶工业发展实际提出标准建议，导致国内数字化设计实践与国际标准衔接不畅，增加转型合规成本与风险。

3.3 市场层面

(1) 成本压力：数字化设计离不开高性能计算集群、专业设计软件、数据存储设备等硬件与软件的投入，此类数字化工具前期购置、后期维护成本较高，对资金实力有限的中小企业而言负担过重。中小企业作为船舶设计行业的重要组成部分，因转型成本过高缺乏转型动力，导致行业数字化转型进程不均衡。(2) 客户认知：船东作为船舶设计成果的最终使用者，其对数字化设计价值的认可度参差不齐。部分船东仍倾向于传统设计模式，对数字化设计在提升效率、降低成本、优化性能等方面的优势认知不足，担心数字化设计增加前期投入且效果不及预期，需通过更多可落地的成功案例展示数字化设计价值，逐步提升市场接受度。

4 船舶设计数字化转型的未来趋势

4.1 技术融合深化

(1) 元宇宙+数字孪生：深度融合元宇宙与数字孪生技术，构建沉浸式虚拟船舶设计平台，打破地域与空间限制。该平台可还原船舶设计全场景，支持全球多地设计团队实时协同操作、三维模型交互修改，设计师通过虚拟形象沉浸式体验船舶内部布局与设备装配效果，精准排查设计细节漏洞，推动船舶设计从虚拟仿真向沉浸式创造升级，大幅提升协同效率与设计精准度。(2) AI大模型应用：依托船舶设计行业海量知识库，优化迭代生成式AI模型（如行业定制版ChatGPT），深度赋能设计决策全流程。AI大模型可快速整合多学科数据，根据船东核心需求自动生成初步设计方案，并围绕船舶性能、

成本控制、环保要求等指标进行多轮优化,辅助设计师突破技术瓶颈、减少重复性工作,实现“人机协同”的高效设计模式。

4.2 绿色化与智能化并行

(1) 零碳设计:紧扣全球航运业净零排放目标,将碳捕捉技术与数字化设计深度融合,聚焦船舶全生命周期低碳化研发。设计中通过数字化仿真优化船体线型与动力系统布局,搭配碳捕集装置实现航行中二氧化碳的高效捕集与资源化利用,结合氨、氢等零碳燃料动力系统,打造全生命周期低碳甚至零碳排放船舶,助力行业落实IMO净零框架要求。(2) 自主航行系统:依托多模态大模型,整合导航、动力、通信、环境感知等多领域实时数据,构建高精度自主航行控制系统,推动船舶实现L4级自主航行。设计过程中通过数字孪生技术模拟各类复杂极端海况,持续优化系统响应速度与决策准确性,结合厘米级定位技术,大幅提升船舶航行安全性与自主性,推动智能船舶设计向高阶化迈进^[4]。

4.3 产业链协同升级

(1) 设计-制造-运维一体化:以工业互联网平台为核心纽带,彻底打通船舶设计、制造、运维全环节数据壁垒,实现全生命周期数字化闭环管理。设计数据实时同步至生产环节,指导零部件精准制造与船舶装配;运维环节的设备运行数据反向反馈至设计端,为设计方案迭代优化提供精准支撑,大幅提升产业链运行效率、降低全链条成本。(2) 国际合作加强:积极参与国际船舶数字化设计标准制定,主动对接全球行业规则,持续提升中国在国际船舶设计领域的话语权。同时,加强与国际领先企业、科研机构的技术合作,引进先进理念与经验,依托我国绿色船舶产业优势,推动中国船舶设计数字化、绿色化技术“走出去”,构建协同共赢的全球船舶产业新格局。

4.4 政策与市场驱动

(1) 政策支持:各国将持续出台针对性扶持政策,通过税收优惠、研发补贴、专项资金等激励措施,加大对氢能船舶、智能船舶设计研发的支持力度,完善数字化、绿色设计相关标准体系,破解核心技术研发、中小企业转型等瓶颈,引导行业资源向重点领域集聚,为数字化转型提供稳定政策保障。(2) 市场需求:全球航运业净零排放目标倒逼船舶设计端加速创新,绿色船舶已从“可选”成为市场“必选”,低碳、零碳、智能船舶的市场需求持续攀升。绿色船舶订单占比逐年提升,这种市场导向将推动船舶设计企业加大数字化、绿色化技术投入,优化设计流程、提升产品竞争力,推动数字化转型向纵深发展。

结束语

船舶设计数字化转型是时代发展的必然趋势,当前虽已在三维建模、智能设计工具应用等方面取得显著进展,但多学科协同优化、数据安全共享等挑战仍待攻克。展望未来,随着AI大模型、数字孪生与船舶设计的深度融合,将实现从概念设计到运维服务的全生命周期智能化管理。船舶企业需把握技术变革机遇,强化产学研协同创新,构建开放共享的数字生态,推动船舶设计向更高效、更绿色、更智能的方向迈进,在全球竞争中占据主动地位。

参考文献

- [1]张伟.数字化技术在船舶制造中的应用与发展趋势[J].船舶工程,2023(12):45-50.
- [2]李娜,陈强.船舶制造业数字化转型的挑战与机遇研究[J].现代制造技术与设备,2023(09):88-93.
- [3]王磊,刘红.基于物联网的船舶制造智能化管理系统[J].机械与电子,2024(02):112-118.
- [4]叶高帮.数字化技术在船舶建造管理中的应用研究[J].船舶物资与市场,2024(12):109-111.