数智赋能船舶海工产业升级的实践逻辑

■ 杨帆 陈蔓生 乔桂银

万顷蓝海，蕴藏高质量发展的澎湃动能。海洋是高质量发展战略要地，应加快海洋科技创新步伐，提高海洋资源开发能力，培育壮大海洋战略性新兴产业。船舶与海洋工程装备产业既是落实向海图强战略的硬核载体，也是实体经济培育新质生产力的重要阵地。我国造船完工量、新接订单量、手持订单量三大指标的国际市场份额连续16年位居全球首位，已形成长三角、环渤海、珠三角三大造船产业集聚区，构建起覆盖研发设计、建造制造、配套供应链、运维服务的完备产业体系。随着大型邮轮、LNG运输船、超大型集装箱船、深海海工装备等一批大国重器相继实现技术突破，中国船舶海工的全球品牌影响力持续攀升。

新一轮数字革命浪潮下，数字孪生、人工智能、工业互联网、大数据加速向船舶研发、建造、运维全链条渗透，数据要素正在重塑船舶海工领域的生产力与生产关系，为产业迈向全球价值链中高端带来重大机遇。同时也要清醒看到，产业规模扩张与质量提升不同步的问题依然客观存在。辩证把握机遇与挑战、规模与质效、自主自强与开放合作的关系，以数智赋能推动船舶海工产业高端化、智能化、绿色化整体性跃迁，既是船舶海工产业转型升级的内在需要，也是落实海洋强国战略、服务中国式现代化建设的时代命题。

规模跃升背景下船舶海工数智转型的深层梗阻

经过多年发展，我国船舶海工产业规模稳居全球首位，智能船厂、数字化车间陆续落地，生产硬件智能化改造成效显著，为产业升级筑牢坚实基础。但产业规模优势无法直接转化为数智转型效能。船舶海工作为定制化程度高、工艺链条长、配套谱系广的大型离散高端装备产业，其数智转型并非简单设备更新，而是技术底座、创新体系、产业组织与要素配置的系统性重塑。当前，产业数智升级仍存在多重深层梗阻。

软件支撑不足、数据治理滞后，制约着产业数智转型提质增效。当前国内船企硬件智能化普及度持续提升，智能焊接、自动化涂装等装备广泛应用，但船舶专用仿真工具、生产管控工业软件存在明显短板，部分核心算法对外依存度较高，自主可控能力不足。行业缺乏统一数据标准与共享体系，企业业务系统相互割裂，数据孤岛问题突出。企业存在重硬件、轻数据的发展惯性，海量生产研发数据难以转化为数字资产。同时，产业链转型分化明显，大型总装企业数字化建设提速，中小配套企业受资金、技术限制改造滞后，上下游数字化协同不足，制约了产业集群整体转型效能。

创新转化不畅、产业链协同偏弱，影响着产业整体能级提升。我国在船舶设计、低碳动力、深海装备等领域创新资源富集，但实验室成果向实船应用转化链条不畅，中试验证、工艺适配、海试迭代等环节存在壁垒。部分科研成果与生产实际、市场需求脱节，产学研用协同机制不够完善，创新资源难以高效落地赋能产业。船舶行业强周期特征明显，数字化产能预警体系不完善，易出现供需错配问题。此外，我国船舶配套体系虽门类齐全，但高端控制器件等关键领域仍有短板，供应链数字化协同水平不高，叠加碳减排规则与智能船舶规则迭代，产业技术升级与国际竞争压力持续加大。

人才结构失衡、资源空间受限，约束着产业长远升级发展。数智化转型急需兼具船舶工艺素养与数字技术能力的复合型人才，高端跨界人才缺口突出，人才结构性矛盾凸显。临港产业基地配套资源薄弱，引才留才难度较大。同时，岸线、航道、土地等核心临港资源日益紧张，老旧产能盘活升级困难，产业发展、生态保护与人居保障的统筹压力持续增大，难以适配产业高质量数智转型需求。

总体来看，船舶海工数智化转型是对标世界造船强国建设的必然要求，也是一场覆盖产业全链条的系统性、整体性升级工程，绝非单一环节的简单技术迭代。应以数智化深度赋能产业全链条升级，有序破解技术支撑、创新转化、要素供给等方面的结构性问题，持续夯实海洋领域新质生产力发展根基，推动船舶海工产业步入更高质量、更可持续的良性发展轨道。

数智全链条赋能船舶海工产业升级的实践路径

船舶海工产业数智转型要立足产业全生命周期，以数据要素贯通研发设计、建造生产、配套供应链、运维服务各环节，统筹软件底座建设、创新机制重塑、产业链协同与人才要素供给，推动产业由规模优势向质量效能优势转变，以系统性数字化变革培育海洋领域新质生产力。同时，应强化跨部门、跨区域协同联动，完善政策供给与要素保障，形成全链条推进合力，为产业转型升级提供持续支撑。

夯实数字底座，构建全域协同数据生态。夯实自主可控数字底座，补齐产业数字化短板，是船舶海工产业转型的重要支撑。依托新型举国体制优势，联动行业龙头企业与科研院所组建软件创新联合体，围绕船舶三维设计、结构仿真、流体计算、生产排程、质量管控等核心刚需场景，集中开展工业软件与专用算法联合攻关，稳步降低高端设计、仿真工具对外依存度，打造适配船舶离散建造特征的自主可控软件产品体系。同步搭建标准化数据体系，聚焦船舶模型研发、分段建造、设备参数、质量检验、运维监测等关键领域，统一行业数据口径、交互接口与安全规范。

由行业协会联合链主企业牵头，搭建全国性、区域性船舶海工工业互联网公共平台，打通总装厂与配套企业系统壁垒，有效化解行业数据孤岛难题。同时引导企业扭转“重硬件、轻软件、弱数据”的惯性思维，常态化开展内部数据治理，对图纸资料、工艺记录、试验及设备监测数据进行规范化归集、清洗与资产化运营，将零散生产数据转化为可复用、可流通的数字资产。实施产业链梯度数字化改造，差异化赋能大中小企业：支持龙头企业打造智能船厂与数字化标杆车间，为中小配套企业推出轻量化、低成本、模块化数字化解决方案。依托三大造船产业集聚区推动链主企业开放数字化平台，带动上下游协同转型，实现生产全流程在线协同，构建集群联动的数字化发展格局。

重塑产学研用链条，打通数智成果转化通道。打造产学研用创新链条，畅通数智成果转化通道，是提升船舶海工产业链供应链韧性与核心竞争力的关键抓手。依托数字孪生、人工智能、工业大模型等前沿数智技术，全面赋能船舶研发创新，在新船型、深海装备研发阶段搭建全船数字孪生样机，通过虚拟空间完成船型优化、性能仿真与建造流程预演，有效压缩研发周期、降低实船试验成本，显著提升大型邮轮、LNG运输船、深海浮式装备等高端船舶产品的研发质效。健全科研成果落地转化体系，搭建船舶海工专业中试验证公共平台，补齐实验室技术到实船应用的中试适配、工艺调试、海试验证短板，构建“研发—仿真—中试—实船迭代”的闭环创新机制。

推动科研院所、高校、总装企业与配套厂商深度协同，紧扣国际海事新规与船舶碳减排核心要求联合设立攻关项目，确保科研选题贴合市场需求与生产实际，杜绝科研成果脱离产业、悬浮于实验室的问题。运用大数据搭建产业周期与产能监测预警体系，整合全球船舶订单、船价、原材料价格、企业产能负荷等多维数据，搭建行业供需动态研判模型，有效对冲行业强周期波动引发的供需错配风险，引导企业科学布局产能。完善数字化供应链体系，依托工业互联网实现船用动力系统、控制器件、传感器等核心配套产品全流程溯源、质量管控与状态监测，推动配套企业按需开展柔性化生产。主动对接国际智能船舶、低碳船舶规则，开展绿色船舶技术预研，推进甲醇、氨、氢等清洁能源船舶研发示范，实现数字化与绿色化转型双向融合，抢占全球船舶产业技术竞争先机。

深化全域数字化转型，激活产业集群发展效能。深化全产业链全域数字化转型，是激活船舶海工产业集群动能、提升产业整体效能的核心路径。立足船舶产业离散化建造、链条长、配套多、集群集聚的发展特点，坚持分类施策、梯度推进、协同联动的原则，推动数字化改造从单点试点向全域覆盖、从企业单打独斗向集群联动升级，全面释放产业规模集聚效应。聚焦大型总装龙头企业，支持其依托技术、资金、平台优势，持续深化智能船厂、数字化车间建设，推进生产排程、质量管控、智能制造、交付运维全流程数字化升级，打造行业数字化转型标杆，形成可复制、可推广的智能制造标准体系。

依托行业工业互联网公共平台，推广轻量化、模块化、低成本数字化解决方案，简化转型流程、降低转型门槛，助力中小企业快速完成基础数字化改造，补齐产业链配套数字化短板。依托长三角、环渤海、珠三角三大造船产业集聚区，充分发挥链主企业的牵引带动作用，推动龙头企业开放数字化平台、数据资源与技术能力，打通上下游企业数据互通、业务协同、资源共享通道，破除产业集群内部的协同壁垒。通过全域数字化联动，实现产业链订单对接、物料配送、质量管控、生产进度、交付运维的全流程在线协同，构建上下游联动、集群化发展的数字化产业生态。同步依托数字化手段推动产业结构优化升级，倒逼老旧产能迭代更新，推动生产模式由传统粗放制造向精细化、智能化、绿色化制造转型，持续提升船舶海工产业集群的生产效率、配套能力与整体核心竞争力。

发展海洋经济、海洋科研是推动强国战略的重要方面，关键核心技术必须依靠我们自主研发，海洋经济发展前途无量。船舶海工产业是海洋强国建设、推进中国式现代化的战略性支撑产业。当前，全球海事规则迭代重构，产业竞争格局深刻调整，产业发展必须锚定新质生产力发展主线，以数智化驱动产业全链条变革，以绿色转型塑造产业竞争新优势，以系统治理破解软件短板、人才瓶颈、成果转化滞后、行业周期波动等突出问题。依靠数智变革激活产业内生动力，深耕海洋实体经济、培育海洋新质生产力，能够加快世界造船强国建设的步伐，为海洋强国战略落地、中国式现代化建设筑牢坚实产业根基。

（杨帆单位：南通职业大学马克思主义学院；陈蔓生单位：南通职业大学；乔桂银单位：南通市委党校）

【基金项目】本文系2026年江苏省高校哲学社会科学“数字经济赋能产业创新研究团队”阶段性成果。

智库观“新”

从单项政策支持到系统营造生态：先进制造业发展的着力点转换路径分析

■ 陈杉 周欣如

随着制造业规模优势不断巩固，先进制造业发展正由规模扩张迈向体系跃升，产业协同更加深入、生产组织加快变革、竞争形态不断升级，营造良好产业生态由发展条件上升为持续做大做强的内在要求。

营造良好产业生态是做大做强先进制造业的内在要求

发展方式转型，要求以良好产业生态增强发展后劲。先进制造业做大做强，既要扩大有效投资、培育优质项目，也要把发展动力转到技术进步、效率提升和能力积累上来。项目和产能能够形成阶段性增量，但持久竞争力取决于创新能否持续、资源能否优化配置、企业能否稳定成长。良好产业生态能够为企业创新、要素流动和长期投入创造稳定条件，推动产业发展由主要依靠要素投入和规模扩张，更多转向依靠创新驱动和效率提升。

产业协同深化，要求以良好产业生态提升协作效率。先进制造业分工精细，从技术研发到规模应用涉及的主体和环节繁多。技术走向生产线，需要技术攻关、中试验证、工艺适配和装备配套；产品进入市场，需要标准认证、场景验证和供应链协作；企业实现规模成长，还要有资本、人才、数据等要素持续支撑。只有形成稳定顺畅的协作关系，才能降低不同环节之间的衔接成本，使创新链、产业链、人才链、资金链更加紧密地贯通起来。

生产组织变革，要求以良好产业生态促进要素衔接。智能化、绿色化、融合化正在突破传统企业和产业边界，推动生产组织由企业内部优化转向跨主体、跨领域协同。智能化要求算法、数据、装备与生产流程深度融合，绿色化要求原材料、能源、生产、物流和回收利用全链条协同，融合化则促进制造业与研发设计、数字服务、现代物流等深度衔接。生产组织越趋网络化、平台化、协同化，越需要技术、数据、人才、服务等要素顺畅流动、有效组合。

体系跃升竞争升级，要求以良好产业生态塑造整体优势。先进制造业竞争正在由单个企业、单项产品的比拼，转向产业链、创新链和产业生态之间的综合较量。单个企业的技术突破能够形成局部优势，但只有上下游企业、创新主体和专业服务机构形成稳定分工，才能把局部优势转化为整体竞争力。企业集聚能够形成产业规模，但空间上的集中并不必然带来专业化分工和体系化协作。只有把企业、技术、人才等分散的生产要素有效组织起来，形成更加稳定的产业联系，才能推动规模优势、配套优势加快转化为产业整体优势和持久竞争优势。

多措并举 营造良好产业生态

良好产业生态既形成于市场主体长期竞争合作，也有赖于稳定的制度规则和完善的公共条件。2026年9月召开的全国先进制造业大会围绕关键核心技术攻关、科技成果转化、“人工智能+制造”、服务型制造、先进制造业集群、高质量标准体系和整治无序非理性竞争等作出部署，反映出推动先进制造业发展的着力点正在由单项政策支持向系统营造发展生态拓展。营造良好产业生态，关键是提高要素配置效率，强化创新激励，深化专业化协作，形成公平有序、优胜劣汰的市场环境。

畅通要素配置，提升资源配置效能。高端要素跨区域、跨行业、跨主体顺畅流动，直接影响技术创新和产业化效率。为此，需完善要素市场化配置机制，畅通技术交易、数据流通、人才流动和科技金融渠道，加强工业互联网、算力等新型基础设施支撑，推动各类先进生产要素向创新能力强、生产效率高、发展潜力大的企业和领域集聚。

打通创新链条，增强持续创新动能。科技创新和产业创新深度融合，关键在于贯通技术攻关、中试验证、生产应用和市场推广。原创成果能不能工程化，新技术能不能进入生产线，新产品能不能获得市场认可，决定创新能否真正转化为现实生产力。为此，应强化企业创新主体地位，围绕产业发展需求完善制造业创新中心、中试和试验验证平台建设，拓展新技术新产品的应用场景，健全知识产权保护和科技金融支持体系，让创新成果能够顺利进入生产环节、接受市场检验并获得合理回报，进而形成持续创新的内在动力。

深化专业分工，放大产业协同效能。先进制造业的整体竞争力建立在高度专业化分工基础之上：龙头企业发挥集成牵引作用，专精特新企业深耕细分领域，研发设计、工业软件、检验检测、现代物流等生产性服务业提供专业支撑。这种分工协作既要建立在产业基础和比较优势之上，也需要通过更加紧密的上下游联系加以强化。为此，应推动企业围绕技术、标准、数据、订单等加强协作，促进不同环节之间的信息共享、能力衔接和供需匹配，从而推动产业集群由空间集聚向专业化协作和体系化发展跃升。

完善竞争规则，健全优胜劣汰机制。公平竞争是产业生态保持活力的基本条件。为此，要加快建设全国统一大市场，破除地方保护和市场分割，规范招商引资行为，完善质量、技术、安全、能耗、环保等标准，以统一规则提高市场识别先进产能和优质产品的能力；强化公平竞争审查和市场秩序治理，引导企业从简单的价格比拼转向技术、质量、效率和服务竞争，让优质企业凭借创新和效率获得合理回报，让低效落后产能在竞争中有序退出，推动产业生态保持活力和韧性。

（陈杉单位：香港岭南大学；周欣如单位：江西财经大学区域国别研究院）

数字孪生推动复杂制造系统智能化升级研究

■ 谭翰雄

传统制造业企业常常面临生产效率低下、资源浪费、品质控制难、信息孤岛和协同困难等问题。作为现实世界系统的数字模型或副本，数字孪生利用来自传感器和物联网设备的数据提供数字表示，从而实时模拟物理对象或系统，能帮助企业实现全价值链的协同和整合，也为破解信息割裂和协同低效问题提供了可能。围绕复杂制造系统智能化升级展开数字孪生研究，既有助于提升生产调度的科学性、设备运维的预见性，也能促使工艺知识沉淀并实现跨部门协同，进而使制造模式由被动应对变为主动优化。因此，本文在认识数字孪生和复杂制造系统内在联系的基础上，探索全要素数字化映射、生产运行动态优化、全生命周期智能运维升级路径，旨在为复杂制造系统智能化升级提供参考。

数字孪生与复杂制造系统基础认知

复杂制造系统是由供应链管理技术、信息交流技术、生产管理系统技术、物流控制技术等支撑的复杂系统，其内部存在大量交互要素、复杂结构以及各种因素干扰。设备状态变化、订单插单、物料延迟、人员操作不同、外部市场波动都会影响系统运行，使系统呈现出非线性、动态性、不确定性的特点。传统制造执行方式大多依靠局部数据以及静态计划，无法及时对扰动的影响范围进行判断，也无法对资源进行合理调配，造成产能利用率不平衡、制品堆积、交货时间延长等问题。对这类系统进行智能化升级，需建立可以体现系统总体运作逻辑并能实现即时互动的数字载体。

数字孪生是利用数字技术建立的与现实世界中物理实体或者系统相对应的虚拟模型，实现对物理实体或系统的监测、仿真、预测和优化。复杂制造环境下，数字孪生可将设备、工位、仓储、物流以及供应链节点联系起来，建立从订单到交付的虚实映射关系，从而为生产状况监控、瓶颈识别、方案推演以及故障预估提供共同根基。复杂制造系统与数字孪生融合可以促使制造系统由经验驱动转向数据和模型共同驱动。

数字孪生推动复杂制造系统智能化升级的实践路径

构建制造系统全要素数字化映射体系。数字孪生推动复杂制造系统智能化升级需构建制造系统全要素数字化映射体系，使物理生产现场中的各种要素在虚拟空间中具有可计算、可关联以及可追溯的数据表达，并能够和现场状态同步。复杂制造系统中设备、物料、人员、环境、工序状态分散在不同的系统和现场点位上，需根据对象特征布置振动、温度、电流、视觉、射频识别等传感装置采集实时数据，并按照统一编码规则对设备编号、物料批次、工位属性、工艺参数进行标准化。数据经清洗、时间对齐和语义映射后汇入数据中台，与制造执行系统、企业资源计划、仓储管理系统等数据进行关联，生成包含订单、计划、执行、质量、设备、物流等在内的统一数据视图，为后续模型计算提供可靠输入。全要素数字化映射还需要设备模型、物料模型、工序模型、人员和环境模型共同支撑，其中，设备模型反映运动逻辑、能耗特点及故障情形，物料模型记载批次、位置、状况和流转路线，工序模型表达加工顺序、节拍需求和质量约束，人员和环境模型则反映操作权限、作业区域和安全状况。而后，再利用三维引擎、仿真算法、数据库技术将几何模型和实时数据流绑定，使虚拟场景中设备的状态、物料的位置、生产进度等随现场变化调整。当设备出现故障、物料不足或者工序延迟时，虚拟模型可同步显示异常并支持回溯分析，管理者在可视化的界面即可看到整个生产流程状态，实现生产状态的实时分析。

动态优化调控生产运行全过程。复杂制造系统存在着多订单、多工序、多设备共用、物料约束等问题，传统静态排产难以满足交期、产能、成本、设备负荷等多方面要求。针对这一问题，可以在数字孪生环境中建立生产调度模型，将订单优先级、工艺路线、设备能力、物料齐套情况等作为约束条件，对不同排产方案进行仿真对比，评价方案在生产周期、在制品数量、设备利用率和能耗等方面的表现。针对关键设备运行参数，通过虚拟仿真测试不同速度、温度、压力、进给等加工效果。仿真结果反馈至制造执行系统，得到可以执行的调度指令和工艺参数建议。此外，生产现场工况变化、设备性能下降、紧急插单、物料延迟等无法避免，数字孪生技术可依托实时数据识别实际运行与计划之间的偏差，并迅速评估这些偏差带来的影响。当某台设备实际节拍小于计划、某道工序存在质量波动时，虚拟模型可以推演调整后续工序顺序、更换备用设备、重新安排人员或者改变物流路径后的效果，帮助管理者选择扰动最小的调整方案。对于连续生产环节，数字孪生技术可根据传感器的数据对温度、压力、流量等参数做动态修正，使设备处于稳定工况。调控结果再回传到虚拟模型中，形成一个感知、分析、决策、执行的闭环，从而提高生产运行效率和稳定性，助力复杂制造系统智能化升级。

搭建全生命周期智能运维与管控机制。在产线建设以及工艺改进之前，即前期规划阶段，企业可借助数字孪生技术搭建虚拟产线，针对设备布置、物流走向、产能节拍以及人员安排进行模拟，从而预先发现瓶颈工位、碰撞风险及产能不匹配等问题，缩减后期的返工及调试费用。进入生产阶段后，虚拟模型与现场数据保持同步，对设备状况、质量指标、能耗水平、订单进度进行实时监控，出现异常趋势时发出预警并协助调度。生产方案、工艺参数、质量标准可在虚拟环境中不断检验，从而保证中期控制既及时又具有预见性。在后期复盘与迭代优化环节，复杂制造系统在长期运行过程中会产生大量设备运行、维修记录、质量检测以及能耗等数据，数字孪生可将这些数据与虚拟模型结合，剖析设备退化规律、故障前兆以及维护周期，进而实现从定期修理到预测性修理的转变。对于反复出现的质量缺陷、效率瓶颈，可利用历史数据回放、模型仿真确定原因，评估改造方案效果，将有效经验固化成规则和知识库，为后续生产提供指导。虚拟模型也需随着现场变化、工艺更新以及设备改造不断校准，以保证与物理系统一致。采用全生命周期智能运维与管控后，制造资源在规划、执行、维护三者之间可实现更合理的配置，设备停机时间以及质量损失得到有效控制，复杂制造系统智能化升级由单点应用转变为体系化推进。

数字孪生对复杂制造系统智能化升级的推动作用体现为全方位数据映射、生产运作动态优化以及全生命周期运维管控。依靠统一的数据底座以及高保真模型，制造现场状态得以实时感知和推演，调度决策以及工艺调整不再依赖经验判断，设备维护和系统更新获得数据支持。随着人工智能、边缘计算、工业互联网的深度融合，未来数字孪生将在自适应调度、自主诊断、跨企业协同等方面发挥更大作用，但仍需关注数据安全、模型可信度、实施成本等问题，以更好赋能复杂制造系统智能化升级。

（作者单位：中南林业科技大学机械与智能制造学院）