

# 数字化转型对船舶制造企业绩效的影响评估

李婉辰<sup>1</sup>, 葛世伦<sup>1</sup>, 张美书<sup>1\*</sup>, 孟德鑫<sup>2</sup>, 贾 昱<sup>1</sup>, 李正华<sup>1</sup>

(1. 江苏科技大学 经济管理学院, 江苏镇江 212100; 2. 中国舰船研究院, 北京 100101)

**摘要:** [目的]为量化分析数字化转型对船舶制造企业绩效的提升效果, 掌握其内在作用机制, [方法]基于其 2011—2023 年的数字化转型水平数据, 综合运用主成分分析与回归模型开展数字化转型对企业绩效的影响评估。[结果]研究发现: 企业数字化转型水平每提升 1 个标准化单位, 企业的总产值增长 30.4%, 设计、制造、管理和供应链等 4 个应用系统的数字化转型水平的综合贡献相对均衡。研究表明: 数字化转型是船舶制造业发展的必经之路, 成功实现数字化转型的关键是实现设计、采购、制造和管理等环节的数据共享, 而实现数据共享的关键是构建企业的数据标准体系以及用于描述企业行为、特征、状态和绩效的企业数据模型。[结论]提出的基于核心系统应用深度的数字化转型水平综合测度方法可供制造企业的转型成效评估和资源优化配置参考。

**关键词:** 数字化转型; 船舶制造业; 生产效率; 影响评估

**中图分类号:** U671.99 **文献标志码:** A **【DOI】** 10.13788/j.cnki.cbge.2026.03.15

## Impact of Digital Transformation on Manufacturing Enterprise Performance

LI Wanchen<sup>1</sup>, GE Shilun<sup>1</sup>, ZHANG Meishu<sup>1\*</sup>, MENG Dexin<sup>2</sup>, JIA Yu<sup>1</sup>, LI Zhenghua<sup>1</sup>  
(1. School of Economics and Management, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212100, Jiangsu, China; 2. China Ship Research and Development Academy, Beijing 100101, China)

**Abstract:** [Purpose] To quantitatively analyse the impact of digital transformation on enhancing the performance of shipbuilding enterprises and to understand its underlying mechanisms, [Method] the research employs principal component analysis and regression models to assess the influence of digital transformation on corporate performance, based on its digital transformation level data from 2011 to 2023. [Result] It reveals that for every one standardised unit increase in an enterprise's digital transformation level, its total output value grows by 30.4%. The combined contribution from the four application systems—design, manufacturing, management, and supply chain—remains relatively balanced. The research indicates that digital transformation is an indispensable pathway for the development of the shipbuilding industry. The key to successfully achieving digital transformation lies in enabling data sharing across design, procurement, manufacturing, and management systems. Crucially, realising data sharing hinges on establishing an enterprise data standards system and developing an enterprise data model that describes organisational behaviour, characteristics, status, and performance. [Conclusion] The proposed comprehensive measurement method for digital transformation levels, based on the depth of core system

收稿日期: 2025-06-18; 修回日期: 2025-09-11

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (72372060); 国家自然科学基金重点项目 (72432004); 船舶制造业数字化转型顶层设计研究 (CBG01N23-01-01); 教育部人文社科规划基金项目 (25YJA630112); 江苏省社会科学基金项目 (25GLC018)。

作者简介: 李婉辰 (2000—), 女, 硕士研究生。研究方向: 船舶数字化转型、企业管理。

通信作者: 张美书 (1975—), 女, 博士、副研究员、硕士生导师。研究方向: 船舶数据资产、科研管理。

E-mail: zhangms@just.edu.cn

application, provides a reference for manufacturing enterprises to evaluate transformation effectiveness and optimise resource allocation.

**Key words:** digital transformation; shipbuilding industry; manufacturing; production efficiency

## 0 引言

船舶制造业是集低毛利、定制化、资金密集、劳动密集、技术密集和周期性波动大等特点于一体的行业。船舶建造是一项复杂的系统工程,具有波动性大和不确定性强的特点,属于典型的劳动密集、知识密集和资金密集行业。船舶制造业作为国家战略性新兴产业,受逆全球化和国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)船舶温室气体减排战略等因素影响,面临着供应链不稳定性加剧、绿色低碳要求日益严苛、用工难问题日益突出和用工成本持续上升等挑战。在此背景下,推动船舶制造向数字化、绿色化方向转型,实现船舶制造企业高质量发展,已成为船舶行业突破发展瓶颈的必由之路。

企业数字化转型是通过深度应用数字技术,触发组织结构、行为和运行系统重构的过程<sup>[1]</sup>。对于制造业而言,数字化转型能显著优化生产流程,提升运营效率,降低生产成本,并借助数据分析和人工智能(Artificial Intelligence, AI)精准把握市场的变化趋势,驱动产品和服务创新,从而提升企业的竞争力<sup>[2-3]</sup>。在全球科技革命和产业变革浪潮下,数字化转型已成为制造业高质量发展的核心驱动力<sup>[4]</sup>。在数字化转型中:“数字化”是手段,是路径;“转”是过程;“转型”是目标,是结果,是对服务模式、组织流程和产品服务的重构。2023年12月,工业和信息化部等八部门联合发布《关于加快传统制造业转型升级的指导意见》,强调推动企业实施数字化改造,加快新一代信息技术与制造全过程、全要素深度融合,为制造企业数字化转型提供了新的方向。

以江南造船集团有限责任公司(简称“江南造船”)为例,基于“数字化转型—效率跃升”传导机制,收集其数字化转型水平数据,定量分析数字化转型对企业生产效率的贡献,并探讨其作用机理,明晰通过数字化转型来提升企业生产效率的底层逻辑,为制造企业实现高质量发展提供理论支撑和实践指导。本文的主要贡献在于,以江南造船为例,通过定量测度数字化转型与企业绩效的关系,分析数字化转型对企业绩效的贡献,为船舶制造企业的数字化转型提供应用示范和可借鉴的经验,助力船舶制造企业实现数字化、绿色化和高端化发展。

## 1 文献综述

### 1.1 数字化转型相关研究

数字化转型是企业通过组合运用数字技术,改

变研发设计、生产制造和组织方式等经济活动各环节,从而实现价值创造的过程<sup>[5]</sup>。数字技术通过助力企业实现规模化生产、提升生产效率、降低成本、强化服务品质和增进与客户之间的沟通效率,有力提升企业的整体绩效<sup>[6]</sup>。具体而言,在企业设计产品、流程、组织和商业模式过程中利用数字技术,可提高其运营效率<sup>[7]</sup>。

数字化转型的驱动因素可分为外在驱动、内在驱动和核心驱动3类。

1) 外在驱动的关键是新技术的应用,如云计算<sup>[8]</sup>、大数据<sup>[9]</sup>、物联网<sup>[10]</sup>和人工智能<sup>[11]</sup>等,这些技术是提升数字化水平和推动行业创新的核心要素,其发展促进了数据的互联互通,加速了产业链和价值链与前沿技术的深度融合和突破性创新<sup>[12]</sup>。

2) 内在驱动源于企业内部的组织和管理变革<sup>[13]</sup>,这是实现数字化转型的关键保障,为优化结构,提升效率效益,企业须进行重大组织变革,利用数字技术连接生产管理全过程,实现业务、生产和财务全面优化<sup>[14]</sup>。

3) 核心驱动源于不断变化的用户需求<sup>[15]</sup>,消费者对个性化、便捷、高效体验的要求日益增长迫使企业通过数字化转型来满足需求,以提升竞争力<sup>[16]</sup>。

企业数字化转型旨在解决数字经济时代企业的生产效率和效能问题,长期被认为是企业组织实现更高水平绩效的必要战略<sup>[17]</sup>。数字化转型通过提升供应链集成运转效率<sup>[18]</sup>、产生规模经济效益<sup>[12]</sup>和推动组织变革<sup>[19]</sup>等方式提升企业绩效。然而,数字化转型对企业绩效的影响并非总是简单直接的线性关系。实证分析结果显示,数字化主要通过管理活动和销售活动2条路径影响企业的绩效,但这2条路径的影响存在相互抵消效应,可能导致数字化程度对企业绩效的总影响在统计上不显著<sup>[20]</sup>。此外,在数字化转型过程中,可能会产生较大的学习成本<sup>[21]</sup>和衍生管理成本<sup>[20]</sup>,这些成本会阻碍数字优势的发挥,严重削弱数字化转型对企业绩效的驱动效果。

### 1.2 船舶制造企业数字化转型

船舶制造企业作为典型的资本、技术和劳动密集型产业<sup>[22]</sup>,产业关联度高,带动性强<sup>[23]</sup>。船舶建造是一个涉及多工种、多工况和多专业的复杂系统工程,具有作业面广和交叉作业量大的特点。船舶产品不同于一般流水线制造的产品,一般流水线的产能决定了产品的生产效率,对于造船而言,配置各类生产要素的合理性决定生产效率<sup>[24]</sup>。

船舶行业的数字化转型,本质上是基于建造过

程的数据融合，结合计算机技术、网络通信技术和数字仿真技术等，对船舶产品的研发设计、生产制造、管理经营和战略决策进行全面的数字化描述<sup>[25]</sup>。面对当前船舶总装企业的业务模式已从单一产品批量快速建造转变为单产品、小批量和定制化的趋势，数字化转型也需满足客户要求快速变化以及产品研发制造与服务环节对管理敏捷性、适应性和自主性提出的新要求<sup>[26]</sup>。数字化转型路径是以数字化设计为源头，以数字化制造和智能化装备为手段，以信息化管控和网络化平台为支撑，运用精益化管理模式，深度融合企业原有的先进制造技术、信息技术、自动化技术、通信技术和人工智能技术<sup>[27]</sup>。从国家政策层面看，2021年工业和信息化部印发的《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》针对船舶工业提出，以网络化协同和服务化延伸为切入点，从设计协同化、制造智能化、管理精益化、融资在

线化和产品服务化等方面进行数字化转型<sup>[28]</sup>。

学术研究主要聚焦于数字化技术的具体应用：将船舶智能设计作为突破口，构建船舶数字化信息模型<sup>[29]</sup>；从供应链的视角识别采购管理问题，并提出数字化转型对策<sup>[30]</sup>；在制造环节，通过数学模型和遗传算法优化提升数字化车间仓库的出入库效率<sup>[31]</sup>；针对船舶管系生产，设计基于“先焊后弯”新工艺的数字化生产线，有效降低成本，缩短周期<sup>[32]</sup>。

## 2 江南造船数字化转型的过程及成效

江南造船作为中国近代工业的代表和全球船舶制造的领军者，其数字化转型历时十余年，分4个阶段推进数字化转型。呈现系统性、阶段性特点，见表1。

表1 江南造船数字化转型历程

Tab. 1 Jiangnan Shipbuilding Digital Transformation History

转型阶段	年份	转型历程
数字化基础建设阶段	2015 以前	基础设施建设和数据采集系统搭建
系统化集成与流程优化阶段	2015	引入法国达索三维体验平台
	2016	成立江南研究院
	2017	深入推进信息化重塑工程
	2018	应用数字化焊接质量管控系统
智能化技术应用阶段	2019	成立 5G 智能制造创新实验室和焊接制造实验室
	2020	大型液化气船上已全系列数字化
	2021	突破全船数字化试箱工艺，并实现试箱自检
	2022	实现机器建模和设计交付
	2023	实现从单船采购到品类采购的转变
生态化与协同创新阶段	2024	建立船舶+AI 联合实验室

1) 数字化基础建设阶段（2015年以前），率先将传统造船业务流程电子化，企业引入企业资源计划（Enterprise Resource Planning, ERP）、产品生命周期管理（Product Lifecycle Management, PLM）系统和三维建模工具，完成生产设备物联网改造，初步打通数据采集链路，但设计数据仍存在格式不统一和标准不一致等问题，导致数据整合难度较大，从研发设计到详细设计，从详细设计到深化设计，从深化设计到生产运作和管理，直至调试、试验和运维各环节，存在数据断点多和难以实现数据集成等问题，三维模型需转换为二维图纸供生产使用，数字化整体水平较低，效率也较低。

2) 系统集成与流程优化阶段（2015—2018年），引入达索三维体验平台构建船舶全生命周期单一数据源，整合设计、工艺和管理流程，成立江南研究院开发大数据生产管理系统，推动“壳舾涂一体化”和“分段精度制造”，实现生产进度可视化和物流

智能调度。

3) 智能化技术应用阶段（2019—2023年），建立5G智能实验室突破焊接机器人视觉识别技术，构建统一的数据中台支撑智能排产系统和预测性维护系统，融合AI与增强现实（Augmented Reality, AR）技术简化船舶运维故障诊断，实现远程维修指导，首创全船数字化试箱工艺替代物理试箱，基于历史数据将采购模式由“单船采购”升级至“品类采购”。

4) 生态化与协同创新阶段（2024年至今），向产业链开放焊接工艺数据包和供应链接口等核心资源，构建区域性工业大数据平台赋能产业链，联合高校成立“船舶+AI实验室”攻关智能技术，推动数据标准化和产教融合人才培养。

江南造船的数字化转型带来了显著的产业红利。生产总值每5 a实现翻番，企业生产总值由2015年的132.00亿元增加到2023年的304.00亿元，是转型前的

2.3倍。稳步推进产品的高端化转型，产品结构发生根本性变化，2015年产值132.00亿元，交付船舶19艘，2023年产值304.00亿元，交付船舶23艘，单船产值由6.94亿元增长到13.20亿元，产品的高端化转型成效明显。

### 3 数字化转型对企业绩效的影响

#### 3.1 研究对象选择

聚焦数字化转型水平与制造企业绩效的关系，选择江南造船为研究对象进行分析，其代表性体现在以下2个方面：

1) 行业示范性。江南造船是中国近代工业的发源地之一，亦是全球高端船舶制造领军企业之一，其承接的液化天然气船和超大型集装箱船等产品代表着行业最高技术水平。选择该企业作为研究对象，能深度剖析传统重工业巨头在“硬制造”场景下的转型逻辑，其经验对重资产、长周期制造领域的数字化转型研究具有普适参考价值。

2) 数字化转型历程完整。江南造船完整经历了数字化基础建设、系统集成、智能化应用和生态协同等4个典型阶段，覆盖从底层数据采集、中台系统构建到顶层生态协同的全链条实践。这种分阶段、全生命周期演进路径为研究数字化转型的渐进式发展规律提供了完整范本。

#### 3.2 数据来源

通过多种途径系统收集江南造船的相关数据，确保研究数据的全面性和可靠性满足需求。首先对包括企业副总经理、各部门负责人和生产车间主任在内的关键岗位人员进行半结构化访谈，围绕企业经营状况、数字化转型历程、技术应用和平台建设等内容进行深入交流，全面把握企业的转型实践。在此基础上，实地走访数字造船实验室和生产车间，现场观察数字化设备和智能焊接机器人的实际运行情况，直观把握相关技术的应用效果。此外，通过问卷调查的方式系统收集江南造船2011—2023年的工业总产值数据以及设计、制造、管理和供应链4个核心系统的应用深度比。该深度比测度综合专家评估与层次分析（Analytic Hierarchy Process, AHP）法，将每个系统分解为多个关键子功能模块，其中：设计系统应用深度比基于设计软件使用率、三维模型覆盖率和设计协同平台活跃度等指标进行评估；制造系统应用深度比基于智能制造设备覆盖率、生产数据自动采集率和制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）的应用广度等指标进行评估；管理系统应用深度比根据ERP、PLM和项目管理平台等系统的功能模块启用率、业务流程线上化比例和数据决策支持程度等指标进行综合评估；供应链系统应用深度比通过供应链协同平台接入率、

采购流程数字化比例和库存与物流数据实时性等指标衡量。由企业及学术界的专家小组对各子功能的应用成熟度进行回溯评分。最后，采用AHP法确定各子功能的相对权重，并通过加权平均计算得出各系统的年度应用深度比，从而将定性的转型程度转化为可量化的时间序列数据。

#### 3.3 模型构建

因变量为企业绩效 $y$ ，以江南造船年度工业总产值为观测值，衡量企业的生产规模和经济产出，单位为亿元。自变量（核心解释变量）为数字化水平测度，用企业的设计系统、制造系统、管理系统和供应链系统4个系统的应用深度来测量。

量化数字化转型水平是研究的难点。选择江南造船数字化转型的设计、制造、管理和供应链核心应用领域，采用四大核心系统的应用深度比量化测度江南造船的数字化转型水平，主要基于3个方面的考虑。

1) 理论依据。根据数据价值链理论<sup>[33]</sup>，数据价值创造遵循“资源化-资产化-资本化”的递进过程。设计系统将船舶性能参数转化为数字模型，实现数据资源化；制造系统通过工艺数据驱动智能设备完成数据产品化；管理系统利用经营数据支撑决策实现数据资产化；供应链系统借助生态数据优化资源配置实现数据资本化。这四大系统构成了制造企业数字化转型的核心链路。

2) 实践相关性。这四大系统是江南造船在数字化转型过程中明确投入建设并产生核心价值的关键系统，其应用深度直接反映企业在核心业务环节的数字化转型的成熟度。

3) 数据可得性和可操作性。“系统应用深度比”相比难以精确量化的“数据质量”和“数据资产价值”等指标，更易于通过访谈、问卷和内部资料获取相对可靠的评估结果。

运用Stata18.0和SPSS27软件对数据分析，采用主成分分析法提取关键的影响因素，通过回归分析验证关键影响因素的准确性，并量化其影响程度。

##### 3.3.1 主成分分析

主成分分析法是一种多元统计分析方法，通过正交变化在1组多变量数据中提取出几个不相关的主成分，广泛应用于数据的降维和压缩等领域中，既能减少数据冗余，又能保留原始信息的特征，同时能有效改善数据的共线性，进而提高预测模型的估算精度。

选取4个变量设计系统应用深度比 $x_1$ 、制造系统应用深度比 $x_2$ 、管理系统应用深度比 $x_3$ 和供应链系统应用深度比 $x_4$ 作为衡量数字化转型水平的指标，性质均为“+”，采用主成分分析法从四大系统中提取出主成分。

1) 抽样适合性 (Kaiser-Meyer-Olkin, KMO) 检验和Bartlett球形检验。在进行主成分分析之前, 通过KMO检验和Bartlett球形检验判断原有变量之间是否存在线性关系, 进而判断是否适合作因子分析。KMO的最小值为0, 最大值为1, 数值越大, 说明原有变量的相关性越强, 主成分分析结果越具有科学性。表2为KMO检验和Bartlett球形检验结果。从表2可知, KMO值为0.705 9, Bartlett球形检验达到1%水平的统计显著性, 说明变量之间存在共线性。

表2 KMO 检验和 Bartlett 球形检验结果

Tab. 2 Results of KMO Test and Bartlett's

Test of Sphericity		
项目		数值
KMO 值		0.705 9
Bartlett 球形检验	近似卡方	69.855
	自由度	6
	显著性	0

2) 确定主成分个数。按特征值大于1的标准提取, 可确定1个主成分, 主成分贡献率和累计贡献率均为0.922 3, 说明主成分能以较少的信息损失对数据进行充分概括。特征值和方差贡献率见表3。由表3可知, 仅保留第一个主成分即可满足要求, 原因在于该主成分能解释数据中大部分的方差, 而自第二个主成分起, 特征值都趋近于0, 说明其对数据的贡献程度较低。运用这种分析方式, 可在对数据进行降维处理过程中有效保留关键信息, 同时剔除噪声和冗余数据, 实现对数据的优化处理。

表3 特征值和方差贡献率

Tab. 3 Eigenvalues and Variance Contribution

成分	特征值	特征值之差	贡献率	累计贡献率
1	3.689 4	3.497 8	0.922 3	0.922 3
2	0.191 6	0.096 0	0.047 9	0.970 2
3	0.095 6	0.072 2	0.023 9	0.994 1
4	0.023 4	—	0.005 9	1.000 0

3) 主成分荷载矩阵。为确定各主成分的关键影响因素, 采用主因子载荷识别每种影响因素对每种主成分的影响程度。表4为主成分荷载矩阵。

表4 主成分荷载矩阵

Tab. 4 Principal Component Loading Matrix

主成分	$f_1$
$x_1$	0.491 8
$x_2$	0.493 8
$x_3$	0.512 0
$x_4$	0.502 2

由表4可知, 所有变量 ( $x_1 \sim x_4$ ) 在第一主成分  $f_1$  上的荷载值都处于较高水平, 且数值在 0.491 8~0.512 0。这些荷载值表明, 各变量与主成分  $f_1$  之间存在显著的正相关关系。同时, 由于这些荷载值彼此接近, 说明各变量对主成分  $f_1$  的贡献程度相对均衡, 并没有某个变量在其中占据主导地位。因此, 推断主成分  $f_1$  可能捕捉了这些变量共有的趋势或特征, 反映出他们为综合的变异信息, 而非单一变量的特定变异。

### 3.3.2 回归分析

在只考虑1个因变量  $y$  和1个自变量  $f_1$  的情况下, 假设  $y$  与  $f_1$  的关系基本上为线性关系, 可假定

$$y = \beta_0 + \beta_1 f_1 + \varepsilon \quad (1)$$

式中:  $y$  为企业绩效, 用工业总产值表示;  $\beta_0$  为回归常数;  $\beta_1$  为回归系数;  $f_1$  为核心解释变量, 即通过主成分分析得到的数字化转型水平;  $\varepsilon$  为随机误差, 代表一切不确定因素影响的总和, 通常假定  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

通过线性回归分析, 可得

$$y = 0.432 + 0.304 f_1 \quad (2)$$

1) 模型整体的有效性: 决定系数  $R^2=0.944$ , 模型能解释企业工业总产值94.4%的变异, 表明数字化转型水平是产值增长的核心驱动力。  $F=203.12$  ( $p<0$ ):  $F$  检验高度显著, 表明回归模型整体具有统计学意义。

2) 主成分  $f_1$  的影响: 系数为0.304, 表示主成分  $f_1$  每增加1个单位, 企业工业总产值平均增加0.304个单位。由于主成分是标准化后的综合指标, 该系数可理解为标准化效应, 表明数字化转型水平对产值的促进作用显著。  $t=14.25$  ( $p<0$ ): 主成分  $f_1$  的系数高度显著, 表明其对企业工业总产值的影响具有统计学意义。

3) 主成分  $f_1$  的实际含义: 主成分  $f_1$  是设计、制造、管理和供应链4个系统应用深度综合作用的结果, 且荷载值相近 (由表3可知, 4个变量在  $f_1$  上的荷载均在0.49~0.51)。

4) 干扰因素说明: 企业产出的波动可能受多种因素的影响, 包括宏观经济周期、原材料价格波动、重大政策调整和劳动力技能结构变化等。由于数据可得性和模型复杂度限制, 本文主要关注核心解释变量  $f_1$ 。虽然时间序列数据本身能在一定程度上吸收部分趋势性因素的影响, 但未能控制上述所有潜在干扰因素。

## 4 研究结论与启示

### 4.1 研究结论

从微观角度出发, 基于江南造船2011—2023年的数字化转型数据, 综合运用主成分分析与回归模型进行实证研究, 探讨数字化转型水平对制造业生产效率的影响, 主要结论如下:

1) 数字化转型对产值增长有显著正向影响。实证分析结果表明,主成分 $f_1$ 每提升1个标准化单位,企业工业总产值增长30.4%。该结果证明数字化转型水平已成为制造企业产值增长的核心驱动力。

2) 数字化转型的核心效能源于多系统协同均衡性。主成分载荷分析结果显示,设计、制造、管理和供应链4个系统对 $f_1$ 的贡献差异小于2%,表明这4个系统对数字化转型水平的综合贡献相对均衡,数字化转型水平依赖于各核心业务的数字化水平和深度融合。企业须以系统集成思维推进数字化转型,构建统一的数据基础和应用生态,而非聚焦单一的应用环节。

3) 数据应用存在基准价值和增长阈值。回归模型截距项 $\beta_0=0.432$  ( $p<0$ ),表明即使数字化转型处于平均水平( $f_1=0$ ),企业仍可通过传统要素(资本和劳动力)维持基础产值,但突破增长阈值和实现效率跃升需依赖数字化转型的深度应用。

## 4.2 理论贡献

在数字化转型背景下提出了一种数字化转型水平对企业绩效的影响测度方法,为定量分析数字化转型对生产效率的提升作用提供了新的路径。采用主成分分析法,从设计、制造、管理和供应链4个系统的应用深度中构建了数字化转型水平综合测度方法,并通过回归分析其对企业绩效的影响程度,有效解决了数字化转型研究中存在的数据获取难和指标衡量复杂等问题,丰富了数字化转型和企业产出研究体系,为制造企业在数字化转型中优化各系统投入提供了实践指导,同时为后续相关实证方法选择和模型构建提供了有益参考。

## 4.3 实践启示

### 4.3.1 数字化转型是推动传统制造业发展必经之路

江南造船的数字化转型实践有力印证了数字化转型不仅是企业适应新时代行业竞争的必要手段,更是推动企业高质量发展的核心引擎。江南造船通过推进数字化转型实践,实现了由传统制造模式到数字化和智能化制造模式的跨越式转变,其核心举措在于构建了覆盖全生命周期的单一数字模型。

在设计环节,通过对单一数字模型进行三维设计,实现计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)与计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)的深度集成,大幅提升船体、轮机和电气等专业的跨地域协同设计,减少设计冲突;广泛应用参数化设计,提升设计效率;通过三维设计和虚拟现实(Virtual Reality, VR)仿真,充分体验设计的感观,提前体验空间可达性、设备可操作性和可维护性,从源头上提升设计质量,并通过温度场、气体场、电磁场和声场仿真,使用户有更好的舒适感,真正体现用户至上的理念;通过设计协

同和用户提前体验,使所有问题在设计阶段得到解决,避免返修,节省成本。

在制造环节,实现智能感知、数据驱动和协同制造。采用5G+工业互联网技术实现设备互联,动态监控设备的状态,提前预警故障,减少非计划停机,提高计划的科学性;采用5G、自动引导运输车(Automated Guided Vehicle, AGV)和智能仓储系统实现物料精准配送,采用物联网设备实时监控物料的流动状态,减少信息滞后问题;采用带AI视觉识别的焊接机器人自动识别焊缝位置并精准操作,提高焊接效率;针对不同曲率、双曲面和非对称曲面等复杂几何形状板材的加工任务,采用三维数控弯板机,通过编程实现自动化加工,解决传统曲板加工存在的效率低和精度差的问题,单件加工效率提升超50%,同时满足现代船舶的流线型设计需求,提升船舶的性能。在复杂装配环节,通过人、焊接机器人、AGV和材料的协同,实现总段的三维激光测量、智能定位和位移控制,与液压顶推装置实现分段精准对接,通过数字孪生模拟,预判干涉风险,优化吊装顺序;采用数字化试箱工艺全面替代传统模式,使单船试箱工时节约46%以上,周期平均缩短35 d。

在管理环节,采用三维模型直接驱动设计、供应链、工艺和制造部门的数据无缝对接,推动企业内部设计、采购、工艺和制造等部门的协同,以及与外部供应链企业的协同,降低沟通成本,减小信息误差;采用基于全流程数据构建的智能决策平台,实现对运营状态的实时洞察和预测性分析,采用智能排产系统将总段搭载计划编制时间缩短60%,采用数字化项目管理平台使关键节点达成率提升20%以上,管理效率和项目可控性显著增强。

在供应链环节,依托数字化仓库和供应链协同云平台建设船舶供应链生态圈,并通过流程重塑、组织重构、能力重建和系统重置,推进供应链变革,实现从单船采购到品类采购,重构采购流程和组织架构,形成运作有序、响应及时和协同有力的主动型供应链,库存周转率提高42%,帐实一致率提升17%,托盘齐套准时率提升15%,大幅降低采购成本,采购周期缩短20%;与核心供应商建立长期合作关系,共享产能与交付计划,关键零部件准时交付率达98%;针对标准化部件推行自动引导运输车(Just in Time, JIT)供货,减少在库物料占用资金,仓储成本下降15%~20%;部署自动化立体仓库与AGV,物料分拣效率提升50%,仓储空间利用率提高40%;整合水路、铁路和公路运输资源,构建动态路线规划系统,大型分段运输时间缩短20%,物流成本下降12%;利用历史订单数据和市场趋势建模,钢材等大宗物料采购计划准确率提高25%。

江南造船是我国船舶行业的领军企业，也是数字化转型的标杆企业。该企业在推动传统船舶制造企业向科研创新和数字化制造企业转变过程中，在数字化协同设计、用户体验、智能感知、数据驱动、协同制造、全流程管理决策平台、数字化仓库和供应链协同等领域进行了富有成效的探索，为船舶制造企业的数字化转型作了非常好的应用示范。推广江南造船数字化转型过程中在理念、模式、技术、装备、产线、数字模型和数字底座等方面积累的技术、方法、数据和标准，对于我国的造船强国建设而言具有重要意义。

#### 4.3.2 打通数据断点实现数据共享是企业数字化转型的关键

打通从研发设计到详细设计，从详细设计到深化设计，从深化设计到生产运作和管理，直到调试、试验和运维过程中的数据断点，实现数据共享，是船舶制造企业成功实现数字化转型的关键。为解决该问题，江南造船通过数据标准体系、单一数字模型和数字底座实现了数据从无序到有序、从分散到整合的转变。

1) 建立数据的规范化定义和统一的数据标准。通过建立全业务链的“数据字典”，确保数据的定义、格式和质量统一；针对船舶制造企业的特点，定义覆盖三维模型、物料编码、工艺规程、生产制造和质量检测等全环节的数据标准；通过统一数据定义，使各环节的数据具有统一的格式和含义。为所有船舶零部件都制定明确且唯一的编码规则，确保从设计到采购再到生产的各个环节中，所有部门都能准确无误地理解零部件信息。通过数据标准体系统一数据定义、格式和接口，解决数据“能否共享”的问题，为数据的整合和共享奠定基础。

2) 建立单一数据源的单一数字模型。单一数字模型作为江南造船数字化转型的核心理念，涵盖从产品设计、工艺规划和生产制造到售后服务的整个过程，形成设计、制造和管理一体化数字模型，实现“一处修改，全局同步”。当调整设计模型时，会自动触发各相关设计专业的调整，工艺路线、物料清单和作业指导书同步更新，避免出现传统船舶制造中因图纸版本混乱导致的返工问题。通过单一数字模型解决数据“如何复用”的问题，为各部门的业务协同提供精准的数据支持。

3) 建立数据的系统化管理与价值释放的数字底座。数字底座作为统一的数据平台，能对企业内部分散在设计、制造、供应链和各管理系统及数据库中的数据资源进行整合和集中管理，形成一个全面、完整的企业数据视图，实现对企业数据资源的有效管理和利用，以及跨模型的数据互通。通过全生命周期数据图谱，解决数据“如何高效应用”的问题，

推动数据要素在多场景、多领域的协同应用，释放数据价值。

采用数据标准体系、单一数字模型和数字底座，完成从“规范建立”到“模型构建”再到“价值释放”的逻辑递进。

#### 4.3.3 实现数据共享的基础是建立企业数据模型描述企业数据

打通数据断点，实现数据共享，是企业数字化转型的关键，而实现数据共享的基础是建立企业数据模型。

企业数据模型是对企业及其经营活动涉及的所有业务概念和逻辑规则进行统一定义、命名和编码的框架。该模型以实体、属性及其关系为基础，通过概念数据模型、逻辑数据模型和物理数据模型，将抽象的业务需求转化为具体的数据结构设计，将物理世界中的物理对象、业务流程、经营活动、企业状态、企业产品（企业特征）和企业绩效转化为数据结构，是企业业务和管理底层逻辑的数据描述。构建企业数据模型能打破部门数据壁垒，驱动自动化决策，支持AI和预测分析等功能，是企业成功实现数字化转型的关键。

从系统视角看，企业视为一个不断动态演化的复杂控制系统，见图1。企业系统的核心输入是企业订单，驱动着企业一系列经营活动的发生。企业通过计划、调度和执行等经营活动，改变并影响企业的生产进度、库存水平和设备状态等企业状态。企业经营活动触发企业状态的变化规律，由企业特征决定。对于制造企业，企业特征由企业产品及产品的生产方式决定。不同企业的不同点主要在于产品及其生产方式不同。企业的产品及产品的生产方式由企业的产品结构和制造工艺（即产品数据）描述。企业经营的成本效益评价是根据产品数据进行的，因为产品数据能描述产品的结构和工艺，反映产品的物料和工时消耗，即产品数据能描述产品的标准成本，通过对企业生产过程产生的生产成本与标准成本进行对比分析，能对企业经营绩效作出客观评价。综上，企业数据模型由企业经营活动数据、企业状态数据、企业特征数据和企业绩效数据构成。

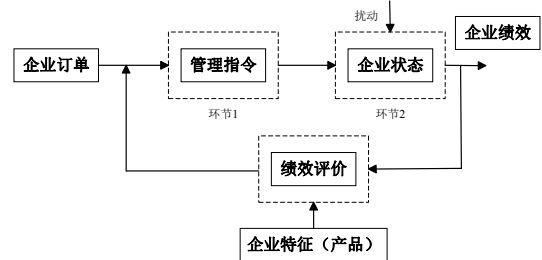


图1 系统角度企业状态变化示意图

Fig. 1 System Perspective Diagram Illustrating Changes in Corporate Status

江南造船在数字化转型中秉持单一数字模型核心理念,实现产品数据(企业特征)从概念设计、详细设计和生产制造到运营维护全过程的唯一描述、共享和无缝连接。在此基础上,将单一数据模型概念进一步拓展到企业的经营活动、状态和绩效数据的统一定义和描述中,并形成船舶行业的数据标准和数据模型,这有助于在船舶行业推广应用行业龙头企业在数字化转型过程中形成的理念、模式、技术、装备、产线、数据标准、数据模型和数字底座等,避免重复开发和各自为政,提高全行业的数字化水平,实现行业企业间的信息交流和数据共享,推动造船强国建设。

## 5 结论

本文虽揭示了数字化转型对企业绩效的影响,但仍存在一定的局限性,具体如下:

1) 研究样本聚焦于船舶制造龙头企业,虽然深入分析了复杂产品各系统中的数据应用特征,但结论的普适性须进一步验证。鉴于中小型制造企业受资源限制,其数字化转型路径可能具有不同的特征,未来应开展跨规模、跨行业的对比研究。

2) 研究主要关注数字化转型的静态贡献度,尚未充分揭示其与传统生产要素的动态交互效应。未来可构建动态面板模型,解构数字化要素与传统要素的协同演化路径,以更全面地理解转型过程中各要素之间的复杂关系和潜在影响。

## 参考文献:

- [1] 黄丽华,朱海林,刘伟华,等.企业数字化转型和管理:研究框架与展望[J].管理科学学报,2021,24(8):26-35.  
HUANG L H, ZHU H L, LIU W H, et al. The Firm's Digital Transformation and Management: Toward a Research Framework and Future Directions[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(8): 26-35.
- [2] 贺正楚,潘为华,潘红玉,等.制造企业数字化转型与创新效率:制造过程与商业模式的异质性分析[J].中国软科学,2023(3):162-177.  
HE Z C, PAN W H, PAN H Y, et al. Digital Transformation and Innovation Efficiency of Manufacturing Firms: Heterogeneity Analysis of Manufacturing Processes and Business Models[J]. China Soft Science, 2023(3): 162-177.
- [3] 钱晶晶,何筠.传统企业动态能力构建与数字化转型的机理研究[J].中国软科学,2021(6):135-143.  
QIAN J J, HE Y. Dynamic Capability Evolution and Digital Transformation of Traditional Enterprise[J]. China Soft Science, 2021(6): 135-143.
- [4] 徐晔,王志超.数据要素市场化建设与企业数字化转型——基于数据交易平台的准自然实验[J].软科学,2024,38(9):24-29.  
XU Y, WANG Z C. Data Elements Marketization and Enterprise Digital Transformation: A Quasi-natural Experiment Based on Data Trading Platform[J]. Soft Science, 2024, 38(9): 24-29.
- [5] VIAL G. Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda[J]. The Journal of Strategic Information Systems, 2019, 28(2): 118-144.
- [6] BUCHI G, CUGNO M, CASTAGNOLI R J S. Economies of Scale and Network Economies in Industry 4.0[J]. Symphony Emerging Issues in Management, 2018(2): 66-76.
- [7] TORTORELLA G L, VERGARA A M C, GARZA-REYES J A, et al. Organizational Learning Paths Based Upon Industry 4.0 Adoption: an Empirical Study with Brazilian Manufacturers[J]. International Journal of Production Economics, 2020, 219: 284-294.
- [8] BUYYA R, YEO C S, VENUGOPAL S, et al. Cloud Computing and Emerging IT Platforms: Vision, Hype and Reality for Delivering Computing as the 5th Utility[J]. Future Generation Computer Systems, 2009, 25(6): 599-616.
- [9] GHASEMAGHAEI M, CALIC G J J O B R. Assessing the Impact of Big Data on Firm Innovation Performance: Big Data is not Always Better Data[J]. Journal of Business Research, 2020, 108: 147-162.
- [10] ATZORI L, IERA A, MORABITO G J C N. The Internet of Things: a Survey[J]. 2010, 54(15): 2787-2805.
- [11] 邹蕾,张先锋.人工智能及其发展应用[J].信息安全,2012(2):11-13.  
ZOU L, ZHANG X F. Application and Development of the Artificial Intelligence[J]. Netinfo Security, 2012(2): 11-13.
- [12] 戚聿东,蔡呈伟.数字化企业的性质:经济学解释[J].财经问题研究,2019(5):121-129.  
QI Y D, CAI C W. The Nature of Digital Enterprises: An Economic Interpretation[J]. Research On Financial and Economic Issues, 2019(5): 121-129.
- [13] 卢艳秋,宋昶,王向阳,等.知识管理视角下企业间信任驱动企业数字化转型的路径研究——基于工业互联网平台用户企业的案例[J].科技进步与对策,2023,40(18):109-119.  
LU Y Q, SONG C, WANG X Y, et al. The Digital Transformation Path of Enterprises Driven by Inter-Firm Trust from the Perspective of Knowledge

- Management: a Case Study of User Enterprises Based on IIoT Platform[J]. *Science&Technology Progress and Policy*, 2023, 40(18): 109-119.
- [14] 陈畴镛, 许敬涵. 制造企业数字化转型能力评价体系及应用[J]. *科技管理研究*, 2020, 40(11): 46-51.  
CHEN Z Y, XU J H. Manufacturing Enterprise Digital Transformation Ability Evaluation System and Application[J]. *Science and Technology Management Research*, 2020, 40(11): 46-51.
- [15] 魏江, 刘嘉玲, 刘洋. 数字经济: 内涵、理论基础与重要研究议题[J]. *科技进步与对策*, 2021, 38(21): 1-7.  
WEI J, LIU J L, LIU Y. Digital Economy: Connotations, Theoretical Basis and Future Research[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2021, 38(21): 1-7.
- [16] 杨德明, 毕建琴. “互联网+”、企业家对外投资与公司估值[J]. *中国工业经济*, 2019(6): 136-153.  
YANG D M, BI J Q. "Internet Plus", Entrepreneurs' External Investment and Corporate Valuation[J]. *China Industrial Economics*, 2019(6): 136-153.
- [17] HENDERSON J C, VENKATRAMAN H. Strategic Alignment: Leveraging Information Technology for Transforming Organizations[J]. *IBM Systems Journal*, 1999, 38(2/3): 472-484.
- [18] 李琦, 刘力钢, 邵剑兵. 数字化转型、供应链集成与企业绩效——企业家精神的调节效应[J]. *经济管理*, 2021, 43(10): 5-23.  
LI Q, LIU L G, SHAO J B. The Effects of Digital Transformation and Supply Chain Integration on Firm Performance: The Moderating Role of Entrepreneurship [J]. *Business and Management Journal*, 2021, 43(10): 5-23.
- [19] ABOUZEEDAN A, KLOFSTEN M, HEDNER T. Internetization Management as a Facilitator for Managing Innovation in High-Technology Smaller Firms[J]. *Global Business Review*, 2013, 14(1): 121-136.
- [20] 戚聿东, 蔡呈伟. 数字化对制造业企业绩效的多重影响及其机理研究[J]. *学习与探索*, 2020(7): 108-119.  
QI Y D, CAI C W. Research on the Multiple Effects of Digitalization on the Performance of Manufacturing Enterprises and Their Mechanisms[J]. *Study & Exploration*, 2020(7): 108-119.
- [21] 余江, 孟庆时, 张越, 等. 数字创新: 创新研究新视角的探索及启示 [J]. *科学学研究*, 2017, 35(7): 1103-1111.  
YU J, MENG Q S, ZHANG Y, et al. Digital Innovation: Exploration and Enlightenment of the New Perspective of Innovation Research[J]. *Studies in Science of Science*, 2017, 35(7): 1103-1111.
- [22] 张洪强. 以精益管理助力船舶业智能制造转型探讨 [J]. *中国设备工程*, 2020(10): 20-22.  
ZHANG H Q. Exploration and Reflection on the Digital Transformation of Shipbuilding Enterprises[J]. *China Plant Engineering*, 2020(10): 20-22.
- [23] 李震邦. 数字孪生技术与智能船舶发展[J]. *船舶工程*, 2022, 44(增刊 1): 543-547.  
LI Z B. Digital Twin Technology and the Development of Intelligent Ships[J]. *Ship Engineering*, 2022, 44(Suppl. 1): 543-547.
- [24] 魏世海. 船舶企业数字化转型的探索与思考[J]. *中国水运*, 2023, 23(24): 4-6.  
WEI S H. Exploration and Reflection on the Digital Transformation of Shipbuilding Enterprises[J]. *China Water Transport*, 2023, 23(24): 4-6.
- [25] 刘微, 宋杨, 严平, 等. 船舶数字化建造发展现状与趋势[J]. *舰船科学技术*, 2022, 44(15): 173-176.  
LIU W, SONG Y, YAN P, et al. Development Status and Trend of Ship Digital Construction[J]. *Ship Science and Technology*, 2022, 44(15): 173-176.
- [26] 蔡文, 靖婧, 吴剑锋. 数字化转型对船舶总装企业质量管理发展影响简析[J]. *中国质量*, 2024(2): 39-43.  
CAI W, JING J, WU J F. A Brief Analysis of the Impact of Digital Transformation on the Quality Management Development of Ship Assembly Enterprises[J]. *China Quality*, 2024(2): 39-43.
- [27] 陆燕辉. 我国智能制造技术探索之路[J]. *船舶工程*, 2023, 45(6): 6-9.  
LU Y H. The Exploration Journey of Intelligent Manufacturing Technology in Our Country[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, 45(6): 6-9.
- [28] 林洪山. 智能造船要提防“大而全”[J]. *广东造船*, 2022, 41(4): 11-12.  
LIN H S. Intelligent Shipbuilding Should be Cautious of the "All-Inclusive" Approach[J]. *Guangdong Shipbuilding*, 2022, 41(4): 11-12.
- [29] 周永志. 船舶电气智能设计数字化信息模型研究[J]. *船舶物资与市场*, 2023, 31(4): 73-75.  
ZHOU Y Z. Study on the Digitize Information Model in Intelligent Marine Electric Design System[J]. *Marine Equipment Materials & Marketing*, 2023, 31(4): 73-75.

(下转第 151 页)