

数字化基础设施对我国海洋产业链韧性影响效应研究

苏萌, 时永涛

(中国海洋大学经济学院 青岛 266100)

摘要: 21世纪被誉为“海洋的世纪”，而海洋产业链面临的韧性挑战尤为突出。随着数字经济的迅猛发展，数字化基础设施的建设对提升海洋产业链韧性至关重要。基于2005—2020年中国投入产出数据，文章实证分析了“数字化硬件设施”“数字化软件服务”“数字化基础设施”对海洋产业链韧性的影响效应。研究结果表明，3种因素均显著促进了海洋产业链韧性的提升。进一步的分析结果表明，2011年以前，数字化基础设施和数字化软件服务对海洋产业链韧性的影响为负，2011年后转为正向，而数字化硬件设施在2005—2020年始终具有正向效应。基于这一发现，文章建议从以下3个方面着手提升海洋产业链的韧性：第一，引入先进设备，升级数字化硬件设施；第二，加大对海洋产业数字化软件服务的投入，提升海洋产业数字化软件服务的质量和水平；第三，推动海洋产业实现硬件与软件的高效结合，促进两者的协同发展，不断增强海洋产业链的韧性。

关键词: 数字化硬件设施；数字化软件服务；数字化基础设施；海洋产业链韧性

中图分类号: P74

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2026)01-0136-18

The Impact of Digital Infrastructure on the Resilience of China's Marine Industrial Chain

SU Meng, SHI Yongtao

(School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The 21st century is widely regarded as the “Century of the Ocean”, and the marine industrial chain faces particularly prominent resilience challenges. With the rapid development of the digital economy, the construction of digital infrastructure has become critical for enhancing marine industrial chain resilience. Using Chinese input-output data from 2005 to 2020, this study empirically examines the effects of digital hardware facilities, digital software services, and digital infrastructure on marine industrial chain resilience. The results show that all three factors significantly promote the improvement of marine industrial chain resilience. Further analysis indicates that before 2011, digital infrastructure and digital software services had negative effects on marine industrial chain resilience, but their effects turned positive after 2011, whereas digital hardware facilities maintained a consistently positive effect throughout the period from 2005 to 2020. Based on these findings, the paper recommends enhancing marine industrial chain resilience through three strategies: first, introducing

收稿日期: 2025-05-07; 修订日期: 2025-11-03

基金项目: 山东省社会科学规划研究项目“数字化驱动山东省海洋产业链韧性提升效应与机制研究”(24CJJJ38).

作者简介: 苏萌, 副教授, 博士, 研究方向为渔业经济

通信作者: 时永涛, 硕士, 研究方向为国际贸易学

advanced equipment and upgrading digital infrastructure; second, increasing investment in digital software services to improve their quality; and third, promoting the efficient integration and coordinated development of hardware and software to continuously strengthen marine industrial chain resilience.

Keywords: Digital hardware facilities, Digital software services, Digital infrastructure, Marine industrial chain resilience

0 引言

海洋对中华民族的生存发展至关重要,海洋问题是国家发展的战略问题,海洋战略决定着国家海洋事业的兴衰成败^[1]。2023年,中央经济工作会议强调,要加快发展海洋经济、建设海洋强国。近年来,国际贸易摩擦、新冠疫情以及地缘政治冲突等外部不确定性事件频发,使我国海洋产业面临供应链中断、物流受阻和市场需求波动等多重挑战,暴露出其产业链结构单一和恢复能力较弱等问题,进而制约了海洋经济高质量发展。同时,受制于海洋资源开发的高风险性与高技术门槛,海洋产业在应对外部冲击时呈现恢复周期长、抗压能力弱的特征。面对复杂多变的外部环境和高质量发展的内在要求,加快推动海洋产业数字化转型,提升其产业链的韧性与抗风险能力,已成为当前亟须解决的关键课题。在此背景下,数字经济作为引领新一轮科技革命与产业变革的关键力量,为提升海洋产业链的智能化、协同化与柔性化水平提供了新路径。因此,分析数字经济对海洋产业链韧性的影响显得尤为必要。

“韧性”(resilience)一词最早源于物理学和工程学,后被引入经济学领域^[2],用以描述经济体应对外部冲击的能力。经济学中关于韧性的研究主要聚焦于“经济韧性”^[3]和“城市韧性”^[4]。随着研究的不断深入,韧性概念逐步扩展至产业经济学领域,形成了“产业链韧性”这一新兴议题。学术界将产业链韧性定义为产业链在面对内、外部风险时,保持系统稳定、防止断裂、抵御冲击,甚至能够化危为安实现产业链升级的能力^[5]。在此基础上,部分学者开始将韧性视角引入海洋领域,将海洋产业链韧性定义为在可持续开发和资源保护的前提下,海洋产业链应对市场、环境或政策冲击时,具备抵御风

险、维持稳定、快速适应与恢复的能力^[6]。在全球产业变革的背景下,提升产业链韧性对国家战略制定和综合国力增强具有重要意义^[7]。这不仅是确保产业体系完整性和安全性的关键,也是实体经济稳固和新发展格局构建的基础^[8-9]。因此,学术界提出了完善国家关键技术攻关、建立动态评价机制和推动数字化转型等多项提升路径。产业链韧性的测算方法主要包括投入产出法^[10-11]和指标体系法^[12-13],前者通过投入产出比衡量产业链的抗冲击能力,后者则构建多维指标体系进行综合评价。

在《“十三五”国家信息化规划》的推动下,数字经济被视为驱动经济转型升级的重要力量^[14],其通过重塑价值体系和创新发展路径^[15],对制造业、服务业、农业及海洋产业等多个领域产生了深远影响。在制造业中,数字技术提升了效率与决策能力,为转型升级提供了新思路^[15-16];在服务业中,数字化显著增强了企业竞争力,推动了数字化转型^[17-19];在农业中,数字经济与农业经济深度融合,优化了决策机制与供应链体系,助力农业现代化与乡村振兴^[20-21];在海洋产业中,数字经济成为高质量发展的新动能,具有显著的空间溢出效应^[22]。数字经济通过新要素、新模式和新业态,为产业链韧性注入新动能^[23],显著增强了制造业^[10]、农业^[24]、畜牧业^[25]和粮食产业链^[26]的抗风险能力与灵活性,成为应对复杂多变外部环境的重要支撑。

尽管现有研究对数字经济与产业链韧性及其之间的关系已有较多探讨,但多数集中于制造业^[13]和农业^[24]等领域,鲜有将数字经济与海洋产业链韧性相结合的研究。目前,学术界关于海洋产业链韧性的研究多集中于海洋产业链韧性的测度方法研究^[27-28]、渔业产业链韧性研究^[28]及海洋渔业经济韧性研究^[29]。数字化基础设施作为数字经济的核心部分,本文在理论分析其对海洋产业链韧性影响的基础上,

结合海洋产业的特点,量化分析数字化硬件设施、数字化软件服务以及二者协同的数字化基础设施在不同时间段对海洋产业链韧性的具体影响效应,旨在为增强我国海洋产业链的稳定性与弹性提供理论支持和实践指导。本文的贡献包括:第一,利用投入产出表对海洋产业链韧性及海洋产业数字化硬件设施、数字化软件服务和数字化基础设施进行测算,丰富了相关研究的工具与方法;第二,将数字经济与海洋产业链韧性结合在同一研究框架中,即从海洋产业的角度分析数字经济对产业链韧性的影响,丰富了数字经济对产业链韧性影响的研究视角;第三,构建自变量与因变量交互项的计量模型,采用系统GMM方法(SYS-GMM),既控制了内生性与控制变量选择偏误,又能系统考察其对产业链韧性的独立与协同作用。

1 数字化基础设施对海洋产业链韧性影响的理论分析及研究假设

海洋产业因其特殊的自然环境和资源分布特点,在提升韧性时,数字化硬件设施与数字化软件服务的协同作用显得尤为重要^[30]。数字化硬件设施通过实时监测和数据采集,应对极端天气和洋流等不确定因素,同时依托自动化设备提升效率;数字化软件服务则负责数据分析与跨区域协同,以提升响应速度和决策能力。硬件侧重数据采集与环境监测,软件则聚焦数据分析和协作优化,二者协同作用,不仅提升了产业链的适应性与安全性,也为制定更精准的韧性提升策略提供了有力支撑。

1.1 数字化硬件设施对海洋产业链韧性影响的理论分析

基于资源基础观,数字化硬件设施作为具有稀缺性的战略资源,可为海洋产业链筑牢稳固的韧性基础。与此同时,引入系统韧性理论可进一步揭示其在复杂环境下对产业链结构稳定性与动态适应能力的支撑机制。数字化硬件设施通过构建基础信息网络、实现高频次环境感知以及提升生产自动化水平,为海洋产业链在面对外部冲击时提供了“吸收—响应—恢复”的系统能力。具体而言,基础设施的建设强化了产业链内部的信息连接与资源协调效率,提升了系统的结构稳健性;实时数据采集与

监控增强了系统对气象和水文等环境变化的敏感性与响应速度^[31],有助于维持海洋资源开发与装备制造等环节的连续性与精准性;而以自主式水下机器人和无人船舶等为代表的自动化设备,则显著提升了作业的灵活性与执行效率^[32],有效突破海洋自然条件的制约,增强了系统的运行弹性与重构能力。

综上所述,数字化硬件设施不仅是海洋产业数字化转型的物质基础,更通过强化信息通达性、感知能力与自动化水平,系统性地提升了海洋产业链对冲击的抵御能力、应变能力与恢复能力,成为韧性能力形成的重要支撑力量。

1.2 数字化软件服务对海洋产业链韧性影响的理论分析

基于信息系统理论与系统韧性视角,数字化软件服务通过赋能数据处理、供应链协同与应急响应机制,在提升海洋产业链韧性方面发挥关键作用。首先,大数据分析增强了系统的信息处理与预测能力,有助于在复杂多变的海洋环境中实现对资源分布、生态条件与市场需求的精准感知与科学决策,从而提升产业链的资源配置效率与环境适应性^[33]。其次,数字化软件支持的供应链协同系统打破了产业链上、下游的信息壁垒,优化了流程衔接与资源调配,强化了系统内部的联动性与运行效率,显著提升了产业链结构的稳定性与可持续性^[34]。此外,在突发事件频发的海洋环境中,数字化软件系统所具备的动态监测与智能预警能力,可在台风、赤潮或污染泄漏等突发情境中快速识别风险、调整资源配置与运输路径,构建起具有时效性与灵活性的应急响应机制^[35]。

综上所述,数字化软件服务作为软性基础设施的重要组成部分,不仅提升了海洋产业链的运行效率与协同能力,更在提升其对冲击的感知、响应与恢复能力方面提供了技术性支持,成为增强海洋产业链韧性的关键路径。

1.3 数字化硬件设施与数字化软件服务对海洋产业链韧性协同影响的理论分析

根据系统论和协同理论,数字化硬件设施与数字化软件服务的整合可在提升海洋产业链韧性方面形成“1+1 > 2”的协同效应。海洋产业链需应对

海洋环境中独特的风险与不确定性, 如强风暴、海洋污染和突发海况变化等外部冲击, 这使二者的协同效应在提升海洋产业链韧性方面表现尤为突出。二者协同构建了数据采集和响应管理的闭环机制, 使海洋产业在应对复杂多变的海洋环境和潜在风险时更加灵活和高效^[36]。数字化硬件设施通过海洋通信网络将实时采集的数据传输至产业链各个环节, 形成实时共享; 数字化软件服务则对这些数据进行智能化分析和预测, 实现了海洋产业链的高效协同和高度透明, 增强了其在复杂多变的海洋环境下的应对能力^[37]。此外, 数字化硬件设施保障了生产的稳定性, 数字化软件服务提高了管理效率, 二者协同优化了海洋产业链的生产效率, 提升了产业链运行效率, 最终增强了整个系统的韧性和抗压能力^[38]。通过数字化硬件和软件协同, 能够提升海洋产业资源开发的实时性、安全性与可持续性, 优化装备制造与服务产业的运行效率与应急响应能力。

综上所述, 数字化硬件设施与数字化软件服务通过协同作用, 实现了从智能监控到动态响应、从信息集成到透明度提升、从生产增强到运营效率提升, 进而推动了海洋产业链韧性的提升。该协同机制在应对海洋环境的复杂性与不确定性方面优势明显, 数字化硬件设施强化了产业链的基础抗风险能力, 而数字化软件服务则依托硬件支撑, 通过数据分析与决策优化进一步提升系统的应对能力。

基于以上分析, 本文构建了理论分析框架。图 1 从数字化硬件设施与数字化软件服务两个维度, 以及数字化硬件设施和数字化软件服务的协同作用, 分析了数字化基础设施提升海洋产业链韧性的作用路径, 因此本文提出如下研究假设。

H₁: 数字化硬件设施和数字化软件服务均对海洋产业链韧性提升具有正向促进作用。

H₂: 数字化基础设施对海洋产业链韧性提升具有正向促进作用。

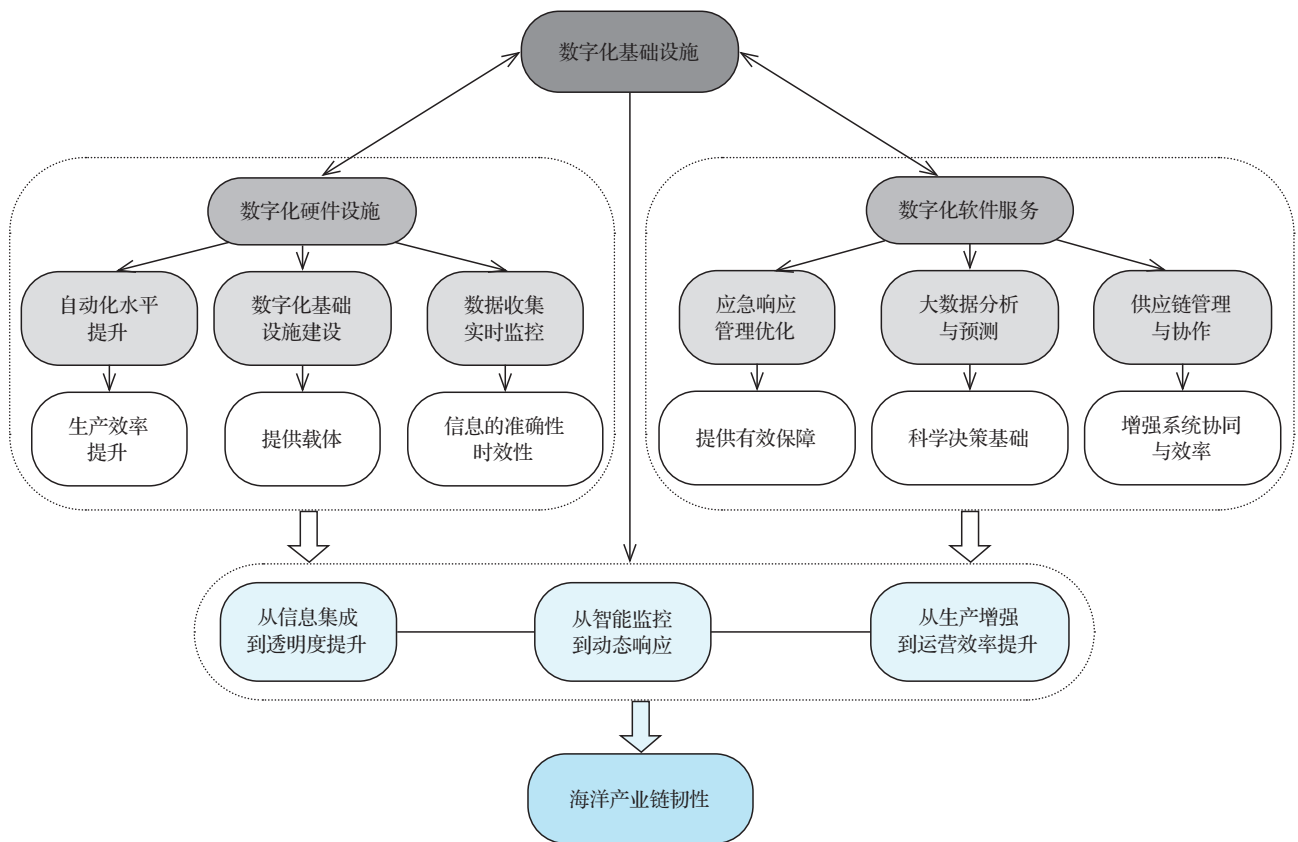


图 1 数字化基础设施对海洋产业链韧性影响分析

Fig.1 Analysis of the impact of digital infrastructure on marine industrial chain resilience

2.3 模型设定

根据前文的理论分析和假设,构造如下基准模型。

$$\text{MIR}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{DPI}_{it} + \beta_2 \text{DSI}_{it} + \beta_3 \text{DPI}_{it} \times \text{MIR}_{it} + \beta_4 \text{DSI}_{it} \times \text{MIR}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\text{MIR}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{DIGI}_{it} + \beta_2 \text{DIGI}_{it} \times \text{MIR}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(1)和式(2)中的 ε_{it} 为随机扰动项,其余变量的解释及测度如下。

2.3.1 被解释变量及其测度

式(1)和式(2)的被解释变量均为 MIR_{it} ,表示 t 年海洋产业 i 的产业链韧性。海洋产业链韧性指在面临外部冲击时,产业链维持正常运作并持续创造价值的能力。本文使用投入产出表从价值的角度对其进行测度,借鉴贺正楚等^[11]的做法,以各海洋产业增加值与相应总投入之比来衡量其韧性,采用该方法对海洋产业链韧性进行测度可以有效地表征冲击发生后产业链整体价值创造效率的恢复弹性。计算公式如下。

$$\text{MIR}_{it} = \frac{v_{it}}{x_{it}} \quad (3)$$

式(3)中 MIR_{it} 为海洋产业链韧性,其值越大说明海洋产业链韧性越强; v_{it} 为 t 时期海洋产业 i 在生产过程中的增加值; x_{it} 为 t 时期海洋产业 i 在生产过程中的价值总投入。

2.3.2 核心解释变量及其测度

式(1)和式(2)的核心解释变量分别为 DPI_{it} 、 DSI_{it} 和 DIGI_{it} ,三者分别表示第 t 年份海洋产业 i 的数字化硬件设施投入水平、数字化软件服务投入水平和数字化基础设施投入水平。参考许和连等^[41]、杨玲^[42]和张晴等^[43-44]的做法,本文采用完全依赖度对上述变量进行测度。该方法不仅体现了海洋产业部门单位最终产品对其他部门产品的总消耗量,也反映了数字经济投入在总投入中的相对重要性,从而实现对数字化水平的全面衡量。 DIGI_{it} 表示数字化基础设施投入水平,即数字化硬件设施与数字化软件服务的协同,该指标需对 DPI_{it} 和 DSI_{it} 使用熵值法计算得出。

计算 DPI_{it} 的原始数据来源于2005—2020年中国海洋投入产出表中“通信设备、计算机及其他电子设备制造业”的统计数据,计算 DSI_{it} 的原始数

据来源于上表中“信息传输、计算机服务和软件业”“零售和批发业”“文化体育娱乐业”的统计数据。由于“零售和批发业”“文化体育娱乐业”中只有部分活动属于数字经济,因此需要将中国海洋投入产出表(51个部门)中的这两个部门再次拆分,拆分成包含和不包含数字经济活动的部分,测度时只需要计算包含的部分^[43-44]。根据历年《中国电子商务报告》中全国网上零售额占比拆分“零售和批发业”;依据国家统计局发布的有线广播电视传输干线网络数据拆分“文化体育娱乐业”。在计算完全依赖度前,需要先构建完全消耗系数矩阵,海洋产业 i 部门对数字经济依托部门 d 的完全消耗系数的计算式(4)、完全消耗系数矩阵的计算式(5)如下。

$$\text{complete}_{di} = a_{di} + \sum_{m=1}^N a_{dm} a_{mi} + \sum_{l=1}^N \sum_{m=1}^N a_{dl} a_{lm} a_{mi} + \dots \quad (4)$$

式中:第一项表示海洋产业中 i 部门对数字经济部门 d 的直接消耗;第二项表示海洋产业中 i 部门通过 m 部门对 d 部门产生的第一轮间接消耗;第三项则指海洋产业中 i 部门通过 m 、 l 部门对 d 部门的第二轮间接消耗,依此类推。

$$\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} - \mathbf{I} \quad (5)$$

$$a_{ij} = x_{ij} / x_j \quad (6)$$

式(5)中的 \mathbf{B} 为完全消耗系数矩阵; \mathbf{I} 为单位矩阵; \mathbf{A} 为直接消耗系数矩阵。式(5)中的直接消耗系数矩阵 \mathbf{A} 须通过式(6)计算得出,式(6)中 a_{ij} 为直接消耗系数; x_{ij} 为 j 产业在生产过程中对 i 产业产品的价值消耗; x_j 为 j 产业生产过程中总的价值投入。

$$\text{DPI}_{it} = \sum_d (\text{complete}_{di} / \sum_{k=1}^N \text{complete}_{ki}) \quad (7)$$

式(7)为本文完全依赖度的计算方法,其中的 DPI_{it} 为 t 年份海洋产业 i 的数字化硬件设施投入水平; complete_{ki} 为海洋产业 i 部门对任一部门 k 的完全消耗系数; complete_{di} 与表示海洋产业 i 部门对任一数字经济依托部门 d 的完全消耗系数 DSI_{it} 的测度同理。

2.3.3 控制变量的选取及测度

海洋产业链韧性受多种因素共同影响,因此在实证模型中需要引入适当的控制变量。由于产业链韧性与经济增长类似,属于受多种因素交互影响的复杂系统,学者通常结合研究目标和数据可得性,选取可

能影响被解释变量的相关因素作为控制变量。现有文献中,关于数字经济对产业链韧性影响的研究多集中在省级层面的制造业领域,所采用的控制变量包括政府干预程度、消费水平、产业结构、城市化水平、要素禀赋、对外开放程度、环境规制和交通水平等。然而,在控制变量的选择标准上,学术界尚未形成统一规范。本文基于理论依据和数据可得性,借鉴 Frank^[45]、干春晖等^[46]、王桂军等^[47]和陈晓东等^[10]的做法,将核心解释变量与被解释变量的交叉相乘项作为控制变量引入模型,即在式(1)中引入 $DPI_{it} \times MIR_{it}$ 和 $DSI_{it} \times MIR_{it}$ 作为控制变量,在式(2)中引入 $DIGI_{it} \times MIR_{it}$ 作为控制变量。这种方法可以同时考察自变量对因变量的贡献和自变量与因变量的依存关系,这在研究方法上具有一定的先进性^[47]。

根据式(1)和式(2),分别对 DPI_{it} 、 DSI_{it} 和 $DIGI_{it}$ 求偏导数即可得到 DPI_{it} 、 DSI_{it} 和 $DIGI_{it}$ 对海洋产业链韧性的影响效应,值越大表示其对海洋产业链韧性的增强效果越好,计算公式如下。

$$\frac{\partial MIR_{it}}{\partial DPI_{it}} = \beta_1 + \beta_3 MIR_{it} \quad (8)$$

$$\frac{\partial MIR_{it}}{\partial DSI_{it}} = \beta_2 + \beta_4 MIR_{it} \quad (9)$$

$$\frac{\partial MIR_{it}}{\partial DIGI_{it}} = \beta_1 + \beta_2 MIR_{it} \quad (10)$$

2.4 海洋产业层面各变量的时间趋势分析

式(1)和式(2)的核心变量为海洋产业链韧性、数字化硬件设施、数字化软件服务和数字化基础设施投入水平,需要优先分析这4项关键变量的时间演变趋势(图2至图5)。

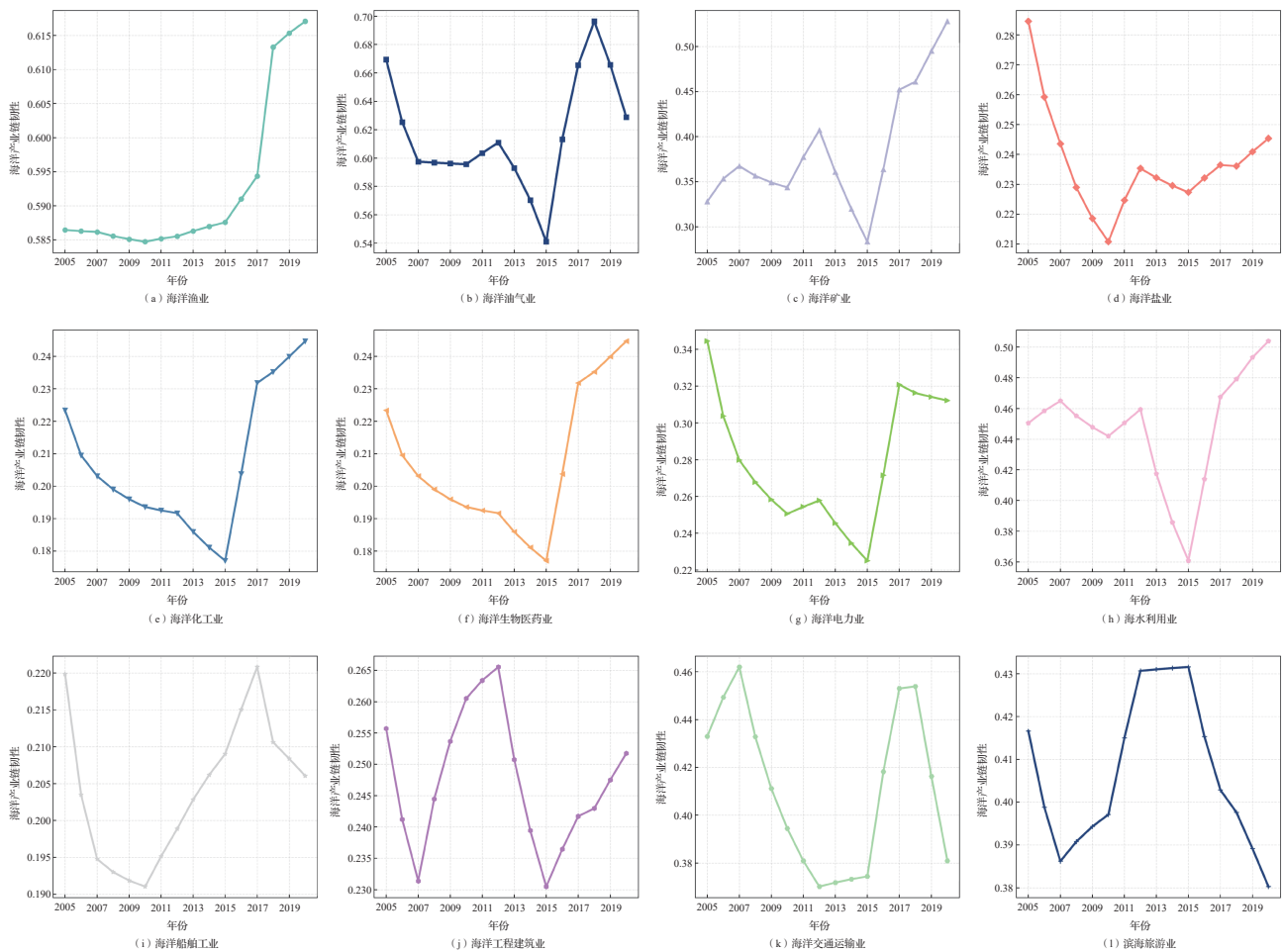


图2 海洋各产业韧性的时间趋势

Fig.2 Temporal trends in marine industrial chain resilience

图 2 显示, 2005—2020 年海洋产业总体韧性经历了“先降低后增长”的趋势。其中, 海洋第一产业(海洋渔业)韧性显著提升, 海洋第二产业(海

洋盐业、海洋化工业、海洋油气业等)呈现“先降后升”的变化, 海洋第三产业(滨海旅游业、海洋交通运输业)因受外界影响较大, 波动更加明显。

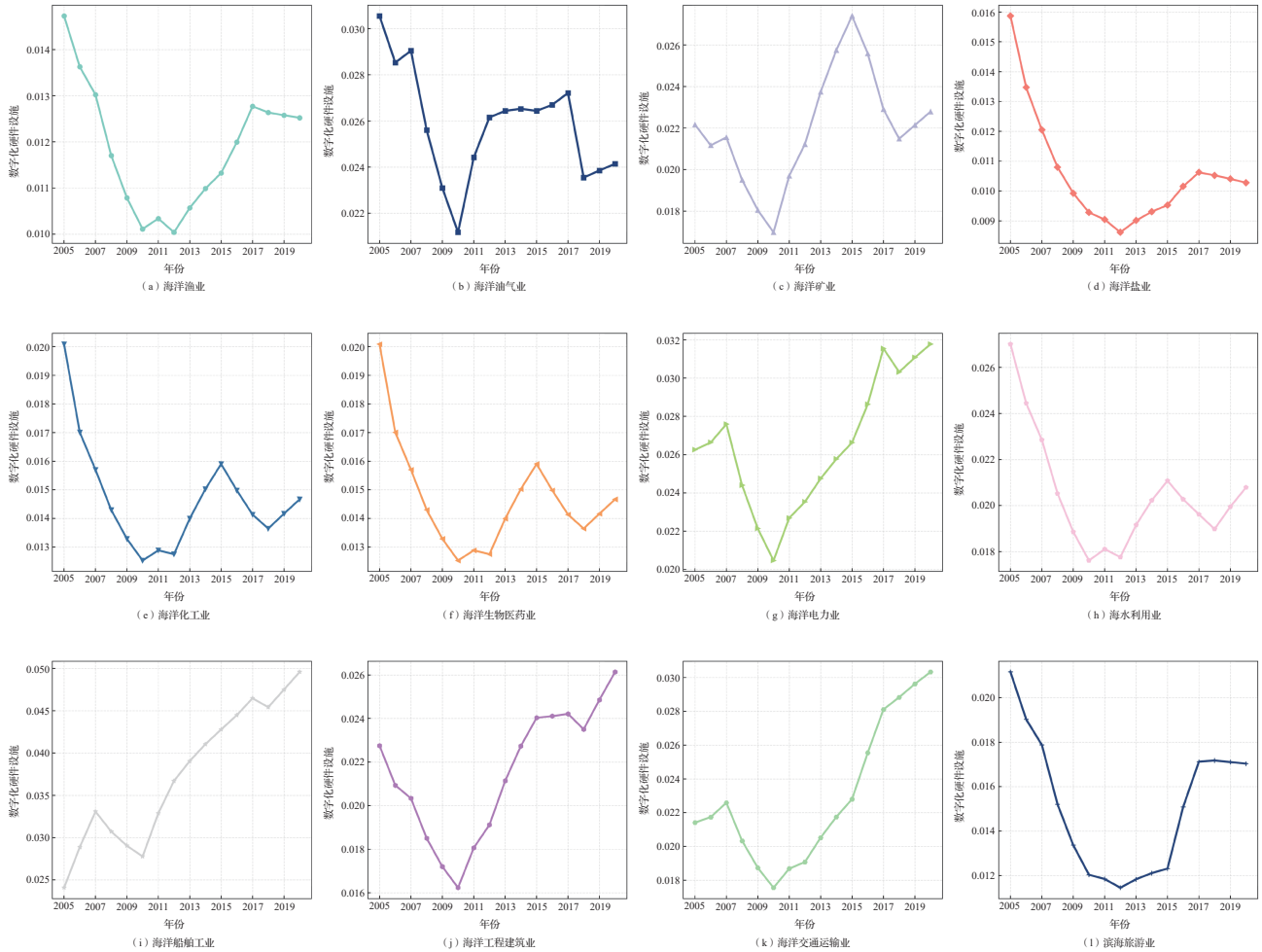


图 3 海洋各产业数字化硬件设施的时间趋势

Fig.3 Temporal trends in digital hardware facilities across marine industries

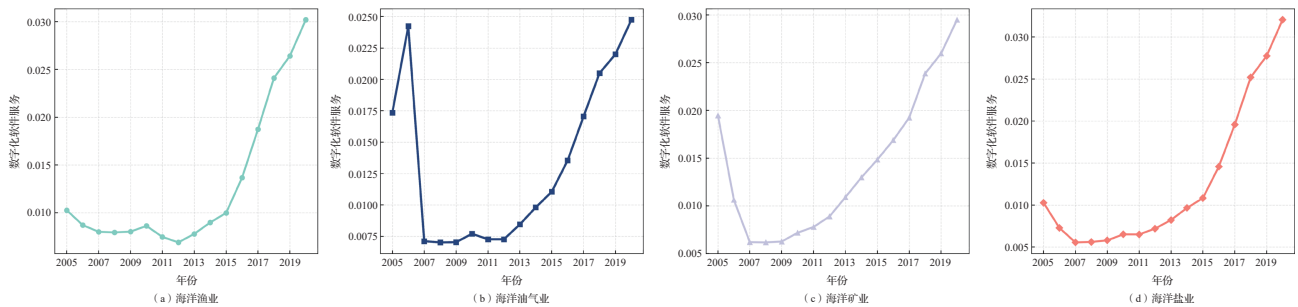


图 4 海洋各产业数字化软件服务的时间趋势

Fig.4 Temporal trends in digital software services across marine industries

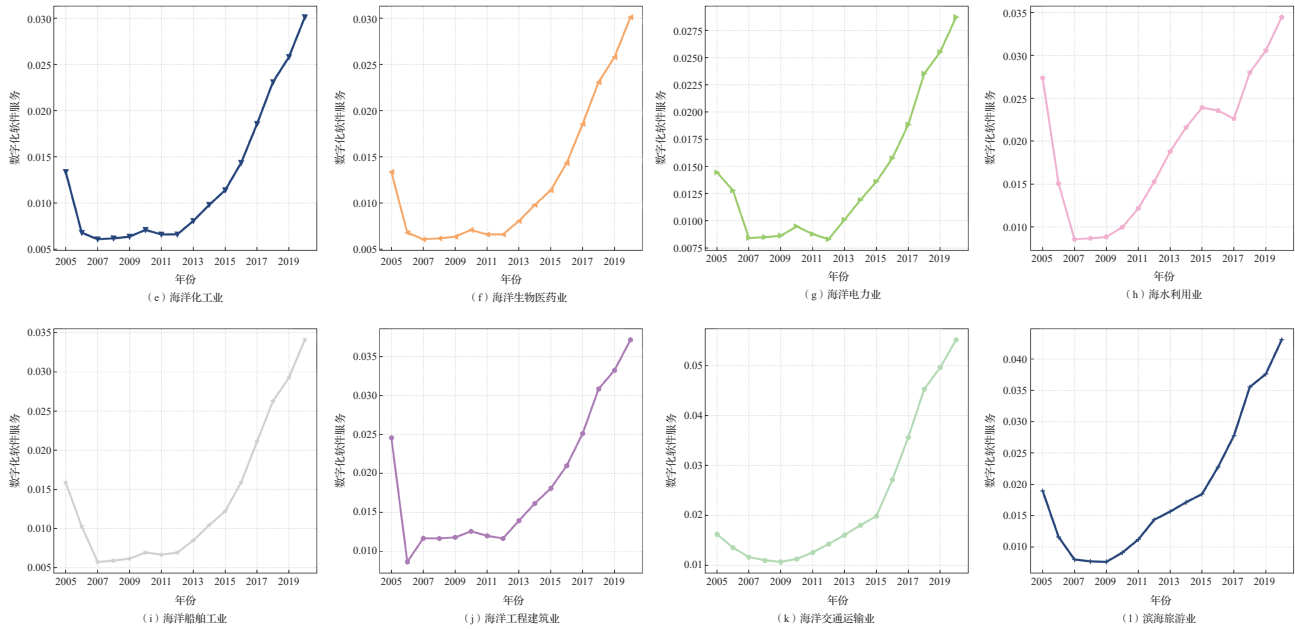


图4 海洋各产业数字化软件服务的时间趋势(续图)

Fig.4 Temporal trends in digital software services across marine industries

图3与图4分别展示了海洋产业数字化硬件设施与数字化软件服务投入的变化趋势。总体来看,2005—2020年两者均经历了“先降后升”的过程。2005年前后是数字化硬件设施的起步阶段,政府和

企业加大投资;2011年后,随着大数据和云计算等技术的发展,数字化硬件设施和数字化软件服务的需求同步快速增长。

图5表明,海洋产业数字化基础设施投入水平在

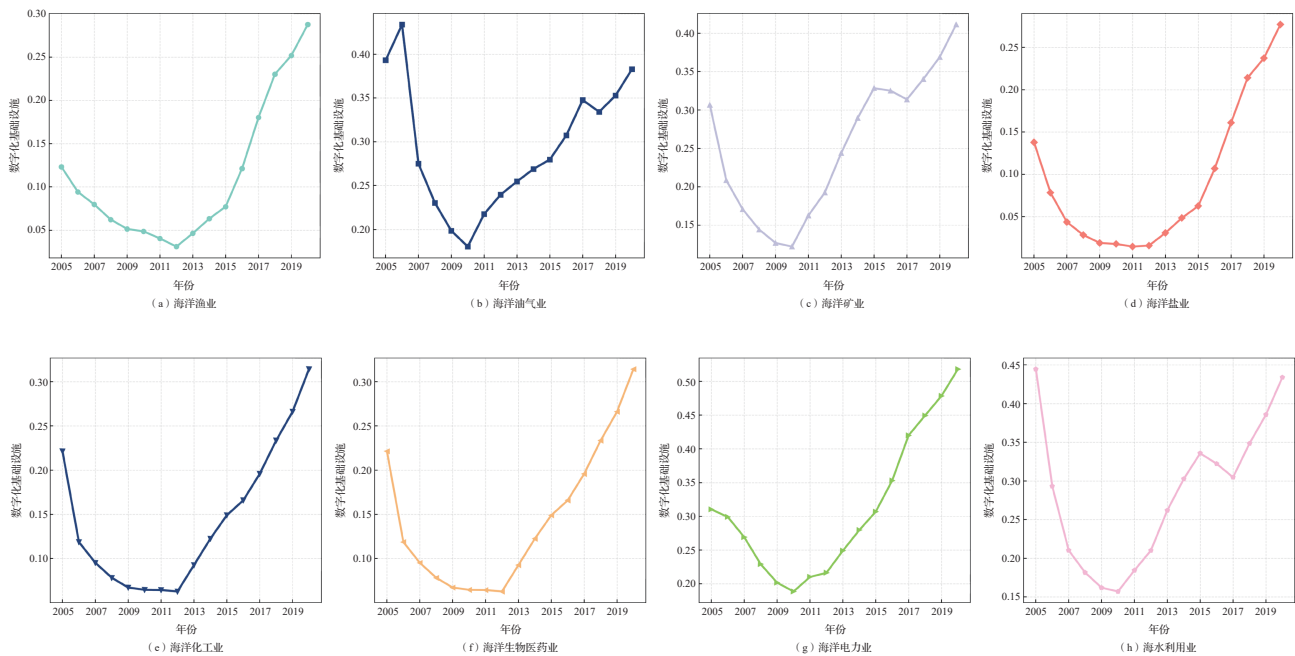


图5 海洋各产业数字化基础设施投入水平的趋势

Fig.5 Temporal trends in the level of digital infrastructure investment in marine industries

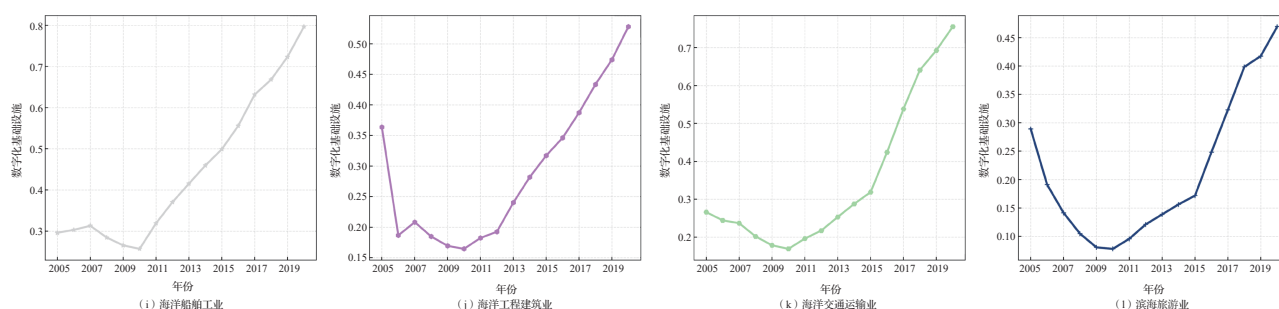


图 5 海洋各产业数字化基础设施投入水平的时间趋势 (续图)

Fig.5 Temporal trends in the level of digital infrastructure investment in marine industries

2005—2020 年经历了“初期下降、中后期快速上升”的趋势,反映了早期基础设施投资饱和后整合优化的阶段性特点,以及后期新兴技术发展和国际竞争加剧对数字化需求的推动作用。

3 实证结果与分析

3.1 各关键变量的描述性统计

表 3 展示了模型中 4 个主要变量的描述性统计。观察可知,这 4 个变量在样本期内差异较小,表现出相对平稳的特征。

表 3 2005—2020 年海洋产业层面主要变量的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics for key variables at the marine production level, 2005—2020

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
MIR	192	0.353	0.144	0.177	0.696
DPI	192	0.020	0.008	0.009	0.050
DSI	192	0.016	0.009	0.006	0.055
DIGI	192	0.245	0.152	0.015	0.797

3.2 样本回归结果及分析

由于式 (1) 与式 (2) 中模型右端包含被解释变量,因此存在内生性问题。为缓解内生性对估计结果的影响,参考陈晓东等^[10]的做法,本文采用系统广义矩估计 (SYS-GMM) 方法对模型进行回归^[46-47]。为避免工具变量数量过多导致的过度拟合问题,引入了 collapse 选项以压缩工具变量的维度,并采用

二步稳健估计结合稳健标准误修正异方差可能带来的影响。考虑到部分控制变量涉及核心解释变量与被解释变量的交叉项,参考 Baum 等的建议^[48],本文将所有解释变量均视为严格内生变量,并采用其滞后项构造工具变量进行估计。鉴于系统 GMM 方法 (SYS-GMM) 依赖一定的设定假设,且工具变量使用较多,因此需要对模型设定的合理性与工具变量的有效性进行检验。本文采用两类常规检验:① Arellano-Bond 自相关检验,验证误差项是否存在二阶序列相关;② Hansen 过度识别检验,检验工具变量与误差项是否相关。若两项检验结果均满足统计要求,则说明模型设定合理,估计结果具备较强的稳健性与可靠性。

为了进一步探究“数字化硬件设施”“数字化软件服务”“数字化基础设施”对海洋产业链韧性影响在时间上的异质性,本文将 2005—2020 年划分为 2005—2011 年和 2012—2020 年两个时间段分别进行实证研究,表 4 和表 5 分别为式 (1) 和式 (2) 在 3 个时间段的系统 GMM 方法 (SYS-GMM)、效应计算及检验结果。

由表 4 和表 5 可见,数字化硬件设施、数字化软件服务及数字化基础设施投入的单独系数均为负,但与海洋产业链韧性的交互项系数均为正。MIR 与 DIGI、DPI 或 DSI 交互时,其系数为正,表明随着产业链韧性的提升,数字化要素对其韧性的促进作用也将增强,且交互项系数与其对应单独变量系数之比的绝对值较大,进一步说明数字化要素对海洋产业链韧性的影响不仅取决于其自身水平,更依赖于产业链韧性水平的协同配合。当数字化硬件设施

和数字化软件服务与韧性机制深度融合时, 数字化基础设施能够显著增强产业应对外部冲击的能力。

表 4 数字化硬件设施和数字化软件服务对海洋产业链韧性影响的估计结果与效应测算

Table 4 Estimated results and effect measures of the impact of digital hardware facilities and software services on marine industrial chain resilience

统计量	(1) 2005— 2020 年	(2) 2005— 2011 年	(3) 2012— 2020 年
DPI (β_1)	-6.102** (3.030)	-4.727* (2.609)	-4.574** (1.988)
DSI (β_2)	-2.299* (1.265)	-4.137** (2.077)	-4.281* (2.581)
MIR × DPI (β_3)	20.965*** (7.952)	14.435** (7.339)	17.604*** (6.855)
MIR × DSI (β_4)	7.727** (3.300)	6.252* (3.761)	13.663** (5.606)
观测值	192	84	108
$\overline{\text{MIR}}$	0.353	0.350	0.356
DPI 的效应 ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_3 \overline{\text{MIR}}$)	1.299	0.325	1.693
DSI 的效应 ($\hat{\beta}_2 + \hat{\beta}_4 \overline{\text{MIR}}$)	0.429	-1.949	0.583
AR (1)	0.027	0.053	0.071
AR (2)	0.960	0.556	0.631
Hansen	0.228	0.746	0.423

注: 括号内为聚合稳健标准误, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, 下表同。

由表 4 的第 (1) 列可以看出, DPI 的效应 (1.299) 和 DSI 的效应 (0.429) 均为正, 这表明 2005—2020 年总的来说无论是数字化硬件设施还是数字化软件服务对海洋产业链韧性的提升均具有促进作用, 验证了 H_1 。进一步观察第 (2) 列和第 (3) 列可知, 2005—2011 年及 2012—2020 年 DPI 的效应

均为正 (0.325, 1.693), 而 DSI 的效应则有着由负 (-1.949) 转正 (0.583) 的趋势, 说明数字化硬件设施在两个时间段内对海洋产业链韧性的影响均为正, 而数字化软件服务对海洋产业链韧性起到了先抑制后促进的作用。

数字化硬件设施的影响始终为正, 是由于其直接增强了海洋产业的基础抗风险能力, 无论是在早期还是在后期都对海洋产业链发展具有积极作用。数字化软件服务在 2005—2011 年因软件技术尚未成熟与操作复杂性增加导致效应为负; 2012 年后, 随着软件技术的成熟与行业的适应, 数字化软件服务逐渐带来了管理效率和决策能力的提升, 进而对海洋产业链的韧性产生了正面影响。此阶段, 硬件与软件形成协同效应, 进一步促进海洋产业链的稳健发展。

表 5 数字化基础设施对海洋产业链韧性影响的估计结果与效应测算

Table 5 Estimated results and effect measures of the impact of digital infrastructure on marine industrial chain resilience

统计量	(1) 2005— 2020 年	(2) 2005— 2011 年	(3) 2012— 2020 年
DIGI (β_1)	-0.517* (0.289)	-0.176* (0.098)	-0.537** (0.225)
MIR × DIGI (β_2)	1.673*** (0.559)	0.278* (0.169)	1.599*** (0.514)
观测值	192	84	108
$\overline{\text{MIR}}$	0.353	0.350	0.356
DIGI 的效应 ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \overline{\text{MIR}}$)	0.074	-0.079	0.033
AR (1)	0.028	0.085	0.085
AR (2)	0.825	0.118	0.933
Hansen	0.105	0.701	0.269

从表 5 第 (1) 列可以看出, DIGI 的效应为正 (0.074), 表示数字化基础设施对海洋产业链韧性具有促进作用, 验证了 H_2 。进一步由第 (2) 列和第 (3) 列

列可知, 2005—2011 年 DIGI 的效应为负 (-0.079), 而 2012—2020 年 DIGI 的效应为正 (0.033), 表明数字化基础设施对海洋产业链韧性的影响在时间上存在一定的异质性, 前期数字化基础设施抑制了海洋产业链韧性的发展, 而后期则促进了海洋产业链韧性的提升。

这种变化的原因在于, 2005—2011 年数字化基础设施尚处于起步阶段, 海洋产业的数字化转型不充分, 带来了适应性不足与管理成本上升, 尤其是软件服务的成熟增加了运营风险; 而自 2012 年起, 随着技术进步与系统完善, 硬件与软件的协同作用逐步显现, 数字化转型深入推进, 显著提升了产业链的效率与韧性。

由表 4 和表 5 可知, 两个模型的 AR(1) 均小于 0.1, AR(2) 均大于 0.1, 并且均通过了 Hansen 检验, 表明回归结果是可靠的、稳健的。

4 稳健性检验

尽管前述两个模型均采用系统 GMM 回归, 并通过了 AR 检验和 Hansen 检验, 但为进一步确保结果的稳健性, 本文对两个模型进行了稳健性检验。

4.1 数字化硬件设施和数字化软件服务对海洋产业链韧性影响的稳健性检验

4.1.1 增加控制变量法

为进一步验证数字化基础设施对海洋产业链韧性的影响, 在式 (1) 的基础上引入对外开放水平 (OPEN) 和资本形成总额 (GCF) 作为新增控制变量。OPEN 反映了海洋产业在全球市场的参与程度, 可通过贸易与技术交流增强其韧性; GCF 则衡量固定资产投资与存货变动, 直接影响产业的物质支撑与扩张能力。OPEN 和 GCF 的测度均来自中国海洋投入产出模型, 具体测度方法如下。

$$OPEN_{it} = \text{海洋产业 } i \text{ 的进口额} + \text{海洋产业 } i \text{ 的出口额} \quad (11)$$

$$GCF_{it} = \text{海洋产业 } i \text{ 的固定资本形成总额} + \text{海洋产业 } i \text{ 的存货增加额} \quad (12)$$

加入新控制变量后的回归公式如下。

$$MIR_{it} = \beta_0 + \beta_1 DPI_{it} + \beta_2 DSI_{it} + \beta_3 DPI_{it} \times MIR_{it} + \beta_4 DSI_{it} \times MIR_{it} + \beta_5 OPEN_{it} + \beta_6 GCF_{it} + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

表 6 展示了式 (13) 的 SYS-GMM 回归结果, 与

表 4 对比可见, 各时期各解释变量除参数大小和显著性有一定的差别外, 其系数符号完全一致, 且均通过了 AR 检验和 Hansen 检验, 使用了稳健标准误进行处理。观察效应计算结果可发现, 2005—2020 年 DPI 的效应和 DSI 的效应均为正, 且 DPI 的效应在两个时间段都为正, 但 DSI 的效应在前一段为负, 后一段为正, 同表 4 回归结果一致, 这证明了 H₁ 的成立和上文式 (1) 回归结果的稳健与可靠。

表 6 数字化硬件设施和数字化软件服务对海洋产业链韧性影响的估计结果与效应测算

Table 6 Estimated results and effect measures of the impact of digital hardware facilities and software services on marine industrial chain resilience

统计量	(1) 2005—2020 年	(2) 2005—2011 年	(3) 2012—2020 年
DPI (β_1)	-4.702* (2.838)	-3.419*** (1.193)	-5.315*** (1.861)
DSI (β_2)	-1.948*** (0.757)	-4.159** (2.093)	-2.983* (1.726)
MIR × DPI (β_3)	17.620*** (6.282)	9.776* (5.088)	22.720*** (4.685)
MIR × DSI (β_4)	6.522*** (1.980)	6.867* (3.986)	9.986** (3.950)
OPEN (β_5)	0.324 (0.330)	1.155 (0.346)	0.433 (0.363)
GCF (β_6)	0.050 (0.307)	0.157 (0.213)	0.012 (0.279)
观测值	192	84	108
\overline{MIR}	0.353	0.350	0.356
DPI 的效应 ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_3 \overline{MIR}$)	1.518	0.003	2.773
DSI 的效应 ($\hat{\beta}_2 + \hat{\beta}_4 \overline{MIR}$)	0.354	-1.756	0.572
AR (1)	0.073	0.096	0.093
AR (2)	0.424	0.189	0.546
Hansen	0.163	0.972	0.958

4.1.2 替换解释变量测度法

为进一步检验结果的稳健性，本文在式（13）的基础上更换了两个核心解释变量——数字化软件服务与数字化硬件设施的测度方法，重新进行回归。借助不同的测度方法，可验证其对海洋产业链韧性影响的结论是否一致。参考陈晓东等^[10]的研究， DPI_{it} 和 DSI_{it} 分别采用对应的完全消耗系数进行测度，这种方法可以用来衡量不同产业部门之间的相互依赖关系，重视各部门之间的间接技术经济联系，计算公式如下。

$$DPI_{it} = \sum_d complete_{di} \quad (14)$$

式（14）中的 $complete_{di}$ 与上文一致表示海洋产业*i*部门对任一数字经济依托部门*d*的完全消耗系数，数字经济依托部门也与上文一致， DSI_{it} 的测度同理。

表7为替换DPI和DSI测度方式后的系统GMM回归结果，与表4和表6对比可见，各时期各解释变量除参数大小和显著性有一定的差别外，其系数符号完全一致，且均通过了AR检验和Hansen检验，使用了稳健标准误进行处理。与表4和表6中所计算出的数字化硬件设施和数字化软件服务的效应结果进行对比发现，各时间段内二者的效应除了参数大小不同外，符号完全一致，证明了 H_1 的成立，说明上述对式（1）的回归结果是稳健的。稳健性检验结果显示，尽管测度方式发生变化，前文得出的结论依然成立。

表7 数字化硬件设施和数字化软件服务对海洋产业链韧性影响的估计结果与效应测算

Table 7 Estimated results and effect measures of the impact of digital hardware facilities and software services on marine industrial chain resilience

统计量	(1) 2005— 2020 年	(2) 2005— 2011 年	(3) 2012— 2020 年
DPI (β_1)	-4.355*** (1.438)	-2.015*** (0.653)	-5.822*** (1.666)
DSI (β_2)	-2.450** (1.125)	-2.229** (0.927)	-2.861*** (0.859)
MIR × DPI (β_3)	17.167*** (5.676)	7.789*** (2.928)	20.033*** (9.807)

续表 7

统计量	(1) 2005— 2020 年	(2) 2005— 2011 年	(3) 2012— 2020 年
MIR × DSI (β_4)	7.399** (3.189)	6.144* (3.728)	8.171*** (2.015)
OPEN (β_5)	-0.065 (0.402)	2.276 (0.465)	-2.264 (1.977)
GCF (β_6)	0.399 (0.590)	-0.112 (0.130)	0.191 (1.160)
观测值	192	84	108
\overline{MIR}	0.353	0.350	0.356
DPI 的效应 ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_3 \overline{MIR}$)	1.705	0.711	1.310
DSI 的效应 ($\hat{\beta}_2 + \hat{\beta}_4 \overline{MIR}$)	0.162	-0.079	0.048
AR (1)	0.048	0.088	0.091
AR (2)	0.251	0.216	0.245
Hansen	0.555	0.990	0.739

4.2 数字化基础设施对海洋产业链韧性影响的稳健性检验

4.2.1 增加控制变量法

同样在式（2）中引入对外开放水平（OPEN）和资本形成总额（GCF）作为新的控制变量进行稳健性检验，二者的测度方法均同上文一致。

加入新控制变量后的回归公式如下。

$$MIR_{it} = \beta_0 + \beta_1 DIGI_{it} + \beta_2 DIGI_{it} \times MIR_{it} + \beta_3 OPEN_{it} + \beta_4 GCF_{it} + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

表8为式（15）的系统GMM回归结果及效应计算结果，与表5对比可以发现，各时期各解释变量除参数大小和显著性有一定的差别外，其系数符号高度一致，且均通过了AR检验和Hansen检验。与表5中数字化基础设施效应进行对比发现，各列效应除参数大小不同外，参数符号高度一致，这一结果证明了 H_2 的成立。稳健性检验结果表明，上文中式（2）的基准回归结果是稳健的。

表 8 数字化基础设施对海洋产业链韧性影响的估计结果
与效应测算

Table 8 Estimated results and effect measures of the impact of digital infrastructure on marine industrial chain resilience

统计量	(1) 2005— 2020 年	(2) 2005— 2011 年	(3) 2012— 2020 年
DIGI (β_1)	-0.869*** (0.215)	-0.391*** (0.118)	-0.690*** (0.226)
MIR × DIGI (β_2)	2.599*** (0.616)	0.521*** (0.190)	2.042*** (0.564)
OPEN (β_3)	-0.824 (1.838)	1.802 (0.469)	0.414 (0.767)
GCF (β_4)	1.056 (0.847)	-0.293 (0.656)	0.101 (0.471)
观测值	192	84	108
$\overline{\text{MIR}}$	0.353	0.350	0.356
DIGI 的效应 ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \overline{\text{MIR}}$)	0.048	-0.209	0.037
AR (1)	0.039	0.096	0.023
AR (2)	0.193	0.111	0.261
Hansen	0.614	0.437	0.161

4.2.2 更换回归估计方法

为再次确保模型估计结果的稳健性, 采用差分 GMM 对式 (2) 进行回归检验。

表 9 为式 (2) 的差分 GMM 回归结果, 与表 5 和表 8 对比发现, 各时期各解释变量除参数大小和显著性有一定的差别外, 其系数符号完全相同, 且均通过了 AR 检验和 Hansen 检验。再次与表 5 和表 8 中的效应计算结果进行对比发现, 各列的效应参数符号均与上述两表一致, 再次证明了 H_2 的成立。以上结果再次证明了式 (2) 的基准回归结果和效应计算结果是稳健的。

表 9 数字化基础设施对海洋产业链韧性影响的估计结果
与效应测算

Table 9 Estimated results and effect measures of the impact of digital infrastructure on marine industrial chain resilience

统计量	(1) 2005— 2020 年	(2) 2005— 2011 年	(3) 2012— 2020 年
DIGI (β_1)	-0.062* (0.036)	-0.434* (0.254)	-0.166* (0.100)

续表 9

统计量	(1) 2005— 2020 年	(2) 2005— 2011 年	(3) 2012— 2020 年
MIR × DIGI (β_2)	0.370*** (0.124)	0.735* (0.425)	0.818** (0.401)
观测值	192	84	108
$\overline{\text{MIR}}$	0.353	0.350	0.356
DIGI 的效应 ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \overline{\text{MIR}}$)	0.069	-0.177	0.125
AR (1)	0.037	0.097	0.036
AR (2)	0.103	0.359	0.153
Hansen	0.485	0.780	0.490

5 结论与政策建议

5.1 研究结论

近年来, 随着我国海洋产业在自然条件、资源禀赋和全球贸易环境变化中面临日益复杂的外部冲击, 增强海洋产业链的韧性已成为推动其高质量发展的关键路径。不同于陆地产业, 海洋产业具有空间分布分散、资源依赖性强、外部不确定性高、应急响应频率高等典型特征, 因此, 数字化手段在信息共享、远程监测与应急调度中的作用尤为突出。本文基于 2005—2020 年中国海洋投入产出表数据, 实证考察了数字化硬件设施、数字化软件服务和数字化基础设施对海洋产业链韧性的影响, 研究结论如下。

(1) 数字化硬件设施始终对海洋产业链韧性发挥显著正向作用, 尤其在深海作业、海洋运输等物理条件严苛、风险频发的环节中, 数字化装备和信息设施有效地增强了产业链的结构稳定性与连续性。

(2) 数字化软件服务在经历前期适配与融合阶段后, 其作用逐步显现, 2011 年后对产业链韧性的影响由负转正。尤其是在海洋服务业与海洋装备制造中, 数据协同、智能调度等软件系统显著提升了作业灵活性与恢复效率。

(3) 数字化基础设施的总体效应呈现“由弱转强”的发展趋势, 其作为承载信息流、控制流与价值流的中介平台, 正逐步成为连接“资源端—生产端—服务端”的关键纽带, 对提升全链条韧性具有

日益突出的支撑作用。

5.2 政策建议

基于上述结论,建议在当前财政资源紧张与海洋经济承压的背景下,聚焦“低成本、可落地、高效率”的策略路径,精准发力于以下4个方面。

(1) 聚焦关键环节,建设数字化硬件基础设施,提升底层抗风险能力。相较全面铺开,应优先保障海洋运输、港口作业、资源开发等风险暴露度高、系统节点性强的环节设备升级。通过“边建设、边运营”的机制引导企业参与,降低财政直接支出压力。尤其是在台风多发区或远海作业区,应加快部署智能航运与深海感知设备。

(2) 推进轻资产的软件服务系统应用,实现“以软补硬”。相较于高投入的硬件建设,软件服务具备成本低、部署快、扩展性强的优势。建议优先推动行业级数据共享平台、智能调度系统与风险预警模型的开发应用,并通过开源系统或政企共建方式降低中小企业应用门槛,实现海洋产业的“低成本数字化转型”。

(3) 推动软硬件融合向集成化、模块化发展,降低系统冗余与建设成本。鼓励龙头企业打造通用型一体化平台,实现采集、分析、指令发布的闭环

控制,避免重复投资与“信息孤岛”现象。通过构建产业链协同机制,提高系统的弹性与运行效率。

(4) 构建“数字化—绿色化”双向驱动路径,增强发展弹性与外部协同能力。鉴于海洋产业链中绿色治理与生态保护责任日益加重,建议将数字化手段嵌入海洋污染监测、渔业资源养护等生态治理场景,推动数据驱动下的“精细化治理”,提升产业的韧性而非仅追求硬性扩张。

5.3 研究局限与展望

尽管本文探讨了数字化基础设施对我国海洋产业链韧性的影响,但仍存在一定的局限:一是受限于海洋产业层面数据的可得性,尚无法开展机制层面的深入检验,未来可在数据完善后从多维角度拓展机制分析;二是由于相关数据较为有限,本文采用交互项作为控制变量,并运用系统GMM方法(SYS-GMM)进行实证分析。随着数据日益丰富,未来研究可引入更多元的控制变量,并采用双向固定效应模型进一步验证结果。伴随数字经济统计体系的不断完善,后续研究也可在变量选择与机制识别方面进一步深化,对数字化基础设施如何增强海洋产业链韧性提供更系统的解释。

参考文献 (References):

- [1] 贾宇. 关于海洋强国战略的思考[J]. 太平洋学报, 2018, 26(1): 1-8.
JIA Yu. On China's maritime power strategy[J]. Pacific Journal, 2018, 26(1): 1-8.
- [2] REGGIANI A, DE GRAAFF T, NIJKAMP P. Resilience: an evolutionary approach to spatial economic systems[J]. Networks and Spatial Economics, 2002, 2(2): 211-229.
- [3] 魏丽莉, 张晶. 中国共产党领导下所有制变革推进经济韧性提升[J]. 上海经济研究, 2021(5): 5-18.
WEI Lili, ZHANG Jing. The ownership reform promotes economic resilience under the leadership of the Communist Party of China[J]. Shanghai Journal of Economics, 2021(5): 5-18.
- [4] 赵瑞东, 方创琳, 刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1717-1731.
ZHAO Ruidong, FANG Chuanglin, LIU Haimeng. Progress and prospect of urban resilience research[J]. Progress in Geography, 2020, 39(10): 1717-1731.
- [5] 陈晓东, 刘洋, 周柯. 数字经济提升我国产业链韧性的路径研究[J]. 经济体制改革, 2022(1): 95-102.
CHEN Xiaodong, LIU Yang, ZHOU Ke. Research on the path of digital economy to improve China's industrial chain resilience[J]. Reform of Economic System, 2022(1): 95-102.
- [6] 叶芳, 孙晓东. 中国海洋产业链韧性水平测度与时空演变研究[J]. 浙江海洋大学学报(人文科学版), 2025, 42(1): 14-24.
YE Fang, SUN Xiaodong. Resilience measurement and spatiotemporal evolution of China's marine industry chain[J]. Journal of Zhejiang Ocean University(Humanities Sciences), 2025, 42(1): 14-24.
- [7] 石建勋, 卢丹宁. 着力提升产业链供应链韧性和安全水平研究[J]. 财经问题研究, 2023(2): 3-13.

- SHI Jianxun, LU Danning. The study on making China's industrial and supply chains more resilient and secure[J]. *Research On Financial and Economic Issues*, 2023(2): 3-13.
- [8] 张学俊, 尹训飞, 马甜. 着力提升供应链弹性与产业链韧性[J]. *中国经济评论*, 2021(2): 46-49.
ZHANG Xuejun, YIN Xunfei, MA Tian. Investing in improving supply chain elasticity and industry chain resilience[J]. *China Economic Review*, 2021(2): 46-49.
- [9] 盛朝迅. 新发展格局下推动产业链供应链安全稳定发展的思路与策略[J]. *改革*, 2021(2): 1-13.
SHENG Chaoxun. Thoughts and strategies for promoting the safe and stable development of industrial chain and supply chain under the new development pattern[J]. *Reform*, 2021(2): 1-13.
- [10] 陈晓东, 杨晓霞. 数字经济可以实现产业链的最优强度吗?: 基于 1987—2017 年中国投入产出表面板数据 [J]. *南京社会科学*, 2021(2): 17-26.
CHEN Xiaodong, YANG Xiaoxia. Can the digital economy achieve the optimal strength of the industrial chain?: based on 1987—2017 panel data from China's input-output tables[J]. *Nanjing Journal of Social Sciences*, 2021(2): 17-26.
- [11] 贺正楚, 李玉洁, 吴艳. 产业协同集聚、技术创新与制造业产业链韧性[J]. *科学学研究*, 2024, 42(3): 515-527.
HE Zhengchu, LI Yujie, WU Yan. Industrial collaborative agglomeration, technological innovation and manufacturing industrial chain resilience[J]. *Studies in Science of Science*, 2024, 42(3): 515-527.
- [12] 刘伟. 数字经济对制造业产业链韧性的影响研究[J]. *技术经济与管理研究*, 2023(8): 45-50.
LIU Wei. Research on the impact of digital economy on the resilience of manufacturing industry chain[J]. *Journal of Technical Economics & Management*, 2023(8): 45-50.
- [13] 余东华, 黄念. 数字化转型能够提升产业链韧性吗?[J]. *经济与管理研究*, 2024, 45(8): 81-102.
YU Donghua, HUANG Nian. Can digital transformation enhance industrial chain resilience?[J]. *Research on Economics and Management*, 2024, 45(8): 81-102.
- [14] LEI Hongbo, TANG Caihong, LONG Yunfei. Study on the impact of digital economy on industrial collaborative agglomeration: evidence from manufacturing and productive service industries[J]. *PLoS One*, 2024, 19(8): 0308361.
- [15] 焦勇. 数字经济赋能制造业转型: 从价值重塑到价值创造[J]. *经济学家*, 2020(6): 87-94.
JIAO Yong. Digital economy empowers manufacturing transformation: from value remodeling to value creation[J]. *Economist*, 2020(6): 87-94.
- [16] RAHIMI I, GANDOMI H A, FONG J S, et al. Big data analytics in supply chain management: theory and applications[C] // *Big Data in Supply Chain Forecasting*. CRC Press, 2020: 45-78.
- [17] GIZBERT J. Nice embracing digital technology[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2013, 95(4): 301-302.
- [18] 李帅娜. 数字技术赋能服务业生产率: 理论机制与经验证据[J]. *经济与管理研究*, 2021, 42(10): 51-67.
LI Shuaina. Digital technology empowers productivity of services industry: theoretical mechanisms and empirical evidence[J]. *Research on Economics and Management*, 2021, 42(10): 51-67.
- [19] 曹小勇, 李思儒. 数字经济推动服务业转型的机遇、挑战与路径研究: 基于国内国际双循环新发展格局视角[J]. *河北经贸大学学报*, 2021, 42(5): 101-109.
CAO Xiaoyong, LI Siru. Research on opportunities, challenges and paths of digital economy promoting service industry transformation: based on the dual circulation perspective[J]. *Journal of Hebei University of Economics and Business*, 2021, 42(5): 101-109.
- [20] 温涛, 陈一明. 数字经济与农业农村经济融合发展: 实践模式、现实障碍与突破路径[J]. *农业经济问题*, 2020(7): 118-129.
WEN Tao, CHEN Yiming. Research on the digital economy and Agriculture and Rural Economy integration: practice pattern, realistic obstacles and breakthrough paths[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2020(7): 118-129.
- [21] KLERKX L, JAKKU E, LABARTHE P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda[J]. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 2019, 90-91: 100315.
- [22] 管红波, 李盼盼. 数字经济促进海洋经济高质量发展空间效应研究: 来自中国 11 个沿海省市的证据[J]. *价格理论与实践*, 2022(8): 173-177.
GUAN Hongbo, LI Panpan. Research on the direct and spatial effect of digital economy on the high-quality development of Marine economy: evidence from 11 coastal provinces in China[J]. *Price: Theory & Practice*, 2022(8): 173-177.

- [23] HAZEN T B, BOONE A C, EZELL D J, et al. Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: an introduction to the problem and suggestions for research and applications[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 154: 72-80.
- [24] 张园, 金雅晴, 陈玉萍. 数字经济、资源配置与农业产业韧性[J]. *中国农业资源与区划*, 2025, 46(7): 122-139.
ZHANG Yuan, JIN Yaqing, CHEN Yuping. The impact of the digital economy on the resilience of the agricultural industry from a resource allocation perspective[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2025, 46(7): 122-139.
- [25] 谭学想, 刘学文, 马梦雪, 等. 数字金融对畜牧业产业链韧性的影响机制研究[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2024(16): 1-8.
TAN Xuexiang, LIU Xuewen, MA Mengxue, et al. Study on the influence mechanism of digital finance on the resilience of animal husbandry industry chain[J]. *Heilongjiang Animal Science And veterinary Medicine*, 2024(16): 1-8.
- [26] 孙远太, 王剑菊. 数字赋能粮食产业链韧性提升的生成机制与推进路径[J]. *中州学刊*, 2024(8): 46-54.
SUN Yuantai, WANG Jianju. The generation mechanism and promotion path of digital empowerment forenhancing the resilience of the grain industry chain[J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2024(8): 46-54.
- [27] 王泽宇, 唐云清, 韩增林, 等. 中国沿海省份海洋船舶产业链韧性测度及其影响因素[J]. *经济地理*, 2022, 42(7): 117-125.
WANG Zeyu, TANG Yunqing, HAN Zenglin, et al. Resilience measurement and influencing factors of the Marine ship industry chain in China's coastal areas[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(7): 117-125.
- [28] 高源, 周宇轩. 新质生产力赋能海洋渔业产业链韧性: 理论分析与实证检验[J/OL]. *海洋通报*, [2025-03-22]. <https://link.cnki.net/urlid/12.1076.p.20250613.1214.002>.
GAO Yuan, ZHOU Yuxuan. Enhancing the resilience of marine fisheries industrial chains through New Quality[J/OL]. *Marine Science Bulletin*, [2025-03-22]. <https://link.cnki.net/urlid/12.1076.p.20250613.1214.002>.
- [29] 韩增林, 朱文超, 李博. 中国海洋渔业经济韧性与效率协同演化研究[J]. *地理研究*, 2022, 41(2): 406-419.
HAN Zenglin, ZHU Wenchao, LI Bo. Synergistic analysis of economic resilience and efficiency of marine fishery in China[J]. *Geographical Research*, 2022, 41(2): 406-419.
- [30] 邵业, 宁凌, 欧春尧, 等. 我国海洋产业数字化水平测度与时空演化分析[J]. *海洋开发与管理*, 2024, 41(1): 3-14.
SHAO Ye, NING Ling, OU Chunyao, et al. Analysis of digital level measurement and spatial and temporal evolution of China's marine industry[J]. *Ocean Development and Management*, 2024, 41(1): 3-14.
- [31] AMIRIZARANDI M, DARA R A, DUNCAN E, et al. Big data privacy in smart farming: a review[J]. *Sustainability*, 2022, 14(15): 9120.
- [32] BIANCO D, BUENO A, GODINHO FILHO M, et al. The role of Industry 4.0 in developing resilience for manufacturing companies during COVID-19[J]. *International Journal of Production Economics*, 2023, 256: 108728.
- [33] WANG Junliang, XU Chuqiao, ZHANG Jie, et al. Big data analytics for intelligent manufacturing systems: a review [J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 2022, 62: 738-752.
- [34] YANG Miying, FU Mingtao, ZHANG Zihan. The adoption of digital technologies in supply chains: drivers, process and impact[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2021, 169: 120795.
- [35] IVANOV D, DOLGUI A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of industry 4.0[J]. *Production Planning & Control*, 2020, 32(9): 1-14.
- [36] WANG Juying, LU Yan, LI Zhigang. Research on the integrated development of china's marine industry empowered by the digital economy: architecture design and implementation pathways[J]. *Water*, 2024, 16(17): 2381-2381.
- [37] WAMBA S F, DUBEY R, GUNASEKARAN A, et al. The performance effects of big data analytics and supply chain ambidexterity: the moderating effect of environmental dynamism [J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 222: 107498.
- [38] LEE Jay, KAO Hung-An, YANG Shanhu. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment[J]. *Procedia CIRP*, 2014, 16: 3-8.
- [39] 陈晓东, 杨晓霞. 数字化转型是否提升了产业链自主可控能力?[J]. *经济管理*, 2022, 44(8): 23-39.
CHEN Xiaodong, YANG Xiaoxia. Does the digital transformation improve the independent and controllable ability of industrial chain?[J]. *Business and Management Journal*, 2022, 44(8): 23-39.
- [40] 王莉莉, 肖雯雯. 基于投入产出模型的中国海洋产业关联及海陆产业联动发展分析[J]. *经济地理*, 2016, 36(1): 113-119.

- WANG Lili, XIAO Wenwen. Industry linkage of marine industry and marine-land industry linkage development: based on input-output model[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(1): 113-119.
- [41] 许和连, 成丽红, 孙天阳. 制造业投入服务化对企业出口国内增加值的提升效应: 基于中国制造业微观企业的经验研究 [J]. *中国工业经济*, 2017(10): 62-80.
- XU Helian, CHENG Lihong, SUN Tianyang. The effect of the input servitization of manufacturing on upgrading export domestic value added of enterprises: empirical evidence from Chinese micro-enterprise[J]. *China Industrial Economics*, 2017(10): 62-80.
- [42] 杨玲. 生产性服务进口贸易促进制造业服务化效应研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2015, 32(5): 37-53.
- YANG Ling. Imported producer services affects manufacturing servitization[J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2015, 32(5): 37-53.
- [43] 张晴, 于津平. 制造业数字化与企业出口产品质量: 基于中国制造业企业的经验研究[J]. *国际商务 (对外经济贸易大学学报)*, 2023(5): 21-39.
- ZHANG Qing, YU Jinping. Manufacturing digitalization and quality of export products: empirical research based on Chinese manufacturing enterprises[J]. *International Business*, 2023(5): 21-39.
- [44] 张晴, 于津平. 投入数字化与全球价值链高端攀升: 来自中国制造业企业的微观证据[J]. *经济评论*, 2020(6): 72-89.
- ZHANG Qing, YU Jinping. Input digitization and climbing global value chain: micro evidence from Chinese manufacturing enterprises[J]. *Economic Review*, 2020(6): 72-89.
- [45] FRANK M W. Income inequality and economic growth in the US: a panel cointegration approach[R]. Sam Houston State University Working Paper Series, No. 05-03, 2005.
- [46] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. *经济研究*, 2011, 46(5): 4-16.
- GAN Chunhui, ZHENG Ruogu, YU Dianfan. An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in China[J]. *Economic Research Journal*, 2011, 46(5): 4-16.
- [47] 王桂军, 张辉, 金田林. 中国经济质量发展的推动力: 结构调整还是技术进步[J]. *经济学家*, 2020(6): 59-67.
- WANG Guijun, ZHANG Hui, JIN Tianlin. The driving force of the development of China's economic quality: industrial restructuring or technological progress[J]. *Economist*, 2020(6): 59-67.
- [48] BAUM C, SCHAFFER M, STILLMAN S. Instrumental variables and GMM: estimation and testing[J]. *Stata J*, 2003, 3(1): 1-31.