# 数实融合与海洋产业链韧性：影响效应与作用机制

于倩倩，燕雨行

（中国海洋大学经济学院　青岛　266100）

**摘要：**以数实融合赋能海洋产业链韧性提升，是推动海洋经济高质量发展与筑牢蓝色安全屏障的重要路径。文章基于 2011—2022 年我国沿海省（自治区、直辖市）的面板数据，采用熵值法构建适配海洋场景的产业链韧性综合评价体系，运用双向固定效应模型、中介效应模型与调节效应模型，实证检验数实融合对海洋产业链韧性的影响效应与作用机制。研究发现：（1）数实融合对海洋产业链韧性具有显著正向驱动作用，该结论经稳健性检验与内生性处理后依然可靠。（2）机制分析结果表明，数实融合可通过海洋产业高级化与海洋科技创新两条路径赋能海洋产业链韧性，其中海洋产业高级化的传导作用更强；海洋高端人才能够正向放大数实融合的韧性提升效应。（3）异质性分析结果显示，数实融合的赋能效应在人力资本水平较低的地区更为显著。2016 年海洋经济发展规划实施后，政策红利进一步强化了这一正向影响。

**关键词：**数实融合；海洋产业链韧性；海洋产业高级化；海洋科技创新；海洋高端人才

**中图分类号：**F124.9；P74　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1005-9857（2026）05-0113-16

# Integration of Digital and Real Economies and Marine Industrial Chain Resilience：Impact Effects and Mechanisms

YU Qianqian，YAN Yuhang

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

**Abstract：**Empowering the enhancement of marine industrial chain resilience through the integration of digital and real economies is an important path to promote high-quality development of the marine economy and consolidate the blue security barrier. Based on panel data of China’s coastal provinces（autonomous regions and municipalities）from 2011 to 2022，this paper employs the entropy method to establish a comprehensive evaluation system for industrial chain resilience tailored to marine scenarios. Furthermore，the two-way fixed effect models，mediation effect models，and moderating effect models are utilized to empirically examine the impact effects and mechanisms of digital-real economy integration on marine industrial chain resilience. The findings are as follows：（1）The integration of digital and real economies exerts a significant positive

**收稿日期：**2026-01-13；**修订日期：**2026-05-20

**作者简介：**于倩倩，硕士研究生，研究方向为国民经济学

**通信作者：**燕雨行，硕士研究生，研究方向为国民经济学

driving effect on marine industrial chain resilience，and this conclusion remains valid after robustness tests and endogeneity treatment.（2）The mechanism analysis shows that digital-real economy integration can empower the resilience of the marine industrial chain through two paths：marine industries upgrading and marine scientific and technological innovation，among which the transmission effect of marine industrial upgrading is more prominent. Additionally，high-end marine talents can positively amplify the resilience-enhancing effect of digital and real economy integration.（3）The heterogeneity analysis reveals that the empowerment effect of digital-real economy integration is more pronounced in regions with lower levels of human capital. After the implementation of the Marine Economic Development Plan in 2016，policy dividends further strengthened this positive impact.

**Keywords**：Integration of digital and real economies；Marine industrial chain resilience；Marine industrial upgrading；Marine science and technology innovation；High-end marine talents

## 0 引言

百年未有之大变局正在加速演进，国际竞争已演变为地缘冲突和单边主义等多重复合博弈，深刻影响着全球产业链、供应链的韧性。在这一背景下，提升产业链供应链韧性已成为各国巩固经济主权、维护发展安全的战略核心。由大数据、人工智能、物联网和区块链等前沿技术驱动的数字技术革命，为有效应对上述挑战构建了全新的解决方案范式，并提供了坚实的技术支撑。与此同时，党的二十大报告明确提出，“加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合，打造具有国际竞争力的数字产业集群”。这一战略部署不仅指明了经济发展的方向，更深层地蕴含着通过技术革命筑牢发展安全底线的战略考量。在这一历史性交汇点上，推动数字技术与实体经济深度融合，其战略意义正深刻聚焦于筑牢经济体系的韧性根基。这不仅是顺应变革的必然选择，更是主动塑造发展新安全格局的战略抉择。数实融合的核心价值，在于以数据要素全面驱动产业体系的系统性重塑。它通过打通信息壁垒、优化资源配置、加速技术迭代，直接赋能产业链供应链的动态调整能力、风险缓冲能力与快速恢复能力，从而成为破解传统产业脆弱性问题的关键。因此，数实融合不仅是提升效率和培育新动能的根本路径，更是系统性增强产业链和供应链韧性、确保其长期安全稳定的核心工程。

作为国家经济发展的特定战略领域，海洋产业链的韧性建设意义尤为凸显。海洋在高质量发展进程中占据重要的战略地位，其衍生的产业体系不仅体量庞大，而且在体系架构上表现出极强的复杂性。该体系横跨传统海洋渔业、高端海洋工程装备制造和深海科技等诸多领域，产业链条长、环节多、地理分布广，受自然与市场双重因素影响显著，其稳定高效运行直接关系到国家战略安全、资源保障、对外贸易命脉以及长远战略竞争力。《“十四五”海洋经济发展规划》着重强调，“加快构建现代海洋产业体系，着力提升海洋科技自主创新能力”。这一目标的实现，单纯依靠传统要素投入和管理模式已难以为继。数实融合通过数字要素与海洋实体要素的深度耦合，能够打通海洋产业链全环节的信息壁垒、优化陆海资源配置、加速海洋技术成果转化，实现从资源探测、生产运营到物流贸易的全域实时感知与智能协同，显著提升产业链的风险预警、应急响应与快速恢复能力。因此，将数实融合赋能海洋领域，是强化其产业链韧性、筑牢蓝色经济安全基石的必然战略抉择。

## 1 文献综述

目前，国内外学者针对产业链韧性的研究已涵盖内涵界定、测度评估和影响因素等多个方面。王泽彩[1]指出，我国产业链韧性存在创新、协同和开放不足等短板，需要多维提升；张其仔[2]从产业竞争力视角，强调了产业链韧性与安全建设的重要性。在区域经济韧性方面，Martin 等[3]较早揭示了经济结构的关键作用。宋华等[4]聚焦人工智能（AI）与人机协同，阐明了 AI 驱动供应链韧性的演进机

制，从而为数字赋能提供了理论支撑。然而，目前针对海洋产业链韧性的研究相对较少，且多局限于概念界定与时空测度方面。从概念溯源来看，产业链韧性源于供应链风险管理。Ponomarov 等[5]较早界定了其核心内涵，认为韧性体现为产业链抵御冲击、快速响应及恢复核心功能的综合能力。赵宇等[6]从冲击下的产业绩效表现出发，根据抵抗能力、恢复能力、适应能力与变革能力 4 个维度，构造了中国产业链韧性指标。由于产业特性的差异，海洋产业链韧性被赋予了特殊内涵。学者们普遍认为，其不仅涵盖传统产业链的抗风险与恢复能力，还需要兼顾生态可持续性与区域安全性[7]。在维度划分上，现有研究形成了多元框架：Tian[8]从产业多元化和产业创新力双维度构建评估体系；国内学者大多从产业链创新恢复能力与产业链风险抵抗能力构建综合评价指标体系[9]；郭逸凡等[10]则结合海洋产业特征，从海洋产业抵御能力、海洋产业恢复能力和海洋产业可持续能力 3 个维度出发，构建了更为全面的海洋产业链现代化韧性评价框架。关于产业链韧性影响因素的研究，国内外学者已积累了丰富的成果。陶锋等[11]通过实证分析发现，企业数字化转型可借助优化供需适配效果、稳定供需联动关系、强化供应商创新能力三大路径，有效提升产业链韧性。钞小静等[12]的实证研究也表明，数字基础设施能够通过技术互补与协同效率机制显著提升产业链韧性，此外，相关研究进一步证实，数字化转型正是通过上述供需适配、联动稳定和供应商创新 3 条路径，实现了对产业链供应链韧性的有效强化[13]。

数实融合的核心内涵界定随着数字技术迭代逐步深化，早期研究多聚焦于数字技术对实体经济的单向改造。Vial[14]从价值重构视角指出，数实融合的本质是数字技术对产业链价值网络的系统性重塑，通过要素重组实现生产效率的提升。Yu 等[15]则侧重于运营层面，认为其核心价值在于依托数字工具优化企业流程、降低交易成本。何德旭等[16]进一步拓展了概念边界，提出数实融合是数字要素与实体要素的双向赋能过程，既以数字技术改造实体经济场景，又依托实体需求推动数字技术迭代，这一观点为后续跨领域融合研究提供了理论基础。针对数实融合提升产业链韧性的相关研究，吴云勇等[17]的研究成果表明，数实融合对产业链韧性存在显著的正向影响，且全要素生产率、产业集聚和数字化转型水平的提升是数实融合赋能产业链韧性的重要渠道。部分学者强调产业链结构与技术载体的支撑作用，认为其是数实融合赋能产业链韧性的关键[18-19]。同时，数实融合对产业链韧性的提升作用存在显著的区域异质性，表现为东部地区受益最显著，中西部次之，东北部效应则较为微弱[20]。另有研究聚焦制度保障，提出需通过建立数据分级分类和收益分配等规则，平衡数据共享与安全保护的矛盾，为数实融合提供制度支撑。但针对海洋领域的研究相对匮乏，现有成果未充分考虑海洋产业“陆海统筹、生态约束强”的独特性，对数实融合在海洋场景的适配性路径探讨不足。

综合现有研究可见，数实融合与产业链韧性的交叉研究已形成初步基础，但针对海洋领域的系统性成果仍较为匮乏，存在 3 个方面明显缺口：一是研究视角局限，现有成果多聚焦通用产业或海洋单一环节，缺乏对数实融合赋能海洋全产业链韧性的系统性探讨，未充分体现海洋产业的独特性；二是研究方法失衡，定性描述较多，结合海洋产业数据的实证检验与案例深度整合不足；三是机制分析不够深入，对数实融合影响海洋产业链韧性的内在逻辑拆解不足，未构建适配海洋场景的机制模型。本文的边际贡献主要体现在 3 个方面：其一，针对海洋产业“生态约束强、跨域性突出”的特性，从创新能力、抵御能力和恢复能力 3 个维度出发，系统选取海洋科研经费投入强度和港口货物吞吐量等代表性指标，通过熵值法构建适配海洋场景的产业链韧性综合评价体系，弥补了现有通用型指标体系对海洋领域适配性不足的短板，为相关量化研究提供标准化测度工具。其二，突破现有研究机制分析较为薄弱的局限，将海洋科技创新、海洋产业高级化纳入分析框架，实证检验二者的中介传导效应，明确核心传导路径；同时引入海洋高端人才作为调节变量，创造性地考察了人才数量对数实融合影响海洋产业链韧性的调节效应，深化了对数实融合赋

能海洋产业链韧性内在逻辑的理解。其三，针对现有研究定性描述多、实证支撑弱的问题，采用沿海省（自治区、直辖市）的面板数据，通过基准回归、内生性处理等规范实证方法验证数实融合的正向效应，结合创新要素禀赋与政策实施时点异质性分析，丰富海洋领域相关交叉研究的实证范式，为精准制定区域差异化海洋经济发展政策提供量化依据。基于此，本文所做的影响效应分析与机制实证研究弥补了现有研究的短板，为海洋产业链韧性提升提供了理论支撑与实践路径。

## 2 理论分析

### 2.1 数实融合对海洋产业链韧性的直接效应

产业链韧性强调产业系统在面临外部冲击时的风险抵抗力、弹性恢复力、核心竞争力与适度控制力[21]。数实融合作为数字要素与实体要素深度耦合的新型发展模式，通过打破要素流动壁垒、重构产业组织形态，为海洋产业链韧性提升提供核心支撑。海洋产业链具有跨域性强、环节协同紧密、易受自然环境与地缘风险影响的特性，其韧性提升更依赖要素配置效率与系统响应速度的优化。

数字技术对实体经济的深度渗透能有效减少海洋产业链的信息不对称问题。物联网和大数据等技术实现对海洋捕捞、航运物流和临港制造等全环节数据的实时采集与共享，使产业链各主体精准把握供需动态，减少库存积压与断供风险[22]。例如，在港口物流环节，数字技术可实现船舶调度、货物装卸的智能化协同，缩短周转时间，提升产业链抗冲击能力。同时，数实融合推动海洋产业链从线性结构向网状协同生态转型，通过构建数字化协同平台，强化产业链上下游企业、科研机构与政府部门的联动，形成风险共担、资源共享的韧性保障体系[23]。这种协同机制能在局部环节受冲击时，快速启动替代方案，避免风险传导扩散。此外，数字要素与海洋资源、劳动力等实体要素的组合创新，可突破传统生产要素的边际约束，优化资源配置效率，开辟高附加值新业态，推动产业链向高效、低碳、安全方向转型，提升海洋产业链的可持续发展能力，增强产业链长期韧性[24]。因此，本文提出第一个假设。

H1：数实融合对于海洋产业链韧性具有正向的促进作用。

### 2.2 数实融合、海洋产业高级化与海洋产业链韧性

数实融合对海洋产业链韧性的赋能并非单一直接传导，而是通过产业结构优化实现间接赋能。海洋产业高级化作为产业结构向技术密集和高附加值方向演进的过程，成为数实融合赋能海洋产业链韧性的核心中介路径。产业高级化体现为产业结构向技术密集和高附加值方向演进，是提升产业链韧性的重要路径[25]。数实融合通过技术赋能与要素重构，为海洋产业高级化提供核心动力，进而间接推动产业链韧性提升，形成以产业高级化为中介的传导机制。

从产业结构升级的视角来看，数实融合的持续推进，已成为海洋产业摆脱传统资源依赖、迈向技术驱动发展路径的核心动力。数实融合的本质是对产业价值网络的系统性重塑，其核心效果之一体现为推动产业结构向技术密集、高附加值和多元化方向演进。现有研究表明，数实融合可通过数字技术对传统产业的改造升级和产业间的跨界融合，实现产业结构优化；而产业高级化又能通过提升产业链盈利能力、分散产业波动风险和增强产业协同能力，从根本上强化产业链韧性。数字技术与海洋渔业、海洋交通运输业、海洋生物医药业和滨海旅游业等传统海洋产业的深度融合，实现了生态化、智慧化的转型，推动了产业附加值提升与技术含量升级[26]。例如，数字孪生技术在港口建设与运营中的应用，推动临港产业向智能化和服务化转型，形成高附加值产业集群，增强了产业链的抗风险能力。同时，数实融合加速海洋产业间的跨界融合，促进海洋一二三产业协同发展，形成多元化的产业结构，降低单一产业波动对整体产业链的冲击[27]。

产业高级化通过两个维度强化海洋产业链韧性：一是高附加值产业的发展增强了产业链盈利能力，拓宽了抗风险的缓冲空间，使产业在面临成本上涨和需求波动等冲击时具备更强的调整能力；二是技术密集型产业的主导地位增强产业链的自主创新能力，减少对外部技术与核心零部件的依赖，实现全

产业链的升级[28]。数实融合通过推动海洋产业高级化，优化产业结构形态与技术水平，为产业链韧性提升构建坚实基础。根据前文分析，本文提出第二个假设。

H2：数实融合通过海洋产业高级化提升海洋产业链韧性。

### 2.3　数实融合、海洋科技创新与海洋产业链韧性

除产业结构优化外，科技创新是数实融合赋能产业链韧性的另一重要路径，海洋科技创新因具有高投入、高风险和长周期的特性，其发展高度依赖数字技术的赋能，进而成为数实融合影响海洋产业链韧性的关键中介。科技创新是提升产业链韧性的核心驱动力，而数实融合为海洋科技创新提供了技术载体与应用场景，构建起海洋科技创新赋能海洋产业链韧性的中介传导路径[29]。数实融合通过优化创新资源配置，为其提供高效支撑。数字技术可整合跨区域和跨领域的创新资源，实现科研需求与技术成果的精准匹配，突破产业发展的技术瓶颈，进而提升产业链的自主可控水平与抗风险能力；同时，创新成果的产业化应用能优化生产流程和培育新业态，增强产业链的自适应能力与恢复能力。这一传导逻辑已在制造业和服务业等多个产业领域得到实证验证。

数实融合拓宽了海洋科技创新的资源供给渠道。大数据和 AI 等数字技术打破了创新主体的地理与组织壁垒，推动了跨区域和跨领域的创新资源整合与共享。其可促进科研机构、高校技术成果与企业创新需求的精准匹配，显著提升创新效率[30]。例如，海洋大数据平台的构建整合了全球海洋环境、资源勘探和技术专利等多源数据，为海洋油气开发和海洋生物医药等领域的创新提供了数据支撑。数字技术加速了科技创新成果的产业化应用，通过“数字技术 + 海洋场景”的深度适配，推动技术创新从实验室走向产业实践，赋能海洋经济高质量发展[31]。

海洋科技创新通过 3 个方面强化产业链韧性：一是核心技术突破提升产业链自主可控水平，减少关键环节“卡脖子”风险；二是通过创新成果应用优化生产流程，提升产业链效率与质量，增强市场竞争力；三是新业态和新模式的涌现丰富了产业链内涵，形成了多元化发展格局，提升了产业链自适应能力[32]。数实融合通过赋能海洋科技创新，为产业链韧性提升注入持续动力。由此，本文提出第三个假设。

H3：数实融合通过提升海洋科技创新水平来增强海洋产业链韧性。

### 2.4　数实融合、海洋高端人才与海洋产业链韧性

数实融合中介传导效应的充分释放，需要依托关键要素的支撑。人才是数字技术与实体经济融合的核心载体，海洋高端人才作为兼具数字技能与海洋产业专业知识的复合型人才，在数实融合赋能海洋产业链韧性的过程中发挥着关键的调节作用。其调节效应主要通过优化数字技术应用效率、加速融合创新进程来实现。

海洋高端人才首先提升了数实融合的深度与质量。数字技术在海洋产业的应用具有高度场景化特征，需要既掌握数字技术原理又熟悉海洋产业规律的复合型人才进行适配与优化[33]。高端人才能够精准识别海洋产业链的数字化需求，推动数字技术与产业实际场景的深度融合，提升融合赋能效果。例如，在海洋环境监测和海上风电运维等场景中，高端人才可推动数字技术与专业技术的有机结合，实现风险的精准预警与高效应对。其次，海洋高端人才加速了融合创新与韧性提升的进程。研究表明，地区高层次人才数量的增加有利于提升当地的科技创新水平与产业结构优化[34]。在数实融合推动产业高级化与科技创新的过程中，高端人才作为技术转化和管理优化的核心力量，能够缩短创新成果从研发到应用的周期，提升产业结构升级的效率。同时，高端人才具备更强的风险预判与应对能力，能够在产业链面临冲击时，快速制定调整策略，强化数实融合的韧性赋能效果。

海洋高端人才的储备规模与能力水平，正向调节数实融合对海洋产业链韧性的促进作用，即高端人才越充足，融合赋能效应越显著。充足的高端人才储备为数字技术的深度应用和创新成果的高效转化提供了人力保障，放大了数实融合的赋能效应。据此，本文提出第四个假设。

H4：海洋高端人才水平提升，有助于增强数实融合对海洋产业链韧性的促进作用。

图 1 展示了数实融合对海洋产业链韧性的传导机制。数实融合是提升海洋产业链韧性的核心引擎：它既通过推动海洋产业高级化、赋能海洋科技创新两条中介路径，分别增强产业盈利与创新能力、提升自主可控水平与运行效率；又在海洋高端人才的正向调节下，进一步强化融合深度与传导效率，共同筑牢海洋产业链韧性。

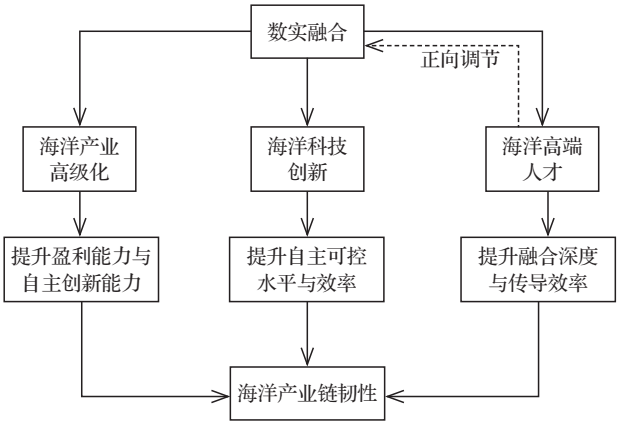


图 1 数实融合影响海洋产业链韧性的理论研究框架

Fig.1 Theoretical research framework of the impact of digital-real integration on the resilience of marine industrial chain

## 3 研究设计

### 3.1 模型选择

#### 3.1.1 基准回归模型

为检验数实融合对海洋产业链韧性的影响效应，基于省级面板数据样本特征，为控制时间层面和地区层面的异质性可能引发的估计偏差，本文构建双向固定效应模型进行基准回归分析。模型设定如下：

$$\text{Resilience}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Integration}_{it} + \alpha_2 X_{it} + \mu_j + \nu_k + \xi_{it} \quad (1)$$

式中：下标 $i$ 代表省份；$t$ 代表年份（$t$=2011，2012…2022）；$\text{Resilience}_{it}$为被解释变量海洋产业链韧性；$\text{Integration}_{it}$为解释变量数实融合；$X_{it}$为各控制变量，模型控制了个体和时间双重固定效应；$\mu_j$为省份固定效应；$\nu_k$为年份固定效应；$\xi_{it}$为随机误差项。

#### 3.1.2 中介效应模型

为检验海洋科技创新（Inno）与海洋产业高级化（Upgr_stru）的中介传导机制，参考逐步回归法，在式（1）的基础上，进一步构建中介效应模型：

$$\text{Med}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Integration}_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_j + \nu_k + \xi_{it} \quad (2)$$

$$\text{Resilience}_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \text{Integration}_{it} + \gamma_2 \text{Med}_{it} + \gamma_3 X_{it} + \mu_j + \nu_k + \xi_{it} \quad (3)$$

式中：$\text{Med}_{it}$为中介变量，分别对应海洋科技创新（Inno）与海洋产业高级化（Upgr_stru）。其中，$\beta_1$为核心解释变量“数实融合”影响中介变量的估计系数。若$\beta_1$通过显著性检验，则表明数实融合能够有效驱动中介变量发生变化，可进一步开展第三步检验：

若$\gamma_1$与$\gamma_2$均显著，说明存在部分中介效应；若$\gamma_2$显著但$\gamma_1$不显著，说明存在完全中介效应。为提升结果可靠性，同时结合索贝尔检验（Sobel 检验）与自举法检验（Bootstrap 检验），进一步验证中介效应的统计显著性。

#### 3.1.3 调节效应模型

为探究海洋高端人才（Tale）对数实融合与海洋产业链韧性关系的调节作用，在基准回归模型中引入核心解释变量与调节变量的交互项，构建调节效应模型：

$$\text{Resilience}_{it} = \delta_0 + \delta_1 \text{Integration}_{it} + \delta_2 \text{Tale}_{it} + \delta_3 \text{Integration}_{it} \times \text{Tale}_{it} + \mu_j + \nu_k + \xi_{it} \quad (4)$$

式中：$\text{Tale}_{it}$为调节变量（海洋高端人才）；$\text{Integration}_{it} \times \text{Tale}_{it}$为交互项，核心关注调节系数$\delta_3$的显著性与符号。若$\delta_3$显著为正，则说明海洋高端人才正向调节数实融合对海洋产业链韧性的促进作用，即高端人才数量越多，融合赋能效应越强；若$\delta_3$显著为负，则为负向调节作用。

### 3.2 变量选取

#### 3.2.1 被解释变量

海洋产业链韧性是指系统在应对自然风险、市场波动和地缘冲突等内外部冲击时，具备风险抵御、快速恢复、创新适配与生态可持续能力，体现为全环节协同稳定、兼顾经济与生态价值的综合状态。其与一般产业链韧性的差异在于引入了生态可持续与陆海协同的双重约束；与海洋产业韧性的区别则在于：后者聚焦单一产业的单点抗扰能力，而

前者强调覆盖上中下游的链式综合协同与系统性风险防控。

参考张伟等[34]、张春霆等[7]及郭逸凡等[10]的研究方法，结合海洋产业链韧性的内涵与量化评价要求，本文在构建指标体系时遵循四大原则：一是场景适配，增设海洋专属指标；二是维度全面，覆盖创新、抵抗、恢复能力，并兼顾经济效率与生态可持续性；三是科学可测，选取客观量化指标并采用熵值法进行评价；四是立足现实，针对创新不足、抗风险能力不均、生态与产业失衡等核心痛点。本文从创新能力、抵抗能力与恢复能力 3 个一级维度构建海洋产业链韧性综合指标体系。该体系契合产业链韧性的核心逻辑：创新能力决定韧性的长期提升空间，抵抗能力是韧性的底线保障，恢复能力是韧性修复的关键。三者兼顾了海洋产业链生态可持续性的特殊要求，能够精准匹配我国海洋产业从资源驱动向技术驱动转型、沿海区域抗风险能力差异显著以及冲击后恢复效率偏低的现实需求。其中，创新能力维度选取海洋科研机构从业人员数量、海洋机构研发人员数量、海洋科研机构中研发人员占比和海洋科研经费投入强度 4 项二级指标；抵抗能力维度涵盖海洋生产总值占总 GDP 比重、海洋资本投入产出比、海洋产业结构升级指数、港口货物吞吐量和近海水质指数 5 项二级指标；恢复能力维度选取单位海洋产业增加值能源消费量和单位海洋产业增加值废水排放量 2 项二级指标（表 1）。最后，通过熵值法计算各指标权重并合成综合指数，指数值越高代表海洋产业链韧性越强。

**表 1　海洋产业链韧性指标体系**

**Table 1　Indicator system for the marine industry chain resilience**

| | 一级指标 | 二级指标 | 三级指标 | 属性 |
|---|---|---|---|---|
| 海洋产业链韧性 | 创新能力 | 海洋科研机构从业人员数量 | 海洋科研机构从业人员数量 / 人 | + |
| | | 海洋机构研发人员数量 | 海洋机构研发人员数量 / 人 | + |
| | | 海洋科研机构中研发人员占比 | 海洋机构研发人员数量 / 海洋机构从业人员数量 / 人 | + |
| | | 海洋科研经费投入强度 | 海洋研究与开发机构 R&D 经费内部支出（亿元）/ 海洋产业 GDP（亿元） | + |
| | 抵抗能力 | 海洋生产总值占总 GDP 比重 | 海洋生产总值（亿元）/ 地区生产总值（亿元） | + |
| | | 海洋资本投入产出比 | 固定资产投资（亿元）/ 海洋生产总值（亿元） | + |
| | | 海洋产业结构升级指数 | 海洋第一产业增加值占 GDP 比重 ×1+ 海洋第二产业增加值占 GDP 比重 ×2 + 海洋第三产业增加值占 GDP 比重 ×3 | + |
| | | 港口货物吞吐量 | 港口货物吞吐量 / 亿 t | + |
| | | 近海水质指数 | 近海水质指数 | + |
| | 恢复能力 | 单位海洋产业增加值能源消费量 | 地区能源消费总量（万 t 标准煤）/ 地区生产总值（亿元） | – |
| | | 单位海洋产业增加值废水排放量 | 地区工业废水排放量（万 t）/ 地区生产总值（亿元） | – |

注：由于国家统计部门尚未公布省级海洋产业能源消费和工业废水排放等连续统计数据，本文采用地区层面的能源消费强度和工业废水排放强度作为代理变量。海洋产业的发展依赖于区域能源利用效率和环境治理能力，因此，地区整体指标能够在一定程度上反映海洋产业链的恢复能力。

二级指标遵循要素支撑、功能体现和发展约束的拆解逻辑。其中，创新能力契合人力资本与物质资本的创新要素禀赋理论；抵抗能力符合规模保障、结构优化、硬件支撑与生态基础的风险抵御框架恢复能力则体现绿色发展下经济与生态的双重约束要求，贴合海洋科技高专业度、高投入、产业链依赖陆海配套与生态基础，以及低碳转型要求低能耗低排放的产业特征。

三级指标遵循可测性、代表性和关联性原则，选取与二级指标内涵高度契合的客观指标。正负向指标的区分契合韧性评价的效率与生态双重标准，所有指标均来自官方统计数据库。此外，设计了“海洋科研经费投入强度”等专属指标，避免通用指标适配性不足；负向指标的设置兼顾海洋生态约束，确保评价结果贴合海洋产业链发展实际。

3.2.2 解释变量

借鉴周密等[35]的研究思路，依托专利国际分类号（IPC）共现关系，搭建数实融合水平的测算体系。该指标数值越大，代表数字产业与包含海洋产业在内的实体经济融合的深度与广度越高，具体测算流程如下。

首先，基于专利申请数据中的 IPC 信息构建 IPC 共现矩阵 $\boldsymbol{P}$，以矩阵元素 $x_{ij}$ 衡量技术领域的关联程度。$x_{ij}$ 为 $\mathrm{IPC}_i$ 与 $\mathrm{IPC}_j$ 的共现频次，计算公式如下：

$$x_{ij} = \sum\nolimits_{P_k < S(i) \bigcap S(j)} E(P_k) \tag{5}$$

式中：$P_k$ 为单件专利；$S(i)$、$S(j)$ 分别为包含对应 IPC 分类号的专利集合；$E(\cdot)$ 为示性函数。

其次，依据《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表（2018）》，将 IPC 分类号与国民经济小类行业匹配，构建产业共现矩阵元素 $x_{ijpq}$，并将矩阵 $\boldsymbol{P}$ 转换为 nm × nm 阶分块对称矩阵 $\boldsymbol{R}$。随后，按产业小类对矩阵 $\boldsymbol{R}$ 的行列求和并修正重复计算，得到产业融合测算矩阵 $\boldsymbol{Z}$，其元素 $z_{pq} = \frac{1}{2}\sum_i \sum_j x_{ijpq}$ 反映产业间的融合水平。最后，依据行业代码划分数字与实体产业，对矩阵 $\boldsymbol{Z}$ 进行分块处理，通过对分块矩阵元素求和取均值，计算出数实产业整体融合水平 $Q_{DR}$，完成指标测算。

3.2.3 控制变量

结合海洋产业发展特征及现有研究，选取以下控制变量以缓解遗漏变量偏误：①对外开放水平，采用货物进出口总额与地区生产总值的比值来衡量；②政府干预水平，以政府财政一般公共预算收入占地区生产总值的比重表示；③外商直接投资水平，采用外商直接投资额与地区生产总值的比值来衡量；④基础设施建设水平，以公路里程与地区年末人口数的比值（千米 / 万人）表示；⑤城镇化率，采用地区城镇人口占总人口的比重来衡量；⑥金融发展水平，以金融机构存贷款之和与地区生产总值的比值表示。

3.2.4 机制变量

中介变量选取海洋科技创新水平与海洋产业高级化，分别检验海洋科技创新传导机制与海洋产业高级化传导机制。根据技术创新量化理论，专利授权数量是海洋科技创新成果的直接体现，能客观反映深海探测、海洋工程装备和海洋生物医药等领域的技术创新能力，因此，采用海洋产业专利授权数量来衡量，数量越多代表创新水平越高。根据产业结构高级化测算理论，产业结构层次系数能反映产业结构向技术密集和高附加值产业演进的程度，系数越高说明产业高级化水平越高。我国海洋产业正从传统渔业向海洋工程装备和滨海旅游与港口物流转型，产业结构层次系数能客观反映这一转型进程，是衡量海洋产业高级化的经典指标[36]。因此，采用海洋产业结构层次系数进行衡量，计算公式如下：

$$\sum\nolimits_{i=1}^{3} i \times Y_i \tag{6}$$

式中：$Y_i$ 为海洋第 $i$ 产业增加值占海洋生产总值的比重。调节变量选取海洋高端人才，根据人力资本理论，硕士及以上学历的从业人员具备更高的专业技能与创新能力，是数实融合的核心要素。海洋高端人才不仅能够提升数字技术在海洋产业中的应用深度，还能加速创新成果转化，推动产业结构升级。因此，本文采用海洋产业中具有硕士及以上学历的从业人员数量（人）来测算该调节变量，以考察其对数实融合与海洋产业链韧性关系的调节效应。各变量的描述性统计结果如表 2 所示，样本量为 132 个，变量取值分布合理，无极端异常值干扰实证结果的可靠性。

**表 2 各变量说明及描述性统计**

**Table 2 Variable definitions and descriptive statistics**

| 变量类别 | 变量名 | 数量 / 个 | 均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 被解释变量 | 产业链韧性（Resilience） | 132 | 4.256 | 1.391 | 0.987 | 8.192 |
| 解释变量 | 数实融合（Integration） | 132 | 5.224 | 8.383 | 0.005 | 44.103 |

续表 2

| 变量类别 | 变量名 | 数量 | 均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制变量 | 对外开放水平（Open） | 132 | 4.699 | 2.859 | 1.089 | 14.123 |
| | 政府干预程度（G_inte） | 132 | 0.121 | 0.039 | 0.063 | 0.245 |
| | 金融发展水平（Fina） | 132 | 3.605 | 0.998 | 2.163 | 6.593 |
| | 基础设施建设水平（Infr） | 132 | 21.606 | 7.966 | 5.129 | 40.591 |
| | 城镇化率（Citi） | 132 | 66.621 | 12.058 | 41.900 | 89.600 |
| | 外商直接投资水平（FDI） | 132 | 2.970 | 2.686 | 0.171 | 12.099 |
| 中介变量 | 海洋科技创新水平（Inno） | 132 | 463.337 | 462.721 | 9.546 | 2 228.700 |
| | 海洋产业高级化（upgr_stru） | 132 | 1.621 | 0.797 | 0.483 | 5.877 |
| 调节变量 | 海洋高端人才水平（Tale） | 132 | 258.288 | 224.877 | 4.000 | 1 086.000 |

### 3.3　数据来源

本文研究的样本为我国沿海省（自治区、直辖市）的面板数据，时间跨度为 2011—2022 年。数据来源于《中国海洋统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国专利公报》《国民经济和社会发展统计公报》及各沿海省（自治区、直辖市）的统计年鉴。其中，数实融合水平测算所需的专利数据来源于国家知识产权局专利检索系统，经整理提取 IPC 分类号及共现信息后使用；海洋产业链韧性指标体系相关数据主要来自《中国海洋统计年鉴》；控制变量、中介变量及调节变量数据均从对应统计年鉴及公报中整理获取。

针对部分年份的少量缺失数据，采用线性插值法与均值填补法相结合的方式进行补充，以确保数据的完整性。为避免极端值对回归结果的影响，本文在基准回归前对所有连续变量进行了 1%水平的缩尾处理。

## 4　实证分析

### 4.1　基准回归分析

表 3 汇报了数实融合影响海洋产业链韧性的基准回归结果。依据模型（1）的估计结果，数实融合变量（Integration）的系数为 0.056，且在 1%水平上显著为正。这意味着在未控制其他变量时，数实融合对海洋产业链韧性具有显著的促进作用。随着控制变量的逐步加入，表 3 列（2）至列（7）中数实融合的系数始终保持为正，并且均在 1%或 5%水平上通过显著性检验。其中，列（7）为加入所有控制变量后的全样本回归结果，数实融合系数为 0.075，在 1%水平上显著。这表明，数实融合每提升 1 个单位，海洋产业链韧性将提升 0.075 个单位，验证了数实融合对海洋产业链韧性的正向驱动效应，假设 H1 得证。此外，$R^2$ 从列（1）的 0.408 提升至列（7）的 0.676，证明模型的拟合效果较好，进一步表明上述结论具有较强的稳健性。

**表 3　基准回归结果**

**Table 3　Baseline regression results**

| 变量 | （1）<br>Resilience | （2）<br>Resilience | （3）<br>Resilience | （4）<br>Resilience | （5）<br>Resilience | （6）<br>Resilience | （7）<br>Resilience |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Integration | 0.056***<br>（3.963） | 0.070***<br>（4.334） | 0.069***<br>（4.115） | 0.051**<br>（2.611） | 0.103***<br>（5.223） | 0.098***<br>（4.733） | 0.075***<br>（4.061） |
| Open | | 0.191*<br>（1.74）4 | 0.189*<br>（1.703） | 0.166<br>（1.502） | 0.099<br>（1.001） | 0.003<br>（0.020） | −0.078<br>（−0.602） |
| G_inte | | | 0.767<br>（0.177） | −6.358<br>（−1.091） | −2.190<br>（−0.422） | −2.431<br>（−0.475） | −10.740**<br>（−2.255） |

续表 3

| 变量 | （1）Resilience | （2）Resilience | （3）Resilience | （4）Resilience | （5）Resilience | （6）Resilience | （7）Resilience |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FDI | | | | 0.094* | 0.025 | 0.017 | 0.073* |
| | | | | （1.863） | （0.533） | （0.365） | （1.734） |
| Infr | | | | | 0.197*** | 0.190*** | 0.217*** |
| | | | | | （5.463） | （5.143） | （6.674） |
| Citi | | | | | | 0.051 | 0.086* |
| | | | | | | （0.883） | （1.704） |
| Fina | | | | | | | 1.465*** |
| | | | | | | | （5.833） |
| 常数项 | 4.592*** | 3.428*** | 3.352*** | 3.983*** | 0.248 | −2.063 | −7.869*** |
| | （21.412） | （4.884） | （4.044） | （4.485） | （0.243） | （−0.736） | （−2.977） |
| 年份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| 省份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| *N*/ 个 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 |
| 决定系数（$R^2$） | 0.408 | 0.424 | 0.425 | 0.443 | 0.566 | 0.569 | 0.676 |

注：*、**、*** 分别表示估计数值在 10%、5%、1%的水平上显著；括号内为 *t* 统计量。下表同。

### 4.2 稳健性检验

为确保基准回归结论的可靠性，本文采用两种方法进行稳健性检验：一是替换解释变量，采用主成分分析法重构数实融合指数；二是进行缩尾处理，对所有连续变量进行 1%水平的双向缩尾，以剔除极端值的影响，检验结果如表 4 所示。

**表 4 稳健性检验结果**

**Table 4 Robustness check results**

| 变量 | （1）Resilience | （2）替换解释变量 | （3）缩尾处理 |
|---|---|---|---|
| Integration | 0.075*** | 0.024*** | 0.070*** |
| | （4.066） | （3.077） | （3.945） |
| 常数项 | −7.869*** | 0.749 | −7.774*** |
| | （−2.976） | （0.667） | （−3.035） |
| 控制变量 | 控制 | 控制 | 控制 |
| 年份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 |
| 省份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 |
| *N*/ 个 | 132 | 132 | 132 |
| 决定系数（$R^2$） | 0.676 | 0.678 | 0.682 |

表 4 列（1）为基准回归的全样本估计结果，列（2）为替换解释变量的检验结果，数实融合（Integration）系数为 0.024，且在 1%水平上显著为正；列（3）为经缩尾处理后的回归结果，数实融合变量系数为 0.070，同样在 1%的水平上显著为正。两种检验方法均验证，数实融合对海洋产业链韧性的正向促进效应具有稳健性，说明基准回归结论可靠，排出了因变量度量方式差异或极端值干扰导致结果偏差的可能性。

### 4.3 内生性处理

考虑到数实融合与海洋产业链韧性之间可能存在双向因果关系，即海洋产业链韧性较强的地区更有能力推进数实融合；同时，模型可能存在由遗漏变量导致的内生性问题。为此，本文采用历史固定电话普及率作为工具变量。历史通信禀赋影响当代数字基础设施建设，进而影响数实融合水平，但与当前海洋产业链韧性无关，具有较强的外生性，能有效规避双向因果问题。通过工具变量回归法（ivreg2）处理内生性问题（表 5）。第一阶段回归中，工具变量系数为 0.173，在 1%水平上显著

为正，表明工具变量与数实融合关联性强，工具变量有效，其中不可识别结果为 18.996，在 1% 水平上显著，弱工具变量检验结果为 20.974，大于弱工具变量检验（Stock-Yogo），Stock-Yogo 临界值为 16.380。第二阶段回归中，Integration 系数为 0.144，且在 1% 水平上显著为正，表明控制内生性后，数实融合对海洋产业链韧性的正向促进作用依然显著，进一步印证了基准结论的稳健性。

**表 5　内生性检验结果**

**Table 5　Endogeneity test results**

| 变量 | （1）<br>第一阶段回归<br>Integration | （2）<br>第二阶段回归<br>Resilience |
|---|---|---|
| 工具变量 | 0.173***<br>（4.583） | |
| Integration | | 0.144***<br>（2.684） |
| 控制变量 | 控制 | 控制 |
| 常数项 | 8.441*<br>（1.696） | 5.915***<br>（4.125） |
| 安德森正则相关 LM 统计量<br>（Anderson canon. corr. LM statistic） | 18.996*** | |
| 弱Ⅳ检验（Stock-Yogo）<br>（0.0000） | | |
| 克拉格 - 唐纳德沃尔德 $F$ 统计量<br>（Cragg-Donald Wald $F$ statistic） | 16.380<br>20.974 | |
| $N$/ 个 | 132 | 132 |
| 决定系数（$R^2$） | | −0.028 |

注：16.380 为弱Ⅳ检验（Stock-Yogo）10% 水平临界值。

## 4.4　异质性检验

为进一步探究数实融合对海洋产业链韧性影响的异质性特征，本文从人力资本水平与政策节点两个维度进行分组回归。人力资本水平的异质性锚定理论框架中海洋高端人才的调节效应，契合要素禀赋决定技术吸收能力的内生增长逻辑，可检验人才禀赋对赋能传导路径的约束作用。政策节点的异质性锚定制度环境对赋能效果的影响，契合制度变迁影响产业路径的演化经济学逻辑，可检验 2016 年海洋经济数字化政策对赋能传导路径的强化作用（表 6）。

**表 6　异质性检验结果**

**Table 6　Heterogeneity test results**

| 变量 | 创新要素禀赋 | | 时间 | |
|---|---|---|---|---|
| | （1）<br>创新要素禀赋高组 | （2）<br>创新要素禀赋低组 | （3）<br>2011—2015 年 | （4）<br>2016—2022 年 |
| Integration | 0.018<br>（0.325） | 0.043*<br>（1.955） | 0.206<br>（1.187） | 0.058*<br>（1.855） |
| 常数项 | −31.457**<br>（−2.556） | 0.309<br>（0.089） | 8.654<br>（1.466） | 3.209<br>（0.404） |
| 控制变量 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| 年份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| 省份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| $N$/ 个 | 45 | 87 | 55 | 77 |
| 决定系数（$R^2$） | 0.836 | 0.744 | 0.371 | 0.539 |

注：本文以海洋从业人员人均专利授权数量作为划分创新要素禀赋高低的标准，将样本分为创新要素禀赋高组［表 6 列（1）］与创新要素禀赋低组［表 6 列（2）］。分组回归结果显示，在创新要素禀赋低组中，数实融合变量的系数值为 0.043，在 10% 水平上显著为正；在创新要素禀赋高组中，数实融合变量的系数为 0.018，未通过统计显著性检验。该回归结果说明，在人力资本水平较低的地区，数实融合对海洋产业链韧性的促进作用更为明显，可能是因为低人力资本地区的海洋产业链数字化转型空间更大，数实融合能够快速弥补技术与效率短板；而高人力资本地区的产业链发展水平较高，数实融合的边际效应相对减弱，需通过更高质量的融合模式突破发展瓶颈。

关于时间异质性的分析，本文参考郭逸凡等[10]的研究，基于政策节点分组，以 2016 年《全国海洋经济发展规划（2016—2020 年）》发布为时间节点，将样本分为 2011—2015 年组［表 6 列（3）］与 2016—2022 年组［表 6 列（4）］。回归结果显示，2016—2022 年组的数实融合系数为 0.058，在 10% 水平上显著为正；而 2011—2015 年组的系数为 0.206，未通过显著性检验。这一结果表明，《全国海洋经济发展“十三五”规划》实施后，数实融合对海洋产业链韧性的促进作用逐步显现，这可能与规划中对海洋产业数字化和智能化转型的引导有关，政策支持为数实融合与海洋产业链韧性提升提供了良好的制度环境。

### 4.5 中介机制检验

本文基于逐步回归法，结合索贝尔检验（Sobel）与自举法检验（Bootstrap），参考郑涛等[30]和郭庆然等[37]的研究，从海洋科技创新（Inno）与海洋产业高级化（Upgr_stru）两个路径检验数实融合影响海洋产业链韧性的中介机制（表 7）。

**表 7 中介机制检验结果**

**Table 7 Results of mediation mechanism tests**

| 变量 | （2）Inno | （3）Resilience | （4）Upgr_stru | （5）Resilience |
|---|---|---|---|---|
| Integration | 19.261* | 0.072*** | 0.018** | 0.068*** |
| | （1.924） | （3.642） | （2.060） | （3.621） |
| Inno_ | | 0.001*** | | |
| | | （3.117） | | |
| Upgr_stru | | | | 0.408* |
| | | | | （1.91） |
| 常数项 | 1 494.452 | −7.097** | 3.875*** | −9.478*** |
| | （0.889） | （−2.136） | （3.134） | （−3.413） |
| 控制变量 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| 年份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| 省份固定效应 | 控制 | 控制 | 控制 | 控制 |
| *N*/ 个 | 132 | 132 | 132 | 132 |
| 决定系数（$R^2$） | 0.515 | 0.710 | 0.743 | 0.679 |
| Sobel 检验 | 1.701* | | 1.791* | |
| Bootstrap 检验 | 通过 | | 通过 | |
| 中介效应占比 | 18.79% | | 27.59% | |

在海洋科技创新路径中，表 7 列（2）回归结果显示，数实融合（Integration）的系数为 19.261，在 10%水平上显著为正，说明其能显著提升海洋科技创新水平。列（3）同步纳入两变量后，海洋科技创新（Inno）的系数为 0.001，在 1%水平上显著为正，且数实融合的系数依然显著为正，表明海洋科技创新在其中发挥了部分中介作用。Sobel 检验统计量为 1.701，在 10%水平上显著；Bootstrap 检验结果同样显著，中介效应占比为 18.79%。这表明数实融合可通过提升海洋科技创新水平，增强海洋产业链的技术支撑能力，进而强化产业链韧性，假设 H3 得到验证。

在海洋产业高级化路径中，表 7 列（4）的回归结果显示，数实融合的系数为 0.018，在 5%水平上显著为正，表明数实融合能够推动海洋产业结构向高级化转型；列（5）同时纳入核心解释变量与中介变量后，海洋产业高级化（Upgr_stru）的系数为 0.408，在 10%水平上显著为正，数实融合的系数仍保持显著为正，验证了海洋产业高级化的部分中介作用，即假设 H2 成立。此外，Sobel 检验统计量为 1.791，在 10%水平上显著，Bootstrap 检验结果支持中介效应存在，中介效应占比为 27.59%。这说明数实融合可通过优化海洋产业结构，提升产业链的附加值与抗风险能力，进而增强产业链韧性。

### 4.6 调节机制检验

为探究海洋高端人才对数实融合与海洋产业链韧性关系的调节作用，本文参考甘水玲等[38]的研究，在基准回归模型中引入数实融合与海洋高端人才的交互项（Integration × Tale），回归结果如表 8 所示。

这一结果的内在逻辑在于：海洋高端人才具备较强的数字化技术应用能力与产业创新能力，不仅能够加速数字技术与海洋产业的深度融合，破解融合过程中的技术瓶颈与管理难题，同时还能推动产业链各环节的协同优化，进而放大数实融合对产业链韧性的提升效应。此外，加入交互项后，数实融合（Integration）与海洋高端人才（Tale）的系数仍显著为正，且模型 $R^2$ 从 0.702 提升至 0.712，表明调节效应的引入进一步增强了模型的解释力，验证了海洋高端人才在数实融合赋能海洋产业链韧性过程中的正向调节作用。

**表 8 调节机制检验结果**

**Table 8 Results of moderating mechanism tests**

| 变量 | （1）Resilience | （2）Resilience |
|---|---|---|
| Integration | 0.068*** | 0.083*** |
| | （3.781） | （4.278） |
| Tale | 0.002*** | 0.003*** |
| | （2.947） | （3.506） |

续表 8

| 变量 | （1）<br>Resilience | （2）<br>Resilience |
|---|---|---|
| Integration × Tale | | 0.000*<br>（1.909） |
| 常数项 | −11.104***<br>（−3.990） | −11.687***<br>（−4.227） |
| 控制变量 | 控制 | 控制 |
| 年份固定效应 | 控制 | 控制 |
| 省份固定效应 | 控制 | 控制 |
| *N*/ 个 | 132 | 132 |
| 决定系数（$R^2$） | 0.702 | 0.712 |

注：表 8 列（1）为未加入交互项的回归结果，海洋高端人才（Tale）的系数为 0.002，在 1%水平上显著为正，表明海洋高端人才本身能够显著促进海洋产业链韧性提升，高端人才的技术研发与管理能力为产业链韧性提供核心支撑。表 8 列（2）为加入交互项后的回归结果，交互项（Integration × Tale）的系数为 0.000，在 10%水平上显著为正，说明海洋高端人才能够正向调节数实融合与海洋产业链韧性的关系，即海洋高端人才数量越多，数实融合对海洋产业链韧性的促进作用越强。假设 H4 得到验证。

## 5　研究结论与提升路径

### 5.1　主要结论

本文以 2011—2022 年我国沿海省（自治区、直辖市）的面板数据为样本，构建完整的实证框架，系统探究数实融合对海洋产业链韧性的影响效应、路径及边界条件，结合海洋产业特性弥补研究缺口，核心结论如下。

（1）数实融合对海洋产业链韧性具有显著的正向驱动效应，并且经稳健性检验与内生性处理后结论依然可靠。基准回归显示，数实融合每提升 1 个单位，海洋产业链韧性提升 0.075 个单位，内生性处理后重新回归的核心解释变量系数升至 0.144 个单位，印证了其核心赋能作用。

（2）数实融合通过产业结构优化与科技创新两条路径赋能海洋产业链韧性，其中产业结构优化的赋能作用更强（效应占比 27.59%），科技创新效应占比 18.79%，二者协同构建核心传导逻辑。

（3）海洋高端人才发挥正向调节作用，可显著放大数实融合的韧性提升效应，助力融合模式从表层对接向深度渗透升级。

（4）数实融合的影响存在异质性：人力资本水平较低地区的赋能效应更显著，2016 年海洋经济发展规划实施后，政策红利进一步强化了数实融合的赋能效果。

### 5.2　提升路径

（1）提升我国海洋产业链韧性水平的首要任务，是强化数字技术的场景适配与基础设施支撑。基于研究结论，结合海洋产业特性与区域异质性，应聚焦智慧海洋牧场、港口智能调度和深海资源探测等核心场景，加大 5G、物联网和区块链等数字技术的定制化研发与应用，搭建海洋产业数字化转型公共服务平台，打通全链条数据壁垒。统筹陆海数字基础设施建设：针对人力资本水平较低的地区，重点推进基础设施完善与基础技能培训，加速数实融合普及；针对高人力资本地区，引导其聚焦高端海洋工程装备和海洋生物医药等领域，探索数字技术与前沿科技的深度融合模式，突破产业升级瓶颈。

（2）激发产业升级与科技创新的协同动能，增强产业链核心支撑能力。依托数字技术培育海洋大数据服务、智能航运和蓝色金融等新业态，打造多元产业增长极，分散产业链运行风险。加快传统海洋渔业和船舶制造等产业的数字化改造，提升生产效率与产品附加值，强化产业间的协同联动。搭建产学研用协同平台，运用数字孪生和高性能计算等技术缩短核心装备的研发周期，突破深海探测和绿色船舶等领域的关键技术瓶颈。完善科技成果转化机制，借助区块链技术规范知识产权确权与交易，推动科研成果快速转化，切实提升产业链抗风险能力。

（3）健全人才与要素保障体系，优化融合发展生态。构建精准化人才培育体系，鼓励高校增设海洋数字技术交叉专业，支持企业与科研机构联合开展在职培训，提升从业人员的数字化应用能力。出台高端人才专项引进政策，给予科研经费和住房保障等配套支持，建立创新导向的评价和激励机制，推动高端人才与产业融合场景深度对接。引导金融机构开发契合海洋产业数字化转型需求的信贷、保险及股权投资产品，完善融资担保体系，降低中小

企业的转型成本。深化区域合作与对外开放，合理利用外商直接投资，引入先进技术与管理经验，促进海洋产业要素自由流动与优化配置，全方位保障数实融合赋能海洋产业链韧性提升。

## 参考文献（References）：


[1] 王泽彩．提升产业链供应链韧性和安全水平的思考[J]．人民论坛，2025(9)：27-31．
WANG Zecai．Thoughts on improving the toughness and safety level of industrial chain supply chain[J]．People's Tribune，2025(9)：27-31．

[2] 张其仔．中国产业竞争力报告 (2023・No.12)[M]．北京：社会科学文献出版社，2023．
ZHANG Qizi．Annual report on industrial competitiveness of China (2023・No.12)[M]．Beijing：Social Sciences Literature Publishing House，2023．

[3] MARTIN R，SUNLEY P，GARDINER B，et al．How regions react to recessions：resilience and the role of economic structure[J]．Regional Studies，2016，50(4)：561-585．

[4] 宋华，韩梦玮，沈凌云．人工智能在供应链韧性塑造中的作用：基于迈创全球售后供应链管理实践的案例研究[J]．中国工业经济，2024(5)：174-192．
SONG Hua，HAN Mengwei，SHEN Lingyun．How does AI play a role in shaping supply chain resilience：a case study based on maitrox's global after-sales supply chain management practice[J]．China Industrial Economics，2024(5)：174-192．

[5] PONOMAROV S Y，HOLCOMB M C．Understanding the concept of supply chain resilience[J]．The International Journal of Logistics Management，2009，20(1)：124-143．

[6] 赵宇，叶仕奇，杨翠红，等．大数据视角下产业链韧性的测度、关联与归因[J]．中国工业经济，2025(2)：61-79．
ZHAO Yu，YE Shiqi，YANG Cuihong，et al．Measurement，connectedness and attribution of China's industrial chain resilience from the perspective of big data[J]．China Industrial Economics，2025(2)：61-79．

[7] 张春霆，赵林，宋小语．中国海洋产业链现代化水平测度与影响因素研究[J]．资源开发与市场，2024，40(10)：1525-1534．
ZHANG Chunting，ZHAO Lin，SONG Xiaoyu．Research on the measurement and influencing factors of modernization level of China's marine industry chain[J]．Resource Development & Market，2024，40(10)：1525-1534．

[8] TIAN Y．Supply chain finance and industrial chain resilience：based on the pilot "chain chief" system[J]．International Review of Financial Analysis，2025，103：104892．

[9] 贾卫峰，蒋泽宇．人工智能应用对产业链韧性的影响研究：数字创新生态系统驱动视角[J]．科研管理，2025，46(12)：23-32．
JIA Weifeng，JIANG Zeyu．A study on the impact of artificial intelligence applications on industry chain resilience：a digital innovation ecosystem-driven perspective[J]．Science Research Management，2025，46(12)：23-32．

[10] 郭逸凡，叶芳．新质生产力、海洋技术创新对海洋产业链韧性的影响机制与实证检验[J]．海洋开发与管理，2025，42(7)：133-144．
GUO Yifan，YE Fang．The impact mechanism and empirical test of new quality productive forces and marine technology innovation on the resilience of the marine industry chain[J]．Ocean Development and Management，2025，42(7)：133-144．

[11] 陶锋，王欣然，徐扬，等．数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J]．中国工业经济，2023(5)：118-136．
TAO Feng，WANG Xinran，XU Yang，et al．Digital transformation，resilience of industrial chain and supply chain，and enterprise productivity[J]．China Industrial Economics，2023(5)：118-136．

[12] 钞小静，廉园梅，元茹静，等．数字基础设施建设与产业链韧性：基于产业链恢复能力数据的实证分析[J]．数量经济技术经济研究，2024，41(11)：112-131．
CHAO Xiaojing，LIAN Yuanmei，YUAN Rujing，et al．Digital infrastructure construction and industrial chain resilience：empirical analysis based on industrial chain recovery capability data[J]．Journal of Quantitative & Technological Economics，2024，41(11)：112-131．

[13] 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．

[14] VIAL G．Understanding digital transformation[M]//Managing Digital Transformation．Abingdon，Oxon，New York：Routledge，2021：13-66．

[15] YU Jiatong，WANG Jiajue，MOON T. Influence of digital transformation capability on operational performance[J]. Sustainability，2022，14(13)：7909.

[16] 何德旭，张昊，刘蕴霆. 新型实体企业促进数实融合提升发展质量[J]. 中国工业经济，2024(2)：5-21.
HE Dexu，ZHANG Hao，LIU Yunting. New substantive enterprises promote the digital-substantive integration and improve the quality of development[J]. China Industrial Economics，2024(2)：5-21.

[17] 吴云勇，孟昕儒. 数实融合如何赋能提升产业链韧性：理论机制与实证检验[J]. 商业研究，2025(6)：12-27.
WU Yunyong，MENG Xinru. Enhancing industrial chains resilience through digital-physical integration：theoretical mechanisms and empirical evidence[J]. Commercial Research，2025(6)：12-27.

[18] 安起光，王永凯，刘霏霓，等. 数实融合与产业链韧性：影响效应与作用机制[J]. 统计与决策，2025，41(22)：61-67.
AN Qiguang，WANG Yongkai，LIU Feini，et al. Digital-real integration and industrial chain resilience：influence effect and mechanism[J]. Statistics & Decision，2025，41(22)：61-67.

[19] 杜运苏，陈汉. “数实融合”如何提升产业链韧性：内在机制与全球经验[J]. 南开经济研究，2025(9)：78-96.
DU Yunsu，CHEN Han. How digital-substantive integration enhances industrial chain resilience：mechanisms and global experiences[J]. Nankai Economic Studies，2025(9)：78-96.

[20] 杨昀，金碧云，严若菁. 数实融合、金融支持与产业链韧性：基于门槛效应和空间溢出效应的分析[J]. 现代管理科学，2025(3)：66-80.
YANG Yun，JIN Biyun，YAN Ruojing. Digital-real integration，financial support and industrial chain resilience：an analysis based on threshold effect and spatial spillover effect[J]. Modern Management Science，2025(3)：66-80.

[21] 孔陇，赵福昕. 新发展格局下提升产业链韧性的内涵、耦合逻辑与实践[J]. 财会月刊，2023，44(24)：135-139.
KONG Long，ZHAO Fuxin. Connotation，coupling logic and practice of improving the toughness of industrial chain under the new development pattern[J]. Finance and Accounting Monthly，2023，44(24)：135-139.

[22] QUEIROZ M M，PEREIRA S C F，TELLES R，et al. Industry 4.0 and digital supply chain capabilities：a framework for understanding digitalisation challenges and opportunities[J]. Benchmarking，2021，28(5)：1761-1782.

[23] 白新华，李国英. 以数实融合提升产业链供应链韧性的现实思考[J]. 区域经济评论，2023(6)：63-68.
BAI Xinhua，LI Guoying. Realistic thinking on improving the resilience of industrial chain and supply chain through the integration of digital economy and real economy[J]. Regional Economic Review，2023(6)：63-68.

[24] 罗仲伟，孟艳华. “十四五”时期区域产业基础高级化和产业链现代化[J]. 区域经济评论，2020(1)：32-38.
LUO Zhongwei，MENG Yanhua. Regional industrial base advanced and modernization of industrial chain daring the 14th five-year period[J]. Regional Economic Review，2020(1)：32-38.

[25] 苟露峰，王宁. 数字技术对海洋产业生态化的影响：以青岛市为例[J]. 海洋开发与管理，2023，40(9)：110-116.
GOU Lufeng，WANG Ning. Study on the impact of digital technology on the ecological development of marine industry：a case study of Qingdao[J]. Ocean Development and Management，2023，40(9)：110-116.

[26] 夏杰长，苏敏. 以数实融合推动现代化产业体系建设[J]. 改革，2024(5)：12-23.
XIA Jiechang，SU Min. Promoting the construction of modern industrial systems through the integration of digital and real-world industries[J]. Reform，2024(5)：12-23.

[27] LI Zhihong. Study on the adjustment and upgrade of the industrial structure in the global value chain[C]//2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence，Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC). August 8-10，2011，Dengleng. Piscataway，NJ：IEEE，2011：2433-2436.

[28] 赵星，李若彤，贺慧圆. 数字技术可以促进创新效率提升吗？[J]. 科学学研究，2023，41(4)：732-743.
ZHAO Xing，LI Ruotong，HE Huiyuan. Does digital technology promote innovation efficiency?[J]. Studies in Science of Science，2023，41(4)：732-743.

[29] 苏泽鹏，林上钧，许玉萍. 数字技术赋能中国海洋经济高质量发展研究[J]. 海洋开发与管理，2025，42(6)：122-135.
SU Zepeng，LIN Shangjun，XU Yuping. The study of digital technology empowering high-quality development of China’s marine economy[J]. Ocean Development and Management，2025，42(6)：122-135.

[30] 郑涛，杨如雪. 高技术制造业的技术创新、产业升级与产业韧性[J]. 技术经济，2022，41(2)：1-14.
ZHENG Tao，YANG Ruxue. Technological innovation，industrial upgrading and industrial resilience of high-tech manufacturing

industry[J]. Journal of Technology Economics，2022，41(2)：1-14.

[31] 庞磊，阳晓伟．中国产业链关键环节自主可控何以实现：对高新技术企业集聚效应与技术创新的考察[J]．南方经济，2023(5)：107-126.

PANG Lei，YANG Xiaowei．How to independently control the key links of China's industrial chain：a study on the agglomeration effects and technological innovations of high-tech enterprises[J]．South China Journal of Economics，2023(5)：107-126.

[32] 张樨樨，张鹏飞，徐子轶．海洋产业集聚与海洋科技人才集聚协同发展研究：基于耦合模型构建[J]．山东大学学报（哲学社会科学版），2014(6)：118-128.

ZHANG Xixi，ZHANG Pengfei，XU Ziyi．The coupling evaluation model of China's marine industrial aggregation and marine science and technology talents aggregation[J]．Journal of Shandong University (Philosophy and Social Sciences)，2014(6)：118-128.

[33] 王韡，舒莉．人力资本、产业结构与城市创新：来自高校扩招的证据[J]．世界经济文汇，2025(1)：22-45.

WANG Wei，SHU Li．Human capital，industrial structure and city-level innovation：evidence from higher education expansion in China[J]．World Economic Papers，2025(1)：22-45.

[34] 张伟，李航宇，张婷．中国制造业产业链韧性测度及其时空分异特征[J]．经济地理，2023，43(4)：134-143.

ZHANG Wei，LI Hangyu，ZHANG Ting．Measuring the resilience of China's manufacturing industry chain and its spatial-temporal differentiation[J]．Economic Geography，2023，43(4)：134-143.

[35] 周密，王雷，郭佳宏．新质生产力背景下数实融合的测算与时空比较：基于专利共分类方法的研究[J]．数量经济技术经济研究，2024，41(7)：5-27.

ZHOU Mi，WANG Lei，GUO Jiahong．Measurement and temporal-spatial comparison of the integration of the digital economy and the real economy in the context of new quality productivity：based on the patent co-classification method[J]．Journal of Quantitative & Technological Economics，2024，41(7)：5-27.

[36] 郭志钢，李怡然，王倩．创新异质性、产业结构升级与经济增长[J]．统计与决策，2022，38(5)：121-125.

GUO Zhigang，LI Yiran，WANG Qian．Innovation heterogeneity，industrial structure upgrading and economic growth[J]．Statistics & Decision，2022，38(5)：121-125.

[37] 郭庆然，容雷博．环境规制对中国区域产业链韧性的影响：基于产业结构升级的调节效应[J]．生态经济，2025，41(7)：145-156.

GUO Qingran，RONG Leibo．The impact of environmental regulation on the resilience of China's regional industrial chain based on the adjustment effect of industrial structure upgrading[J]．Ecological Economy，2025，41(7)：145-156.

[38] 甘水玲，张虎翼，芮绍炜．基于中介效应和调节效应的科技人才队伍对经济发展的影响机制研究：以浙江省海洋科技领域为例[J]．华东科技，2023(5)：117-122.

GAN Shuiling，ZHANG Huyi，RUI Shaowei．Research on the influence mechanism of scientific and technological talents team on economic development based on intermediary effect and regulatory effect：a case study of marine science and technology in Zhejiang Province[J]．East China Science & Technology，2023(5)：117-122.