编者按：

海洋是高质量发展战略要地，发达的海洋经济是建设海洋强国的重要支撑。数据是新质生产力的关键要素，而海洋统计数据的深度挖掘、科学性和实效性是制约海洋经济发展和治理能力现代化的主要瓶颈。因此，提升数字经济水平将是实现海洋产业高质量发展的必然选择。本期“海洋经济与可持续发展”栏目重点关注数字赋能海洋经济高质量发展。

《我国海洋产业数字化水平测度与时空演化分析》在厘清海洋产业数字化内涵的基础上，构建我国海洋产业数字化发展指标体系，在此基础上运用多种空间计量模型对我国海洋产业数字化水平的时空演化规律进行深入分析。《数字普惠金融是否增强海洋城市经济韧性》探讨政府金融监管下的数字普惠金融对海洋城市经济韧性的影响作用，以助力海洋中心城市和数字海洋城市的建设。《数字化转型提升了涉海企业创新能力吗?》以中国涉海上市公司为研究对象，实证分析涉海上市公司数字化转型对企业创新能力的影响，为数字经济与海洋经济融合发展提供参考。3 篇文章就我国数字经济助力海洋经济发展从多方面进行论述并提出建议，为在加快海洋强国建设中发挥重要作用。

本刊将持续关注数字经济等海洋新质生产力等理论热点和实践应用难点，聚焦海洋强国建设的重大战略问题，希望广大读者朋友和学者们广泛关注。

郭建科教授

期刊副主编

辽宁师范大学海洋可持续发展研究院院长

我国海洋产业数字化水平测度与时空演化分析

邵业[1,2]，宁凌[1,2]，欧春尧[1,2]，曹阳春[1,2]

（1.广东海洋大学管理学院　湛江　524088；2.广东沿海经济带发展研究院　湛江　524088）

摘要：文章在厘清海洋产业数字化相关概念的前提下，基于钻石模型构建了海洋产业数字化水平测度指标体系并采用投影寻踪模型测度 2014—2020 年我国沿海 11 个省（自治区、直辖市）的海洋产业数字化水平；在此基础上运用多种空间计量模型对我国海洋产业数字化水平的时空演化规律进行深入分析。研究发现：我国海洋产业数字化水平总体上呈现快速增长趋势，但不同区域沿海省（自治区、直辖市）之间存在一定差异；区域内差异是研究期内我国海洋产业数字化水平地区差异的主导因素，其中北部沿海地区内部差异最大，东部沿海地区内部差异最小，南部沿海地区内部差异居中；三大海洋经济圈内海洋产业数字化集聚形式各具特征：北部海洋经济圈内沿海省（自治区、直辖市）形成“高－低”集聚型，南部海洋经济圈内沿海省（自治区、直辖市）形成“低－高”集聚

收稿日期：2023-12-08；**修订日期：**2024-01-15

基金项目：国家社科基金重大项目“我国海洋战略科技力量体系化建设研究”（22&ZD152）；广东省哲学社会科学“十四五”规划项目“‘粤西数谷’创新生态系统培育及治理研究：基于颠覆性创新的分析框架”（GD21YDXZGL03）；广东海洋大学科研启动经费资助项目“AI 赋能下颠覆性创新生态系统演化机制及其协同治理研究”（060302092102）.

作者简介：邵业，硕士研究生，研究方向为产业经济管理

通信作者：欧春尧，讲师、硕士生导师，博士，研究方向为技术创新管理

型，东部海洋经济圈内沿海省（自治区、直辖市）则形成“高－高”集聚型。

关键词：海洋产业；数字化水平测度；钻石模型；时空演化分析

中图分类号：F273.1；P74 **文献标志码**：A **文章编号**：1005－9857(2024)01－0003－12

Analysis of Digital Level Measurement and Spatial and Temporal Evolution of China′s Marine Industry

SHAO Ye[1,2]，NING Ling[1,2]，OU Chunyao[1,2]，CAO Yangchun[1,2]

(1. School of Management Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. Guangdong Academy of Coastal Economic Belt Development, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: On the premise of clarifying the related concepts of marine industry digitalization, the index system of marine industry digital level is constructed based on the “diamond model” and the projection tracing model is used to measure the digital level of marine industry in 11 coastal provinces and cities from 2014 to 2020; on this basis, the evolution law of the digital level of China marine industry is analyzed in depth. The research found that: the digital level of China′s marine industry generally shows a rapid growth trend, however, there are some differences between the coastal provinces in different regions; Regional differences are the dominant factor for the regional differences in the digital level of China′s marine industry during the research period. Among them, the northern coastal areas, the eastern coastal region has minimal internal variation, the internal differences in the southern coastal areas are in the middle; The digital agglomeration forms of marine industries in the three marine economic circles have their own characteristics: the coastal provinces and cities in the northern marine economic circle form “high-low” agglomeration type, the coastal provinces and cities in the southern marine economic circle form “low-high” agglomeration type, and the coastal provinces and cities in the eastern marine economic circle form “high-high” agglomeration type.

Keywords: Marine industry, Digital horizontal measurement, Diamond model, Space-time evolution analysis

0 引言

“双循环”政策与数字经济交互融合的新格局下，海洋经济作为我国国民经济发展的新增长点，不仅是国家经济安全的重要保障，更为未来国民社会发展提供广阔战略空间。当下海洋经济发展模式正从粗放增长转向集约增长，而产业数字化作为海洋经济发展的未来抓手，对于优化我国现行海洋产业发展方式，进而搭建我国海洋战略科技力量体系具有深远意义。新一轮产业革命和技术革命的加速洗礼下，以大数据、云计算、5G 为代表的数字技术与多类产业加速融合，数据作为新兴生产要素赋予了各产业数字化转型的新动能[1]。其中我国“数字海洋”工程以“一个平台、一个原型、一个系统”为核心融合大量前沿数字信息技术，显著提高了各类海洋产业数字化程度[2]，合理测度我国海洋产业数字化水平，从学理角度能够丰富国内产业体系数字化相关研究；从实践角度能够为各沿海地区海洋产业转型发展提供评估依据，但目前研究却鲜有涉及。多省（自治区、直辖市）将“海洋产业数字化发展、数字技术与海洋产业深度融合”等政策纳入“十四五”规划，然而有学者指出数字经济驱动海洋经济高质量发展的同时，我国海洋产业发展水平仍存

在一定地域发展特征与差距[3]。同时当下海洋产业数字化研究多局限于零散而单一海洋区域，缺乏从我国沿海整体区域层面的全面比较分析。鉴于此，本文在厘清海洋产业数字化内涵的基础上，构建我国海洋产业数字化发展指标体系，并利用相关空间计量模型综合分析我国海洋产业数字化发展水平、地区差异及时空演化特征。对各沿海地区依据自身海洋产业数字化发展特征，统筹打造我国“数字海洋”工程具有一定的理论和实践指导意义。

1　文献综述

当下数字化、智能化的生产要素渗透到海洋产业链的上下游，数字技术作为驱动海洋经济发展的新动能，以现代信息网络为载体引发传统与新兴海洋产业的数字转型发展。学者们主要从数字产业化和产业数字化两者赋能角度来分析数字经济情景下特定产业的发展，其中前者强调以数字技术的信息增值特征，打造新的产品和服务流程来形成新的产业链；后者强调以数字技术的融合驱动特征，提高融合产业整体的产出和效率并最终推动产业的数字化转型[4]，可见前者的发展能够为后者提供数字化技术、产品及基础设施等要素。而 Wang 等[5]研究发现在海洋资源日益匮乏的当下，将数字技术应用于海洋技术研发、装备制造、信息收集等流程中，能够有效提升海洋产业的可持续发展；同时也有学者指出数字经济驱动数据和科技要素的累积投入能够显著促进中国海洋产业的高质量发展[6]。综合已有学者研究，本文将海洋产业数字化界定为：为全面利用海洋资源和高效提升海洋经济，以数字技术为核心驱动力、以数字化的信息与知识为关键生产要素对海洋产业进行深度整合和构筑，从而全面提升海洋产业生产、管理、服务等各方面的效率和质量。

现有国内外学者对海洋产业数字化发展的研究大致可分为以下两个层面。

(1)不少学者重点关注数字技术在具体海洋产业中的应用：Ellingsen 等[7]以海事服务行业为例，提出产业数字政策、数字技术及数字化组织模式等要素能够有效推动海洋产业的转型发展；孙林杰等[8]重点揭示当下我国海洋牧场数字技术创新协同网络的运行机制与演化特征。

(2)另有学者开始定量测算数字要素在海洋经济高质量发展中的重要作用：孙才志等[9]构建了数据生产要素的投入－产出指标体系，研究发现国内海洋经济地区数字要素化水平不断增加；蹇令香等[10]引入机器学习算法，研究发现数字创新驱动了我国海洋产业高质量发展；但目前国内关于海洋产业数字化水平的研究仍需进一步深入。

近年来数字经济驱动下不同产业数字化水平测度研究引发学者们的重点关注：汤渌洋等[11]从数字基础设施、数字创新能力、数字技术应用和数字产业规模 4 个角度构建指标体系对中国不同省份的数字经济发展水平进行测算；阳立高等[12]基于容量耦合系数模型测算了我国数字经济和制造业融合发展指数，并对其时空特征进行分析；方慧等[13]从产业投入要素和产出绩效建立指标体系，测度了我国文化产业的数字化水平并研究其出口效应，可见在结合产业发展特征基础上建立科学指标体系是当下学者测算产业数字化水平的主要趋势。同时 Kechagias[14]在海洋产业数字化现实情景中的研究发现，在海洋产业中过度使用数字化技术容易引发生产要素投入失衡、跨地域市场不当竞争、数字网络攻击等问题，从而不利于海洋产业的良性发展，因此合理测度海洋产业数字化发展水平进而揭示其不同地域演化特征就显得尤为关键。

针对理论缺口与现实需要，本文在充分考虑国内海洋数字产业发展特征的基础上，综合运用多种计量模型对我国海洋产业数字化水平及其时空演化规律进行分析，以期为各沿海省（自治区、直辖市）海洋产业数字化进程与国家“数字海洋”工程推进提供理论借鉴与实践指导。

2　海洋产业数字化水平测度

2.1　海洋产业数字化水平测度指标体系构建

有学者提出数字海洋经济作为结合数字海洋、数字经济、海洋经济的交叉概念，是相关海洋产业与数字信息技术协同发展的新型经济形态[15]，可见海洋产业数字化作为数字海洋经济的核心现实支撑，其本质是运用数字海洋产业化过程中的数字技术和数据要素，赋能实体海洋产业全要素数字化转

型和升级的过程，针对此本文结合钻石模型在评价产业竞争力方面的优势来构建指标体系。为使指标体系更符合我国海洋产业数字化发展特征，在借鉴已有学者相关研究成果的基础上对“钻石模型”优化拓展，从生产要素、需求条件、产业融合、企业结构与产业竞争、政府支持与公共基础等 5 个方面构建相关指标，对指标体系构建依据与部分指标度量方式说明如下：生产要素包括初级生产要素（海洋资源要素）和高级要素（海洋资本、人才、数字技术要素）[16]，其中海洋资本要素借鉴马树才等[17]的测算方法，采用地区海洋资本存量来衡量；需求条件作为产业数字化发展的重要动力，参考魏和清等[18]的研究由海洋市场需求、信息技术就业需求、数字化交易需求 3 个指标组成；唐欣等[19]认为产业数字化主要表现为数字产业与被赋能产业融合协调的过程，借鉴其数字耦合研究及测算方式考察海洋科技耦合水平、海洋数字金融耦合水平、海洋科研教育耦合水平；企业结构与产业竞争是产业数字化的关键要素，宁凌等[20]认为企业是海洋科技研发的来源，而相较于涉海国有企业，非国有企业的海洋科技研发能力更强，同时借鉴梁树广等[21]对于产业竞争形式的研究，以海洋数字专利数（IncoPat 专利数据库中以“海洋”“数字”“技术”等关键词检索）和涉海技术交易（国家海洋技术转移中心数据）构建产业数字化产出来衡量；最后，汤渌洋等[11]指出数字基础与政府支持是产业数字化的基本保障，并参考其研究选取指标体系。进一步在海洋领域专业学者的指导下选取相关二级测量指标，修改完善并构建了如下海洋产业数字化水平评价指标体系（表 1）。

表 1 海洋产业数字化水平评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of the digital level of the marine industry

目标层	准则层	一级指标	二级指标	指标类别
海洋产业数字化水平测度	生产要素[16]	海洋资源要素（以省域沿海地区为准）	人均海岸线拥有长度/(m·人$^{-1}$)	+
		海洋资本要素[17]	海洋资本存量＝地区资本存量×(海洋生产总值/地区生产总值)	+
		海洋人才要素	高等教育海洋专业本科及以上人数/万人 R&D 劳动生产率＝海洋研究开发机构成果/机构从业人数	+ +
		海洋数字技术要素	R&D 经费内部支出或主营业务支出/% 每万人海洋机构单位拥有数字专利数/个	+ +
	需求条件[18]	海洋市场需求	海洋生产总值占地区生产总值比重/% 海洋货物周转量/(万 t·km^{-1})	+ +
		海洋信息技术就业需求	海洋信息服务就业人数占总就业人数比重/% 从事海洋技术服务业人数占总就业人数比重/%	+ +
		海洋数字交易需求	电子商务交易类海洋企业占总企业的比例/% 每百家海洋类机构拥有的网站数/个	+ +
	产业融合[19]	海洋科技耦合水平	海洋产业与高科技产业耦合协调度	+
		海洋数字金融耦合水平	海洋产业与数字金融产业耦合协调度	+
		海洋科研教育耦合水平	海洋产业与科研教育服务业耦合协调度	+
	企业结构与产业竞争	企业科技研发[20]	涉海非国有企业比重＝ 1－国有控股涉海企业产值占区域海洋企业总数比重/% 涉海高技术企业比重/%	+ +
		产业数字化产出[21]	海洋数字专利数/个 涉海技术交易/项	+ +
	数字基础与政府支持[11]	数字基础设施（以省域沿海地区为准）	光缆密度/(km·km^{-2}) 移动电话普及率/(部·百人$^{-1}$) 每人拥有互联网域名数/个	+ + +
		政府支持	政府海洋产业发展投入占财政总支出的比重/% 组织海洋相关活动次数/次	+ +

2.2　海洋产业数字化水平测度方法

投影寻踪模型是由 Friedman 等在 1974 年首次引用来分析和处理高维数据的统计方法[22]，相较于熵值法与主成分分析法等传统处理方法，能够更加客观全面地反映测度对象综合水平。其相关公式与计算步骤如下：

(1)数据归一化处理(级差变化法)

当 x_{ij} 为正向指标时：

$$Y_{ij}=\frac{x_{ij}-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \tag{1}$$

当 x_{ij} 为逆向指标时：

$$Y_{ij}=\frac{x_{\max}-x_{ij}}{x_{\max}-x_{\min}} \tag{2}$$

式中：Y_{ij} 为处理后标准化指标；$x_{\max}$ 与 $x_{\min}$ 分别为第 j 个指标值中的最大值与最小值。

(2)构建投影指标函数

构建 α 为 m 维单位投影单位向量，记为 $\alpha=(a_1,\cdots,a_m)$，将高维向量线性投影至一维空间并寻求最佳投影方向，用 Z_i 表示 Y_{ij} 的线性投影：

$$Z_i=\sum_{i=1}^{m}aj\times Y_{ij},\ i=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

(3)构建目标函数

为使在一定时期 t 内寻找到高维指标的数据结构特征，故要求线性投影 Z_i 在一维空间散布的类间距 S_z 尽可能大，同时要求局部密度 D_z 尽可能小。因而构建 $Q_t(Z)=S_t(Z)\times D_t(Z)$ 为目标函数，$S_t(Z)$ 与 $D_t(Z)$ 分别为投影特征值 Z_i 的标准差与局部密度，公式如下所示：

$$S_t(Z)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_i-E_z)}{n-1}} \tag{4}$$

$$D_t(Z)=(R-r_{ij})\times f(R-r_{ij}) \tag{5}$$

式(4)、式(5)中：用 E_z 代表投影值 Z_i 的均值；用 R 表示密度窗口半径，取值一般为 $0.1\times S_z$；两两投影特征 Z_i、Z_j 之间的距离用 r_{ij} 表示，计为 $r_{ij}=|z_i-z_j|$；$f(*)$ 为单位跃迁函数，当 $R-r_{ij}\geqslant 0$ 时取值为 1，否则为 0。

(4)求解最佳投影向量(优化投影方向)

在给定的时期 t 内，投影目标函数 $Q_t(Z)$ 会随着投影方向的改变而改变，寻找最佳投影方向能够尽量发掘高维数据某类结构，本文使用遗传算法来估计 $Q_t(Z)$ 最佳投影方向：

$$\begin{cases}\gamma_t^{*}=\operatorname{argmax}Q_t(Z)\\ s.t.\ \|a_t\|=1\end{cases} \tag{6}$$

式中：γ_t^{*} 为给定计算时期内的最优单位向量，$s.t.$ 为约束条件。

(5)计算研究时期内各期的综合指数

根据第三部分计算出的目标函数值为权重，对各期最优单位向量 γ_t^{*} 进行加权平均得到研究期平均最优单位向量 $\bar{\alpha}$，在此基础上利用最优单位向量计算出各期的综合指数 Z_t^{*}：

$$\bar{\alpha}=\sum_{t=1}^{T}\frac{P(z)}{\sum_{t=1}^{T}P(z)}\gamma_t^{*} \tag{7}$$

$$Z_t^{*}=\sum_{j=1}^{P}\gamma_t^{*}y_{ij}^{t} \tag{8}$$

2.3　相关数据来源及操作说明

依据上文所构建的海洋产业数字化测度指标体系，本文主要选取了我国 11 个沿海省(自治区、直辖市)的基础数据，相关数据来源包括两个部分：①统计年鉴部分包含了《中国统计年鉴》《中国海洋统计年鉴》《中国海洋经济统计公报》《中国数字经济发展报告》《中国科技统计年鉴》、国家与省级统计年鉴以及相关统计局数据；②数据库部分包含了国泰安数据库、IncoPat 专利数据库、Wind 数据库、RESSET 数据库等权威数据库，少部分数据根据指标体系需要进行修复加工。

本文的研究时间界定为 2014—2020 年，主要是基于以下两个方面考虑：一是结合中国海洋产业数字化发展进程。中国“数字海洋”工程于 2014 年正式从实施阶段转为应用服务阶段，同时国家战略层面提倡数字经济与实体产业的深度融合也加快了海洋产业数字化进程；二是确保相关数据的权威性和易获得性。在搜集资料阶段发现，2014 年前各沿海省(自治区、直辖市)相关海洋产业数字化数据缺失严重，而2020 年之后的相关数据缺乏获取渠道且存在一定程度失真性。鉴于此，本文将研究时间界定为 2014—2020 年，部分地区缺失数据采用线性插值法和估值法进行补充。

2.4 测度结果与分析

基于以上评价指标体系与投影寻踪模型，利用 Matlab2021 分析软件对我国 11 个沿海省（自治区、直辖市）的海洋产业数字化水平进行测度，相关结果如表 2 所示。

表 2 2014—2020 年沿海省（自治区、直辖市）海洋产业数字化水平测度结果

Table 2 Measurement results of marine industry digital level in coastal provinces (autonomous regions and cities) from 2014 to 2020

地区	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
辽宁	1.17	1.21	1.38	1.46	1.58	1.70	1.56
河北	0.14	0.18	0.25	0.31	0.39	0.50	0.33
天津	1.56	1.63	1.68	1.70	1.74	1.81	1.71
山东	1.53	1.65	1.74	1.78	1.86	2.03	1.89
江苏	1.59	1.69	1.78	1.86	2.01	2.13	2.03
上海	2.33	2.44	2.67	2.75	2.91	2.99	2.89
浙江	1.58	1.67	1.76	1.89	1.98	2.09	1.99
福建	1.50	1.58	1.71	1.73	1.76	1.83	1.75
广东	2.30	2.40	2.68	2.73	2.89	3.01	2.90
广西	0.21	0.20	0.29	0.43	0.49	0.64	0.51
海南	0.23	0.26	0.33	0.43	0.65	0.86	0.74
均值	1.29	1.36	1.48	1.55	1.66	1.78	1.66
标准差	0.78	0.81	0.82	0.80	0.82	0.80	0.81

研究发现：我国海洋产业数字化水平总体上呈快速增长趋势，2014—2019 年我国沿海省（自治区、直辖市）海洋产业数字化水平增幅均值为 0.49（1.29～1.78）。2016 年和 2019 年，我国海洋产业数字化水平均值增幅均达到 0.12，研究期内有 7 个沿海省（自治区、直辖市）超过平均水平，占比为 63.6%。值得注意的是，不同沿海地区海洋产业数字化水平仍存在明显地域差异：东部沿海地区海洋产业数字化总体水平较高（如，上海、江苏），南部沿海地区居中，而北部沿海地区海洋产业数字化水平较低；同时不可忽视，我国北部和南部沿海地区内部海洋产业数字化水平之间仍存在着明显差异（如，山东和河北、广东与广西）。然而由于新冠疫情对相关数字海洋产业的冲击，2020 年我国沿海各省（自治区、直辖市）海洋产业数字化水平出现一定程度“倒退”，其中北部沿海地区受影响较大，除山东以外其他地区的海洋产业数字化水平均低于 2018 年正常水平；东部沿海地区受影响较小，比 2019 年海洋产业数字化水平下降 3%～4%；南部沿海地区受影响居中，比 2019 年海洋产业数字化水平下降 4%～5%。

3 海洋产业数字化水平时空特征分析

从时间和空间多维角度分析特定产业发展趋势有助于全面揭示其动态演进逻辑和多重区位影响因素。而相较于时间维度，基于空间维度的产业发展评估与预测更兼顾了区域特征和现实情景，具有更强的实践性。当下学者们主要运用基尼系数及其子圈分解法、空间杜宾模型、Moran 指数等计量模型工具来进行产业空间计量分析，然而不同空间模型工具在区域产业内部及产业不同区域之间的分析各有优劣，因而本文综合运用多种模型工具对中国海洋产业数字化的时空演化特征进行分析。

3.1 分析方法与内容

3.1.1 基于泰尔指数（Theil index）的区域差异分析

泰尔指数是由经济学家 Theil 于 1967 年提出的评价对象发展是否均衡并可揭示局部发展差异的指数，其具有的可分解性优势被学者广泛应用于区域经济发展差距与资源公平配置等研究问题，同时泰尔指数还可凸显区域内外部的差异各自对总体差异的贡献率进而可以识别不同层次、不同组别的公平性。

本文利用泰尔指数分析的意义在于：虽然学者们指出数字经济促进我国海洋产业转型发展存在区域差异[3,9]，但对未能揭示造成区域差异的地区内部和外部特征以及区域差异随时间的变化趋势，这对制定海洋产业数字化发展地区区域政策具有重要参考价值。同时，本文针对我国北部、东部和南部沿海地区海洋产业数字化差异做进一步分析，公式如下：

$$\mathrm{Theil}_N = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{P_N} \ln\left(\frac{P_i/P_N}{r_i/r_N}\right) \tag{9}$$

$$\mathrm{Theil}_E = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{P_E} \ln\left(\frac{P_i/P_E}{r_i/r_E}\right) \tag{10}$$

$$\text{Theil}_S = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{P_S} \ln\left(\frac{P_i/P_S}{r_i/r_S}\right) \tag{11}$$

$$\text{Theil}_a = P_N \times \ln\left(\frac{P_N}{r_N}\right) + P_E \times \ln\left(\frac{P_E}{r_E}\right) + P_S \times \ln\left(\frac{P_S}{r_S}\right) \tag{12}$$

$$\text{Theil}_b = P_N \times \text{Theil}_N + P_E \times \text{Theil}_E + P_S \times \text{Theil}_S \tag{13}$$

$$T = \text{Theil}_a + \text{Theil}_b \tag{14}$$

式中：Theil_N、Theil_E、Theil_S 分别为我国北部、东部、南部沿海地区的泰尔指数；Theil_a、Theil_b、T 分别为区域内，区域间以及总的泰尔指数；P_i 表示 i 地区人口占全国沿海地区人口比重；P_N、P_E、P_S 分别为北部、东部、南部沿海地区人口占全国沿海地区人口比重；r_N、r_E、r_S 分别为北部、东部、南部沿海地区某项指标占全国沿海地区综合指标的比重。

3.1.2　基于莫兰指数(Moran)的空间相关性分析

莫兰指数是用于量化空间数据中的空间自相关性的统计指标，以此分析空间模式是否呈现集聚或离散的趋势，本文主要从全局莫兰指数(Global Morans′ I，记为 I_0)和局部莫兰指数(Local Morans′I，记为 I_1)两个角度来衡量沿海城市产业数字化空间数据特征：全局莫兰指数能够反映整体测量区域是否存在集聚效应，以揭示目标区域的平均相关程度；而局部莫兰指数作为莫兰指数的一种衍生形式，用于衡量空间数据中特定位置与周围位置的相关性，从而体现在不同空间下的异质性。具体而言，局部莫兰指数能够分析我国沿海省(自治区、直辖市)在海洋产业数字化过程中与周边省、市的关系，相关公式如下：

$$I_0 = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\sum_{j=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}} \tag{15}$$

$$I_1 = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(x_j - \bar{x}) \tag{16}$$

式(15)和式(16)中：n 为测度地区总数(取 $n=11$)；$S^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})$ 为各地区指标的标准差，$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$ 为各地区指标的均值，x_i 为地区的观测值；w_{ij} 作为空间权重矩阵一般用区域与区域的邻近标准来度量，即当区域与区域相邻接时取值为 1，否则取 0。

上述公式计算过程中，莫兰指数的取值范围为[−1,1]，正值表示邻近空间存在正相关性，负值表示邻近空间存在负相关性，0 值则表示无相关性，且取值越接近于−1 或 1，代表空间区域之间的自相关性越强。

3.2　结果分析

3.2.1　区域差异结果分析

根据上文所介绍的泰尔指数计算步骤，通过 Stata 16.0 分析软件对于我国沿海 11 个省(自治区、直辖市)海洋产业数字化水平的区域差异进行测算与分解，相关结果如表 3 和表 4 所示。

表 3　2014—2020 年海洋产业数字化水平泰尔指数测算结果

Table 3　Measurement results of Theil Index of digital level of marine industry from 2014 to 2020

年份	区域间	区域内	总差异	区域间贡献率/%	区域内贡献率/%
2014	0.015	0.132	0.147	10.25	89.76
2015	0.015	0.129	0.144	10.58	89.42
2016	0.014	0.122	0.136	10.30	89.70
2017	0.014	0.113	0.127	11.04	88.96
2018	0.013	0.109	0.122	11.02	88.98
2019	0.011	0.104	0.115	9.90	90.10
2020	0.012	0.111	0.123	9.44	90.56

从表 3 的数据结果显示，在 2014—2020 年的研究期内，我国海洋产业数字化水平的地区总差异由 2014 年的 0.147 下降至 2019 年的 0.115，后由于新冠疫情引发的产业发展环境冲击而略微升至 2020 年的 0.123，总体上呈现下降趋势。进一步地，将所得总差异分解为区域内及区域间差异，可以发现海洋产业数字化水平在区域内变动差异与区域间变动差异大致都呈现下降趋势，但区域内差异下降幅度要明显高于区域间差异下降幅度，由此表明总差异的下降趋势主要是由区域内差异变动引起

的。而从总差异的相关贡献率来看，区域间和区域内的差异贡献率二者呈现出“先升后降”和“先降后升”的互补发展形势，但区域内差异贡献率始终高于区域间差异贡献率，这说明区域内差异仍是研究期内导致地区海洋产业数字化水平形成差异的主要因素。从表 4 我国沿海三大地区泰尔指数测算结果显示，北部沿海地区的区域内差异最大，南部沿海地区居中，东部沿海地区区域内差异最小。同时就研究期内而言，北部沿海地区的内部差异呈现出缩小趋势，东部沿海地区则较为稳定，而南部沿海地区的内部差异自 2018 年后存在一定上升趋势。

表 4 我国沿海三大地区泰尔指数

Table 4 The Theil Index of the three major coastal regions of China

年份	北部	东部	南部
2014	0.28	0.08	0.09
2015	0.25	0.08	0.10
2016	0.22	0.08	0.09
2017	0.20	0.07	0.08
2018	0.18	0.08	0.10
2019	0.16	0.07	0.11
2020	0.20	0.08	0.13

3.2.2 空间相关性结果分析

对于 2014—2020 年我国沿海省（自治区、直辖市）的海洋产业数字化水平进行全局自相关性分析，结果如表 5 所示。由测算数据显示在研究期内，我国海洋产业数字化水平的全局 Moran 指数均为负值，但数值上存在逐渐增大的趋势，这表明虽然我国海洋产业数字化趋势在全局空间上表现出离散现象，但预示各沿海地区间已逐渐出现学习效应，比较符合我国海洋产业数字化发展的实际情况。本文通过 GeoDa 软件及相关数据资料分析，将离散现象归因于以下 3 点。

（1）地区邻近限制。通过 GeoDa 软件对中国沿海省（自治区、直辖市）的地区实景分析发现，各省（自治区、直辖市）地域毗邻大致沿着中国邻海由北至南依次分布，相邻地域数量较少（邻近数量最大为 3）一定程度上阻碍了海洋产业数字化进程的集聚化发展。

（2）产业基础差异。北部沿海地区工业基础雄厚、立足于海洋制造业，但仍存在海洋经济发展模式、产业结构、创新成果转化等多方面问题。而东部和南部沿海地区大力发展海洋现代服务业，注重产业技术创新，海洋产业转型升级取得明显效果[23]，这在一定程度上引发各沿海地区海洋产业数字化发展的内生动力差异。依据《中国数字经济发展指数（DEDI）》报告的地区数字经济指数表明各沿海省（自治区、直辖市）数字产业发展水平仍存在一定差距，如广东、上海处于全国第一梯队数字产业发展水平较高，而河北、广西则属于我国数字产业发展滞后区。整体来看，东部沿海地区数字产业发展水平较高，而南部和北部沿海各地区之间差距较大（如，广东与广西），以上海洋产业基础差异与数字产业发展差异是导致各沿海省（自治区、直辖市）海洋产业数字化趋势呈离散现象的主要原因。

（3）政策背景差异。南部沿海区域是我国对外贸易的战略地和海上丝绸之路的核心区，区域内海洋创新综合能力最强、海洋经济发展水平高；东部沿海区域是我国参与经济全球化的重要区域，区域内海洋经济高质量发展层级高，海洋创新绩效和环境具有优势；北部沿海区域是我国北方地区对外开放的平台，区域内海洋经济发展基础雄厚，是全国海洋科技创新和技术研发基地[24]；而 3 个区域内各沿海省（自治区、直辖市）的不同海洋战略定位决定海洋产业数字化进程中不同的产业政策发展方向，一定程度上形成了海洋产业数字化水平的差距。

表 5 海洋产业数字化水平的全局 Moran 指数测算结果

Table 5 Global Moran index measurement results of the digital level of the marine industry

年份	全局莫兰指数	P 值
2014	−0.405	0.102
2015	−0.396*	0.097
2016	−0.393*	0.098
2017	−0.382*	0.081
2018	−0.379	0.131
2019	−0.368*	0.093
2020	−0.347	0.117

注：* 表示 10%的显著水平。

以上全局莫兰指数分析仍存在一定局限性：所测算我国沿海省（自治区、直辖市）受地理分布限制以及测算样本数量较少，但发现我国海洋产业数字化进程呈现区域间相互学习效应，因而可利用局部莫兰指数进一步分析区域内部相邻地区的关联程度。结合我国海洋经济发展实际与郭建科等[23]的相关研究思路，本文分别从我国海洋三大经济圈进一步分析：将表 2 所得海洋产业数字化水平测度结果输入 GeoDa 软件，基于所得局部莫兰指数散点图和 LISA 显著图绘制三大海洋经济圈的局部聚集情况表（表 6），限于篇幅仅选择代表性的年份予以展示。通过对三大海洋经济圈分析结果的归类分析发现，北部海洋经济圈沿海地区形成“高－低”集聚型，表现为河北海洋产业数字化水平较低且增速缓慢，而相邻的天津、辽宁等地相比而言水平较高且增速明显；南部海洋经济圈沿海地区形成“低－高”集聚型，表现为广东海洋产业数字化进程起步较早且水平位于全国前列，而广西与海南的海洋产业数字化水平相比而言仍存在差距；而东部海洋经济圈沿海地区形成“高－高”集聚型，主要表现为上海、江苏、浙江海洋产业数字化水平处于全国领先行列并保持着较为稳定的增速。值得注意的是，福建作为连接南部与东部海洋经济圈的桥梁，在一定程度受到邻近海洋产业数字化水平较高地区的辐射效应，在 2019 年之后与东部海洋经济圈呈现“高－高”集聚型。

表 6　三大海洋经济圈的局部聚集情况（部分代表年份）

Table 6　Table of local aggregation of the three major marine economic circles (some representative years)

年份	北部海洋经济圈		东部海洋经济圈		南部海洋经济圈	
2015 年	“高－低”型	天津、辽宁、河北	—	—	“低－高”型	广西、海南、广东
2017 年	“高－低”型	天津、辽宁、河北	“高－高”型	上海、江苏、浙江	“低－高”型	广西、海南、广东
2019 年	“高－低”型	天津、辽宁、河北	“高－高”型	上海、江苏、浙江	“低－高”型	广西、海南、广东

注：①由于空间分析需要，默认广东与海南地理上连接；②考虑呈现三大经济圈各自海洋产业数字化聚集特征，故未在表中对福建跨圈集聚特征做明确标注。

4　结论与对策

本文从我国海洋产业数字化发展现状出发，在厘清相关概念内涵的基础上，结合相关学者研究与钻石模型从生产要素、需求条件、产业融合、企业结构与产业竞争、数字基础与政府支持等 5 个方面构建我国海洋产业数字化水平评价指标体系，并测算了 2014—2020 年我国沿海 11 个省（自治区、直辖市）的海洋产业数字化发展水平；进一步运用多种计量模型与分析软件探索我国全局与局部区域海洋产业数字化发展的时空演化特征。研究发现：①我国海洋产业数字化水平总体上呈现快速增长趋势，其中东部沿海地区海洋产业数字化总体水平较高（如，上海、江苏），同时南部和北部沿海地区内部之间存在明显差异（如，广东与广西、山东和河北），而新冠肺炎疫情引发的产业发展逆流对我国海洋产业数字化进程具有一定抑制作用；②我国海洋产业数字化水平地区差异总体上呈现下降趋势，而区域内差异是研究期内造成地区水平差异的主导因素。分地区而言，北部沿海地区的区域内差异最大但呈现缩小趋势，东部沿海地区的区域内差异最小且趋势稳定，南部沿海地区的区域内差异居中但近年有上升趋势；③我国海洋产业数字化水平从全局空间来看，区域间学习效应正逐渐形成。而从局部区域来看，北部海洋经济圈内沿海地区主要形成“高－低”集聚型，南部海洋经济圈内沿海地区主要形成“低－高”集聚型，东部海洋经济圈内沿海地区则形成“高－高”集聚型。

本文的理论贡献可能在于：①基于国内外学者研究与当下数字技术赋能海洋产业转型发展特征，厘清了海洋产业数字化的相关概念内涵，丰富现有海洋产业数字化发展的研究方向；②结合钻石模型优势与产业数字化趋势，构建了海洋产业数字化评价指标体系，一定程度上拓展相关理论应用边界。本文的实践应用价值可能在于：①从时间和空间相

结合的层面探索了我国沿海省(自治区、直辖市)海洋产业数字化水平趋势及演化规律,对于各沿海省(自治区、直辖市)依据自身海洋产业数字化水平,统筹推进海洋产业数字化发展进程具有一定指导价值;②发掘三大海洋经济圈层面的海洋产业数字化进程的集聚趋势,有助于促进区域内及区域间海洋产业数字化交流与协同转型发展。

基于以上研究结论,本文为更好地推动我国海洋产业数字化进程提出以下政策建议。

(1)持续推动数字经济与海洋产业深度融合,提高全国海洋产业数字化整体水平。数字经济赋能促进海洋产业数字化发展成为当下海洋经济高质量发展的鲜明特点,在面对我国海洋产业转型升级的关键窗口,需要牢牢抓住数字海洋经济的发展契机。各沿海地区持续推动 5G、物联网、云计算等数字技术与海洋产业发展政策相结合,加快推进数字化基础设施向海洋产业集聚地布局进程,双向促进海洋产业数字化与海洋数字产业化。同时健全数字海洋产业技术服务体制,促进数字海洋技术辅助各地区海洋产业发展规划和决策,提高数字技术在各类海洋产业系统中的应用深度和广度。

(2)构建海洋产业数字化发展的跨区域合作机制,促进区域间的协调发展。从各沿海经济圈来看,北部海洋经济圈需要加强数字基础建设、优化海洋产业结构、提升数字海洋经济韧性,促进周边高水平发展地区与低水平发展地区的数字海洋产业交流合作;东部海洋经济圈需要进一步提升自身海洋产业数字化水平,充分汲取和探索国内外优秀数字海洋产业发展模式,同时还应带动周边地区的协同发展;南部海洋经济圈应充分发挥高水平地区(广东)对周边地区的溢出效应,健全数字海洋产业跨区域合作机制,提供相应人才交流、先进技术、发展理念等交流指导措施。

(3)因地制宜构筑海洋数字信息平台,打造区域性数字海洋产业创新生态模式。依据自身海洋产业发展现状,利用数字信息技术嵌入性特征来合理规划产业基础支撑、产业科技融合、产业体系构建,以此构筑具有特色的海洋数字信息平台。同时加强区域数字海洋产业的互助交流,多方聚力打造“官产学研”一体化的数字海洋产业创新生态模式。

参考文献(References):

[1] 刘洋,董久钰,魏江.数字创新管理:理论框架与未来研究[J].管理世界,2020,36(7):198-217.
LIU Yang, DONG Jiuyu, WEI Jiang. Digital innovation management: a theoretical framework and future research [J]. Manage World, 2020,36 (7): 198-217.

[2] 蒋冰,姜晓轶,吕憧憬,等.中国“数字海洋”工程进展研究[J].科技导报,2018,36(14):75-79.
JIANG Bing, JIANG Xiaoyi, LYU Chongjing, et al. The research on Digital Ocean Engineering of China[J]. Science & Technology Review, 2018,36 (14): 75-79.

[3] 蹇令香,苏宇凌,丁甜甜.数字创新驱动中国海洋产业高质量发展研究[J].管理现代化,2021,41(5):20-24.
JIAN Lingxiang, SU Yuling, DING Tiantian. Digital innovation drives the high-quality development of China's marine industry [J]. Modernization of Management, 2021,41(5): 20-24.

[4] 王冬彧,綦勇.数字经济赋能双循环发展的空间作用机制研究:基于数字产业化与产业数字化的视角[J].外国经济与管理,2023,45(9):3-21.
WANG Dongyu, QI Yong. Research on the spatial action mechanism of digital economy enabling double-cycle development:based on the perspective of digital industrialization and industrial digitalization [J]. Foreign Economy and Management,2023,45(9):3-21.

[5] WANG Wei,CHEN Wenfang. A novel solution: building real time monitoring system on oceanographic research vessel in distant:water based on Beidou and Digital Ocean[C]//Wuhan University of Technology.Proceedings of the 13th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business,Engineering & Science(DCABES 2014).

[6] 伏开宝,丁正率,郭玉华.数字经济、产业升级与海洋经济高质量发展[J].价格理论与实践,2022(5):78-81.
FU Kaibao, DING Zhengshuai, GUO Yuhua. Digital economy, industrial upgrading and high-quality development of marine economy [J]. Price: Theory and Practice, 2022 (5): 78-81.

[7] ELLINGSEN O,AASLAND E K. Digitalizing the maritime industry: a case study of technology acquisition and enabling advanced manu-

facturing technology[J]. Journal of Engineering and Technology Management，2019，54(19)：12－17.

[8] 孙林杰，彭丽霞，高紫琪.我国海洋牧场技术创新协同网络的运行与演化[J].科学学研究，2023，41(12)：2294－2304.
SUN Linjie，PENG Lixia，GAO Ziqi. Operation and evolution of marine pasture technology innovation collaborative network in China [J]. Studies in Science of Science，2023，41(12)：2294－2304.

[9] 孙才志，宋现芳.数字经济时代下的中国海洋经济全要素生产率研究[J].地理科学进展，2021，40(12)：1983－1998.
SUN Caizhi，SONG Xianfang. Research on the total factor productivity of China′s marine economy in the era of digital economy [J]. Progress in Geography，2021，40 (12)：1983－1998.

[10] 蹇令香，苏宇凌，曹珊珊.数字经济驱动沿海地区海洋产业高质量发展研究[J].统计与信息论坛，2021，36(11)：28－40.
JIAN Lingxiang，SU Yuling，CAO Shanshan. Research on the high-quality development of marine industry in coastal areas [J]. Journal of Statistics and Information，2021，36 (11)：28－40.

[11] 汤渌洋，鲁邦克，邢茂源，等.中国数字经济发展水平测度及动态演变分析[J].数理统计与管理，2023，42(5)：869－882.
TANG Luyang，LU Bangke，XING Maoyuan，et al. Analysis of the development level measurement and dynamic evolution of China′s digital economy [J]. Mathematical statistics and management，2023，42(5)：869－882.

[12] 阳立高，许调蓉，韩峰.中国数字经济与制造业融合发展水平测度及其时空特征[J].财经理论与实践，2023，44(2)：81－87.
YANG Ligao，XU Tiaorong，HAN Feng. Measurement of the integrated development level and its space-time characteristics of digital economy and manufacturing industry in China [J]. Financial Theory and Practice，2023，44 (2)：81－87.

[13] 方慧，张潇叶.中国文化产业数字化水平测度及其出口效应研究[J].山东大学学报(哲学社会科学版)，2022(3)：38－51.
FANG Hui，ZHANG Xiao Ye. Research on the measurement of the digital level and its export effect of China′s cultural industry [J]. Journal of Shandong University (Philosophy and Social Sciences)，2022 (3)：38－51.

[14] KECHAGIAS EVIRPIDIS P，CHATZISTELIOS GEORGIOS，PAPADOPOULOS GEOGIOS A，et al. Digital transformation of the maritime industry：a cybersecurity systemic approach[J]. International Journal of Critical Infrastructure Protection，2022，37(3)：86－93.

[15] 殷克东.中国海洋经济发展报告(2021－2022)[M].北京：社会科学文献出版社，2022：289－295.
YIN Kedong. China marine economy development report (2021－2022) [M]. Beijing：The Social Sciences Academic Press，2022：289－295.

[16] 宁凌，杜军.基于钻石模型的我国海洋战略性新兴产业定性选择研究[J].广东海洋大学学报，2015，35(2)：14－21.
NING Ling，DU Jun. Research on the qualitative selection of strategic marine emerging industries in China based on the diamond model [J]. Journal of Guangdong Ocean University，2015，35 (2)：14－21.

[17] 马树才，李亮，代金辉.中国省际 R&D 资本存量及对经济增长贡献的测度研究[J].经济问题探索，2023(8)：36－50.
MA Shucai，LI Liang，DAI Jinhui. Interprovincial R & D capital stock and contribution to economic growth in China [J]. Inquiry into Economic Issue，2023 (8)：36－50.

[18] 魏和清，周庆岸.文化产业数字化水平测度及时空演化特征分析[J].统计与决策，2023，39(1)：23－28.
WEI Heqing，ZHOU Qing′an. Analysis of timely air evolution characteristics of digital level measurement of cultural industry [J]. Statistics and Decision-making，2023，39 (1)：23－28.

[19] 唐欣，许永斌.数字产业化与产业数字化耦合赋能城市高质量发展的实证检验[J].统计与决策，2023，39(20)：104－108.
TANG Xin，XU Yongbin. Empirical test of high-quality urban development enabled with the coupling of digital industrialization and industrial digitalization [J]. Statistics and Decision，2023，39 (20)：104－108.

[20] 宁凌，宋泽明.广东省海洋经济高质量发展的驱动机制及系统演化研究[M].北京：中国经济出版社，2022：88－97.
NING Ling，SONG Zeming. Study on the driving mechanism and system evolution of the high-quality development of marine economy in Guangdong Province [M]. Beijing：China Economic Press，2022：88－97.

[21] 梁树广，马中东，张延辉，等.基于钻石模型的区域制造业质量竞争力评价[J].统计与决策，2020，36(23)：173－177.
LIANG Shuguang，MA Zhongdong，ZHANG Yanhui，et al. Evaluation of regional manufacturing quality competitiveness based on the diamond model [J]. Statistics and Decision，2020，36 (23)：173－177.

[22] 陈之常，马亚东.中国城市更新对居民幸福感的影响研究：基于遗传算法投影寻踪和面板空间分位数模型[J].管理评论，2022，34(8)：43－53.
CHEN Zhichang，MA Yadong. Research on the impact of urban renewal on residents′ well-being in China：based on genetic algorithm

projection tracing and panel spatial quantile model [J]. Management Review, 2022,34 (8): 43－53.

[23] 郭建科,邓昭,许妍,等.我国三大经济圈海洋产业发展轨迹比较[J].统计与决策,2019,35(2):121－125.
GUO Jianke, DENG Zhao, XU Yan, et al. Comparison of the development trajectory of marine industry in China's three major economic circles [J]. Statistics and Decision, 2019,35 (2): 121－125.

[24] 王春娟,王玺媛,刘大海,等.中国海洋经济圈创新评价与“一带一路”协同发展研究[J].中国科技论坛,2022(5):109－118.
WANG Chunjuan, WANG Xiyuan, LIU Dahai, et al. Research on innovation evaluation and “the Belt and Road” collaborative development of China marine economic circle [J]. China Science and Technology Forum, 2022 (5): 109－118.