

[引用格式] 刘鹏, 黄希涑, 潘智成, 等. 粤港澳大湾区港口群韧性能力评价与提升[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2026, 31(4): 462-470. DOI: 10.19715/j.jmuzr.2026.04.07.

粤港澳大湾区港口群韧性能力评价与提升

刘 鹏¹, 黄希涑¹, 潘智成^{1,2}, 何清昊^{1,2}

(1. 广州航海学院未来交通学院, 广东 广州 510725; 2. 广东工业大学土木与交通工程学院, 广东 广州 510006)

[摘要] 以粤港澳大湾区港口群为研究对象, 构建了大湾区港口安全韧性评价指标体系, 利用熵权法对大湾区港口安全韧性进行量化评估并得到各港口的安全韧性得分, 通过障碍度模型识别各港口的主要障碍因子, 进而提出韧性能力提升对策。研究结果表明: 1) 抵抗风险能力在粤港澳大湾区港口安全韧性中占据主导地位, 其权重占比达 50%, 而紧急应对能力与恢复重建能力的权重分别占 26% 和 24%; 2) 广州港与深圳港的安全韧性表现突出, 其安全韧性得分分别为 0.82 和 0.75, 显著高于其他港口; 3) 粤港澳大湾区港口群在核心层的主要障碍因子为抵抗风险能力, 而在能力层的主要障碍因子为智能化水平和创新升级能力。

[关键词] 粤港澳大湾区; 港口群; 韧性能力; 熵权法; 障碍度模型

[中图分类号] U 69 [文章编号] 1007-7405(2026)04-0462-09 [DOI] 10.19715/j.jmuzr.2026.04.07

Resilience Evaluation and Enhancement of the Port Cluster in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

LIU Peng¹, HUANG Xilai¹, PAN Zhicheng^{1,2}, HE Qinghao^{1,2}

(1. School of Future Transportation, Guangzhou Maritime University, Guangzhou 510725, China;

2. School of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This study takes the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area (GBA) port cluster as the research object, constructs an evaluation index system for port safety resilience in the GBA, and applies the entropy weight method to quantitatively assess the safety resilience of these ports. Resilience scores for each port are obtained, and key obstacle factors are identified through an obstacle degree model, based on which strategies for enhancing resilience are proposed. The research findings indicate that: 1) Risk resistance capability plays a dominant role in the port safety resilience of the GBA, accounting for 50% of the total weight, while emergency response capability and recovery and reconstruction capability account for 26% and 24%, respectively. 2) Guangzhou Port and Shenzhen Port demonstrate outstanding safety resilience, with scores of 0.82 and 0.75, significantly higher than those of other ports. 3) In the core layer, the main obstacle factor for the GBA port cluster is risk resistance capability, while in the capability layer, the major obstacles are intelligent automation and innovation upgrade capability.

[收稿日期] 2025-05-31

[基金项目] 广州市教育局高校科研项目 (Tertiary Education Scientific research project of Guangzhou Municipal Education Bureau, 2024312403)

[作者简介] 刘鹏, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事交通运输系统组织与优化、交通规划等方向研究。

tion level and innovation and upgrading capacity.

Keywords: Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area(GBA); port cluster; resilience capability; entropy weight method; obstacle degree model

0 引言

在全球贸易格局深刻调整与极端天气、突发事件频发的背景下,港口作为全球供应链的核心枢纽,其应对外部干扰的“韧性”能力已成为衡量航运中心竞争力的关键维度^[1]。粤港澳大湾区(Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area(GBA))港口群作为全球最繁忙的航运枢纽之一,港口韧性能力的提升不仅关乎区域经济的可持续发展,更对全球供应链的稳定具有重要战略意义。港口韧性可以定义为:港口在面对自然灾害、人为事故、经济波动、技术故障、地缘政治冲突等内外部干扰和冲击时,能够通过预防、适应、应对和恢复等一系列能力,维持其基本功能并快速恢复到正常运营状态的能力^[2]。当前,关于水路运输安全韧性的研究主要聚焦于航运网络及港口韧性能力等层面。如:Yang等^[3]对海上丝绸之路航运网络结构在突发事件下的韧性变化进行了深入分析,揭示了主导港口和脆弱港口在网络韧性中的关键作用;夏新海等^[4]通过引入平均度值、网络平均距离和聚类系数三个指标,分析了随机攻击和蓄意攻击下粤港澳大湾区港口群航运网络脆弱性的动态变化;任晓红等^[5]运用超效率DEA模型测算了7个重要港口的运行效率,并利用障碍度模型发现疏港交通能力的不足是制约各港口安全韧性提升的关键因素;于占福^[6]总结了企业提升港口韧性实力的六项必备工作;郑叶明^[7]系统总结了韧性港口所需的防灾设施、减灾措施及恢复措施;程海燕^[8]采用SWOT分析方法,对中国港航企业的内外部环境进行了深入剖析,提出了保障港口供应链战略安全稳定实施的具体措施。

目前,常用的韧性评价模型包括RIM(resilience index measurement model)模型和Resilience Wheel模型。RIM模型是一种量化评估系统韧性的工具,通过衡量系统在遭遇干扰后的恢复能力来量化其韧性,如Wang等^[9]从能源、水资源、环境、经济和社会四个维度构建了黄河流域生态系统RIM模型。Resilience Wheel模型通常用于评估复杂系统在面对突发事件或压力时的响应和恢复能力,如Aldunce等^[10]利用Resilience-Wheel构建城市和区域韧性评价框架。RIM模型侧重于恢复结果的量化,而Resilience Wheel模型侧重于多维度的静态评估。港口安全韧性本质上是一个涵盖了“风险抵御—紧急应对—恢复重建”全过程的动态演化系统,港口的研究已逐渐向系统性全过程模型演进。如:伍静^[11]从网络结构视角切入,基于“韧性三角形”理论框架,构建韧性性能曲线,建立评估航运网络韧性的韧性-成本模型;Poo等^[12]结合气候风险指标、中心性分析和航线优化方法,系统评估全球航运网络在气候脆弱性背景下的韧性表现;胡艳华等^[13]提出港口安全韧性三角形模型,涵盖灾害系统、承灾系统和安全韧性管理三要素,建立港口安全韧性的评估指标体系,并绘制港口安全韧性预测曲线。

关于评价体系的构建方法,现有研究多采用主、客观赋权法确定韧性指标权重。目前主流的赋权方法有主观赋权法和客观赋权法。熵权法作为一种客观赋权工具,能基于数据本身的离散程度进行科学赋权,有效避免了人为因素的干扰,在复杂系统的韧性量

化评估中具有显著优势^[14]。与此同时，单纯的韧性得分计算难以揭示影响系统提升的关键瓶颈。而障碍度模型通过计算各指标对目标的制约程度，能够精准识别影响韧性能力的关键障碍因子，可对评价结果进行深度溯因分析^[7]。

港口群的演化具有显著的地域特殊性与空间异质性，目前针对粤港澳大湾区港口群的全过程韧性量化评价仍较为匮乏，且对其韧性驱动机制及障碍因子的深度辨识尚待加强。因此，本研究以“韧性三角形”为理论框架，构建涵盖“抵御—应对—恢复”全过程的粤港澳大湾区港口群安全韧性评价指标体系，运用熵权法量化各港口的安全韧性得分及韧性指标权重，并结合障碍度模型识别影响港口韧性的主要障碍因子。在此基础上，提出针对性的韧性能力提升路径，以期为粤港澳大湾区港口群在复杂环境下的高质量发展提供理论支持和实践指导。

1 粤港澳大湾区港口群韧性评价指标体系构建

港口的安全韧性主要体现在抵抗风险能力、紧急应对能力、恢复重建能力三个维度^[5]。这三方面能力共同构成港口系统应对风险的完整过程，分别对应风险发生前、发生时和发生后的三个不同阶段，从而形成一个系统的韧性三角形框架（见图 1）。图 1 中 A、B、C 分别代表三个不同阶段的界限。在风险发生前，港口的韧性为 R_0 ；在风险冲击作用下，经过紧急应对后，港口韧性下降至 R_1 ；通过一定时间的恢复与重建，港口的韧性最终回升至 R_0 。可见，抵抗风险能力是基础，通过防御和预警措施可减小风险对系统的初始冲击；紧急应对能力是关键，在风险发生时通过迅速的应急响应可减缓性能的进一步下降；恢复重建能力是保障，通过灾后修复和重建可将系统性能恢复至初始水平或更高水平。这三者相辅相成，共同决定了系统在面对突发风险时的整体安全韧性。

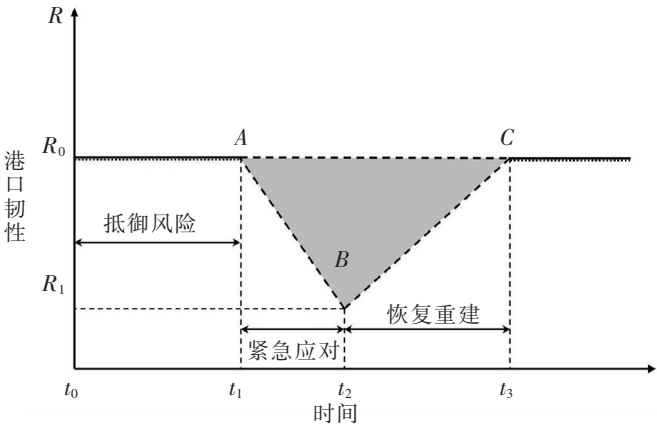


图 1 港口的韧性三角形
Fig.1 The resilience triangle of ports

安全韧性港口应体现冗余性、适应性、鲁棒性、恢复性等属性特征^[13]。鲁棒性是指港口在面临风险和灾害时，保持功能和结构稳定的能力，这种能力依赖于港口设施和系统的设计坚固性以及防御机制的完善性；冗余性是指港口系统中存在备份资源或备用能力，可以在部分功能受损时维持关键服务的连续性；适应性是指港口面对复杂和不确定性环境时调整策略、优化资源分配的能力，这种能力依赖于灵活的管理机制和对新情况的快速响应能力；恢复性是指港口在灾害或风险冲击后，通过修复和重建尽快恢复到正常运行状态的能力。

本研究引入港口协同能力、智能化水平与创新升级能力三个关键指标。港口协

同能力反映粤港澳大湾区港口群在应对重大事故时的互助互利机制,其实现依赖于先进的智能化港口群信息交互平台,体现港口系统在面对外部冲击时的协调与整合能力,属于鲁棒性维度的重要体现。智能自动化水平为港口业务处理提供了高效、稳定的技术支持,进一步强化了港口的鲁棒性。创新升级能力则通过科技创新提升港口生产力,显著提高了灾后修复效率,体现了港口安全韧性中的恢复性维度。本研究的大湾区港口安全韧性评价体系以抵抗风险能力、紧急应对能力、恢复重建能力为一级指标,以港口协同能力、智能自动化水平等8个安全韧性指标为二级指标。粤港澳大湾区港口群韧性评价指标体系如表1所示。

表1 大湾区港口安全韧性评价体系

Tab.1 Evaluation index system for port safety resilience in the GBA

一级指标	二级指标	衡量指标
抵抗风险能力	港口协同能力	港口数量
	智能自动化水平	自动化程度
	经济实力	集团资产规模
紧急应对能力	灾害风险预案能力	应急演练次数
	应急救援能力	腹地医疗水平
	疏港交通能力	港口货运量
恢复重建能力	创新升级能力	专利授权数
	恢复执行能力	生产物资储备情况

2 研究方法 with 数据来源

本研究对安全韧性评级体系各级指标进行赋权,分析大湾区各港口的安全韧性。本研究的数据具有多指标、定量且非负的特征,符合熵权法的适用条件。因此,本研究采用熵权法作为粤港澳大湾区港口安全韧性评价的赋权方法。并且,通过障碍度计算进一步研究各个安全韧性指标对港口安全的影响。

2.1 熵权法

熵权法需计算各个评价指标的贡献度。一般是通过衡量每个指标的信息熵,进而基于信息熵计算二级指标的权重。基于各指标的权重值,可以得出各城市港口的安全韧性评分。参照文献 [14],本研究熵权法运算模型中的计算公式如下所示:

- 1) 贡献度计算公式为: $p_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij}$ 。其中: p_{ij} 为第 j 个评价指标中第 i 个港口的贡献度; X_{ij} 表示第 i 家港口第 j 个评价指标值($i = 1,2,3,\cdots,n;j = 1,2,3,\cdots,m$)。
- 2) 熵值计算公式为: $e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})$, $0 \leq e_j \leq 1$ 。其中: e_j 为第 j 个指标的熵值。
- 3) 权重计算公式为: $g_i = 1 - e_j$; $W_j = g_j / \sum_{i=1}^m g_j$, $j = 1,2,3,\cdots,m$ 。其中: g_i 为差异性系数; W_j 为第 j 个二级指标的权重。
- 4) 港口安全韧性评分计算公式为: $F_i = \sum_{j=1}^m (W_j X_{ij})$ 。其中: F_i 为第 i 个港口企业的安全韧性评分。

2.2 障碍度模型

本研究采用文献 [5] 的障碍度模型探究各个安全韧性指标对大湾区港口的影响。

设 Q_j 为第 j 个韧性指标对港口安全韧性的影响程度，即障碍度，则 $Q_j = 100\% \times (1 - X_{ij})W_j / (\sum_{j=1}^m (1 - X_{ij})W_j)$ 。障碍度较大代表该指标对港口的安全韧性存在障碍或者限制较强。

2.3 数据来源与数据预处理

2.3.1 数据来源

粤港澳大湾区内有“9+2”个城市港口，它们分别为：广州港、深圳港、香港港、澳门港、珠海港、惠州港、江门港、肇庆港、中山港、佛山港、东莞港。本研究数据来自 2023 年的《中国港口年鉴》、粤港澳大湾区各港口集团官网、各地海事局以及相关专业的港口媒体。

2.3.2 指标检验与数据处理

为进一步分析各安全韧性评价指标对安全韧性评价的重要程度，当某个指标对评价结果的贡献较小时，便将其从评价指标体系中移除。参照文献 [15]，筛选后保留指标内部一致性系数的计算公式为： $H_j = |\bar{x}_j/S_j|$ 。其中： $\bar{x}_j$ 为指标 j 的评价值； S_j 为评价指标 j 的标准差； H_j 为各指标内部一致性系数，阈值为 2。若 $H_j < 2$ 说明指标内部一致性差，有较强的判别能力；若 $H_j > 2$ 说明指标内部一致性强，判别能力较弱，应当把指标 j 从评价指标体系中剔除。

大湾区港口安全韧性评价指标的内部一致性系数如表 2 所示。由表 2 可知，大湾区港口安全韧性的 8 个评价指标内部一致性皆小于 2，说明评价指标之间内部一致性差，拥有较强的判别能力，可以充当本研究的评价指标。

熵权法要求研究数据无量纲。本研究所用指标为正向指标，因而参照文献 [14]，使用极值法进行无量纲化处理。处理公式为： $X_{ij} = (X'_{ij} - m_j)/(M_j - m_j)$ 。其中： X'_{ij} 为无量纲化前第 i 家港口的第 j 个评价指标值； M_j 为第 j 个评价指标的最大值； m_j 为第 j 个评价指标的最小值。

表 2 评价指标内部一致性系数

Tab. 2 Internal consistency coefficient of evaluation indicators

指标	内部一致性系数
港口数量	1.85
自动化程度	0.53
资产规模(亿元)	1.11
应急演练次数	1.02
腹地医疗水平	1.31
货运量(TEU)	1.01
专利授权数	0.37
生产物资储备情况	0.37

3 结果与讨论

3.1 粤港澳大湾区港口群安全韧性评价

根据计算获得的大湾区港口各安全韧性指标权重如表 3 所示。

由表 3 可知：1) 抵抗风险能力在大湾区港口安全韧性中起着主导作用。大湾区港口依托其强大的经济基础、高自动化水平，以及区域内港口间的协同合作，在提升抗风险能力方面表现良好。紧急应对能力与恢复重建能力权重相当，分别为 26% 和 24%。核心层三大指标各占有一定权重，说明抵抗风险能力、紧急应对能力、恢复重建能力三者之

间相互依存、缺一不可，形成了一个完整的安全韧性链条，确保港口在面临复杂风险时能够保持运营的连续性和可持续性。

2) 抵抗风险能力中的智能自动化水平权重最大，是提升港口韧性关键的因素之一。高自动化港口能有效应对现实世界出现的各种波动，在发生自然灾害或其他紧急情况下维持基本运营，减少人为因素的影响^[16]，说明新质生产力投入对港口韧性有显著影响。应急演练的频率和质量直接反映了港口面对灾害的准备情况，应急预案完善的港口能够在突发事件中迅速做出反应，降低灾害的影响。港口的灾害风险预案能力权重占比11%，这项指标的权重相对较高，说明对整体韧性的影响较为重要。恢复重建能力中的创新升级能力权重占比14%，可见技术创新不仅能推动港口的长期竞争力，还能在灾害中利用新技术进行应对与恢复。此外，创新能力是新质生产力的基础，通过技术创新应用新质生产力，不仅能恢复原有的生产水平，也有望实现生产效率与资源利用率的显著提高。因此，创新升级能力是港口韧性中的重要支撑因素。

通过熵权法的权重计算，得到11个港口的安全韧性得分，具体见图2。

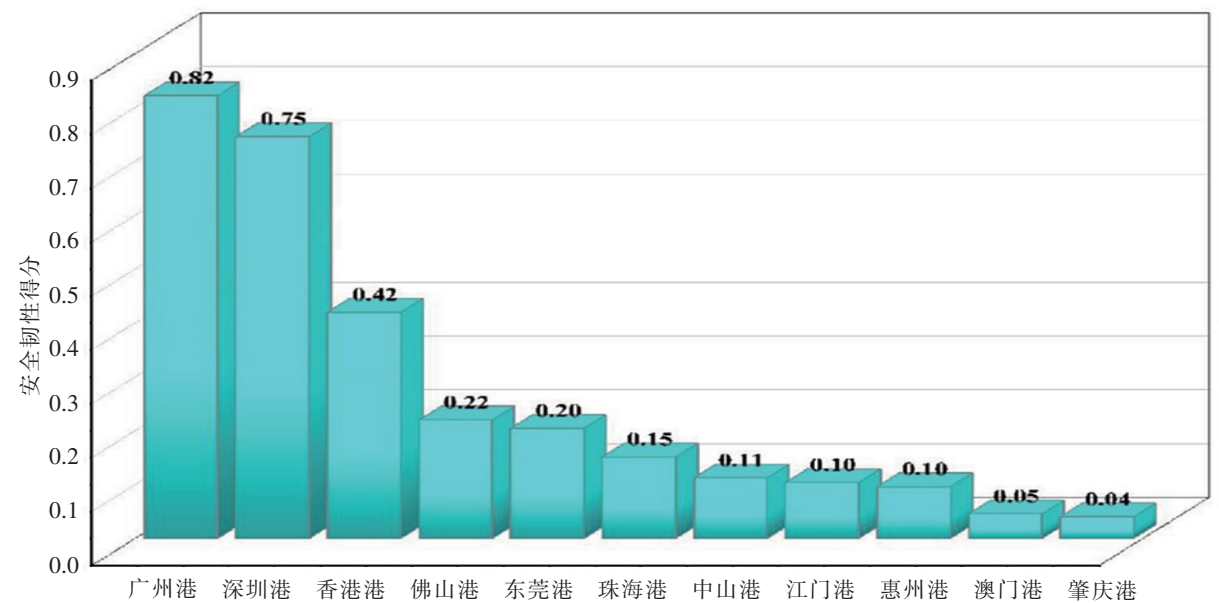


图2 大湾区港口安全韧性得分

Fig.2 Safety resilience scores of ports in the GBA

港口安全韧性得分的高低直接反映了港口韧性强弱的。图2中，粤港澳大湾区港口群安全韧性得分超过0.2分的港口有广州港、深圳港、香港港、佛山港和东莞港。其中，广州港和深圳港的韧性能力尤为突出，得分分别为0.82和0.75，显著高于其他港口。相比之下，香港港、佛山港和东莞港的得分分别为0.42、0.22和0.20，其韧性

能力与广州港和深圳港存在显著差距。综上所述，广州港与深圳港在安全韧性方面表现卓越，而其他大湾区港口在韧性能力上仍有较大的提升空间。

3.2 障碍度模型计算结果

为进一步分析大湾区各港口安全韧性得分差异的原因，可通过障碍度识别粤港澳大湾区各港口的主要障碍因子。本研究从核心层与能力层两个层次对大湾区安全韧性得分最高的 5 个港口进行分析。核心层与能力层的计算结果见图 3~4。

由图 3 可知：粤港澳大湾区各港口的抵抗风险能力障碍度普遍较高，其中深圳港、香港港、佛山港和东莞港的障碍度分别达到 70%、54%、54% 和 56%，表明 2023 年抵抗风险能力是制约这些港口安全韧性提升的主要限制因素。相比之下，广州港在抵抗风险能力方面的障碍度显著较低，仅为 32%，且其 3 个一级指标的障碍度分布较为均衡，说明广州港在韧性建设方面表现较全面，具备较强的综合抗风险能力。这一结果凸显了广州港在粤港澳大湾区港口群中的领先地位，同时也为其他港口提供韧性建设的参考方向。

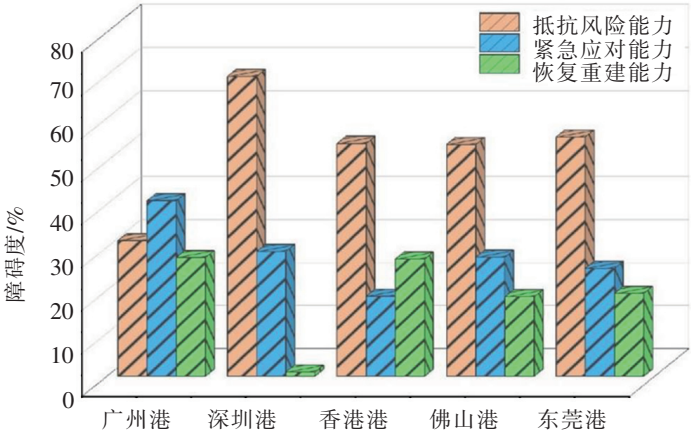


图 3 核心层障碍度计算结果
Fig.3 Calculation of obstacle degree for the core layer

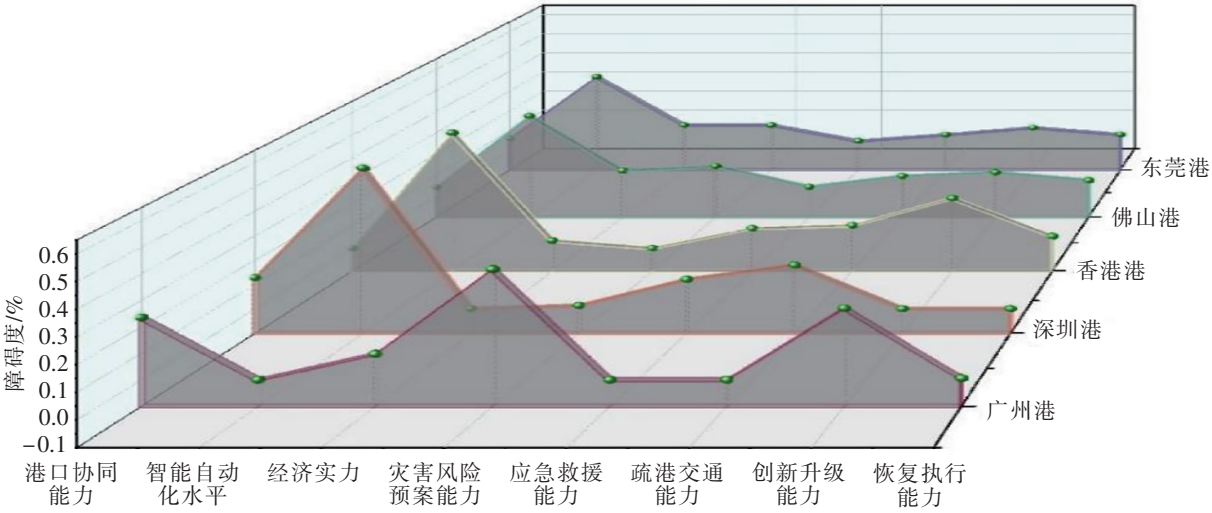


图 4 能力层障碍度计算结果
Fig.4 Calculation of obstacle degree for the capability layer

由图 4 可知，在能力层指标中，广州港的智能自动化水平表现尤为突出，而深圳港、香港港、佛山港和东莞港的智能自动化水平障碍度较高，分别为 58%、51%、38% 和 37%。这一差异主要源于广州港南沙港区四期全自动化码头于 2022 年正式投入运营，该码头作为全球最先进的全自动化码头之一，广泛采用了自动化堆场技术、自动化起重机和自动导引车等先进技术^[17]，显著提升了港口的工作效率、节能环保水平和安全性，

成为通过新质生产力提升港口安全韧性的典范。然而,广州港在创新升级能力和港口协同能力方面仍有进一步提升的空间。相比之下,深圳港、香港港、佛山港和东莞港由于智能化自动化设备的缺乏,其智能化自动化水平成为制约其安全韧性能力提升的主要障碍因子。此外,本研究结果表明,智能化自动化水平和创新升级能力是粤港澳大湾区港口群的主要障碍因子,反映出当前大湾区多数港口在新质生产力方面的不足,技术创新驱动力较弱,智能化程度有待提高。

3.3 粤港澳大湾区港口群韧性能力提升对策

基于粤港澳大湾区港口安全韧性发展现状,本研究针对现存问题,提出相应的优化策略,旨在全面提升粤港澳大湾区港口群的整体韧性水平。

1) 各港口应积极推动先进的自动化和智能化技术在港口运营中的深度应用。基于港口的实际情况,逐步完成自动化设备的引进与优化,包括无人驾驶车辆(AGV)、自动化起重机、自动仓储系统等智能化设施,减少人工干预,降低事故风险,同时提升港口作业的准确性与工作效率,有效防范因突发事件导致的人力短缺而造成的损失。此外,进一步完善港口的智能监控与预警系统,通过实时监控港口各区域,及时发现异常情况,并利用大数据分析和人工智能技术预测潜在安全风险,提前发出预警。结合无人机巡检等先进手段,全面提升巡检效率与安全性,确保港口运营的稳定与可靠。

2) 建立港口群联动协作发展机制,提升区域港口群韧性能力。应充分发挥粤港澳大湾区“一国两制”的制度优势,着力突破“三货币、三法律、三关税”壁垒^[18]。在港口建设规划阶段,制定港口群发展的总体规划,确保各个港口在资源配置、功能定位和发展目标上达成一致,全局统筹各个港口之间的分工与合作,集中资源发展各自的优势领域,避免产生同质化竞争。建立港口协同信息平台,实时发布港口运营数据、船舶动态、货物流向等信息,实现各港口的信息共享,加强极端情形下的信息传送,精准把控危机情形的演进,从而在数据支撑下制定韧性应对措施,降低外部冲击对港口群的负面影响。

3) 构建基于创新驱动的港口群韧性能力提升机制,强化粤港澳大湾区港口群的可持续发展能力。在数字化建设方面,建议推进港口群智慧化转型,整合区块链、物联网和人工智能等前沿技术,构建港口群数字孪生系统,实现港口运营的实时监测与智能决策;通过建立港口大数据中心,深化数据要素在港口运营、物流调度和应急管理中的应用,提升港口群应对突发事件的预警能力和响应效率。在绿色港口建设方面,应创新绿色能源应用模式,推广岸电系统、LNG 动力船舶和氢能等清洁能源技术,建立港口碳排放智能监测体系;探索建立港口群碳交易机制,通过市场化手段促进港口节能减排;创新性地建立“数字+绿色”协同发展平台,实现环境数据与运营数据的深度融合,为港口群绿色智慧发展提供决策支持,全面提升港口群的环境韧性和运营韧性。

4 结论

本研究基于 2023 年粤港澳大湾区 11 个重要港口的面板数据,构建粤港澳大湾区港口群安全韧性评价指标,利用熵权法评估粤港澳大湾区港口安全韧性指标权重,并进一

步获得各个港口的安全韧性得分。通过障碍度计算获得各个港口核心层与能力层的主要障碍因子,确定阻碍各港口安全韧性发展的关键因素,并为目前存在的问题提供针对性的韧性能力提升对策,从而进一步提升港口的安全韧性,提高港口的竞争力。研究结果表明:1) 抵抗风险能力在大湾区港口安全韧性中起着主导作用,占总权重的 50%,而紧急应对能力与恢复重建能力分别占 26% 和 24%。抵抗风险能力、紧急应对能力、恢复重建能力三者之间相互依存、缺一不可,形成了一个完整的安全韧性链条。2) 粤港澳大湾区安全韧性得分前 5 的港口为广州港、深圳港、香港港、佛山港与东莞港。广州港与深圳港的安全韧性能力出众,其他大湾区港口在安全韧性上仍存在巨大的进步空间。3) 粤港澳大湾区多数港口在核心层的主要障碍因子为抵抗风险能力,在能力层的主要障碍因子集中在智能化水平和创新升级能力,这表明大湾区港口群在新质生产力的应用方面存在显著不足。

[参 考 文 献]

- [1] 胡建华. 推动新一代港口建设打造全球韧性供应链[J]. 中国航务周刊,2022(50):28-29.
- [2] 张林,陈武争,张璐瑶,等. 上海港韧性能力提升策略[J]. 港口科技,2024(5):40-41.
- [3] Yang Y B, Liu W. Resilience analysis of maritime silk road shipping network structure under disruption simulation[J]. Journal of Marine Science and Engineering,2022(10):617.
- [4] 夏新海,杨舒英,唐宋元. 粤港澳大湾区港口群航运网络拓扑特征及脆弱性分析[J]. 珠江水运,2024(2):111-115.
- [5] 任晓红,沈佳,冯知滔. 港口运行效率和安全韧性[J]. 科学技术与工程,2024(24):2975-2985.
- [6] 于占福. 打造高韧性港口所需的六项工作[J]. 中国远洋海运,2022(11):50-51.
- [7] 郑叶明,陆淼嘉,涂辉招,等. 韧性港口的研究进展与提升路径[J]. 中国港口,2022(11):9-12.
- [8] 程海燕. 高质量发展视域下港口供应链的韧性提升路径研究[J]. 中国商论,2023(13):75-78.
- [9] Wang L P, Gong W F, Wang C H, et al. Spatial-temporal evolution and influencing factors of urban ecosystem resilience[J]. Global NEST Journal,2023,25(1):66-76.
- [10] Aldunce P, Bórquez R, Adler C, et al. Unpacking resilience for adaptation: incorporating practitioners' experiences through a transdisciplinary approach to the case of drought in chile[J]. Sustainability,2016(8):905.
- [11] 伍静. 海上丝绸之路航运网络韧性的评价研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2020:43-48.
- [12] Poo M C-P, Yang Z L. Optimising the resilience of shipping networks to climate vulnerability[J]. Maritime Policy & Management,2024(51):15-34.
- [13] 胡艳华,詹水芬,蒋文新,等. 重大突发事件下港口安全韧性理论模型及其定量评估研究[J]. 水道港口,2022(43):266-272.
- [14] 陈玮莹. 江西电网 Z 供电分公司综合绩效评价研究[D]. 南昌:东华理工大学,2019:20-30.
- [15] 范瀚文,常征,王聪. 海上运输通道关键节点安全韧性影响因素及评价[J]. 上海海事大学学报,2022,43(2):40-46.
- [16] 韩晓龙,樊加伟. 自动化港口 AGV 调度配置仿真分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(5):151-154.
- [17] 何业科,刘政刚. 广州港南沙港区四期自动化集装箱码头建设方案[J]. 集装箱化,2021,32(9):5-7.
- [18] 周艳,唐献全,高乔子. 粤港澳大湾区港口群协同发展研究[J]. 珠江水运,2023(22):108-110.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 周云龙)