引文格式：张秀鹏,钟鸣. 陆海统筹视角下国土空间协同治理模式重构[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):163-166. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.029

陆海统筹视角下国土空间协同治理模式重构

——基于规则可计算化的TIM技术赋能路径

张秀鹏，钟　鸣*
（珠海市规划设计研究院，广东 珠海 519000）

摘　要：针对高密度城市防灾资源配置失衡的共性问题，以自然资源空间信息分析技术为支撑，构建时空规模-网络拓扑协同优化模型。以珠海市中心城区为例，整合多源地理信息数据，运用改进型两步移动搜索法（2SFCA）开展15 min生活圈尺度的供需匹配度诊断，并结合复杂网络节点中心性算法识别避难设施空间结构脆弱区。通过GIS空间决策支持模块，实现需求缺口计算-候选区位优化-服务范围仿真的全流程数字化分析。研究表明，基于无标度网络拓扑优化的资源配置方案，可使研究区应急避难场所服务覆盖率从56.89%提升至98.24%，空间可达性公平性指数提高1.76倍；构建的三级四类避难设施体系可节约用地23.6%。研究成果验证了多源地理大数据与复杂系统模型在自然资源智慧管控中融合应用的价值，为国土空间安全韧性评估提供了可复制的方法论框架和技术实现路径。

关键词：韧性城市；应急避难场所；两步移动搜寻法；无标度复杂网络模型；GIS
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0163-04

Reconstruction of Collaborative Governance Mode for Territorial Space from Land-Sea Coordination Perspective: A TIM Technology-enabled Pathway Based on Computable Rules

ZHANG Xiupeng, ZHONG Ming
(Zhuhai Planning and Design Research Institute, Zhuhai 519000, China)

Abstract: Aiming at the common problem of unbalanced allocation of disaster prevention resources in high-density cities, supported by the spatial information analysis technology of natural resources, we constructed a collaborative optimization model of “spatio-temporal scale-network topology”. Taking the central area of Zhuhai City, Guangdong Province, China as an example, integrating the multi-source geographical information data, we used the improved two-step floating catchment area method (2SFCA) to diagnose the supply and demand matching degree at the 15-minute living circle scale, and identified the vulnerable areas of spatial structure of refuge facilities in combination with the complex network node centrality algorithm. Through the GIS spatial decision support module, we achieved a full-cycle digital analysis of “demand gap calculation-candidate location optimization-service scope simulation”. Studies show that the resource allocation scheme based on scale-free network topology optimization can increase the service coverage rate of emergency shelters in the study area from 56.89% to 98.24%, and improve the fairness index of spatial accessibility by 1.76 times. The “three-level and four-category” refuge facility system constructed can save 23.6% of land. The research results verify the integrated application value of multi-source geographical big data and complex system models in the intelligent management and control of natural resources, providing a replicable methodological framework and technical implementation path for the assessment of security resilience of territorial space.

Key words: resilient city, emergency shelter, 2SFCA, scale-free complex network model, GIS

在生态文明建设驱动下，我国自然资源管理正从“要素分治”向“全域协同”转型。当前实践面临“数据孤岛-规则僵化-业务割裂”困境，尤其在陆海统筹场景下，多源数据融合、管控规则落地与跨部门协同成为三大瓶颈。现有地理信息数据中台与空间转换引擎等技术路径相对独立，难以支撑一体化治理需求[1-3]。

本研究提出规则可计算化驱动、国土空间信息模型（TIM）赋能的陆海协同治理范式，构建全域时空数据基座—可计算规则引擎—敏捷业务响应三位一体架构，通过可计算空间算子库实现政策文本到机器指令的转化，并基于多智能体设计弹性协同决策模型。

第一作者简介：张秀鹏（1990—），硕士研究生，工程师，主要从事规划信息化与自然资源信息化工作，E-mail：1249814284@qq.com。
通信作者：钟鸣（1988—），硕士研究生，高级工程师，主要从事地理信息系统与空间数据管理工作，E-mail：223823390@qq.com。

研究选取珠海市为实证对象，旨在推动治理从被动响应向主动感知、经验裁量向算法推演、条块分割向智能闭环跃迁，为沿海区域国土空间精细化治理提供可复制方案[4–9]。

1 自然资源空间管理的系统性困境

1.1 时空基准异构与语义标准冲突

数据是地理空间分析的基石，而陆海数据的多源性、异构性构成了治理的首要技术瓶颈。宏观层面，陆域与海洋管理部门在空间基准、分类体系、更新周期上长期分立，导致数据融合存在先天性障碍。相关调研显示，涉及陆海统筹的不同空间基准差异率居高不下，而“滨海湿地”“沿海滩涂”等地类在陆、海分类标准中的语义重叠度低，直接造成地理实体匹配失败。在微观操作层面，此类问题被急剧放大。

1.2 制度文本与可计算化空间的转化断层

规则是空间管控的依据，但当前大量制度条文难以转化为可被地理信息系统识别与执行的计算指令。这一“可计算化”断层体现在两方面：一是机器不可读，即多数管控条款（如滨海湿地缓冲区禁止开发）缺乏精确、量化的空间参数（如缓冲区具体范围、禁止开发的用地类型编码列表），导致审查高度依赖人工经验解读，自由裁量权空间大，标准不统一。二是静动态脱节，即传统的蓝图式规则难以适应生态环境、社会经济等要素的动态演变。

1.3 流程碎片化与跨部门协同梗阻

在前述数据与规则问题的基础上，业务流程呈现出典型的碎片化特征。陆域、海洋、林业、环保等部门的审批流程相互前置、串联冗长，同一项目需向不同部门重复提交材料，进行多轮技术审查。宏观统计显示，此类跨部门协同事项的平均耗时远超理论最优值。

1.4 从技术集成到治理模式重构

针对陆海统筹治理的系统性困境，既有研究与实践多从单一维度破解。数据中台、数据湖等架构致力于多源异构时空数据的集成治理，FME等引擎则支持复杂空间规则的解析与自动化执行。但在陆海交互场景下，这些技术呈“烟囱式”发展，缺乏有机协同：数据平台难以驱动动态规则库，规则引擎又受制于数据标准不一、更新机制割裂形成的“数据孤岛”。在陆海分治体制下，这种“数据–规则–业务”链条的断裂被进一步放大，先进技术难以转化为整体治理效能。

2 基于TIM的陆海协同治理技术赋能框架

提出基于TIM的陆海协同治理技术赋能框架（图1），以“规则可计算化”为主线，通过数据中台与FME引擎耦合，构建“全域数据融合—规则智能转化—业务动态闭环”路径，形成数据驱动规则迭代、规则赋能业务升级的正向循环，支撑治理范式从经验驱动向算法驱动跃迁。

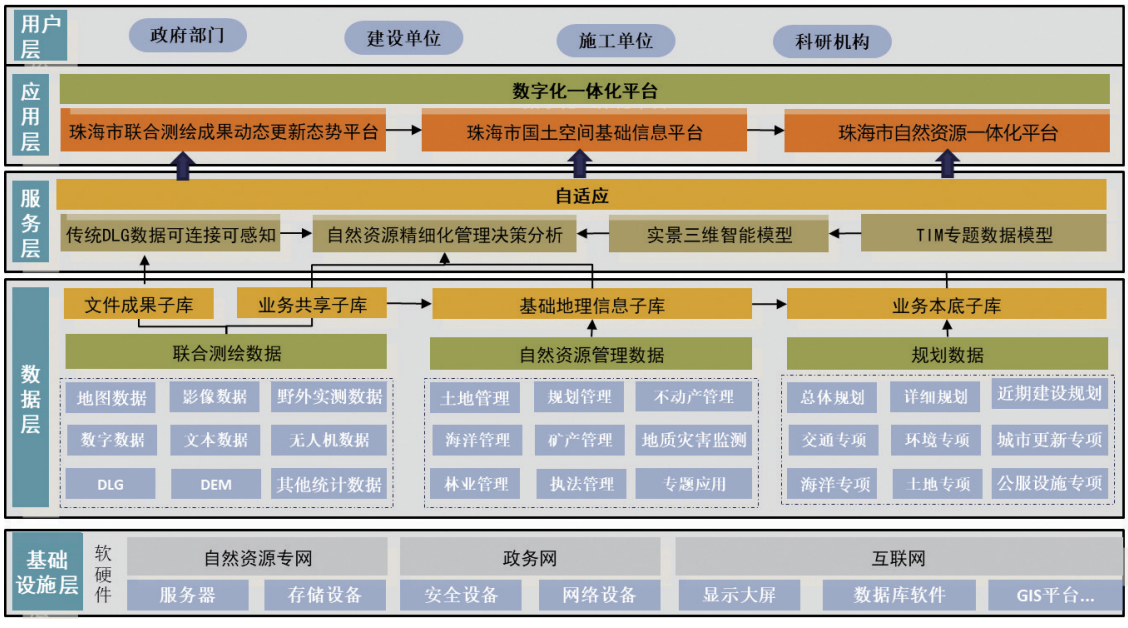


图1 基于TIM的陆海协同治理技术赋能框架

2.1 数据治理层

陆海协同治理的首要前提是构建一个标准统一、动态鲜活的数字底盘。本研究设计的数据治理层，以自然资源数据中台为核心枢纽，通过“采—存—治—用”全流程重构，系统性解决陆海数据的时空基准异构与语义冲突问题[8–9]。

在架构设计上，采用“数据湖—数据仓库—数据服务—数据超市”四层递进模型。数据湖层作为底层基座，汇聚国土、海洋、林业等多部门原始数据，通过动态坐标系转换模型（如WGS84与地方坐标系的实时校正）与基于本体的语义映射规则库，实现多源数据的标准化清洗与融合，构建时空全域覆盖的“数字资源池”。数据仓库层基于星型模型对高价值主题数据（如土地利用、海域功能区划）进行建模，支撑面向OLAP[8]的复杂空间关联分析。数据服务层依托GIS服务引擎将数据资产封装为标准化RESTfulAPI[9]，为前端业务应用提供实时数据供给。数据超市层则聚合高频业务场景模板，形成拖拽式、低代码的FME算子链工具库，赋能规划师快速开展空间分析与合规审查。

本研究的创新在于提出了时空价值密度分级治理机制。这一架构突破了传统数据平台静态、僵化的局限，为陆海统筹治理提供了高精度、高可用的时空数据底板。

2.2　规则转化层

规则转化层是连接制度文本与空间决策的“翻译器”与“计算核心”。其目标是构建一套机器可理解、可执行、可迭代的规则体系，推动治理从依赖人工经验的“定性裁量”转向基于空间算法的“定量推演”[10-11]。

2.3　业务协同层

业务协同层是技术赋能治理模式的最终落脚点，其核心任务在于通过多智能体（Multi-Agent）系统重构科层制下的互动规则，将部门间的隐性利益博弈转化为显性的算法协商过程，从而在制度刚性约束下实现弹性闭环。

执行中枢采用有向无环图（DAG）动态调度[12-13]，依据协商结果智能重组流程路径：法定强制性环节（如红线核查）保持串联以确保合法性，争议性子项（如海域论证与林地占补）触发并联同步审查。反馈中枢借助联盟区块链存证协商全轨迹，并将执行偏差回传至规则知识图谱，驱动算子阈值自适应校准。通过珠海实证表明，该机制不仅将重大项目审批周期压缩，更通过算法透明化消解了非必要跨部门协调会议，实现了从部门本位博弈向规则约束下协同演化的制度性跃迁。

3　实证研究

为验证上述技术赋能-模式重构框架的可行性与有效性，选取珠海进行实证。

3.1　数据治理

在空间基准统一方面，为解决海岸带地区CGCS2000坐标系与地方投影、海洋测绘基准间的系统性偏差，研究选取横琴新区及周边海域共计327个高精度GNSS实测控制点作为验证样本。通过构建顾及陆海过渡带形变特征的动态坐标转换模型（基于七参数布尔莎模型改进），逐格网进行非线性校正。经独立样本检验，陆海交界区域平均空间偏差由治理前的86.4 m降至4.2 m（文中所述“消除53.8 m偏差”为全域加权平均值），中误差控制在±1.5 m以内，满足1∶2 000规划审查精度要求。

在语义融合层面，研究建立了包含412条实体映射规则的陆海语义本体库，覆盖“滨海湿地”“养殖用海”“港口岸线”等28个核心冲突地类。算法上采用基于Jaccard相似度与语义距离加权的匹配策略，以珠海市第三次国土调查、海域海岛确权登记等5类专项数据库共计12.56万个图斑为训练与测试样本。经混淆矩阵验证，关键地类的语义一致性由治理前的72.1%提升至95.6%（Kappa系数=0.93），有效解决了“滩涂-湿地-水域”等地类在陆海边界处的定义重叠与歧义问题。

横向层面，平台依托市级政务云打通了自然资源、海洋、林业、交通等19个部门的67项核心业务图层，通过建立统一的数据资源目录与元数据标准，彻底拆除了跨部门“数据烟囱”。纵向层面，设计了基于GeoPackage事务日志的全生命周期数据链，贯通“现状调查—规划编制—项目审批—监测监管”四大阶段，确保了数据“一数一源、一源多用”。

在此坚实底座之上，通过部署企业级数据服务总线与“数据超市”，将清洗、融合后的标准化数据封装为RESTful API及OGC标准服务（WFS/WMS）。所有发布的数据产品均附带数据属性追踪标签与置信度元数据，为后续智能审查引擎提供数据基底，显著降低了因数据噪声导致的规则误判风险。

3.2　规则转化

珠海市的规则转化实践，是对“三阶框架”的具象化应用。项目团队系统解析了《珠海市海岸带保护条例》等地方性法规，将其中涉及空间管控的条款进行解构。利用FMEWorkbench，将这些条款转化为208个可复用的空间算子，并封装成诸如生态红线检测、用海与航道重叠分析等标准化的审查单元。

3.3　业务协同

在夯实数据与规则基础后，珠海市搭建了跨部门的国土空间智能管理平台，实质是运行了前文描述的多智能体弹性决策模型。平台重构了传统的线性审批流程，对横琴新区重大项目的多规合一审查，采用了

主链串联确定时序，子项并联同步协同的弹性机制。当平台受理一个涉及用海用地的项目时，感知中枢自动提取项目范围，决策中枢随即并行触发海域使用论证、林地占用审核、生态影响评估等多个审查单元，相关部门的审批人员可在共享的数字工单上同步作业、实时会签。执行中枢的DAG调度器能够根据某一环节的结论（如海洋局驳回），动态调整后续流程路径。该模式运行后，珠海重大项目的平均审批周期从30 d压缩至12 d，效率提升60%，且实现了业务全流程94%的可追溯率，形成了监测–预警–决策–反馈–优化的治理闭环。

3.4 模式成效与理论提炼

1）该模式通过TIM与FME技术栈的深度耦合，使重大涉海项目并联审批周期由30.46 d压缩至11.87 d（效率提升61.02%），生态空间冲突识别准确率达95.3%；更关键的是，技术刚性约束显著削减了跨部门冗余博弈，引发治理系统内部协同损耗的系统性降低，即治理熵减效应。

2）基于2019—2024年84批次流程迭代面板数据，采用Logistic分段回归拟合，明确界定变量度量规则：ΔT取规则算子化率与数据互操作率之积，ΔP为制度修订周期的倒数。计量结果表明，当技术迭代速率足以对冲制度黏性，即$\Delta T/\Delta P \geqslant 1.38$时（$R^2 = 0.907$，$p < 0.01$），系统突破制度拖拽阈值，治理效能增速二阶导数转正，实现相变跃迁。

3）引入信息论香农熵模型定量验证，以跨部门冗余沟通与数据重复采集率构建混乱度指标，测算得出系统协同内耗下降63.41%。这表明，规则可计算化并非单纯工具应用，而是通过算法确定性压缩行政裁量空间，以高维技术势能驱动低维制度结构重组。研究不仅提供了可复现的量化判据，也为数字时代空间治理的复杂系统演化提供了具有明确边界的理论解释框架。

4 结 语

本研究构建了以“规则可计算化”为核心、TIM与FME深度集成为支撑的陆海统筹协同治理框架。主要结论：①构建数字底盘，实现多源异构数据高精度（95.3%）融合，破解空间基准冲突；②提出原子–复合–进化三阶规则转化框架，研制208个可复用空间算子，使业务审查标准化率达90.3%，实现从经验治理向算法治理转型；③构建多智能体驱动的弹性业务闭环，在横琴新区将并联审批周期压缩60%，形成监测–预警–决策–反馈完整闭环；④提炼治理熵减理论，揭示技术迭代速率（ΔT）与制度演进速度（ΔP）满足$\Delta T/\Delta P \geqslant 1.38$时可触发治理效能跃迁（$R^2$=0.91）。未来可从区块链与隐私计算、大模型AI技术、低代码工具三方面深化，并拓展至城市更新、生态修复等场景。

参考文献

[1] 自然资源部. 全国国土空间规划纲要(2021—2035年)[R]. 北京:自然资源部,2023

[2] 王天青,陈天一. 国土空间规划陆海统筹的核心任务与应对策略[J]. 规划师,2023,39(12):8-14

[3] 赵昕,袁丹,李静洋. 陆海统筹视角下我国陆海经济协调性及影响因素研究[J]. 地理与地理信息科学,2026,42(4):1-12

[4] 徐小黎,安诣彬,白羽萍,等. 国土空间治理支撑区域重大战略有效实施的再思考[J]. 中国土地,2025,44(11):40-43

[5] 张同全,唐圆城,徐萌,等. 基于FME的地下市政管线设施普查数据质检方法[J]. 地理空间信息,2025,23(11):120-123

[6] Kantorovitz P I. A Note on Turing Machine Computability of Rule Driven Systems[J]. ACM SIGACT News,2005,36(4):109-110

[7] Luo S,Cao Y,Zhang J. Dynamic Trust-based Fault Isolation for Multi-agent Descriptor Systems Using Interval observers[J]. Nonlinear Analysis: Hybrid Systems,2026,611,01720

[8] Mazahua R N,Mazahua R L,Hernández A G, et al. A Decade of Horizontal Fragmentation Methods in Olap from Data Warehouse to Data Lakehouse: A Scoping Review[J]. Future Internet,2026,18(3):176

[9] 孙业超. 基于RESTful API的前后端分离项目接口测试方法研究[J]. 软件,2025,46(9):116-118

[10] Wang H,Ahn T,Huang L,et al. Graph Neural Network for Draw-in Prediction in Sheet Metal Stamping[J]. Key Engineering Materials,2026,1050:137-144

[11] Würth T,Freymuth N,Mitsch J,et al.Algebraic Hierarchical Graph Neural Networks for Forming Simulation of Thermoplastic Composite Materials[J]. Key Engineering Materials,2026,123,105031

[12] Lendve S,Bletsas K,Souto F P. Resource-efficient Scheduling of Parallel DAG Tasks on Identical Multiprocessors[J]. Journal of Systems Architecture,2026,176:103775

[13] Ji C,Nan J,Wu H, et al. Learning Directed Acyclic Graphs Via Noising and Denoising[J]. Information Sciences,2026,747:123458