引文格式：黄海茵,徐雯,何宗泽,等. 耦合协同的“水—岸—城”空间一体化模式研究[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):167-171. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2026.06.030

# 耦合协同的“水—岸—城”空间一体化模式研究

黄海茵[1]，徐　雯[1]，何宗泽[1]，贺嘉启[1]，瞿韫瑶[2]，文　晨[3*]，戴　菲[2]
（1. 湖北省空间规划研究院，湖北 武汉 430071；2. 华中科技大学 建筑与城市规划学院，湖北 武汉 430074；
3. 华中科技大学 设计学院，湖北 武汉 430074）

**摘　要：**以7个湖北长江沿线城市为例，采用熵权法结合耦合协调度模型，从生态功能、城市建设、产业发展、景观风貌4个维度构建了一体化评价体系。研究结果表明：①生态、城市、产业、景观子系统中综合权重占比最高的类别分别为生态服务评价、政府、三产、边缘与面积；②在4个子系统中，景观风貌整体数值最高，波动最大，城市建设整体数值较低，且差异较大；③区域整体一体化程度中等偏上，表现为1个城市良好协同、2个城市较好协同、4个城市中级协同。综上，建议将城市一体化发展模式分为城市产业高水平协调发展模式（武汉）、生态保护绿色协调发展模式（宜昌、咸宁）、经济转型升级模式（鄂州、荆州）和生态修复与产业培育模式（黄冈、黄石）4类。

**关键词：**一体化；耦合协同；湖北长江沿线城市；熵权法
**中图分类号：**P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0167-05

# Research on the Spatial Integration Mode of “Water-Shore-City” Based on Coupling Coordination

HUANG Haiyin[1], XU Wen[1], HE Zongze[1], HE Jiaqi[1], QU Yunyao[2], WEN Chen[3], DAI Fei[2]
(1. Hubei Spatial Planning Institute, Wuhan 430071, China;
2. School of Architecture and Urban Planning, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
3. School of Design, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In this study, taking seven cities along the Hubei section of the Yangtze River for example, we used the entropy weight method and the coupling coordination degree model to construct an integrated evaluation system from four dimensions, such as ecological function, urban construction, industrial development, and landscape character. The results show that ①in the evaluation system, ecological service evaluation, government, tertiary industry, and area and edge are the categories with the highest comprehensive weight proportions in the ecological function, urban construction, industrial development, and landscape character, respectively. ②Among the four subsystems, the overall value of landscape character is the highest and fluctuates the most, and the overall value of urban construction is lower, and exhibits significant disparities. ③The overall degree of regional integration is moderately high, showing one city with good coordination, two cities with fairly good coordination, and four cities with intermediate coordination. In summary, it is suggested that the integrated urban development mode be divided into four categories of urban-industrial high-level coordinated development mode (Wuhan), ecological protection and green coordinated development mode (Yichang, Xianning), economic transformation and upgrade mode (Ezhou, Jingzhou) and ecological restoration and industry cultivation mode (Huanggang, Huangshi).

**Key words:** integration, coupling coordination, cities along the Hubei section of the Yangtze River, entropy weight method

目前水域生态治理[1-3]、经济发展与生态环境的耦合[4]逐渐成为国内外学者的研究热点[5-13]。然而，现有研究对于“水—岸—城”系统融合与一体化程度的刻画仍较模糊，多局限于通过指标体系对生态修复与经济发展等表象成效进行初步分析，尚未形成能直接指导区域一体化实践提升的有效依据；此外，出于不同的研究目的和应用范围，目前一体化评估模型往往具有较显著的地域特定性，限制了其在不同语境下的应用。“水—岸—城”空间一体化模式将城市、河岸和水域有机结合起来，以实现空间的高效利用和生态的可持续发展，对于促进区域内生态、城市、产业、景观多维度的可持续发展具有积极作用。湖北省位于长江经济带中游，流域面积广，河网密度高。沿江城市滨水而生，因水而兴，但也面临着区域水资源时空分

项目来源：国家自然科学基金青年基金资助项目（52208060）；湖北省自然资源厅自然资源科技资助项目（ZRZY2023KJ27）。
第一作者简介：黄海茵（1978—），硕士，高级工程师，从事国土空间规划和实施监测工作，E-mail：283050185@qq.com。
通信作者：文晨（1988—），博士，讲师，研究方向为环境交互与空间叙事、社会计算、景观规划设计，E-mail：cwen@hust.edu.cn。

布不均、水生态环境敏感、防洪控污压力较大等问题。湖北省对于治水兴水高度重视[3,14]，不断完善水利基础设施建设，大力推进长江生态治理，多项重点领域改革取得积极进展，陆续出台《湖北省流域综合治理和统筹发展规划纲要》《湖北省湖泊保护条例》，编撰《湖北省湖泊志》，开展“一湖一勘”、“一湖一规”、“一湖一档”、“一湖一景”等相关工作[15]，水安全得到了一定改善，但滨水城市区域协调发展的差异化和精细化管控，仍亟待解决[16-17]。基于此，本文选取湖北省内长江沿线的7个长江主干道流经城市作为评估“水—岸—城”空间一体化模式的研究对象，构建了基于长江中游地域特色的空间一体化的相关指标和耦合关系计算的模型，并定量定性分析了区域内生态功能、城市建设、产业发展和景观风貌的发展现状。通过多维度数据比较，分析现存问题。基于分析结果结合场地提出针对性的发展规划意见，以提升“水—岸—城”空间一体化模型的可操作性和适用性，为长江沿线区域一体化发展提供实践经验和科学依据。

## 1 指标体系与研究方法

本文以湖北省内长江沿线7个长江主干道流经城市（宜昌、荆州、咸宁、武汉、黄冈、鄂州、黄石）为研究对象，总面积为7.73万$km^2$。7个城市在湖北省乃至长江经济带中具有重要地位，城水联系紧密、生态环境多元，在规模、空间位置、水城关系上具有代表性。

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 指标体系构建

指标体系构建遵循系统性与全面性、理论指导与文献参考、区域导向与数据可获取性三大原则，得到专家评审会的鉴定通过。指标选择根据“水—岸—城”三者系统性关系，确保指标覆盖生态、城市、产业、景观4个子系统，引入水岸集中度等表征水、岸、城关系的指标以及水安全、水运等更具针对性指标。借鉴已有相关的流域耦合协同研究模型[9-12,17-22]，遴选出被广泛应用的高频核心指标。结合长江流域地域特征，建立4个版块、15个一级指标，54个二级指标的“水—岸—城”空间一体化综合评价指标体系（表1）。

表1 “水—岸—城”空间一体化综合评价指标体系

| 目标层 | 一级指标 | 二级指标 | 指标属性 | 所占权重 |
|---|---|---|---|---|
| 生态 | 生态服务评价 | 碳储量 | + | 0.033 |
| | | 水岸碳储量集中度 | + | 0.053 |
| | | 生境质量 | + | 0.062 |
| | | 产水量 | + | 0.035 |
| | | 水质调节 | − | 0.082 |
| | | 土壤保持 | + | 0.048 |
| | 生态环境评价 | 建成区绿地覆盖率 | + | 0.045 |
| | | 人均公园绿地面积 | + | 0.032 |
| | | 空气质量优良率 | + | 0.029 |
| | | 空气综合指数 | − | 0.055 |
| | | $PM_{2.5}$平均浓度 | − | 0.036 |
| | | 昼间噪声等效声级平均值 | − | 0.028 |
| | | 监测站地表水Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类占比 | + | 0.043 |
| | 水安全评价 | 堤防长度 | + | 0.064 |
| | | 达标堤防占比 | + | 0.042 |
| | | 水土流失综合治理面积 | + | 0.072 |
| | | 新增治理面积占总治理面积占比 | + | 0.067 |
| | | 水利建设年度投资计划 | + | 0.113 |
| | | 防洪库容占总库容占比 | + | 0.063 |
| 城市 | 人口 | 城镇人口密度 | + | 0.059 |
| | | 城镇化率 | + | 0.038 |
| | | 城镇登记失业率 | − | 0.048 |
| | 经济 | 水岸GDP集中度 | + | 0.037 |
| | | 水岸夜间灯光集中度 | + | 0.082 |
| | | 单位GDP能耗降低率 | + | 0.041 |
| | | 社会消费 | + | 0.106 |
| | 政府 | 恩格尔系数 | − | 0.045 |
| | | 地方一般公共财政预算收入 | + | 0.158 |
| | | 财政总收入 | + | 0.161 |
| | 建设 | 城市建成区面积 | + | 0.134 |
| | | 人均道路面积 | + | 0.047 |
| | | 水岸道路集中度 | + | 0.043 |
| 产业 | 一产 | 食物产值集中度 | + | 0.098 |
| | | 食物总产量 | + | 0.047 |
| | 二产 | 制造业POI | + | 0.026 |
| | | 高新技术产业POI | + | 0.026 |
| | 三产 | 旅游服务POI | + | 0.188 |
| | | 餐饮服务POI | + | 0.148 |
| | | 水运占比 | + | 0.045 |
| | | 总货运量 | + | 0.088 |
| | 产业升级 | 产业结构水平 | + | 0.135 |
| | | 产业整体升级 | + | 0.090 |
| | | 产业结构高级化 | + | 0.081 |
| | | 固定资产投资增长速度 | + | 0.026 |
| 景观风貌 | 面积与边缘 | 最大斑块指数 | + | 0.108 |
| | | 边缘密度 | − | 0.125 |
| | | 平均斑块面积 | + | 0.068 |
| | 形状 | 平均连通性指数 | + | 0.058 |
| | | 平均形状指数 | + | 0.205 |
| | 聚集 | 聚集度指数 | − | 0.081 |
| | | 斑块密度 | + | 0.096 |
| | | 分割指数 | − | 0.110 |
| | 多样性 | 连通性指数 | + | 0.090 |
| | | 香农多样性指数 | + | 0.059 |

#### 1.1.2 指标权重计算

为更好地对空间一体化在不同城市内部表征进行量化评价，先对各指标进行标准化，再确定所占指标的权重[16]。本文采用极差标准化方法进行标准化处理，将各原始数据范围统一在0~1之间，以消除量纲对评价结果的影响。

$$Y_{ij}=\frac{X_{ij}^{'}}{\sum_{i=1}^{m}X_{ij}} \tag{1}$$

$$e_j=-k\sum_{i=1}^{m}Y_{ij}\ln Y_{ij} \tag{2}$$

$$w_j=\left(1-e_j\right)/\sum_{j}^{m}\left(1-e_j\right) \tag{3}$$

式中，$X_{ij}$ 为第 $i$ 个城市第 $j$ 项指标的原始数值；$X'_{ij}$ 为指标原始值的标准化值；$Y_{ij}$ 为第 $i$ 个城市第 $j$ 项指标的权重；$k=\frac{1}{\ln m}$；$e_j$ 为第j项指标的熵值；$w_j$ 为第 $j$ 项指标的权重；$m$ 为评价指标数量；$n$ 为评价对象数量。

1.1.3　指标计算方法与模型构建

对于单个指标，生态系统服务子版块主要采用InVEST模型对应的版块进行计算，如正向指标碳储量根据InVEST操作手册综合考虑死亡有机质、土壤有机质、地上有机质和地下有机质对碳储存的影响，并结合相关碳库研究中不同土地利用类型对碳储密度进行估算；负向指标水质调节综合考虑氮、磷2种沿江农业地带水环境污染的主要营养物向地上水体排放输送的能力来衡量区域整体水质调节能力。生态环境和水安全2个子版块则主要依赖以各市统计年鉴为代表的面板数据以及数据的简单运算。涉及集中度的指标主要通过空间数据的均值占比来表征，以长江主干道5 km形成缓冲区，通过划分区域水岸研究区域，比较水岸区均值与整体区域均值以表征水岸区域的集中度。此外，城市功能加入恩格尔系数，产业功能加入产业结构水平、产业整体升级和产业结构高级化等需要在面板数据上进行二次运算的社会经济指标。景观功能版块则通过土地利用数据在Fragstats软件中进行景观格局指数评估。生态、城市、产业、景观4个子系统的综合评价结果则通过单个指标和熵权法计算所得的权重进行加权计算得到。在此基础上，通过耦合协同度模型计算研究区各城市“生态—城市—产业—景观”复合系统一体化模式的评价结果，具体模型构建借鉴国内黄河流域和长三角的相关研究[17]，可衡量各城市的一体化发展情况和各模块间的耦合协同水平。

$$C=\sqrt{2-\frac{4\left(E^2+S^2+I^2+L^2\right)}{(E+S+I+L)^2}} \tag{4}$$

$$T=1/4(E+S+I+L) \tag{5}$$

$$D=\sqrt{C\times T} \tag{6}$$

式中，$C$ 为耦合度；$T$ 为协调指数；$D$ 为协调度；$E$ 为生态服务的综合评价值；$S$ 为城市建设的综合评价值；$I$ 为产业发展的综合评价值；$L$ 为景观风貌综合评价值。

### 1.2　数据来源与处理

本文选取长江流域湖北段7个城市作为研究对象，以行政边界为划分依据，受研究数据获取限制，研究尺度和数据最小统计单元为市域层面。本文采用的湖北省各研究单元地级市的面板数据来源于政府官网等官方渠道，包括2022年《湖北省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国城市水利统计年鉴》《国民经济和社会发展公报》《环境质量年报》及各地级市统计年鉴等，个别缺失数据通过邻近年份相关数据线性插值得到。本文采用的2020—2022年土地利用数据、气象数据来源于中国科学院资源与环境科学数据中心（https://www.resdc.cn/），土地利用数据空间分辨率为30 m，气象数据空间分辨率为1 km；DEM数据来源于ALOS全球高程数据，空间分辨率为30 m；降水量、营养物径流替代物和降水侵蚀力因子数据通过中国1 km分辨率年降水量数据计算；蒸散量数据通过1990—2022年中国1 km逐月潜在蒸散发数据计算；根系限制层深度和土壤可侵蚀因子通过世界土壤数据库计算；人口数据来源于LandScan平台的1 km精度的人口分布栅格数据；夜间灯光数据来源于中国长时间序列逐年人造夜间灯光数据集；POI数据主要通过高德地图爬取获得；道路数据则通过OSM平台下载爬取。

按需求大类对POI数据和OSM道路数据进行筛选分组后映射到坐标系，与其他空间数据统一投影坐标系，再以研究区域构建缓冲区。在确保空间基准统一的基础上，对栅格数据进行背景和分辨率统一，对参与InVEST模块运算的栅格数据和矢量数据进行掩膜裁剪。对POI数据进行核密度分析，综合考虑研究区尺度与城市建成区范围，设定5 km的搜索半径与100 m的像元大小，以平滑生成各城市的POI空间分布密度图，并提取建成区内的均值作为评价指标。对于面板数据，则对缺失数据进行插补并检查单位一致性。

## 2　研究结果与分析

### 2.1　子系统一体化发展指标计算结果

4个子系统的指标权重与占比如下：在生态功能子系统中，单指标水利建设年度投资计划（0.113）、水质调节（0.082）、水土流失综合治理面积（0.072）的权重排名前三；综合指标中水安全评价（0.420）、生态服务评价（0.312）、生态环境评价（0.268）的总权重依次降低；新增治理面积占总治理面积占比、堤防长度、生境质量、防洪库容占总库容占比也具有较大的权重，反映了它们在生态功能评价中的重要性；

昼间噪声等效声级平均值、空气质量优良率、人均公园绿地面积的权重较小，说明研究区内这些指标的区分度不足。在城市建设子系统中，单指标财政总收入（0.161）、地方一般公共财政预算收入（0.158）、建成区面积（0.134）的权重排名前三；综合指标中政府（0.319）、经济（0.311）、建设（0.224）、人口（0.146）的总权重依次降低；社会消费、水岸夜间灯光集中度、城镇人口密度也具有较高的权重，说明城市经济、人口结构、消费活力对城市可持续发展和居民生活质量具有较大影响。在产业发展子系统中，单指标旅游POI（0.188）、餐饮POI（0.148）、产业结构水平（0.135）的权重排名前三；综合指标中三产（0.470）、产业升级（0.333）、一产（0.145）、二产（0.052）的总权重依次降低；食物产值集中度、产业整体升级、总货运量、产业结构高级化也具有较高的权重，反映了城市产业升级、效率、创新能力和基础设施的完善程度。在景观风貌子系统中，单指标平均形状指数（0.205）、边缘密度（0.125）、分割指数（0.109）的权重排名前三；综合指标中面积与边缘（0.301）、聚集（0.287）、形状（0.263）、多样性（0.149）的总权重依次降低；斑块密度、聚集度指数、连通性指数也具有较高的权重，说明城市生态系统的多样性、空间结构和生态连通性等对生态平衡、美学提升和可持续发展具有关键作用。

## 2.2 一体化发展评估与空间分布

按照城市统计各子系统的计算结果和耦合协同评估值（表2）。从城市角度来看，武汉市的生态—城市—产业—景观综合评价结构与其他城市具有明显差异，城市建设、产业发展评价值最高，表明武汉市在7个城市中建设和经济相对优秀，城市发展较好、基础设施完善，经济活力高、增长快；宜昌市的生态功能评价值最高，在生态服务、生态环境、水安全3个版块的综合表现最优秀，展现了其在环境保护和生态建设方面的显著成效；咸宁市在反映景观风貌的面积与边缘、形状、聚集、多样性4个方面的表现最好，在景观风貌方面具有一定特色和吸引力，但仍需注意保护和维护。

对研究区4个子系统综合评价指数进行再处理，采用Python的Matplotlib库绘制箱型图（图1a）；并采用Python的Scipy.stats.gaussian_kde函数计算核密度，以0.2为带宽，绘制4个子系统综合评价指数核密度曲线（图1b）。结果表明：①生态功能版块整体数值排名第二，数据起伏较多，说明该区域在生态功能方面表现相对良好，但内部具有一定差异，需进一步细化管理和保护措施；②城市建设版块波峰最低，整体数值较低，分布区段最宽，数值两极分化明显，存在一个异常高值（武汉市），可进一步分析武汉市建设经验，进行针对性提升；③产业发展版块数值整体较低，但最集中，也存在一个异常高值（武汉市）；④景观风貌版块整体数值排名第一，曲线数值波动最多，但比较聚集。

根据耦合协调度得分，参考相关研究[15-16]和研究

表2 研究区域生态-城市-产业-景观综合评价及一体化耦合协同水平评价值

| 城市 | 生态功能综合评价值 $E$ | 城市建设综合评价值 $S$ | 产业发展综合评价值 $I$ | 景观风貌综合评价值 $L$ | 耦合度 $C$ 值 | 协调指数 $T$ 值 | 协调度 $D$ 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 武汉市 | 0.304 | 0.847 | 0.781 | 0.253 | 0.870 | 0.546 | 0.689 |
| 黄石市 | 0.323 | 0.169 | 0.174 | 0.404 | 0.927 | 0.267 | 0.499 |
| 宜昌市 | 0.540 | 0.199 | 0.242 | 0.482 | 0.915 | 0.366 | 0.578 |
| 鄂州市 | 0.341 | 0.297 | 0.289 | 0.466 | 0.979 | 0.348 | 0.585 |
| 荆州市 | 0.299 | 0.238 | 0.315 | 0.359 | 0.990 | 0.303 | 0.547 |
| 黄冈市 | 0.400 | 0.131 | 0.238 | 0.483 | 0.899 | 0.313 | 0.528 |
| 咸宁市 | 0.460 | 0.144 | 0.133 | 0.549 | 0.816 | 0.321 | 0.513 |

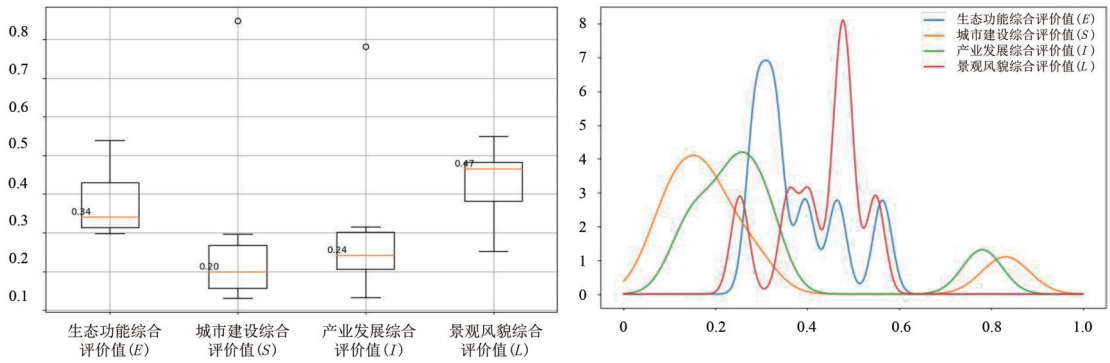



图1 各子系统综合评价指数箱型图和核密度估计比较图

区城市具体数据分布情况，本文采用相邻值差值断点法将耦合协调度分为A级（良好协同）、B级（较好协同）、C级（中级协同）3大类。结果表明，7个城市4个子系统指标的耦合协调度中等偏上且整体差异较小，其中武汉市的耦合协调度最高，为A级；鄂州市和宜昌市次之，为B级；荆州、黄冈、黄石、咸宁数值相近，均为C级，研究区整体耦合协调度呈现集聚性。

## 3　结论与建议

本文运用熵权法与耦合协调度模型，构建了湖北省沿江7市“水—岸—城”一体化评价体系。结果表明：景观风貌得分最高且波动最大，生态功能次之，产业发展集中度最高，城市建设两极分化严重。7市呈1个良好协同（武汉0.689）、2个较好协同（鄂州0.585、宜昌0.578）和4个中级协同的梯次格局，整体中等偏上。模型识别出经济拉动型（武汉）、生态驱动型（宜昌）、景观—服务联动型（咸宁）三种协同机制，其协同度低于长三角、高于黄河流域，验证了模型的稳健性。

基于评价结果，建议分四类推进：①武汉为城市产业高水平协调模式，需补生态与景观短板；②宜昌、咸宁为生态保护绿色协调模式，前者应控制滨江开发、发展绿色旅游，后者需防农业面源污染、落实“一湖一策”；③鄂州、荆州为经济转型升级模式，前者探索物流枢纽绿色运营，后者利用流域治理资金推动制造业绿色化；④黄冈、黄石为生态修复与产业培育模式，前者发展生态农业与冷链物流，后者建设磁湖文旅综合体与光伏产业。

本文构建了体现湖北地域特色的多源数据评价框架，为区域一体化规划提供理论依据。局限在于缺乏实地问卷，后续将补充一手数据，建立区域一体化数据库，实现从被动修复到主动调控的跨越。

## 参考文献


[1] 马方凯,陈英健,姜尚文. 长江三角洲区域水生态环境治理思考[J]. 人民长江,2022,53(2):48-53

[2] 姜代炜,谭太恒,陈婉莹,等. 流域生态环境治理体系构建研究:以南流江为例[J]. 地理空间信息,2024,22(3):55-58

[3] 张园玉,薛凯竟. 基于“一张底图”的市域国土空间治理平台设计与实现[J]. 地理空间信息,2024,22(12):11-15

[4] 肖沁霖,肖黎明. 绿色创新效率与生态治理绩效耦合协调的时空分异及响应:以长江经济带108个城市为例[J]. 世界地理研究,2022,31(1):96-106

[5] Henson M J, Hanna M. The Los Angeles River Reimagined: 51 Miles of Connected Public Open Space[J]. Landscape Architecture Frontiers,2021,9(3):58-72

[6] Kok S, Clec'h L S, Penning E W, et al. Trade-offs in Ecosystem Services Under Various River Management Strategies of the Rhine Branches[J]. Ecosystem Services, 2025, 72:101692

[7] Fenten T, Dieperink C. Governance Conditions for a Successful Restoration of Riverine Ecosystems, Lessons from the Rhine River Basin[J]. Water,2024,16(20):2983

[8] 李雪松,孙博文. 长江中游城市群区域一体化的测度与比较[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(8):996-1003

[9] 曾刚,王丰龙. 长三角区域城市一体化发展能力评价及其提升策略[J]. 改革,2018,31(12):103-111

[10] 任保平,杜宇翔. 黄河流域经济增长—产业发展—生态环境的耦合协同关系[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(2):119-129

[11] 武义青,赵建强. 区域基本公共服务一体化水平测度:以京津冀和长三角地区为例[J]. 经济与管理,2017,31(4):11-16

[12] 宁朝山,李可馨. 黄河流域水资源—生态—城市—产业协同演进研究[J]. 人民黄河,2024,46(2):21-28

[13] 韩佳洪,祝连波,陶玉,等. 基于熵权—灰色关联度分析的零碳社区建设评价研究[J]. 上海节能,2024,43(10):1596-1604

[14] 邱悦,文晨,戴菲. 基于生态系统服务评估的长江武汉段城市河流廊道蓝绿空间优化[J]. 中国园林,2023,39(6):88-94

[15] 湖北省水利发展“十三五”规划[EB/OL]. (2022-12-08)[2025-02-16]. https://slt. hubei. gov. cn/fbjd/xxgkml/ghjh/202212/t20221208_4447214. shtml

[16] 程蕾,吴小语,沈凤娇,等. 湖北省优势地区土地要素配置策略研究[J]. 地理空间信息,2025,23(2):128-132

[17] 杨柳琪,周燕,罗佳梦,等. 基于时空演变分析的武汉市城市蓝绿系统空间格局及其与城市发展的协同关系研究[J]. 园林,2022,39(7):66-74

[18] 陈慧灵,蒋莉莎,王振波. 黄河流域土地利用碳排放与生态系统服务价值时空耦合及影响因素[J]. 环境科学,2025,46(6):3536-3545

[19] 吕铖,吕素冰,焦天一,等. 河南省黄河流域水资源—经济社会—生态环境协调发展评价及驱动因素分析[J]. 中国农村水利水电,2024,67(12):1-11

[20] 王富强,张蒙,吕素冰,等. 京津冀地区水—经济—生态系统耦合协调发展模拟[J]. 南水北调与水利科技(中英文),2023,21(2):218-232

[21] 吴壮. 皖北地区土地—经济—生态系统耦合协调发展研究[D]. 合肥:安徽建筑大学,2023

[22] 蒋海兵,商硕. “流空间”视角下长三角地区一体化发展空间分异特征[J]. 中国名城,2023,37(5):3-8