

# 基于改进物元分析法的岸线开发利用风险评估

方国华<sup>1</sup>, 陆洋洋<sup>1</sup>, 叶晓晶<sup>1</sup>, 廖涛<sup>2</sup>

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司南京分院, 江苏 南京 210029)

**摘要:**在界定岸线开发利用风险内涵和要求的基础上,构建包括水质污染、生态环境、工程安全、管理与应急能力4个方面共20个指标的岸线开发利用风险评估指标体系。运用层次分析法确定指标的主观权重,运用熵权法确定客观权重,并通过最小相对信息熵原理得到组合权重,基于灰关联改进物元分析法建立岸线开发利用风险评估模型,对长江南京段岸线开发利用进行风险评估。结果表明:改进物元分析法可有效评估岸线开发利用风险水平,评估结果符合实际情况;长江南京段岸线开发利用整体处于较低风险级别,岸线管护效果良好,但应重点防范生态环境风险,可通过优化岸线布局、落实岸线清理整治工作以及开展岸线生态保护和修复,进一步降低岸线开发利用风险水平。

**关键词:**岸线开发利用;风险评估;信息熵原理;组合权重;灰关联;物元分析法

**中图分类号:**TV122 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2022)04-0001-06

**Risk assessment of shoreline development and utilization based on improved matter element analysis method//** FANG Guohua<sup>1</sup>, LU Yangyang<sup>1</sup>, YE Xiaojing<sup>1</sup>, LIAO Tao<sup>2</sup>(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Nanjing Branch, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** On the basis of defining the risk connotation and requirements of shoreline development and utilization, a risk assessment index system for shoreline development and utilization was constructed, including 20 indicators in the four aspects of water pollution, ecological environment, engineering safety, and management and emergency response capabilities. The analytic hierarchy process and the entropy method were used to determine the subjective and objective weight, respectively. The combined weight was obtained through the principle of minimum relative information entropy. Based on the gray relational improved matter element analysis method, a risk assessment model for shoreline development and utilization was established, which was applied to the Nanjing section of the Yangtze River. The results show that the improved matter element analysis method can effectively evaluate the risk level of shoreline development and utilization with realistic assessment outcome. The shoreline of Nanjing section has an overall low development and utilization risk with good management, but preventing ecological environmental risks should be focused on. The risk level of shoreline development and utilization can be further reduced by optimizing the layout, implementing the cleanup and remediation, carrying out the ecological protection and restoration.

**Key words:** shoreline development and utilization; risk assessment; information entropy principle; combination weight; grey correlation; matter element analysis method

岸线是一定水位下的水域和陆域空间,是不可再生的战略性自然资源,具有可开发利用的土地资源属性,同时具有行洪、调节水流和维护河道健康的生态功能属性<sup>[1-3]</sup>。然而,随着我国经济社会的快速发展和城市化进程的加快,人们对岸线的开发利用程度越来越高,尤其是长江中下游地区经济发展迅速、人口稠密、土地资源稀缺,对岸线资源的开发需求旺盛<sup>[4]</sup>,港口码头、工业、跨江通道、滨河景观等开发利用项目密集<sup>[5]</sup>。岸线利用的不合理布局和无序开发导致了生态环境的严重破坏,河势和运输

航道被破坏,滨岸带灾害频发,岸线开发利用风险形势不容乐观<sup>[6]</sup>。为保障岸线生态资源的可持续利用和社会经济的可持续发展,党的十八届五中全会明确提出要“构建科学合理的自然岸线格局”;2016年12月,我国全面推行河长制,河长制的主要任务之一就是加强岸线管控,建立健全河流岸线管理体制机制,统筹推进岸线管理保护;2018年4月,习近平总书记在武汉召开的深入推动长江经济带发展座谈会上更是强调“长江病了”,要治好“长江病”;2019年6月,为学习贯彻习近平总书记“共抓大保护、不搞大

开发”的战略思想,长江保护与绿色发展研究院成立,长江岸线保护、利用与修复便是其重要的研究课题之一。开展岸线开发利用风险评估研究,将有助于管理者掌握岸线开发利用风险现状,进而合理地开发利用岸线,对岸线生态环境保护、经济增长方式转变及经济社会的可持续发展,具有重要意义。

目前,关于岸线的研究主要集中于岸线资源价值、岸线演变、岸线生态敏感性评估以及岸线开发适宜性评价<sup>[7-10]</sup>等,对岸线开发利用风险评估研究较少。为此,本文构建岸线开发利用风险评估指标体系,基于灰关联改进物元分析法建立岸线开发利用风险评估模型,并以长江南京段为研究实例,评估长江南京段岸线开发利用风险水平,以期为岸线的开发利用与保护提供决策依据。

## 1 岸线开发利用风险评估指标体系

### 1.1 岸线开发利用风险评估的内涵及要求

风险评估是项目管理中的重要工作,其是在特定的时间和范围内,管理者结合实际情况和行业标准确定评估指标体系和风险评估标准,对风险程度进行划分,通过定性或定量方法,估算风险发生的概率和可能导致的损失大小,为项目管理提供科学理论依据。通常情况下,岸线开发风险主要来自不合理的人为活动,如高强度港口和工业岸线开发,将会造成水质污染和生态环境破坏等问题,岸线开发利用风险评估的实质就是对识别的各风险因子量化的过程。

2016年9月,水利部、国土资源部联合印发了由长江水利委员会牵头编制完成的《长江岸线保护和开发利用总体规划》。根据该规划,岸线开发利用应重点满足四点要求:防治水质污染风险,严格控制排污口水质达标排放和污染负荷总量,清退或调整水源保护地及生态保护区内影响居民饮水和生态安全的岸线开发利用项目;保证“发展决不能牺牲生态环境为代价”,对不符合相关规划、不满足生态环保相关要求以及利用效率低的岸线开发项目,应坚决予以腾退,大力推进岸线生态保护与修复,提高生态岸线比例;对于新规划建设的水利工程项目,要做到统筹规划、未雨绸缪,加强对洪涝的合理防治,提高水利工程的质量,同时加强已建水利工程运行管理技术标准体系建设、堤防工程风险评估、水文预警等非工程措施建设,确保其具有更高的安全性与可靠性;坚持政府的主导地位,落实河长制考核机制,健全岸线管理保护机制和相应的法律法规体系,完善突发事件应急管理机制,组织企业开展风险评估和应急预警建设,以加强应对突发性事故的应急处理处置能力。通过对岸线开发利用风险评估内涵

及要求的研究,结合岸线本身的自然属性、社会属性及其对应的功能特性,本文提出从水质污染、生态环境退化、工程运行状况不良、管理应急系统不健全等方面分析岸线开发利用存在的常见风险。

### 1.2 岸线开发利用风险评估指标体系构建

岸线是一个复杂并具有开发性的动态系统,是人类活动、环境和自然资源与机构的复合体。为全面评估岸线开发利用风险状况,本文采用理论分析与实际调查的方法,在科学界定岸线开发利用风险内涵和要求的基础上,遵循科学性、系统性、整体性与层次性相结合、定性与定量相结合和可操作性等原则,从水质污染、生态环境、工程安全、管理与应急能力4个方面(结构关系见图1)分析、比较、综合选择出针对性较强的指标,最后通过咨询专家意见,对指标进行优选,构建岸线开发利用风险评估指标体系如图2所示,体系包括目标层(岸线开发利用风险)、准则层(一级指标  $B_1 \sim B_4$ )和指标层(二级指标  $C_1 \sim C_{20}$ )。

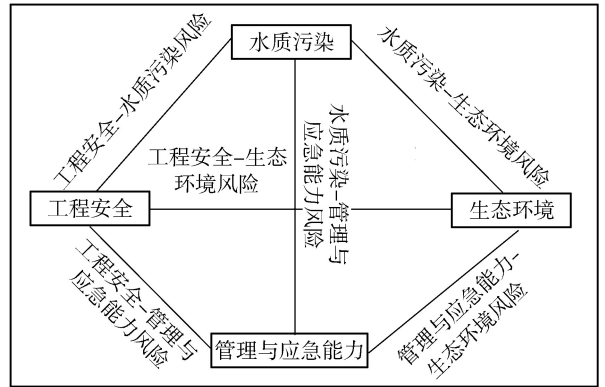


图1 水质污染-生态环境-工程安全-管理与应急能力风险系统结构

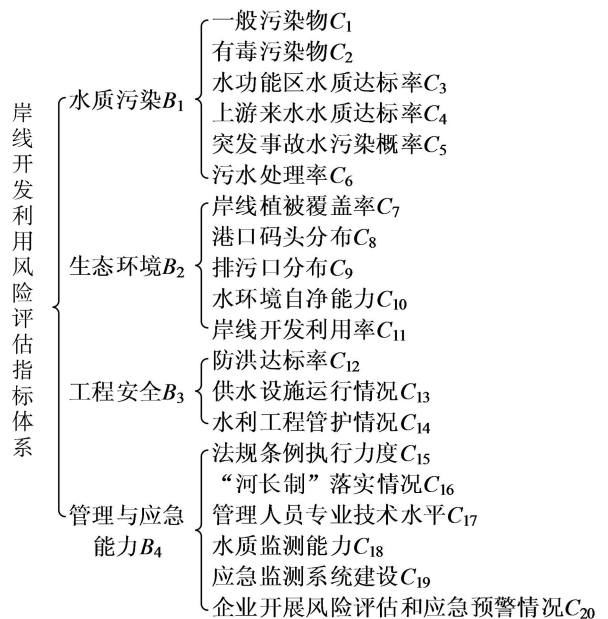


图2 岸线开发利用风险评估指标体系

## 2 岸线开发利用风险评估模型

### 2.1 组合权重法确定指标权重

进行岸线开发利用风险评估时,需要根据不同评估指标的贡献大小确定各评估指标的权重。常用的指标权重确定方法包括主观赋权法和客观赋权法,主观赋权法是决策者依据对研究对象的经验储备和个人喜好做出的决策,具有主观性,难以反映事物的真实本质;客观赋权法是对研究对象多年的统计数据进行分析,虽然数据来源非常客观,但是无法体现决策者的个人喜好<sup>[11]</sup>。本文综合考虑决策者偏好和客观情况,采取主客观结合的方法,运用层次分析法(AHP)确定指标的主观权重,运用熵权法确定客观权重,并通过最小相对信息熵原理得到组合权重,使所得结果在贴近原来各自权重的基础上差异最小,结果更加科学合理<sup>[12]</sup>。

层次分析法计算主观权重向量  $W'$  的步骤:建立层次结构,目标层-准则层-指标层;构造两两比较的判断矩阵;利用判断矩阵计算各指标的权重,并对判断矩阵进行一致性检验<sup>[13]</sup>。

熵权法计算客观权重向量  $W''$  的步骤如下:

**步骤 1** 构建  $n$  个方案  $m$  个评估指标的判断矩阵  $R = (x_{ij})_{m \times n}$  ( $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ )。

**步骤 2** 数据归一化处理,得到标准矩阵  $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 。对于指标量化值越大,岸线开发利用存在的风险越大和越小的指标,分别采用式(1)和式(2)进行归一化处理。

$$b_{ij} = (x_{ij} - x_{ij,\min}) / (x_{ij,\max} - x_{ij,\min}) \quad (1)$$

$$b_{ij} = (x_{ij,\max} - x_{ij}) / (x_{ij,\max} - x_{ij,\min}) \quad (2)$$

式中: $x_{ij}$ 为第  $j$  个方案的第  $i$  个评估指标; $b_{ij}$ 为  $x_{ij}$  归一化后的值; $x_{ij,\min}$ 、 $x_{ij,\max}$  分别为第  $j$  个方案的第  $i$  个评估指标的最小值和最大值。

**步骤 3** 确定评估指标的熵:

$$E_i = - \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} / \ln n \quad (3)$$

其中  $f_{ij} = (b_{ij} + 1) / (\sum_{j=1}^n b_{ij} + 1)$

式中: $E_i$  为各方案中第  $i$  个评估指标的熵; $f_{ij}$  为第  $j$  个方案第  $i$  个指标在该方案中的比重。

**步骤 4** 计算评估指标的熵权:

$$W'' = (\omega''_i)_{1 \times m} \quad (4)$$

其中  $\omega''_i = (1 - E_i) / \sum_{i=1}^m (1 - E_i)$

式中: $\omega''_i$  为各评估指标的熵权,  $0 \leq \omega''_i \leq 1$ ,

$$\sum_{i=1}^m \omega''_i = 1。$$

**步骤 5** 根据最小相对信息熵确定组合权重。综合指标的主观权重  $\omega'_i$  和客观权重  $\omega''_i$  可得组合权重  $\omega_i$ ,  $\omega_i$  与  $\omega'_i$  和  $\omega''_i$  应尽可能接近<sup>[12]</sup>。根据最小相对信息熵原理,用拉格朗日乘子法优化可得组合权重:

$$\omega_i = \sqrt{\omega'_i \omega''_i} / \sum_{i=1}^m \sqrt{\omega'_i \omega''_i} \quad (5)$$

### 2.2 改进物元分析评估模型构建

岸线开发利用风险评估指标体系涉及多指标、多层次,属于定性定量相结合的评价问题,且单项指标的评价结果具有不相容性<sup>[14]</sup>。如何解决指标之间的不相容问题,是建立科学合理岸线风险评估模型的关键<sup>[15]</sup>。物元分析法由我国学者蔡文提出,是专门研究求解不相容问题的一种方法<sup>[16-17]</sup>。将物元分析法引入到岸线开发利用风险评估中,可有效处理评估过程中的不相容问题,使得评估结果更合理。

传统物元分析法采用欧式“贴近度”描述待评对象与标准对象的相近程度。然而,欧式“贴近度”仅考虑了待评对象与标准对象向量终点之间的距离,会导致多个待评对象的区分度不高<sup>[18]</sup>。为此,本文基于灰关联改进物元分析法建立岸线开发利用风险评估模型,充分反映待评对象与标准对象之间的一致性程度。基于灰关联改进物元分析法的基本步骤如下:

**步骤 1** 构建物元矩阵。岸线开发利用风险评估指标体系中有多个评估指标,记为  $m$  个特征,  $P$  为待评单元;  $C_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 为待评单元中第  $i$  项评估指标;  $V_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 为对应评估指标  $C_i$  的量值,待评单元的物元矩阵为

$$R = (P, C_i, V_i) = \begin{bmatrix} P & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & V_m \end{bmatrix} \quad (6)$$

**步骤 2** 确定经典域、节域。将岸线开发利用风险划分为  $r$  个评估等级,记作  $N_r$  ( $r=1, 2, \dots, t$ ),  $V_r = (a_{ri}, b_{ri})$  为  $N_r$  关于  $C_i$  的量值范围,即经典域,经典域物元为

$$R_r = (N_r, C_i, V_r) = \begin{bmatrix} N_r & C_1 & (a_{r1}, b_{r1}) \\ & C_2 & (a_{r2}, b_{r2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & (a_{rm}, b_{rm}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

所有评估等级的  $N_r$  构成岸线开发利用风险的标准对象  $N_p$ ,  $V_p = (a_{pi}, b_{pi})$  为  $N_p$  关于  $C_i$  的量值范围,即节域,节域物元为

$$R_p = (N_p, C_i, V_p) = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & (a_{pm}, b_{pm}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

**步骤3** 计算综合关联度。待评物元的指标  $i$  对评估等级  $r$  的灰关联度的计算为

$$K_r(V_i) = \frac{\min |V_i - u_{ri}| + \rho \max |V_i - u_{ri}|}{|V_i - u_{ri}| + \rho \max |V_i - u_{ri}|} \quad (9)$$

式中:  $u_{ri}$  为  $a_{ri}$  与  $b_{ri}$  的均值;  $\rho$  为分辨系数, 通常取 0.5; 计算综合关联度  $K_r(P) = \sum_{i=1}^m \omega_i K_r(V_i)$ 。

**步骤4** 评定等级。若  $K_q(P) = \max \{K_r(P)\}$ , 则待评物元  $P$  属于  $q$  等级。

### 3 实例应用

将灰关联改进物元分析法模型运用到长江南京段岸线开发利用风险评估研究中, 对长江南京段岸线风险现状进行评估。

#### 3.1 长江南京段岸线开发利用概况

长江南京段是长江下游进入江苏境内的首段, 上接苏皖交界的和尚港, 下迄宁镇交接的大道河口, 干流长 81 km, 岸线总长度 275.5 km, 其中南岸岸线长约 100.1 km, 北岸岸线长约 90 km, 江心洲岛岸线长约 85.4 km<sup>[19]</sup>。长江南京段岸线分布见图 3。近年来, 长江南京段岸线从开发利用为主转向以管理保护为重, 南京市政府加大岸线整治力度, 开展了整治非法码头、清理三无船舶、腾退重点行业岸线等行动, 生产岸线占比由 27.7% 降为 19.4%, 生产岸线长度大幅度降低, 生态岸线占比由 57.7% 上升到 65.7%, 岸线开发利用风险持续减少。



图 3 长江南京段岸线分布

然而, 由于经济发展定位以及历史遗留问题, 长江南京段部分岸线开发利用仍存在诸多问题。目前, 长江南京段岸线共分布 416 个码头, 已利用岸线约占总岸线长的 40%, 岸线开发利用强度大, 生产型岸线占比过高; 局部岸线开发利用布局不合理, 部

分污染企业布置在水源保护地和生态保护地, 威胁居民饮水和生态安全; 在长江南京段, 列入国家清理整治项目的岸线共有 21.8 km, 清理整治任务较重, 部分违建项目时间久远, 历史遗留问题多, 清理整治难度较大。

#### 3.2 评价标准及长江南京段岸线开发利用风险现状水平

以长江南京段为评估对象, 用 AHP-熵权法综合计算指标组合权重, 基于灰关联改进物元分析法进行综合评价。根据长江南京段岸线开发利用各指标现状实际水平, 参考国内外已有相关评价标准, 结合专家咨询意见, 将风险评估标准划分为低、较低、一般、较高、高 5 个等级。对定性指标按照风险评估标准进行评分, 相应分值为 [0.9, 1.0]、[0.8, 0.9)、[0.7, 0.8)、[0.6, 0.7)、[0.4, 0.6), 其中各指标对应分值即为该指标的现状水平值<sup>[20]</sup>。各定量指标根据其实际现状值与对应目标值之间的比值作为现状水平值, 其中部分定量指标的目标值及实际现状值计算方法如表 1 所示。

表 1 部分指标目标值

指标	计算方法	目标值/%
$C_3$	达标水功能区个数与水功能区总个数的比值	100
$C_4$	上游来水水质达标人口与上游总供水人口的比值	100
$C_6$	经过处理的生活污水和工业废水量与污水排放总量的比值	100
$C_7$	岸坡和岸上植被覆盖面积与河道陆地土地总面积的比值	90
$C_{11}$	已开发利用岸线长度与岸线总长的比值	34
$C_{12}$	达标堤防长度与堤防总长度的比值	100

基于 2019 年南京市岸线已有数据资料、《南京市 2019 年水资源公报》《江苏省长江岸线保护利用规划》, 定量指标与定性指标经归一化处理得到现状水平标准值, 长江南京段岸线开发利用各评估指标风险现状水平见表 2。

表 2 长江南京段岸线开发利用风险现状水平

评估指标	现状水平	评估指标	现状水平
$C_1$	0.86	$C_{11}$	0.84
$C_2$	0.82	$C_{12}$	0.92
$C_3$	0.94	$C_{13}$	0.90
$C_4$	0.82	$C_{14}$	0.83
$C_5$	0.75	$C_{15}$	0.87
$C_6$	0.92	$C_{16}$	0.86
$C_7$	0.89	$C_{17}$	0.92
$C_8$	0.76	$C_{18}$	0.88
$C_9$	0.71	$C_{19}$	0.84
$C_{10}$	0.89	$C_{20}$	0.88

#### 3.3 长江南京段岸线开发利用风险评估

根据 AHP 确定准则层和指标层的权重进而得到主观权重, 根据熵权法计算得到指标层客观权重, 将主客观权重耦合得到各指标对应于目标层的组合

权重(表3)。

表3 各项指标权重计算结果

准则层	准则层 AHP 权重	指标层	指标层 AHP 权重	主观权重	客观权重	组合权重
B <sub>1</sub>	0.1904	C <sub>1</sub>	0.1432	0.0273	0.3146	0.0510
		C <sub>2</sub>	0.2959	0.0563	0.1022	0.0418
		C <sub>3</sub>	0.2148	0.0409	0.2594	0.0567
		C <sub>4</sub>	0.0916	0.0174	0.1234	0.0255
		C <sub>5</sub>	0.1345	0.0256	0.2004	0.0394
		C <sub>6</sub>	0.1200	0.0228	0.3309	0.0479
B <sub>2</sub>	0.3191	C <sub>7</sub>	0.3751	0.1197	0.2592	0.0970
		C <sub>8</sub>	0.1066	0.0340	0.1174	0.0348
		C <sub>9</sub>	0.2849	0.0909	0.1104	0.0552
		C <sub>10</sub>	0.0768	0.0245	0.1821	0.0368
		C <sub>11</sub>	0.1566	0.0500	0.3025	0.0677
B <sub>3</sub>	0.2398	C <sub>12</sub>	0.2681	0.0643	0.3407	0.0815
		C <sub>13</sub>	0.3456	0.0829	0.0432	0.0329
		C <sub>14</sub>	0.3863	0.0926	0.0266	0.0273
		C <sub>15</sub>	0.0852	0.0214	0.2870	0.0431
B <sub>4</sub>	0.2507	C <sub>16</sub>	0.2709	0.0679	0.2180	0.0670
		C <sub>17</sub>	0.2734	0.0685	0.2839	0.0768
		C <sub>18</sub>	0.0853	0.0214	0.1613	0.0323
		C <sub>19</sub>	0.1130	0.0283	0.1056	0.0301
		C <sub>20</sub>	0.1722	0.0432	0.2312	0.0550

按照低、较低、一般、较高、高5个风险等级,则经典域为[0.9,1.0]、[0.8,0.9]、[0.7,0.8]、[0.6,0.7]、[0.4,0.6],节域为[0.4,1.0]。根据式(9)计算待评物元指标对评估等级的灰关联度,结果见表4。

表4 待评物元各指标对评估等级的灰关联度

指标层	灰关联度				
	低	较低	一般	较高	高
C <sub>1</sub>	0.704	1.000	0.655	0.487	0.352
C <sub>2</sub>	0.655	1.000	0.826	0.576	0.396
C <sub>3</sub>	1.000	0.742	0.561	0.451	0.348
C <sub>4</sub>	0.655	1.000	0.826	0.576	0.396
C <sub>5</sub>	0.385	0.556	1.000	0.556	0.333
C <sub>6</sub>	1.000	0.857	0.632	0.500	0.381
C <sub>7</sub>	1.000	0.592	0.420	0.784	0.433
C <sub>8</sub>	0.704	0.655	1.000	0.487	0.352
C <sub>9</sub>	0.444	0.615	1.000	0.889	0.485
C <sub>10</sub>	0.436	1.000	0.895	0.586	0.531
C <sub>11</sub>	0.643	0.500	0.692	1.000	0.353
C <sub>12</sub>	1.000	0.857	0.632	0.500	0.381
C <sub>13</sub>	1.000	1.000	0.714	0.556	0.417
C <sub>14</sub>	0.649	1.000	0.755	0.536	0.374
C <sub>15</sub>	0.492	1.000	0.721	0.608	0.383
C <sub>16</sub>	0.704	1.000	0.655	0.487	0.352
C <sub>17</sub>	1.000	0.857	0.632	0.500	0.381
C <sub>18</sub>	0.846	1.000	0.688	0.524	0.386
C <sub>19</sub>	0.643	1.000	0.692	0.500	0.353
C <sub>20</sub>	0.548	1.000	0.810	0.630	0.405

通过计算得出长江南京段岸线开发利用评估等级的综合关联度为

$$K_1(P) = \sum_{i=1}^{20} \omega_i K_1(V_i) = 0.7032$$

$$K_2(P) = \sum_{i=1}^{20} \omega_i K_2(V_i) = 0.8396$$

$$K_3(P) = \sum_{i=1}^{20} \omega_i K_3(V_i) = 0.7744$$

$$K_4(P) = \sum_{i=1}^{20} \omega_i K_4(V_i) = 0.5852$$

$$K_5(P) = \sum_{i=1}^{20} \omega_i K_5(V_i) = 0.3898$$

因为  $K_2(P) = \max\{K_r(P)\}$ ,表明长江南京段岸线开发利用风险评估等级为“较低”,岸线管护效果良好。在长江南京段岸线开发利用风险单指标评估中,水质污染风险有6个指标,其中仅有突发事故水污染概率 C<sub>5</sub> 指标风险等级为一般,其余指标风险等级均为低或者较低。对长江南京段 1990—2020 年发生的水污染事故进行调查统计显示,突发水污染事故时有发生,2020 年南京市中级人民法院更是对某水务公司故意偷排高浓度废水直入长江开出了天价罚单。由此可见,南京市应加大经济转型和第三产业发展,吸引人才和高科技企业落户,大力发展绿色经济,同时加强水环境监管治理和污水处理项目的提标改造,严格控制排污口水质达标排放和削减污染排放总量,降低突发事故水污染发生概率。

目前生态环境风险指标是控制风险水平的短板,在生态环境风险的5个指标中,港口码头分布 C<sub>8</sub> 和排污口分布 C<sub>9</sub> 为一般风险等级,岸线开发利用强度大、生产型岸线占比过高等问题仍然突出。为降低岸线生态环境风险水平,有关部门应严格岸线管控,清理整顿不符合“长江大保护”等相关规划的岸线,优化利用效率偏低的岸线,推进岸线生态环境保护和修复。

工程安全风险和管理与应急能力风险的9个指标均为低或者较低。说明长江南京段岸线防洪、供水等工程管护效果良好,管理机构完善,责任明确,管理人员素质过硬,水源地保护区划分合理,应急响应能力强,上游风险企业制定了应急预案,备用水源地建设完善,一旦遇到突发性污染事件,可以及时妥善处理。

本文评估结果符合长江南京段实际情况,具有较高的可信度。“长江大保护”战略提出后,南京市政府先后开展了非法码头整治、长江干流岸线开发利用项目清理腾退等系列专项整治,取得了阶段性成效,长江南京段岸线状况有所改善,岸线开发利用风险持续减少。

## 4 结 语

在科学界定岸线开发利用风险内涵和要求的基

基础上,从水质污染、生态环境、工程安全和管理与应急能力4个方面,构建了岸线开发利用风险评估指标体系。运用层次分析法确定指标的主观权重,熵权法确定客观权重,应用最小相对信息熵原理确定组合权重,得到科学合理的指标权重。基于物元分析法建立岸线开发利用风险评估模型,解决指标间的不相容问题,并且结合灰关联,对传统物元分析法中的欧式“贴适度”进行改进,使评估结果更加明确可信。

将改进物元分析法风险评估模型应用于长江南京段岸线,得到其风险评估等级为“较低”,评估结果与实际情况相符,表明该评估模型合理适用。长江南京段岸线在水质污染风险、工程安全风险和管理与应急能力风险控制上,成效显著,基本维持在低风险水平。但在生态环境风险控制上仍有较大提升空间,需加强管控措施,可通过优化港口码头布局、压减化工产能、优化船舶岸线布局以及重构钢铁发展格局等方式降低岸线开发利用风险水平。本文研究方法也可以应用于黄河、珠江等岸线开发利用风险评估,具有普适性。

#### 参考文献:

[1] 方国华,刘劲松,鞠茂森,等. 河湖水域岸线管理与保护[M]. 北京:中国水利水电出版社,2020.

[2] 段学军,陈雯,朱红云,等. 长江岸线资源利用功能区划方法研究:以南通市域长江岸线为例[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(5):621-626. (DUAN Xuejun, CHEN Wen, ZHU Hongyun, et al. Research on the functional zoning method of the resources utilization of the Yangtze River coastline;taking the Yangtze River coastline in Nantong City as an example [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2006,15(5):621-626. (in Chinese))

[3] 闵敏,段学军,邹辉,等. 长江主要支流岸线资源综合评价及管控分区研究[J]. 长江流域资源与环境,2019,28(11):2657-2671. (MIN Min, DUAN Xuejun, ZOU Hui, et al. Research on comprehensive evaluation and management and control zoning of coastline resources of main tributaries of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2019,28(11):2657-2671. (in Chinese))

[4] 黄剑威. 河流岸线资源管理及其对流域综合管理(IRBM)的作用[D]. 广州:华南理工大学,2010.

[5] 张瑞美,陈献,张献锋. 我国河湖水域岸线管理现状及现行法规分析:河湖水域岸线管理的法律制度建设研究之一[J]. 水利发展研究,2013,13(2):28-31. (ZHANG Ruimei, CHEN Xian, ZHANG Xianfeng. Analysis of the status quo of the shoreline management of rivers and lakes in my country and the current laws and

regulations; one of the researches on the legal system construction of the shoreline management of rivers and lakes[J]. Water Resources Development Research,2013,13(2):28-31. (in Chinese))

[6] 段学军,邹辉,陈维肖. 岸线资源评估、空间管控分区的理论与方法:以长江岸线资源为例[J]. 自然资源学报,2019,34(10):2209-2222. (DUAN Xuejun, ZOU Hui, CHEN Weixiao. Theories and methods of shoreline resource assessment and spatial control zoning;taking the Yangtze River shoreline resources as an example [J]. Journal of Natural Resources,2019,34(10):2209-2222. (in Chinese))

[7] 马荣华,杨桂山,陈雯. 长江江苏段岸线资源评价因子的定量分析与综合评价[J]. 自然资源学报,2004,19(2):176-182. (MA Ronghua, YANG Guishan, CHEN Wen. Quantitative analysis and comprehensive evaluation of the resources evaluation factors of the Jiangsu Section of the Yangtze River [J]. Journal of Natural Resources,2004,19(2):176-182. (in Chinese))

[8] 尹静秋. 基于GIS的长江江苏段岸线资源演变研究[D]. 南京:南京师范大学,2004.

[9] 朱红云,杨桂山,万荣荣. 港口布局中的岸线资源评价与生态敏感性分析:以长江干流南京段为例[J]. 自然资源学报,2005,20(6):57-63. (ZHU Hongyun, YANG Guishan, WAN Rongrong. Evaluation of coastline resources and analysis of ecological sensitivity in port layout;taking Nanjing section of the Yangtze River as an example [J]. Journal of Natural Resources,2005,20(6):57-63. (in Chinese))

[10] 肖攀,彭轲,赵幸悦子. 长江中游岸线资源与开发利用适宜性评价分析[J]. 自然资源学报,2020,35(4):788-798. (XIAO Pan, PENG Ke, ZHAO Xingyuezi. Evaluation and analysis of suitability for development and utilization of shoreline resources in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Natural Resources,2020,35(4):788-798. (in Chinese))

[11] 杨阳,方国华,黄显峰,等. 基于改进模糊物元分析法的区域最严格水资源管理评价[J]. 水资源保护,2014,30(6):19-24. (YANG Yang, FANG Guohua, HUANG Xianfeng, et al. Evaluation of the most stringent regional water resources management based on improved fuzzy matter-element analysis method [J]. Water Resources Protection,2014,30(6):19-24. (in Chinese))

[12] 艾亚迪,魏传江,马真臻. 基于AHP-熵权法的西安市水资源开发利用程度评价[J]. 水利水电科技进展,2020,40(2):11-16. (AI Yadi, WEI Chuanjiang, MA Zhenzhen. Evaluation on water resources development and utilization degree based on AHP-entropy weight method [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2020,40(2):11-16. (in Chinese))

(下转第20页)

- reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Basic Science and Engineering,2021,29(1):55-63. (in Chinese))
- [9] 毛德华,曹艳敏,李锦慧,等.洞庭湖入出湖径流泥沙年内变化规律及成因分析[J].水资源与水工程学报,2017,28(1):32-39. (MAO Dehua, CAO Yanmin, LI Jinhui, et al. Analysis on annual variation law and its causes of runoff and sediment flowing in and out of the Dongting Lake[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2017,28(1):32-39. (in Chinese))
- [10] 杨敏,毛德华,刘培亮,等.1951-2015年洞庭湖水沙变化特征分析[J].武汉大学学报(工学版),2018,51(12):1050-1062. (YANG Min, MAO Dehua, LIU Peiliang, et al. Analysis of characteristics of annual runoff and sediment in Dongting Lake during 1951-2015 [J]. Engineering Journal of Wuhan University,2018,51(12):1050-1062. (in Chinese))
- [11] 许全喜.三峡水库蓄水以来水库淤积和坝下冲刷研究[J].人民长江,2012,43(7):1-6. (XU Quanxi. Research on reservoir sedimentation and downstream channel erosion of dam after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. Yangtze River,2012,43(7):1-6. (in Chinese))
- [12] 李彦彦,杨桂山,万荣荣,等.1968~2018年洞庭湖江湖连通河道松滋口冲淤变化特征[J].长江流域资源与环境,2020,29(10):2239-2249. (LI Yanyan, YANG
- Guishan, WAN Rongrong, et al. Channel erosion and deposition of Songzikou outlet, a river-lake connected channel of Dongting Lake during 1968-2018 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2020,29(10):2239-2249. (in Chinese))
- [13] 陈帮,李志威,胡旭跃,等.1950年以来松滋河水沙与河道冲淤变化[J].水利水电科技进展,2020,40(5):24-31. (CHEN Bang, LI Zhiwei, HU Xuyue, et al. Water-sediment change and channel dynamics of Songzi River since 1950[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2020,40(5):24-31. (in Chinese))
- [14] 汪业新,任伟.松滋东支大湖口河段大堤滑坡原因分析与治理措施[J].湖南水利水电,2005(5):73-74. (WANG Yexin, REN Wei. Cause analysis and treatment measures of embankment landslide in Dahukou reach of Songzi East Branch[J]. Hunan Hydro & Power,2005(5):73-74. (in Chinese))
- [15] 唐西华,黄云仙.大湖口河的洪道现状与整治方案探讨[J].湖南水利水电,2004(5):33-34. (TANG Xihua, HUANG Yunxian. Discussion on the current situation and regulation scheme of the flood channel of Dahukou River [J]. Hunan Hydro & Power, 2004(5):33-34. (in Chinese))

(收稿日期:2021-04-28 编辑:刘晓艳)

(上接第6页)

- [13] 戴中华,张晟,陈玲,等.层次分析法在苏南城区河道整治工程选择中的运用[J].环境科学与管理,2012,37(9):97-101. (DAI Zhonghua, ZHANG Sheng, CHEN Ling, et al. Application of analytic hierarchy process in the selection of river improvement projects in Southern Jiangsu [J]. Environmental Science and Management, 2012, 37(9):97-101. (in Chinese))
- [14] 王雪,方国华,李鑫.基于序关系分析-模糊物元法的昆山市节水型社会建设综合评价[J].水利经济,2020,38(5):30-35. (WANG Xue, FANG Guohua, LI Xin. Comprehensive evaluation of water-saving society construction in Kunshan City based on order relationship analysis-fuzzy matter-element method [J]. Water Conservancy Economics, 2020, 38(5):30-35. (in Chinese))
- [15] 高玉琴,刘云莘,叶柳,等.基于物元分析法的泵站管理现代化评价研究[J].水资源与水工程学报,2019,30(4):124-130. (GAO Yuqin, LIU Yunping, YE Liu, et al. Evaluation of modernization of pumping station management based on matter element analysis method [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2019,30(4):124-130. (in Chinese))
- [16] 黄显峰,钟婧玮,方国华,等.基于物元分析法的水资源管理现代化评价[J].水利水电科技进展,2017,37(3):22-28. (HUANG Xianfeng, ZHONG Jingwei, FANG Guohua, et al. Evaluation of water resources management modernization based on matter element analysis method [J]. Progress in Water Resources and Hydropower Science and Technology, 2017, 37(3):22-28. (in Chinese))
- [17] 方国华,黄显峰.多目标决策理论、方法及其应用[M].北京:科学出版社,2019:156-162.
- [18] 谭鑫,黄其昱,全琳,等.基于改进物元可拓法的跨国联网工程综合效益评价[J].电力工程技术,2020,39(6):199-206. (TAN Xin, HUANG Qiyu, TONG Lin, et al. Evaluation of comprehensive benefits of multinational networking projects based on improved matter element extension method [J]. Electric Power Engineering Technology,2020,39(6):199-206. (in Chinese))
- [19] 章志强,李涛章.浅谈长江南京河段岸线治理与沿江经济发展[J].江苏水利,2010(1):15-16. (ZHANG Zhiqiang, LI Taozhang. On the shoreline management of the Nanjing section of the Yangtze River and the economic development along the river[J]. Jiangsu Water Resources, 2010(1):15-16. (in Chinese))
- [20] 方国华,袁婷,林榕杰.长江江苏段饮用水水源地生态风险评价[J].水资源保护,2018,34(6):12-16. (FANG Guohua, YUAN Ting, LIN Rongjie. Ecological risk assessment of drinking water sources in Jiangsu section of the Yangtze River[J]. Water Resources Protection,2018,34(6):12-16. (in Chinese))

(收稿日期:2021-06-28 编辑:刘晓艳)