

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.03.003

江苏省长江岸线利用率影响因素分析

陈达^{1,2}, 钟菁¹, 吴腾^{1,2}, 刘振沐¹, 廖迎娣^{1,2}

(1. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098; 2. 河海大学长江保护与绿色发展研究院, 江苏南京 210098)

摘要:利用2002—2018年江苏省沿江地区相关数据分析了长江岸线利用率的变化规律,运用主成分分析法和敏感性分析法研究了可能影响江苏省长江岸线利用率的若干影响因素。结果表明:江苏省长江岸线利用率随时间逐渐增大;岸线利用率变化可以分为两个阶段,2016年以前岸线利用率的增长对社会经济的发展具有明显的支撑作用,2016年以后岸线利用逐渐转化为以提高效率为主;就业人数、工厂数量和内河港口吞吐量是目前影响江苏省长江岸线利用率最主要的因素。通过推进长江岸线生态环境保护治理措施,可以更好地优化产业结构,提高岸线利用效率,助力江苏省高质量发展。

关键词:长江岸线;岸线利用率;主成分分析;敏感性分析;江苏省

中图分类号:TV213.9;F4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933-(2022)03-0017-08

Factors influencing utilization rate of Yangtze River shoreline in Jiangsu Province // CHEN Da^{1,2}, ZHONG Jing¹, WU Teng^{1,2}, LIU Zhenshu¹, LIAO Yingdi^{1,2} (1. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The changing pattern of the Yangtze River shoreline utilization rate in Jiangsu Province from 2002 to 2018 was analyzed based on related data. Principal component analysis and sensitivity analysis were used to analyze factors that may affect the Yangtze River shoreline utilization rate. The results show that the utilization rate of the Yangtze River shoreline in Jiangsu Province gradually increased with time, and the change of shoreline utilization rate can be divided into two stages. Before 2016, the increase in the utilization rate of the shoreline had a significant effect on promoting social and economic development; after 2016, more attention has been placed on the improvement of efficiency of shoreline utilization. It is also concluded that the number of employees, the number of factories, and the throughput of inland river ports are currently the most important factors of the utilization rate of the Yangtze River shoreline in Jiangsu Province. Through implementing the ecological and environmental protection measures of the Yangtze River shoreline, the industrial structure can be further optimized, the utilization efficiency of the shoreline can be improved, and the high-quality development of Jiangsu Province can be promoted.

Key words: Yangtze River shoreline; shoreline utilization rate; principal component analysis; sensitivity analysis; Jiangsu Province

长江岸线是长江经济带建设的重要载体和基础支撑,是区域经济社会发展和生态环境空间格局构建的关键要素。2016年,习近平总书记提出“共抓大保护、不搞大开发”的长江大保护战略,随后,江苏省在全面贯彻落实长江大保护国家战略中,严格管控岸线利用,大力整治改造违规占用、不合理利用的岸线,恢复岸线生态,加强水资源保护,推动服务长江经济带高质量发展的产业结构调整。然而,由

于历史演变、发展观念等多方面因素影响,导致部分沿江地区产业结构不合理、岸线利用率高、岸线利用效率低等问题突出,亟须对岸线利用率的影响因素进行跟踪研究。

目前,国内关于长江岸线利用问题的研究较多,但研究方法不尽相同。黄家柱等^[1-2]基于卫星遥感和地理信息系统技术对江苏省长江岸线资源进行了综合调查评价,分析了岸线资源利用的特点和存在

$$B = \frac{L_p}{L} \times 100\% \quad (1)$$

式中： B 为岸线利用率，%； L_p 为岸线保护范围内开发利用区域对岸线的投影长度，km； L 为岸线总长度，km。

基于岸线利用率定义，统计了2002—2018年岸线利用率随时间的变化情况（图1）。从图1可以看出，江苏省长江岸线利用率随时间逐渐增大，岸线利用率变化可以分为两个阶段。第一阶段（2002—2015年）为岸线利用率快速发展期，该阶段由于江苏省长江岸线资源开发利用加快，岸线利用率增长迅速；第二阶段（2016—2018年）为岸线利用率缓慢增长期，该阶段由于江苏省长江大保护战略的稳步推进，加快落后产能淘汰，推动产业结构调整，岸线利用率增长趋缓。

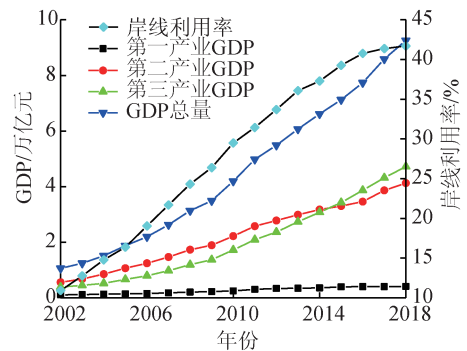


图1 江苏省岸线利用率和GDP随时间变化情况
Fig. 1 Changes in shoreline utilization rate and GDP of Jiangsu Province with time

为了分析岸线利用率的变化规律，搜集了部分经济、社会和水资源相关数据。从图1可以看出，2002—2018年江苏省第一、二、三产业GDP均随时间逐渐增长，其中第二、三产业增幅基本相当，显著高于第一产业。从趋势上看，岸线利用率和GDP均随时间增大，体现出两者之间的关联性。特别是2016年以前，岸线利用率随GDP增长迅速，说明岸线利用率的增长对社会经济发展具有明显的支撑作用；2016年以后，GDP仍保持较快的增长趋势，但是岸线利用率增长缓慢，岸线利用主要以提高效率为主。

图2为2002—2018年江苏省用水总量和工业废水排放量随时间变化情况，可以看出2005年以后，工业废水排放量逐年减少；2012年以后，用水总量呈现下降趋势，但总体基本保持稳定，说明随着环境保护等相关政策的实施，江苏省用水总量趋于稳定，工业废水排放量明显减少。对比图1和图2发现，提高岸线利用率对用水总量没有太大的影响，表明岸线利用率的变化可能主要受社会经济因素的影

问题，为长江岸线资源合理开发利用奠定基础。马荣华等^[3-4]对长江苏州段岸线资源进行了评价，为长江岸线苏州段的合理利用与开发提供对策和建议。朱红云等^[5-6]综合分析了长江南京段岸线港口开发情况，指出岸线利用存在的问题，提出长江岸线港口合理布局的对策和方案。周玲霞等^[7]基于数理统计方法对长江南京段岸线水源地进行评价，得到了初步评价结果。陈欢等^[8]对江苏中部3市岸线资源开发利用变化及驱动因素进行研究，得到了岸线发展变化的规律。陈诚^[9]构建了岸线利用类型转移矩阵，对岸线利用时空变化特征进行研究，并结合相关调研资料分析了岸线利用变化的影响因素，为泰州岸线利用政策的调整提供依据。梁双波等^[10-11]对长江岸线资源开发利用进行了综合评估分析，从岸线资源空间管控等方面提出建议，为长江经济带岸线资源的规划提供了重要的参考依据。

综上所述，现有的研究主要集中在岸线利用问题与对策以及岸线资源评价与分析两个方面，关于岸线利用率影响因素的研究相对较少，不利于制定针对性的岸线利用政策。为了落实长江大保护国家战略，推动江苏长江经济带高质量发展走在全国前列，本文利用2002—2018年江苏省沿江地区相关数据对岸线利用率的发展变化进行研究，并运用主成分分析法和敏感性分析法对可能影响江苏省长江岸线利用率的若干影响因素进行分析，以为江苏省长江岸线的发展提供参考。

1 江苏省长江岸线利用率变化趋势

长江岸线具有重要的生产、生活和生态功能，摸清岸线利用率的变化趋势对沿江地区乃至全省经济发展、社会生活以及水资源保护有重要的促进和保障作用。为推进长江大保护相关工作以及岸线精细化管理，国家和江苏省先后出台了《中华人民共和国长江保护法》《长江经济带实施规划》《长江经济带高质量发展意见》以及多个专项规划和政策文件，包括《市政府关于扬州市长江岸线资源开发利用和管理的意见》《镇江市长江岸线资源保护条例》《江苏省长江岸线保护利用规划指导意见》《关于进一步组织开展长江岸线保护与开发利用专项整治工作的通知》《南京市长江岸线保护办法》等，意在构建以规划为龙头、年度任务为重点、专项行动为抓手的落实体系，推动服务长江经济带高质量发展的产业结构调整。

岸线利用率是岸线利用长度与岸线总长度的比值，能反映长江岸线保护和开发利用的现状以及经济社会发展对岸线开发利用的要求，计算公式为

响,需要进一步研究分析。

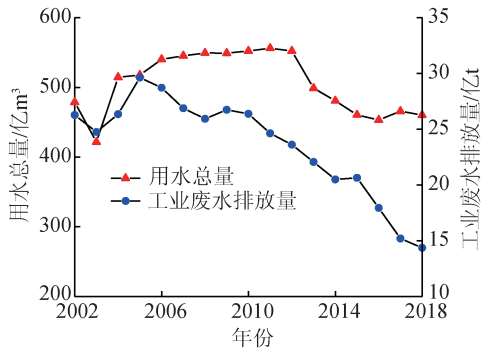


图2 用水总量和工业废水排放量随时间变化情况
Fig.2 Changes in total amount of water consumption and industrial wastewater discharge with time

2 研究方法

2.1 主成分分析法

主成分分析法是通过线性变换从多个变量中选出少数重要变量的一种多元统计分析方法,是常用的降维方法之一^[12]。本文采用主成分分析法对江苏省长江岸线利用率影响因素进行客观评价。将影响因素作为评价指标,模型建立的具体步骤如下:

a. 收集相关资料,建立评价指标。

b. 原始数据标准化,消除量纲影响。本文采用Z-score法对原始数据进行标准化处理:

$$Z_{kj} = \frac{X_{kj} - \bar{X}_j}{S_j} \quad (k = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p) \quad (2)$$

式中: X_{kj} 为第 j 个评价指标在 k 时段的价值; Z_{kj} 为对 X_{kj} 进行标准化后的值; \bar{X}_j 为第 j 个评价指标的均值; S_j 为第 j 个评价指标的标准差; n 为时段总数; p 为评价指标总数。

c. 建立评价指标间相关系数矩阵 R ,求出 R 的特征值和特征向量^[13]。相关系数矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{p1} & \dots & r_{pp} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{p \times p} \quad (3)$$

$$\text{其中 } r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (|X_{ki} - \bar{X}_i| |X_{kj} - \bar{X}_j|)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ki} - \bar{X}_i)^2 \sum_{k=1}^n (X_{kj} - \bar{X}_j)^2}}$$

d. 计算方差贡献率和累计方差贡献率,选取主成分数量。当累计方差贡献率超过95%时,取前 m ($m < p$)个主成分,即认为这 m 个主成分以较少的指标综合体现了多个指标的信息^[14]。第 l 个主成分的贡献率 u_l ($l = 1, 2, \dots, m$)为

$$u_l = \frac{\lambda_l}{\sum_{l=1}^m \lambda_l} \quad (4)$$

式中 λ_l 为第 l 个主成分的特征值。

e. 计算原始评价指标在不同主成分线性组合中的系数:

$$L_{lj} = \frac{e_{lj}}{\sqrt{\lambda_l}} \quad (5)$$

式中: L_{lj} 为第 j 个评价指标在第 l 个主成分线性组合中的系数; e_{lj} 为第 l 个主成分对第 j 个原始评价指标的载荷数^[15]。

f. 计算每个评价指标的综合指标权重。由式(6)可得第 j 个原始评价指标在综合模型中的系数 d_j ,由式(7)可得综合指标权重 w_j 。

$$d_j = \sum_{l=1}^m u_l L_{lj} \quad (6)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^p d_j} \quad (7)$$

g. 计算综合主成分得分:

$$F_{kl} = \sum_{j=1}^p C_{lj} Z_{kj} \quad (8)$$

$$F_k = \sum_{l=1}^m a_l F_{kl} \quad (9)$$

式中: F_{kl} 为第 l 个主成分在 k 时段的得分; C_{lj} 为第 j 个评价指标在第 l 个主成分中的得分系数^[16]; F_k 为 k 时段的综合主成分得分; a_l 为第 l 个主成分的方差贡献率。

2.2 敏感性分析法

敏感性分析是一种定量描述模型输入变量对输出变量重要性程度的方法^[17],一般应用于经济、生态、工程等领域。该方法通过对模型影响因素进行分析,筛选出引起模型结果不确定性的主要影响因素。影响程度的大小用敏感性系数表示,敏感性系数越大,说明该因素对模型输出的影响越大^[18]。为了对比分析系统属性对各个因素的敏感度,需对系统各因素进行无量纲处理,本文引用平均敏感度^[19]的概念对岸线利用率的影响因素进行分析,第 j 个因素的平均敏感度表达式为

$$s_{avgj} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{|\Delta B_k / B_k|}{|\Delta X_{kj} / X_{kj}|} \quad (10)$$

式中: s_{avgj} 为第 j 个因素的平均敏感度; B_k 、 ΔB_k 分别为 k 时段岸线利用率及其变化量; ΔX_{kj} 为第 j 个评价指标在 k 时段的变化值。

3 江苏省长江岸线利用率影响因素分析

3.1 评价指标

长江江苏段拥有优越的水运和区位优势,岸线利用率影响因素较为复杂^[20]。根据江苏省长江岸

线实际情况,参考在港口货物吞吐量、资源承载力和城市社会经济发展评价指标体系相关文献中出现频率较高的评价指标^[21-26],依据《江苏省统计年鉴》《江苏省水资源公报》等,根据科学性原则,综合选取 2002—2018 年可能影响江苏省长江岸线利用率的若干影响因素作为评价指标(表 1),包括:第一产业 GDP(X_1)、第二产业 GDP(X_2)、第三产业 GDP(X_3)、就业人数(X_4)、内河港口吞吐量(X_5)、工厂数量(X_6)、废气中 SO_2 排放量(X_7)、工业废水排放量(X_8)、用水总量(X_9)、水资源总量(X_{10})、年降水量(X_{11})。其中, X_1 、 X_2 、 X_3 为经济指标,根据前文分析可知,这些指标与岸线利用率关联性较强; X_4 反映社会影响力; X_5 反映岸线利用效率的高低; X_6 反映岸线利用类型和政策实施的情况; X_7 、 X_8 反映岸线利用与环境的关系; X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 反映岸线利用与水资源的关系。采用式(2)对评价指标进行标准化

处理。

3.2 KMO 和 Bartlett 检验

根据式(3)建立江苏省长江岸线利用率评价指标间相关性矩阵,如表 2 所示,各评价指标间的相关系数基本大于 0.6,说明各评价指标间存在较好的相关关系,主成分分析法可用于江苏省长江岸线利用率影响因素的分析。

利用 KMO 检验比较变量间的相关系数以判断数据是否适合进行主成分分析。经计算,KMO 值为 0.629,大于 0.6,说明整个样本适合进行主成分分析^[27-28]。Bartlett 球形检验法是基于相关系数矩阵的检验方法,用于检验数据是否服从多元正态分布。经计算,Bartlett 球形检验的显著性为 0.000,小于 0.01,说明这 11 个变量间存在显著相关性,需要进行主成分分析,该结论与相关性矩阵结论相一致。

表 1 2002—2018 年江苏省长江岸线利用率评价指标统计

Table 1 Factors influencing utilization rate of Yangtze River shoreline in Jiangsu Province from 2002 to 2018

年份	X_1 /亿元	X_2 /亿元	X_3 /亿元	X_4 /万人	X_5 /万 t	X_6 /个	X_7 /万 t	X_8 /亿 t	X_9 /万 m^3	X_{10} /万 m^3	X_{11} /mm
2002	1 110	5 604	3 892	4 473	40 005	21 476	112	26	479	268	922
2003	1 162	6 787	4 493	4 500	45 635	23 862	124	25	422	619	1 256
2004	1 368	8 537	5 232	4 537	58 783	27 123	124	26	515	201	800
2005	1 462	10 658	6 649	4 579	69 162	32 224	137	30	518	467	1 084
2006	1 545	12 460	7 961	4 629	78 676	36 319	130	29	540	404	1 021
2007	1 815	14 697	9 784	4 678	96 455	41 841	122	27	545	498	1 089
2008	2 096	17 312	11 948	4 701	105 536	45 818	113	26	549	378	994
2009	2 256	18 939	13 711	4 727	120 543	60 817	107	27	549	400	1 032
2010	2 531	22 202	17 229	4 755	143 837	64 136	105	26	552	384	990
2011	3 051	25 790	20 947	4 758	160 898	43 368	105	25	556	492	1 012
2012	3 400	27 822	23 649	4 760	172 172	45 859	99	24	552	373	954
2013	3 447	29 888	27 355	4 760	187 067	48 787	94	22	499	284	833
2014	3 607	31 742	30 774	4 761	197 343	48 708	90	20	481	399	1 045
2015	3 952	33 031	34 272	4 759	203 107	48 488	84	21	461	582	1 257
2016	4 040	34 620	38 692	4 756	209 857	47 900	57	18	453	742	1 411
2017	4 045	38 655	43 170	4 758	223 803	45 414	41	15	466	393	1 007
2018	4 142	41 249	47 205	4 751	225 100	45 675	31	14	460	378	1 088
均值	2 649	22 353	20 410	4 685	137 528	42 813	99	24	505	427	1 047
标准差	1 121	11 505	14 294	102	65 074	11 610	30	4	44	132	151

表 2 评价指标相关性矩阵

Table 2 Correlation matrix of factors

评价指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
X_1	1.000	0.990	0.969	0.859	0.995	0.604	-0.861	-0.854	-0.263	0.242	0.265
X_2	0.990	1.000	0.982	0.863	0.995	0.619	-0.890	-0.871	-0.250	0.204	0.239
X_3	0.969	0.982	1.000	0.759	0.966	0.503	-0.946	-0.936	-0.401	0.235	0.304
X_4	0.859	0.863	0.759	1.000	0.889	0.873	-0.595	-0.534	0.198	0.183	0.129
X_5	0.995	0.995	0.966	0.889	1.000	0.655	-0.855	-0.838	-0.217	0.215	0.233
X_6	0.604	0.619	0.503	0.873	0.655	1.000	-0.384	-0.264	0.341	0.102	0.076
X_7	-0.861	-0.890	-0.946	-0.595	-0.855	-0.384	1.000	0.967	0.486	-0.164	-0.277
X_8	-0.854	-0.871	-0.936	-0.534	-0.838	-0.264	0.967	1.000	0.614	-0.201	-0.304
X_9	-0.263	-0.250	-0.401	0.198	-0.217	0.341	0.486	0.614	1.000	-0.369	-0.513
X_{10}	0.242	0.204	0.235	0.183	0.215	0.102	-0.164	-0.201	-0.369	1.000	0.956
X_{11}	0.265	0.239	0.304	0.129	0.233	0.076	-0.277	-0.304	-0.513	0.956	1.000

3.3 主成分分析

表3 为各主成分特征值和累计方差贡献率,方差贡献率反映每个成分对原始数据量的贡献。本模型提取3个主成分,累计贡献率已经达到96.465%。

表3 各主成分特征值和累计方差贡献率

Table 3 Eigenvalue of each principal component and cumulative variance contribution rate

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	6.921	62.921	62.921
2	2.263	20.569	83.489
3	1.427	12.976	96.465
4	0.205	1.862	98.327
5	0.130	1.179	99.506
6	0.030	0.275	99.782
7	0.013	0.114	99.895
8	0.008	0.075	99.971
9	0.002	0.019	99.990
10	0.001	0.006	99.997
11	0.000	0.003	100.000

表4 为主成分载荷矩阵,反映不同主成分对评价指标的载荷数。从表4 可以看出,第一主成分对第一产业 GDP、第二产业 GDP、第三产业 GDP、就业人数、内河港口吞吐量、废气中 SO₂排放量、工业废水排放量、工厂数量这8个指标的载荷较大,与废气中 SO₂排放量和工业废水排放量呈负相关关系;第二、三主成分对用水总量、降水量、水资源总量这3个指标的载荷较大。可以认为,第一主成分主要反映江苏省社会经济情况,为社会经济主成分;第二、三主成分主要反映江苏省水资源情况,为水资源自然主成分。

表5 为主成分得分系数矩阵,反映不同主成分对评价指标的得分系数。进一步分析可以得出,社会经济发展相关因素是江苏省长江岸线利用率的主要影响因素,随着社会经济持续发展,岸线利用率不断增大。与此同时,在社会经济发展的过程中,废气和废水排放给岸线利用带来负面影响,但是社会经济发展和相关环境保护政策的实施,使产业布局进一步

表4 主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component loading matrix

主成分	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	0.981	0.986	0.985	0.828	0.981	0.607	-0.914	-0.898	-0.345	0.322	0.369
2	0.102	0.128	-0.016	0.439	0.157	0.531	0.097	0.206	0.793	-0.686	-0.765
3	-0.020	-0.048	-0.147	0.328	0.001	0.480	0.300	0.366	0.417	0.637	0.511

表5 主成分得分系数矩阵

Table 5 Principal component score coefficient matrix

主成分	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	0.136	0.144	0.170	0.023	0.130	-0.047	-0.201	-0.217	-0.160	-0.116	-0.077
2	0.061	0.056	-0.034	0.321	0.088	0.412	0.134	0.199	0.422	0.107	0.026
3	-0.008	-0.029	-0.027	0.034	-0.016	0.065	0.071	0.066	-0.081	0.518	0.489

优化,对废气和废水的处理能力得到明显提升,岸线利用逐渐向提高效率方向发展。此外,在江苏省水资源总量基本保持稳定的情况下,降水量的补充和用水量分配模式的优化在一定程度上促进了岸线利用逐渐转化为以提高效率为主,是江苏省社会经济高质量发展的保障。

权重反映各影响因素或评价指标的相对重要程度,指标权重越大,该指标对于整个样本就越重要,对综合评价结果全面性和合理性影响越大。由式(4)~(7)计算得到各评价指标的综合指标权重和排名,结果见表6。可以看出,指标权重前三位为就业人数、工厂数量和内河港口吞吐量。就业人数代表社会劳动力,主要反映江苏省社会状况;工厂数量与环境保护政策相关,主要反映江苏省环境政策实施情况;内河港口吞吐量代表内河港口经营成果,主要反映江苏省经济状况。该结果表明,江苏省岸线利用率主要受社会、经济和环境政策因素的影响。促进社会经济发展,推动生态环境保护仍是江苏省高质量发展的主题。

由式(8)(9)计算得到综合主成分得分和排名,如表7所示。可以看出,2002—2018年综合主成分得分排名整体上呈现上升的趋势,主要由社会经济主成分决定,说明江苏省社会经济发展水平不断提高,岸线利用率受社会经济发展的影响显著。水资源自然主成分得分整体上呈现先增加后减少的趋势,这与江苏省长江岸线生态环境保护治理措施的效果有关,说明江苏省生态保护政策的实施能够优化产业结构和水资源分配模式,促进社会经济发展。

3.4 敏感性分析

由式(10)得到的各指标平均敏感度计算结果和排名见表8。可以看出,就业人数的平均敏感度最大,第三产业 GDP 的平均敏感度最小,说明在研究岸线利用率内在机制时,就业人数的影响最强,应重点关注。

表6 综合指标权重和排名

Table 6 Comprehensive index weights and rankings

评价指标	指标权重	排名	评价指标	指标权重	排名
X_1	0.179 2	5	X_7	-0.125 7	11
X_2	0.180 5	4	X_8	-0.106 8	10
X_3	0.158 1	6	X_9	0.051 8	7
X_4	0.213 6	1	X_{10}	0.038 1	8
X_5	0.186 3	3	X_{11}	0.028 5	9
X_6	0.196 3	2			

表7 综合主成分得分和排名

Table 7 Comprehensive principal component scores and rankings

年份	第一主成分得分	第二主成分得分	第三主成分得分	水资源自然主成分得分	综合主成分得分	综合排名
2002	-0.666 6	-1.916 3	-0.986 8	-0.522 2	-0.941 6	17
2003	-0.904 8	-1.956 8	1.594 0	-0.195 7	-0.765 0	14
2004	-0.646 8	-1.135 0	-1.645 8	-0.447 0	-0.854 0	16
2005	-1.218 2	-0.298 3	0.419 3	-0.006 9	-0.773 5	15
2006	-1.061 8	0.113 7	-0.070 2	0.014 3	-0.653 8	13
2007	-0.945 1	0.527 2	0.492 2	0.172 3	-0.422 4	12
2008	-0.602 4	0.620 9	-0.311 8	0.087 3	-0.291 8	11
2009	-0.607 0	1.301 4	-0.024 3	0.264 5	-0.117 4	10
2010	-0.393 2	1.544 0	-0.237 4	0.286 8	0.039 3	9
2011	-0.161 1	0.932 6	0.090 2	0.203 5	0.102 1	8
2012	0.190 2	0.845 5	-0.587 0	0.097 7	0.217 4	7
2013	0.727 0	0.275 9	-1.263 5	-0.107 2	0.350 2	6
2014	0.789 3	0.167 9	-0.140 6	0.016 3	0.512 9	5
2015	0.744 6	0.143 6	1.269 6	0.194 3	0.662 8	4
2016	0.957 3	-0.025 7	2.284 1	0.291 1	0.893 4	3
2017	1.802 8	-0.501 5	-0.523 1	-0.171 0	0.963 3	2
2018	1.995 9	-0.639 3	-0.358 7	-0.178 1	1.077 8	1

表8 平均敏感度和排名

Table 8 Average sensitivities and rankings

评价指标	平均敏感度	排名	评价指标	平均敏感度	排名
X_1	2.06	6	X_7	17.87	3
X_2	0.69	9	X_8	2.54	5
X_3	0.50	11	X_9	35.71	2
X_4	114.88	1	X_{10}	0.53	10
X_5	0.89	8	X_{11}	1.14	7
X_6	3.06	4			

此外,本文通过分析综合指标权重和平均敏感度排名的变化情况来研究各因素对岸线利用率的影响程度。从表6和表8可以看出,就业人数的综合指标权重和平均敏感度排名未发生变化,第一产业GDP的排名变化值为1,有3个评价指标的排名变化值为2,分别为工厂数量、水资源总量和降水量,其余评价指标排名变化较大。以综合指标权重为主,通过比较综合指标权重和平均敏感度排名,认为就业人数、工厂数量和内河港口吞吐量是目前影响江苏省长江岸线利用率的最主要因素。

4 结论

a. 沿江岸线资源开发利用至今,由于长江大保

护战略的实施,江苏省长江岸线利用率先快速增加后趋于稳定。第一、二、三产业GDP对岸线利用率均有影响,岸线利用率的提高对用水总量的影响不大。

b. 就业人数、工厂数量和内河港口吞吐量是目前影响江苏省长江岸线利用率最主要的因素。岸线利用率主要受社会经济和环境政策相关因素影响,大力发展沿江社会经济,推动生态环境保护是江苏省高质量发展的前提,优化水资源分配体系是江苏省社会经济高质量发展的保障。

c. 2002—2018年综合主成分得分整体上呈现递增趋势,水资源自然主成分得分呈现先增加后减小趋势,表明江苏省社会经济发展水平稳步提升,长江岸线生态保护政策对江苏省社会经济发展具有积极作用。

参考文献:

- [1] 黄家柱. 长江岸线江苏段资源及其合理开发利用[J]. 中国人口·资源与环境, 2001, 11(3): 84-86. (HUANG Jiazhu. Study on the riverbank resources of the Yangtze River and its rational utilization in Jiangsu Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2001, 11(3): 84-86. (in Chinese))
- [2] 马荣华, 杨桂山, 陈雯, 等. 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, et al. Assessment and quantitative acquirement of factors for evaluating bank resources of the Yangtze River in Jiangsu Province [J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(2): 176-182. (in Chinese))
- [3] 马荣华, 杨桂山, 朱红云, 等. 长江苏州段岸线资源利用遥感调查与GIS分析评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 666-671. (MA Ronghua, YANG Guishan, ZHU Hongyun, et al. Investigation, analysis and assessment on water-front resources of the Yangtze River in Suzhou [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(6): 666-671. (in Chinese))
- [4] 万荣荣, 杨桂山, 朱红云. 长江苏州段岸线资源评价与港口发展研究[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3): 223-228. (WAN Rongrong, YANG Guishan, ZHU Hongyun. Riverbank resources evaluation and port development along Suzhou reaches of the Changjiang River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(3): 223-228. (in Chinese))
- [5] 朱红云, 杨桂山, 万荣荣, 等. 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, et al. Waterfront resources evaluation and eco-sensitivity analysis in

- distributing ports along the Yangtze River mainstream in Nanjing[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(6): 57-63. (in Chinese))
- [6] 朱红云, 杨桂山, 万荣荣, 等. 长江城市岸线资源港口开发适宜性分析与合理利用: 以南京市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(4): 404-408. (ZHU Hongyun, YANG Guishan, WAN Rongrong, et al. Analysis on the suitability for port and reasonable utilization of urban waterfront resource along the Yangtze River: a case study for Nanjing City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(4): 404-408. (in Chinese))
- [7] 周玲霞, 钱海峰, 黄振宇. 长江南京段岸线水源地适宜性分析与评价[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(1): 220-224. (ZHOU Lingxia, QIAN Haifeng, HUANG Zhenyu. Evaluation on suitability of riverbank water source in Nanjing section of the Yangtze River[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2014, 25(1): 220-224. (in Chinese))
- [8] 陈欢, 陈雯, 曹有挥, 等. 江苏苏中 3 市的沿江岸线资源开发利用变化及驱动因素[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5): 711-718. (CHEN Huan, CHEN Wen, CAO Youhui, et al. Changes of exploitation of riverbank resources along middle Jiangsu reaches of the Yangtze River and its driving mechanism[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(5): 711-718. (in Chinese))
- [9] 陈诚. 江苏省泰州长江岸线利用演变及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(3): 373-380. (CHEN Cheng. Analysis on the tendency and influencing factors of waterfront resources utilization change along the Yangtze River in Taizhou City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(3): 373-380. (in Chinese))
- [10] 梁双波, 刘玮辰, 曹有挥, 等. 长江港口岸线资源利用及其空间效应[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11): 2672-2680. (LIANG Shuangbo, LIU Weichen, CAO Youhui, et al. Exploitation of port coastline resources and its spatial effects along the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(11): 2672-2680. (in Chinese))
- [11] 段学军, 王晓龙, 邹辉, 等. 长江经济带岸线资源调查与评估研究[J]. 地理科学, 2020, 40(1): 22-31. (DUAN Xuejun, WANG Xiaolong, ZOU Hui, et al. Investigation and assessment of waterfront resources in the Yangtze River economic zone[J]. Geographic Science, 2020, 40(1): 22-31. (in Chinese))
- [12] 王晋, 王伯礼. 基于主成分分析法的新疆运输通道建设多指标因素影响分析[J]. 物流科技, 2020, 43(12): 82-86. (WANG Jin, WANG Boli. The influence analysis of multi-index factors of transportation channel construction in Xinjiang based on principal component analysis[J]. Logistics Technology, 2020, 43(12): 82-86. (in Chinese))
- [13] 赵良仕, 刘思佳, 孙才志. 黄河流域水能源粮食安全系统的耦合协调发展研究[J]. 水资源保护, 2021, 37(1): 69-78. (ZHAO Liangshi, LIU Sijia, SUN Caizhi. Study on coupling and coordinated development of water-energy-food security system in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 69-78. (in Chinese))
- [14] 胡启玲, 董增川, 杨雁飞, 等. 基于联系数的水资源承载力状态评价模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(5): 425-432. (HU Qiling, DONG Zengchuan, YANG Yanfei, et al. State evaluation model of water resources carrying capacity based on connection number[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(5): 425-432. (in Chinese))
- [15] 苏程佳, 陈晓宏, 谭永强, 等. 潭江水水质时空变化特征及其驱动因子[J]. 水资源保护, 2021, 37(4): 109-116. (SU Chengjia, CHEN Xiaohong, TAN Yongqiang, et al. Spatial and temporal variation characteristics of water quality in Tanjiang River and its driving factors[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(4): 109-116. (in Chinese))
- [16] 莫柳珍, 宁晓盼, 黄向阳, 等. SPSS 对制糖工艺指标进行主成分分析的应用[J]. 甘蔗糖业, 2020, 49(4): 68-74. (MO Liuzhen, NING Xiaopan, HUANG Xiangyang, et al. The application of SPSS in principal component analysis of sugar processing indexes[J]. Sugar Cane Sugar Industry, 2020, 49(4): 68-74. (in Chinese))
- [17] 蔡毅, 邢岩, 胡丹. 敏感性分析综述[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2008, 44(1): 9-16. (CAI Yi, XING Yan, HU Dan. On sensitivity analysis[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2008, 44(1): 9-16. (in Chinese))
- [18] 刘艳峰, 李荟婷, 王登甲, 等. 太阳能集热系统过热影响因素分析[J]. 太阳能学报, 2021, 42(3): 463-468. (LIU Yanfeng, LI Huiting, WANG Dengjia, et al. Factor analysis of overheating in solar collector system[J]. Journal of Solar Energy, 2021, 42(3): 463-468. (in Chinese))
- [19] 邹兰林, 吴耀辉, 周兴林, 等. 钢桥腹板间隙出平面变形影响因素敏感性分析[J]. 机械设计与制造, 2021(3): 136-139. (ZOU Lanlin, WU Yaohui, ZHOU Xinglin, et al. Sensitivity analysis of factors affecting out-of-plane deformation at web gaps of steel bridges[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2021(3): 136-139. (in Chinese))
- [20] 廖迎娣, 张欢, 侯利军, 等. 江苏长江岸线生态修复评价指标体系研究[J]. 生态学报, 2021, 41(10): 3910-3916. (LIAO Yingdi, ZHANG Huan, HOU Lijun, et al. Discussion on evaluation indicator system of ecological remediation along the shore of Yangtze River in Jiangsu

- Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2021,41(10):3910-3916. (in Chinese))
- [21] 严彦,侯剑. 江苏省主要内河港口货物吞吐量影响因素及预测[J]. *水运管理*,2018,40(4):10-13. (YAN Yan, HOU Jian. Influence factors and forecast of port throughput of inland river in Jiangsu Province[J]. *Water Transport Management*,2018,40(4):10-13. (in Chinese))
- [22] 张萍,张守国. 江苏沿海港口吞吐量影响因素及预测分析[J]. *水运工程*,2011(10):63-65. (ZHANG Ping, ZHANG Shouguo. Influential factors and forecast of coastal port throughput in Jiangsu Province [J]. *Water Transportation Engineering*, 2011(10):63-65. (in Chinese))
- [23] 李少朋,赵衡,王富强,等. 基于 AHP-TOPSIS 模型的江苏省水资源承载力评价[J]. *水资源保护*,2021,37(3):20-25. (LI Shaopeng,ZHAO Heng,WANG Fuqiang, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of Jiangsu Province based on AHP-TOPSIS model[J]. *Water Resources Protection*,2021,37(3):20-25. (in Chinese))
- [24] 任俊霖,李浩,伍新木,等. 基于主成分分析法的长江经济带省会城市水生态文明评价[J]. *长江流域资源与环境*,2016,25(10):1537-1544. (REN Junlin,LI Hao,WU Xinmu, et al. Assessment of 11 provincial capitals' water ecological civilization of the Yangtze River economic belt on the principal component [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2016,25(10):1537-1544. (in Chinese))
- [25] 许朗,黄莺,刘爱军. 基于主成分分析法的江苏省水资源承载力研究[J]. *长江流域资源与环境*,2011,20(12):1468-1474. (XU Lang, HUANG Ying, LIU Aijun. Study on the carrying capacity of water resources in Jiangsu Province based on the principal component analysis[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2011,20(12):1468-1474. (in Chinese))
- [26] 徐翔宇,酆建强,金菊良,等. 基于风险矩阵的多要素水资源承载力综合评价方法[J]. *水利水电科技进展*,2020,40(1):1-9. (XU Xiangyu, LI Jianqiang, JIN Juliang, et al. Comprehensive evaluation method of multi-factor water resources carrying capacity based on risk matrix[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*,2020,40(1):1-9. (in Chinese))
- [27] 陈志强. 基于 SPSS 因子分析的小型创业公司企业文化建设路径研究[J]. *现代商业*,2020(31):7-9. (CHEN Zhiqiang. Research on the path of small startup company's corporate culture construction based on SPSS factor analysis [J]. *Modern Business*, 2020(31):7-9. (in Chinese))
- [28] 周及,关卫省,付林涛. 基于多元统计的西安市河流水质评价及污染源解析[J]. *水资源保护*,2020,36(2):79-84. (ZHOU Ji, GUAN Weisheng, FU Lintao. Water quality assessment and pollution source analysis of Xi'an river based on multivariate statistics[J]. *Water Resources Protection*,2020,36(2):79-84. (in Chinese))
- (收稿日期:2021-06-11 编辑:施业)

(上接第8页)

- [37] NICCOLUCCI V,GALLI A,REED A, et al. Towards a 3D national ecological footprint geography [J]. *Ecological Modelling*,2011,222(16):2939-2944.
- [38] 周悦,谢屹. 基于生态足迹模型的辽宁省水资源可持续利用分析[J]. *生态学杂志*,2014,33(11):3157-3163. (ZHOU Yue,XIE Yi. Analysis of sustainable utilization of water resource in Liaoning Province based on ecological footprint model[J]. *Chinese Journal of Ecology*,2014,33(11):3157-3163. (in Chinese))
- [39] YANG Y,CAI Z X. Ecological security assessment of the Guanzhong Plain urban agglomeration based on an adapted ecological footprint model [J]. *Journal of Cleaner Production*,2020,260:120973.
- [40] 洪昌红,黄本胜,邱静,等. 广东省工业用水效率影响因素分析[J]. *广东水利水电*,2011(8):27-29. (HONG Changhong, HUANG Bensheng, QIU Jing, et al. Analysis on influencing factors of industrial water efficiency in Guangdong Province [J]. *Guangdong Water Resources and Hydropower*,2011(8):27-29. (in Chinese))
- [41] 胡崇敬. 江西南昌:大治污巧布景严管理精准打造水生态文明建设的“南昌模式”[J]. *中国水利*,2017(21):58-61. (HU Chongjing. Nanchang, Jiangxi Province: great pollution control, skillful setting and strict management-precisely building the “Nanchang model” of water ecological civilization construction [J]. *China Water Resources*,2017(21):58-61. (in Chinese))
- [42] 胡良文,廖文梅,金志农. 水生态文明的评价及时空演变:以江西省为例[J]. *南昌工程学院学报*,2017,36(3):10-17. (HU Liangwen,LIAO Wenmei,JIN Zhinong. Evaluation and spatial-temporal evolution of water ecological civilization: a case study in Jiangxi Province [J]. *Journal of Nanchang Institute of Technology*,2017,36(3):10-17. (in Chinese))
- (收稿日期:2021-12-31 编辑:胡新宇)