

水系连通工程综合效应评价体系研究

——以“引江济巢”工程为例

何理^{1,2}, 李恒臣^{1,3}, 赵文仪^{1,2}, 吴时强⁴

(1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072; 2. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300350; 3. 天津大学 国际工程师学院, 天津 300072; 4. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 水系连通工程对连通区域的生态环境及社会经济有重要意义。为全面反映调水引流的效果,以“引江济巢”工程为例,构建了“结构-环境-生态-经济”评价指标体系,评价了水系连通工程对连通区域的影响效应,分析了综合效应指数时空变化特征。结果表明:水系连通对4个子系统的关联强度依次减弱;不同空间尺度连通区域(庐江县、巢湖市、合肥市和巢湖流域)的综合效应具有层次性,各区域综合效应指数在0.39~0.57之间,其大小随空间尺度增加而递减;2008-2018年间连通效果遵循边际效应递减规律且具有一定的滞后性。研究成果可为科学地开展水系连通工程建设提供参考。

关键词: 水系连通; 连通效应指数; 综合效应; 评价体系; 巢湖流域

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2021)04-0001-06

Study on comprehensive effect evaluation system of water system connection projects:

A case study of the Yangtze River to Chaohu Lake Water Diversion Project

HE Li^{1,2}, LI Hengchen^{1,3}, ZHAO Wenyi^{1,2}, WU Shiqiang⁴

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China; 3. Tianjin International Engineering

Institute, Tianjin 300072, China; 4. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and

Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210098, China)

Abstract: Water system connection projects are of great significance to the conservation of ecological environment and the development of social economy of the connected areas. In order to clarify the water diversion and drainage effect of the projects, taking the Yangtze River to Chaohu Lake Water Diversion Project as an example, the evaluation index system of “structure - environment - ecology - economy” (SEEE) is constructed to evaluate the influencing effect of the water system connection project on the connected areas, and to analyze the temporal and spatial variation characteristics of the comprehensive effect index. The results show that the correlation strength of water system connection to the four subsystems decreased successively, the composite effects of connected areas on different spatial scales (Lujiang County, Chaohu City, Hefei City and Chaohu Lake Basin) were hierarchical, and the comprehensive effect index of each area fell into the range of 0.39 - 0.57, which decreased with the increase of the spatial scale. The connectivity effect of 2008 - 2018 followed the law of diminishing marginal effect and had a certain lag effect. The results can provide a theoretical reference for the construction of water system connection projects.

Key words: water system connection; connectivity effect index; comprehensive effect; evaluation system; the Chaohu Lake Basin

收稿日期:2021-02-20; 修回日期:2021-06-26

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0407201); 国家自然科学基金创新团队项目(51621092)

作者简介:何理(1976-),男,湖南株洲人,博士,教授,博士生导师,主要从事水环境、水资源方面的研究。

1 研究背景

水系连通工程不仅能够有效地改善连通区域的水系结构与格局^[1-2],还可减缓连通区域水资源紧缺状况,对水环境及生态系统都有潜在的影响^[3-6]。同时,随着社会经济的发展,水系连通已逐步演变为提高水资源经济效益的关键手段以及生态与经济协调发展的纽带^[7-8]。河湖水系连通的研究不应局限于直观角度的“河”与“湖”,还需要站在战略全局高度上,充分结合我国水利工程发展现状及国家需求,恢复江湖自然沟通,重建生态廊道^[9-12]。

目前研究主要基于景观分析法^[13]、图论法^[14-18]、水文模型法^[19-20]和生物法^[21-23]对水系连通度进行计算与评价,缺乏连通工程对流域影响的系统研究。吕学研等^[24]根据水体的营养盐浓度和水动力条件,分析了连通工程的生态与环境效应及其潜在影响。郭丽峰等^[25]通过构建生态环境指标体系研究了河道综合整治对生态环境效益的改善状况。朱诗洁等^[26]采用模糊综合评价法和卫星遥感技术,选用3个特征指标定量评价了鄱阳湖水系连通工程在生态方面的效益。但是,上述研究仅考虑了连通工程对生态的影响,未全面反映调水引流的效果。

本文以“引江济巢”工程为研究对象,从水系连通工程的影响机理出发,构建“结构-环境-生态-经济”(structure-environment-ecology-economy, SEEE)评价指标体系,提出综合效应指数(comprehensive effect index, CEI),分析水系连通工程对不同空间尺度区域的综合效应。研究成果可为科学地开展水系连通工程建设提供参考,对生态环境良性循环和社会经济健康发展具有重要意义。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区域概况

巢湖流域是长江下游水系,流域面积为 13 486 km²。在确保防洪、供水安全的基础上,为有效恢复江湖自然沟通,重建江湖生命通道,安徽省自 2007 年启动“引江济巢”调水试验,巢湖通过庐江县和巢湖市内的西河凤凰颈闸站、裕溪闸、牛屯河分洪道新桥闸与长江干流沟通,该连通工程至今仍处于动态发展的过程。巢湖流域概况及“引江济巢”工程线路如图 1 所示。一般情况下对水系连通的效应评价要同时兼顾受水区和调水区,但该工程的调水区为长江下游近河口段,年径流量近 $9\,600 \times 10^8 \text{ m}^3$,而“引江济巢”工程年引水量仅为 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,因此该

水系连通工程对长江的影响基本可以忽略,主要考虑对受水区——巢湖流域的综合效应。在连通效应评价时,可按照空间尺度从小到大分别对庐江县、巢湖市、合肥市及巢湖流域这 4 个层层包含的区域进行效应评价(图 1)。通过对这些地区 2008-2018 年水系结构、水环境、生态系统和社会经济 4 个维度中指标的统计与对比,分析“引江济巢”工程对不同空间尺度区域的综合效应。

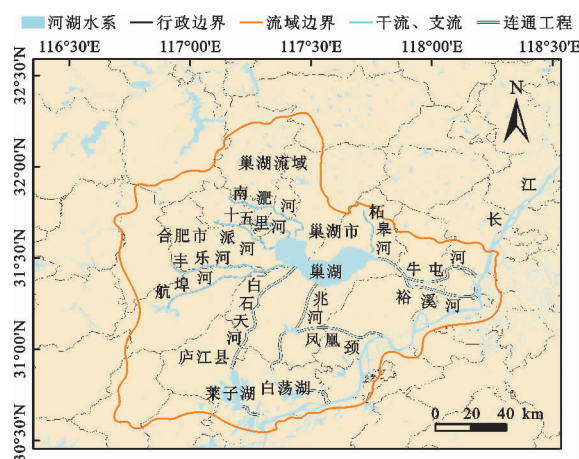


图 1 巢湖流域概况及“引江济巢”工程线路图

2.2 数据来源

文中所用数据来源于 2008-2018 年的《巢湖水利统计年鉴》《安徽省环境统计年鉴》《安徽省水资源公报》《中国水资源公报》《中国生态环境公报》《中国统计年鉴》。

2.3 研究方法

在传统水系连通效应评价基础上,构建“结构-环境-生态-经济”(SEEE)评价指标体系。运用主观赋权评估法与客观赋权评估法相耦合的加权模型(analytic hierarchy process-the entropy method, AHP-EM)确定出各项指标权重,将 4 个维度中的指标及其权重代入计算模型中,导出水系连通综合效应指数(CEI),该指数将连通综合效应从 0 到 1 进行量化,并可应用于不同尺度的连通区域,具体研究路线详见图 2。

步骤 1:分析连通效应机理,建立评价体系。水系连通工程建设首先引起连通区域河流形态要素的改变,即水系结构效应;连通区域水系相应的水文和结构要素的改变又引起连通区域水生态环境要素变化,即水环境效应和生态系统效应;生态环境及水资源紧缺状况的改善引起社会经济要素的变化,即社会经济效应。4 个子系统之间环环相扣,层层递进,可全面反映调水引流的效果。根据必要性及可操作性选取了 11 个准则层指标,进一步细分为 21 个指标层

指标,构建了“结构-环境-生态-经济”(SEEE)评价指标体系。该体系4个子系统分别为水系结构效应指数 B_1 、水环境效应指数 B_2 、生态系统效应指数 B_3 和社会经济效应指数 B_4 ,其中,水系结构效应子系统 B_1 包括水文连通指数 C_1 和水系连通指数 C_2 两部分;水环境效应子系统 B_2 包括营养状态指数 C_3 和水环境净化指数 C_4 两部分;生态系统效应子系统 B_3 包括生态弹性指数 C_5 和资源承载指数 C_6 两部分;社会经济效应子系统 B_4 包括经济 C_7 、人口 C_8 、农业 C_9 、工业 C_{10} 和第三产业 C_{11} 5部分^[7]。

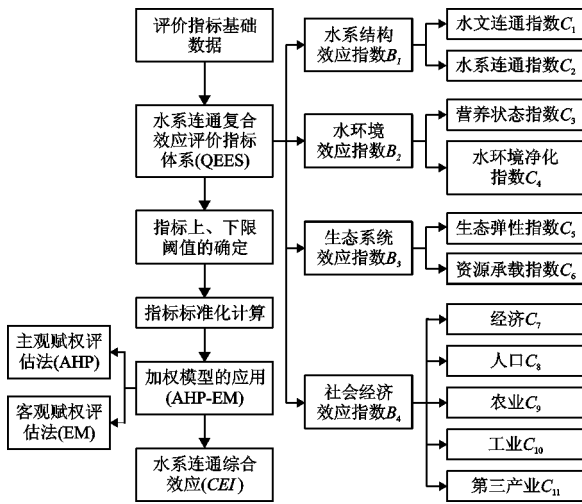


图2 研究路线图

步骤2:采用极值法对指标进行无量纲化处理。其中上限阈值 $X_{\max}^i$ 、下限阈值 $X_{\min}^i$ 和适中值 X_0 分别取全国各省中相应指标最大值、最小值和最适值, X_i 和 Z_i 分别为第 i 个指标的实测值和标准值。此种计算方法将不同区域的指标以全国的视角来评价,从而使测算出的连通综合效应指数 CEI 不仅可以用于比较同一时期水系连通工程对不同空间尺度区域影响效果的相对位次,而且也可以考察每个区域不同时期连通效应的变化趋势。

正指标无量纲计算公式为:

$$Z_i^+ = \frac{X_i - X_{\min}^i}{X_{\max}^i - X_{\min}^i} \quad (1)$$

逆指标无量纲计算公式为:

$$Z_i^- = \frac{X_{\max}^i - X_i}{X_{\max}^i - X_{\min}^i} \quad (2)$$

适中型指标无量纲计算公式为:

$$Z_i = \begin{cases} \frac{X_i - X_{\min}^i}{X_0 - X_{\min}^i} & (X_{\min}^i \leq X_i \leq X_0) \\ \frac{X_{\max}^i - X_i}{X_{\max}^i - X_0} & (X_0 \leq X_i \leq X_{\max}^i) \end{cases} \quad (3)$$

步骤3:分别运用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)与熵值法(the entropy method, EM)求解各项指标的权重。构造最小二乘优化决策模型将两种方法获得的权重进行耦合,并通过拉格朗日函数获得最优解,从而求得各个指标的综合权重^[7]。该加权模型既降低了人为因素的影响又增加了可控性。

步骤4:将4个维度中指标的连通效应指数及其所占的权重代入计算模型,得出流域的综合效应指数 CEI ,其计算公式为:

$$f_j(x) = \sum_{i=1}^n a_i Z_i, \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (4)$$

$$CEI = g[f(x)] = \sum_{j=1}^m a_j f_j(x), \sum_{j=1}^m a_j = 1 \quad (5)$$

式中: a_i 为第 i 个指标在某子系统中所占的权重; Z_i 为第 i 个指标的标准化指数; a_j 为第 j 个子系统的权重; $f_j(x)$ 为第 j 个子系统的连通效应指数。

3 结果与分析

3.1 评价指标权重分析

“引江济巢”工程效应评价指标的指标值和权重如表1和2所示,其中各评价指标由公式(1)~(3)计算得到,权重由步骤3中提到的方法确定。

结构连通是生态环境恢复和社会经济发展的驱动条件和内在动力,只有结构连通性达到一定的水平,才能通过水利工程的合理调度改善水系的水力连通性,进而促进水环境、生态系统和社会经济的改善。在“结构-环境-生态-经济”评价体系中相邻两个子系统之间为直接因果关联,其余为间接因果关联。由效应机理分析可知,水系连通对4个子系统的关联强度依次减弱,故水系连通工程对区域水系结构影响最显著,其次是水生态环境,对社会经济的影响则相对较小。本文计算得到水系结构、水环境、生态系统和社会经济的综合权重分别为0.473 7、0.251 6、0.173 9和0.100 8,与上文实际情况的分析相符^[6,27]。

3.2 效应指数时空特征分析

3.2.1 连通区域时间序列分析 巢湖流域内不同空间尺度区域的水系结构、水环境、生态系统和社会经济4个维度的效应指数及综合效应指数变化趋势如图3所示。由图3可知,庐江县不同维度及综合效应指数增加最为显著,2018与2008年相比,庐江县的水系结构效应指数、水环境效应指数、生态系统效应指数、社会经济效应指数和综合效应指数分别增大了19.56%、

5.73%、20.38%、39.78%和19.87%。巢湖市不同维度及综合效应指数也处于增大趋势,2018与2008年相比,巢湖市的水系结构效应指数、水环境效应指数、生态系统效应指数和综合效应指数分别增大了11.43%、3.37%、69.79%和16.55%。合肥市与巢湖市相似,除生态系统效应指数变化不明显、社会经济效应指数呈

减小趋势外,其余指数呈明显增大趋势,如水系结构效应指数、水环境效应指数和综合效应指数分别增大了27.11%、214.86%和23.93%。巢湖流域多年平均过境流量为 $59.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,而“引江济巢”连通工程年引水量仅为 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,不足20%,因此该连通工程对巢湖流域整体的影响效应较小^[28]。

表1 “引江济巢”工程效应评价指标体系及其权重

目标层	子系统	准则层	权重	指标层/单位	方向	综合权重	AHP	EM
水系 连通 综合 评价 指标 体系	水系结构效应指数 B_1	水文连通指数 C_1	0.5087	河网密度/($\text{km} \cdot \text{km}^2$)	正向	0.5124	0.6270	0.3979
				水面率/%	正向	0.1668	0.0807	0.2528
				水系密度/%	正向	0.3208	0.2923	0.3493
				节点连接率	正向	0.1748	0.087	0.2626
	水环境效应指数 B_2	水系连通指数 C_2	0.4913	水系环度	正向	0.3108	0.2737	0.3479
				网络连接度	正向	0.5144	0.6393	0.3895
				营养状态指数 C_3	逆向	1	1	1
				水环境净化指数 C_4	正向	1	1	1
	生态系统效应指数 B_3	生态弹性指数 C_5	0.4321	年平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	正向	0.2022	0.1977	0.2067
				年平均降水量/mm	正向	0.1930	0.1975	0.1885
				土地垦殖指数/%	正向	0.4442	0.3769	0.5114
				水土流失率/%	逆向	0.1606	0.2279	0.0934
		资源承载指数 C_6	0.5679	地表径流指数/($\text{m}^3 \cdot \text{km}^2$)	正向	0.2649	0.2590	0.2708
				地下径流指数/($\text{m}^3 \cdot \text{km}^2$)	正向	0.2528	0.2587	0.2469
				森林覆盖率/%	正向	0.4823	0.4823	0.4823
				万元GDP用水量/ m^3	逆向	0.5350	0.4321	0.6380
	社会经济效应指数 B_4	经济 C_7	0.4354	人均GDP/元	正向	0.4650	0.5679	0.3620
		人口 C_8	0.0553	人均日生活用水量/ m^3	逆向	1	1	1
				作物单产指数/($\text{kg} \cdot \text{hm}^2$)	正向	1	1	1
				万元工业增加值用水量/ m^3	逆向	1	1	1
		第三产业 C_{11}	0.1544	第三产业比重/%	正向	1	1	1

表2 “引江济巢”工程效应评价指标体系各子系统权重

目标层	子系统	指标权重		
		AHP	EM	综合
水系	水系结构效应指数 B_1	0.6141	0.3302	0.4737
连通	水环境效应指数 B_2	0.1673	0.3163	0.2516
综合	生态系统效应指数 B_3	0.1172	0.2113	0.1739
效应	社会经济效应指数 B_4	0.1014	0.1422	0.1008

各地水环境效应指数在2008–2013年期间呈显著增大趋势,但2013–2018年除合肥市增大趋势减缓外,其余各地呈现减小趋势。说明虽然水系连通对区域水环境具有改善效果,但是其效果遵循边际效应递减规律。当调水量在一定限度内时,可以有效缓解连通区域水资源短缺的危机,此时水系连通对连通区域影响显著。当调水量超过一定限度时,调水对区域的边际影响递减,甚至连通区域会因“过度连通”产生不利影响^[29]。

各地生态系统效应指数在2008–2013年期间变化速率较缓,2013–2018年期间变化相对较大。水系连通工程将“天河”、“河湖”、“湖湖”相连,直接改变了连通区域的水系格局,只有水系结构达到一定的连通水平,才能借助水系连通工程合理调度引入清水实现稀释作用,提高水体的自净能力,从而对生态系统产生影响。相对来说,生态系统的改善具有一定的滞后性。总体来看,“引江济巢”工程对巢湖流域部分地区的综合发展有积极作用,各地区连通综合效应指数基本均处于增大趋势,说明最近几年,随着治水理念的转变以及河流的保护、开发机制的完善,水系连通工程效果显著。

3.2.2 连通区域空间特征分析 为明晰连通效应指数的空间分布特征,将各地区不同维度效应指数进行对比分析,结果如图4所示。

如图4可知,巢湖流域不同地区的水系连通效应存在明显差异,历年综合效应指数由大到小基本

依次为巢湖市、庐江县、合肥市和巢湖流域。庐江县、巢湖市、合肥市及巢湖流域多年平均水资源量分别为 27.8×10^8 、 22.7×10^8 、 52.4×10^8 和 $69.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，“引江济巢”连通工程年引水量仅为 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，分别占其水资源量的 36%、44.1%、19.1% 和

14.5%。“引江济巢”工程主要分布于庐江县和巢湖市境内，且 59% 的巢湖面积位于巢湖市境内，所以巢湖市综合效应指数始终最大，其次为庐江县、合肥市和巢湖流域。说明“引江济巢”水系连通工程对不同空间尺度区域的综合效应是有层次的。

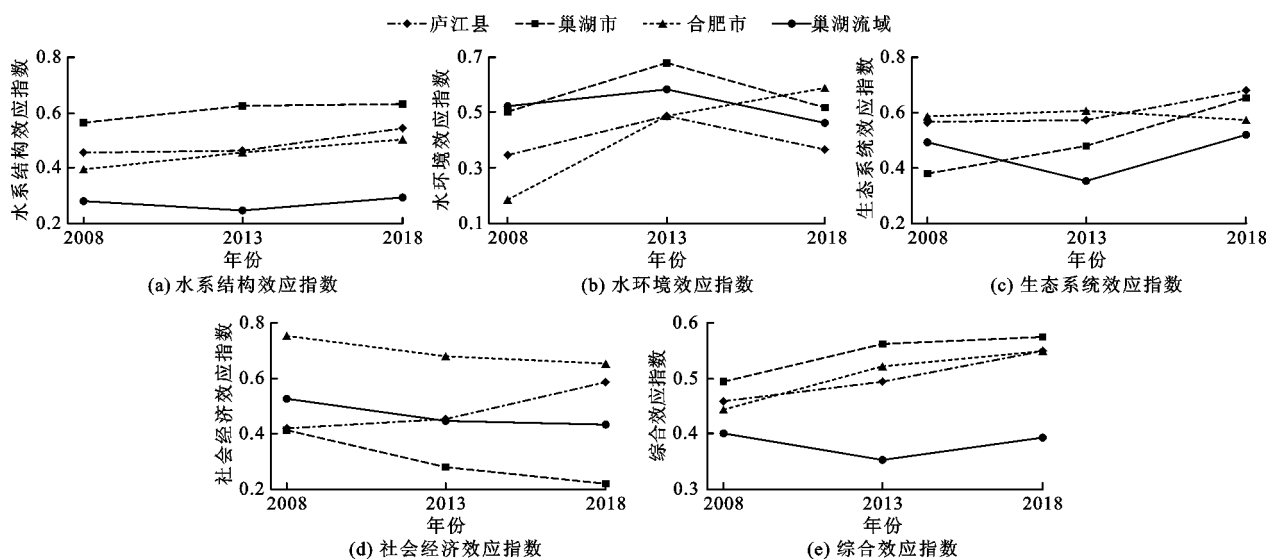


图3 2008、2013、2018年巢湖流域不同地区各维度及综合效应指数时间变化

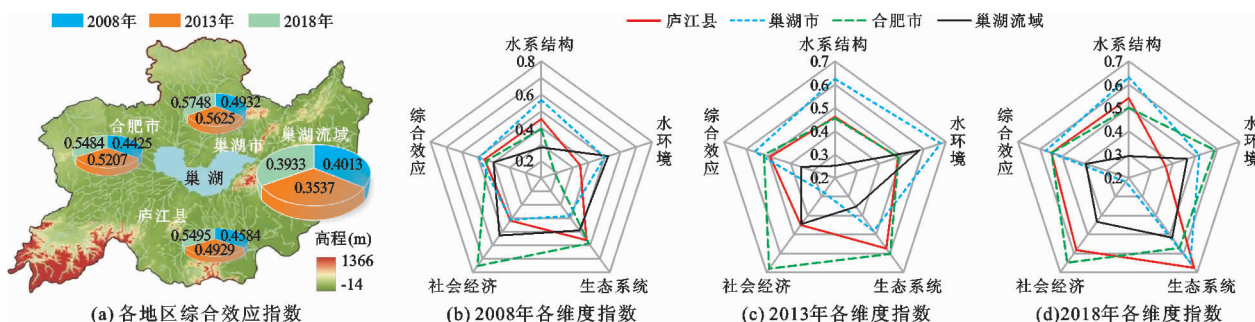


图4 2008、2013、2018年巢湖流域不同地区各维度及综合效应指数空间变化

从各地社会经济效应指数可以看出“引江济巢”工程对庐江县的社会经济促进最大，对其余地区的促进作用较小。水系连通工程不仅可实现改善水环境、保护生态系统的目标，也可实现水资源满足经济发展需要的目标。水系连通工程对连通区域的社会经济产生的影响主要体现在两方面，一是连通工程建设投资通过乘数作用，拉动消费和贸易，对连通区域 GDP 增长产生贡献；二是通过缓解连通区域水资源的制约从而间接促进经济发展。前者影响主要体现在河流廊道周边地区，该案例中连通工程主要分布在庐江县，所以庐江县社会经济效应指数上升最为明显。后者对整个连通区域都有影响。但庐江县、巢湖市、合肥市及巢湖流域区域面积分别为 2 343.7、2 046.1、11 445.1 和 13 486.0 km^2 ，该工程所涉及面积仅为 4.2 km^2 ，且水系连通与社会经济

子系统的关联强度最弱，所以该工程对各地社会经济的影响相对较小^[30]。

从综合效应指数变化来看，“引江济巢”工程对庐江县、巢湖市和合肥市的综合效应指数逐年增加，具有一定的递变性，但对整个巢湖流域的综合效应指数呈现先减小后增加的趋势。这是因为前期受凤凰颈站提水能力的制约及河道断面不足的影响，调水量有限，因此水系连通工程短期内虽然对庐江县、巢湖市和合肥市的影响较为显著，但对整个巢湖流域的改善程度并不明显。“十二五”后，随着连通区域的合理调度以及水环境治理措施的实施，效应指数有明显的上升趋势。

4 结 论

(1) 由连通机理分析可知，相邻两个子系统之

间为直接因果关联,其余为间接因果关联。水系连通对“结构-环境-生态-经济”4个子系统的关联强度依次减弱,故水系连通工程对各地社会经济方面的影响相对较小。

(2)水系连通工程对不同空间尺度连通区域的综合效应是有层次的,其影响程度会随空间尺度增加而递减。如庐江县和巢湖市的CEI指数明显大于合肥市和巢湖流域的CEI指数。

(3)虽然水系连通对区域水系结构、水环境、生态和经济具有改善效果,但是其效果遵循边际效应递减规律且具有一定的滞后性。

参考文献:

- [1] 窦明,于璐,靳梦,等.淮河流域水系盒维数与连通度相关性研究[J].水利学报,2019,50(6):670-678.
- [2] 姜英豪,王赞成,李志威.澧县河湖水系连通生态水利工程的评价[J].湖南水利水电,2020(1):56-60.
- [3] 柳杨,范子武,谢忱,等.常州市运北主城区畅流活水方案设计与现场验证[J].水利水运工程学报,2019(5):10-17.
- [4] 廖轶鹏,周钰林,范子武,等.夏季引流条件下苏州古城区河网水质变化研究[J].水利水运工程学报,2019(5):18-26.
- [5] 周震.巢湖流域水系连通性及其对水质的影响研究[D].南京:南京农业大学,2017.
- [6] 崔广柏,陈星,向龙,等.平原河网区水系连通改善水环境效果评估[J].水利学报,2017,48(12):1429-1437.
- [7] 左其亭,臧超,马军霞.河湖水系连通与经济社会发展协调度计算方法及应用[J].南水北调与水利科技,2014,12(3):116-120+194.
- [8] 李浩.河湖水系连通战略的经济学思考[J].水利发展研究,2012,12(7):34-37.
- [9] 陈世峰,陈亚宁,周洪华,等.水系连通工程下博斯腾湖矿化度时空变化及其驱动因素研究[J].水资源与水工程学报,2020,31(6):95-102.
- [10] 胡春明,娜仁格日乐,尤立.基于水质管理目标的博斯腾湖生态水位研究[J].生态学报,2019,39(2):748-755.
- [11] 黄草,陈叶华,李志威,等.洞庭湖区水系格局及连通性优化[J].水科学进展,2019,30(5):661-672.
- [12] 黄国如,李彤彤,王欣,等.基于河湖水系连通的海口市水资源合理配置[J].水资源与水工程学报,2016,27(5):14-22.
- [13] GRILL G, LEHNER B, LUMSDON A E, et al. An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales[J]. Environmental Research Letters, 2015, 10(1): 015001.
- [14] 窦明,石亚欣,于璐,等.基于图论的城市河网水系连通方案优选——以清溪河许昌段为例[J].水利学报,2020,51(6):664-674.
- [15] 杨志,冯民权.基于图论的强人工干扰流域综合连通性量化的改进方法[J].水资源保护,2020,36(4):52-59.
- [16] 张嘉辉,叶长青,朱丽蓉,等.考虑水功能需求的海口市水系连通指标阈值研究[J].水资源与水工程学报,2019,30(2):122-129.
- [17] 高玉琴,肖璇,丁鸣鸣,等.基于改进图论法的平原河网水系连通性评价[J].水资源保护,2018,34(1):18-23.
- [18] 徐光来,许有鹏,王柳艳.基于水流阻力与图论的河网连通性评价[J].水科学进展,2012,23(6):776-781.
- [19] YANG Jun, CHU Xuefeng. Quantification of the spatio-temporal variations in hydrologic connectivity of small-scale topographic surfaces under various rainfall conditions[J]. Journal of Hydrology, 2013, 505: 65-77.
- [20] 金妍,车越,杨凯.基于最小累积阻力模型的江南水乡河网分区保护研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(1):8-14.
- [21] PAVER S F, NEWTON R J, COLEMAN M L. Microbial communities of the Laurentian Great Lakes reflect connectivity and local biogeochemistry[J]. Environmental Microbiology, 2020, 22(1): 433-446.
- [22] 王强,庞旭,李秀明,等.水电梯级开发对河流生境质量及纵向连通性影响评价——以五布河和藻渡河为例[J].生态学报,2019,39(15):5508-5516.
- [23] VANLOOY K, PIFFADY J, CAVILLON C, et al. Integrated modelling of functional and structural connectivity of river corridors for European otter recovery[J]. Ecological Modelling, 2014, 273: 228-235.
- [24] 吕学研,吴时强,张咏,等.调水引流工程生态与环境效应研究进展[J].水资源与水工程学报,2015,26(4):38-45.
- [25] 郭丽峰,张辉,刘明喆,等.农村河道综合整治生态环境效益评估体系研究[J].生态与农村环境学报,2018,34(5):474-480.
- [26] 朱诗洁,毛劲乔,戴会超.资料缺乏地区水系连通工程效益评价方法研究[J].水力发电学报,2021,40(2):12-19.
- [27] 王延贵,陈吟,陈康.水系连通性的指标体系及其应用[J].水利学报,2020,51(9):1080-1088+1100.
- [28] 王玲,沈家涛.“引江济巢”调水试验对巢湖水环境的影响分析[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2009,9(2):12-14.
- [29] 冯顺新,廖文根,王俊娜.河湖水系连通生态环境影响评价概念模型研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2017,15(1):18-28+36.
- [30] 冯顺新,姜莉萍,冯时.河湖水系连通影响评价指标体系研究——“引江济太”调水影响评价[J].中国水利水电科学研究院学报,2015,13(1):20-27.