

沙坪河全流域黑臭水体治理工程综合评价研究

葛汝冰¹, 周 建², 孙燕博¹, 石 磊^{1,3}, 李 玮⁴

(1. 清华大学 环境学院 国家环境模拟与污染控制联合重点实验室, 北京 100084;

2. 北控水务(中国)投资有限公司, 北京 100102;

3. 南昌大学 流域碳中和研究院, 南昌 330031;

4. 中国长江三峡集团有限公司 长江生态环境工程研究中心, 北京 100038)

摘要: 消除城市黑臭水体关乎人民生活的根本福祉, 受到了社会各界的广泛关注, 项目的科学管理以及治理效果的系统综合评价成为保证黑臭水体问题得到彻底根治的保障。以广东省鹤山市沙坪河全流域综合治理工程为例, 建立了包含治理效果评价、治理效益评价、可持续性评价的综合评价指标体系, 从环境技术层面为黑臭水体治理提供明确的判别标准依据, 同时也从社会、经济层面评判治理项目的经济性以及可持续性。所建立的综合评价指标体系具体包括 33 项指标, 分别为效果评价指标 21 项、效益评价指标 7 项、可持续性评价指标 5 项。通过层次分析方法确定指标权重, 并结合专家打分的方法对沙坪河黑臭水体治理成效进行综合评价。研究结果表明: 1. 本项目综合评价得分为 4.49 分, 完全达到项目的目标要求, 取得了良好的环境-经济-社会效应; 2. 本研究所建立的指标体系为黑臭水体综合治理项目树立了综合评价体系模板。

关键词: 黑臭水体; 综合评价; 指标体系

中图分类号: X521

文献标识码: A

文章编号: 1001-3644(2022)04-0237-09

Research on Comprehensive Evaluation of Black-odorous Water Governance in Shaping River Basin

GE Ru-bing¹, ZHOU Jian², SUN Yan-bo¹, SHI Lei^{1,3}, LI Wei⁴

(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Beijing Enterprises Water Group (China) Investment Limited, Beijing 100102, China;

3. Institute of Basin Carbon Neutrality, Nanchang University, Nanchang, 330031, China;

4. Yangtze River Ecological Environment Engineering Research Center, China Three Gorges Corporation Limited, Beijing 100038, China)

Abstract: The elimination of urban black-odorous water body is related to the fundamental well-being of people's life and has been widely concerned by all walks of life. Scientific management of project and systematic comprehensive evaluation of treatment effects have become the fundamental guarantee to ensure that the problem of black-odorous water body can be completely cured. By taking the comprehensive governance project of Shaping River watershed in Heshan, Guangdong Province as a research sample in this research, we established a comprehensive evaluation system including the evaluation of treatment effects, the evaluation of treatment benefits and the evaluation of sustainability, the evaluation system provides a clear criterion basis for the treatment of black-smelly water body from the environmental technical perspective, and also evaluates the economy and sustainability of the treatment project from the social and economic perspective. The comprehensive evaluation index system includes 33 indicators, including 21 effect evaluation indicators, 7 benefit evaluation indicators and 5 sustainability evaluation indicators. The index weights was determined by hierarchical analysis method, combined with the expert scoring method, the treatment effects of Shaping River was evaluated. It is concluded that: 1. This project achieved overall score of 4.49, the initial goal has been well attained with good effects in Environment-Economics-Society. 2. The index system established in this study sets up the evaluation index system template for the comprehensive governance project of black-odorous water body.

Keywords: Black-odorous water body; comprehensive evaluation; indices system

收稿日期: 2021-06-04

基金项目: 中国长江三峡集团有限公司长江大保护环保产业项目后评价指标体系研究项目资助(201903147)。

作者简介: 葛汝冰(1988-), 男, 河南许昌人, 2016年毕业于中国科学院大学, 环境经济与环境管理专业, 博士研究生, 博士后研究员, 研究方向为环境经济、城市代谢。

通讯作者: 李 玮, li_wei29@ctg.com.cn。

引言

随着我国改革开放以来经济的快速发展,城市规模不断扩张、城市发展的广度和深度都达到一个前所未有的水平,无序发展引发的环境问题也日益凸显。其中水环境问题成为继雾霾之后最受社会关注的环境热点问题。根据《2014 年中国环境状况公报》,全国范围内 423 条主要河流以及 62 座重点湖泊(水库)的 968 个国控地表水监测断面(点位)中,超过Ⅲ类水质断面占 36.9%,全国水体多处出现季节性或常年性黑臭现象^[1]。2015 年国务院颁布实施《水污染防治行动计划》(“水十条”),明确提出了到 2020 年以及 2030 年年底,地级以上城市建成区黑臭水体均控制在 10% 以内以及基本消除的总体目标^[2]。经过多年各级行政主管部门共同努力,目前黑臭水体问题已经取得了较大改善,黑臭污水治理成效显著,截至 2020 年底,全国地级及以上城市 2914 个黑臭水体消除比例达到 98.2%^[3],但是由于黑臭水体问题本身的复杂性,治理任务依然艰巨^[4]。

学界普遍认为黑臭水体形成的根本原因是有机物污染,但城市黑臭水体形成背后有更为复杂的水动力学成因以及城市排污网络设施不匹配、管理机制不完善等因素^[5-6]。黑臭水体一旦形成,代表本地水生态管理存在深层次的系统性、结构性问题^[7],因此影响也更为持久,易反弹,治理难度大。目前黑臭水体治理使用最为广泛的技术是生物、生态修复技术,其次还有物理修复、化学修复等技术^[8],但由于黑臭水体成因复杂,不仅包括环境因素,还受城市发展更深层次的宏观社会经济

层面的因素影响,这决定其综合治理呈现治理环节多,牵涉方众多,流程复杂等特性。目前的治理方案都存在系统性差、科学性不足、治理手段单一等问题^[9],往往只从技术层面关注解决水体质量问题本身,忽视引发黑臭水体出现背后深层次的社会经济问题以及如何使治理成效可持续的制度机制设计。这归根结底是缘于治理评价体系缺乏系统性、科学性,现有评价方法多是从生态环境指标层面对治理工程效果进行评价^[10-13],缺乏一套兼顾生态环境与治理工程社会效益与治理可持续性的黑臭水体治理的综合评价指标体系。基于此,本研究尝试建立了包含治理效果评价、治理效益评价、可持续性评价的综合评价体系,从环境技术层面为黑臭水体治理提供明确的判别标准依据,同时也从社会经济层面,评判治理项目的经济性以及可持续性。通过层次分析方法确定指标权重,并结合专家打分的方法评价项目案例沙坪河黑臭水体治理成效。本研究所建立的指标体系可以作为黑臭水体综合治理项目的评价体系模板。

1 研究区概况

1.1 沙坪河项目概况

粤港澳大湾区地处我国沿海开放前沿,迅猛的经济发展为环境治理埋下诸多隐患。为响应中央关于水环境治理的号召,广东省住房和城乡建设厅于 2017 年发布《广东省城市黑臭水体整治技术指引》,次年联同广东省生态环境厅共同发布《广东省城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》,为黑臭水体治理攻坚战投入巨大精力,治理成效显著。

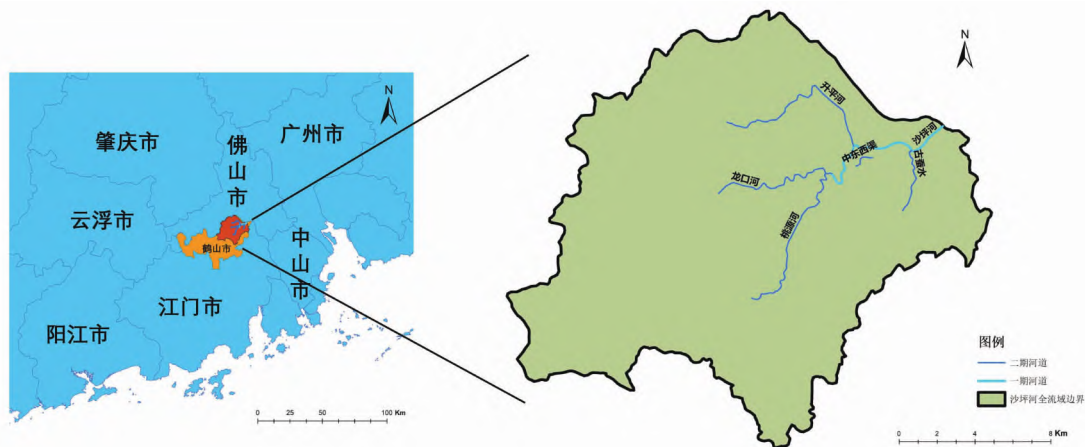


图1 广东省鹤山市地理位置及沙坪河全流域水系图

Fig. 1 Location of Heshan city in Guangdong province and the water system map of Shaping River watershed

鹤山市为广东省江门市代管县级市,地处江门市北部,珠江三角洲西江下游右岸,沙坪河位于鹤山市东北部,紧靠西江下游右岸,流域总面积 390km^2 ,全长 37.6km ,贯穿鹤山市中心城区(如图1)。项目实施前通过实地调研方式发现沙坪河流域内 90km 河段内主要污染源来自355家工厂、59万头生猪养殖、155处村庄生活污水以及30万人口的城镇污水,主要河段出现黑臭水体、污染物严重超标的现象。同时河流存在防洪不达标、河道断流、生态退化等多方面问题。沙坪河黑臭水体治理项目为适应城乡二元结构的复杂环境治理需求,打破原有“九龙治水”的多方管理体制,实现了创新的供排水一体化、水务水环境一体化、城乡水务一体化的变革举措,综合解决跨专业的水系统问题。沙坪河项目共分为两期,一期工程项目起止时间为2016~2018年,二期项目2019年开工,目前仍在建设中,本研究主要针对已完工的一期工程项目治理成效展开评价。

1.2 项目工程治理措施及关键成果

项目施工单位北控水务提出了流域治理技术方案和融资方案,盘活政府存量水务资产,带动14.76亿元的增量项目,实现生态资产全面升级。项目共建设3座供水厂,供水能力 $33\text{万 m}^3/\text{d}$,服务人口超过45万,实现区域饮用水安全,给水水质达标率100%。建设1座污水处理厂,污水处理规模 $8\text{万 m}^3/\text{d}$,服务面积 13.5km^2 ,建设的农村污水处理工程覆盖912个自然村,管网长度 166km ,服务人口20.5万,流域内污染排放得到控制,城乡污水排放量大幅降低,城乡水环境质量得以提升,农村水环境得到极大改善。项目共整治流域面积 329km^2 ,主要景观长度 9km ,沙坪河城市段生态恢复良好,黑臭现象基本消除,提高了周边居民的生活品质,取得了良好的社会效益(工程具体分布见图2)。同时通过治理沙坪河,还保护了下游水源地,保障了佛山等城市的公众健康,降低了环境外部性。



图2 黑臭水体综合治理工程项目示意图

Fig. 2 The schematic diagram of comprehensive black – odorous water governance project

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究中研究区沙坪河全流域自然条件等基础数据来源于2020年广东省鹤山市水利局发布的《鹤山市沙坪河流域岸线保护与利用规划报告》以及《鹤山市河长制水质通报》(2015–2018年),黑臭水体治理效果综合评价所需数据主要由工程实施完成后通过现场采样,实地调研的方法进行获取。

2.2 沙坪河项目后评价指标筛选及指标库建立

建立综合评价指标库,共包含三大类33项指标(见表1)。其中效果评价指标21项,包括水环境绩效可达性3项、管网系统绩效可达性6项、厂站系统绩效可达性4项、生态修复效果8项;效益评价指标7项,包括环境效益评价2项、社会效益评价3项、经济效益评价2项;可持续性评价指标5项,包括战略价值评价2项、财务效益评价3项。

表 1 沙坪河工程项目评价指标
Tab. 1 Table of evaluation indexes for Shaping River project

目标层	一级因素准则层	二级因素准则层	指标层
水环境综合整治 效果评价 A	效果评价 B1	水环境绩效可达性 C1	黑臭水体消除达标率 D1
			水质达标率提升比例 D2
			旱天下游断面水质不劣于上游来水 D3
			旱天直排量 D4
			污水管网覆盖率 D5
			污水收集率 D6
			污水处理率 D7
			污水厂进水达标率 D8
			污染负荷削减 D9
			污水厂出水综合达标率 D10
	厂站系统绩效可达性 C3	生态修复效果 C4	泥质综合达标率 D11
			污染物削减量综合指数 D12
			污染物削减率综合指数 D13
			鱼类 D14
			大型水生植物 D15
			浮游植物 D16
			浮游动物 D17
			底栖动物 D18
			天然河床完整性 D19
			流量过程维持时间 D20
	效益评价 B2	环境效益评价 C5	河岸带植被覆盖率 D21
			水环境影响效益 D22
			其他资源利用的环境效益 D23
			社会工程示范效益 D24
			社会公众参与效益 D25
			社会生活环境效益 D26
		经济效益评价 C7	直接经济效益 D27
			间接经济效益 D28
	可持续性评价 B3	战略价值评价 C8	宏观环境一致性评价 D29
			企业发展方向一致性评价 D30
			全投资税后内部收益率 D31
			投资回收期指标 D32
			现金流 D33
	财务效益评价 C9		

2.3 指标权重确定方法

层次分析法层次分析法（AHP）是美国著名的运筹学家 Satty 等在 20 世纪 70 年代提出的一种定性与定量分析相结合的多准则决策方法，在工程项目评价中有着非常广泛的应用^[14,15]。本研究确定了 33 个评价指标，利用定量的专家打分法结合

AHP 计算每个指标的权重。

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$
$$CR = CI/RI$$

式中， λ_i 是特征向量， n 是矩阵阶数， CR 是一致性比率， RI 是平均随机一致性指标， λ_{max} 为最大特征向量。 CI 值越大，表明判断矩阵偏离完全

一致性的程度越大; CI 值越小 (接近于 0) , 表明判断矩阵的一致性越好。 CR 结果用来验证 CI 得出的一致性结果是否通过验证, $CR < 0.1$ 说明通过判断矩阵一致性通过验证。

2.4 评价方法

采用专家评分的方法, 以 A、B、C 等级分别赋值 5 分、3 分、1 分, 各评价指标分值与其权重乘积, 加和后得到各二级指标评分, 各二级指标分值与其权重乘积, 加和后得到效果综合评分。

3 结果与分析

3.1 评价指标权重确定

通过层次分析方法确定各级指标权重如表 2, 沙坪河项目以效果评价为主, 效益评价为辅, 同时考虑项目的可持续性, 三者的权重占比分别为 0.5、0.3 和 0.2, 环境治理效果 > 工程治理效益 > 工程可持续性 (见图 3) 。

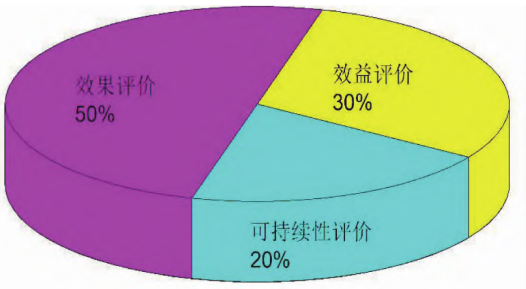


图 3 一级评价指标筛选及权重确定
Fig.3 1st indexes screening and corresponding weights determination

整个项目的水环境指标为消除黑臭水体, 黑臭水体消除达标率、水质达标率提升比例所占权重较大。效益评价方面, 社会效益是项目主要关注的效益指标, 其次为经济效益, 然后是环境效益。可持续性评价方面, 战略价值和财务效益对项目的可持续性意义大致相同, 因此权重相同。

表 2 沙坪河项目效果评价指标权重确定

Tab.2 Weights determination for evaluation indexes of Shaping River project

目标层	一级因素	权重	二级因素	权重	指标层	权重
A	B1	0. 5	C1	0. 45	D1	0. 135
					D2	0. 068
					D3	0. 023
					D4	0. 045
					D5	0. 030
					D6	0. 015
					D7	0. 015
					D8	0. 030
					D9	0. 015
			C2	0. 3	D10	0. 023
					D11	0. 008
					D12	0. 023
					D13	0. 023
					D14	0. 003
					D15	0. 003
			C3	0. 15	D16	0. 003
					D17	0. 003
					D18	0. 003
					D19	0. 008
					D20	0. 017
					D21	0. 008
					D22	0. 032
					D23	0. 014
	B2	0. 3	C4	0. 1		
	B2	0. 3	C5	0. 15		

续表 2

目标层	一级因素	权重	二级因素	权重	指标层	权重
			C6	0.6	D24	0.036
					D25	0.054
					D26	0.090
			C7	0.25	D27	0.045
					D28	0.030
	B3	0.2	C8	0.5	D29	0.060
					D30	0.040
			C9	0.5	D31	0.045
					D32	0.020
					D33	0.035

3.2 黑臭水体治理评价结果

数据见表 3。

沙坪河全流域黑臭水体治理工程项目评价指标

表 3 评价指标数据

Tab. 3 Data of evaluation indexes system

指标层	评价指标数据
D_1	95%
D_2	0.39
D_3	水温、DO、pH、BOD ₅ 、TP、COD _{Mn} 、氨氮、全盐量等指标均有改善
D_4	无直排
D_5	提高 10%
D_6	提高 5%
D_7	提高 7.3%
D_8	0.8
D_9	0.105
D_{10}	0.93
D_{11}	0.72
D_{12}	0.82
D_{13}	0.86
D_{14}	17 种
D_{15}	面积比例为 55%
D_{16}	密度为 1.1×10^7 cells/L
D_{17}	密度为 2130 ind. /L
D_{18}	香依多样性指数为 2.5
D_{19}	面积比例为 0.52
D_{20}	12 个月
D_{21}	0.79
D_{22}	水环境改善效果明显
D_{23}	未考虑资源利用及再利用
D_{24}	项目示范性、创新性显著
D_{25}	社会公众参与程度高，满意度高

续表 3

指标层	评价指标数据
D_{26}	项目减弱邻避效应程度高，公众生活环境改善效果明显
D_{27}	未包含经营性收入
D_{28}	项目对城市产业发展、吸引社会投资等方面促进效果明显
D_{29}	项目符合国家政策发展战略、符合国家产业发展方向
D_{30}	项目符合企业现行发展战略
D_{31}	低于企业期望收益率，但高于人民银行五年期贷款基准利率
D_{32}	8 - 13 年
D_{33}	项目在建设期内各年收支平衡，生产期各年皆有盈余资金

各项指标得分与其权重乘积之和为指标相应得分，经过计算得到项目综合评分为 4.49（见表 4），代表综合治理效果好（综合评价结果标准参照表 5），完全达到项目的目标要求。其中效果评

价 2.35 分，表现为黑臭水体消除、水环境改善效果明显；效益评价 1.27 分，表现为社会效益突出，工程效益较为明显；可持续性评价 0.87 分，表现为投资回收期较长。

表 4 沙坪河黑臭水体治理项目综合评价结果

Tab. 4 Comprehensive evaluation results of Shaping River black - odorous water governance project

指标	评价分值	最终得分	指标	评价分值	最终得分
D_1	5	0.68	D_{18}	3	0.01
D_2	5	0.34	D_{19}	3	0.03
D_3	5	0.11	D_{20}	5	0.08
D_4	5	0.23	D_{21}	5	0.04
D_5	5	0.15	D_{22}	5	0.16
D_6	5	0.08	D_{23}	1	0.01
D_7	5	0.08	D_{24}	5	0.18
D_8	3	0.09	D_{25}	5	0.27
D_9	3	0.05	D_{26}	5	0.45
D_{10}	5	0.11	D_{27}	1	0.05
D_{11}	3	0.02	D_{28}	5	0.15
D_{12}	5	0.11	D_{29}	5	0.30
D_{13}	5	0.11	D_{30}	5	0.20
D_{14}	5	0.02	D_{31}	3	0.14
D_{15}	3	0.01	D_{32}	3	0.06
D_{16}	3	0.01	D_{33}	5	0.18
D_{17}	3	0.01	合计		4.49

表 5 效果综合评价标准

Tab. 5 Comprehensive evaluation standard

综合得分	效果	综合评价
3.6 ~ 5	好	项目效果完全达到目标要求
1.6 ~ 3.5	中	项目效果基本达到目标要求
1 ~ 1.5	差	项目效果未达到目标要求

工程项目环境治理效果完全满足目标要求, 工程实施前, 沙坪河及其支流水质处于劣 V 类水平, 距 V 类水的考核要求尚有很大差距, 其中氨氮超标倍数最高, 最高时刻达到 6~9 倍 (沙坪河主干下游氨氮可达 19mg/L), 其次是 TP, 均值超标 4~5 倍, COD 超标倍数在 2~4 倍左右。工程实施完成后通过现场调查的方法对效果进行评价, 沙坪河

城市段恢复生态, 河水 COD 浓度降低 47%, 总磷浓度降低 38% (图 4), 黑臭现象消除, 实现给水水质达标率 100%, 为 30 万鹤山人提供了安全可靠的饮用水。同时, 沙坪河沿岸生态环境显著改善, 湿地生态栖息地恢复, 候鸟种群规模增大, 但整体生态修复效果未达到预期, 这与工程完工时间较短有关, 后续应持续加强生态功能修复与监测。

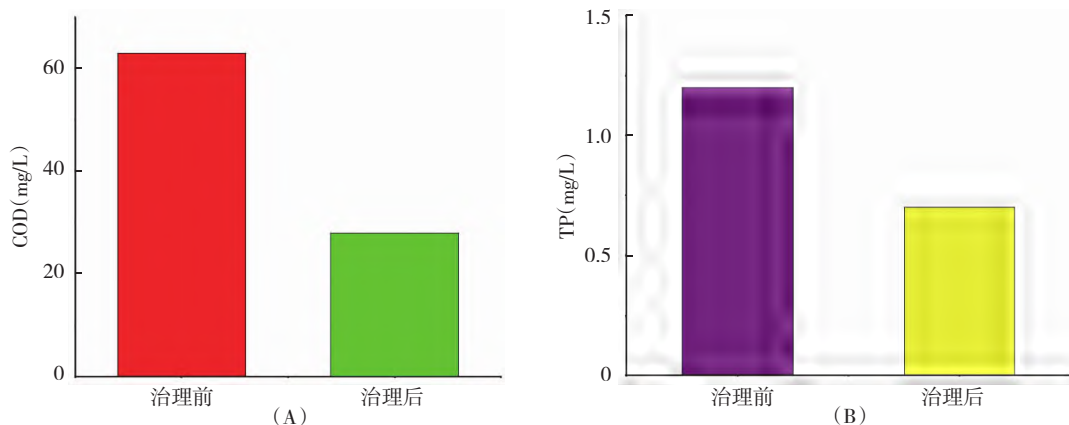


图 4 沙坪河项目实施前后主要污染物浓度降低效果

Fig. 4 Decrease of main pollutants in Shaping River before and after the treatment project implementation

环境效益方面, 沙坪河城市段恢复生态, 水环境包括水质、水景观都得到明显改善, 黑臭水体消失, 同时保护了下游水源地, 环境效益收效显著, 但由于项目未考虑其他资源利用导致环境效益评价结果不佳。

社会效益方面, 该项目获批成为广东省河长制示范点, 获评广东省生态修复范例, 采用政企合作的机制创新, 无人机遥感、大数据智慧平台等技术创新, 系统集成的方法创新, 具有良好的社会工程示范效益。项目建设有广东省首个县级治水主题展厅, 展厅集“科普教育”及“治水成果展示”功能于一体, 致力提高全民绿色环保意识, 使项目具有良好的社会公众参与效益。另外, 项目也具有显著的社会生活环境效益, 通过将景观公园设计与水质净化功能充分融合, 成功解决原先治水构筑物与城市化景观格格不入的矛盾, 减弱了环境治理项目的邻避效益。

经济效益方面, 鹤山沙坪河项目未包含经营性工程内容, 直接经济效益欠佳, 但创造了良好的间接经济效益, 具体有以下几个方面: (1) 培养上千高素质人才, 促进水务环保产业发展; (2) 提升城市环境; (3) 助力经济增长; (4) 吸引高品质文化建设项目。

战略价值以及财务效益决定了项目的可持续性。鹤山沙坪河项目形成了以黑臭水体治理为核心的“城乡水系”全流域水环境综合治理鹤山模式, 发展模式契合国家、广东省以及本企业近远期发展战略, 具有较高的战略价值。本项目内部收益率虽稍低于投资者期望值, 但高于行业平均收益, 且投资回收期较短, 现金流稳定。

4 讨论

4.1 环境治理项目首要的任务是解决环境污染问题, 环境治理效果是最为重要的评价指标。同时, 可持续性决定了项目的未来的发展状况, 因此, 黑臭水体治理综合评价指标体系建立应体现可持续思想。目前, 环境-社会-经济是可持续性评价的三个基本维度^[16]。

4.2 城市黑臭水体成因具有复杂性, 其治理以及后期维护是复杂的系统工程, 建立综合整治效果的评价指标体系应从社会-环境-经济三个维度, 五个主要影响因素来考量, 分别为内生因素: 水环境治理效果、生态修复水平, 以及外生因素: 城市污水处理基础设施指标、公众参与性、经济财务指标。

4.3 项目基于全流域的水污染问题解析, 应用创

新监测技术,为运营管理创新提供了技术保障。高光谱遥感技术作为水质监测的技术非常成熟,但其广泛推广受制于成本影响^[17],本项目通过无人机载高光谱进行水质监测,大大降低了其应用成本,同时结合水环境与水动力模型实现精准治理,全局统筹形成系统性工程方案,以 6000 多个污染源管控和一河一策治理措施数据库为基础建立大数据驱动的全流域智慧管理系统。

4.4 保证工程项目可持续性还应考虑对于项目服务对象所应尽的社会责任^[18],更多的让民众参与共治将更有利于服务对象表达环境诉求。本项目通过尝试采用政府-企业-民众三方协同合作的创新管理运营模式,建立了多专业协同、跨部门全生命周期的长效运营机制,实现了政府、企业、当地居民三方面的效益均显著提升。

5 结 论

5.1 本研究建立了以可持续为目标的黑臭水体治理项目综合评价指标库,指标库共包含 33 项指标,包括效果评价指标 21 项、效益评价指标 7 项、可持续性评价指标 5 项。

5.2 通过层次分析方法确定黑臭水体治理综合评价指标体系各级指标权重。

5.3 项目综合评分为 4.49 分,完全达到项目的目标要求。其中效果评价 2.35 分,表现为黑臭水体治理、水环境改善效果明显,建议继续开展生态修复类项目,促进生态修复;效益评价 1.38 分,表现为社会效益突出,工程效益较为明显;可持续性评价 0.87 分,表现为投资回收期较长。

5.4 项目采用的治理技术集成以及政府-企业-民众综合管理运营模式可以作为类似项目参考借鉴的范例。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国环境保护部,2014 中国环境状况公报[Z]. 2014.
- [2] 人民日报. 国务院“水十条”提出到 2020 年七大重点流域七成以上水质优良[EB/OL]. <http://www.gov.cn/> 2015.
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 生态环境部召开 3 月例行新闻发布会[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202103/t20210330_826750.html 2021.

- [4] 王 谦,高红杰,我国城市黑臭水体治理现状、问题及未来方向[J]. 环境工程学报,2019,13(3):507-510.
- [5] 高继坤. 我国城市黑臭水体治理思路研究[J]. 科技展望,2016,26(11):300.
- [6] 黄燕莹. 黑臭河道何以履治难清——以南京市 J 河为例[J]. 四川环境,2019,38(5):102-106.
- [7] 兰旭凌. 城市黑臭水体治理的生命历程与整合策略研究[J]. 北京社会科学,2020,(4):21-34.
- [8] Cao, J X, Sun Q, Zhao D H, et al. A critical review of the appearance of black-odorous waterbodies in China and treatment methods [J]. Journal of hazardous materials, 2020, 385: 121511.
- [9] 徐 敏,姚 瑞,华宋玲,等. 我国城市水体黑臭治理的基本思路研究[J]. 中国环境管理,2015,7(2):74-78.
- [10] 杨玉楠,张聪聪,熊 林. 城市黑臭水体治理不同阶段评价方法综述[C]. 中国环境科学学会 2019 年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛文集(三). 2019,中国陕西西安.
- [11] Yu H Q, Shi G J, Yin J, et al. Diagnosis and assessment of black and odorous water and a comprehensive strategy for urban areas. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 508(1):012090.
- [12] Yu, L T, Tang Z Y, Ji J J, et al. Discussion on Urban Black Odor Water Body Treatment and Long-term Management and Maintenance [J]. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, IOP Publishing.
- [13] 周 莹,岳艾儒,徐 宏,等. 城市黑臭水体治理指标分析与治理趋势研究[J]. 四川环境,2020,39(6):88-95.
- [14] Saaty T L. How to make a decision: the analytic hierarchy process [J]. European journal of operational research, 1990, 48(1):9-26.
- [15] Al-Harbi, K. M. A. -S. , Application of the AHP in project management. International Journal of Project Management, 2001, 19(1):19-27.
- [16] Martens M L, Carvalho M M. Key factors of sustainability in project management context: A survey exploring the project managers' perspective [J]. International Journal of Project Management, 2017, 35(6):1084-1102.
- [17] Olmanson L G, Brezonik P L, Bauer M E. Airborne hyperspectral remote sensing to assess spatial distribution of water quality characteristics in large rivers: The Mississippi River and its tributaries in Minnesota [J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 130: 254-265.
- [18] Valdes-Vasquez, R, Klotz L E. Social sustainability considerations during planning and design: Framework of processes for construction projects [J]. Journal of construction engineering and management, 2013, 139(1):80-89.