

生态文明建设背景下水资源保护管理研究——以小兴凯湖为例

柴青宇¹, 李晓钰¹, 柴方营², 于洪贤^{1*}

(1.东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040; 2.黑龙江省水利厅, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘要 党的十八大把生态文明建设纳入“五位一体”建设的总体布局, 党的十九大再次提出坚持节约资源和保护环境的基本国策, 要像对待生命一样对待生态环境。面对环境污染严重, 生态系统退化, 发展与人口资源环境之间的矛盾日益突出问题, 中共中央、国务院把生态文明建设和生态环境保护上升为国家战略, 同时强调生态文明建设的重点在治理水污染和水资源短缺, 并提出了水资源管理保护和利用的主要目标。以小兴凯湖为例, 研究了在生态文明建设为主导的经济发展新背景下, 如何加强水资源保护和管理, 确保实现生态文明建设的主要目标。

关键词 生态文明建设; 水资源; 保护管理; 小兴凯湖

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)08-0060-09

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Water Resources Protection and Management under the Background of Ecological Civilization Construction—A Case Study of Small Xingkai Lake

CHAI Qing-yu¹, LI Xiao-yu¹, CHAI Fang-ying² et al (1. Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; 2. Water Bureau of Heilongjiang, Harbin, Heilongjiang 150001)

Abstract Ecological civilization construction has been brought into the five-sphere integrated plan by the 18th National Congress of the Communist Party of China. The 19th National Congress of the Communist Party of China once again put forward the basic policy of conserving resources and protecting environment, pointing out that we should treat the ecological environment just like life. Facing to the increasingly prominent problems such as the serious environmental pollution, the deterioration of the ecosystem, the contradiction between the development, population, resources and environment, the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council have raised the ecological civilization construction and the ecological environment protection into the national strategy. They also stressed the key point of ecological civilization construction is the governance of water pollution and shortage of water resources, and put forward the main objectives of management, protection and utilization of water resources. This article took Small Xingkai Lake as an example to study how to strengthen the protection and management of water resources, ensure the main goal of realizing the construction of ecological civilization under the new background of economic development dominated by the construction of ecological civilization.

Key words Ecological civilization construction; Water resources; Protection and management; Small Xingkai Lake

党的十八大把生态文明建设与经济建设、政治建设、文化建设、社会建设共同纳入“五位一体”建设的总体布局后, 2015年中共中央、国务院印发了《关于加快推进生态文明建设的意见》, 把生态文明建设和生态环境保护上升为国家战略。明确指出: 我国生态文明建设水平仍滞后于经济社会发展, 资源约束趋紧, 环境污染严重, 生态系统退化, 发展与人口资源环境之间的矛盾日益突出, 已成为经济社会可持续发展的重大瓶颈制约。同时强调生态文明建设的重点在治理水污染和水资源短缺, 并提出水资源管理保护和利用的主要目标: 用水总量力争控制在 6 700 亿 m³ 以内, 万元工业增加值用水量降低到 65 m³ 以下, 农田灌溉水有效利用系数提高到 0.55 以上; 重点流域和近岸海域水环境质量得到改善, 重要江河湖泊水功能区水质达标率提高到 80% 以上, 饮用水安全保障水平持续提升; 湿地面积不低于 5 333.33 万 hm²。

党的十九大郑重提出: “建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计。必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念, 坚持节约资源和保护环境的基本国策, 像对待生命一样对待生态环境”。过去以 GDP 为主导的经济发展模式, 是以牺牲生态环境为代价的, 如何在以生态文明建设为主导

的经济发展新背景下加强水资源保护和管理, 确保实现生态文明建设和全面实现小康生活的主要目标, 是需要进一步深入研究的问题。

1 我国水资源面临的危机

1.1 水资源时空分布不均, 供需矛盾突出 我国淡水资源总量为 2.8 亿 m³, 居世界第 4 位, 但是人多水少, 人均水资源仅为世界平均水平的 1/4。水资源在时空分布上非常不均衡, 表现为南方多、北方少, 夏秋季多、冬春季少。水资源数量短缺、水资源质量污染严重、水环境生态恶化等问题十分突出, 已经成为影响我国解决新时期社会主要矛盾的重要因素, 即水资源数量和质量均已无法满足人民日益增长的美好生活需要和无法解决不平衡不充分发展之间的矛盾。具体表现在 5 个方面: 一是截至 2012 年统计, 我国人均水资源量只有 2 100 m³, 只占世界人均水平的 1/4; 二是水资源利用效率不容乐观, 大田漫灌、超采地下水现象还比较普遍, 农业灌溉水有效利用系数为 0.50, 远远低于发达国家 0.7~0.8 的高效利用水平; 三是水资源无法保证人民日益增长的美好生活需要, 每年全国水资源缺口达 500 多亿 m³, 城市中有 2/3 缺水, 农村还有 3 亿人没有解决饮水安全; 四是水环境质量恶化, 水生态功能区仅有 46% 合格; 五是流域水资源过度利用, 黄河流域开发利用率为 76%, 淮河流域 53%, 海河流域超过 100%。随着经济持续高速发展和人口城镇化、规模化集聚, 水资源需求量将在长时间内持续增长, 水资源供需矛盾更加突出。过度索取水资源将导致水生态系统面临崩溃的边缘,

作者简介 柴青宇(1988—), 女, 山东胶南人, 博士研究生, 研究方向: 农业经济管理。* 通信作者, 教授, 博士生导师, 从事湿地科学研究。

收稿日期 2018-10-23; **修回日期** 2018-11-01

直接成为满足人民日益增长的美好生活需要的主要制约因素。

1.2 水资源污染严重,水环境质量恶化 《2011年中国水资源公报》对全国 18.9 万 km² 的河流水质状况进行了评价。全国 I~Ⅲ类水质河流长度比例为 64.2%, IV类水质 12.9%, V类水质 5.7%, 劣 V类水质 17.2%。在监测的 103 个主要湖泊, 2.7 万 km² 水域中, 水质为 I类的占 0.5%、II类占 32.9%、III类占 25.4%、IV类占 12.0%、V类占 4.5%、劣 V类占 24.7%。湖泊富营养化评价结果表明: 中营养化湖泊 32 个, 占 31%; 富营养化湖泊 71 个, 占 69%。

《2016年中国水资源公报》对全国 23.5 万 km² 的河流水质状况进行了评价。I~Ⅲ类水质河流长度占 76.9%, 劣 V类占 9.8%, 氨氮、总磷和化学需氧量是主要的污染因素。在监测的 118 个湖泊, 3.1 万 km² 水域中, 水质为 I~Ⅲ类的湖泊有 28 个, 占 23.7%; IV~V类的 69 个, 占 58.5%; 劣 V类的 21 个, 占 17.8%。湖泊富营养化状况评价结果表明, 中营养化湖泊占 21.4%; 富营养化湖泊占 78.6%。

十八大做出生态文明建设的战略部署后, 经过 5 年的治理, 水资源环境发生了明显的变化。全国 I~Ⅲ类水河长比例由 64.2% 提高到 76.9%, 劣 V类水河长由 17.2% 下降到 9.8%。但是全国湖泊水环境质量仍然令人堪忧, 经过 5 年的治理, 水质富营养化污染仍未得到有效控制, I~Ⅲ类水质的湖泊由 58.8% 下降到 23.7%, IV~V类水质的湖泊由 16.5% 上升到 58.5%, 水质恶化趋势十分明显。

2 基于生态文明的水资源保护管理制度

面对日益严峻的水资源保护管理形势, 为彻底扭转水资源保护的被动局面, 我国先后从国家层面上出台了一系列法律法规和规章制度, 从多方面保护和管理水资源, 确保生态文明建设整体战略的实施。

2.1 2012年国务院发布了《关于实行最严格水资源管理制度的意见》 提出了“三条红线”和“四项制度”。严守水资源保护的“三条红线”: 一是确立水资源开发利用控制红线, 到 2030 年全国用水总量控制在 7 000 亿 m³ 以内; 二是确立用水效率控制红线, 到 2030 年用水效率达到或接近世界先进水平, 万元工业增加值用水量降低到 40 m³ 以下, 农田灌溉水有效利用系数提高到 0.6 以上; 三是确立水功能区限制纳污红线, 到 2030 年主要污染物入河湖总量控制在水功能区纳污能力范围之内, 水功能区水质达标率提高到 95% 以上。

严格执行水资源保护“四项制度”: 一是用水总量控制, 加强水资源开发利用控制红线管理, 严格实行用水总量控制, 包括严格规划管理和水资源论证, 严格控制流域和区域取水总量, 严格实施取水许可, 严格水资源有偿使用, 严格地下水管理和保护, 强化水资源统一调度。二是用水效率控制制度, 加强用水效率控制红线管理, 全面推进节水型社会建设, 包括全面加强节约用水管理, 把节约用水贯穿于经济社会发展 and 群众生活生产全过程, 强化用水定额管理, 加快推进节水技术改造。三是水功能区限制纳污制度, 加强水功

能区限制纳污红线管理, 严格控制入河湖排污总量, 包括严格水功能区监督管理, 加强饮用水水源地保护, 推进水生态系统保护与修复。四是水资源管理责任和考核制度, 将水资源开发利用、节约和保护的主要指标纳入地方经济社会发展综合评价体系, 县级以上人民政府主要负责人对本行政区域水资源管理和保护工作负总责。

2.2 2015年中共中央国务院印发了《关于加快推进生态文明建设的意见》 从水资源开发、利用和保护等多方面提出了具体要求。强调加强用水需求管理, 以水定需、量水而行, 抑制不合理用水需求, 促进人口、经济等与水资源相均衡, 建设节水型社会。推广高效节水技术和产品, 发展节水农业, 加强城市节水, 推进企业节水改造。积极开发利用再生水、矿井水、空中云水、海水等非常规水源, 严控无序调水和人造水景工程, 提高水资源安全保障水平等。

2.3 2016年中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于全面推行河长制的意见》 把河长制作为推进生态文明建设的重要手段和解决我国水资源危机、保障国家水安全的制度创新。河长制确立了 6 项重要任务, 全面覆盖水资源保护和管理。一是加强水资源保护, 落实最严格水资源管理制度, 严守水资源开发利用控制、用水效率控制、水功能区限制纳污三条红线。二是加强河湖水域岸线管理保护, 严格水域岸线等水生态空间管控, 依法划定河湖管理范围。三是加强水污染防治, 明确河湖水污染防治目标和任务, 统筹水上、岸上污染治理, 完善入河湖排污管控机制和考核体系。四是加强水环境治理, 强化水环境质量目标管理, 按照水功能区确定各类水体的水质保护目标。五是加强水生态修复, 推进河湖生态修复和保护, 禁止侵占自然河湖、湿地等水源涵养空间。六是加强执法监管, 建立健全法规制度、部门联合执法机制、完善行政执法与刑事司法衔接机制。

2.4 2017年全面修订了《中华人民共和国水污染防治法》 鉴于水质污染和恶化问题越来越突出, 新修订的《水污染防治法》重点从流域水污染保护治理、城市污水处理、饮用水水源地保护 3 个方面加强水资源保护。

2.5 2017年党的十九大确定了新时期水资源利用和保护的主要目标和方向 新时期水资源利用和保护的主要目标和方向是“推进资源全面节约和循环利用, 实施国家节水行动”“加快水污染防治, 实施流域环境和近岸海域综合治理”。

3 水资源管理保护生态指标评价体系

在不注重生态文明建设的时代, 环境评价方法主要采用物理参数和化学参数, 极少运用生态参数。生态文明建设背景下的水资源健康评价, 更应该采用生态指标评价水生态系统健康状况。生态系统健康评价是一门多学科相互交叉的实践, 生态系统健康评价不仅要采用物理和化学方面的基础指标, 还应包括个体、种群、群落等多尺度的生态指标, 以及为人类社会提供服务的质量与可持续性的社会经济和人类健康指标^[1-3]。水生态系统是一个内、外因素互相作用的综合体, 其水资源状况受各种内外环境因素的制约。水生态系统健康评价应包括人类、社会、经济指标和水体维持自身健

康指标 2 个方面^[4]。笔者以小兴凯湖为例分析了生态文明建设背景下的水资源管理保护问题。

3.1 水生态系统评价指标确定原则 水资源生态系统由生物和非生物两部分组成,也是水生生物和水环境之间相互作用的统一,它具有复杂性、动态性和不确定性等特点^[4-5]。评价指标选择的合适与否很大程度上决定了评价结果的可靠性,它是构建水生态系统健康评价体系的基础,因此,所选评价指标体系应尽可能全面且准确,要涵盖物理、化学、生物、水文水资源、社会经济等方面,定量反映水生态系统健康状况;大部分水生态系统是受到人为和自然因素的影响,因此要选取普遍性、信息量大、综合性强且具代表性的指标,同时又要具有能表征系统本质特征的要素;指标体系结构设置必须科学合理,能够客观、真实地反映水生态系统的变化规律;选择的指标要概念明确,获取数据容易,统计和计算过程简单,获取指标的经费合理;度量水生态系统健康的指标尽量

相对独立,避免相互之间出现信息上的重叠,提高水生态系统健康评价的科学性和准确性。

3.2 水生态系统评价指标体系构成 针对小兴凯湖的地域特征、数据采集条件等客观因素,考虑到工农业生产等人类活动影响和水域自然变化影响因素,选择具有主导作用、代表性和独立性的社会经济发展指标、环境影响指标、湖泊结构指标、湖泊系统指标和湖泊自身状态指标 5 个方面共计 24 项指标构建小兴凯湖湖泊生态系统健康评价体系(表 1)。

第一层为目标层(X),评价的目标就是确定小兴凯湖的生态系统健康状态。

第二层为准则层(Y),主要为人类、经济、环境指标(Y_1)和维持自身健康指标(Y_2)。其中,人类、经济、环境指标包括经济发展指标(Z_1)和环境影响指标(Z_2),维持自身健康指标包括湖泊系统指标(Z_3)、湖泊结构指标(生物完整性)(Z_4)和湖泊自身状态指标(Z_5)。

表 1 小兴凯湖水生态系统健康综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system of water ecosystem health of Small Xingkai Lake

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	
小兴凯湖生态系统健康评价指标(X) Evaluation index of ecosystem health in Small Xingkai Lake	人类、经济、环境指标(Y_1)	经济发展指标(Z_1)	人口密度 Z_{11} // 人/ km^2 人均 GDP Z_{12} // 万元/a 年接待游客数量 Z_{13} // 万人次/a 旅游收入占 GDP 百分比 Z_{14} // %
		环境影响指标(Z_2)	工业污染物年输入量 Z_{21} // 万 t/a 农业污染物年输入量 Z_{22} // 万 t/a 生活污水污染年输入量 Z_{23} // 万 t/a 旅游污染物年输入量 Z_{24} // 万 t/a 畜禽粪便污染物输入量 Z_{25} // 万 t/a
	维持自身健康指标(Y_2)	湖泊系统指标(Z_3)	湖泊水循环周期 Z_{31} // d 蓄水量(生态需水量) Z_{32} // 亿 m^3 能质 Z_{33} // kJ/L 结构能质 Z_{34} // kJ/mg
		湖泊结构指标(Z_4)	浮游植物完整性 Z_{41} 浮游动物完整性 Z_{42} 底栖动物完整性 Z_{43} 鱼类完整性 Z_{44} 物理完整性 Z_{45} 化学完整性 Z_{46}
		湖泊自身状态指标(Z_5)	TN Z_{51} // mg/L TP Z_{52} // mg/L DO Z_{53} // mg/L BOD ₅ Z_{54} // mg/L COD _{Cr} Z_{55} // mg/L

第三层为指标层(Z),其中包括经济发展指标中的人口密度(Z_{11})、人均 GDP(Z_{12})、年接待游客数量(Z_{13})、旅游收入占 GDP 百分比(Z_{14});环境影响指标包括工业污染物年输入量(环境容量)(Z_{21})、农业污染物年输入量(Z_{22})、生活污水污染物年输入量(Z_{23})、旅游污染物年输入量(Z_{24})和畜禽粪便污染物年输入量(Z_{25});湖泊系统指标包括湖泊水循环周期(Z_{31})、湖泊蓄水量(生态需水量)(Z_{32})、能质(Z_{33})和结构能质(Z_{34});湖泊结构指标(生物完整性)包括浮游植物完整性(Z_{41})、浮游动物完整性(Z_{42})、底栖动物完整性(Z_{43})、鱼

类完整性(Z_{44})、物理完整性(Z_{45})和化学完整性(Z_{46});湖泊自身状态指标包括 TN(Z_{51})、TP(Z_{52})、DO(Z_{53})、BOD₅(Z_{54})和 COD_{Cr}(Z_{55})。

3.3 水生态系统评价因子分级标准 小兴凯湖生态系统健康评价分级标准的确定原则如下:优先采用国家标准^[6-7],然后借鉴国内外相关研究成果^[4,8-9],最后采取查阅历史资料或参考地区的发展规划值及通过专家咨询等方法来确定评价分级标准^[10],小兴凯湖生态系统指标评分标准见表 2($Z_1/Z_2/Z_3/Z_5$)、表 3($Z_{41} \sim Z_{44}$)、表 4(Z_{45})和表 5(Z_{46})。

表 2 小兴凯湖水生态健康指标分级标准

Table 2 Classification criteria of water ecological health index of Small Xingkai Lake

准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	赋分 Assign points				
		0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
经济发展指标 Economic development indicator (Z_1)	人口密度 Z_{11} // 人/km ²	≥81	61~80	41~60	21~40	≤20
	人均 GDP Z_{12} // 万元/a	≤1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	≥4.1
	年接待游客数量 Z_{13} // 万人次/a	≥251	250~201	200~151	150~101	≤100
	旅游收入占 GDP 百分比 Z_{14} // %	≤3.0	3.1~6.0	6.1~9.0	9.1~12.0	≥12.1
环境影响指标 Environmental impact indicator (Z_2)	工业污染物年输入量 Z_{21} // 万 t/a	≥2 001	2 000~1 501	1 500~1 001	1 000~501	≤500
	农业污染物年输入量 Z_{22} // 万 t/a	≥1 501	1 500~1 201	1 200~901	900~601	≤600
	生活污水污染年输入量 Z_{23} // 万 t/a	≥3 001	3 000~2 501	2 500~2 001	2 000~1501	≤1 500
	旅游污染物年输入量 Z_{24} // 万 t/a	≥121	120~91	90~61	60~31	≤30
	畜禽粪便污染物输入量 Z_{25} // 万 t/a	≥101	100~81	80~61	60~41	≤40
湖泊系统指标 Lake system indicator (Z_3)	湖泊水循环周期 Z_{31} // d	≥151	150~121	120~91	90~61	≤60
	蓄水量(生态需水量) Z_{32} // 亿 m ³	≤1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	≥4.1
	能质 Z_{33} // kJ/L	≤10	11~30	31~60	61~100	≥101
	结构能质 Z_{34} // kJ/mg	≤3.0	3.1~6.0	6.1~9.0	9.1~12.0	≥12.1
湖泊自身状态指标 Lake status indicator (Z_5)	TN Z_{51} // mg/L	≥1.51	1.11~1.50	0.51~1.10	0.21~0.50	≤0.20
	TP Z_{52} // mg/L	≥0.101	0.051~0.100	0.026~0.050	0.011~0.025	≤0.010
	DO Z_{53} // mg/L	≤3.0	3.1~5.0	5.1~6.0	6.1~7.5	≥7.6
	BOD ₅ Z_{54} // mg/L	≥6.1	4.1~6.0	3.1~4.0	2.1~3.0	≤2.0
	COD _{Cr} Z_{55} // mg/L	≥31	21~30	16~20	11~15	≤10
健康状况 Health status		病态	微病态	一般	亚健康	健康

表 3 小兴凯湖生物完整性指标 (Z_{41} ~ Z_{44}) 分级标准Table 3 Grading criteria for biological integrity indicators (Z_{41} ~ Z_{44}) of Small Xingkai Lake

级别 Grade	赋分 Assign points	健康状况 Health status
I	81~100	健康
II	61~80	亚健康
III	41~60	一般
IV	21~40	微病态
V	0~20	病态

表 4 小兴凯湖物理完整性指标 (Z_{45}) 分级标准Table 4 Grading criteria for physical integrity physical indicators (Z_{45}) of Small Xingkai Lake Lake

赋分 Assign points	100~76	75~51	50~26	25~0
口门物通率 Portal patency rate // %	100~91	90~61	60~31	30~0
湖面完整率 Lake integrity rate // %	100~91	90~61	60~31	30~0
湖岸稳定性 Shore stability	很好	较好	一般	较差

表 5 小兴凯湖化学指标 (Z_{46}) 分级标准Table 5 Grading criteria for chemical indicators (Z_{46}) of Small Xingkai Lake

TN mg/L	TP mg/L	DO mg/L	BOD ₅ mg/L	COD _{Cr} // mg/L	健康状况 Health status	赋分 Assign points
≤0.20	≤0.010	≥7.6	≤2.0	≤10	健康	71~100
0.2~0.50	0.011~0.025	6.1~7.5	2.1~3.0	11~15	亚健康	41~70
0.51~1.10	0.026~0.050	5.1~6.0	3.1~4.0	16~20	一般	21~40
1.11~1.50	0.051~0.100	3.1~5.0	4.1~6.0	21~30	微病态	11~20
≥1.51	≥0.101	≤3.0	≥6.1	≥31	病态	0~10

3.4 水生态系统评价指标权重确定方法 采用层次分析法确定小兴凯湖生态系统完整性评价指标体系权重^[11]。层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。

层次分析法的计算及分析过程如下:首先,建立评价指标体系。其次,构造判断矩阵。对同一层次中各因素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造判断矩阵,

并写成如下矩阵形式: $A=(a_{ij})_{n \times n}$, 式中, A 为判断矩阵; n 为两两比较的因素数目; a_{ij} 为因素 x_i 比 x_j 相对于某一准则重要性的比例度,层次分析法指标要素判断矩阵尺度标准如下:尺度1表示第 i 个要素与第 j 个要素的影响相同;尺度3表示第 i 个要素比第 j 个要素的影响稍重要;尺度5表示第 i 个要素比第 j 个要素的影响明显重要;尺度7表示第 i 个要素比第 j 个要素的影响强烈重要;尺度9表示第 i 个要素比第 j 个要素的影响极端重要;尺度2,4,6,8表示第 i 个要素对第 j

个要素的影响介于相邻判断的中间值; $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 表示第*i*个要素与第*j*个要素的重要性标度。该式需要满足 $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $i \neq j; i, j = 1, 2, 3, \dots, n; b_{ij} \geq 0; b_{ii} = 1$ 等条件。再次,确定各要素的相对权重。计算判断矩阵的特征向量 W ,然后经正规化的特征向量即为相对权重向量,最后进行一致性检验。

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij}$$

一致性检验指标为CI,计算公式如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

式中, $(AW)_i$ 为 AW 的第*i*个分量, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$; λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征根; n 为判断矩阵的阶数; W_i 为因素*i*的特征向量,即相对权重。

对于不同的 $n(1 \sim 11)$,随机一致性指标RI的数值如下:0.0, 0.58, 0.90, 1.12, 1.24, 1.32, 1.41, 1.45, 1.49, 1.51, 计算随机一致性指标CR, $CR = CI/RI$,当阶数 ≤ 2 时,矩阵总有完全一致性;阶数 > 2 时,当 $CR < 0.1$ 时,可认为判断矩阵的一致性符合要求,否则重新进行判断,构建新的判断矩阵,使其最终满足一致性检验要求。生态系统完整性模型构建、计算和Spearman秩相关过程,都在开源统计分析软件R(Version 3.2.0)中进行^[12]。

3.5 综合评价指数 小兴凯湖生态系统健康综合指数计算参考刘永等^[13]用于计算综合健康指数的方法,首先将评价指标归一化,再分别乘以相应的权重后求和,得到健康综合指数,计算公式如下:

$$I_{CH} = \sum_{i=1}^n I_i W_i$$

式中, I_{CH} 表示生态系统健康综合指数; I_i 为第*i*种指标的归一化值; W_i 表示指标*i*的权重,通过层次分析法计算得到。

4 兴凯湖地区社会经济发展现状

4.1 自然地理概况 小兴凯湖位于黑龙江省东南部,鸡西市东部,距密山市35 km,同时其位于大兴凯湖北边,是我国内湖,地处 $132^{\circ}40'E, 45^{\circ}20'N$ 。小兴凯湖东西长34.5 km,南北宽4.5 km,总面积176 km²,最大水深3 m,平均水深1.8 m,正常蓄水量 3.12×10^8 m³,最大蓄水量 5.05×10^8 m³,湖面海拔70~71 m,风平浪静,是天然的鱼场和野生动物栖息地,湖底为砂泥质,由于水位比大兴凯湖高,开通新开流、鲤鱼岗排水闸、泄洪一闸和泄洪二闸4处向大兴凯湖泄洪。

小兴凯湖属于温带大陆季风气候,冬长夏短,日照时间长,日照时数为2 574 h,年平均气温主要在3.1℃,7月该地区气温最高平均达21.2℃,1月最低气温平均为-19.2℃,冬季多为暴风雪天气,从11月到第2年的3月进入封冻期。

小兴凯湖北接穆棱河,南通大兴凯湖,与西泡子和东北泡子相连,其主要补给水源为穆棱河,穆棱河是乌苏里江左侧最大支流之一,穆棱河从东地河方向进入小兴凯湖,平均每年入小兴凯湖水量为6.5亿m³,约占小兴凯湖入湖量的70%,也是该湖区的最大污染源。

4.2 经济发展指标 经实际调查,兴凯湖自然保护区环湖地

区现有7个行政单位^[14],包括兴凯湖农场、8510农场二分场、856农场、857农场、兴凯湖乡、承紫河乡和白泡子乡,保护区内面积合计2 225 km²,保护区内人口总计7.2万,人口密度约为32.35人/km²。全年GDP约为26.04亿元,人均GDP为3.6万元,工业总产值2.054 2亿元,农业总产值19.345 1亿元,第三产业4.643 8亿元。年接待游客约150万人次,创收约5.45亿元,旅游收入占GDP总额的7.4%(数据来自《2015年密山市统计年鉴》)。

4.3 环境影响指标

4.3.1 工业污染物年输入量。穆棱河流域内,重点涉水企业230户,其中穆棱市8户、鸡西市212户、农垦牡丹江分局10户,一些重点污染企业污染防治意识还不强,部分企业重经济效益轻环境保护,大量工业污水未经处理直接流入穆棱河,全年排放COD达5 500余万t,占全部排放总量的6.3%。其中规模化煤矿106家,矿井水年产生量3 403万t,处理达标率86%,还有66家小煤矿的井水未经处理直接排放。而兴凯湖保护区内,工业污染源同样是穆棱河沿岸的穆棱市、鸡西市和密山市,主要污染行业有采矿、热电、洗煤、焦化、啤酒等,工业废水4 092×10⁴ t/年,处理率为96%,平均每年泄入小兴凯湖的工业废水约1 227.6万t^[15]。

4.3.2 非点源污染物年输入量。兴凯湖流域非点源污染主要包括农业污染、生活污染、旅游污染和禽畜粪便污染。

4.3.2.1 农业污染主要是化肥残留污染。化肥残留污染是由氮肥对水体造成的污染,兴凯湖流域每年使用大量的氮肥、磷肥和复合肥,其中氮肥含N量为30%,磷肥含P量为18%,复合肥含N、P量为15%和50%,纯N、P的流失率分别为30%和20%^[16]。经计算,流域内耕地面积约为139 134.33 hm²^[17],每年就有237.9万t氮肥、1 133.9万t磷肥,共计1 371.8万t化肥残留污染流入小兴凯湖,造成小兴凯湖水质污染和生态环境恶化。

4.3.2.2 生活污染源主要包括生活污水和生活垃圾排放。目前,穆棱河流域内生活污水年排放量10 458.5万t,而污水处理能力严重不足。截至2013年底,仅建成投产污水处理厂2座,日处理能力约10万t,城镇生活污水集中处理率仅为27.9%,1年仅能处理3 650万t,剩余6 808.5万t的生活污水直接排入穆棱河内,其中有30%共计2 042.55万t通过穆棱河排入到小兴凯湖内。穆棱河流域全年生活垃圾产生量110.8万t,有垃圾处理厂2座,处置率仅为16%,1年能处理17.7万t,剩余93.1万t的生活垃圾直接排入穆棱河内,其中有30%共计27.9万t通过穆棱河排入到小兴凯湖内。主要指标显示,2013年进入小兴凯湖的生活污染排放量约为2 070.45万t/a^[14]。

4.3.2.3 旅游业污染源主要是游客在保护区内游览期间所产生的污染。近年来,随着兴凯湖保护区旅游业迅速发展,其独有的自然景观吸引了成千上万的游客。近年平均游客突破150万人次,先后接待过美国、加拿大、日本、新加坡和港台地区等众多国家和地区的旅游者。旅游带来了较好的经济效益,同时也带来了污染,每个游客按0.5 m³的排放量

计算,仅旅游业就有 75 万 t/a 生活污水排入到小兴凯湖^[15]。

4.3.2.4 畜禽粪便污染。2013 年,兴凯湖流域猪有 201.06 万头,黄牛 52.24 万头,羊 60.21 万只,禽饲养量 1 532.52 万只,奶牛饲养量 7.41 万头,粪便总量约为 219.18 万 t,约 90%的粪便作为农家肥直接施入农田后,部分粪便随着河水、雨水流入穆棱河流域,最终约有 30% 共计 59.18 万 t/a 汇集到小

兴凯湖内^[14]。

5 小兴凯湖水生态系统健康综合评价

5.1 权重计算结果 小兴凯湖生态系统综合评价指标体系各指标判断矩阵及最终权重值见表 6,指标层一致性检验结果见表 7,由表 7 可以看出,各项指标 CR 值均小于 0.1,说明该判断矩阵符合一致性检验要求。

表 6 层次分析法判断矩阵及权重
Table 6 Judgment matrix and weight of Analytic Hierarchy Process

	Y ₁	Y ₂					权重 Weight
Y ₁	1	1/2					0.250
Y ₂	2	1					0.750
Z ₁	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅		
Z ₁	1	1/2	1/2	1/3	1/2		0.096
Z ₂	2	1	1	1/2	1		0.184
Z ₃	2	1	1	1/2	1		0.184
Z ₄	3	2	2	1	1/2		0.274
Z ₅	2	1	1	2	1		0.262
Z ₁₁	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄			
Z ₁₁	1	1	1/2	1/2			0.167
Z ₁₂	1	1	1/2	1/2			0.167
Z ₁₃	2	2	1	1			0.333
Z ₁₄	2	2	1	1			0.333
Z ₂	Z ₂₁	Z ₂₂	Z ₂₃	Z ₂₄	Z ₂₅		
Z ₂₁	1	1	2	3	5		0.326
Z ₂₂	1	1	2	3	5		0.326
Z ₂₃	1/2	1/2	1	2	3		0.179
Z ₂₄	1/3	1/3	1/2	1	1/2		0.084
Z ₂₅	1/5	1/5	1/3	2	1		0.085
Z ₃	Z ₃₁	Z ₃₂	Z ₃₃	Z ₃₄			
Z ₃₁	1	1	1/7	1/9			0.058
Z ₃₂	1	1	1/5	1/7			0.067
Z ₃₃	7	5	1	1/2			0.332
Z ₃₄	9	7	2	1			0.543
Z ₄	Z ₄₁	Z ₄₂	Z ₄₃	Z ₄₄	Z ₄₅	Z ₄₆	
Z ₄₁	1	1	1	1	1/2	1/4	0.101
Z ₄₂	1	1	1	1	1/2	1/4	0.101
Z ₄₃	1	1	1	1	1/2	1/4	0.101
Z ₄₄	1	1	1	1	1/2	1/4	0.101
Z ₄₅	2	2	2	2	1	1	0.231
Z ₄₆	4	4	4	4	1	1	0.365
Z ₅	Z ₅₁	Z ₅₂	Z ₅₃	Z ₅₄	Z ₅₅		
Z ₅₁	1	1	1/2	1/2	1/2		0.128
Z ₅₂	1	1	1/2	2	2		0.236
Z ₅₃	2	2	1	1	1		0.256
Z ₅₄	2	1/2	1	1	1		0.190
Z ₅₅	2	1/2	1	1	1		0.190

表 7 一致性检验结果
Table 7 Conformity test results

指标代码 The index code	λ _{max}	n	CI	RI	CR
Z ₁ ~ Z ₅	5.22	5	0.055	1.12	0.049 1
Z ₁₁ ~ Z ₁₄	4.00	4	0	0.90	0
Z ₂₁ ~ Z ₂₅	5.18	5	0.045	1.12	0.040 2
Z ₃₁ ~ Z ₃₄	4.03	4	0.010	0.90	0.011 1
Z ₄₁ ~ Z ₄₆	6.05	6	0.010	1.24	0.008 1
Z ₅₁ ~ Z ₅₅	5.32	5	0.080	1.12	0.071 4

5.2 小兴凯湖水生态系统健康状况分级 参考北方湖泊生态系统健康评价标准,将小兴凯湖生态系统健康分为 5 级

(表 8),分别为健康、亚健康、一般、微病态和病态。

表8 小兴凯湖生态系统健康综合评价分级

Table 8 Comprehensive assessment and classification of ecosystem health in Xiaoxingkai Lake

级别 Grade	赋分 Assign points	健康状况 Health status
I	80~100	健康
II	60~80	亚健康
III	40~60	一般
IV	20~40	微病态
V	0~20	病态

表9 生态系统各项指标赋分及健康评价结果

Table 9 Scores of ecosystem indicators and health evaluation results

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	得分 Score	评价结果 Evaluation result		
小兴凯湖生态系统健康综合评价指标(X) Comprehensive health evaluation index of Small Xingkai Lake ecosystem	人类、经济、环境指标(Y ₁)	经济发展指标(Z ₁)	人口密度(Z ₁₁)	62.4	亚健康	
			人均GDP(Z ₁₂)	72.0	亚健康	
			年接待游客数量(Z ₁₃)	48.8	一般	
			旅游收入占GDP%(Z ₁₄)	49.4	一般	
		环境影响指标(Z ₂)	工业污染物年输入量(Z ₂₁)	52.3	一般	
			农业污染物年输入量(Z ₂₂)	31.4	微病态	
			生活污水污染物年输入量(Z ₂₃)	57.7	一般	
			旅游污染物年输入量(Z ₂₄)	50.0	一般	
			畜禽粪便污染物年输入量(Z ₂₅)	60.8	亚健康	
			湖泊系统指标(Z ₃)	湖泊水循环周期(Z ₃₁)	36.7	微病态
				湖泊蓄水量(生态需水量)(Z ₃₂)	66.0	亚健康
		能质(Z ₃₃)		47.7	一般	
		结构能质(Z ₃₄)		51.7	一般	
		湖泊结构指标(Z ₄)		浮游植物完整性(Z ₄₁)	53.5	一般
			浮游动物完整性(Z ₄₂)	50.5	一般	
			底栖动物完整性(Z ₄₃)	48.5	一般	
			鱼类完整性(Z ₄₄)	52.0	一般	
			物理完整性(Z ₄₅)	49.9	一般	
			化学完整性(Z ₄₆)	28.7	微病态	
		湖泊自身状态指标(Z ₅)	TN(Z ₅₁)	33.3	微病态	
			TP(Z ₅₂)	26.1	微病态	
			DO(Z ₅₃)	30.6	微病态	
			BOD ₅ (Z ₅₄)	28.1	微病态	
			COD _{Cr} (Z ₅₅)	27.0	微病态	

5.3.1 经济发展指标(Z₁)。经济发展指标中有2项处于亚健康状态(60~80分),占50%;2项处于一般状态(40~60分),占50%。表明小兴凯湖开展旅游活动对水资源污染影响很大。

5.3.2 环境影响指标(Z₂)。环境影响指标中1项处于亚健康(60~80分),占20%;3项一般(40~60分),占60%;1项微病态(20~40分),占20%。表明农业面源污染最严重,工业废水、农业废水和旅游排放污染物处于第2位。

5.3.3 湖泊系统指标(Z₃)。湖泊系统指标中1项亚健康(60~80分),占25%;2项一般(40~60分),占50%;1项微病态(20~40分),占25%。表明小兴凯湖水资源短缺,水源补给问题比较突出。

5.3.4 湖泊结构指标(Z₄)。湖泊结构指标中5项一般(40~60分),占84%;1项微病态(20~40分),占16%。表明小兴

5.3 小兴凯湖水生态系统健康状况评价 小兴凯湖水生态系统综合健康评价包括人类、经济、环境指标和湖泊维持自身健康指标,其中人类、经济、环境指标包括经济发展指标、环境影响指标。湖泊维持自身健康指标包括湖泊系统指标、湖泊结构指标和湖泊自身状态指标。共计24个指标层评价湖泊生态系统健康状况。综合24项指标得分,根据其权重计算出湖泊健康得分,对照健康评价分级表,得出小兴凯湖生态系统综合健康状况(表9)。

凯湖水生生态系统功能下降和生物多样性下降趋势明显。

5.3.5 湖泊自身状态指标(Z₅)。湖泊自身状态指标中5项全部是微病态(20~40分),占100%。表明小兴凯湖整体上已经处于病态,生态系统面临崩溃的状态。

5.4 小兴凯湖水生态系统综合评价结论 小兴凯湖水生态系统健康综合评价采用分级指标评分法,逐级加权,得到湖泊健康综合得分。根据小兴凯湖水生态系统综合评价指标体系各指标权重表中指标层的权重和生态系统健康综合指数计算公式,各层次指标得分计算结果如下:经济发展指标(Z₁)、环境影响指标(Z₂)、湖泊系统指标(Z₃)和湖泊结构指标(Z₄)4项分别为55.1、47.0、42.9和50.4分,评价结果都为一般;湖泊自身状态指标(Z₅)得分为28.7分,评价结果为微病态。

人类、经济和环境指标(Y₁)和湖泊维持自身健康指标

(Y_2) 得分为 32.8、67.2 分,评价结果为微病态和一般。

目标层生态系统健康综合评价指标(X)最终得分为 58.6 分,评价结果为一般。

小兴凯湖水生态系统整体健康状况评价结果为一般状态,其水生态系统的自然生境和群落组结构发生了较大的变化,甚至出现部分生态功能丧失;人类社会经济生产活动对小兴凯湖水资源健康生态系统影响越来越大。

6 小兴凯湖水资源生态危机的经济学分析

小兴凯湖水资源短缺、水环境质量恶化是由小兴凯湖水资源的经济外部性决定的。小兴凯湖水资源使用权归属沿岸及上游兴凯湖农场,8510 农场二分场、856 农场、857 农场、兴凯湖乡、承紫河乡和白泡子乡 7 个单位共同拥有、分别使用,无法通过市场配置,各家单位均可随意过度开发利用或搭便车,因而小兴凯湖的水资源具有典型的外部性特征。

6.1 小兴凯湖水资源开发利用的经济外部性效应 经济外部概念是马歇尔在 1890 年出版的经典著作《经济学原理》中首次提出的,庇古在 1920 年发表的《福利经济学》中也对外部性问题进行了系统分析,此后形成了较为系统完整的外部性理论。1962 年,布坎南(Buchanan)和斯塔布尔宾(Stubblebine)给外部性的定义为只要某人的效用函数或某厂商的生产函数所包含的某些变量在另一个人或厂商的控制之下,就表明该经济中存在外部性。

从经济学角度分析,小兴凯湖水资源开发利用具有典型的外部性特征:第一,兴凯湖农场等 7 个场(乡)任意一方对兴凯湖流域水资源开发利用,都会对其他六方造成直接影响。这种影响并不是通过市场交易价格实现的,是存在于市场交易之外的一种经济利益关系。第二,兴凯湖农场等 7 个场(乡)任意一方开发利用水资源的行为既可以给其他六方带来经济损失,并且该损失得不到任何补偿,即产生了“负外部性”,又可能给其他六方带来收益,并且受益方未付出任何成本,即产生了“正外部性”。

兴凯湖等 7 个场(乡)水资源开发利用的效用函数中均包含了受控于其他任一场、乡水资源开发利用的变量,其水资源开发利用外部性函数为:

$$U_A = U_A(X_{A1}, X_{A2}, \dots, X_{An}; X_{B1}, X_{B2}, \dots, X_{Bn}; X_{C1}, X_{C2}, \dots, X_{Cn}; X_{D1}, X_{D2}, \dots, X_{Dn}; X_{E1}, X_{E2}, \dots, X_{En}; X_{F1}, X_{F2}, \dots, X_{Fn}; X_{G1}, X_{G2}, \dots, X_{Gn})$$

式中, U 是某场(乡)开发利用水资源的收益, U_A 为兴凯湖农场, U_B 为 8510 农场二分场, U_C 为 856 农场, U_D 为 857 农场, U_E 为兴凯湖乡, U_F 为承紫河乡, U_G 为白泡子乡。

$X_{An}, X_{Bn}, X_{Cn}, X_{Dn}, X_{En}, X_{Fn}, X_{Gn}$ 分别是兴凯湖农场、8510 农场二分场、856 农场、857 农场、兴凯湖乡、承紫河乡和白泡子乡开发利用兴凯湖水资源的的行为。

该式表明,兴凯湖周边的任一场(乡) U 的利用水资源效用函数中包含了另一个或数个场(乡) U 所控制的自变量,而前者又没有向后者索取补偿(负外部性)或提供报酬(正外部性)。

6.2 小兴凯湖水资源开发利用的外部性影响

6.2.1 代际外部性影响。水资源的代际外部性影响是指当代人开发利用水资源的行为对下一代人利用水资源的影响。兴凯湖流域开发始于 20 世纪 50 年代的十万官兵屯垦戍边,大规模开发始于 20 世纪 60 年代百万上山下乡知青开发建设北大荒。兴凯湖流域是融合草原、森林、湿地和湖泊为一体的生态系统,基本包含了三江平原湿地的所有重要物种。兴凯湖湿地还是许多濒危物种的重要栖息地,其湿地生态系统生物多样性极为丰富。但是,当年大规模的围垦开荒对目前的生态环境影响很大,导致兴凯湖流域丧失了涵养水源的湿地,加剧了黑土地的流失,引起土壤风蚀,局部出现土地沙化,水资源存量大幅度减少,局部小气候改变。

6.2.2 污染外部性影响。兴凯湖流域上游水资源污染直接导致下游和小兴凯湖水资源产生负面的外部性。兴凯湖流域共 9 条河流直接流入大小兴凯湖,这些河流两岸基本被大量农田覆盖,农田废弃物严重污染兴凯湖水质。每年春夏秋季节,河水携带大量残破的塑料地膜、废弃的农药瓶和腐烂的秸秆等农业生产废弃物流入大小兴凯湖,在湖面沿岸带形成大面积的漂浮物,既影响水体景观又污染了水质;小兴凯湖上游城市、乡村排放的工业废水和生活污水导致小兴凯湖水质逐年下降,水体富营养化严重,冬季出现大量死鱼现象。

6.2.3 取水外部性影响。兴凯湖流域没有进行水资源产权配置,上游或者湖泊沿岸带的取水行为给取水者和其他水资源使用者带来获取水资源的外部性。兴凯湖沿岸某一乡镇大量开发水田或者为了提高农作物收益进行旱改水,势必大量抽取兴凯湖流域水资源灌溉,直接影响到其他乡镇获取水资源的存量,给其他乡镇造成水资源利用的负外部性,增加其他乡镇利用水资源的成本,但没有通过市场交易或者政府干预得到任何补偿;同样某一乡镇合理或者减少水稻种植面积,相应减少了兴凯湖流域水资源需求量,同样不能得到任何补偿,产生节约用水的负外部性。

6.2.4 旅游外部性影响。水资源过度开发利用也给旅游业带来外部性影响。兴凯湖夏季比同纬度周边地区低 2~4℃,气候凉爽宜人。兴凯湖湿地旅游开发始于 20 世纪 90 年代,1996 年 4 月,中俄在北京签署了《中俄共同保护兴凯湖协定》,2001 年黑龙江省委、省政府决定把兴凯湖建设成为国际生态旅游基地,当年游客就达 50 万人次,目前年接待国内外游客超过百万人次,已经是国内外著名的旅游景区。兴凯湖流域水资源减少和水质污染直接对旅游造成外部性影响,游客无法体验唯美的湿地景观、呼吸新鲜的空气、品尝兴凯湖野生特产鱼类,饮水安全也受到影响。

6.2.5 环境外部性影响。水资源不合理开发利用减少了水资源存量、降低了水资源质量,对兴凯湖水生态环境和周边环境均产生外部性影响。兴建水利工程导致下游径流断流或者减少,小兴凯湖水源补充不足;盲目抽取地下水开发灌溉水田导致地下水位大幅度下降;水质污染导致鱼类死亡、水生态系统生物多样性减少;围垦湿地导致兴凯湖失去水源涵养地和鸟类丧失迁徙栖息地;水土流失导致大小兴凯湖之

间的生态屏障——湖岗开始沙化等。

7 生态文明建设背景下小兴凯湖水资源保护管理对策

兴凯湖地区尤其是小兴凯湖的水资源危机已经引起国家的高度重视,《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》明确要求小兴凯湖水环境质量由Ⅳ类升为Ⅲ类;《中共黑龙江省委黑龙江省政府关于加快推进生态文明建设的实施意见》要求全面保护和修复自然生态系统,到2025年,兴凯湖水质大幅改善,穆稜河水质稳定达到水功能区要求。《黑龙江省政府关于印发黑龙江省生态环境保护“十三五”规划的通知》要求加大水生态保护力度;加强保护生物多样性;野生鱼类种群数量有所增加;加大水生野生动物类自然保护区和水产种质资源的就地保护和迁地保护力度;重点加强兴凯湖等重要湖泊的生态环境保护,对汇入兴凯湖等重点湖库的河流实行总磷排放控制。

7.1 实行最严格的水资源管理和责任追究制度

7.1.1 全面推行“湖长制”,落实最严格水资源管理制度。

《中华人民共和国环境保护法》规定地方各级人民政府应当对本行政区域的环境质量负责。兴凯湖地区现有7个行政单位,包括兴凯湖农场、8510农场二分场、856农场、857农场、兴凯湖乡、承紫河乡和白泡子乡。沿湖地区要建立“湖长”制度,由当地7个行政单位负责人担任“湖长”,全面负责兴凯湖地区水资源和水环境管理,落实最严格水资源管理制度。在湖岸和入湖支流显著位置设立公示牌,公示该湖段或者河段的“湖长”姓名、负责的湖岸或者河流长度、管理目标、联系部门、联系方式等。“湖长”对水资源保护管理的主要责任包括水资源节约保护、湖岸河岸管理、水污染治理、水环境治理,清理整治围垦湖泊、侵占河道、非法挖沙、污染排放等违法行为。

7.1.2 严格执行领导干部政绩考核和责任追究制度。2015年8月中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《党政领导干部生态环境损害责任追究办法(试行)》,规定地方各级党委和政府对本地区生态环境和资源保护负总责,党委和政府主要领导成员承担主要责任,其他有关领导成员在职责范围内承担相应责任。实行生态环境损害责任终身追究制。对违背科学发展要求、造成生态环境和资源严重破坏的,责任人不论是否已调离、提拔或者退休,都必须严格追责。

2016年9月黑龙江省委办公厅、省政府办公厅印发《黑龙江省党政领导干部生态环境损害责任追究实施细则(试行)》,市(地)、县(市、区)党委和政府(行署)对本行政区域内生态环境和资源保护负总责,党委和政府主要领导成员承担主要责任,分管领导成员承担重要责任,其他有关领导成员在职责范围内承担相应责任。决不能以牺牲生态环境为代价换取经济一时发展,对那些不顾生态环境、盲目决策、造成严重后果的,必须追究其责任,实行终身追究制。

兴凯湖地区生态环境直接关系到国际界湖、界河的生态安全,必须严格贯彻执行《党政领导干部生态环境损害责任追究办法(试行)》和《黑龙江省党政领导干部生态环境损害责任追究实施细则(试行)》,确保大、小兴凯湖水环境质量达

到水功能区要求。

7.2 完善水资源管理制度 党的十九大提出“经济体制改革必须以完善产权制度和要素市场化配置为重点,实现产权有效激励、要素自由流动”“构建政府为主导、企业为主体、社会组织和公众共同参与的环境治理体系”“健全耕地草原森林河流湖泊休养生息制度,建立市场化、多元化生态补偿机制”。

7.2.1 实施水资源产权制度管理。水资源危机和水环境恶化的根本原因是公地悲剧造成的。兴凯湖水资源使用权归属7个行政单位所有,他们都争取水资源开发利用取得最大化利益,把水资源管理保护成本外部化,最终导致水资源短缺、水质污染严重、生态环境恶化。要按照环湖地区7个行政单位的人口数量、耕地面积、工业产值、农作物构成和湖泊生态用水需求科学分配水资源产权,明确各自水资源开发利用范围、水资源开发利用数量、水资源管理质量和水资源使用权年限,避免产权制度安排不合理导致的水资源开发利用的公地悲剧现象发生。

7.2.2 实施水资源保护生态补偿制度。《国务院办公厅关于健全生态保护补偿机制的意见》要求“探索建立湿地生态效益补偿制度,率先在国家级湿地自然保护区、国际重要湿地、国家重要湿地开展补偿试点”“在水生态修复治理区、水土流失重点预防区和重点治理区或重要生态功能的湖泊,全面开展生态保护补偿,适当提高补偿标准”。小兴凯湖流域生态保护补偿重点是沿湖耕种水田的农民退耕还湿、穆稜河沿岸坡地的退坡还林、沿湖渔民的封湖休渔和水土保持缓冲带占用的耕地、林地等项目的生态效益补偿。上述因保护小兴凯湖重要生态功能和水资源而丧失发展机会的相关各方,要考虑从多方面给予补偿,可以考虑从资金、技术、实物、土地置换方面补偿,也可以给予优惠政策扶持其实现可持续发展。

7.3 构建水资源安全生态屏障体系 党的十九大强调:“实施重要生态系统保护和修复重大工程,优化生态安全屏障体系,构建生态廊道和生物多样性保护网络,提升生态系统质量和稳定性”“加快水污染防治,实施流域环境综合治理”。小兴凯湖生态安全屏障体系建设重点是内源污染防治、河道生态保护与修复和库滨沿岸保护带。

7.3.1 内源污染防治。兴凯湖流域水土流失严重,径流将大量沉积物和泥沙带入小兴凯湖,导致湖底抬升,湖泊库容量减少。同时,近些年围湖垦田面积不断扩大,湿地减少,小兴凯湖流域林木植被覆盖率下降,涵养水源能力降低,水土流失面积扩大,导致湖底淤积严重。底泥是水体中重要的内污染源,在一定条件下,淤泥中的重金属离子、氮、磷等污染物会从底泥中释放出来,重新进入水体,造成二次污染。治理小兴凯湖内源污染可以采用底泥疏浚的方式,去除底泥中有毒物质,达到治理污染,阻止湖泊富营养化污染和水质恶化的目的。

7.3.2 流域河流生态保护与修复。对小兴凯湖流域内河流进行综合整治,对外源污染进入小兴凯湖之前进行净化。对

(下转第85页)

从 2 种评价方法的结果中可发现,层次分析法结果中极差与较差的 3 处正好对应于 F 值评分法结果中的 3 处Ⅲ类水质,对这 3 处水样的水质指标进一步分析发现,该 3 处水样中的总硬度、总溶解性固形物和硫酸盐明显高于其他水样,而且在层次分析法中,在确定权重时突出了 pH、总硬度及总溶解性固形物对水质评价的贡献,而弱化了其他评价因子的影响,同时,在进行地下水质量评价的分析过程中,将专家打分法与层次分析法相结合,将人为主观判定与理性约束相结合,可使得地下水评价结果更符合水质实际情况,因此,层次分析法结果中含有Ⅳ类和Ⅴ类水质,而 F 值评价法尽管利用综合评分值,按单项指标所对应的分级标准确定水质类别,评价结果可以反映出水质整体状况,但此方法由于在单项指标上级别分类分明的局限,导致在评价结果中更加凸显了超标污染指标的级别,而且评价结果不连续,如表 9 中所示, F 值评分法评价结果只有Ⅱ类和Ⅲ类,而缺少Ⅰ类、Ⅳ类和Ⅴ类。

3 结论

利用阿克苏市 16 处监测井的水样数据,采用层次分析法对该市地下水水质进行评价,结果表明,水样中达Ⅲ类水质标准的占 81.25%,其中优良和好的水质占 43.75%,而极差和较差的水质有 18.75%,超过了国家地下水质量标准的Ⅲ类水标准^[16],将层次分析法评价结果与 F 值评分法评价结果进行比较发现,层次分析法结果中水质类别超标的 3 处正好与 F 值评分法评价结果中水质类别最高的 3 处(Ⅲ类)相对应,而且 F 值评分法结果中所有水样均满足国家地下水质量标准的Ⅲ类水标准,这主要是因为该方法按单项指标所对应的分级标准,利用综合评分值确定水质类别,但评价结果不连续,缺少Ⅰ类、Ⅳ类和Ⅴ类水质,而层次分析法因为利用专

家打分与层次分析相结合的方法,采用了变化的权重对评价因子进行处理,同时综合考虑了全部评价因子对水质的贡献与因子间的相互联系,因此能比较全面地反映出水环境质量的综合状况,使评价结果与实际更为符合,更具实用性。

参考文献

- [1] 张琳琳.新疆阿克苏某区域地下水水质评价及污染状况研究[J].地下水,2018,40(3):82-83.
- [2] 张小君,徐中民,宋晓渝,等.几种水环境质量评价方法在青海湖入湖河流中的应用[J].环境工程,2013,31(1):117-121.
- [3] 张新征,辛宝东,刘文臣,等.三种地下水水质评价方法的对比分析[J].水资源与水工程学报,2011,22(3):113-118.
- [4] 魏伟,岳丹丹,潘俊.基于层次分析的模糊综合评价法在水质评价中的应用[J].供水技术,2015,9(5):8-12.
- [5] ZOU Q, ZHOU J Z, ZHOU C, et al. Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP[J]. Stochastic environmental research and risk assessment, 2013, 27(2): 525-546.
- [6] 杨永鹏,曾维特,王晓林,等.地下水质量综合评价方法研究:以海口市为例[J].地下水,2017,39(6):1-6.
- [7] 郭劲松.基于人工神经网络(ANN)的水质评价与水质模拟研究[D].重庆:重庆大学,2002.
- [8] 周森,李维刚,易灵.四种水质评价方法的特点分析与比较研究[J].环境科学与管理,2016,41(12):173-177.
- [9] 高宗军,董立志,许传杰,等.层次分析法在地下水质量评价中的应用[J].地下水,2014,36(3):49-50.
- [10] 郑兰香,杨程,李春光.基于层次分析法的抽水型水库水质评价[J].人民黄河,2014,36(10):81-83,88.
- [11] 孙大明.基于层次分析法的大连市地下水环境质量评价[J].水资源开发与管理,2017(2):75-78,56.
- [12] 孙乃泉,孙丽,杨咏梅.层次分析法在大庆市地质环境质量评价中的应用[J].地下水,2013,35(3):142-143.
- [13] 陈辉,顾建辉,李治源.不同水质评价方法在城市河道水质评价中的应用比较[J].苏州科技大学学报(工程技术版),2017,30(1):42-46.
- [14] 张亚丽,周扬,程真,等.不同水质评价方法在丹江口流域水质评价中应用比较[J].中国环境监测,2015,31(3):58-61.
- [15] 文冬光,林良俊,孙继朝,等.地下水水质标准:DJ/T 0290—2015[S].北京:中国地质大学出版社,2015.
- [16] 文冬光,孙继朝,何江涛,等.地下水质量标准:GB/T 14848—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.

(上接第 68 页)

淤积严重的河段全面清淤,保证径流顺畅;沿岸城镇垃圾要集中净化处理;流域内要建设污水处理厂,对工农业生产和生活污水集中处理;河道内垃圾彻底清理;河道两岸种植植被及经济型树木,形成植被缓冲带,在生态修复的同时产生部分收益;恢复和修复小兴凯湖周边湿地,尤其是要重点修复东北泡子的湿地功能。

7.3.3 库滨沿岸带生态保护。小兴凯湖南岸是长达 90 km 的湖岗,全部是砂质构成,将大兴凯湖和小兴凯湖分隔。应对小兴凯湖岗进行地质环境调查,查明湖岗现状、受破坏程度和保护现状。根据湖岗受侵蚀和破坏情况,对湖岗分区段进行防护治理,修复植被,保护天然湖岗屏障,逐步恢复小兴凯湖湖岗生态环境,保持区域生态系统的稳定,涵养区域水资源。

参考文献

- [1] JøRGENSEN S E, NIELSEN S N, MEJER H. Emergy, environ, exergy and ecological modelling[J]. Ecological modelling, 1995, 77(2/3): 99-109.
- [2] NAKANO S I. Lake Biwa and its environment: Eutrophication with special reference to P cycling[R]. 1996.
- [3] XU F L, JøRGENSEN S E, TAO S. Ecological indicators for assessing freshwater ecosystem health[J]. Ecological modelling, 1999, 116(1): 77-106.

- [4] 陈晓江.鄂尔多斯高原湖泊动态及其生态系统功能研究[D].内蒙古大学,2016.
- [5] 张晶晶.臭鳊湖鱼类群落及生态系统结构分析[D].合肥:安徽农业大学,2012.
- [6] 《全国主要湖泊、水库富营养化调查研究》课题组.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1987.
- [7] 佚名.国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局发布地表水环境质量标准[J].中国环保产业,2002(6):5-6.
- [8] 吴亚男.呼伦湖生态系统健康评价及稳定阈值遥感分析[D].中国水利水电科学研究院,2013.
- [9] 冯丽红.乌梁素海生态健康评估[D].呼和浩特:内蒙古大学,2011.
- [10] 胡富林.我国最大的界湖——兴凯湖[J].黑龙江史志,2006(2):41,52.
- [11] MONING K J. Environmental policy performance indicators: A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands[J]. Journal of the European academy of dermatology & venereology, 2008, 23(1): 109-110.
- [12] R DEVELOPMENTO CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing[J]. Computing, 2015, 1: 12-21.
- [13] 刘永,郭怀成,戴永立,等.湖泊生态系统健康评价方法研究[J].环境科学学报,2004,24(4):723-729.
- [14] 万美英,刘宝玲,蒋志伟.兴凯湖地区农业面源污染负荷分析[J].科技创新与应用,2013(20):5-6.
- [15] 朴德雄,王凤昆.兴凯湖水环境状况及其保护对策[J].湖泊科学,2011,23(2):196-202.
- [16] 伊文思. DR. 化肥手册[M]. 林荣新,译.北京:农业出版社,1984.
- [17] 李文庆.兴凯湖地区土地利用遥感监测及景观格局变化[D].长春:吉林大学,2013.