

泰州市水环境安全评价及其指标体系研究

王胜艳¹, 唐 隽², 王为攀², 吴泽雄¹

(1. 江苏省水文水资源勘测局泰州分局, 江苏 泰州 225300;

2. 江苏省泰州引江河管理处, 江苏 泰州 225321)

摘要: 在对泰州市水环境现状分析的基础上, 遵循评价指标体系的构建原则, 建立了包括社会经济指标、水质指标、水量指标和水生态指标 4 个系统层的水环境安全指标体系, 选取了 22 项指标因子, 采用 AHP 法为指标权重赋值及综合指数法对泰州市水环境安全进行综合评价。结果表明, 泰州市水环境安全综合评价指数为 0.6158, 处于基本安全状态。其中第三产业占 GDP 比重、污水再生利用率、供水管网漏损率等安全度较低, 是影响泰州市水环境安全的主要因素, 水环境问题亟待解决。

关键词: 水环境安全; 评价; 指标体系; 泰州市

中图分类号: TV213.4 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2018) 04-0042-06

Study on water environmental safety assessment and its index system in Taizhou City

WANG Shengyan¹, TANG Juan², WANG Weipan², WU Zexiong¹

(1. Taizhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Taizhou 225700, Jiangsu;

2. Taizhou Linking River Management Division of Jiangsu Province, Taizhou 225321, Jiangsu)

Abstract: Based on the analysis of the status quo of Taizhou City's water environment, following the construction principles of the evaluation index system, a water environment safety index system including social and economic indicators, water quality indicators, water quantity indicators and water ecological indicators was established. On selecting twenty-two indicator factors, AHP method was used to assign index weights, and comprehensive index method was used to evaluate the water environment safety in Taizhou City. The results showed that the comprehensive evaluation index of water environmental safety in Taizhou was 0.6158, which was in the basic safety state. Among them, the safety degree of third industry accounts for the proportion of GDP, the reutilization rate of sewage, the leakage rate of water supply network and so on was lower, which was a main factor that affected the safety of water environment in Taizhou City. It's urgent to solve the water environment problems.

Key words: water environment safety; evaluation; index system

水环境安全是指在一定的历史阶段和社会背景下, 水系统中拥有足够的水量和安全的水质, 且水体能够维持人类社会可持续发展, 满足生态系统能够正常持续地运转, 直接关系到区域乃至国

家安全^[1]。在对泰州市水环境现状分析的基础上, 找出其存在的水环境安全问题和限制因子, 对于泰州市实行最严格水资源管理制度及实现水生态文明建设具有重要意义。

收稿日期: 2018-01-08

作者简介: 王胜艳 (1985-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水资源和水环境评价和研究工作。

1 研究区域概况

泰州市地处长江、淮河下游,南临长江,北通盐城,东邻南通,西接扬州。全市下辖海陵区、高港区、高新区、姜堰区、兴化市、靖江市和泰兴市,总面积 5787.26 km²,其中河网水面积 1180.81 km²,占 20.4%。泰州市水环境主要问题有:(1)当地水资源不足,外来水分布不均,随着泰州市工农业经济的高速发展,用水量迅速增加,水资源供需矛盾突出,补给水源主要为长江,然而,自流引江的涵闸受长江潮汐的影响,部分时段引水量并不能完全满足用水要求。(2)污水收集率低,城市水体污染严重。随着泰州市经济和城镇化的发展,工业、城镇生活污水排放量持续增长。近年来污水处理设施有所增加,但由于污水配套管网建设不完善,县市主城区排水管网多为合流制,加之入河排污口布设不合理,使得污水收集处理率偏低,泰州市污水集中处理率为 64.4%,在全省位于中下游水平。(3)水功能区水质达标率较低。2016 年《泰州市水资源公报》显示,2016 年全市评价河长为 896.4 km,其中年均值劣于Ⅲ类水标准的河长为 498.4 km,占总河的 55.6%。全市 43 个重点水功能区按双指标评价达标 27 个,达标率为 62.8%,河流污染较严重。(4)饮用水源地存在安全隐患。目前,除兴化以外,泰州市已基本实现长江区域供水。长江水质常年处于Ⅱ~Ⅲ类,水质能够满足饮用水源地供水水质要求。而以内河为水源地的兴化市,地处里下河腹部区、淮河下游,地势低洼,污染物易进难出,水源地水质不稳定。2016 年兴化市横泾河、兴姜河、卤汀河、下官河和通榆河水源地达标率范围为 58.3%~75.0%。全市由于经济的发展、城市人口的增加,污染物排放总量增加,截污工程和污水处理建设的滞后,造成了城市水体污染,影响了城市景观,水环境安全成为了制约泰州市社会及经济可持续发展的关键因素。

2 研究方法

水环境安全评价最常用的方法有模糊聚类分析法、模糊综合评价法、人工神经网络法、综合指数法等^[2]。本文采用综合指数法,具体步骤为:①构建水环境安全指标评价体系;②收集各类资料,进行原始数据的整理;③确定各评价指标的标准值,对原始数据进行无量纲化;④采用 AHP 法对

评价指标进行分层次逐级赋权;⑤将评价指标的无量纲化指数和相应权重进行计算,得到各级评价指标,逐层进行,最后得到综合评价指数;⑥将综合评价指数按一定标准评价分级。

2.1 评价指标体系的构建

根据研究区域的实际情况以及资料获取的难易程度,将水环境安全评价指标体系分为 3 个层次:综合层,系统层和指标层。按科学性、代表性、系统性、定性定量结合和可操作性原则,建立了包括社会经济指标、水质指标、水量指标和水生态指标 4 个系统层的水环境安全指标体系,查找相关数据资料,选取了与泰州市水环境安全相关的 22 项指标因素,构建了泰州市水环境安全评价指标体系,见表 1。

2.2 原始数据的收集与整理

根据 2015 年泰州市水资源公报、泰州市统计年鉴等资料,查找获得表 1 中的相应的评价指标的原始数值。表 1 的指标体系能够较全面地反映泰州市水环境安全影响因素,且指标数据容易获取,易于明确,便于推广和应用。泰州市水环境安全评价指标的原始数据见表 1。

2.3 AHP 法确定权重

层次分析法(AHP, Analytic Hierarchy Process)是美国运筹学家萨得 A.L.Saaty 20 世纪 70 年代初提出,20 世纪 80 年代初开始引入我国^[3]。AHP 法的基本出发点是:在一般决策问题中,针对某一目标,很难同时对若干元素做出精确的判断,将它们相对于目标的重要性以数量来表示,从而排出大小次序,为决策者提供依据。步骤为:(1)按 9 标度法对指标进行两两比较,构造判断矩阵比较 $A=(a_{ij})_{n \times n}$,确定相邻层次元素间的相关程度。(2)计算判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} 并进行一致性检验。(3)计算最大特征根所对应的特征向量 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$,该特征向量即为各评价因素重要性排序,即权值。(4)层次总排序。按照步骤 2 和 3,利用层次单排序结果计算层次的组合权值,并进行总的一致性检验。计算最终结果见表 2。

2.4 指标数据无量纲化

数据标准化处理常用的方法有标准化方法^[4-5]、极值法、线性插值法^[6]、建立数学模型法,建立隶属度方法等^[7]。本研究建立数学模型进行无量纲处理,选择指数为 1/2 的幂函数,见公式 1。

表 1 泰州市水环境安全评价指标体系

综合层 A	系统层 B	指标层 C	指标属性	最差值	及格值	最优值	标准化函数	指标	单位
泰州市主城区水环境安全状态 A	社会经济指标 B1	人均 GDP C_1	+	22500	70000	—	$y=0.0052x^{1/2}-0.7855$	79479	元
		城镇化率 C_2	-	86	70	—	$y=-0.6615x^{1/2}+6.135$	61.55	%
		第三产业占 GDP 比重 C_3	+	30	50	—	$y=0.3764x^{1/2}-2.062$	45	%
		居民恩格尔系数 C_4	-	—	50	20	$y=-0.1539x^{1/2}+1.688$	29.6	%
	水质指标 B2	地表水功能区水质达标率 C_5	+	—	70	100	$y=0.2449x^{1/2}-1.449$	60.5	%
		集中式供水水源地水质达标率 C_6	+	0.1	—	100	$y=0.1033x^{1/2}-0.0326$	41.7	%
		城镇污水处理率 C_7	+	—	70	100	$y=0.2449x^{1/2}-1.449$	64.4	%
		污水再生利用率 C_8	+	—	75	100	$y=0.2986x^{1/2}-1.986$	70.7	%
		建成区排水管道密度 C_9	+	5	12	—	$y=0.4886x^{1/2}-1.093$	16.6	km/km ²
		劣Ⅲ类河段比例 C_{10}	-	100	25.8	—	$y=-0.1219x^{1/2}+1.219$	50.7	%
	水量指标 B3	单位耕地面积化肥施用负荷 C_{11}	-	—	0.56	0.32	$y=-2.190x^{1/2}+2.239$	0.56	t/ha
		人均水资源量 C_{12}	+	100	1700	—	$y=0.005x^{1/2}-0.1921$	822	m ³
		水资源开发利用率 C_{13}	-	—	40	10	$y=-0.1265x^{1/2}-1.400$	27	%
		人均用水量 C_{14}	-	1000	394	—	$y=-0.051x^{1/2}+1.612$	565	m ³
		万元 GDP 用水量 C_{15}	-	—	150	50	$y=-0.0773x^{1/2}+1.546$	71	m ³ /万元
		供水管网漏损率 C_{16}	-	25	12	—	$y=-0.3907x^{1/2}+1.953$	20.9	%
		农田灌溉水有效利用系数 C_{17}	+	—	0.53	0.8	$y=2.404x^{1/2}-12.17$	0.61	—
		农田灌溉亩均用水量 C_{18}	-	700	394	—	$y=-0.0908x^{1/2}+2.402$	462	m ³
		人均公共绿地面积 C_{19}	+	0.01	8	—	$y=0.22x^{1/2}-0.022$	16.44	m ²
		建成区的绿化率 C_{20}	+	—	34	45	$y=0.456x^{1/2}-2.059$	33.4	%
	水生态指标 B4	环境污染治理投入占 GDP 比重 C_{21}	+	0.1	2	—	$y=0.5465x^{1/2}-0.1728$	0.67	%
		生态环境用水占总用水量比重 C_{22}	+	0.1	2	—	$y=0.5465x^{1/2}-0.1728$	1.05	%

表 2 泰州市水环境安全评价指标体系权重

B-A 权重	指标层 C	C-B 权重	C-A 权重
社会经济指标 B ₁ 0.1512	C1	0.4231	0.064
	C2	C-B1 权重	0.0344
	C3		0.0185
	C4		0.0344
水质指标 B ₂ 0.3318	C5	C-B2 权重	0.0989
	C6		0.059
	C7		0.0321
	C8		0.0186
	C9		0.0321
	C10		0.059
	C11		0.0321
水量指标 B ₃ 0.3318	C12	C-B3 权重	0.076
	C13		0.1141
	C14		0.0486
	C15		0.0292
	C16		0.0173
	C17		0.0173
	C18		0.0292
水生态指标 B ₄ 0.1851	C19	C-B4 权重	0.0261
	C20		0.0261
	C21		0.0842
	C22		0.0487

一致性比例 =0.0053 < 0.10。

$$y=k \cdot x^{\frac{1}{2}}+b$$

(1)

对于正向指标: 当 x 取最优值或大于最优值的值, $y=1$; x 取及格值时, $y=0.6$; 当 x 取最差值或小于最差值时, $y=0$ 。对于负向指标: 当 x 取最优值或小于最优值的值, $y=1$; x 取及格值时, $y=0.6$; 当 x 取最差值或大于最差值时, $y=0$ 。

在获取相应的评价指标原始数据后, 依据标准确定原则和指标定义, 借鉴各类研究成果, 结合泰州市水环境实际情况, 给出各评价指标的最差值、及格值和最优值, 代入公式 (1) 将原始数据标准化处理, 标准化函数见表 1, 标准化数值见表 3。

表 3 泰州市水环境安全评价结果

系统层 B	指标层 C	指标标准化数值	C-A 权重	C 层安全度值	B 层安全度值	综合评价指数
社会经济指标 B1	C1	0.7709	0.064	0.0493	0.1184	0.6158
	C2	0.8757	0.0344	0.0301		
	C3	0.5189	0.0185	0.0096		
	C4	0.8552	0.0344	0.0294		
水质指标 B2	C5	0.4918	0.0989	0.0486	0.2015	
	C6	0.8688	0.059	0.0513		
	C7	0.6146	0.0321	0.0197		
	C8	0.5248	0.0186	0.0098		
	C9	0.8981	0.0321	0.0288		
	C10	0.4069	0.059	0.0240		
	C11	0.600	0.0321	0.0193		
水量指标 B3	C12	0.454	0.076	0.0345	0.1945	
	C13	0.7427	0.1141	0.0848		
	C14	0.4002	0.0486	0.0195		
	C15	0.9282	0.0292	0.0271		
	C16	0.1673	0.0173	0.0029		
	C17	0.7274	0.0173	0.0126		
	C18	0.4507	0.0292	0.0132		
水生态指标 B4	C19	0.9639	0.0261	0.0252	0.1014	
	C20	0.9044	0.0261	0.0236		
	C21	0.4003	0.0842	0.0337		
	C22	0.3871	0.0487	0.0189		

2.5 水环境安全综合评价指数

水环境安全综合评价指数是采用各个系统元素安全度值及其相应权重的乘积加权计算而得,而系统层元素数值是根据其所包含的指标层指标因子标准化数值及其相应权重的乘积加权计算而得,见公式(2)和(3)。计算得到泰州市水环境安全综合评价指数为0.6158,根据表4的分级标准^[8],泰州市水环境安全处于较安全状态。

$$E_A = \sum_{i=1}^n E_{Bi} \times W_{Bi} \quad (2)$$

式中:

E_A —水环境安全综合评价指数;

E_{Bi} —系统层第*i*个系统元素的安全度值;

W_{Bi} —系统层第*i*个系统元素的权重;

n —子系统个数。

$$E_B = \sum_{i=1}^m E_{Ci} \times W_{Ci} \quad (3)$$

式中:

E_B —系统层的安全度值;

E_{Ci} —指标层第*i*个指标因子的子安全度值;

W_{Ci} —指标层第*i*个指标因子的权重;

m —各系统的评价指标的个数。

表4 水环境安全状态分级标准

水环境安全度值	0 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	0.8 ~ 1
安全状态值	不安全	基本安全	较安全	安全

3 结语

泰州市水环境安全综合评价指数为0.6158,处于基本安全状态。其中第三产业占GDP比重、污水再生利用率、供水管网漏损率等安全度较低,是影响泰州市水环境安全的主要因素。为保障水环境安全,泰州市应立足现状,加快产业结构调整升级,严格控制工业污染和城镇生活污染,防治农

业面源污染,节能减排降低用水消耗,鼓励中水回用,发展经济加大环保投入,提高公众节水意识,实现水环境系统的良性发展。

泰州市水环境安全评价指标体系仍不完善,如缺少水环境安全预警系统、水生态系统指标有所欠缺、水质系统中缺少重金属检测指标等,需逐步完善。同时数据获取主要来自于统计年鉴和水资源公报等,存在一定的滞后性,下一步工作应引进新的技术方法,结合各种检测技术和预警系统,进一步提高评价结果的时效性、科学性与指导性,为泰州市实行最严格水资源管理制度及实现水生态文明建设提供技术依据。

参考文献:

- [1] 傅春,占少贵,章无恨.南昌市水环境安全评价[J]. 南北水北调与水利科技, 2015, 13(3):434-438.
- [2] 张小斌,李新.我国水环境安全研究进展[J]. 安全与环境工程. 2013, 20(1):122-125.
- [3] 杨开,王红禧,刘俊良,等.水环境安全评价体系的指标赋权研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(8): 129-132.
- [4] 丘宇.汀江流域水环境安全评估[J]. 环境科学研究, 2013, 26(2): 152-159.
- [5] 何贝贝,李绍飞,朱习爱.天津市水环境安全评价及其指标体研究[J]. 水资源保护, 2016, 32(1): 125-129.
- [6] 叶正伟,孙艳丽.基于PSR模型的江苏沿海大开发地区水环境安全评价——以盐城市为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6):197-202.
- [7] 孙法圣.流域水资源配置与水环境安全演变耦合关系研究[D]. 长春:吉林大学, 2015.
- [8] 章无恨.城市化进程中南昌市水环境安全问题及对策研究[D]. 南昌:南昌大学, 2014.