

# 上海市水环境生态安全评价

何 焰<sup>1</sup>, 由文辉<sup>2</sup>, 吴 健<sup>3</sup>

(1. 上海佛欣爱建河道治理有限公司, 上海 200031 2. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062 3. 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

**摘要** :从“状态—压力—响应”指标框架体系出发,针对上海市水环境生态系统的现状特点,从时间变化和空间对比分析角度分别建立了上海市水环境生态安全评价指标体系,利用标准化和变异系数法确定各指标的标准化值和权重,采用综合指数评价法得到安全评价的综合指数值。在此基础上采用等级划分法,建立起综合指数值与生态安全评判的等级关系。各指标层的变化趋势揭示了上海市水环境生态安全的现状和发展趋势,即中心城区的水环境生态安全等级普遍低于郊区,在年际变化上,状态指标层评价价值呈下降趋势,需要持续保护水环境生态系统,而压力和响应指标层评价价值不断上升,保证了总体的良性发展趋势。

**关键词** :评价指标体系,综合指数法,生态安全等级,水环境生态安全

中图分类号 :X824 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2006)06-0018-03

## Ecological security assessment of water environment of Shanghai

HE Yan<sup>1</sup>, YOU Wen-hui<sup>2</sup>, WU Jian<sup>3</sup>

(1. Shanghai FOXIN AJ River Treatment Co. Ltd, Shanghai 200031, China; 2. Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

**Abstract** :Based on the state-pressure-response index system and the present status of water environment ecosystem of Shanghai, the ecological security assessment index systems of water environment of Shanghai were established from the aspects of time and space respectively. Standardization and variation coefficient method were used to determine the standardization value and weight of each index, and the synthetical index evaluation method was used to obtain the synthetical index value for security assessment. Furthermore, grade division method was applied to determination of the relationships between eco-security of water environment and synthetical index value, which indicate the present situation and future development of eco-security of water environment in Shanghai City. The results show that the water environment eco-security of central urban districts is worse than that of suburban districts. For the overyear variation, the values of state indexes are descending, so the water ecosystem need ceaseless protection. At the same time, the values of state and response indexes are ascending, which ensure a good developing trend.

**Key words** :assessment index system; synthetical indicator method; grade of ecological security; ecological security of water environment

生态安全是国家安全的重要组成部分,其评价与分析手段多种多样<sup>[1]</sup>,但针对单因素如水环境方面的评价参数尚未确立,这成为生态安全和水环境建设方面迫切需要填补的空白。上海市由于经济的持续快速发展,以水资源短缺和水污染严重为特征的水危机,已经成为上海城市发展中最突出的制约因素。因此,迫切需要建立水环境生态安全评价参

数和标准,进行水环境生态安全评价,从而促使人们采取相应的措施和策略,降低水体污染、水资源利用的风险,最终能恢复、并充分发挥水环境生态系统的各种服务功能。

### 1 水环境生态安全评价指标

评价采用“状态—压力—响应”指标框架体系,

表 1 上海市水环境生态安全评价指标体系

指标	状态系统	压力系统	响应系统
时间变化	地表水源供水量,地下水可开采淡水资源量,年径流量,内河航道里程,中心城区地面沉降量,水灾造成的经济损失,劣于Ⅴ类以下河段比例,酸雨频度	年末人口,国内总产值,工业总产值,农业总产值,耕地面积,化肥施用量,农药施用量,自来水售水量,总用水量,水运货物运输量,地下水开采量,废水排放总量,工业废水排放量,生活污水排放量,废水中化学需氧量,人均年用水量,万元GDP用水量,农田灌溉平均用水量,城镇人均生活用水量,农村人均生活用水量	用于基本建设的固定资产投资,用于更新改造的固定资产投资,环境保护投资,环保投资占国内生产总值比例,农田水利工程投资,城市排水管道长度,自来水供水量,水厂生产能力,水电燃料价格指数,污水厂处理能力,城市污水处理率,工业废水排放达标率,主要饮用水源水质达标率
空间对比 (各区、县)	河道长度,河网密度,水面积,河湖面积,水面率,河面率,河道污染综合指数 <sup>[5]</sup> (评价因子包括COD <sub>Cr</sub> 、COD <sub>Mn</sub> 、BOD <sub>5</sub> 、NH <sub>3</sub> -N、DO、石油类、FN等)	年末人口,人口密度,工业用水量,居民生活用水量,公共用水量,工业总产值,农业总产值,渔业总产值,耕地面积,耕地总用水量,化肥施用量,农药施用量,工业废污水量,农业废污水量,畜禽废污水量,生活污水量,COD <sub>Cr</sub> 日排放量,BOD <sub>5</sub> 日排放量,NH <sub>3</sub> -N日排放量,单位面积废污水量	污水处理率,COD <sub>Cr</sub> 日处理量,BOD <sub>5</sub> 日处理量,NH <sub>3</sub> -N日处理量,农田水利工程投资额,区(县)排涝泵站数量,排涝总面积,污水处理厂数量,市政泵站数量,年排水总量

其中,状态指标反映自然水环境状态和人类活动所导致的水环境状况的变化;压力指标反映产生水环境生态问题的原因和潜在的影响;响应指标则反映人类社会克服生态环境问题的能力及为此所作出的努力<sup>[1]</sup>。针对上海市的实际情况和数据的获取情况,目前国内外与水环境相关的生态安全指标<sup>[2-4]</sup>见表1,对上海市水环境生态安全评价进行时间上的纵向变化分析。同时,从便于安全分析和管理的角度考虑,采取分区评价,即以各区县作为评价单元,选取如表1所示的各个指标进行空间上的横向对比分析。

## 2 水环境生态安全评价的方法

水环境生态安全评价采用综合指数评价法<sup>[6]</sup>。利用极差标准化方法对参评指标进行量化统一,对越大越安全的指标:

$$X'_{ij} = [(X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})] \times 10$$

对越小越安全的指标:

$$X'_{ij} = [(X_{jmax} - X_{ij}) / (X_{jmax} - X_{jmin})] \times 10$$

式中: $X_{ij}$ 和 $X'_{ij}$ 分别为第*i*年和第*j*指标的原值和标准化后的数值; $X_{jmax}$ 和 $X_{jmin}$ 分别为第*j*指标的最大值和最小值。

在水环境生态安全评价中对各指标权重的确定采用客观赋值的变异系数法

$$\delta_j = D_j / \bar{X}_j$$

$$A_j = \delta_j / \sum_{j=1}^n \delta_j$$

式中: $\delta_j$ 为第*j*指标的变异系数; $D_j$ 为均方差; $\bar{X}_j$ 为均值; $A_j$ 权重值。

生态安全的综合评价

$$W_i = \sum_{j=1}^n A_j X'_{ij}$$

## 3 水环境生态安全的等级划分

生态安全评价等级的划分是为了反映环境状况从劣到优或从优到劣的变化,确定评价工作的深度和广度,体现生态建设与环境开发项目生态、安全的影响程度和保护的要求程度。由于计算得到的综合指数值未能直接反映水环境生态安全的状况,因此需要采用等级划分的方法,将指标的综合指数值转换为等级值,即将综合指数值和安全状况评判联系起来<sup>[7]</sup>。由于不同等级反映的安全状态有跳跃式的差别,采用不均等划分法,将综合指数值与评判等级的关联列于表2。

表 2 综合指数值与评判等级关系的概念关联

评价指标标准化值 或综合指数值 $W_i$	安全综合 评判等级	区域(上海市) 水环境状态
0.0~2.0	I	恶劣
2.0~4.0	II	较差
4.0~7.0	III	一般
7.0~9.0	IV	良好
9.0~10.0	V	理想

## 4 上海市水环境生态安全时间变化分析

本次上海市水环境生态安全评价的年际范围为1998~2002年,各指标的原始数据主要来自《上海市统计年鉴》<sup>[8]</sup>和上海市水资源公报,根据本文所采用的处理方法,得到各指标的权重和综合评价值。

在状态、压力和响应三个指标层中,权重列于前几位的分别是:地下水可开采淡水资源、酸雨频度、年径流总量、劣Ⅴ类水质河段占总监测河段比例;自来水售水量、生活污水排放量、耕地面积、农药和化肥施用量、工业废水排放量;环保投资占国内生产总值比例、城市污水处理率、农田水利工程投资。这在一定程度上说明这些指标对上海市水环境生态安全

的影响最大,也是今后水环境生态安全建设过程中最需要引起重视、合理建设的方面。

见表3,1998~2002年上海市水环境生态安全评价综合值逐年上升,表明水环境生态安全总体形势趋于好转。但其状态评价价值总体趋势是逐年下降,这表明上海市水环境生态系统持续受损,压力评价价值和响应评价价值呈明显的上升趋势,且上升幅度较大,这表明上海市的各项节水技术的提高在很大程度上缓解了上海市水资源和水环境的压力,而各种对水环境生态安全有利的环保措施和技术能力在很大程度上确保了其良性发展的趋势。

表3 上海市水环境生态安全年际变化综合评价

年份	评价值				三个亚 指标比重
	综合	状态	压力	响应	
1998	3.5257	1.3859	1.5378	0.6020	39:44:17
1999	5.1314	1.7185	2.6056	0.8073	33:51:16
2000	5.3242	0.7805	2.8336	1.7101	15:53:32
2001	5.3831	0.7952	2.4897	2.0982	15:46:39
2002	6.0688	0.7590	2.5352	2.7747	12:42:46

## 5 上海市水环境生态安全空间分布

由于1999~2000年上海市进行了水资源普查,并从各区县及各水利片的层次上作了进一步详细的关于水资源、水污染和水治理方面的调查和统计,本次上海市各区县水环境生态安全评价以1998年为基准年,最终得到上海市各区县水环境生态安全评价状况,见图1。图1表明:从综合评价价值来看,1998年青浦、松江这两个远郊区的水环境生态安全状况最佳,其次为近郊的闵行和浦东新区;中心城区中除了普陀区的状况较好外,其他均处于中下水平,近郊的区县如南汇、嘉定等状况与中心城区相似,这与其区域内生活污水和农业污染严重、污水处理率低的状况完全吻合,而卢湾、黄浦、静安三区由于区内几无水资源而成为水环境生态安全状况最差的区县。从状态层评价价值来看,水环境生态安全状态条件比较好的大都是郊县,中心城区如杨浦区、徐汇区、长宁区、闸北区、卢湾区等均较差。从压力层评价价值来

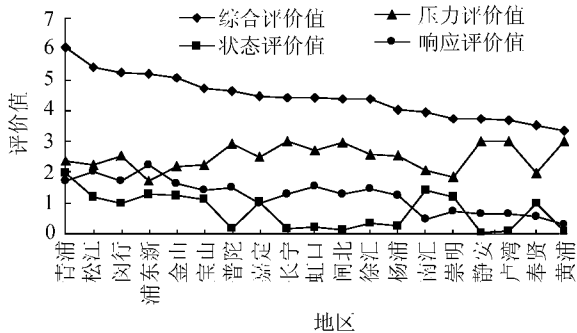


图1 上海市各区县水环境生态安全评价状况

看,由于压力层指标包括人口、工业、农业、渔业和各种用水量指标,总体而言,市区受到的水环境压力小,郊区受到的水环境压力大。从响应指标层评价价值来看,市区和郊区并没有明显的差别,说明各区县各自的保护措施差别不大,市政建设的整体布局起到了主要作用。统计数据表明,在各区县的综合评价价值中,压力评价价值所占比重都比较大,仅浦东新区的响应评价价值超过了压力评价价值,说明上海市大部分区县的水环境生态系统所承受的压力大,极易造成生态系统的受损乃至严重破坏。

## 6 结论

从广义范围内的水环境生态安全范畴出发,将上海市在水资源危机、水体污染、水利工程、河道建设、系统流域等方面的环境和生态因素考虑在内,有效地建立了水环境生态安全的评价指标体系,评价结果表明:

a. 1998年水环境生态安全状况最差,虽然其自然水环境条件相对优良,但由于环保技术和措施的薄弱,水环境压力过大,社会及政府各部门对水环境保护所做出的响应较小,从而最终导致1998年上海市水环境生态安全综合评价价值最低。1999年各种评价价值都在提高,尤其在水环境压力方面。1999年后水环境生态安全响应评价价值逐步上升,不仅弥补了水环境状态的下降,而且极大地保障了水环境的生态安全。

b. 从各年的指标评价价值可见,响应评价价值所占的比重在上升,状态评价价值的比重则在不断下降,而压力评价价值的比重上下波动,这一方面说明人类采取积极有效的措施能够有效地抑制水环境的恶化趋势,但另一方面也向人们敲响警钟:水资源短缺和水体污染仍在进一步加重,水环境条件仍在不断恶化中,需要继续采取各种节水措施,缓解对水环境的压力,改进节水和净水技术,加强对河湖的综合治理和生态建设以维护上海市水环境生态安全。

c. 1998年各区县水环境生态安全形势各有差异,其中,中心城区自然水条件较差,主要存在着水资源短缺和水质污染严重这两方面的压力,郊区或远郊区水面率普遍较高,但存在农业污染压力大、水环境的保护措施差的问题。在今后的水环境生态安全建设中,应根据各区县存在的实际问题进行生态安全建设和维护。

### 参考文献:

[1] 杨京平. 生态安全的系统分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 20-22. (下转第27页)

属性空间矩阵为

$$A = \begin{matrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 250 & 250 & 400 & 600 & 800 \\ 250 & 250 & 400 & 600 & 800 \\ 1000 & 3000 & 5000 & 7000 & 10000 \\ 15 & 15 & 20 & 30 & 40 \\ 0.15 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 \end{bmatrix}$$

通过计算评价指标的权重见表 3,各测站水质属性测度见表 4。

表 3 水质类型的权重

水质类型	I	II	III	IV	V
权重	0.1987	0.1986	0.1982	0.2019	0.2025

表 4 属性测度值

测 站	I	II	III	IV	V
开都河	0.9132	0.0868	0	0	0
河口区	0.7975	0.1431	0.0556	0	0
黄水区	0	0.5536	0.0425	0.1103	0.2871
出流区	0.7470	0.2257	0.0264	0	0
孔雀河	0.6419	0.1532	0	0.1987	0
团结总干排	0.0464	0.1949	0.1570	0	0.5962
东风总干排	0.0059	0.3112	0.0805	0	0.5962
胜利总干排	0	0.1202	0.0785	0	0.7949
黄水总干排	0	0.5536	0.0425	0.1103	0.2871

取置信度  $\lambda = 0.7$  进行属性识别,得出水质评价结果见表 5。

表 5 博斯腾湖水质评价结果

测站	开都河	河口区	黄水区	出流区	孔雀河	团结总干排	东风总干排	胜利总干排	黄水总干排
水质类型	I	I	IV	I	II	V	V	V	IV

由评价结果看,博斯腾湖的源流开都河及其河口水质良好为 I 类,博斯腾湖水出流到孔雀河的水质也为 I 类,说明博斯腾湖水质总体是好的;黄水

区、黄水总干排向湖区排水水质为 IV 类,团结总干排、东风干排、胜利干排的排水口附近水质为 V 类,水质较差,污染物主要是农田排水带来的,其中包括农田废水、工业废水和城市生活污水。博斯腾湖水质评价结果与文献资料 and 实际水质基本状况是一致的,说明属性识别模型是可行的,可用于水质评价。

### 3 结 论

博斯腾湖水质状况总体上是好的,但在有排水口处,水污染严重,水质较差,今后应加强有排水区域的水质监测和综合治理。利用熵权来确定权重的方法更符合客观实际,可提高水质评价模型结果的精度。属性识别模型是根据样本信息本身来评价水质,能减少人为的主观因素对评价结果的影响,评价过程简单,评价结果可靠,是进行湖泊水质评价的一种实用的方法。

参考文献:

[1] 门宝辉,梁川,付强. 湖库富营养化综合评价的属性识别模型[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2002, 34(6): 109-111.

[2] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报:自然科学版, 1997, 33(1): 12-20.

[3] 刘开弟,庞彦军,张博文. 水环境质量评价的未确知测度模型[J]. 环境工程, 2000, 18(2): 56-60.

[4] 夏军,左其亭,邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 200-400.

[5] 胡汝骥,马虹,樊自立. 近期新疆湖泊变化所示的气候趋势[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 17(1): 22-26.

[6] 刘文祥,李喜俊,郭海燕. 新疆博斯腾湖水环境容量研究[J]. 环境科学研究, 1999, 12(1): 35-38.

(收稿日期 2005-04-25 编辑 舒 建)

(上接第 20 页)

[2] 韩宇平,阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 267-272.

[3] 贾绍凤,张军岩,张士锋. 区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 538-545.

[4] 张巧显,欧阳志云,王如松,等. 中国水安全系统模拟及对策比较研究[J]. 水科学进展, 2002, 13(5): 569-577.

[5] 汪松年,阮仁良. 上海市水资源普查报告[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001.

[6] 陈东景,徐中民. 西北内陆河流域生态安全评价研究——以黑河流域中游张掖地区为例[J]. 干旱区地理, 2002, 25(3): 219-224.

[7] 左伟,王桥,王文杰,等. 区域生态安全评价指标与标准

研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 67-71.

[8] 上海市统计局. 上海统计年鉴 1999-2003 年[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.

(收稿日期 2005-06-08 编辑 舒 建)

