

# 我国城市河湖水生态环境评价体系构建与实证分析

赵玉红, 丛纯纯, 赵敏

(河海大学商学院, 南京 211100)

**摘要:** 参考国内外相关研究成果, 在全面掌握我国城市河湖水生态环境现状与问题的基础上, 采用层次分析法、隶属度函数计算等分析方法, 建立了城市河湖水生态系统的评价指标体系与评价标准, 并以江苏省为例, 利用历史数据以及监测资料, 对城市河湖水生态环境现状进行了实证分析。结果表明, 所构建的评价指标体系能够对城市河湖水生态环境进行较为全面的分析, 可为城市河湖水污染综合治理和城市生态建设提供科学依据与实证参考。

**关键词:** 城市河湖; 水生态环境; 评价指标; 评价标准; 评价方法; 实证分析; 综合评价

**中图分类号:** X171; X826 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0058-04

## Development and Empirical Analysis of Ecological Environment Evaluation System of Urban Lake and River in China

ZHAO Yur hong, CONG Chur chun, ZHAO Min

(Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** In reference to the relevant research results at home and abroad and based on a comprehensive evaluation of the present situation and problems of the ecological environment of urban rivers and lakes in China, the analytic hierarchy process and membership function calculation method were used to establish the evaluation index system and evaluation standard for the ecological system of urban rivers and lakes. The evaluation index system was applied to analyze the ecological environment of rivers and lakes in Jiangsu Province according to the historical data and monitoring data of urban rivers and lakes. The results showed that the evaluation index system can conduct a comprehensive analysis of the ecological environment of urban rivers and lakes. Therefore, it can provide scientific basis and empirical reference for the comprehensive management of water pollution in urban rivers and lakes and ecological construction of urban areas.

**Key words:** urban rivers and lakes; ecological environment; evaluation index; evaluation criterion; evaluation methodology; empirical analysis; comprehensive assessment

随着经济社会的高速发展与城市化进程的加快, 我国城市河湖环境面临一系列问题, 主要表现为水质污染严重、水资源利用效率低、水系生态人为破坏严重、湿地面积缩小、功能退化、河道淤积严重等。近年来, 国内外学者已针对水生态环境评价以及保护领域开展了一系列研究, 但目前有关城市河湖水生态环境评价系统依然没有建立, 无法对城市河湖水生态环境进行准确的评价, 从而不能有针对性地为水生态环境保护与管理提供针对性意见。

国外有关水生态环境评价的研究内容包括了水生态环境分类、指示物选择、指标及指数设定、评价方法校准验证等方面, 但更侧重于自然河湖, 如美国快速生物监测协议

(RBPs)<sup>[1]</sup>和澳大利亚溪流状况指数(ISC)<sup>[2]</sup>, 对城市河湖问题的评价往往侧重于水质<sup>[3]</sup>、水体富营养状态<sup>[4]</sup>、不透水材料对河流生物完整性的影响、栖息地以及生态系统健康<sup>[5]</sup>等方面, 而与城市河流水环境治理目标相一致的系统评价体系, 总体上还不够完善, 水生态与滨岸带间关系、指示物选择、水生态环境的内部循环规律等多个方面有待进一步研究。在国内, 人们主要基于生态环境、城市生态环境与水生态环境角度进行了相关研究, 但大部分成果以定性为主、定量为辅, 并且是小范围的, 至今没有一个统一的方法和评价指标体系, 也没有建立起统一的用于城市河湖水生态环境评价的指标及体系。所以, 对于城市河湖水生态环境评价的研

收稿日期: 2013-05-20 修回日期: 2013-09-23 网络出版时间: 2013-10-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20131010.1027.008.html>

基金项目: 江苏省教育厅高校哲学社会科学研究基金资助项目(2011SJD790005)

作者简介: 赵玉红(1970-), 女, 山东蓬莱人, 副教授, 博士研究生, 国家注册高级审核员, 主要从事水利经济与教学工作。E-mail: zhao\_yurhong@163.com

通讯作者: 赵敏(1962-), 男, 福建莆田人, 研究员, 主要从事水利经济研究。E-mail: zhaomin3451@sina.com

究应提上日程,从而为我国城市水生态环境管理与保护提供意见,并能起到预警作用。

## 1 城市河湖生态环境评价指标体系构建

### 1.1 评价指标选择

关于水生态环境评价的评价指标的选择与确定,刘建设<sup>[7]</sup>结合我国现实情况,从水生态系统的要素、结构、功能等几个方面结合进行了较全面的分析,构筑了我国水生态系统体系;胡保平等<sup>[8]</sup>指出水环境评价指标体系应包括时间、空间、水动力学以及人为影响等4个因素;赵长森等<sup>[9]</sup>采用生物学指数与水生物环境指示相结合的方法评价了水体污染程度、生态系统稳定性与河流/水库的健康程度。

参考上述学者的研究成果,考虑到城市河湖的水环境治理往往包含治污、护岸、生态恢复以及景观建设等多方面内容<sup>[10]</sup>,依据客观性、全面性与简洁性、可评价性、独立性与相关性、层次性、动态性与稳定性等原则,结合我国城市河湖水生态环境的现状分析,建立了城市河湖水生态环境评价指标体系,见表1。

表1 城市河湖水生态环境评价指标体系

Table 1 The evaluation index system of ecological environment of urban lakes and rivers

A	B	C
我国城市河湖水生态环境评价指标体系 A	水环境质量 B <sub>1</sub>	重点水功能区达标率 C <sub>1</sub>
		集中式饮用水源达标率 C <sub>2</sub>
		符合和优于Ⅱ类水的河流断面比率 C <sub>3</sub>
		符合和优于Ⅱ类水的湖泊断面比率 C <sub>4</sub>
水资源利用 B <sub>2</sub>	用水总量 C <sub>5</sub>	
	万元地区生产总值用水量 C <sub>6</sub>	
	万元 GDP 工业增加值用水量 C <sub>7</sub>	
	生活用水总量 C <sub>8</sub>	
	人均生活用水量 C <sub>9</sub>	
水污染状况 B <sub>3</sub>	化学需氧量排放量 C <sub>11</sub>	
	氨氮排放量 C <sub>12</sub>	
	人均生活污水排放量 C <sub>13</sub>	
	万元 GDP 工业废水排放量 C <sub>14</sub>	
生态保护和生态建设 B <sub>4</sub>	城市集中污水处理率 C <sub>15</sub>	
	城镇生活污水处理率 C <sub>16</sub>	
	工业废水排放达标率 C <sub>17</sub>	
	污水处理设施覆盖率 C <sub>18</sub>	
	环保投资占财政收入比重 C <sub>19</sub>	
	新建项目环评和“三同时”执行率 C <sub>20</sub>	
	绿化覆盖率 C <sub>21</sub>	

城市河湖水生态环境评价指标体系由目标层、准则层、指标因子层组成。目标层是体现城市河湖水生态环境状况的综合指标;准则层由水环境质量、水资源利用、水污染状况以及生态保护与生态建设4项组成,分别从城市河湖水生态环境的不同侧面进行描述和评价,体现其相互之间的逻辑关系;指标因子层由21项指标组成,均采用可测、可比、可以获得的指标因子,它们构成指标体系最底层。

### 1.2 确定指标权重

影响城市河湖水生态环境的因素较多,城市河湖水生态环境评价属于多指标综合评价。评价指标较多具有明显的层次性:目标层、准则层和指标因子层构成了一个递阶层次

模型,同一层次元素作为准则对下一层次的某些元素起支配作用,同时它又受到上一层次元素的支配。因此,指标权重的确定选择层次分析法(AHP)<sup>[11]</sup>:首先,在专家咨询的基础上确定要素之间及各要素构成指标之间的判断矩阵;然后,利用方根法求得最大特征根对应特征向量,并在对判断矩阵进行一致性检验的基础上计算出要素层和指标层单排序权重,确定下层指标对上层指标的贡献程度,从而得到单项指标对总目标的重要性权重;最后,计算出指标层相对于目标层的总排序权重,并检验总排序是否具有 consistency。

## 2 城市河湖水生态环境评价方法

根据上文所构建的城市河湖水生态环境评价指标体系,建立相应的评价指数结构,以总评价指数来反映城市河湖水生态环境状况。

### 2.1 评价指标标准化

目前,国内外对城市河湖水生态环境还没有统一的评价标准。表1中21项评价指标与城市河湖水生态环境总评价存在正向关系或逆向关系,本文主要采用隶属函数对单项指标进行标准化处理。评价指标标准化就是要将各评价单元指标因子数据进行标准化处理,使各指标因子转换成0~1之间的评价指数,其中优者指数值为1,差者指数为0<sup>[12]</sup>。

首先,将各单项指标分为二类:一类是正效指标,这类指标值越大,则说明城市河湖水生态环境越好;另一类是负效指标,它的作用则正好与前者相反。其次,采用隶属函数对上述各单项指标进行标准化处理,用评分与专家判断相结合的方法确定隶属函数的隶属区间。最后,选择评价区域不同阶段发展规划的目标值,用以确定评价指标的上、下限 $[a, b]$ ,并以 $x$ 代表各单项指标的现值。

正效类指标的隶属函数符合偏大型模糊分布,因此采用升半梯形分布:

$$U_i(I) = 1, x_i \geq f_i; U_i(I) = (x_i - e_i) / (f_i - e_i), e_i < x_i < f_i; U_i(I) = 0, x_i \leq e_i \quad (1)$$

负效类指标的隶属函数符合偏小型模糊分布,因此采用降半梯形分布:

$$U_i(E) = 1, x_i \geq e_i; U_i(E) = (x_i - e_i) / (f_i - e_i), e_i < x_i < f_i; U_i(E) = 0, x_i \leq f_i \quad (2)$$

式中: $U_i(I)$ 为正效指标 $i$ 的隶属度(指数值); $U_i(E)$ 为负效指标 $i$ 的隶属度(指数值); $x_i$ 为指标现值。

### 2.2 综合评价指数计算

在确定各单项指标在各自对应层次的权重(相对重要度)及其对系统总层次的总排序权重(综合重要度)的基础上,通过线性加权法,可进一步求其综合评价指数以评价我国城市河湖水生态环境。以 $\lambda$ 作为各单项指标的总排序权重,以 $U_i$ 作为各单项指标的隶属度,综合评价指数 $C$ 的计算公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^n 100\lambda U_i \quad \sum_{i=1}^n 100\lambda = 100 \quad (3)$$

式中: $\lambda$ 为各单项指标的权重; $U_i$ 为各单项指标的隶属度; $C$ 为综合评价指数。

### 2.3 综合指数分级

参照国内外各种综合指数的分级方法,本文将城市河湖

水生态环境评价标准分为五级并给出相应的分级评语,各级的指数范围见表 2。

表 2 城市河湖水生态环境评价综合指数分级

Table 2 The composite index scale of ecological environment evaluation of urban lakes and rivers

分级	指数	表征状态	指标特性
1	> 90	理想状态	生态环境基本未受干扰破坏,生态系统结构完整,功能较强,系统恢复再生能力强,生态问题不显著,生态灾害少。
2	70~ 90	良好状态	生态环境较少受到干扰破坏,生态系统结构尚完整,功能尚好,一般干扰下可恢复,生态问题不显著,灾害不大。
3	60~ 69	一般状态	生态环境受到一定破坏,生态系统结构有变化,但尚可维持基本功能,受干扰后易恶化,生态问题显现,灾害时有发生。
4	30~ 59	较差状态	生态环境受到较大破坏,生态系统结构变化较大,功能不全,受外界干扰后恢复困难,生态问题较大,生态灾害较多。
5	< 30	恶劣状态	生态环境受到很大破坏,生态系统结构残缺不全,功能低下,退化性变化,恢复困难,生态问题大且易演变为生态灾害。

### 3 城市河湖水生态环境评价实证分析

利用上述城市河湖水生态环境评价指标及综合评价指数的计算方法,以江苏省为例,进行实例应用评价。

#### 3.1 评价指标数值选取

根据江苏省的实际情况,各评价指标数值取 2010 年江苏省水资源公报<sup>[13]</sup>统计数值作为现状值,并分别以江苏省“十二五”水利发展规划<sup>[14]</sup>和江苏省水利发展“十一五”规划<sup>[15]</sup>目标值作为上、下限,可得江苏省城市河湖水生态环境评价指标参数值表,见表 3。

表 3 评价指标参数值

Table 3 The parameter values of evaluation indexes

目标	准则	指标	下限	现值	上限
B <sub>1</sub>		C <sub>1</sub>	41.2%	53.6%	53.6%
		C <sub>2</sub>	92%	96.2%	96.2%
		C <sub>3</sub>	30%	31.4%	31.4%
		C <sub>4</sub>	70%	77%	77%
B <sub>2</sub>		C <sub>5</sub>	-	552.2 亿 m <sup>3</sup>	≤560 亿 m <sup>3</sup>
		C <sub>6</sub>	-	135 亿 m <sup>3</sup>	≤160 亿 m <sup>3</sup>
		C <sub>7</sub>	23 亿 m <sup>3</sup>	24 亿 m <sup>3</sup>	31 亿 m <sup>3</sup>
		C <sub>8</sub>	-	34 亿 m <sup>3</sup>	≤35 亿 m <sup>3</sup>
		C <sub>9</sub>	-	4 322.4 m <sup>3</sup>	≤4 500 m <sup>3</sup>
		C <sub>10</sub>	-	50	≥50
A	B <sub>3</sub>	C <sub>11</sub>	减排 17.86 万 t	122% 完成目标	-
		C <sub>12</sub>	≤7.12 万 t	6.3 万 t	-
		C <sub>13</sub>	≤35 t	37.08 t	40 t
		C <sub>14</sub>	≤30 亿 t	26.38 亿 t	-
B <sub>4</sub>		C <sub>15</sub>	80%	85%	100%
		C <sub>16</sub>	80%	85.85%	100%
		C <sub>17</sub>	95%	98.37%	100%
		C <sub>18</sub>	90%	98%	100%
		C <sub>19</sub>	2%	3%	4%
		C <sub>20</sub>	80%	100%	100%
		C <sub>21</sub>	-	41.51%	> 40%

#### 3.2 评价指标权重确定

首先,结合相关实际资料,根据层次结构模型确定上下

层元素之间的隶属关系,针对上一层的准则构造不同层次的两两判断矩阵,利用评分的方法(由 20 多位水管理部门和高等院校的专家、学者根据其经验确定数值)来比较它们的优劣。通过引入比例标度(1, 2, ..., 9)反映对各因素的综合考虑,得出各层次的初始判断矩阵。

其次,采用方根法计算各层次判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{max}$  及其对应的特征向量  $W$ 。

再次,进行层次排序及一致性检验,计算所有  $CR$  均 < 0.10, 故各层次判断矩阵均具有满意的一致性。

最后,得到各指标  $C_i$  的总排序权重,见表 4。

表 4 各指标的总排序权重

Table 4 Total weight order of each index

指标	权重	排序	指标	权重	排序
C <sub>1</sub>	0.026	17	C <sub>12</sub>	0.045	11
C <sub>2</sub>	0.055	10	C <sub>13</sub>	0.135	1
C <sub>3</sub>	0.063	6	C <sub>14</sub>	0.095	3
C <sub>4</sub>	0.063	6	C <sub>15</sub>	0.029	15
C <sub>5</sub>	0.106	2	C <sub>16</sub>	0.078	5
C <sub>6</sub>	0.056	8	C <sub>17</sub>	0.088	4
C <sub>7</sub>	0.032	14	C <sub>18</sub>	0.029	16
C <sub>8</sub>	0.045	12	C <sub>19</sub>	0.017	20
C <sub>9</sub>	0.056	8	C <sub>20</sub>	0.019	18
C <sub>10</sub>	0.011	21	C <sub>21</sub>	0.017	19
C <sub>11</sub>	0.032	13			

#### 3.3 评价指标标准化

根据公式(1)和(2),对各单项指标进行标准化计算,可以得到其对应的隶属度见表 5。

表 5 各单项指标对应的隶属度

Table 5 The corresponding membership degree of each single index

指标	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	
隶属度	0.80	0.52	0.02	0.23	1	1	0.13	1	1	1	
指标	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>19</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>21</sub>
隶属度	1	1	0.41	1	0.25	0.29	0.67	0.80	0.50	1	1

#### 3.4 综合评价指数计算与结果

根据综合评价指数 C 的计算公式(3)以及表 3 中的数据,可以计算出江苏省城市河湖水生态环境的综合评价指数  $C=72.7$ 。对照表 2 可知,目前江苏省城市河湖水生态环境总体处于良好状态,生态环境较少受到干扰破坏,水生态系统结构尚完整,功能尚好,因此受到一般干扰时可恢复,生态问题并不十分严重。但是,通过对各单项指标值的比较,发现江苏省城市河湖水生态环境还存在着一些亟待解决的问题。

(1) 从水环境质量相关指标来看,江苏省城市河湖水资源环境质量现状距离设立的生态城市目标值仍有一段距离。主要表现在河道、湖泊水质污染严重,大多不符合 III 类及以上水质的要求。因此,随着城市化进程的加快,水质治理任务艰巨,需要加大水功能区管理力度,加强清水通道建设控制手段。

(2) 从水资源开发利用相关指标来看,江苏省城市河湖

水资源利用水平已有了较大提升,单位生产总值用水量下降、工业用水重复利用率有所提高。但整体来看,水资源供需矛盾尚未能得到完全缓解,水资源利用效率仍存在总体偏低、浪费严重等一些情况。

(3) 从水污染类状况相关指标来看,近年来污染状况已基本被控制,化学需氧量排放、氨氮排放量均已大幅减少,已优于“十一五”期间制订的目标值,这表明近年来江苏省在城市河湖水污染控制工作进展的较好。

(4) 从生态保护与生态建设相关指标来看,由于各级政府的重视,环境建设中若干指标也达到一定水平:如绿化覆盖率达到40%以上、新建项目环评和“三同时”执行率达到了100%等。这反映了近年来江苏省城市河湖水生态环境保护与生态建设所取得的成绩是显著的,对环境改善已发挥了重要作用。但有些问题例如城镇的生活污水处理率等还是没有能够达到预期目标。

## 4 结语

本文以城市河湖为研究对象,在客观分析水生态环境问题现状的基础上,探讨了城市河湖水生态系统的评价指标体系建立与评价标准划分问题,并以江苏省为例,利用历史数据以及监测资料,从水生态系统保护角度出发,对城市河湖水生态环境现状进行了评价。实证分析的结果表明,所构建的评价指标体系能够对城市河湖水生态环境进行较为全面的分析,可为城市河湖水污染综合治理和城市生态建设提供科学依据与实证参考。目前,江苏省城市河湖水生态环境总体只是处于良好状态的低位,距离理想状态尚有一定的差距,生态文明建设任重道远,需要引起社会各界和各级政府的重视。

### 参考文献(References):

- [1] Melissa Parsons, Martin T, Richard N, et al. Review of Physical River Assessment Methods: A Biological Perspective[M]. Canberra: University of Canberra and Commonwealth of Australia, 2000: 11-17.
- [2] Ladson A, Ladson AR, White L J, et al. An Index of Stream Condition: Reference Manual(Second Edition) [M]. Melbourne: Department of Natural Resources and Environment, 1999: 10-14.
- [3] 张凤玲,刘静玲,杨志峰.城市河湖生态系统健康评价:以北京市“六海”为例[J].生态学报,2005,25(11):3019-3027. (ZHANG Feng ling, LIU Jing ling, YANG Zhifeng. Health Assessment of City Lake Ecological System Taking "Six Sea" in Beijing as an Example[J]. Journal of Ecology, 2005, 25(11): 3019-3027. (in Chinese))
- [4] 王振勇.对温州市河道水环境综合整治规划思路的几点思考[J].水利发展研究,2003,(6):19-27. (WANG Zhenyong. Several Considerations on How to Comprehensively Renovate the River Water Environment in the City of Wenzhou[J]. Water Conservancy Development Research, 2003, (6): 19-27. (in Chinese))
- [5] 杜桂森,王建厅,张为华.北京城市河湖的营养状态分析[J].北京水利,2002,(6):25-27. (DU Guisen, WANG Jian ting, ZHANG Wei hua. Nutritional Status Analysis on the City Lakes and Rivers in Beijing[J]. Beijing Water Conservancy, 2002, (6): 25-27. (in Chinese))
- [6] 傅世杰,刘世梁,马克明.生态系统综合评价的内容与方法[J].生态学报,2001,(11):186-192. (FU Shi jie, LIU Shi liang, MA Ke ming. The Contents and Methods of Comprehensive Evaluation of Ecological System[J]. Journal of Ecology, 2001, (11): 186-192. (in Chinese))
- [7] 刘建设.水生态系统及其指标体系[J].中国给水排水,2007,(6):19-22. (LIU Jian she. The Water Ecological System and Its Index System[J]. China Water Supply and Drainage, 2007, (6): 19-22. (in Chinese))
- [8] 胡保平.关于水生态与水环境评价体系的思考[J].河南水利,2006,(10):59-61. (HU Bao ping. Reflections on the Water Ecology and Water Environment Evaluation System[J]. Henan Water Conservancy, 2006, (10): 59-61. (in Chinese))
- [9] 赵长森,夏军,王纲胜,等.淮河流域水生态环境现状评价与分析[J].环境工程学报,2008,(12):1698-1704. (ZHAO Chang sen, XIA Jun, WANG Gang sheng. Evaluation and Analysis on the Present Situation of the Water Ecological Environment in Huaihe Basin[J]. Journal of Environmental Engineering, 2008, (12): 1698-1704. (in Chinese))
- [10] 陈雁,冯效毅,田炯.内秦淮河水环境整治方案探讨[J].江苏环境科技,2000,13(3):34-36. (CHEN Yan, FENG Xiaoyi, TIAN Jiong. Explore on How to Renovate the Water Environment of Inner Qinhuai River[J]. Jiangsu Environment Science and Technology, 2000, 13(3): 34-36. (in Chinese))
- [11] 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社,1990. (WANG Lian fen, XU Shu bai. Introduction of Analytic Hierarchy Process[M]. Beijing: Renmin University of China Press, 1990. (in Chinese))
- [12] 赵焕臣.层次分析法:一种简易的新决策方法[M].北京:科学出版社,1986. (ZHAO Huan chen. Analytic Hierarchy Process: A New Simple Decision Method[M]. Beijing: Science Press, 1990. (in Chinese))
- [13] 江苏省2010年水资源公报[R].南京:江苏省水利厅,2011. (Jiangsu Water Resources Bulletin of 2010[R]. Nanjing: Department of Water Resources of Jiangsu Province, 2011. (in Chinese))
- [14] 江苏省“十二五”水利发展规划[R].南京:江苏省水利厅,2011. (The "Twelfth Five Year" Development Planning of Water Conservancy in Jiangsu [R]. Nanjing: Department of Water Resources of Jiangsu Province, 2011. (in Chinese))
- [15] 江苏省水利发展“十一五”规划[R].南京:江苏省水利厅,2006. (The "Eleventh Five Year" Development Planning of Water Conservancy in Jiangsu [R]. Nanjing: Department of Water Resources of Jiangsu Province, 2006. (in Chinese))