

# 镇江市社会经济—水环境系统协调发展

夏 霆<sup>1</sup> 朱 伟<sup>1,2</sup> 赵联芳<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

**摘要** 根据城市水环境质量与社会经济发展的 PSR(压力—状态—响应)框架,建立镇江市社会经济—水环境系统可持续发展模式的评价指标体系。构建了可持续发展模型,对镇江市 1999~2004 年水环境与社会经济发展的协调性进行分析。结果表明,镇江市社会经济—水环境发展的协调性和可持续发展潜力较好,但水环境质量略滞后于社会经济的发展。通过构建 GM(1,1)灰色预测模型进行预测,表明如果能够在政策上保持有效的社会经济与水环境保护协调发展,镇江市社会经济—水环境可持续发展综合水平在 2006~2010 年将逐年增长。

**关键词** 社会经济—水环境系统; 指标体系; 可持续发展; 灰色预测; 镇江市

**中图分类号** X22 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2007)04-0052-04

## Coordinated development of social economy-water environment system in Zhenjiang City

XIA Ting<sup>1</sup>, ZHU Wei<sup>1,2</sup>, ZHAO Lian-fang<sup>1,2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract** According to the PSR framework of urban water environment quality and social economy development, an index system to evaluate the sustainable development mode of social economy-water environment system in Zhenjiang City was established and applied to the coordination analysis of water environment and social economy in Zhenjiang City from 1999 to 2004. The result showed that the coordinated degree and the sustainable development potential were both well, but the quality of water environment lagged behind the level of economy. Furthermore, grey GM(1,1) prediction model was applied to predicting the sustainable development level of economy-water environment system from 2006 to 2010, and the result was that it would constantly increase if effective policy were carried through.

**Key words**: social economy-water environment system; index system; sustainable development; grey prediction; Zhenjiang City

近年来,随着我国社会经济的快速发展和城市化进程的加快,城市水环境的恶化已成为困扰人们的严重问题<sup>[1]</sup>。可持续发展是社会、经济发展的重要前提,同时要求环境与经济协调发展。随着可持续发展思想的深入,如何衡量经济—环境系统的协调发展已成为决策人员与公众日益关注的重要问题。水环境作为环境系统中最为关键的一个子系统,具有服务于社会经济发展的多元价值,对促进社会的可持续发展具有重要意义<sup>[2]</sup>。目前,已经有许多学者

通过建立城市生态环境与经济协调发展评价模型,分析了我国一些城市的可持续发展水平,从而对这些城市的可持续发展起了促进作用<sup>[3-4]</sup>。但现有的研究多针对城市总体生态环境,而不以专门的城市水环境为对象,因此难以具体指导城市水环境保护与社会经济的协调发展。本文通过分析城市水环境与社会经济发展的协调关系,以镇江市为实例,对其水环境与社会经济发展的协调性进行评价,并预测了镇江市社会经济—水环境可持续性发展水平。

基金项目:国家“863”计划资助项目(2003AA601100)

作者简介:夏霆(1973—),男,江西九江人,博士研究生,研究方向为城市水环境。E-mail:xiating92@163.com

# 1 评价指标体系

## 1.1 PSR(压力—状态—响应)框架

在可持续发展的社会经济—水环境基本框架中,一方面,水环境是城市社会经济发展重要的支撑要素。表现在水环境系统不仅为生活、生产和生态用水提供资源,同时也承担了上述弃水的纳污功能,并为水流交换和自净修复的环境功能提供场所;此外,水环境系统因其独特的景观价值也成为服务于社会发展的一个重要内容。另一方面,城市社会经济的快速发展又对水环境产生胁迫。以人类高强度活动为特征的城市社会经济发展过程是人们对自然资源和环境条件的利用与改造过程,人口的增长以及人们对社会生产与生活质量过高的追求导致的水资源过度消耗和排污加剧,往往使得社会经济发展与水环境质量关系的不协调,突出表现为城市水环境质量的下降。同时,这两个方面的作用信息又通过社会意识的改变以及政府政策的干预等对城市社会经济—水环境系统形成反馈,表现为调整社会经济发展策略和改善水环境质量措施。因此,城市社会经济—水环境系统之间存在着复杂的相互作用,可以用 PSR(图 1),只有这些相互作用产生协调效应,才能推动这一系统可持续的发展。

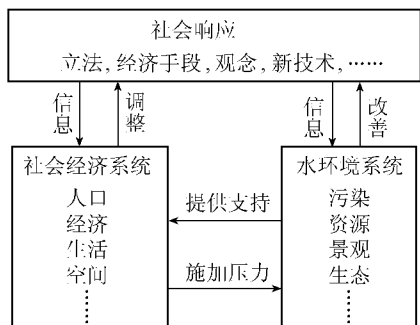


图 1 城市社会经济—水环境可持续发展 PSR 框架

## 1.2 评价指标及权重

镇江是一座传统的工业化城市,历史上曾水污

表 1 镇江市社会经济—水环境可持续发展评价指标体系

目标	类别	类别权重	指标(单位)	标准值	指标权重	目标	类别	类别权重	指标(单位)	标准值	指标权重
社会 经济 发展 指数	经济	0.250	人均 GDP $X_1$ (元)	40788	0.132	水 环 境 质 量 指 数	水 环 境 压 力	0.333	工业万元 GDP 耗水量 $Y_1(t)$	10	0.112
			第三产业增加值占 GDP 比重 $X_2(\%)$	70	0.114				工业万元 GDP 废水排放量 $Y_2(t)$	10	0.114
			人均居住面积 $X_3(m^2)$	30	0.104				人均生活用水量 $Y_3(L/d)$	155	0.103
	生活	0.500	人均道路面积 $X_4(m^2)$	15	0.061		水 环 境 状 态	0.333	地表水质达标率 $Y_4(\%)$	100	0.094
			万人医生数 $X_5(人)$	30	0.052				饮用水源水质达标率 $Y_5(\%)$	100	0.076
			人均可支配收入 $X_6(元)$	20000	0.116				城市绿化覆盖率 $Y_6(\%)$	40	0.077
			百户家庭电话拥有量 $X_7(台)$	200	0.062				人均公共绿地面积 $Y_7(m^2)$	20	0.086
	社会 发 展	0.250	恩格尔系数 $X_8(\%)$	40	0.108		社 会 发 展	0.333	工业用水重复率 $Y_8(\%)$	85	0.081
			市区人口密度 $X_9(人/km^2)$	6200	0.086				工业废水排放达标率 $Y_9(\%)$	100	0.076
			环保投资占 GDP 比重 $X_{10}(\%)$	3	0.078				污水处理厂日处理能力 $Y_{10}(万 t)$	40	0.083
			城市化水平 $X_{11}(\%)$	60	0.087				城市污水处理率 $Y_{11}(\%)$	100	0.097

染严重,近几年政府加大了水环境治理力度。为反映此前后社会经济—水环境可持续发展状况,根据以上 PSR 框架并可操作性原则,选择镇江市 1999~2004 年的典型数据,综合采用频度分析法和专家咨询法选取指标,建立 3 个层次的评价指标体系(表 1)。第一层次分别为社会经济发展指数( $f(X)$ )和水环境质量指数( $f(Y)$ );第二层次为类别层,分别用经济、生活和社会发展反映社会经济发展水平,用水环境压力、水环境状态和水环境保护反映水环境质量水平;第三层次为指标层,为反映各类别的具体指标。各指标数据主要来自于《镇江统计年鉴》、《镇江年鉴》和《镇江市环境保护公报》等资料,部分指标值通过插值等计算获得。评价指标的标准(目标)值是根据镇江市全面建设小康社会的奋斗目标和镇江市环境保护“十一五”规划,并在参考江苏省的有关规划标准、国内外城市现代化目标及有关文献<sup>[5]</sup>的基础上制定。

指标权重采用 AHP 法结合变异系数法确定。主要步骤:

a. 求出不同指标对应的变异系数  $E_i$ 。

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\bar{X}_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

式中  $\bar{X}_i$ 、 $\sigma_i$  分别为第  $i$  项指标值的平均值和标准差。

b. 对  $E_i$  归一化处理,即为变异系数法所确定的指标权重  $w_{Bi}$ 。

$$w_{Bi} = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^N E_i} \quad (2)$$

c. 综合 AHP 法和变异系数法确定指标最终权重  $w_i$ 。

$$w_i = 0.9w_{Ai} + 0.1w_{Bi} \quad (3)$$

式中  $w_{Ai}$  为 AHP 法确定的指标权重。

指标权重的最终计算结果见表 1。

## 2 现状评价

### 2.1 评价模型

由于评价指标具有不同的量纲和数量级,采用以下方法对指标原始数据进行同度量处理。

$$\text{效益型指标: } x_{ij} = \frac{X_{ij}}{m_i} \quad (4)$$

$$\text{成本型指标: } x_{ij} = \frac{m_i}{X_{ij}} \quad (5)$$

式中:  $X_{ij}$ ,  $m_i$  ( $j = 1, 2, \dots, M$ ) 分别表示第  $i$  项指标的原始值、标准值。

根据指标权重值  $w_i$  和度量值  $x_{ij}$ , 得出聚合指数  $f(X)$  和  $f(Y)$ :

$$f(X) = \sum_{i=1}^N w_i x_{ij} \quad (6)$$

$$f(Y) = \sum_{i=1}^N w_i x_{ij} \quad (7)$$

参照文献<sup>[6-7]</sup>构建水环境与社会经济发展协调度模型:

$$C_j = \left\{ \frac{f(X) \cdot f(Y)}{\left[ \frac{f(X) + f(Y)}{2} \right]^2} \right\}^K \quad (8)$$

式中:  $K$  是系数,  $K \geq 2$ 。

协调度  $C$  虽然能够表征水环境和社会经济发展之间的同步性,但难以完全真实反映其总体发展水平。采用可持续发展水平  $D$  反映社会经济—水环境综合发展水平。

$$D_j = \sqrt{C_j T_j} \quad (9)$$

$$\text{其中 } T_j = \frac{f(X) + f(Y)}{2} \quad (10)$$

式中:  $T_j$  为协调发展系数。

### 2.2 评价结果及分析

对镇江市 1999~2004 年社会经济—水环境发展指标值,根据式(6)~(10),对镇江市水环境质量指数、社会经济发展指数、社会经济—水环境发展协调度及其可持续发展水平现状值进行计算,结果见表 2。

表 2  $f(X)$ 、 $f(Y)$ 、 $C$  及  $D$  值评价结果

年份	$f(X)$	$f(Y)$	$C$	$D$
1999	0.6101	0.5090	0.9838	0.7419
2000	0.6060	0.5028	0.9828	0.7382
2001	0.6496	0.5024	0.9676	0.7465
2002	0.6024	0.5335	0.9927	0.7508
2003	0.6267	0.5775	0.9967	0.7747
2004	0.6783	0.6471	0.9989	0.8135

由表 2 中结果可知,镇江市 1999~2001 年间社

会经济发展呈波动变化,水环境质量呈下降趋势,2002 年以后呈同步持续增长趋势。1999~2004 年间社会经济发展指数  $f(X)$  值均大于 0.6,总体处于较好的水平,但水环境质量指数  $f(Y)$  值均低于  $f(X)$ ,水环境与社会经济发展协调度和可持续发展水平均较高。文献<sup>[6-7]</sup>认为,当  $D$  值大于 0.6,即属于协调发展类,根据这一标准,可以认为 1999~2004 年镇江市水环境与社会经济发展属于协调发展型,但水环境略滞后于社会经济的发展。由表中两个效益指数和可持续发展水平同步趋势明显,且后均呈不断增长趋势,表明镇江市社会经济与水环境的可持续发展潜力较大。

进一步分析镇江市社会经济发展与水环境保护的政策,以探讨其社会经济发展与水环境质量协调发展的原因。镇江市原是以化工、造纸、建材、冶金等污染型企业占较大比重的工业结构,水环境污染严重。但自 2001 年以来,镇江市借创建“国家环保模范城”的契机,重视可持续发展的战略,发展质量效益型、科技先导型、资源节约型产业,逐步淘汰能耗高、资源浪费大、污染严重的企业。先后对位于市区的许多污染企业分批进行了搬迁,调整了产业结构和工业布局,实行产业升级,有效的削减了污染源和污染物排放总量,缓解了结构性污染问题。同时,完善城市水系的污染源截留系统,使得水污染进一步得到控制。并且,注重对城市水系的生态保护与环境治理。2002 年国家“十五”重点项目“镇江市城市水环境质量改善与生态修复技术示范工程”实施以来,镇江市全面启动了对城市水环境的保护和治理工作。因此,尽管镇江市依然是一个重化工业城市,但是由于实施了有效的水环境保护政策,提高了水环境污染治理和控制能力,促进了水环境质量的逐步好转。截至 2004 年,工业用水重复率达 75.5%,城市污水处理率达 71.2%,市区绿地覆盖及人均绿地面积分别达 73.01% 和 10.65 m<sup>2</sup>。

### 3 发展水平预测

为了解镇江市在现行社会经济—水环境政策下的发展趋势,采用灰色系统 GM(1,1)模型<sup>[8]</sup>在现状评价的基础上,对镇江市水环境与社会经济可持续发展水平  $D$  值在未来 6 年内的发展状况做出预测。建模主要步骤:

a. 根据原始时间数列项  $X^{(0)}(i)$ ,累加生成 (AGO)序列项  $X^{(1)}(i)$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ );

b. 按累加生成数列项,计算 GM(1,1)的辨识算

式  $B$  矩阵和数据向量  $Y_n$  :

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)] & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$Y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T \quad (12)$$

作最小二乘计算, 计算 GM(1, 1) 的模型参数  $a, u$ 。

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = [B^T B]^{-1} B^T Y_n \quad (13)$$

### c. 建立时间响应模型

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (14)$$

$$\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t) \quad (15)$$

### d. 预测。以 $t = 0, 1, \dots, n-1$ 代入模型求出

$$\hat{x}^{(0)}(t+1)$$

### e. 预测模型精度检验。通常有残差大小检验法、关联度检验法和后验差检验法。

根据 1999~2004 年  $D$  值数据, 经过步骤 a~d, 得出预测模型:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = 31.2311e^{0.0231t} - 30.4892 \quad (16)$$

根据模型, 先求出 1999~2004 年预测值, 后与真实值相比较, 采用残差大小检验法结合后验差检验法进行精度检验, 经精度检验, 相对误差最大值为 1.85%, 后验差比值  $C$  为 0.3434, 小误差概率等于 1, 可知模型预测精度较好, 误差处在可接受的范围内。根据预测模型得到 2006~2010 年镇江市社会经济—水环境可持续发展水平值。具体预测结果见表 3。

表 3 镇江市社会经济—水环境可持续发展水平预测结果

年份	累加值	预测值	原始值	残差
1999	0.7419	0.7419	0.7419	0
2000	1.4717	0.7298	0.7382	0.0084
2001	2.2186	0.7469	0.7465	-0.0004
2002	2.9830	0.7644	0.7505	-0.0139
2003	3.7652	0.7822	0.7747	-0.0075
2004	4.5657	0.8005	0.8135	0.0130
2006	6.2232	0.8383		
2007	7.0811	0.8579		
2008	7.9591	0.8780		
2009	8.8576	0.8984		
2010	9.7771	0.9195		
均值			0.7609	0.000005

模型检验:  $S_1 = 0.0288$ ;  $S_2 = 0.0099$ ;  $C = 0.3434$

$< 0.35$ ;  $P\{\epsilon(t) < S_0\} = 1 > 0.85$  ( $S_0 = 0.675S_1$ )

图 2 中对  $D$  值散点图线性拟合结果进一步表明了镇江市社会经济—水环境可持续发展水平的增长趋势。由预测结果可知, 若镇江市维持现行有效

的社会经济与水环境保护协调发展政策, 其社会经济—水环境可持续发展水平将逐年增长, 并在 2010 年达到 0.9195。

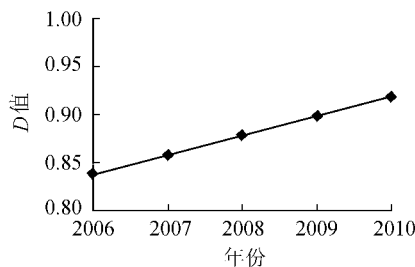


图 2 预测  $D$  值拟合结果

## 4 结论

根据 PSR 框架, 构建了 3 个层次的镇江市社会经济—水环境协调发展评价指标体系。研究表明: 在 1999~2004 年间, 社会经济发展和水环境质量水平有了明显的提高, 社会经济—水环境处于协调发展阶段, 水环境略滞后于社会经济的发展, 但可持续发展潜力较好。所以总体上近年来镇江市推行的社会经济—水环境保护的政策取得了较好的效果, 若能继续推行有效的水环境保护政策, 镇江市社会经济—水环境可持续发展水平将持续提高。

### 参考文献:

- [1] 张学勤, 曹光杰. 城市水环境质量与改善措施[J]. 城市问题, 2005(4): 35-38.
- [2] 彭静, 廖文根. 对水环境研究的认识及展望[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2(4): 271-275.
- [3] 杨士鸿. 广州城市环境与经济协调发展预测及调控研究[J]. 地理科学, 1994, 14(2): 136-143.
- [4] 张远, 李芬, 郑丙辉, 等. 海岸带城市环境经济系统的协调发展评价及应用—以天津市为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(2): 53-56.
- [5] 白先春. 我国城市化进程的计量分析与实证研究[D]. 南京: 河海大学, 2004.
- [6] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 生态环境与社会经济发展协调模型研究[J]. 环境与开发, 2000, 15(3): 5-7.
- [7] 杨士弘. 城市生态环境学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 117-118.
- [8] 邓聚龙. 灰色理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 361-370.

(收稿日期: 2006-08-18 编辑: 傅伟群)