

城市可持续发展的趋势预测及预警方法研究

荆平^{1,2}, 贾海峰¹, 许碧霞²

(1. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 天津师范大学 城市与环境科学学院, 天津 300387)

摘要:可持续发展的指标体系和评价方法已出现了大量的研究成果,而发展趋势预测和预警分析则相对薄弱。灰色GM(1,1)预测模型,在小样本的数据预测中,具有独特的优势,可以作为可持续发展指标变化趋势的预测模型。模糊物元预警方法,可在已有现状统计数据 and 灰色预测数据的基础上,依据预警指标权重、预警标准,对区域可持续发展状况进行预警分析。实例以天津为例,根据选择的15个评价指标,运用层次分析法进行权重计算,结合国内外城市发展状况建立预警标准,采用模糊物元预警方法对该市的可持续发展进行预警分析。

关键词:可持续发展;预测;预警;城市;研究

中图分类号:X22

文献标识码:A

文章编号:1006-7329(2008)02-0116-05

Trend Forecasting and Forewarning Method for Urban Sustainable Development

JING Ping^{1,2}, JIA Hai-feng¹, XU Bi-xia¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. College of Urban and Environmental Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: The index system and assessment methods for urban sustainable development are very popularly used, but the development trend prediction and forewarning analysis are rarely done. The GM(1,1) model is a specific one in the process of forecasting with little data, which can be used for the trend forecasting of sustainable development indexes. The fuzzy-element forewarning method can be used to analyze the regional sustainable development on the basis of statistical data and forecasting data with index weights and forewarning standards. In the case study, Tianjin city is selected as the object, the weights of 15 indexes are calculated by AHP method, the forewarning standard is determined according to the urban development level all over the world, the analysis works of sustainable development has been finished by fuzzy-element forewarning method

Keywords: sustainable development; forecasting; forewarning; city; research

可持续发展(Sustainable Development, SD)的战略研究,都将面临一个复杂、庞大的系统工程,除了需要制定与可持续发展战略相适应的目标、规划、行动计划和政策法规外,还需要对可持续发展战略实施的进程进行预测和监控,对其实施效果进行科学评价。20世纪90年代初以来,许多国际组织和国家从不同角度、不同区域特点出发,相继开展了可持续发展指标体系的研究,提出了各种类型的指标体系与评价方法,但如何进行可持续发展的趋势预测和动态监控,进行预警分析,相关研究报道则很少。

区域可持续发展预警,是由社会-经济-环境-资源等众多因素构成的复杂系统,目的在于预防区域系统在运

行与发展过程中偏离可持续发展轨道,对SD系统出现的逆向变化趋势及速度进行预测,防止社会经济发展与资源环境保护严重冲突。可持续发展的预警可分为状态和趋势预警。状态预警主要对SD系统在未来某一时间的状态进行预警分析,判断其是否处于报警状态;趋势预警主要对SD系统的变化方向进行分析,判断其发展方向,即是否逆向发展,并对退化或恶化的速度进行分析^[1]。因此预警模型的核心内容就是进行状态和趋势预警,借助SD预警标准,对SD系统的发展过程进行分析研究。本文在确立可持续发展预测模型、预警分析模型的基础上,筛选天津市可持续发展的预警指标体系,运用层次分析法确定指标权重,结合天津市1998-

* 收稿日期:2007-11-02

基金项目:天津市“十五”社科规划研究项目(TJ03-JJ005);天津师范大学博士基金(52LX16)。

作者简介:荆平(1966-),男,副教授,博士,主要从事环境管理与规划研究。(Tel)010-62774013;(E-mail)jingpping@eyou.com。

2002 年的统计资料,对天津市 1998~2005 年的可持续发展趋势进行预警分析,并运用 2003~2005 年的统计资料对预测结果进行验证,检验预测模型的准确性。

1 持续发展指标的灰色预测

灰色动态预测模型^[2],对于含有已知信息又含有未知信息的系统来说,能够较好地利用已知信息,动态预测未知信息,可以广泛应用于具有灰色特征的环境影响预测中。利用灰色动态预测模型得出的预测值,虽不是精确的唯一解,但却反映了系统动态发展趋势。

灰色动态模型是以灰色生成函数概念为基础,以微分拟合为核心的建模方法,建立的 GM(h, n)模型,是微分方程的时间连续函数模型。通常作为预测模型的是 GM(h, 1)模型,即只有一个变量的 GM 模型,由于 h 越大,计算越复杂,且精度不一定随着提高,因此, h 一般在 3 阶以下,最常用的值为 1。GM(1, 1)模型计算简单,适用面广,常用来进行灰色系统的动态预测。下面简要介绍建模的过程。

灰色系统建模思想主要是将原始时间数据列转化为微分方程,从而建立抽象系统的发展变化动态模型。若给定原始时间数据列:

$$X^{(0)}(t) = (X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(N))$$

其相应的微分模型为:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u$$

模型的建立步骤为:

(1) 依据原始数据列,作一次累加生成(AGO),即得生成数据列:

$$X^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^k X^{(0)}(i)$$

$$X^{(1)}(t) = (X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(N))$$

(2) 确定数据矩阵 B, y_N

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 2 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$y_N = [X(0)(2), X(0)(3), \dots, X(0)(N)]$$

(3) 求系数向量 $\hat{a} = [a, u]T = [BTB]^{-1}BTy_N$

(4) 确定模型,依据 a、u 求微分方程的解为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak} + \frac{u}{a}$$

(5) 数据还原。由于 GM(1, 1)模型是通过累加数据(AGO)得来的,它表达了生成数列的变化规律,必须对预测值进行还原,即将 $\hat{x}^{(1)}(k)$ 换算成 $\hat{x}^{(0)}(k)$, 计算

公式为:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1)$$

(6) 模型检验:GM(1, 1)模型的检验方法主要有残差检验、关联度检验和后验差检验 3 种,采用任一种方法即可,通常采用比较简单的残差检验方法。

2 可持续发展的模糊物元预警分析

2.1 模糊物元和复合模糊物元^[3~4]

假定事物的名称为 N,关于特征 c 的量值为 v,有序三元 R=(N, c, v)组作为描述事物的基本元,简称物元。如果量值 v 具有模糊性,便称为模糊物元。如果事物有 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应的模糊量值 v_1, v_2, \dots, v_n ,称 R 为 n 维模糊物元,简记为 R=(N, C, V)。如果 m 个事物的 n 维物元组合在一起,便构成 m 个事物 n 维复合物元 R_{mn} 。若将 R_{mn} 的量值改写为模糊物元量值,称为 m 个事物 n 维复合模糊物元,记作:

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ c_1 & u_{11} & u_{21} & \dots & u_{m1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_n & u_{1n} & u_{2n} & \dots & u_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: R_{mn} 为 m 个事物的 n 维复合模糊物元。

2.2 预警标准

区域 SD 的预警标准是判定 SD 系统中开发行为的综合效应产生警报情况的依据,这里将其分为 4 级,即无警、轻警、中警、重警,并在 0~10 的取值范围内进行级别划分。对于指标的预测值愈小,系统状况越优的指标类型,预警标准与指数区间的对应关系见表 1,表中的 S_1, S_2, S_3 为指标的预警标准临界值,与此相对应的 4 级指数值,分别与指标标准的取值范围建立一一对应关系;同理可得出指标的预测值愈大,系统状况越糟时的指数区间。

对于不同的地区,由于自然、社会、经济及环境状况的差异,预警标准会有一些的变化,在实际应用过程中,应对其进行相应的调整^[5]。

表 1 警度与指数的对应关系

警度	无警	轻警	中警	重警
指数	[0, 2.5)	[2.5, 5)	[5, 7.5)	[7.5, 10]
范围	$< S_3$	$[S_3, S_2)$	$[S_2, S_1)$	$S_1 \leq$

2.3 标准模糊物元

在确定模糊物元的基础上,结合预警标准,计算各评价指标的标准预警指数,建立新的标准模糊物元。对于越小越优型指标,以表 1 中的 S_1, S_2, S_3 为例($S_1 > S_2 > S_3$),评价指标相应的模糊物元的预警指数^[6],可按式计算:

$$\text{无警: } X_{ij} = 2.5 + 2.5 \times (U_{ij} - S_3) / S_3 \quad (U_{ij} < S_3)$$

$$\text{轻警: } X_{ij} = 5 + 2.5 \times (U_{ij} - S_2) / (S_2 - S_3)$$

($S_3 < U_{ij} < S_2$)。

中警: $X_{ij} = 7.5 + 2.5 \times (U_{ij} - S_1) / (S_1 - S_2)$

($S_2 < U_{ij} < S_1$)。

重警: $X_{ij} = 7.5 + 2.5 \times (U_{ij} - S_1) / S_1$ ($U_{ij} > S_1$)。

如果 $X_{ij} < 0$, 则取值 0; 如果 $X_{ij} > 10$, 则取值 10。

U_{ij} 为指标的数值。

同理可对越大越优型指标进行计算。

所得的标准模糊物元为:

$$R_{ij} = \begin{matrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{matrix} & \begin{matrix} X_{11} \\ X_{12} \\ \vdots \\ X_{1n} \end{matrix} & \begin{matrix} X_{21} \\ X_{22} \\ \vdots \\ X_{2n} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} X_{m1} \\ X_{m2} \\ \vdots \\ X_{mn} \end{matrix} \end{matrix}$$

式中: R_{ij} 表示事物 i 的 c_j 项特征的模糊物元, $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ 。

2.4 预警指标权重

对于复杂的 SD 系统而言, 各指标因子在系统变化中作用是不同的, 应根据各指标的重要程度分别赋予不同的权重, 建立指标加权预警模型, 才能比较合理地对 SD 系统的发展变化规律进行分析。目前, 确定评价指标权重的方法主要有: 等差法、回归分析法、灰色关联度法、层次分析法、主成分分析法、Delphi 法等^[7]。

对于 n 维物元的权重集, 应进行归一化处理, 使其累加值为 1。

2.5 综合预警模型

对于 SD 系统的综合预警分析, 是全面衡量系统发展状况的关键手段, 依据模糊物元矩阵和指标权重集, 对 n 维物元进行加权处理, 计算综合预警指数, 计算模型为:

$$I_i = W_j \cdot R_i = W_j \cdot \begin{matrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{matrix} & \begin{matrix} X_{11} \\ X_{12} \\ \vdots \\ X_{1n} \end{matrix} & \begin{matrix} X_{21} \\ X_{22} \\ \vdots \\ X_{2n} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} X_{m1} \\ X_{m2} \\ \vdots \\ X_{mn} \end{matrix} \end{matrix} =$$

$$\left(\sum_{j=1}^n W_j X_{1j}, \sum_{j=1}^n W_j X_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^n W_j X_{mj} \right) = (I_1, I_2, \dots, I_m)$$

依据预警标准中与预警等级相对应的指数区间, 判断 m 个事物的综合预警指数 I_i ($i=1, 2, \dots, m$) 所属的警度, 发布预警报告。

3 天津市可持续发展的预警分析

3.1 预警指标体系

预警指标体系的建立, 必须选择可量化指标, 并能获取一定的统计数据, 同时, 指标值的变化对可持续发展的影响比较大, 即选择对天津市可持续发展有较大影响的因子作为预警指标^[8]。对于指标的数量多少, 并没

有严格的规定, 数量过少不能够反映城市系统的发展状况, 指标过多会产生叠加影响, 导致个别指标的影响力被扩大。本研究从经济、社会、环境三方面入手选择指标, 共选择 15 个指标, 确定指标的层次结构图(见图 1)。

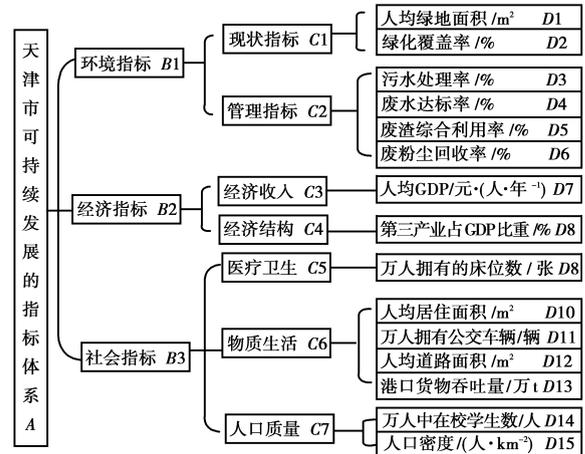


图 1 天津市可持续发展的预警指标体系

3.2 预警指标权重

根据图 1 中各指标的层次结构图, 运用层次分析法(AHP), 依据专家协商确定各指标之间的相对重要程度, 构造判断矩阵(见表 2 至表 9), 逐层计算各指标的权重, 并进行一致性检验, 具体计算结果如下:

表 2 C5、C6、C7 判断矩阵

B3	C5	C6	C7
C5	1	1/2	1/2
C6	2	1	1
C7	2	1	1

$\lambda_{max} = 3, C.I. = 0$, 权重集(C5, C6, C7) = (0.2, 0.4, 0.4)

表 3 B1、B2、B3 判断矩阵

A	B1	B2	B3
B1	1	1	1
B2	1	1	1
B3	1	1	1

$\lambda_{max} = 3, C.I. = 0$, 权重集(B1, B2, B3) = (1/3, 1/3, 1/3)

表 4 C1、C2 判断矩阵

B1	C1	C2
C1	1	1
C2	1	1

$\lambda_{max} = 2, C.I. = 0$, 权重集(C1, C2) = (0.5, 0.5)

表 5 D1、D2 判断矩阵

C1	D1	D2
D1	1	1
D2	1	1

$\lambda_{max} = 2, C.I. = 0$, 权重集(D1, D2) = (0.5, 0.5)

表 6 C3、C4 判断矩阵

B2	C3	C4
C3	1	3
C4	1/3	1

$\lambda_{max} = 2, C.I. = 0$, 权重集(C3, C4) = (0.75, 0.25)

表 7 D14、D15 判断矩阵

C7	D14	D15
D14	1	1/5
D15	5	1

$\lambda_{\max} = 2, C.I = 0$, 权重集 $(D14, D15) = (0.17, 0.83)$

表 8 D3、D4、D5、D6 判断矩阵

C2	D3	D4	D5	D6
D3	1	1/3	1/4	1
D4	3	1	1/2	3
D5	4	2	1	4
D6	1	1/3	1/4	1

$\lambda_{\max} = 4.0206, C.I = 0.0206/3 < 0.1$,

权重集 $(D3, D4, D5, D6) = (0.11, 0.30, 0.48, 0.11)$

表 9 D10、D11、D12、D13 判断矩阵

C6	D10	D11	D12	D13
D10	1	5	3	2
D11	1/5	1	1/2	1/3
D12	1/3	2	1	2
D13	1/2	3	1/2	1

$\lambda_{\max} = 4.16, C.I = 0.16/3 < 0.1$,

权重集 $(D10, D11, D12, D13) = (0.48, 0.088, 0.23, 0.202)$

3.3 预警标准

结合国内外城市发展的总体状况,制定城市可持续发展的预警标准。在此将城市可持续发展的预警等级分为四级(I级,II级,III级,IV级),I级为无警,依据国外较先进水平制定各评价指标的标准值;II级为轻警,依据国内先进水平制定各评价指标的标准值;III级为中警,依据国内一般水平制定各评价指标的标准值;IV级重警,依据国内较底水平制定各评价指标的标准值[8]。依据10分制的指数区间确定所有预警等级的范围,各指标的评价标准及等级指数值见表10。

表 10 天津市可持续发展的预警标准

警度	I(无警)	II(轻警)	III(中警)	IV(重警)
预警指数	[0, 2·5)	[2·5, 5)	[5, 7·5)	[7·5, 10]
人均公共绿地面积/m ²	20	10	5	2
绿化覆盖率/%	60	30	20	10
污水处理率/%	80	60	30	10
废水达标率/%	100	80	60	50
废渣综合利用率/%	80	60	30	10
粉尘回收率/%	80	60	30	10
人均GDP/元·(人·年 ⁻¹)	50 000	20 000	10 000	5 000
第三产业比重/%	70	60	50	40
万人中医院卫生床位/张	60	40	20	10
人均居住面积/m ²	15	12	6	4
每万人拥有公共车辆/辆	10	5	3	1
人均道路面积/m ²	30	10	8	5
港口货物吞吐量/万t	20 000	10 000	5 000	1 000
万人中在校学生数/人	2 000	1 500	1 000	500
人口密度/(人·km ⁻²)	700	5 000	10 000	54 000

3.4 灰色预测

依据天津市1998~2002年的统计资料^[9],采用灰色GM(1,1)预测模型进行数据预测,再将预测数据加入原始数据列,建立GM(1,1)预测模型,进行新数据的预测,依次类推,预测天津市2003~2005年各指标的预测值,结果见表3。由于城市可持续发展受政策、计划、规划的影响比较大,本研究只对未来3年的数据进行预测。结合天津市2003~2005年的统计数值(指标D10因统计方法改变而缺失),进行预测结果的误差分析(见表11),结果表明:预测结果随时间的推移,大部分指标的误差逐步增大;误差百分率的绝对值最大在20%左右,但这些指标受政府及社会发展的调控影响很大;大部分指标预测值的误差在10%左右,说明预测结果基本能够反映天津市的变化趋势,也说明预测方法具有可信性。

表 11 天津市 1998~2002 年的统计数据 and 2003—2005 年的预测数值

	1998	1999	2000	2001	2002	2003			2004			2005		
	统计值	预测值	误差(%)											
D1	4.1	4.9	5.4	5.9	5.6	6.7	6.11	8.81	8.1	6.4	20.99	8.4	6.7	20.24
D2	22.8	23.5	25	26	27.3	31	28.69	7.45	35	30.11	13.97	36.4	31.6	13.19
D3	58.8	53.3	58.8	61.2	43.2	43.9	48.02	-9.395	53.7	45.8	14.71	58	43.67	24.71
D4	76	76	98	100	100	100	100	0	99	100	-1.01	99.6	100	-0.4
D5	91	92	98	95	96	96	97.5	-1.56	97	98.41	-1.45	98	99.34	-1.37
D6	91	85	88	90	89	90	91.52	-1.69	93	92.97	0.03	93	94.45	-1.56
D7	14 808	15 976	17 993	20 154	22 380	27 945	25 061	10.32	33 478	27 983	16.41	35 783	31 238	12.7
D8	45	46	45.5	46.6	47	45.3	47.31	-4.44	43.2	47.73	-10.49	41.5	48.16	-16.05
D9	41	40	39	40	39	37.7	39	-3.45	38.2	38.8	-1.57	37.9	38.6	-1.85
D10	8.1	8.4	8.9	9.6	9.1	—	9.71	—	—	10.01	—	—	10.32	—
D11	8.2	9.8	10.9	10.8	9.3	9.4	9.8	-4.26	10.7	9.66	9.72	11.2	9.51	15.09
D12	7.9	8.5	8.7	8.5	8.5	8.8	8.5	3.41	9.3	8.48	8.82	10.4	8.46	18.65
D13	6 818	7 298	9 582	11 369	12 906	16 182	15 679	3.11	20 619	18 647	9.56	24 069	22 156	7.95
D14	1 715	1 694	1 620	1 599	1 605	1 769	1 558	11.9	1 740	1 530	12.07	1 731	1 503	13.17
D15	757	762	763	765	769	775	771	0.52	780	773	0.9	797	775	2.76

3.5 可持续发展预警分析

天津市可持续发展的预警分析,采用模糊物元预警模型,分别计算现状统计值的预警指数和预测数值的预警指数,通过指数值的大小变化,绘制预警指数变化图。天津市1998~2005年的预警指数值见表12,各年的综

合指数柱状图见图4。从表12和图4可以得出结论:天津市可持续发展的预警指数从1998年的3.1792(轻警)逐步降低到2005年的2.0831(无警),可持续发展逐步趋向于稳定协调,说明天津市在社会经济发展与环境保护的协调发展所做出的努力取得了一定的成效。

通过各指标的预警指数计算,发现大部分因子的不存在恶化的发展趋势,但个别指标还存在着不良发展趋势,需要采取相应的措施进行调控。这些因子主要有污水处理率、万人拥有的病床数及万人中的在校学生数,分析结果见表13、图5,据结果可知:污水处理率指标呈现迅速恶化的趋势,需尽快采取相应的措施;万人拥有的病床数指标虽然向不良的趋势发展,尚没有呈现迅速恶化的趋势,需密切关注;而万人中的在校学生数指标虽然呈现迅速恶化的趋势,但该指标因受我国人口政策的影响,预警信息需进一步分析,以便采取相应的措施。

表12 天津市1998~2005年可持续发展预警指数

时间	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
指数	3.197	2.3046	3.2648	3.2418	6.2414	2.2283	3.2177	2.2083

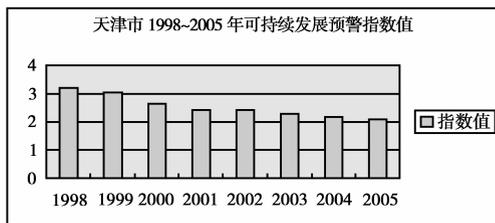


图4 天津市1998~2005年可持续发展预警指数柱状图

表13 可持续发展预警中的不良发展趋势指标

时间	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
污水处理率/%	2.6	3.058	3.26	2.35	3.9	3.498	3.683	3.860
万人中医院床位数/张	2.375	2.5	2.625	2.5	2.625	2.625	2.65	2.675
万人中在校学生数/人	1.425	1.53	1.9	2.005	1.975	2.209	2.347	2.483

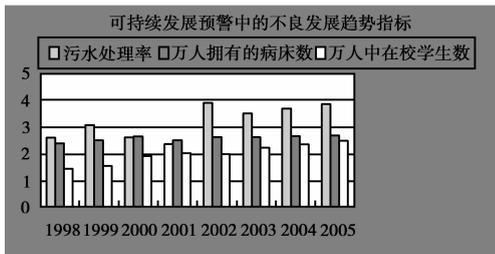


图5 可持续发展预警中的不良发展趋势指标柱状图

4 结语

大量的研究文献侧重于可持续发展的指标体系和评价方法研究,而发展趋势预测和预警分析则相对薄弱,要实现区域的可持续发展战略,必须尽早采取调控措施,对不利于可持续发展的因子进行调节,这就需要进行区域可持续发展的预警分析,依据预警结果,确定具体的调控因子及方法。

灰色GM(1,1)动态预测模型,只需要少量的数据样本就可建模,这对于受人类影响比较大的区域可持续发展系统来说,一方面能够依据反映最近若干年发展趋势的统计数据,合理预测未来的发展趋势,另一方面,由于不需要统计大量的原始数据,避免了统计数据不足或缺失带来的麻烦。因此可以作为可持续发展的预测模型。

模糊物元预警方法,可在已有现状统计数据 and 灰色预测数据的基础上,依据预警指标权重、预警标准,对区域可持续发展状况进行预警评价,并依据预警标准,对综合预警指数进行预警分析,同时可依据单因子预警指标的预警指数,分析所有单一指标的预警趋势,为制定调控措施提供支持,但该方法的不足之处在于无法对变化速度进行分析,应结合其他方法加以补充。

参考文献:

- [1] 陈新军,周应祺.基于BP模型的渔业资源可持续利用预警系统评价[J].中国渔业经济,2003,3:23-25.
CHEN Xin-jun, ZHOU Ying-qi. Study on the early-warning system of sustainable use of fisheries resources based on BP models[J]. China Fishery Economy, 2003,3:23-25.
- [2] 王学萌,张继忠,王荣.灰色系统分析及实用计算程序[M].武昌:华中科技大学出版社,2001.
- [3] 潘峰,梁川,王志良,等.模糊物元模型在区域水资源可持续利用综合评价中的应用[J].水科学进展,2003,14(3):271-275.
PAN Feng, LIANG Chuan, WANG Zhi-liang, et al. Fuzzy matter-element model for evaluating sustainable utilization of regional water resources[J]. Advances in Water Science, 2003,14:271-275.
- [4] 张斌,雍歧东,肖芳淳.模糊物元分析[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [5] 贾嵘,薛小杰,薛惠锋.区域水资源开发利用程度综合评价[J].中国农村水利水电,1999,11:22-24.
JIA Rong, XUE Xiao-jie, XUE Hui-feng. Comprehensive evaluation of development level of regional water resources[J]. China Rural Water Resource and Electricity, 1999,11:22-24.
- [6] 刘邵权,陈国阶,陈治谏.农村聚落生态环境预警——以万州区茨竹乡茨竹五组为例[J].生态学报,2001,21(2):295-301.
LIU Shao-quan, CHEN Guo-jie, CHEN Zhi-jian. Ecological and environmental warning on rural habitat ecosystem——A case study of group P5 of Cizhu village in Wanxian city[J]. ACTA Ecologica Sinica, 2001, 21: 295-301.
- [7] 董志颖,汤洁,杜崇.地理信息系统在水质预警中的应用[J].水土保持通报,2002,22(1):60-62.
DONG Zhi-ying, TANG Jie, DU Chong. Application of GIS on forecast of water quality[J]. Bulletin of soil and Water Conservation, 2002,22(1):60-62.
- [8] 杨士弘,郭恒亮.城市生态环境可持续发展评价探讨[J].华南师范大学学报,2000,4:74-83.
YANG Shi-hong, GUO Heng-liang. The assessment research on sustainable development of urban ecological environment[J]. Journal of South China Normal University, 2000,4:74-83.
- [9] 天津市统计局编.天津统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,1999-2006.

(编辑 王秀玲)