

三、结 论

1. 河水稀释利用系数模式适用于黄河兰州市区段的水污染物允许排放量计算。

2. 本文采用的“两个无量纲系数比较验证法”可

表 3 黄河兰州市区段水污染物允许
排放量 (t/a)

	BOD ₅	油	挥发酚	COD
目标为二级地表水	14136	1620.6	35.77	29477
目标为三级地表水		3974.9		

对计算出的允许排放量保险程度作半定量判断,必要时还能对计算出的允许排放量作修正。

3. 本文提供的黄河兰州市区段水污染物允许排放量见表 3。

参 考 资 料

- [1] 国标 GB3839-83 《制订地方水污染物排放标准的技术原则与方法》。
- [2] 徐幼云等, 环境卫生工作手册, 21 页, 人民卫生出版社, 1983 年。

(收稿日期: 1987 年 7 月 2 日)

城市年废水量的灰色系统预测模型

高 长 云

(武汉市环境监测中心站)

邓 明

(武汉市环境保护研究所)

一、概 述

灰色系统(简称灰系, Grey Systems)理论自邓聚龙提出后, 已经比较广泛地应用于各个领域。灰色系统在建模、控制、预测、决策、优化等方面的思路和方法都有其明显的优点。本文仅根据常用的灰色预测方法, 试求探讨其在环境预测中的应用。

灰系预测主要是用灰色建模 GM(1, 1) 模型进行。预测方法包括: (1) 数列预测, (2) 灾变预测, (3) 季节灾变预测, (4) 拓扑预测, (5) 系统预测。常用的是数列预测。本文采用的是时间数据序列预测方法。

某一城市的年废水排放总量是一个综合性的环境统计指标。它既包括工业废水, 也包括生活污水, 并与当地的经济水平、技术水平、管理措施、人口数量和居民生活水平与习惯等诸多因素有关。要准确定量地描述这些因素与城市废水总量的相关模型是极其困难的。因此, 城市废水排放系统是本质性灰色系统, 废水排放总量是系统的灰色量。这样, 对城市废水排放总量进行长期的动态预测, 便是灰色系统预测的内容。我们根据某市 1981 年至 1985 年的年废水排放总量的时间数据序列, 建立城市年废水量的灰系预测模型, 并探讨其应用效果。全部计算用 BASIC 语言在 IBM PC-XT 微机运行。

二、灰系预测方法

灰色系统预测中的数列预测, 是从给定的一组时间数据序列, 通过灰系建模、关联度分析以及残差辨识等方法, 对一组时序灰色量(原始数据)进行生成处理, 使生成后的数据序列减少随机性, 呈现出规律, 从而对系统行为进行预测。数据生成方式包括“直接累加”、“移动平均”、“加权累加”和“自适应性累加”等。例如, 对一组城市废水量时序数据, 以 $x^{(0)}(i)$ 代表, $i = 1, 2, \dots, k$ (年)。这一组数据序列给出的是灰色信息, 随机性强。通过对原始数据作 n 次累加生成运算后, 总可以用线性动态模型来模拟, 即:

n 次累加生成:

$$x^{(n)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(n-1)}(i), \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (1)$$

通过生成处理, 可以为建模提供中间信息, 并弱化原始数据序列的随机性。然后采用灰色建模方法 GM(n, k), 建立长期预测模型。为了简便, 我们只采用一阶单变量线性动态模型 GM(1, 1), 对原始数据一次累加生成处理, 进行微分拟合建模。GM(1, 1) 的一般形式为

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (2)$$

式中, a, u 为参数。其模型解或时间响应模型是:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left(x^{(1)}(0) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (3)$$

令 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$, 则得到:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

记方程的参数向量 $\hat{a} = [a, u]^T$, 用最小二乘法求解, 可得到参数 a 和 u :

$$\hat{a} = [a, u]^T = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot y_k \quad (5)$$

式中, B 为累加生成矩阵, y_k 为向量, 二者构造是:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)), & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)), & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)), & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$y_k = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(k)]^T \quad (7)$$

上面两式中, $x^{(0)}(i)$ 为第 i 年的原始数据, $x^{(1)}(i)$ 为第 i 年的一次累加生成值, $i = 1, 2, \dots, k$ 。

由此可以建立时间响应模型。然后令 $t = 1, 2, \dots, k-1$, 用模型(4)求出生成数的回代计算值 $\hat{x}^{(1)}(t+1)$:

$$\hat{x}^{(1)}(2), \hat{x}^{(1)}(3), \dots, \hat{x}^{(1)}(k). \text{ 即有序列}$$

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

$\hat{x}^{(1)}(t+1)$ 是一次累加量, 必须还原值 $\hat{x}^{(0)}(t+1)$:

$$\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t) \quad (8)$$

得到模型还原计算值:

$$\hat{x}^{(0)}(2), \hat{x}^{(0)}(3), \dots, \hat{x}^{(0)}(k). \text{ 即有数据序列}$$

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

然后对模型精度进行检验。检验方法主要有关联度检验和后验差检验。关联度 S 大于 0.5 时, 模型精度合格; 如果 S 越大, 模型精度越高 (关联度 S 的具体求法见参考文献[1]。本文主要采用后验差检验, 其步骤是:

(1) 求原始数据列的均值

$$\bar{x}^{(0)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x^{(0)}(k) \quad (9)$$

式中, N 为数据个数, k 为年份, $k = 1, 2, \dots, N$ 。

(2) 求原始数据列的方差与均方差

$$S_2^2 = \sum_{k=1}^N (x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)})^2, \quad (10)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{S_2^2}{N-1}} \quad (11)$$

(3) 求残差 $\epsilon^{(0)}$ 的均值

$$\bar{\epsilon}^{(0)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \epsilon^{(0)}(k) \quad (12)$$

(4) 求残差的方差与均方差

$$S_1^2 = \sum_{k=1}^N (\epsilon^{(0)}(k) - \bar{\epsilon}^{(0)})^2, \quad (13)$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{S_1^2}{N-1}} \quad (14)$$

(5) 计算方差比 C 和小误差概率 P

$$C = s_1/s_2, \quad (15)$$

$$P = \{|\epsilon^{(0)}(k) - \bar{\epsilon}^{(0)}| < 0.6745s_2\}. \quad (16)$$

根据经验, 一般可按表 1 精度等级。如果检验合格, 模型(4)就可以用于预测。如果模型精度不符合要求, 可通过残差辨识, 提高模型精度, 合格后再进行预测。预测时, 还要将回代计算值 $\hat{x}^{(1)}(i)$ 还原成真正需要的预测值 $\hat{x}^{(0)}(i)$, $i \in \{N+1, N+2, \dots\}$, 即有

$$\hat{x}^{(0)}(i) = \hat{x}^{(1)}(i) - \hat{x}^{(1)}(i-1) \quad (17)$$

表 1 后验差检验表

预测精度	P	C
好	$>.95$	$<.35$
合格	$>.80$	$<.50$
勉强	$>.70$	$<.65$
不合格	$\leq .70$	$\geq .65$

三、年度水量预测模型

已知某城市 1981—1985 年的年度水排放总量 (简称年度水量), 构成一时间数据序列 (见表 2)。

表 2 某城市历年年度水量 (单位 $10^4 m^3$)

年份	1981	1982	1983	1984	1985
k	1	2	3	4	5
年度水量	72255	86176	89986	91306	106273.3

将该原始数据序列进行一次累加生成处理:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (18)$$

所以有, $x^{(1)}(1) = 72255$, $x^{(1)}(2) = 158431$,

$$x^{(1)}(3) = 248417, \quad x^{(1)}(4) = 339723,$$

$$x^{(1)}(5) = 445996.3.$$

因此, 根据(6)和(7)式有:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)), 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)), 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(4) + x^{(1)}(3)), 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(5) + x^{(1)}(4)), 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -115343, & 1 \\ -203424, & 1 \\ -294070, & 1 \\ -392859.65, & 1 \end{bmatrix}$$

$$y = [86176, 89986, 91306, 106273.3]^T$$

$$(B^T \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot y = \hat{a} = [u, v]^T$$

$$= [-0.0674963, 76465.19]^T$$

这样,就得到模型的两个参数:

$$a = -0.0674963, \quad u = 76465.19,$$

$$\frac{u}{a} = -1132880$$

然后令 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1) = 72255$, 根据 (4) 式就可以得到时间响应模型:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = 1205135e^{0.0674963t} - 1132880 \quad (19)$$

模型(19)就是该市年废水排放总量的预测模型。下面检验其精度。

用模型(19)可以求出 1982—1985 年的回代计算值 $\hat{x}^{(1)}(t+1)$, 再通过(8)式得到还原值(即模拟值) $\hat{x}^{(0)}(t+1)$, 与原始数据 $x^{(0)}(t+1)$ 比较, 求出相对误差 q :

$$q = \frac{x^{(0)}(t+1) - \hat{x}^{(0)}(t+1)}{x^{(0)}(t+1)} \times 100\% \quad (20)$$

结果见表 3。

从表 3 看出,模型精度是好的。另外,后验差检验结果为 $c = 0.1677$, $P = 1$, 说明模型精度很好,精度为一级。用关联度检验法得到关联度 $S = 0.7270$, 也表明模型符合要求。因此,不再需要进行残差辨识,可以用模型(19)进行城市年废水量的预测。另据统计,该市 1986 年的废水排放总量为

表 3 模拟值 $\hat{x}^{(0)}(t+1)$ 与实际值 $x^{(0)}(t+1)$ 比较

年 份	1982	1983	1984	1985
$\hat{x}^{(0)}(t+1)$	84150.12	90026.12	96312	103037.4
$x^{(0)}(t+1)$	86176	89986	91306	106273.3
$q(\%)$	2.35	-0.05	-5.48	3.05

107381 $\times 10^4 m^3$, 而通过预测模型(19)预测的数值为 110231.9 $\times 10^4 m^3$, 预测误差为 2.66%, 说明预测效果很好。所以,模型(19)就是我们要建立的城市年废水量的灰系预测模型。

用该模型进行 1990 年、2000 年的废水量预测, 结果是, 1990 年为 144397.6 $\times 10^4 m^3$, 2000 年为 283591.8 $\times 10^4 m^3$, 都比常规的回归分析方法建立的模型预测结果要高。

四、结 束 语

常规的城市年废水量预测模型,是通过历年的工业总产值与工业废水量、城市居民人数与生活污水的数据序列,进行回归分析建立的。但环境系统实质上是一种本征性灰色系统,每一个环境统计指标(例如城市年废水量),我们都无法完全确知它与其它诸多因素的复杂关系。环境预测本身是一种灰系预测。灰系预测与常规的多元回归分析方法相比,所需数据少(一般三个以上数据就可以),数据也不需要特殊的分布,而且计算简单,精度较高。本文只是仅就数列预测方法,进行 GM(1,1) 模拟。当采用 GM(n,k) 模型以及更复杂的数据处理方式时,还会提高预测精度。可以认为,灰色系统预测方法将会更广泛地应用于环境预测。

参 考 文 献

- [1] 邓聚龙,灰色控制系统,华中工学院出版社,1985 年。

(收稿日期: 1987 年 8 月 13 日)

• 环境信息 •

防止燃烧高硫煤时形成的化合物的改良新法

这些新法被纽约高硫测试中心发现而被加利福尼亚州电力研究所于 1987 年 9 月 30 日公之于世。该中心的建立和设备配备共耗资 6500 万美元。正在研究的工艺之一是在密封系统内去除 SO_2 , 最后产生出石膏。另外一种试验的技术是联合化学公司

研究出来的 SOXAL 工艺,它把烟道气中的硫的化合物还原供化学工业用,这样几乎不产生固体废物。

张 良 摘译自 ES&T, 21(12),
1145(1987)。