

邓琪,王琪,黄启飞. GM(1,1)在工业固体废物产生量预测中的应用[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(6):180-183. Deng Qi, Wang Qi, Huang Qi-fei. Application of GM(1,1) in forecasting quantity of industrial solid waste[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(6):180-183.

GM(1,1)在工业固体废物产生量预测中的应用

邓琪¹, 王琪², 黄启飞²

(1.清华大学 北京 100084; 2.中国环境科学研究院 北京 100012)

摘 要:工业固体废物产生量预测是废物资源优化管理与合理配置的重要前提。为有效预测城市工业固体废物的产生量,客观反映其变化趋势,选择 GM(1,1)预测方法建立工业固体废物产生量预测模型。文章以某市 2006-2009 年的工业固体废物产生量为基础,通过实例对模型精度进行分析比较。研究表明,对基本符合线性关系的数据而言,预测值与实际结果具有良好的一致性,模拟精度等级为“好”。在此基础上对该市未来近几年的工业固体废物产生量进行预测研究,发现该市工业固体废物产生量增长速度过快,到 2016 年全市工业固体废物年产量将高达 2 408.25 万 t,是 2006 年的 5.3 倍。研究证明灰色 GM(1,1)模型是一个预测工业固体废物产生量的较好工具,其预测结果可为政府部门和环境管理者提供决策参考。

关键词:工业固体废物; GM(1,1); 预测

中图分类号 X825 文献标志码 A doi:10.3969/j.issn.1003-6504.2012.06.038 文章编号:1003-6504(2012)06-0180-04

Application of GM(1,1) in Forecasting Quantity of Industrial Solid Waste

DENG Qi¹, WANG Qi², HUANG Qi-fei²

(1.Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2.Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China)

Abstract: Quantity forecasting of industrial solid waste is the important premise for optimizing management and allocation of waste resource. To efficiently forecast the quantity of municipal industrial solid waste and objectively reflect its development trend, the quantity forecasting model of industrial solid waste was established by selecting GM(1,1). Based on quantity of industrial solid waste in a city during 2006-2009, the model accuracy was analyzed through the examples. Results showed that for the data conforming to the linear relationship, the forecasted values and actual results had good uniformity, with good simulation precision. On this basis, the quantity of industrial solid waste generation in this city in the following years was studied. It was found that the industrial solid waste generation grows too fast, by 2016 it will reach 24.0825 million tons per year, 5.3 times of that of 2006. The grey model GM(1,1) is a good tool to predict the quantity of industrial solid waste generation, whose results can provide helpful reference for decision-making by the government and environment managers.

Key words: industrial solid waste; GM(1,1); forecast

目前,我国正处于工业产业结构迅速调整期,行业种类的波动势必引起废物产生量与种类的变化。因此,若要彻底发挥政府部门管理废物的职能作用,废物管理工作不仅要熟悉废物现状,更需要以动态发展的眼光预测、掌控废物产生未来变化趋势,这就涉及到废物产生量的预测。

预测模型的选择是进行科学预测的前提。常用预测模型以静态模型为主^[1],主要有回归分析预测模型

和灰色预测模型。随着研究的深入,诞生了动态模型,主要包括人工神经网络模型和系统动力学模型等。无论是静态模型还是动态模型,都有各自适用条件,不可随便套用。回归分析预测模型^[2]预测结果完整和客观,能应用相关数理统计方法对回归方程进行统计检验,对预测对象变化的转折点具有一定鉴别能力。它的实质属于线性回归分析,计算工作量较大,且出现新数据时,要重新估计回归方程和进行相关分析。灰

《环境科学与技术》编辑部(网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@126.com

收稿日期 2011-07-15;修回 2011-09-06

基金项目:“十一五”国家科技攻关项目(2006BAC02A19)

作者简介:邓琪(1979-),女,助理研究员,博士后,主要研究方向为固体废物污染控制与资源化管理(手机)13264232546(电子信箱)gigi5421@163.com。

色预测模型^[3]可在数据较少或灰色信息存在的情况下对非线性、不确定系统的数据序列进行预测。但当系统出现突变、切换、故障或大扰动等情况,会破坏预测数据平稳性,导致预测误差大幅上升。因此,当模型精度检验不理想时,需做残差修正。总体来说,动态预测模型^[4]虽更能如实反应废物变化的客观规律,但其模型计算比较复杂,所需样本数据较多,科研性较强,实用推广性却有待提高。

据调研,我国各城市废物管理现有电子样本数据有限且不可避免地存在信息缺失情况,属于典型的灰色系统。鉴于此,本文选择灰色预测 GM(1,1)模型对某市工业固体废物产生量进行预测,通过信息覆盖序列生成,摸清废物变化趋势的规律性,预测结果可为政府部门和环境管理者提供决策参考。

1 建立灰色预测 GM(1,1)模型

1.1 建模原理

灰色建模原理^[3]是:对数据的处理常采用累加或累减生成方法,使无序数据列转化为有序数据序列,使生成数据序列适宜微分方程建模。这种使系统信息由不确定到确定,由知之不多到知之甚多的过程,就是通常说的使系统由“灰”变“白”。

灰色系统模型(GM)包含模型的变量维数 m 和阶数 n ,记作 GM(n, m),一般有一阶多维 GM(1, m)和一维高阶 GM($n, 1$)应用形式。高阶模型的计算复杂,精度也难以保障,同样多维模型在工业固体废物产生分析中的应用也不多见。普遍使用的是 GM(1,1)模型^[5],它是对既有已知参数,又有许多未知数和不确定参数的灰色系统进行预测的模型方式。

综上,本文选择 GM(1,1)模型预测某市工业固体废物产生量与种类变化趋势。

1.2 建模步骤

灰色预测 GM(1,1)模型的建立只需一个数列 $X^{(0)}(t)$ 。

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

对原始数据作一次累加生成(1-AGO),则又生成数列 $X^{(1)}(t)$:

$$\begin{aligned} X^{(1)}(t) &= \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(t)\} \\ &= \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(1)+X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(1)+\dots+X^{(0)}(t)\} \end{aligned}$$

$X^{(1)}(t)$ 可建立下述微分方程:

$$(dx^{(1)}/dt) + ax^{(1)} = u$$

式中 a, μ 为待辨识参数。

这是一个一阶变量的微分方程模型,故记为 GM(1,1)。

$$\hat{a} = \left| \frac{a}{u} \right| \quad (2)$$

式中 \hat{a} 为参数列。

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (3)$$

式中 a, μ 为通用参数。

$$B = \begin{bmatrix} -1/2[X^{(1)}(1)+X^{(1)}(2)] & 1 \\ -1/2[X^{(1)}(2)+X^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -1/2[X^{(1)}(t-1)+X^{(1)}(t)] & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 B 为累加生成矩阵。

$$Y_N = [X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(t)]^T \quad (5)$$

式中 Y_N 为向量, T 为矩阵的转置, $^{-1}$ 为矩阵的逆。

微分方程的解为:

$$\hat{X}^{(1)}(t+1) = [X^{(0)}(1) - u/a]e^{-at} + u/a \quad (6)$$

灰色理论建立的不是原始数据模型,而是生成数据模型。因此灰色理论的预测数据,不是直接从生成模型得到的数据,而是还原后的数据。或者说通过生成数据的 GM 模型所得到的预测值必须作逆生成处理。因此,由式(6)模型得到的数据是累加生成数据,需要作 1-AGO 处理,即:

$$\hat{X}^{(0)}(t) = \hat{X}^{(1)}(t) - \hat{X}^{(1)}(t-1) \quad (7)$$

根据式(7),将累加预测序列作累减生成还原为非累加序列的预测值,再与原始值进行比较,对模型作残差检验。若精度不高,应作残差修正,建立残差预测模型,以提高模型的精度。

1.3 精度检验

精度检验目的是检验预测模型结果的准确性,其预测结果是否可以推广及应用于废物产生量和种类变化趋势的分析预测中。

灰色模型检验一般采用 3 种检验方式,即残差检验、关联度检验和后验差检验。

1.3.1 残差检验

$$\Delta(t) = \hat{X}^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t) \quad (8)$$

式中 $\Delta(t)$ 为绝对误差。

$$\delta(t) = \frac{-\Delta(t)}{X^{(0)}(t)} \times 100\% \quad (9)$$

式中 $\delta(t)$ 为残差, $X^{(0)}(t)$ 为实际值, $\hat{X}^{(0)}(t)$ 为模型预测值。

一般要求 $\delta(t) < 20\%$ 。

1.3.2 关联度检验

$$R = 1/n \left[\sum_{t=1}^n r(t) \right] \quad (10)$$

式中 R 为预测值与实际值之间的关联度。

$$r(t) = \{ \min \min |X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t)| + P \max \max |X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t)| \} / \{ |X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t)| + P \max \max |X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t)| \} \quad (11)$$

式中 $r(t)$ 为预测值和实测值在 (t) 点的关联系数, P 为分辨系数, 位于 $0 \sim 1$ 之间, 一般取 0.5 ; $\min \min |X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t)|$ 为预测值和实际值的误差值的绝对值, 取最小值; $\max \max |X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t)|$ 为预测值和实际值的误差值的绝对值, 取最大值。

规定 $R > 0.5$ 时, 满足模型预测要求。

1.3.3 后验差检验

后验差检验分 3 步: 第一, 计算后验差比值 C ; 第二, 计算小误差概率 p ; 第三, 判定预测等级。判定标准如表 1 所示。

$$q(t) = X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t) \quad (12)$$

$$C = S_2 / S_1 \quad (13)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [q(t) - \bar{q}]^2 \quad (14)$$

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n q(t) \quad (15)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [x^{(0)}(t) - \bar{x}]^2 \quad (16)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x^{(0)}(t) \quad (17)$$

$$p = P\{|q(t) - \bar{q}| < 0.674 \cdot 5S_1\} \quad (18)$$

式中 $X^{(0)}(t)$ 为原始数据列; $\hat{X}^{(0)}(t)$ 为模型的拟合值 ($t=1, 2, \dots, n$); C 为后验差比值; p 为小误差概率; S_2 为 $q(t)$ 的方差; \bar{q} 为 $q(t)$ 的均值; S_1 为 $x^{(0)}(t)$ 的方差; \bar{x} 为 $X^{(0)}(t)$ 的均值。

表 1 预测精度等级划分标准
Table 1 Standard of forecasting precision

预测精度等级	C 值	p 值
好	<0.35	>0.95
合格	<0.50	>0.80
勉强	<0.65	>0.70
不合格	≥0.65	≤0.70

2 实例分析

2.1 预测结果与分析

2.1.1 预测结果

本文以 2006-2009 年某市工业固体废物申报登记数据的废物产生量为原始数据, 如表 2 所示, 建立该市工业固体废物年产生量的预测模型。

表 2 某市工业固体废物年产生量

年份	2006	2007	2008	2009
年产生量	451.89	495.13	601.62	702.89

设原始数据列为 $X^{(0)}(t) = [451.89, 495.13, 601.62, 702.89]$ 将 $X^{(0)}(t)$ 作 1-AGO 生成, 得累积生成数列 $X^{(1)}(t)$ 。

$$X^{(1)}(t) = [451.89, 947.02, 1548.64, 2251.53]$$

构造矩阵 B, Y_N , 并计算 $(B^T B)^{-1}$ 。

$$B = \begin{bmatrix} -1/2(451.89+947.02) & 1 \\ -1/2(947.02+1548.64) & 1 \\ -1/2(1548.64+2251.53) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -699.45 & 1 \\ -1247.83 & 1 \\ -1900.09 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y_N = [495.13, 601.62, 702.89]^T$$

$$(B^T B)^{-1} = \left\{ \begin{bmatrix} -699.45 & -1247.83 & -1900.09 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \right. \\ \left. \times \begin{bmatrix} -699.45 & 1 \\ -1247.83 & 1 \\ -1900.09 & 1 \end{bmatrix} \right\}^{-1} \\ = \begin{bmatrix} 0.000001384 & 0.001774892 \\ 0.001774892 & 2.609555583 \end{bmatrix}$$

计算待辨参数 a, μ :

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = [a, \mu]^T = (-0.172486688555863, 378.673296350276)$$

$$a = -0.172486688555863$$

$$\mu = 378.673296350276$$

$$u/a = -2195.376927$$

将上述计算参数代入式(6), 得出灰色预测模型方程:

$$\hat{X}^{(1)}(t+1) = 2647.2669e^{0.1725t} - 2195.3769 \quad (19)$$

2.1.2 精度检验结果

将式(19)计算出的值代入式(7), 还原累减得预测值, 再与各年度实际产生量数值相比较, 进行模型精度检验。

(1) 残差检验。残差检验结果(表 3)显示预测值与实际值之间的残差为 $-0.66\% \sim 1.56\%$, 波动较小。

表 3 工业固体废物产生量预测模型精度检验结果
Table 3 Quantity forecasting model accuracy of industrial solid waste

t 值	0	1	2	3
实际值 $X^{(0)}(t)$	451.89	495.13	601.62	702.89
预测值 $\hat{X}^{(0)}(t)$	451.89	498.41	592.24	703.74
绝对误差 $\Delta(t)$	0.00	3.28	-9.38	0.85
残差 $\delta(t)\%$	0.00	-0.66	1.56	-0.12

(2) 关联度检验。根据式(10)和(11)计算得关联度 $R=0.69$, R 值 >0.5 , 说明满足模型预测要求。

(3) 后验差检验。计算过程如下:

由原始数据求 $X^{(0)}(t)$ 均值:

$$\bar{x} = 1/4 \sum_{t=1}^n x^{(0)}(t) = 562.88$$

原始数据方差:

$$S_1^2 = \frac{1}{4} \sum_{t=1}^n [x^{(0)}(t) - \bar{x}]^2 = 9503.1072$$

得 $S_1=97.483\ 9$

$q(t)$ 均值:

$$\bar{q}=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^n q(t)=1.312\ 5$$

$q(t)$ 方差:

$$S_2^2=\frac{1}{4}\sum_{t=1}^n [q(t)-\bar{q}]^2=23.143\ 7$$

得 $S_2=4.810\ 8$

后验差比值 $C=S_2/S_1=0.05<0.35$

小误差概率 $0.674\ 5S_1=65.752\ 9$

$$|q(1)-\bar{q}|=1.312\ 5<65.752\ 9$$

$$|q(2)-\bar{q}|=4.592\ 5<65.752\ 9$$

$$|q(3)-\bar{q}|=8.067\ 5<65.752\ 9$$

$$|q(4)-\bar{q}|=2.162\ 5<65.752\ 9$$

$$p=P\{|q(t)-\bar{q}|<0.674\ 5S_1\}=1>0.95$$

根据后验差比值 $C<0.35$ $p>0.95$, 判定预测精度等级为“好”, 不需作残差辨识修定。

通过以上3项精度检验结果可知, GM(1,1)灰色模型(方程(19))经过检验符合预测精度要求, 可以直接用来预测该市工业固体废物产生量, 不需做残差修正。

2.2 某市未来几年工业固体废物产生量的预测

依据工业固体废物产生量预测模型(方程 19) 对某市 2010-2016 年工业固体废物产生情况加以预测。结合 2006-2009 年废物产生原始数据, 可获得某市工业固体废物 2006-2016 年产生变化趋势, 如图 1 所示。

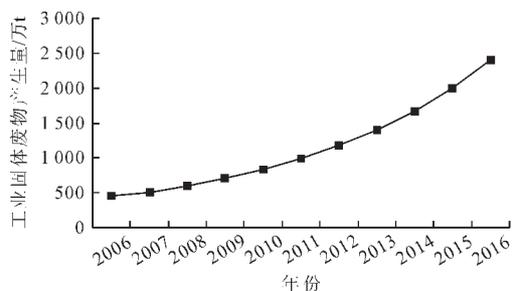


图1 工业固体废物产生量变化趋势
Fig.1 Quantity change trend of industrial solid waste

图 1 表明, 该市工业固体废物产生量将增加很快, 到 2016 年全市工业固体废物年产量将达 2 408.25 万 t, 应引起该市相关部门的关注。工业固体废物产生量增大, 势必加剧环境污染隐患, 同时也隐射着为满足社会经济发展的需要, 工业生产力度加大, 资源消耗增多, 未来将面临更大的资源压力。鉴于此, 管理

部门应高度重视产业结构调整, 避免单一产业过度扩大集结化, 不仅带来巨大的环境压力, 还易引发行业竞争激烈, 不利于城市均衡、健康地可持续发展。

3 结论

研究证明灰色 GM(1,1)模型是一个预测工业固体废物产生量的较好工具。同理, 还可对一般工业固体废物、工业危险废物以及城市主要工业企业废物的产生量进行预测。一般工业固体废物和工业危险废物分别因其“量大”和“危险性”带来环境隐患, 城市管理相关部门应给予重视与关注。通过城市主要工业企业的固体废物产生量预测可知城市发展的主体产业结构。随着城市经济的飞速发展, 这些行业产生的工业固体废物污染所引起的环境问题势必会越来越突出, 必须列入控制和综合利用的最优先行业。

[参考文献]

- [1] 刘劲松. 实用经济预测方法[M]. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 1996.
Liu Jing-song. Forecast Method of Applied Economy[M]. Harbin: Harbin Publishing House, 1996.(in Chinese)
- [2] 宁宣熙, 刘思峰. 管理预测与决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
Ning Xuan-xi, Liu Si-feng. Management Forecast & Decision Method[M]. Beijing: Science Publishing House, 2003.(in Chinese)
- [3] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
Deng Ju-long. Grey Forecast & Grey Decision[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.(in Chinese)
- [4] 郝海, 踪家峰. 系统分析与评价方法[M]. 北京: 经济科学出版社, 2007.
Hao Hai, Zong Jia-feng. System Analysis & Evaluation Method[M]. Beijing: Economic Science Press, 2007.(in Chinese)
- [5] 尚晓锶, 林卫东, 唐艳葵. 指数平滑和 GM(1,1)组合法在水质预测中的应用: 以邕江水源地铁、锰浓度为例[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(1): 191-195.
Shang Xiao-si, Lin Wei-dong, Tang Yan-kui. Development and application of a combined water quality prediction model based on exponential smoothing and GM(1,1): a case study of iron and manganese levels in Yongjiang River[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(1): 191-195.(in Chinese)