

基于灰色 GM(1,1)模型的铁岭市工业废水排放量预测

Gray GM(1,1) Model Based Prediction of Industrial Wastewater Discharge of Tieling City

邢妍,王宏,韩德昌

(沈阳理工大学环境与化学工程学院 沈阳 110159)

摘要 建立铁岭市工业废水排放量预测模型,预测2010~2015年铁岭市工业废水排放量。根据工业废水排放量数据序列特征,将灰色系统理论GM(1,1)模型的建模方法用于构建铁岭市工业废水排放量预测模型,并用GM(1,1)残差模型对模型进行修正。利用1999~2007年铁岭市工业废水排放量原始数据与预测数据比较分析,误差较小,预测模型可靠。利用GM(1,1)建立的工业废水排放量预测模型为铁岭市经济发展及水污染控制提供科学依据。

关键词 铁岭市 灰色模型 残差模型 工业废水排放量 预测

Abstract The model is built to predict industrial wastewater discharge in Tieling City from 2010 to 2015. According to the characteristics of the data series about industrial wastewater discharge, the GM(1,1) model of gray system is employed to build the model for predicting the amounts of Tieling City's industrial wastewater discharge, and the prediction model is modified by using GM(1,1) residual model. Comparing the real data series of Tieling City's industrial wastewater discharge from 1999 to 2007 with the predicting data, the errors between real values and the prediction ones are relative small. The experimental results show that the model established by GM(1,1) is availability and more accuracy. The model can be used to provide scientific basis for Tieling City's economic development and the water pollution control.

Key words Tieling City Gray Model Residual Model Industrial Wastewater Discharge Prediction

在制定区域或流域水生态系统保护规划中,对工业废水排放量及污染物进行预测至关重要。经济发展速度、水环境管理水平、节水措施、污水处理工艺等因素构成了工业废水排放量的复杂背景,识别它们之间隐含的定量关系较困难。本文根据灰色系统理论GM(1,1)模型,从工业废水排放量序列这一组灰色数据本身挖掘有用的信息,建立灰色模型^[1,2]进行解释和预测。

1 GM(1,1)模型

1.1 GM(1,1)建模步骤

1.1.1 数据序列的生成 设 $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3) \cdots x^{(0)}(n)$ 是要预测的某项指标的原始数 $\{x_i^{(0)}(k)\}, i=0, 1, 2, \cdots$ 多是随机变量,将原始数列进行累加生成新的数据序列, $\{x_i^{(1)}(k)\}, i=0, 1, 2, \cdots$

$$\text{即 } x^{(1)}(k) = \sum_{n=1}^k x^{(0)}(n)$$

灰色系统理论把上述经过处理后的数据序列称为“模块”,认为由已知的白色数据构成的模块是白色模块,而由白色模块外推到未来的模块是灰色模块^[3]。

1.1.2 GM(1,1)模型的生成 将 $x_i^{(1)}(k), i=0, 1, 2, \cdots$ 拟合成微分方程为:

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

微分方程(1)式所对应的时间响应函数为:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} \quad (2)$$

式(2)就是数列预测的基础模型,式中 a, b 为参数向量元素,分别称作发展灰数和控制灰数。

收稿日期:2010-08-25

作者简介:邢妍(1984-),女,硕士研究生。研究方向:环境规划与评价。

1.1.3 求参计算 设 $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{(-1)} B^T Y_n$ (3)

其中,

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

$$Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

利用最小二乘法,通过 matlab 拟合求解参数 a, b ;

通过(2)式求得原始数据的还原预测值 $\hat{x}^{(0)}$ (k)为:

$$\hat{x}^{(0)}(k) \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) \quad k = 1, 2, 3, \dots n \quad (4)$$

1.2 GM(1, 1)残差模型

如果所建模型的模拟数据 $\hat{x}^{(1)}(k)$ 与实际值 $x^{(1)}(k)$ 有误差,为了提高 GM(1,1)模型的精度,可用残差对 GM(1,1)模型进行修正^[4,5]。

记生成的原始残差为 $\epsilon^{(0)}(k)$,则有 $\epsilon^{(0)}(k) = \{\epsilon^{(0)}(1), \epsilon^{(0)}(2), \epsilon^{(0)}(3) \dots, \epsilon^{(0)}(n)\}$

把生成的原始残差列 $\epsilon^{(0)}$ 代入 GM(1,1)模型,求出其参数列 $\hat{a}_\epsilon = (a_\epsilon, b_\epsilon)$,计算出 $\epsilon^{(0)}$ 的模拟值 $\hat{\epsilon}^{(0)}$,最后得到:

$$\hat{\epsilon}^{(0)}(k+1) = (-a_\epsilon)(\epsilon^{(0)}(k_0) - \frac{b_\epsilon}{a_\epsilon})e^{-a_\epsilon(k-k_0)}, \quad k \geq k_0$$

修正后的模型为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \begin{cases} (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a}, & k < k_0 \\ (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} \pm a_\epsilon(\epsilon^{(0)}(k_0) - \frac{b_\epsilon}{a_\epsilon})e^{-a_\epsilon(k-k_0)}, & k \geq k_0 \end{cases}$$

再将 $\hat{x}^{(1)}(k+1)$ 累减还原成 $\hat{x}^{(0)}(k+1)$ 即为所要获取的预测值。

1.3 模型检验

1.3.1 关联度检验 关联度检验是实测值与计算值曲线的几何相似程度的检验,可由以下公式

计算:

$$r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(k)$$

式中

$$\eta(k) = \frac{\min |x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)| + \rho_{\max} |x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|}{|x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)| + \rho_{\max} |x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|}$$

为 $x^{(0)}(k)$ 与 $\hat{x}^{(0)}(k)$ 在 k 点的关联系数, ρ 为分辨系数。根据经验,当 $\rho = 0.5$,关联度 $r > 0.6$ 时,说明模型预测精度较高。

1.3.2 后验差检验 后验差检验包括均方差比值 C 和小误差概率 P 。

$$\text{均方差比值: } C = \frac{S_1}{S_2};$$

小误差概率:

$$P = P\{|\epsilon(k) - \bar{\epsilon}(k)| < 0.6745 S_1\}$$

其中, $S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}]^2$ 为原始数据的方差, $\bar{x}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k)$, $S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [\epsilon(k) - \bar{\epsilon}(k)]^2$ 为残差的方差, $\bar{\epsilon}(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon(k)$,当 $p > 0.95$,且 $c < 0.35$ 时预测精度为一级。

2 实例应用

工业废水排放量大小受多种因素影响,各因素间关系较复杂,利用灰色系统理论建模方法,根据铁岭市 1999~2006 年的工业废水排放量,见表 1,构建铁岭市工业废水排放量 GM(1,1)模型。

表 1 铁岭市 1999~2006 年工业废水排放量

年份	废水排放量/万 t
1999	2909.75
2000	2714.94
2001	3166.96
2002	3251.45
2003	3095.45
2004	2199.04
2005	2731.51
2006	2245.74

注:数据来源于 1999~2007 年的《铁岭市统计年鉴》

2.1 铁岭市工业废水 GM(1,1)模型

2.1.1 GM(1,1)模型构建 将原始数据序列代入 GM(1,1)模型中,则:

$$x^{(0)} = [2909.75, 2714.94, 3166.96, 3251.45, 3095.45, 2199.04, 2731.51, 2245.74]$$

通过公式(3)得:

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0406967 \\ 3304.80007 \end{bmatrix}$$

将参数 a, b 代入模型(2)得到工业废水排放量 GM(1,1)预测模型:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = -78295.86864e^{-0.0406967(k-1)} + 81205.61864$$

(5)

原始序列、模拟序列的值及误差,见表 2。

表 2 模拟值和原始值的误差

年份	原始值 $x^{(0)}(k)$	预测值 $\hat{x}^{(0)}(k)$	残差 $\epsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$	相对误差 $\Delta k = \frac{ \epsilon(k) }{x^{(0)}(k)}\%$
1999	2909.75	2909.75	0.00	0.00
2000	2714.94	3122.42	-407.48	15.01
2001	3166.96	2997.90	169.06	5.34
2002	3251.45	2878.34	373.11	11.48
2003	3095.45	2763.55	331.90	10.72
2004	2199.04	2653.34	-454.30	20.66
2005	2731.51	2547.53	183.98	6.74
2006	2245.74	2445.93	-200.19	8.91

从表 2 看出,模拟值的误差较大,将影响模型的预测精度,因此必须建立 GM(1,1)残差模型,对所建模型进行修正。

2.1.2 GM(1,1)模型修正 根据 2.2 节残差模型,得出:

$$\epsilon^{(1)}(k+1) = -13424.48914e^{-0.02275(k-2)} + 13831.96566$$

进而得出残差修正模型:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) \begin{cases} 3252.109006e^{-0.0406967k} (k < 2) \\ 3252.109006e^{-0.0406967k} \\ \pm 305.4567985e^{-0.0227537(k-2)} (k \geq 2) \end{cases}$$

经过残差模型修正后的原始序列、模拟序列的值以及它们之间的误差见表 3。

表 3 残差模型修正后的模拟值和原始值的误差

年份	原始值 $x^{(0)}(k)$	预测值 $\hat{x}^{(0)}(k)$	残差 $\epsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$	相对误差 $\Delta k = \frac{ \epsilon(k) }{x^{(0)}(k)}\%$
1999	2909.75	2909.75	0.00	0.00
2000	2714.94	2812.56	-97.62	3.60
2001	3166.96	3303.35	-136.39	4.31
2002	3251.45	3176.92	74.53	2.29
2003	3095.45	3055.42	40.03	1.29
2004	2199.04	2368.04	-169.00	7.69
2005	2731.51	2826.41	-94.90	3.47
2006	2245.74	2173.32	72.42	3.22

从表 3 看出,修正后的相对误差小于 5%,模拟值可以满足精度要求。

2.2 GM(1,1)模型检验

2.2.1 关联度检验 把 $\min |x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)| = 0, \max |x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)| = 169.000908$, 分辨系数 0.5 代入 1.3.1 节关联度计算公式,得出 $r = 0.6211$,模型拟合序列和原始序列相关性较好。

2.2.2 后验差检验 根据 1.3.2 节公式计算均方差比值 $C = \frac{s_2}{s_1} = 0.213 < 0.35$,属于较好水平。

$P = |\epsilon(k) - \bar{\epsilon}(k)| = \{38.86823713, 58.75496387, 97.52336687, 113.3936041, 78.89815613, 130.1326709, 56.03318787, 111.2841921\} < 0.6745$ $S_1 = 252.056771$,所

以 $P = 1$,且 $C < 0.35$,预测精度为一级。

2.3 预测结果

利用修正后的 GM(1,1)预测模型,预测 2010~2015 年铁岭市工业废水排放量,预测结果见表 4。

表 4 2010~2015 年工业废水排放量预测结果

年份	废水排放量/万 t
2010	2078.49
2011	1995.60
2012	1916.01
2013	1839.60
2014	1766.24
2015	1695.80

(下转第 59 页)

察、管理等部门对法规、标准、规范的理解存在着不同程度的差异,影响噪声污染防治工作的开展,针对这种现状,应组织专家对问题比较集中的法规条款、标准和技术规范进行研讨,统一认识,统一口径,印发规范性文件在全市实施。针对存在的问题和现行法规、标准、规范存在的空白及模糊点,组织专家进行研讨,制定符合沈阳市实际的噪声管理、环评审批、监测标准有关的指导性政策。

3.2.2 进一步提高执法水平 信访、监察、管理部门认真查处噪声污染扰民、不办理环评审批、不履行三同时、不申报登记、不交噪声排污费等违法行为,建立规范化、制度化、法制化、科学化的执法机制,统一程序、统一自由裁量范围、统一文书、统一法律解释,与各级法院沟通合作,使行政处罚全程畅通无阻。作到违法必究,形成强力执法的高压态势,走向严格执法—促进守法的良性循环。

3.3 建立并完善社区及公众参与的噪声监管长效机制

为减少环保、公安等管理部门的信访压力,充分发挥社区调解纠纷基础作用,预防和解决社区内的噪声问题。①建立监督预防机制,预防新的噪声扰民问题,在问题尚未形成阶段就设法避免,在问题影响较小时设法化解;②建立已有污染问题调查处理机制,通过摸底调查登记、找出重点问题、集中精力治理点源和综合整治群源等措施,解决已存在的问题。③建立噪声污染防治法宣传教育机制,提高居民环保意识和自觉性;④建立社区参与环评审批机制,一票否决,社区和利益相关居民不同意的项目,环保部门不能批准,工商部门不予以颁发营业执照。

3.4 建立宣传教育机制,提高全社会噪声防治意识

开展噪声污染防治法律法规的贯彻和落实工作,统一认识,统一解读,统一实施。利用媒体、社区宣传栏等平台,向公众宣传噪声法律、法规、常识和相关案例,宣传解读噪声污染防治法规。通过宣传单、倡议书和招贴画等形式对相关人群、企业和单位开展有针对性和实效性的宣传活动,针对目标单位和特殊人群开展噪声污染防治法律法规的宣传和教育,将环境噪声污染防治纳入环境教育体系,从而提高全社会的噪声污染防治意识。

3.5 运用综合制裁手段解决噪声污染难题

将企业的噪声守法情况与企业的银行诚信、评优、上市、许可审批、招投标等相关工作挂钩,实行一票否决制度,运用综合制裁手段解决噪声污染难题。

参考文献

- [1] 王振中.道路交通噪声相关因素和研究[J].中国环境监测,1996,12(3):54-56.
- [2] 韩善灵,朱平,林忠钦.交通噪声综合影响指数及噪声控制研究[J].噪声与振动控制,2004,1:25-28.
- [3] 王素萍,白洁.城市道路交通噪声污染防治对策研究[J].噪声与振动控制,2003,(1):26-27.
- [4] 李连山,袁英贤.平顶山市区道路交通噪声污染现状与防治[J].城市环境与城市生态,2002,15(1):26-28.
- [5] 谢浩.绿化带—天然的减噪消声器[J].陕西建筑,1999,(3):1-2.
- [6] 施祥,王进,程越,等.杭州市社会生活噪声分类调查及控制对策[J].噪声与振动控制,2003,(3):37-38,42.
- [7] 李永明,李思祥,于昌欣.牡丹江市环境噪声污染防治对策[J].北方环境,2003,(1):16-18.
- [8] 柳孝图,袁文昌,周林.海港城市的声环境规划[J].中国环境科学,1994,14(2):90-94.

(上接第33页)

3 结论

本文将灰色系统理论 $GM(1,1)$ 模型应用到铁岭市工业废水排放量的预测中,经检验修正后的工业废水 $GM(1,1)$ 模型运行可靠、模拟结果可信;模型预测2010~2015年铁岭市工业废水排放量变化趋势,为铁岭市的经济发展及水环境管理提供科学依据;在以后的科研中,需要进一步研究模型修正方法,使模型预测更精确。

参考文献

- [1] 王辉,孙世群,熊鸿斌.城市工业废水排放量灰色预测的研究[J].安徽化工,2006,142(4):51-53.
- [2] 汤鸣.西安市工业废气排放总量的灰色预测模型[J].西安航空技术高等专科学校学报,2009,27(5):46-48.
- [3] 邓聚龙.灰色理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [4] 刘思峰,党耀国,方志耕.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社出版,2005.
- [5] 俞锋. $GM(1,1)$ 残差模型在民航客运量预测中的应用[J].西华大学学报:自然科学版,2006,25(6):29-34.