

· 争鸣与探索 ·

# 环境振动的灰色预测模型

张苗云, 项成龙

(金华市环境监测站, 浙江 金华 321000)

**摘要:** 利用 GIM(1) 的非时序直接建模法预测研究建筑施工的环境振动, 并将 GIM(1) 模型与 GM(1, 1) 模型进行比较分析, 结果表明 GIM(1) 模型的拟合精度优良, 对原始资料中白化信息的利用更加丰富, 拓宽了 GIM(1) 模型在环境科学领域中的应用范围。

**关键词:** GM(1, 1) 模型; GIM(1) 模型; 环境振动; 灰色预测

**中图分类号:** X 839.1      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1006-2009(2001)04-0038-03

## Study on Grey Prediction Models for Environmental Vibration

ZHANG Miao-yun, XIANG Cheng-long

(Jinhua Environmental Monitoring Station, Jinhua, Zhejiang 321000, China)

**Abstract:** Using the method of non-time sequence direct setting up, it calculates the theoretical values of environmental vibration in building construction and compares GIM(1) model with GM(1, 1) model. The results show that GIM(1) model has higher fitting accuracy and utilizes more known informations in the original data, and widens the application scope in the field of environmental science.

**Key words:** GM(1, 1) model; GIM(1) model; Environmental vibration; Grey prediction

### 1 引言

灰色系统理论因其建模方法的新颖性和预测的可靠性, 近年来已广泛应用于环境科学研究领域<sup>[1~3]</sup>。然而, 经典 GM(1, 1) 模型本身也存在某些局限性, 这种模型的单变量变化率是一个指数分量, 仅适用于等间隔且累加生成具有明显指数规律的原始动态序列。为了弥补经典模型的不足, 新的研究工作不断深入, GIM(1) 就是在 GM(1, 1) 基础上派生而来的灰色预测模型<sup>[3]</sup>。这种模型不仅能更充分反映和利用原始数据提供的信息, 而且将等间隔时序系统分析建模延伸到任意间隔的非时序系统, 拓宽了灰色预测的应用范围。

该文利用 GIM(1) 的非时序建模法来预测建筑施工的环境振动, 其基本思路是以原始的非时序数据作为建模的基础, 按一元线性回归法初步辨识灰参数, 按最小二乘法优化辨识灰系数, 进而建立待辨识系统的 GIM(1) 最优识别模型。

### 2 GIM(1) 非时序建模原理及方法

#### 2.1 GIM(1) 模型

设某序列随一自变量变化而形成序列数据为:

$$y(x_i) = \{y(x_1), y(x_2), \dots, y(x_n)\}$$

$$i = 1, 2, \dots, n_0$$

则该序列的 GIM(1) 白化微分方程式为:

$$\frac{dy(x_i)}{dx_i} + a \frac{y(x_i)}{x_i} = b \quad (1)$$

其数学解析式为:  $y(x_i) = px_i^{-a} + qx_i$  (2)

上述二式中,  $a$ 、 $b$  为待辨识灰参数,  $p$ 、 $q$  为待辨识灰系数,  $y(x_i)$  为因变量值,  $x_i$  为自变量值。

#### 2.1.1 灰参数辨识

灰参数  $a$ 、 $b$  采用一元线性回归辨识方法确定。

令  $x = -\frac{y(x_i)}{x_i}$ ,  $y = \frac{dy(x_i)}{dx_i}$ , 代入(1)式移项得:

$$y = ax + b$$

经上述变换后, 能方便地求解灰参数  $a$ 、 $b$ , 并且借助回归方程的相关系数  $r$ , 以初步判断 GIM(1)

收稿日期: 2000-07-18; 修订日期: 2001-06-21

第一作者简介: 张苗云(1936-), 男, 浙江金华人, 工程师, 硕士, 从事环境监测工作。

作为环境振动灰色预测模型的可行性。

### 2.1.2 灰系数辨识

根据  $y(x_i)$ 、 $x_i$ 、 $a$  等数据,由最小二乘法有:

$$(p, q) = (A^T A)^{-1} A^T Z \quad (3)$$

其中  $A = \begin{bmatrix} x_1^{-a} & x_2^{-a} & \dots & x_n^{-a} \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{bmatrix}^T$

$$Z = [y(x_1), y(x_2), \dots, y(x_n)]^T$$

将识别出的  $p$ 、 $q$  值代入(2)式,即可得到待辨识系统的最优 GIM(1) 模型。

### 2.2 建模参数的处理

对于建模参数  $y = \frac{dy(x_i)}{dx_i}$  的具体数值计算,采用离散差商近似微商<sup>[4]</sup>:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y_{t+1} - y_{t-1}}{t_{t+1} - t_{t-1}} \quad (4)$$

而在  $t = t_1$  和  $t = t_n$  处,则必须采用向前差分和向后差分表达式:

$$\frac{dy_1}{dt_1} = \frac{-y(t_3) + 4y(t_2) - 3y(t_1)}{2h} \quad (5)$$

$$\frac{dy_n}{dt_2} = \frac{3y(t_n) - 4y(t_{n-1}) + y(t_{n-2})}{2h} \quad (6)$$

式中:  $h$  为步长,  $h = t_{i+1} - t_i$ 。

## 3 振动传播的灰色预测

建筑施工造成的环境振动和噪声污染,在实际传播过程中由于诸多不确定因素的制约,单纯依靠声学理论很难建立较高精度的物理模型。事实上,建筑桩机施工振源与其周围环境构成了一个非本征的灰色系统。表 1 为某建筑施工现场打桩机环境振动铅垂向 Z 振动的测量结果,现分别按经典 GM(1, 1) 模型及前述 GIM(1) 建模原理预测振动传播的衰减规律。

表 1 环境振动铅垂向 Z 振动原始数据

距离 $l/m$	10	15	20	25	30	35
$V_{Lz}/dB$	123.6	109.3	98.7	90.4	84.2	79.9

### 3.1 GM(1, 1) 模型

根据原始序列数据进行 1-AGO 累加生成,通过拟合生成序列,构造矩阵求出参数向量,代入灰色微分方程得到模型解:

$$x^{(1)}(k+1) = -1397.294309e^{-0.080338k} + 1520.894309 \quad (7)$$

### 3.2 GIM(1) 模型

将表 1 原始序列进行近似微商处理,获取环境振动非时序单变量系统直接建模的中间信息,有关数据及建模参数见表 2。

表 2 环境振动有关监测数据及建模参数

序号	距离 $l/m$	实测值 $/dB$	$x$	$y$
1	10	123.6	-12.36	-3.23
2	15	109.3	-7.287	-2.49
3	20	98.7	-4.935	-1.89
4	25	90.4	-3.616	-1.45
5	30	84.2	-2.807	-1.05
6	35	79.9	-2.283	-0.67

### 3.2.1 求解灰参数 $a$ 、 $b$

将表 2 中的建模参数  $x$ 、 $y$  按常规一元线性回归求解,得:

$$a = 0.241354, b = -0.457634, r = 0.9644$$

查相关系数检验表,对  $r$  进行显著性检验,有  $r > r_{4}^{0.01}(0.917)$ ,初步表明所建模型的可行性。

### 3.2.2 求解灰系数 $p$ 、 $q$

将  $y(x_i)$ 、 $x_i$  和  $a$  值代入(3)式可得:

$$(p, q) = (A^T A)^{-1} A^T Z = \begin{bmatrix} 222.385 & 103 \\ -0.440 & 132 \end{bmatrix}$$

### 3.2.3 GIM(1) 模型的建立

把解  $p$ 、 $q$  值代入 GIM(1) 的数学解析式:

$$y(x_i) = 222.385103x_i^{-0.241354} - 0.440132x_i \quad (8)$$

### 3.3 两种模型预测结果比较

经典 GM(1, 1) 和由其派生的 GIM(1) 模型环境振动的拟合结果见表 3。

从表 3 中的数据可见,经典 GM(1, 1) 模型拟合铅垂向 Z 振动,其最大相对误差为 2.13%,最小相对误差为 -0.71%,平均拟合精度为 98.90%。采用 GIM(1) 模型建立的拟合值,其最大相对误差为 1.25%,最小相对误差为 0.18%,平均拟合精度达到 99.39%。

两种模型相比较,GIM(1) 模型预测结果的残差和相对误差普遍降低,平均拟合精度有所提升,预测值更加准确。更重要的是,由于 GIM(1) 模型引入了自变量值  $x_i$ ,对原始资料中白化信息的利用更加丰富,而且可以获取任意距离环境振动铅垂向 Z 振动的预测值,突破了传统 GM(1, 1) 模型等间隔时序系统的限制,拓宽了模型在实际预测中的适用范围。

表 3 GM(1, 1) 和 GIM(1) 预测模型比较

序号	距离 l/m	实测值 / dB	GM(1, 1)			GIM(1)		
			预测值/ dB	残差/ dB	相对误差/ %	预测值/ dB	残差/ dB	相对误差/ %
1	10	123.6	123.6	0	0	123.2	0.4	0.32
2	15	109.3	107.9	1.4	1.28	109.1	0.2	0.18
3	20	98.7	99.5	-0.8	-0.81	99.1	-0.4	-0.41
4	25	90.4	91.9	-1.5	-1.66	91.3	-0.9	-1.00
5	30	84.2	84.8	-0.6	-0.71	84.6	-0.4	-0.48
6	35	79.9	78.2	1.7	2.13	78.9	1.0	1.25
7	37					76.7		
8	40		72.2			73.7		

#### 4 结论

(1) 根据建筑施工铅垂向 Z 振动测量值, 分别建立了经典 GM(1, 1) 预测模型和 GIM(1) 预测模型。所建模型的预测精度分别为 98.90% 和 99.39%。

(2) GIM(1) 模型建模原理思路清晰, 预测结果准确可靠, 而且模型拟合精度优良, 可用来预测研究环境振动传播的衰减规律。

(3) GIM(1) 模型较之指数模型 GM(1, 1) 更能揭示非线性系统的变化规律, 对原始资料中白化信息的利用更加丰富, 突破了传统等间隔时序系统

的限制, 在灰色系统预测中具有更好的应用效果。

#### [参考文献]

- [1] 邓骤龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [2] 张邦俊, 潘仲麟, 胡伟. 临街建筑群间交通噪声一维分布灰色系统模型预测[J]. 环境科学, 1993, 14(2): 16~19.
- [3] 向跃霖. GIM(1) 模型的非时序直接建模法及应用[J]. 污染防治技术, 1997, 10(1): 19~21.
- [4] 梅里特 F S 著, 丁仁, 陈三平译. 工程技术常用数学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 138~144.

#### • 简讯 •

### 福建省颁布实施九龙江水污染物总量控制标准

为进一步加强主要流域水污染物排放总量控制工作, 逐步走上区域控制与流域控制相结合之路, 继 1999 年颁布实施福建省最大流域——闽江水污染物总量控制标准后, 近日经福建省政府批准, 省质量技术监督局和省环保局又联合颁布了福建省第二大流域——九龙江水污染物排放总量控制标准, 规定了流域内各行政区域排入流域的污染物总量控制指标。同时, 为强化对各行政区域的管理, 还开展了市县交接界面的水质监测, 并将其水质状况列为该市县水质保护目标责任制考核的重要内容。

郑洪萍

### 第一批 ADCP 多谱勒测流仪技术培训班在江苏举办

2001 年 5 月 24 日~25 日, 由中国环境监测总站组织的 2001 年全国第一批 ADCP 多谱勒测流仪技术培训班在江苏省举行, 江苏、安徽、浙江、河北、天津和辽宁等 6 个省(市)环境监测中心(站)的部分技术人员参加了此次培训。培训班上, 总站水室李国刚主任就进行多谱勒测流仪培训的目的、意义和水质自动站测流工作作了介绍。美国劳雷工业公司北京代表处林恢勇、阳明两位教授深入细致地给学员们讲解了 ADCP 的含义、工作原理以及如何利用它进行断面流量、剖面的测量, 并在扬州夹江进行了实际操作演示。通过此次培训, 学员们基本掌握了 ADCP 的基础知识和操作应用技能。ADCP 多谱勒测流仪在环保领域的应用将为环境管理部门实行水污染物总量控制提供有力的技术支持。

摘自中国环境监测总站《环境监测信息简报》2001 年第 6 期