

文章编号:1000-582X(2008)05-0563-05

不等时距灰色模型的边坡位移预测及软件化

许江, 季惠英, 唐晓军

(重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要:针对灰色理论传统的等时距 GM(1,1)模型存在不能应用于工程实际中常常存在的非等时距的监测时序问题,建立了不等时距的灰色 GM(1,1)边坡位移预测模型。鉴于模型建立及应用中的计算比较烦琐,将模型编制成应用软件,支持输入少量历史监测数据预测指定时间的边坡位移。通过实例利用应用软件对边坡位移进行了预测,实际证明其拟合精度较好,预测结果正确可靠,能够反映边坡位移的客观存在与发展态势,且提高了效率,便于实际工程应用。

关键词:位移预测;不等时距;灰色模型;边坡稳定

中图分类号:TD824.7

文献标志码:A

Predication and calculational software for slope displacement of unequal interval gray model

XU Jiang, JI Hui-ying, TANG Xiao-jun

(Key Laboratory for Exploitation of Southwestern Resources & Environmental Disaster Control Engineering Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: The traditional model of equal interval gray system GM(1, 1) is not often applied in actual projects due to unequal interval monitor data. Thus, an unequal interval gray model for slope displacement's predication was established. However, its work, including the calculation of the model's establishment and its application, was too complicated. In order to deal with this problem, the model was written as computational software which can support input of former monitor data and predict side slope displacement at some specified time. A real example demonstrated that the fitting precision of the software was high and the prediction reliable. The software can predict well the slope displacement tendency. This model increases practical project efficiency and is easy to use.

Key words: deformation predication; unequal interval; gray model; slope stability

边坡监测是确保工程安全、进行边坡失稳预报和了解坡体失稳机理最重要的手段之一,而边坡变形破坏过程的位移、位移速率是判断边坡变形破坏时刻的重要信息,因此,对边坡变形破坏过程的位移、位移速率的预测就显得十分必要^[1]。日前,边坡变形破坏的位移、位移速率的预测方法比较多,有分

形理论、非线性时间序列模型以及神经网络法等,灰色模型更是其中应用比较广泛的一种方法。

在灰色预测中,应用最广泛的是邓聚龙教授提出的 GM(1,1)模型^[2],由于创建 GM(1,1)模型时,引入了等时距概念,因而使用 GM(1,1)模型的前提条件是建模序列必须满足等时距的要求。而在岩土

收稿日期:2007-12-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50574108);国家自然科学基金重点资助项目(50534080)

作者简介:许江(1960-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事岩石力学与工程方面的研究,(Tel)023-6511236;
(E-mail)jiangxu@cqu.edu.cn。

土领域,往往存在非等时距的监测时序问题。基于此笔者对建立适用于边坡位移预测的不等时距的灰色模型及其软件化做了研究。

1 基于等时距原理的不等时距

GM(1,1)建模原理

灰参数的求解运算要对原始数据序列进行累加生成运算,因为原始数据序列有明显的摆动,而经过累加生成后随机性会被弱化,且累加次数越多随机性弱化的越多,通常认为非随机的多次累加序列大多可用指数曲线逼近^[3-5]。

假设有一组等时距序列为

$$X^{(0)} = (X^{(0)}(t_1), X^{(0)}(t_2), \dots, X^{(0)}(t_n)), \quad (1)$$

其中 $\Delta t_k = t_k - t_{k-1} = \text{const} = 1 (k = 1, 2, \dots, n)$, t_k 为各离散数据所对应的时间。

$$\begin{aligned} X^{(1)}(t_k) &= \sum_{i=1}^k X^{(0)}(t_i) \\ &= X^{(0)}(t_1) \times 1 + X^{(0)}(t_2) \times 1 + \\ &\quad \dots + X^{(0)}(t_k) \times 1 \\ &= X^{(0)}(t_1) \times \Delta t_1 + X^{(0)}(t_2) \times \Delta t_2 + \\ &\quad \dots + X^{(0)}(t_k) \times \Delta t_k. \end{aligned} \quad (2)$$

假设有时间间距为 Δt_k 的序列

$$X^{(0)} = (X^{(0)}(t_1), X^{(0)}(t_2), \dots, X^{(0)}(t_n)), \quad (3)$$

其中 $\Delta t_k = t_k - t_{k-1} \neq \text{const} (k = 1, 2, \dots, n)$ 。

根据等时距序列一次累加生成原理可得一次累加更一般的形式为

$$X^{(1)}(t_k) = \sum_{i=1}^k X^{(0)}(t_i) \Delta t_i, k = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

通过式(4)对原不等时距序列进行一次累加生成求解累加生成序列 $X^{(1)}$,

$$X^{(1)} = (X^{(1)}(t_1), X^{(1)}(t_2), \dots, X^{(1)}(t_n)). \quad (5)$$

不等时距序列微分方程的时间响应式为

$$\hat{X}^{(1)}(t_k) = \left(X^{(1)}(t_1) - \frac{u}{a} \right) e^{-a(t_k - t_1)} + \frac{u}{a}. \quad (6)$$

由于对某一具体的数据序列来说 $X^{(1)}(t_1)$ 和参数 a, u 都是定值,因此令 $p = X^{(1)}(t_1) - \frac{u}{a}$, $\frac{u}{a} = X^{(1)}(t_1) - p$, 则

$$\hat{X}^{(1)}(t_k) = p(e^{-a(t_k - t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1). \quad (7)$$

原不等时距序列在一次累加时进行了加权,所以在一次累减时要进行相应的还原,于是可得预测

值 $\hat{X}^{(0)}(t_k)$ 为

$$\left. \begin{aligned} \hat{X}^{(0)}(t_1) &= \frac{\hat{X}^{(1)}(t_1)}{\Delta t_1}, k=1; \\ \hat{X}^{(0)}(t_k) &= \frac{\hat{X}^{(1)}(t_k) - \hat{X}^{(1)}(t_{k-1})}{\Delta t_k}, k=2, 3, \dots, n. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

2 灰色模型的软件化

不等时距灰色模型 GM(1,1) 边坡位移预测模型构建完成后,选用 Visual C++ 6.0 编制相应的边坡位移监测预警程序。Visual C++ 是 Microsoft 公司基于 Windows 操作系统的 C++ 语言程序的可视化编程工具。Visual C++ 6.0 是众多 Visual C++ 中的最高版本。Visual C++ 的执行速度快,对操作系统的访问权限高,这些是其他许多的编程工具所无法比拟的^[6]。本边坡位移监测预警程序的编制利用 Visual C++ 6.0 提供的两个功能强大的编程工具 AppWizard (应用程序向导) 和 ClassWizard (类向导) 来完成。先用 AppWizard 创建一个基于对话框的应用程序框架,添加相应的各种控件,再用 ClassWizard 在应用程序框架之上增加新的类、成员变量与函数,最后编辑相应的消息函数完成整个程序,其流程图如图 1 所示。

2.1 边坡位移预测系统的算法结构

对于一组具体的数据序列,构建不等时距 GM(1,1) 模型关键在于灰参数的求解及为提高模型精度所进行的残差补偿,因此,模型的软件化所需解决的关键问题也在于此。

2.1.1 不等时距 GM(1,1) 模型灰参数求解

对于所有的累加生成数据与预测值之间应存在下述关系

$$\left. \begin{aligned} X^{(1)}(t_2) &= \hat{X}^{(1)}(t_2) = p(e^{-a(t_2 - t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1), \\ X^{(1)}(t_3) &= \hat{X}^{(1)}(t_3) = p(e^{-a(t_3 - t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1), \\ &\quad \vdots \\ X^{(1)}(t_n) &= \hat{X}^{(1)}(t_n) = p(e^{-a(t_n - t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中 n 为已知的原始数据序列个数。

$$a_{ij} = \frac{1}{t_j - t_i} \ln \left(\frac{t_j - t_1}{t_i - t_1} \cdot \frac{X^{(1)}(t_i) - X^{(1)}(t_1)}{X^{(1)}(t_j) - X^{(1)}(t_1)} \right). \quad (10)$$

因为方程组(9)共有 $n-1$ 个方程,于是对任意两个方程联立求解总共可求得 C_{n-1}^2 个 a_{ij} ,取其平均值值得最终的 a 值为

$$\hat{a} = \bar{a} = \frac{1}{C_{n-1}^2} \sum_{i=2}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \quad (11)$$

接下来对 p 进行求解,将式(11)求得的平均值

\hat{a} 分别代入式(9)后可得 $n-1$ 个方程

$$\left. \begin{aligned} X^{(1)}(t_2) &= p(e^{-\hat{a}(t_2-t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1), \\ X^{(1)}(t_3) &= p(e^{-\hat{a}(t_3-t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1), \\ &\vdots \\ X^{(1)}(t_n) &= p(e^{-\hat{a}(t_n-t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

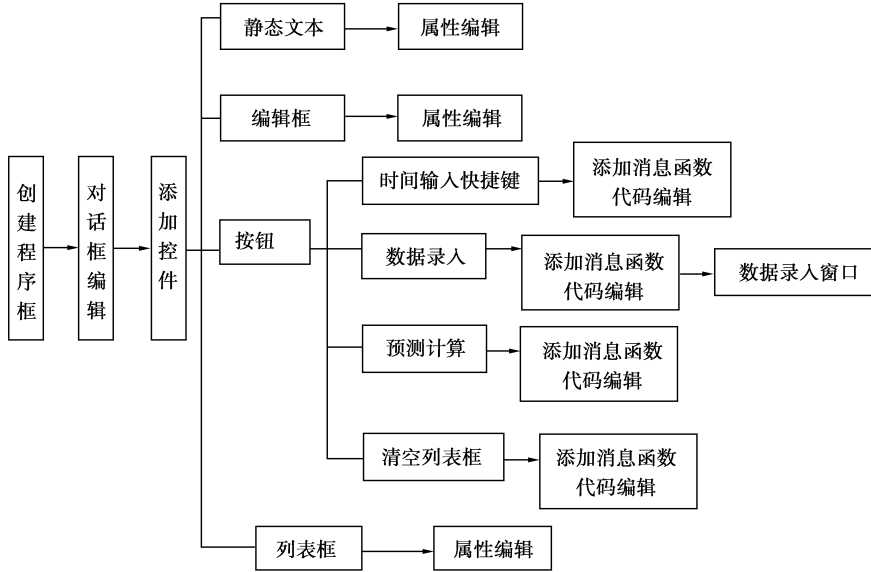


图 1 流程图

式(12)中每个方程都可求出一个 p 值,那么 $n-1$ 个方程可求得 $n-1$ 个 p (记为 p_i),取其平均值

$$\hat{p} = \bar{p} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n p_i \quad (13)$$

至此,得到不等时距下的灰色 GM(1,1)模型

$$\hat{X}^{(1)}(t_k) = \hat{p}(e^{-\hat{a}(t_k-t_1)} - 1) + X^{(1)}(t_1) \quad (14)$$

经一次累减还原后的初值数据的预测值

$\hat{X}^{(0)}(t_k)$ 为

$$\begin{aligned} \hat{X}^{(0)}(t_k) &= \frac{\hat{X}^{(1)}(t_k) - \hat{X}^{(1)}(t_{k-1})}{\Delta t_k} \\ &= \frac{\hat{p}(e^{-\hat{a}\Delta t_k} - 1)e^{-\hat{a}(t_{k-1}-t_1)}}{\Delta t_k} \end{aligned} \quad (15)$$

当 $k=1$ 时, $\hat{X}^{(0)}(t_1) = \frac{\hat{X}^{(1)}(t_1)}{\Delta t_1}$.

2.1.2 灰预测的检验

在预测精度不高时,可以进一步建立预测值与原始值间的差所组成的残差模型进行修正,将残差 GM(1,1)模型预测值加到原来的预测值上以提高预测精度。残差补偿的过程大致上与上述模型构建过程一致,因此,在软件化过程中只需设计一个循环

即可完成一次残差补偿。建立一次一阶残差模型后,如果精度仍然不高,可继续进行二次残差模型修正。模型精度分级表^[8]见表 1。

表 1 模型精度分级表

精度等级	P	C
1 级(好)	$0.95 \leq P$	$C \leq 0.35$
2 级(合格)	$0.80 \leq P < 0.95$	$0.35 < C \leq 0.5$
3 级(勉强)	$0.70 \leq P < 0.80$	$0.5 < C \leq 0.65$
4 级(不合格)	$P < 0.70$	$0.65 < C$

2.2 边坡位移预测系统简介

完成后的边坡位移预测系统操作界面如图 1 所示。这个系统主要由数据录入、预测时间输入、操作功能键及预测结果输出框等几个部分组成。

1)数据录入。其界面如图 2 所示。系统设计了两种数据录入方式,一种为键盘输入,另一种为 txt 格式的数据文件输入方式。

2)预测时间输入。其输入格式为年一月一日,可以在键盘上输入任意时间,也可以利用下方的 3

个快捷键。

3)操作功能键。总共有 3 个功能键组成。预测:点击这个键开始预测。清空:清空预测结果框。关闭:关闭程序。

4)预测结果输出框。输出预测结果。

3 应用实例

采用渝黔高速公路某边坡的一个测点从 2005 年 2 月 15 日到 2005 年 4 月 28 日之间的不定期观测记录数据来验证此程序的可靠性。计算过程:先在程序主页面(图 1)中点击数据录入键,在弹出的数据录入页面中输入实测数据(图 2),然后在主页中输入需要预测的时间,点击预测键就可以得到模型的各个参数及预测值(图 1)。根据各个灰参数得出预测值 $\hat{X}^{(0)}(t_k)$ 计算式

$$\hat{X}^{(0)}(t_k) = \frac{37\ 053.58(e^{0.003\ 0\Delta t_k} - 1)e^{0.003\ 0(t_{k-1}-t_1)}}{\Delta t_k} - 100 + \left(\frac{465\ 326.04(e^{0.000\ 2\Delta t_k} - 1)e^{0.000\ 2(t_{k-1}-t_1)}}{\Delta t_k} - 100 \right) + \left(\frac{10\ 009\ 980.32(e^{0.000\ 01\Delta t_k} - 1)e^{0.000\ 01(t_{k-1}-t_1)}}{\Delta t_k} - 100 \right), \quad (16)$$

且模型 $P=1, C=0.1$ 精度已达到一级好。如此逐个输入需预测的时间,得到各个时间的预测的位移值(表 2)。

与实测曲线吻合度是非常的好,因此,运用此基于不等时距灰色模型的边坡位移预测系统进行位移预测是可行的。

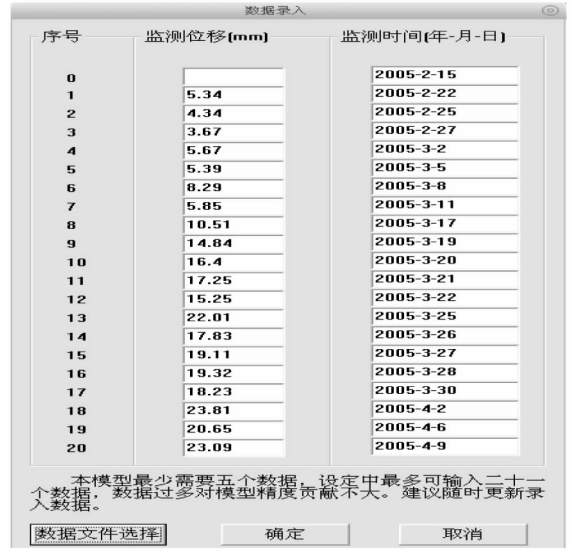


图 3 数据录入页面

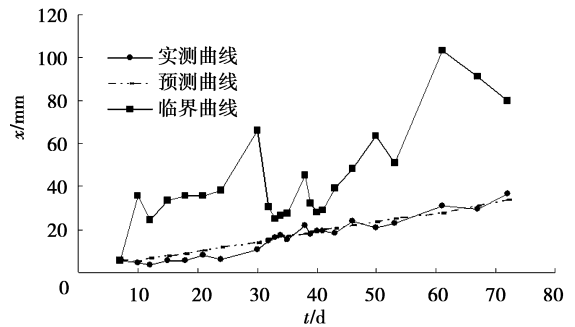


图 4 边坡预测位移—实测位移曲线对比图



图 2 程序主页面

表 2 预测值与实测值的比较

监测日期	累计 时间/d	实测值 /mm	预测值 /mm	残差 /mm	相对 残差/%
2005-02-22	7	5.34	5.34	0.00	0.03
2005-02-25	10	4.34	5.32	-0.98	-22.50
2005-02-27	12	3.67	6.42	-2.75	-74.99
2005-03-02	15	5.67	7.53	-1.85	-32.70
2005-03-05	18	5.39	8.86	-3.48	-64.54
2005-03-08	21	8.29	10.20	-1.91	-23.10
2005-03-11	24	5.85	11.55	-5.70	-97.57
2005-03-17	30	10.51	13.59	-3.08	-29.27
2005-03-19	32	14.84	15.41	-0.57	-3.85
2005-03-20	33	16.40	16.10	0.30	1.83
2005-03-21	34	17.25	16.56	0.69	4.02
2005-03-22	35	15.25	17.02	-1.77	-11.60

图 4 为实测曲线与预测曲线的对比图,图中的临界曲线是根据边坡的日平均位移速率 10 mm/d 的失稳临界值计算得出。从图中可以看出预测曲线

续表 2

监测日期	累计 时间/d	实测值 /mm	预测值 /mm	残差 /mm	相对 残差/%
2005-03-25	38	22.01	17.94	4.07	18.48
2005-03-26	39	17.83	18.87	-1.04	-5.82
2005-03-27	40	19.11	19.33	-0.22	-1.18
2005-03-28	41	19.32	19.80	-0.48	-2.49
2005-03-30	43	18.23	20.50	-2.27	-12.46
2005-04-02	46	23.81	21.67	2.14	8.99
2005-04-06	50	20.65	23.32	-2.67	-12.93
2005-04-09	53	23.09	24.97	-1.88	-8.14
2005-04-17	61	31.00	27.60	3.39	10.95
2005-04-23	67	29.66	30.98	-1.32	-4.45
2005-04-28	72	36.75	33.67	3.08	8.38
2005-08-06	172	81.44	61.15	20.29	24.91
2005-08-14	180	78.31	91.46	-13.15	-16.80

4 结 语

1) 边坡位移等时距 GM(1,1) 模型要求时间序列的连续性, 建立的不等时距灰色模型克服了这一不足, 经验证, 模型采用数据少, 拟合精度高, 预测结果正确可靠, 能够反映边坡位移的客观存在与发展态势。

2) 为了更加准确合理地进行长期预测, 建议对数据进行新陈代谢, 即随时将最新的监测数据填充进来代替比较陈旧的数据建立新陈代谢后的 GM(1,1) 模型, 这样就能够避免早期异常数据的波动造成的干扰, 从而提高预测精度。

3) 所给的边坡位移预测系统大大简化了模型建立及应用中计算量, 且可作为边坡监测系统的一部分, 对边坡进行长期的动态监测。

参考文献:

- [1] 俸锦福, 尹光志. 向家山滑坡成因析及其综合治理研究[J]. 土工基础, 2006, 20(4): 12-15.
FENG JIN-FU, YIN GUANG-ZHI. Stability analysis and comprehensive treatment for xiangjiashan landslide[J]. Soil Engineering and Foundation, 2006, 20(4): 12-15.
- [2] 蒋刚, 林鲁生, 刘祖德, 等. 边坡变形的灰色预测模型[J]. 岩土力学, 2000, 21(3): 244-247.
JIANG GANF, LIN LU-SHENG, LIU ZU-DE, et al. Prediction grey model for slope displacement [J]. Rock and Soil Mechanics, 2000, 21(3): 244-247.
- [3] DENG J L, DAVID K W N. Chaos in grey model GM(1,N)[J]. The Journal of Grey System, 1996, 8(1): 1-10.
- [4] 李克刚. 基于不等时距 GM(1,1) 模型预测边坡失稳变形[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(6): 988-992.
LI KE-GANG. Prediction for slope displacement based on unequal interval GM(1,1) model [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006, 2(6): 988-992.
- [5] 朱玉平, 莫海鸿, 林鲁生. 灰色模型在某供水工程边坡位移预测中的应用[J]. 勘察科学, 2003, 9: 45-48.
ZHU YU-PING, MO HAI-HANG, LIN LU-SHENG. Application of gray model in the slope deformation prediction of a water supply reconstructing project[J]. Site Investigation Science and Technology, 2003, 9: 45-48.
- [6] 沈大林, 杨旭. Visual C++ 6.0 程序设计案例教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [7] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1988.
- [8] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1982.

(编辑 赵 静)