

# 灰色预测在某边坡变形监测中的应用

党星海<sup>1,2</sup>, 周林丽<sup>1</sup>, 魏玉明<sup>1</sup>, 陈元鹏<sup>1</sup>, 杨育丽<sup>1</sup>

(1. 兰州理工大学土木工程学院, 兰州 730050; 2. 甘肃土木工程防灾减灾重点实验室, 兰州 730050)

**【摘要】** 边坡灾害是危害最为严重的主要地质灾害之一, 近年来随着建筑群体的日益扩大, 边坡工程也成为许多建筑物不可或缺的一部分, 为了减少边坡灾害对人民生命财产安全造成的损失, 必须及时对边坡灾害进行变形监测和预报。文中以某黄土边坡为例, 详细地讨论了灰色预测模型的基本内容和 GOM 动态灰色预测模型的建模过程, 并成功地将其应用于某黄土边坡变形监测的数据预报。实践证明, GOM 模型由于是 GM(1, 1)模型的优化, 预测精度更高; 同时该预测模型通过引入灰数, 淡化了灰平面的灰度, 使预测结果有所改善。

**【关键词】** 黄土边坡; 变形监测; 动态灰色预测模型; GOM

**【中图分类号】** TU196

**【文献标识码】** B

**【文章编号】** 1001-6864(2011)02-0088-03

灰色预测可以用来进行长期预测, 并具有所需原始信息量少、计算简单及预测精度较高等优点。现常用的是灰色预测模型 GM(1, 1), 但是该模型只是从静态的角度利用数据, 并且计算量较大。为了更充分的利用系统信息, 减少计算量, 提高精度, 我们对 GM(1, 1)模型进行了优化, 提出 GOM 模型。文中结合某黄土边坡变形监测数据详细分析和研究了两种动态灰色预测模型在此类问题中的应用。

## 1 灰色预测模型的建立

灰色预测模型又称 GM 模型, 它是一组用微分方程给出的数学模型。利用 GM 可对所研究系统的发展变化进行全局观察、分析和长期预测。根据预测因子的数目可分为一阶多元预测模型 GM(1, N)和一阶一元预测模型 GM(1, 1)。考虑到 GM(1, 1)在实际工程中的应用性, 下文主要介绍 GM(1, 1)模型的建立和操作。

### 1.1 灰色 GM(1, 1)模型<sup>[1]</sup>

GM(1, 1)是 GM(1, N)中 N=1 的特例, 设某边坡变形监测网中某一监测点的各期数据组成时间序列:

$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$  对原始数据序列  $x^{(0)}$  作一次累加生成新的序列:

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$$

$$x_i^{(0)} = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n), x^{(0)}(n+1))$$

其中,  $x^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i x^{(0)}(k)$ , 则 GM(1, 1)的白化

形式方程为:

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

这是一阶一元微分方程模拟, 其中  $a$ 、 $u$  是待识别的参数。(1)式解的离散形式为:

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

其中, 参数的估值  $\hat{a} = (a \ u)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$

设  $\hat{x}^{(1)}(k)$  是由 (2) 式得到的模型计算值, 由  $\hat{x}^{(1)}(k)$  累减:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) \quad (3)$$

得变量  $\hat{x}^{(0)}(k)$  的 GM(1, 1)模型计算值  $\hat{x}^{(0)}(k)$ ,

即:

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(1) &= \hat{x}^{(0)}(1) \\ \hat{x}^{(0)}(k) &= \left[ \hat{x}^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] \cdot (1 - e^{-a}) e^{-a(k-1)} \\ \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \left[ \hat{x}^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] \cdot (1 - e^{-a}) e^{-ak} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, n$$

### 1.2 GOM 模型的建立<sup>[2]</sup>

我们首先利用 GM(1, 1)模型得到模型参数  $a$ 、 $u$  然后对累加生成序列  $x^{(1)}(k)$  作平移变换以提高精度, 平移值为  $c$  如果设  $q^{(0)}(k+1) = x^{(0)}(k+1) - \hat{x}^{(0)}(k+1)$  为模型的残差, 则有最优平移值<sup>[3]</sup>:

$$c = \frac{e^a + 1}{1 - e^{-2(n-1)a}} \sum_{k=1}^{n-1} q^{(0)}(k+1) e^{-ak} \quad (5)$$

将 GM(1, 1)模型中的  $\hat{x}^{(1)}(k)$  换为  $\hat{x}^{(1)}(k) + c$  所得到的模型即为 GOM 模型, 即:

$$\frac{d\hat{x}^{(1)}}{dt}(t) + a[\hat{x}^{(1)}(t) + c] = u \quad (6)$$

得:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \left[ \hat{x}^{(0)}(1) - \frac{u-ac}{a} \right] (1 - e^{-a}) e^{-ak} \quad (7)$$

## 2 动态 GM(1, 1)和 GOM 模型应用

甘肃省与英国国际发展部在无援助项目方面的合作始于 1998 年。合作项目涉及基础教育、医疗卫生、艾滋病防治、水资源管理、女童发展等领域, 其中, “甘肃基础教育项目”是甘肃省争取到的资金最大的无援助项目之一。坐落于甘肃省的某山村小学为英国扶贫项目一期工程之一, 其地理位置约在东经

103°、北纬 35°左右。由于该学校所有教学用教室都位于山体脚下，并且所相邻山体有耕种用地，具有较强的不稳定性，给所有上课学生造成很大的潜在威胁。为保障安全，有必要对护坡进行变形监测和灾害预报，由于本项目意义重大，并且要求高、现场地形条件复杂，确定基于全球定位系统 (GPS)及全站仪技术相结合的测量实施方案。在护体上布置了 J1、J3、J5 三个变形监测点，为了能够全面反映变形体的变形情况，将变形监测点均匀布设在护体表面。

数据采集工作从 2006年 9月开始已经进行了五期的观测，各期监测数据如表 1所示。现将其中一点 (J5点的 X坐标值)在监测期的 5次观测值进行试算<sup>[5]</sup>，用这五期的实际观测值作为原始数据列来建立 GM(1, 1)和 GOM 模型进行边坡护体变形的预测预报，并与其实际观测值进行比较，原始数据、预测值、残差及平均相对误差如表 2。

点号	周期	X	Y	Z
J1	1	1556.677	1446.921	1511.954
	2	1556.680	1446.925	1511.964
	3	1556.685	1446.932	1511.980
	4	1556.686	1446.935	1511.994
	5	1556.690	1446.947	1512.050
J3	1	1563.678	1467.455	1511.853
	2	1563.679	1467.457	1511.856
	3	1563.681	1467.461	1511.863
	4	1563.685	1467.462	1511.890
	5	1563.690	1467.464	1511.924
J5	1	1569.842	1485.606	1511.869
	2	1569.845	1485.610	1511.880
	3	1569.850	1485.617	1511.901
	4	1569.851	1485.618	1511.904
	5	1569.855	1485.622	1511.916

周期	实测值 X	GM(1, 1)模型		GOM 模型	
		模拟值	残差	模拟值	残差
1	1569.842	1569.842	0	1569.842	0
2	1569.845	1569.8444	0.0006	1569.8446	0.0004
3	1569.850	1569.8513	-0.0013	1569.8512	-0.0012
4	1569.851	1569.8402	0.0008	1569.8403	0.0007
5	1569.855	1569.8551	-0.0001	1569.855002	-0.000002
平均相对误差 %		0.000045		0.000042	

的精度都很高，其平均相对误差均小于 3%，且 GOM 的预测精度高于 GM(1, 1)，这说明所建立的 GM(1, 1)及 GOM 预测模型都是可靠的、稳定的，可用于边坡变形的预测预报<sup>[6]</sup>。

通过前 5期的观测数据可发现 J1、J3两监测点的变形值较 J5点大，故对 J1、J3两点进行灰色预测，预测结果如下表 3。

点号	周期	X	Y	Z
J1	6	1556.6913	1446.9392	1511.9578
	7	1556.6932	1446.9489	1511.9607
	8	1556.6937	1446.9627	1511.9660
	9	1556.6944	1446.9823	1511.9751
	10	1556.6951	1447.0103	1511.9909
J3	6	1563.6883	1467.4652	1511.9083
	7	1563.6939	1467.4673	1511.909
	8	1563.702	1467.4693	1511.911
	9	1563.7138	1467.4712	1511.948
	10	1563.7308	1467.4730	1511.967

J1、J3两变形监测点的变形值如下表 4所示，由表 4可知，护体在 X方向最大位移量为 0.0408m，在 Y方向最大位移量为 0.0633m，最大沉降量为 0.0591m，均在规范要求的安全范围以内，说明整个护体在观测期间未发生明显的沉降和倾斜变形，目前是稳定安全的。

点号	周期	DX	DY	DZ
J1	6	0.0013	-0.0078	-0.0922
	7	0.0032	0.0019	-0.0893
	8	0.0037	0.0157	-0.084
	9	0.0044	0.0353	-0.0749
	10	0.0051	0.0633	-0.0591
J3	6	-0.0017	0.0012	-0.0157
	7	0.0039	0.0033	-0.015
	8	0.012	0.0053	-0.013
	9	0.0238	0.0072	0.024
	10	0.0408	0.009	0.043

### 3 结语

(1) 从个监测点变形值相比较可以发现，预测精度随预测周期增加而降低，这是因为对一个系统来说，随着时间的推移，未来的一些扰动因素将不断进入系统而对其施加影响，用之进行长期预测必然会产生较大的偏差。因此实时的加入新的信息，淘汰旧的信息，

# 加载条件下锚杆挡土墙有限元极限分析

应志民

(丽水市人民防空办公室, 浙江 丽水 323000)

**【摘要】** 锚杆挡土墙在土木工程领域应用已经很广,但锚杆挡土墙的理论研究还较滞后。通过有限元数值模拟方法,建立锚杆挡土墙加固边坡的三维有限元模型,采用极限分析有限元法对加锚杆挡土墙前后边坡的极限承载能力、塑性区、位移变化进行了比较分析,得出了锚杆挡土墙对边坡位移和塑性区的控制作用以及边坡的极限荷载。

**【关键词】** 锚杆挡土墙;数值模拟;三维有限元;极限荷载

**【中图分类号】** TU476.4

**【文献标识码】** B

**【文章编号】** 1001-6864(2011)02-0090-03

锚杆挡土墙是由钢筋混凝土墙面、立柱、面板和锚杆组成的支挡结构,依靠锚固在稳定岩土层中锚杆的抗拔力平衡墙面处的土压力。自20世纪60年代由铁路部门自行设计的第一道锚杆挡土墙应用以来,锚杆挡土墙已广泛应用于公路、铁路、煤矿、水利、基坑围护等支挡工程中,目前已报道的工程实例<sup>[1]</sup>也已经很多。但是目前对于锚杆挡土墙的理论研究还较少,设计时往往采用工程类比法进行设计。

## 1 三维有限元模型的建立

### 1.1 计算参数取值

为了使分析具有一般意义,建立理想化模型。锚杆挡土墙高9m,墙顶为一6m宽的道路,垂直开挖,锚杆钢筋采用Φ36 HRB335钢筋,间距为2.5m×2.5m,锚杆倾角15°,锚杆挡墙肋柱为300mm×400mm,挡土板厚度为200mm。岩体、挡土板和肋柱均采用 SOLID45单元,锚杆采用三维杆单元 LINK8单元模拟。岩体弹性模量  $E=300\text{MPa}$  重度为  $22\text{kN/m}^3$ ,粘结力  $c=30\text{kPa}$  内摩擦角为  $25^\circ$ ,泊松比为 0.35。锚杆弹性模量  $E=2\times 10^5\text{MPa}$  重度为  $78\text{kN/m}^3$ ,泊松比为 0.2。根据有关参数,计算锚杆极限承载力为 216kN。混凝土

弹性模量  $E=28000\text{MPa}$  重度为  $25\text{kN/m}^3$ ,泊松比为 0.25。

### 1.2 计算范围、边界条件的确定

计算范围对计算结果的影响是比较明显的,参考以往计算经验和文献报道<sup>[2,3]</sup>,取计算范围为:坡脚到左端边界的距离为开挖深度的1.5倍,坡脚到右边边界的距离为4开挖深度的4.5倍,上下边界总高为2倍开挖深度。

边界条件为:底面边界加Y方向的约束;两个侧面采用滚动支座,竖直方向没有约束,可自由滑动,产生竖向位移;前后土体不能相互挤压,模型的前后边界加Z方向的约束。

### 1.3 三维有限元模型的建立

以往对锚杆挡土墙的有限元分析多采用平面应变模型<sup>[4,5]</sup>,但平面应变模型易加大锚杆的作用。文中取一系列锚杆的作用范围作为分析对象,建立的三维有限元模型主要考虑具有有限尺寸的一系列锚杆对半无限薄层岩体的整体三维作用。根据上述参数及边界条件,进行网格划分,建立有限元模型,模型的单元划分基本上都用了手动控制,选取六面体八节点等参数

可以突出系统最新的变化趋势。GOM模型更是对GM模型的优化。

(2) 虽然动态灰色预测模型在作长期预测时有一定优越性,但预测时段不能太长,其优越性是相对的。

## 参考文献

- [1] 邓聚龙. 灰色预测与决策 [M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1996.
- [2] 肖新平, 宋中民, 李峰. 灰技术基础及其应用 [M]. 北京:科学出版社, 2005, 8.

- [3] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论及应用 (第三版) [M]. 北京:科学出版社, 2005, 6.
- [4] 王利, 张双成, 李亚红. 动态灰色预测模型在大坝变形监测及预报中的应用研究 [J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(3): 328-332.
- [5] 陈伟清. 灰色预测在建筑物沉降变形分析中的应用 [J]. 测绘科学, 2005, 30(5): 43-45.
- [6] 王艳慧, 曹红杰, 杨国祥. 灰色预测模型的选择及其在大坝安全预报中应用的研究 [J]. 地矿测绘, 2001, (2): 6-7.

**【收稿日期】** 2010-09-30

**【作者简介】** 党星海 (1972-), 男, 甘肃平凉人, 副教授, 硕士, 从事结构健康监测方面的研究。