

大冶铁矿滑坡预测模型研究

肖云¹, 周春梅¹, 虞珏², 李沛²

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074;

2. 武汉钢铁集团矿业有限责任公司大冶铁矿, 湖北 黄石 435006)

摘要:在深入研究滑坡变形特征的基础上,以大冶铁矿东露天采场狮子山北帮滑坡位移监测数据为依据,采用灰色理论,将滑坡的预测模型与滑坡运动特征相结合,推导出传统GM(1,1)模型和优化的GM(1,1)模型,通过验算比较,优化的GM(1,1)模型预测曲线与实测曲线的拐点及发展趋势高度吻合,模拟精度高,预测值可信度大,对临滑滑坡也有一定的预警意义.优化的GM(1,1)模型可以用于中长期预测模型.

关键词:优化GM(1,1)模型;滑坡预测;大冶铁矿

中图分类号:X43

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.01.004

0 引言

近40年来,国内外许多学者为滑坡时间预报作出了大量的工作,提出了几十种预测理论模型和方法.就各国研究现状而言,中、日两国滑坡灾害研究开展较多,欧美相对较少.众多学者中,基于监测资料的趋势定量预报的研究占多数.值得注意的是,不同地质情况的滑坡,应该从不同的实际去考虑滑坡的预报问题.

大冶铁矿形成了国内外罕见的裂隙岩质高陡边坡,1972年以来采场北坡内发生了大小不等的崩塌、滑坡地质灾害达20多次.目前灾害仍然频繁发生,直接威胁到正在坑底开采的人员、设备的安全,因此对北帮滑坡运动特征及预测模型的研究刻不容缓.

1 滑坡概况

大冶铁矿东采狮子山北帮滑坡为一岩质滑坡,该滑坡发育于大冶铁矿东露天采场北帮斜坡上,斜坡坡顶高程+276 m,坡底高程-168 m,坡面因人工采矿呈折线形,总体坡角50~52°.滑坡位于尖F₀断层的上盘,于1996年发生滑动,称为Λ2滑坡.滑坡总体积86 000 m³,后缘高程+192 m,前缘剪出口高程-22 m,主滑方向SE/32°,垂直高差达214 m^[1].

2 滑坡运动特征

大冶铁矿地测科自1990年5月~1996年6

月对大冶铁矿东露天采场北帮斜坡上尖F₀滑坡及其西侧边坡岩体进行了监测,每一高程一般都有3~5个监测点,监测周期约为每月一次.

从滑坡体的后缘、中部、前缘监测点累计水平位移统计结果可以看出,滑坡中后部位移大,前缘位移小.从累计垂直位移监测数据看,岩质滑坡中后部垂直位移最大,同时距离F₀断层越近,位移越大^[2].

滑坡位移—时间变形曲线显示,变形发展上可分为三个阶段(如图1,以132-11点为例).匀速变形阶段,也可称为蠕滑阶段,该经历阶段一般为4~5年,曲线特征表现为下部比较平缓,曲线斜率较小,变形速度较小,一般小于1.0 mm/d.滑坡位移按一定的速率均匀增加,曲线较圆滑近似直线,无明显突变,边坡一直处于缓慢变形破坏,没有崩落发生.加速变形阶段,到达一定变形破坏阶段后,数值突然增大,位移曲线有明显的拐点,位移增加,速率快,该阶段一般为4~5个月,变形速度一般超过2.0 mm/d.滑坡可能发生,需要预警预报.裂缝增多并逐渐贯通,并出现台坎现象,滚石较为频繁,局部可能滑脱.破坏失稳阶段,该阶段一般经历一个月,位移曲线直线上升,曲线近

收稿日期:2009-10-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50874080),武汉工程大学校青年基金资助项目(Q200805)

作者简介:肖云(1979-),女,湖北武汉人,硕士,讲师,研究方向:防灾减灾工程.

似陡直,位移变形速度成倍增长,一般达到 10 mm/d,滑坡即将发生^[3]。

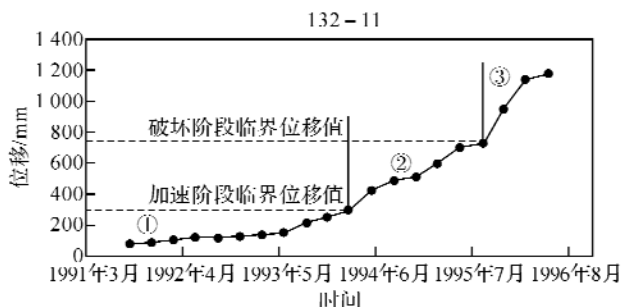


图 1 A2 滑坡体监测点 132-11 水平位移曲线

Fig. 1 Horizontal displacement curves of monitoring points 132-11 in A2 Landslide

3 基于位移信息的灰色理论模型研究

3.1 优化的 GM(1,1)模型

灰色系统(Grey System)理论是邓聚龙教授于 1982 年首先创立的一种新型理论,目前 GM(1,1)模型是应用最广泛的灰色模型之一^[3-7]。

GM(1,1)模型拟合曲线是指数曲线,在区间上指数曲线对应的面积总小于梯形对应的面积.传统的 GM(1,1)相当于一个完整的指数曲线,当序列数据越大时,模型的误差越大(图 2a).图 2b 可知, n 个小区间的面积之和可以更加接近于原始数据序列曲线,以此作为优化的 GM(1,1)模型,既能适用于低增长指数序列,又能适用于高增长指数序列,提高模型的精度和适用性。

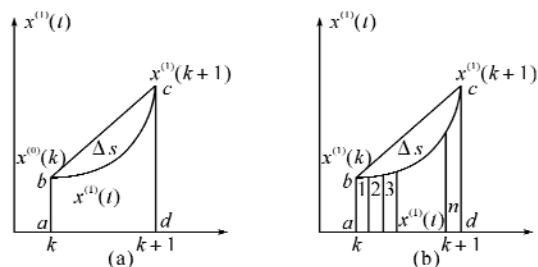


图 2 优化示意图(a 优化前;b 优化后)

Fig. 2 Optimization diagram

选取滑坡体中部 132-11 测点的全程观测数据,推导单点的灰色 GM(1,1)模型.除下雨天没有观测数据外,监测点定期每三个月大致相同时间观测一次,假定每个月均为 30 天,因此该变形观测资料可视为是等时间距的数据序列。

得到原始序列模拟预测值: $\hat{x}(t_k) = \frac{2062322.8e^{0.0002952(t_k - t_1)}(e^{0.0002952\Delta t} - 1)}{\Delta t} - 500$

经过二次修正后建立优化 GM(1,1)模型如下:

$$\hat{x}^{(0)}(t_k) = \frac{2062322.8e^{0.0002952(t_k - t_1)}(e^{0.0002952\Delta t} - 1)}{\Delta t} - 500 + \frac{2313194.7e^{0.0001982(t_k - t_1)}(e^{0.0001982\Delta t} - 1)}{\Delta t} - 500 + \frac{149026.8e^{0.0005237(t_k - t_1)}(e^{0.0005237\Delta t} - 1)}{\Delta t} - 100$$

式中 $k = 2, 3, \dots, n$, 当 $k = 1$ 时 $\hat{x}^{(0)}(t_1) = x^{(0)}(t_1)$ 。

比较两种不同模型的预测精度(见表 1).表明未经过优化时,平均相对残差为 34.53%;经过二次修正后,平均相对残差为 7.51%,经过二次修正后优化的 GM(1,1)模型其预测精度大大提高,满足 $P > 0.95, C < 0.35$ 为一级精度(好),并且预测数据与原数据序列之间偏差较小。

表 1 两种不同模型的预测精度比较

Table 1 The accuracy comparison of predicted and measured models

对比项目	传统 GM(1,1)模型	优化的 GM(1,1)模型
后验差比值 C	0.598	0.076
小误差概率 P	0.75	1
平均相对残差	34.51%	7.51%
满足精度要求	满足三级精度要求	满足一级精度要求

3.2 优化 GM(1,1)模型的验证

本次研究采用滑体上点的全程监测数据做为研究对象,预测曲线与实测曲线的对比图如图 3,从图中预测位移值与实际的实测值对照可以看

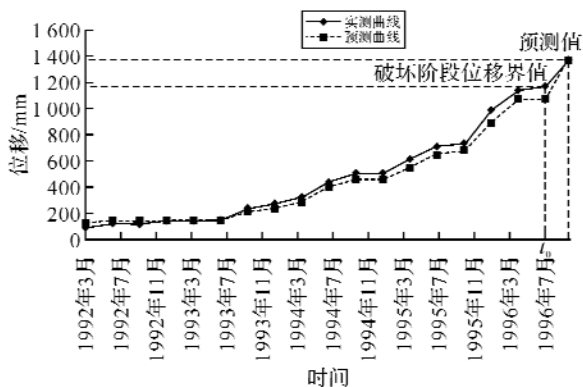


图 3 132-11 监测点推导的预测

曲线与实测曲线对比图

Fig. 3 The comparison of predicted and measured values of 132-11

出,不论边坡破坏—发展的任何阶段,预测曲线与实测曲线的拐点及发展趋势高度吻合.推导的预测模型曲线上滑坡破坏的时间从拐点坐标看明显一样.依据预测模型,推导下一时刻 1996 年 9 月的位移值 $\hat{x}^{(0)}(t_k)$ 为 1366.08 mm.从理论上分析,滑坡在加速变形过程中,当曲线上某点的切线与横坐标(时间轴)的夹角为 90° 时,则认为斜坡发生破坏,此点对应的时间为破坏时间,据此可进行滑

坡破坏时间预测预报。根据大量的滑坡监测资料分析,往往在 $89\sim 89.5^\circ$ 之间的斜率所对应的时间为滑坡剧滑时间危险段^[8]。从图中可以看出, t_0 时刻以后,位移时间曲线近似陡直,因此判断 t_0 值为滑坡破坏的临界拐点值,滑坡自此进入破坏失稳阶段, t_0 对应的具体时间为1996年6月。由于数据的观测精度,与实际的准确滑坡时间1996年7月1日仅有少量偏差。

通过对A2滑坡体上单点的GM(1,1)预测模型的研究可知,监测数据呈较规则的指数增长,优化的GM(1,1)模型有着较好的适用性(平均相对误差7.51%);满足预测精度为一级精度要求。

4 结 语

a. 通过对高陡边坡滑坡勘察、位移监测资料的多方面的综合分析,推导出的基于位移信息的优化GM(1,1)模型具有比传统GM(1,1)模型更高的预测精度,经过检验,预测曲线与实测曲线拐点及变形阶段、趋势均高度吻合。因此优化的GM(1,1)模型可以用于中长期预测模型,并且其模拟精度高,预测值可信度大,对临滑滑坡也有一定的预警意义。

b. 在滑坡变形的不同阶段,位移—时间曲线形态不同,呈现出典型的三阶段特征,处于临滑阶

段的位移—时间曲线呈现急剧上升的趋势。依据提出的预测模型,在系统监测的基础上,可根据曲线发展的拐点及趋势变化,判断位移发生变化的加速阶段,按变化趋势在曲线上找出滑坡失稳时刻,进行预报。

参考文献:

- [1] 尹小鹏,刘远志.大冶铁矿东露天采场高陡边坡综合治理技术研究[R].武汉:武汉钢铁集团矿业有限责任公司大冶铁矿,2006.
- [2] 李先福.大冶东露天采场高陡边坡自动监测与应急系统[R].武汉:武汉大学,2007.
- [3] 周志斌.大冶铁矿东采场边坡变形破坏特征及滑坡时间预报[J].中国矿业,2000(s2):17-19
- [4] 王祥,郑明新,张定邦.改进的灰色GM(1,1)模型在滑坡预测中的应用[J].华东交通大学学报,2008,25(4):11-12.
- [5] 李晓红,靳晓光,亢会明,等.GM(1,1)优化模型在滑坡预测预报中的应用[J].2001,19(3):265-267.
- [6] 许强,黄润秋.非线性科学理论在地质灾害评价预测中的应用[J].山地学报,2000,18(3):272-225.
- [7] 魏贵春.GM(1,1)模型在滑坡预测中的应用[D].武汉:中国地震局地震研究所.
- [8] 王家鼎,张倬元.典型告诉黄土滑坡群的系统工程地质研究[M].成都:四川科学技术出版社,1999.

Study on prediction model in Hubei Daye iron mine slope

XIAO Yun¹, ZHOU Chun - mei¹, YU Jue², LI Pei²

(1. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Daye Iron Mine of Mining Limited Company of Wuhan Iron Group, Huangshi 435006, China)

Abstract: Based on the study of damage characteristic and the landslide displacement monitoring data in Daye iron mine open pit, using grey theory, combining the prediction model and the characteristics of landslide movement, traditional GM (1,1) model and optimized GM (1,1) model are derived. By comparison, the predict values of optimized GM (1,1) model are in good agreement with the measured values. With high analog precision, predictive value of the credibility, it is of great significance to sliding landslide. So optimized GM (1,1) model can be used as long-term prediction models.

Key words: optimized GM (1,1); landslide prediction; Daye iron mine

本文编辑:龚晓宁