

黄茨滑坡时间预报反分析

李先福¹, 魏雨溪¹, 杨红梅²

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国五环工程有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘要: 滑坡时间预报在保护人员财产免受损失方面具有重要的现实意义, 合适的预报模型是预报成功的关键. 针对滑坡系统的模糊性、不确定性等特点, 采用了灰色系统预报滑坡时间. 结合甘肃省黄茨滑坡的监测得到的位移时间资料, 采用基于位移信息的 Verhulst 灰色模型, 用 Matlab 编制计算程序, 对黄茨滑坡的时间预报作反分析, 得出滑坡发生时间的预测值及预测滑坡变形发展曲线, 并将该结果与实际监测结果进行对比分析, 以验证该灰色模型在滑坡时间预报中的适用性. 结果表明, 灰色 Verhulst 模型应用于滑坡时间预报中是可行的; 时间预报结果与滑坡的实际滑动时间基本吻合, 预测滑坡变形曲线基本与位移监测值展布趋势一致. 合理的位移监测点布置、合适的记录时间间隔、位移数据的数学处理及多个监测点位移数据的综合分析有助于提高预报精度.

关键词: 滑坡; 时间预报; Verhulst 模型; 反分析

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2013.04.012

0 引言

我国是一个多山的国家, 特殊的地质条件导致滑坡等地质灾害频发, 且人员财产损失严重. 据初步统计, 我国每年因为滑坡导致的直接经济损失达 200 多亿元, 代价巨大. 滑坡预报分为空间预报(区域性滑坡预报、单个滑坡预报等)、时间预报、滑坡灾害范围预报等^[1]. 其中时间预报因其具有预报困难, 且在保护人员财产免受损失方面的重要作用等特点, 对此进行研究具有实用意义.

据许强^[2]等研究, 滑坡时间预报可以分为确定性预报模型、统计预报模型和非线性预报模型. 滑坡具有模糊性、灰色不确定性等特点, 灰色模型较适用于滑坡时间预报^[3-4]. Verhulst 模型是非线性预报模型的一种, 德国生物学家 Verhulst 在 1987 年研究生物的繁殖规律时发现的. 该灰色模型可以较好地模拟生物种群的繁衍、生长、成熟和消亡的过程, 在预报系统的未来运行状态方面具有明显优势, 已广泛运用于交通、工业、农业、经济等领域. 晏同珍^[5-7]教授认为滑坡也有一个变形、破坏、发展和破坏的过程, 二者具有一定的相似性, 于是把这一灰色模型引进到滑坡位移时间预报中.

铁道科学研究院西北分院于黄茨滑坡(1995, 甘肃)剧烈滑坡前成功预报该滑坡, 成为我国滑坡时间预报方面成功的典型案例, 并积累了宝贵的监测数据. 本研究采用 Verhulst 灰色模型, 结合黄茨滑坡位移监测信息, 对该滑坡临滑时间预报进行反分析, 并和实际监测值进行对比分析, 以验证灰色 Verhulst 模型应用于滑坡时间预报中的适用性.

1 Verhulst 预报模型基本原理

本文采用基于位移信息的 Verhulst 灰色模型. 早在 1988 年该模型就由晏同珍应用于滑坡的时间预报研究中, 1996 年殷坤龙、晏同珍等进一步发展完善^[8-9]. 其微分方程形式如下:

$$\frac{dx}{dt} = ax - bx^2 \quad (1)$$

其中, a, b 是系数, 用灰色系统模型求解. 其解为

$$t_r = -\frac{\Delta t}{a} \ln \left[\frac{bx_1}{a - bx_1} \right] + t_1 \quad (2)$$

系数 a, b 的灰色求解:

滑坡位移监测数据(等时间距 Δt): $x^{(0)} 1, x^{(0)} 2, \dots, x^{(0)} n$

累加生成操作(AGO)生成数列: $x^{(1)} 1, x^{(1)} 2, \dots, x^{(1)} n$ ($x^{(1)} k = x^{(0)} 1 + x^{(0)} 2 + \dots + x^{(0)} k$)

根据原始观测数据及累加时辰数列建立矩阵 A 、 B 、 Y_N :

$$A = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(x_1^{(1)} + x_2^{(1)}) \\ \frac{1}{2}(x_2^{(1)} + x_3^{(1)}) \\ \dots \\ \frac{1}{2}(x_{n-1}^{(1)} + x_n^{(1)}) \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -\{\frac{1}{2}(x_1^{(1)} + x_2^{(1)})\}^2 \\ -\{\frac{1}{2}(x_2^{(1)} + x_3^{(1)})\}^2 \\ \dots \\ -\{\frac{1}{2}(x_{n-1}^{(1)} + x_n^{(1)})\}^2 \end{bmatrix}$$

$$Y_N = [x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}]$$

a 、 b 系数按式(3)求解:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = [(A : B)^T (A : B)]^{-1} (A : B)^T Y_N \quad (3)$$

2 黄茨滑坡概况

黄茨滑坡位于兰州以西 60 km 处的黄河左岸,黄河四级阶地构成的台地的南缘,滑坡前缘直抵黄茨村,直接威胁黄茨村 63 户居民的生命财产安全。

黄茨滑坡是一个老滑坡,经历过多次滑动。由于多年农业灌溉而产生的沉降裂缝已出现十数年,后演化为滑坡后缘裂缝。西侧顺层面的滑面也已显现数年之久。1994 年,前缘剪出裂缝、鼓胀裂缝等陆续出现^[8]。

1997 年 1 月 27 日,铁道科学研究院西北分院根据半年来的调查、监测,分析计算后认为该滑坡会于 1 月 31 日至 2 月 7 日发生整体滑动,并发出预警报告。后该坡于 1 月 30 日凌晨发生滑动。

3 黄茨滑坡时间预报反分析

滑坡体上不同部位的变形和破坏发展情况不同,时间预报应尽量选择不同部分的位移监测数据进行综合分析。根据当时所收集的资料,电子单点位移计 A7、B2 均位于滑坡后缘,且 A7 的监测线跨越了后缘裂缝,所记录的数据可以充分说明滑坡当时的变形破坏情况。这里用 A7、B2 所采集的日位移量数据进行滑坡临滑时间预报。位移监测起始时间为 1995 年 1 月 23 日至 1995 年 1 月 29 日,如表 1。

表 1 黄茨滑坡位移监测表

Table 1 Displacement monitoring table of Huangci landslide

时间	23 日	24 日	25 日	26 日	27 日	28 日	29 日
A7 位移/ (mm/day)	7.0	7.0	6.0	3.0	9.0	8.4	8.0
B2 位移/ (mm/day)	3.2	7.8	14.1	20.2	27.0	34.5	42.0

用 Matlab 编制相应的程序,经过计算后可得到 a 、 b 值,从而得到滑坡时间的预测值。据 A7 位移信息,预计滑坡发生时间为 1 月 28 日 16 时。据 B2 位移信息,预计滑坡发生时间为 2 月 3 日 7 时。滑坡实际发生时间为 1 月 30 日 3 时,预测值与实际值虽有一定程度的误差,但基本吻合。

以 B2 位移监测点为例,根据计算得到的 a 、 b 值($a=0.4432$, $b=0.0001$)和 V 氏模型的微分方程,可分别计算得到 B2 监测点在未来各时间点的位移值,从而得到 B2 监测点位移时间预报曲线。据曲线可以推测得出滑坡体在未来一段时间的变形发展趋势,以供预报工作参考。结果如图 1 所示。

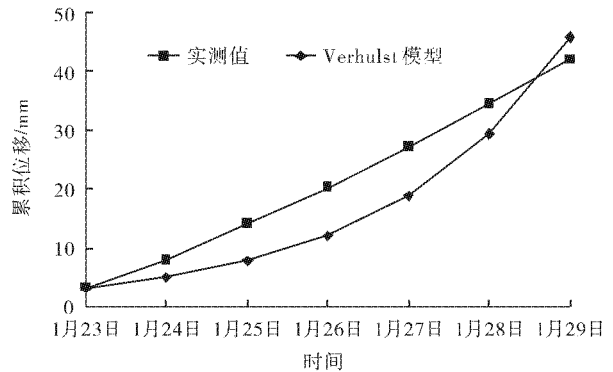


图 1 B2 监测点位移时间预报曲线

Fig. 1 Prediction curve of the displacement time in B2 monitoring point

由图 1 知,据 Verhulst 模型得到的位移预报曲线,滑坡从 1995-01-28 已经进入明显加速蠕变阶段。Verhulst 模型的累积位移时间预报与实测结果拟合较好。由图 1 的 Verhulst 位移时间预报曲线可以看出,位移进入加速上升阶段,预示大规模滑坡即将发生。

灰色 Verhulst 模型要求原始监测数据具有非负、等时距、单调等特征,当原始数据波动较大时,模型的精度较低,可以考虑用一定的数学方法处理原始数据,减少其波动性。

实际监测预报工作中,也不能仅凭一个点的预报结果就做出结论。如果增加样本量,并采用一定的数学办法如插值处理原始数据,剔除病态数据,预计预报精度会有进一步的提高。此外,合理的位移监测点布置、合适的记录时间间隔、位移数据的数学处理及多个监测点位移数据的综合分析有助于提高预报精度。

实际滑坡的发生是一个复杂的地质过程,受地层条件、水文条件、气候特征及人类活动等因素的影响,各滑坡的主要因素及变形机理也不尽相同。因此滑坡时间预报模型的选用需要根据实际

情况选用,不可千篇一律地采用同一个预报模型进行预报.这里采用 Verhulst 灰色模型对黄茨滑坡时间预报的反分析虽然与实际监测结果存在一定的出入,但整体上看,灰色 Verhulst 模型应用于滑坡时间预报是可行的.

4 结 语

通过对黄茨滑坡的临滑时间预报反分析所作的结论,得出了灰色 Verhulst 模型应用于滑坡时间预报的几点结论和建议:

a. 滑坡和生物体具有类似生长、生熟、消亡的过程,灰色 Verhulst 模型应用于黄茨滑坡时间预报,经检验是可行的.

b. 经过反分析计算,黄茨滑坡时间预报结果与滑坡的实际滑动时间基本吻合,预测滑坡变形曲线基本与位移监测值展布趋势一致.

c. 合理的位移监测点布置、合适的记录时间间隔、位移数据的数学处理及多个监测点位移数据的综合分析有助于提高预报精度.

致谢

本论文是在实验室各位老师的支持下完成

的,借此机会向各位老师表示最真挚的感谢!

参考文献:

- [1] 徐峻龄,廖小平,李荷生.黄茨大型滑坡的预报及其理论和方法[J].铁道工程学报,1996,7(2):197-205.
- [2] 许强,黄润秋,李秀珍.滑坡时间预测预报研究进展[J].地球科学进展,2004,19(3):478-483.
- [3] 肖云,李先福.基于优化的灰色 GM 模型的滑坡预测[J].武汉工程大学学报,2012,34(1):31-35.
- [4] 温文,吴旭彬. Verhulst 模型在黄茨滑坡临滑预报中的应用[J].人民珠江,2005(5):39-40.
- [5] 殷坤龙,晏同珍.滑坡预测及相关模型[J].岩石力学与工程学报,1996,15(1):1-8.
- [6] 崔立志,刘思峰,李致平.灰色离散 Verhulst 模型[J].系统工程与电子技术,2011,33(3):590-593.
- [7] 程江涛,刘莉.基于 Verhulst 模型的滑坡位移预测研究及其程序化实现[J].岩土工程技术,2008,23(5):217-222.
- [8] 毛广湘.黄茨滑坡预测预报分析[J].建筑科学,2007,23(3):31-33,37.
- [9] 周柏成,王磊,杨辉建.两种数学模型在黄茨滑坡预报中的应用研究[J].科技资讯,2007(18):1-3.

Time forecast for Huangci landslide by back analysis

LI Xian-fu¹, WEI Yu-xi¹, YANG Hong-mei²

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

2. China Wuhuan Engineering Co., Ltd, Wuhan 430223, China)

Abstract: The forecast of the landslide time is of great practical importance in protecting individuals and assets, and an applicable forecast model plays a pivotal role in the success of the forecast. Grey model was constructed for forecasting the time in landslide for its ambiguity and uncertainty. Combined with materials of displacement time observed from Huangci in Gansu Province and based on the Verhulst Grey Model of the displacement information, back analysis was conducted on the time forecast of Huangci landslide. The prediction of the landslide time and the predicted curve of deformation development were resulted by Matlab. The results were compared with the actual data to verify the applicability of the grey model in forecasting the time of a landslide. The results show that the Verhulst Grey Model is feasible in forecasting the time of a landslide, the predicted time basically agrees well with the actual time of the slide, and the trend of the predicted deformation curve is basically consistent with the observed value. The precision of the forecast is enhanced by the rational distributions of displacement monitoring sites, the appropriate time intervals of records, the mathematics processing of displacement data and the comprehensive analysis of the data from several monitoring sites.

Key words: landslide; time forecast; Verhulst model; back analysis

本文编辑:龚晓宁