

文章编号: 1000-7598-(2007) 01-0206-04

滑坡演化的逐代遗传模型

童志怡, 陈从新, 肖国峰

(中国科学院 武汉岩土力学研究所, 武汉 430071)

摘 要: 根据滑坡位移随时间逐次变化的规律, 建立滑坡位移演化的逐代遗传模型, 求解滑坡每代的位移和稳定系数。在此基础上对沪蓉西高速公路湖北宜昌—恩施段古树屋滑坡的位移变化进行了分析, 结果表明, 该模型的位移计算值结果较为理想, 且简单可行, 并通过对稳定系数的研究提出了滑坡稳定性判断的一个新依据。

关 键 词: 滑坡; 演化; 逐代; 遗传; 预测

中图分类号: P 624.22

文献标识码: A

Stepwise inherited model of landslide evolvement

TONG Zhi-yi, CHEN Cong-xin, XIAO Guo-feng

(Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: According to the relation of landslide displacement time series, the stepwise inherited model is presented and applied to calculate the displacement and stable coefficient of every step for the landslide. Then the model is applied to Gushuwu landslide of Hu-Rong Expressway in Hubei Province. The results show that the displacement calculated by the model is perfect and this method is much easier to operate; and a new basis is presented according to the stable coefficient.

Key words: landslide; evolvement; stepwise; inherited; forecasting

1 引 言

根据已有的监测数据对边坡的变形特性和稳定性进行预测是滑坡预报的核心问题, 而依据现有数据建立相应的滑坡演化模型则是解决这个问题的关键。这个演化模型不但要能解释边坡已发生的变形行为, 而且能对未来发展趋势和整体稳定性作出相应的判断。传统的滑坡预报模型往往是单纯依靠变形与时间的发展关系, 然后经验性地作出判断, 这类模型通常忽略了边坡在各个时间段内的变形量之间的相互联系。由于滑坡的演化过程是一个随时间发展的整体行为, 因而已产生的位移量必然会严重制约和影响下一次位移量的发展。基于以上考虑, 本文提出采用逐代遗传模型对变形的逐次发展进行预测, 并通过对迭代模型的稳定性分析来对边坡的稳定性进行预测。逐代遗传模型认为, 当前的变形量已经包含了以前所有代的遗传信息, 所以下一代变形的产生只与当前代的变形有关。在此基础上建立相应的理论模型, 并对沪蓉西高速公路

湖北宜昌—恩施段古树屋滑坡的位移变化进行了分析。

2 理论模型

2.1 模型的基本假定

已知边坡在第 i 个变形周期内的变形量为 u_i (实际监测的数据通常并不是等周期的, 为此可用三次样条插值转化为多个等周期的数据, 并且还可以增加监测数据的数目), 并且测得 n 个变形周期内的变形量 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 。为了便于以后的分析, 现提出以下几点假定:

(1) 滑坡变形的连续变化可用 n 个周期内的变形量 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 来反映, 并且每个离散的数据 $u_i (i=1, 2, \dots, n)$ 均视为演化系统中的一代;

(2) 下一代变形的产生只与当前代的变形量有关, 即 u_{i+1} 由 u_i 决定。为了消除量纲的不统一, 首先需对数据进行无量纲化的处理, 即令 $s_i = u_i / u_0 (i=1, 2, 3, \dots, n)$, u_0 可取为相对较大的变形量以保证 $s_i \in (0, 1)$, 则关系为: $s_{i+1} = f_i(s_i)$, 其

中 $f_i(x)$ 为第 i 代的遗传迭代式。

2.2 遗传迭代式的求解

基于以上的假定, 本文提出遗传迭代式 $f_i(x)$ 可以表示为

$$f_i(x) = \left(1 - \frac{1}{1 + \left(\sum_{j=1}^i a_j \cos(jx) \right)^k} \right)^m \quad (1)$$

式中 k, m 为控制参量; 而 $a_1, a_2 \dots a_i$ 为待定系数; 根据实际运算的经验 k 通常取 0.5 到 1 之间的数; 而 m 通常取为 1 到 2 之间的数。

根据式 (1) 对已知的相对变形量 $s_1, s_2 \dots s_n$ 进行整理可得方程组:

$$(a_1, a_2, a_3 \dots a_{n-1}) A = \begin{pmatrix} t_2 \\ t_3 \\ \vdots \\ t_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\text{式中 } A = \begin{pmatrix} \cos(s_1) & \cos(s_2) & \dots & \cos(s_{n-1}) \\ 0 & \cos(2s_2) & \dots & \cos(2s_{n-1}) \\ \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 \cos((n-1)s_{n-1}) \end{pmatrix};$$

而 $t_i (i=2, 3 \dots n)$ 是关于 $s_i (i=2, 3 \dots n)$ 的数, 其表达式为 $t_i = \left(1 - \frac{1}{1 - s_i^{1/m}} \right)^{1/k}$ 。

由于矩阵 A 非奇异的上三角阵, 因此, 通过式 (2) 的方程组可以求解出待定系数 $a_1, a_2 \dots a_{n-1}$, 系数 $a_1, a_2 \dots a_{n-1}$ 反映了由 s_{n-1} 到 s_n 的迭代过程。由于 s_n 到 s_{n+1} 的迭代过程与 s_{n-1} 到 s_n 的迭代过程比较接近, 因此将 $a_1, a_2 \dots a_{n-1}$ 带入遗传迭代式 $f_{n-1}(x)$ 中, 并令 $x = s_n$ 求出下一步的相对变形量 $s_{n+1} = f_{n-1}(s_n)$ 。在已知 $s_1, s_2 \dots s_{n+1}$ 后, 又可以用同样的方法求出 s_{n+2} , 依此类推可以求出以后一段时间内的变形量。

2.3 遗传迭代式的稳定性

由于迭代式 $x_{n+1} = g(x_n)$ 稳定收敛的条件是:

$$\left| g'(x) \right|_{x=x_n} \leq 1$$

因此, 针对逐代遗传迭代式本文定义第 i 代的稳定系数为

$$I_i = \left| f'_i(x) \right|_{x=x_i}$$

如果稳定系数 I_i 能够连续地满足 $I_i \leq 1$, 则可以判断

该迭代式稳定, 反之如果稳定系数 I_i 能够连续存在 $I_i > 1$ 的情况, 则可以判定迭代式不稳定。通过对遗传迭代式稳定系数的连续判断, 可以来判定边坡在较近一段时期内的稳定性。

3 实例分析

本文以沪—蓉—西高速公路湖北宜昌—恩施段古树屋滑坡的位移变形为计算分析实例。该滑坡位于受长阳背斜影响的硬岩中顺层单面斜坡的中下部, 岩性为泥灰岩, 岩层产状为 $0^\circ \sim 8^\circ \angle 22^\circ \sim 27^\circ$, 滑坡体的变形和破坏是在施工切穿岩层的情况下形成的。根据对滑坡体的调查发现, 该滑坡主要为滑坡上覆松散层和松动岩石层的组合滑动 (见图 1)。

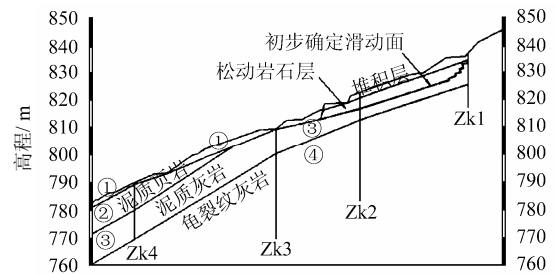


图 1 古树屋滑坡典型横断面图
Fig.1 Typical profile of the GuShuWu landslide

湖北沪蓉西高速公路建设指挥部高边坡安全监控组对滑坡的位移进行了详细的监测, 监测设计的平面布置图如图 2 所示。本计算主要针对监测项目中的地表变形监测, 地表变形监测共布设 11 个点, 形成 3 个剖面。湖北沪蓉西高速公路建设指挥部高边坡监控组分别于 2005 年 4 月 17 日、5 月 13 日、6 月 16 日、7 月 10 日、7 月 29 日、8 月 17 日、9 月 30 日和 10 月 31 日对滑坡进行了 8 次跨度达 198 d 的监测。

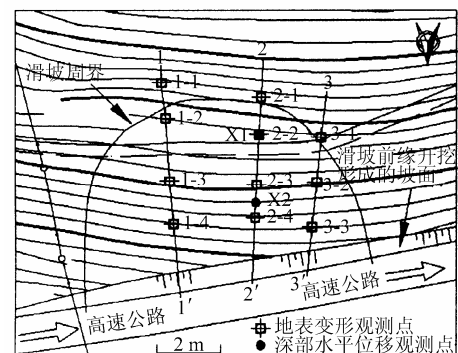


图 2 地表监测平面布置图
Fig.2 Distribution of monitoring on the surface

依据上述的逐代遗传模型对 8 次的地表位移数据进行分析处理。首先将 8 次数据采用 3 次样条插值离散为 33 代数据,即以 6 d 作为遗传的一代,将 33 代数据作为监测值;然后根据逐代遗传模型求解出对应的每代的位移计算值和稳定系数,并与监测

值进行比较。本文选取较具代表性的 1-2、1-3、1-4、2-2 和 2-3 五个测点的位移进行比较分析。

图 3 为逐代遗传模型的计算结果和实际监测值,图 4 则分别列出了每一步计算的稳定系数和相对误差值。

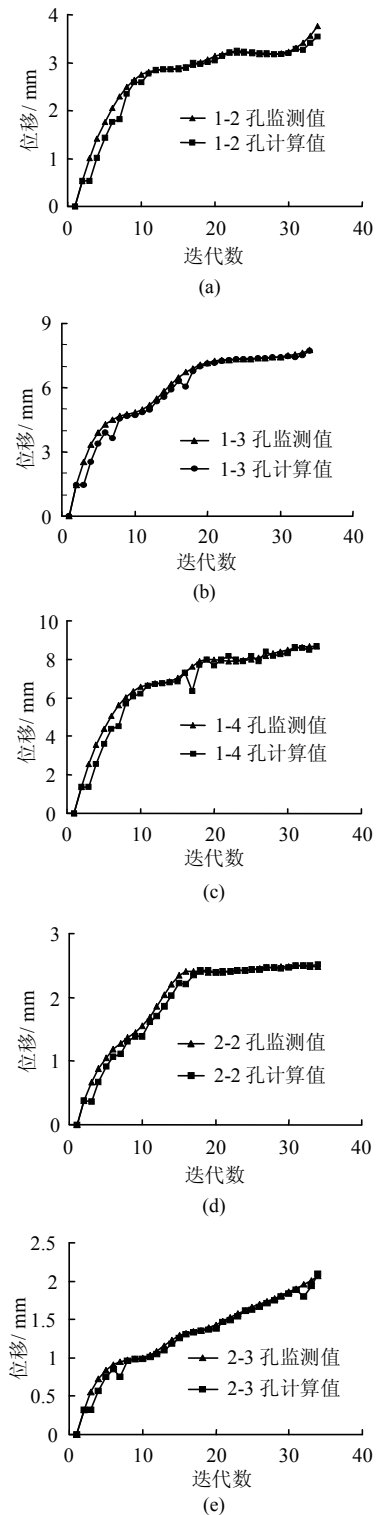


图 3 古树屋滑坡监测值与计算值

Fig.3 Actual and calculated displacement of Gushuwu landslide of every step

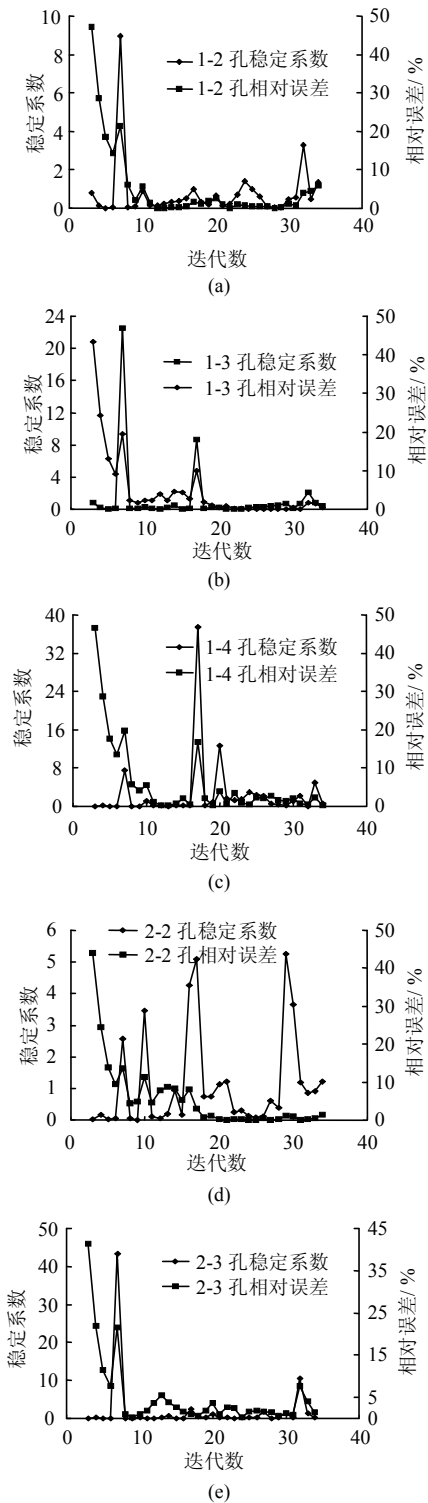


图 4 模型计算的稳定系数和相对误差

Fig.4 Stable coefficient and relative error of model calculation

由图4可以看出, 输入的迭代数 n 越大(即遗传的信息量越多), 则计算值与监测值的相对误差就越小, 即相对误差随着遗传信息量的增加而呈减小的趋势, 这说明输入的遗传代数越多, 滑坡位移自身演化的信息就越丰富, 这样计算结果与实际演化的结果更为接近。稳定系数同相对误差一样反映了在相同的输入迭代数 n 时计算值与监测值的关系, 而且稳定系数和相对误差随迭代数的变化趋势基本吻合, 尤其在某些相对误差变化较为剧烈的点上两者的变化更为接近, 因此, 稳定系数可以间接反映滑坡位移变化的剧烈程度。稳定系数 I_t 越大(尤其是大于1时), 计算值与监测值的相对误差就越大, 此时位移计算值会呈现一定的波动性, 在进行滑坡预报时, 如果稳定系数连续地大于1, 则表明滑坡内部变形剧烈, 可以据此作为滑坡的前兆, 这一点可作为滑坡稳定性预报的参考因素。

4 结 论

(1) 逐代遗传模型对滑坡位移的计算结果较为理想, 同时对滑坡位移的非线性起伏有一定的适应性, 而且计算较为简单可行, 可操作性强。

(2) 计算结果的精度与输入位移的个数密切相关, 输入的位移个数越多, 计算结果的精度就越高, 这说明输入的遗传代数越多, 滑坡位移自身演化的信息就越丰富, 越能接近实际演化的结果。

(3) 稳定系数与相对误差的变化趋势较为接近, 稳定系数越大, 计算值与监测值之间的相对误差也越大, 因此, 稳定系数可以间接反映滑坡位移变化的剧烈程度。稳定系数大于1时, 说明此时的

遗传迭代式不收敛, 同时计算值与监测值的相对误差也最明显, 如果稳定系数连续出现大于1的情况, 则可以判定滑坡的演化结果不稳定。

参 考 文 献

- [1] 许东俊, 陈从新, 刘小巍, 等. 岩质边坡滑坡预报研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(4): 369—372.

XU Dong-jun, CHEN Cong-xin, LIU Xiao-wei, et al. On the prediction of landslide of rock slopes[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 1999, 18(4): 369—372.
- [2] 刘华明, 齐欢, 蔡志强. 滑坡预测的非线性混沌模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(3): 434—437.

LIU Hua-ming, QI Huan, CAI Zhi-qiang. Nonlinear chaotic model of landslide forecasting[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2003, 22(3): 434—437.
- [3] 龙辉, 秦四清, 朱世平, 等. 滑坡演化的非线性动力学与突变分析[J]. 工程地质学报, 2001, 9(3): 331—335.

LONG Hui, QIN Si-qing, ZHU Shi-ping. Nonlinear dynamic model and catastrophe analysis of slope evolution[J]. **Journal of Engineering Geology**, 2001, 9(3): 331—335.
- [4] 史永胜, 许东俊. 时序分析法在边坡位移预测中的应用[J]. 岩土力学, 1995, 16(4): 1—7.

SHI Yong-sheng, XU Dong-jun. Application of time series analysis in slope displacement prediction[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 1995, 16(4): 1—7.