

基于模糊综合评判的滑坡预报模型及其应用^{*}

陆俊¹, 胡少伟¹, 叶少有²

(1. 南京水利科学研究院, 南京 210029; 2. 合肥工业大学, 合肥 230009)

摘 要: 滑坡预报研究是滑坡研究的核心问题, 滑坡预报的核心是预报方法和预报判据。选择合适的预报方法建立预报模型后, 必须有较为正确的预报判据, 进而能较为准确的预报出滑坡的可能性。结合安徽省淠史杭灌区刘圩大桥段滑坡实例, 建立了一个综合型滑坡预报模型, 并确定了安全稳定系数、可靠度系数和表面现状系数为该模型的三个预报判据。利用贴近度原则和专家打分法确定各判据的评价指标值, 最后通过模糊综合评判得出预报结果, 并与稳定程度指标集进行比较, 确定预报结论。预报结果与实际吻合得较好, 证明该模型是可靠的。

关键词: 滑坡预报; 模糊综合评判; 预报判据; 滑坡实例

中图分类号: P642. 22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0241-04

Landslide Prediction Model and Its Application Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

LU Jun¹, HU Shao-wei¹, YE Shao-you²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The study of landslide prediction is the key problem in the study of landslide and prediction methods and prediction criterions are the key problems of landslide prediction. After choosing an adequate prediction method, we must have chosen the prediction criterions exactly. Then we can predict the possibility of landslide more correctly. This article takes Liuwei bridge landslide for example and an integrated landslide prediction model is established. Then the prediction criterions include the safe stability coefficient, the credibility coefficient and the surface present condition coefficients are determined in the article. Their evaluation indexes are determined by the principle of which degree comes close and judged by experts. Finally the prediction results are came up through the fuzzy comprehensive evaluation and compared with the indexes of the degree of stability. Then it can make the prediction conclusion. The result shows that the model is convenient to use in practice very well. So it is proved that this prediction model is reliable.

Key words: landslide prediction; fuzzy comprehensive evaluation method; prediction criterion; landslide for practical example

滑坡是地壳表层斜坡的一种地质现象, 也是仅次于地震灾害的第二大地质灾害。滑坡预报研究是滑坡研究的核心问题, 滑坡预报的核心是预报方法和预报判据。选择合适的预报方法建立预报模型后, 必须有较为正确的预报判据, 进而能较为准确的预报出滑坡的可能性^[1-2]。

刘圩滑坡位于肥西高店镇境内、淠河总干渠左岸 84+991-85+053 m 处。滑坡段长 80.0 m, 最大滑坡坡长 35 m (至水边)。滑坡外观形态呈圈椅状, 斜坡向宽 30 m 左右, 厚 3~4 m, 滑坎高 2.0 m,

体积 $3.52 \times 10^3 \text{ m}^3$ 。下缘混凝土护坡扭曲、碎裂, 并滑入渠道中, 滑舌伸入水中 10 m 左右。植被良好, 原有纵向、横向排水沟现已扭曲、碎裂, 形成积水的小水洼。本文结合“淠史杭灌区膨胀土河渠滑坡防治及研究”课题, 建立综合型滑坡预报模型。

1 预报模型的建立

1.1 预报判据的确定

该模型将现有的滑坡预报的方法根据要求进行综合, 以综合信息预报模型为基础, 将确定型、非确

* 收稿日期: 2009-04-07

作者简介: 陆俊 (1981-) , 男, 安徽铜陵人, 博士研究生, 从事水工结构工程研究。E-mail: newlynewman1981@126.com

定型和工程地质类比法模型的特点综合起来,模型中既有确定性因素(安全稳定系数、可靠度系数),又有非确定性因素(表面现状系数),并借鉴了工程类比的原理,使预报更贴近实际^[3]。

1.2 预报判据的理论基础

一般认为安全系数判据确定为 1 比较合适。安全系数小于 1,斜坡将处于不稳定状态;安全系数大于 1,斜坡处于稳定状态;安全系数等于 1 时,斜坡处于临界平衡状态。普遍认为,将可靠概率判据定为 95% 比较合适。可靠概率判据给出了斜坡的安全度指标,考虑了岩土体的抗剪强度 C 和 ϕ 指标的变异性,得出的结果更符合实际。安全系数和可靠概率判据均适用于滑坡的长期预报,是滑坡长期预报中的常用判据。

(1) 确定评价指标集^[4-5]。设一级评判因素集 U , 简记为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_s\}$; 对因素的权重分配为 U 上的模糊子集 A , 简记为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 式中 a_i 为第 i 个因素对应的权重, 并有 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。这里的权重根据滑坡预报的类型而不同, 并不是一个固定的赋值。

(2) 确定评判指标^[6]。确定性滑坡预报模型预报判据分为 3 个部分: 安全稳定系数、可靠度系数和表面现状系数。表面现状分析内容包括: 排水状况、植被状况、人类及动物影响状况。据此, 笔者设立的评判指标集 V 不同于一般所常用的评语集的形式, 而是根据滑坡预报判据的类型, 分别采用不同的评判形式。

对于表面现状的评判采用专家打分法。每位专家按表面现状给每项指标打分, 但打分范围在区间 $[0, 1]$ 之内。例如, 每位专家给 U_i 项指标打分时, 应满足 $\sum_{k=1}^m y_k = 1$, 打完分后对每项指标的得分分别取平均值, 得出最终得分, 并以其作为对应的隶属度 $r_{ij,k}$ 。

对于安全稳定系数、可靠度分析的评判建立评判集, 采用一个分段函数来评判样本中的因素 U_i 。分段函数为

$$r_{ij,k} = \begin{cases} 1 - \frac{p_0 - p_i}{p_0 - p_{\text{下}}} & p_j < p_0 \\ 1 & p_j = p_0 \\ 1 - \frac{p_i - p_0}{p_{\text{上}} - p_0} & p_j > p_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: p_j ($j = 1, 2, \dots, m$) —— U_i 上的有 m 个样本的因素指标值; p_0 ——在以往工程经验中与该滑坡相同或极为类似并在实际效果评判最好的指标值。

首先对因素 U_i 进行筛选, 为了避免在实际勘察中可能出现的较大偏差值, 将 U_i 根据实际意义进行排序, 把最高(或最低)指标值高于(或低于)次高(或次低)指标值的 15% 者剔除, 重新排列。这将得到一个区间 $[p_{\text{下}}, p_{\text{上}}]$ 。用分段函数来代替传统的专家评分法, 计算出各组数据计算值的评价指标与最优指标的贴近度, 进而定量分析出各组数据之间在勘测上的差异, 一定程度上削减了人为因素的影响。

(3) 如果对每一个评价指标 U_i 又有二级评判因素, 重复以上步骤进行单指标评价, 得出单指标评价矩阵

$$R_i = (r_{ij,k}) \quad (2)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, s$; $j = 1, 2, \dots, N_i$; $k = 1, 2, \dots, m$ 。这里 $r_{ij,k}$ 表示 U_i 的指标 p_j 对评语 f 的隶属度, N 表示 U 中所有的一级评判元素个数, s 表示 U_i 的二级评判元素个数, m 为勘测样本数。

给出 U_i 中各评价指标的权重 $A_i = \{a_1, a_2, \dots, a_{s_i}\}$, 应有 $\sum_{i=1}^s a_i = 1$, 这里权重的确定是根据预报模型中的规定赋值。

得出 U_i 的评语向量, 即

$$B_i = R_i \cdot A_i = (B_{i1} \ B_{i2} \ \dots \ B_{im}), \quad i = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

将 U_i 视为一个单独元素, 用 B_i 作为 U_i 的单指标评价向量, 可构成 U 到 V 的模糊评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{s1} & \dots & \dots & b_{sm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

R 与 U 中元素 U_i 的权重相复合, 得出 U 的最终评语向量

$$C = R \cdot A = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_s \end{bmatrix} (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n) \quad (5)$$

滑坡是否稳定的最终确定。根据以往滑坡资料数据管理数据库里的资料, 建立稳定程度评判集。用以上模糊综合评判方法计算出的值与评判集比较, 判断稳定程度。

1.3 滑坡预报模型的建立

经过现场实地勘察, 对每处滑坡的资料进行收集, 主要从滑坡所在渠道、桩号岸别、滑坡规模、治理时期、治理方式、治理效果、平(剖)面图、勘测报告和现场照片这几个方面来收集整理。从宏观角度对每处的滑坡有了一个整体的了解, 为以后可能形成的

滑坡提供一个类比资料,有助于滑坡的归类 and 查询。数据库的主要功能是对滑坡的各种数据进行统一的管理,向用户提供一个综合界面,使用户可以通过该界面查询相关滑坡的所有信息。滑坡资料包括滑坡文字描述,滑坡勘测报告和设计文件(word 文档),滑坡现场图片,滑坡平面图和剖面图等。程序以 Access 数据库存储文字资料和 word 文档,对图片资料采用 VB 图片框控件进行加载,用 VB 语言进行界面设计,并编制相应的操纵程序。用户可以通过界面中相关按钮查询相应信息^[7]。

本模型的理论依据是确定型模型、不确定型模

型和工程地质类比法,并结合本课题的特点,建立在深入研究滑坡类型、滑坡特征、变形特点和形成机制的基础上,以监测资料为依据,遵循科学性、综合性、易操作的原则,综合了以上三种方法,将综合信息预报模型改进成流程图的形式^[8]。使预报程序简单化、步骤清晰,适合现场操作,如图 1 所示。

2 模型的计算

2.1 计算参数

各层岩土的主要岩土参数建议值参考表 1 以及表 2^[9]。

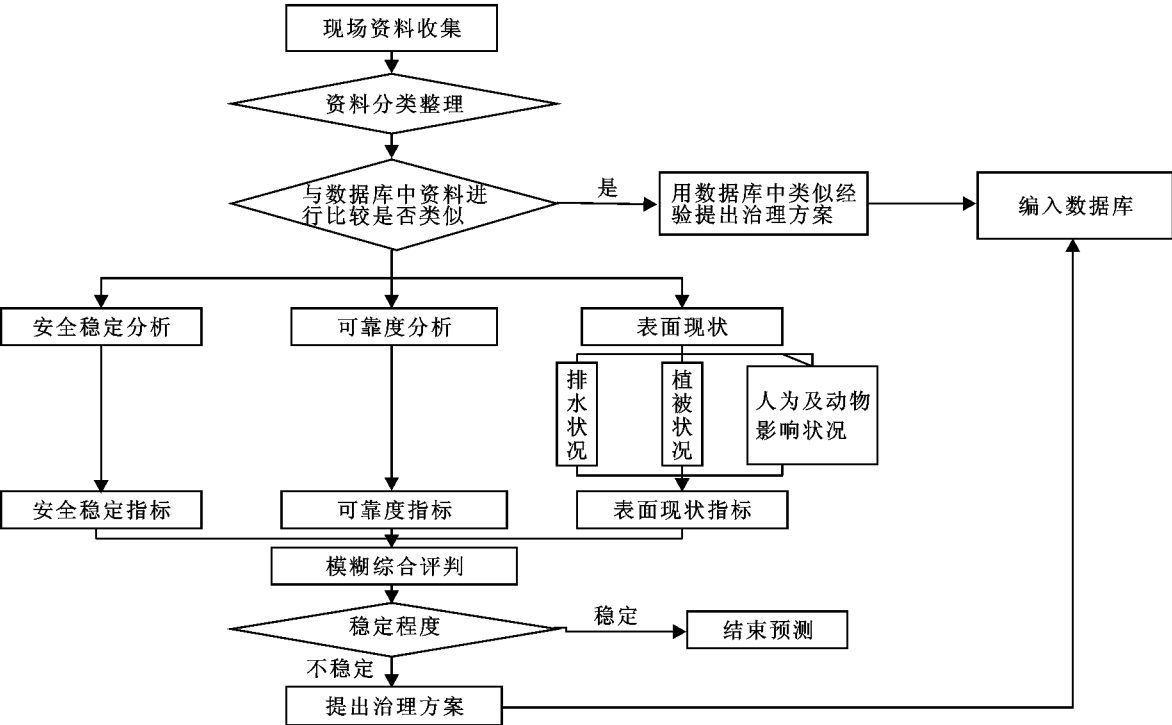


图 1 滑坡预报模型结构流程图

表 1 滑坡主要岩土参数值

土层号及岩性	天然重 度/ (kN · m ⁻³)	直剪(快剪)		比贯入阻力/ MPa	自由膨胀率	压缩模量/ MPa	地基承载力特 征值/ kPa
		粘聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)				
素填土	19.9	30	8.0	0.9	63	6.0	-
黏土 - 1	19.6	35	8.5	1.7	60	7.0	-
黏土 - 2	20.4	80	20.5	4.3	64	15.5	280
强风化泥质粉砂岩	20.5	-	-	8.3	-	16.0	320

表 2 层黏土滑带土主要岩土参数值表

天然重度/ (kN · m ⁻³)	反复直剪峰值		反复直剪残余值		比贯入阻力/ MPa	压缩模量/ MPa
	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)		
19.3	25	7.7	11	5.5	1.0	5.0

2.2 评判结果

由 GEO - SLOPE 软件建立滑坡剖面图,分析模型如图 2 所示。

用 GLE 法计算安全系数得出 4 个样本的安全

系数值和可靠度系数值,如表 3 所示。

根据表 3 结果,利用式(1)、(3),得出安全系数分析和可靠度分析评判指标值分别为 0.3,0.1。表面现状隶属度采用专家打分法,纵横向排水全部断

裂,滑坡右侧有一个水洼并已积水。因此该项在评价集中属于极差,专家打分为 0. 1。植被状况在评价集中属于一般,专家打分为 0. 5。人类及动物影响状况在评价集中属于较差,专家打分为 0. 4。表面现状判据的三项指标的权重定义为 $A = (0. 6 \quad 0. 2 \quad 0. 2)$,其表面现状评判指标值为 0. 24。

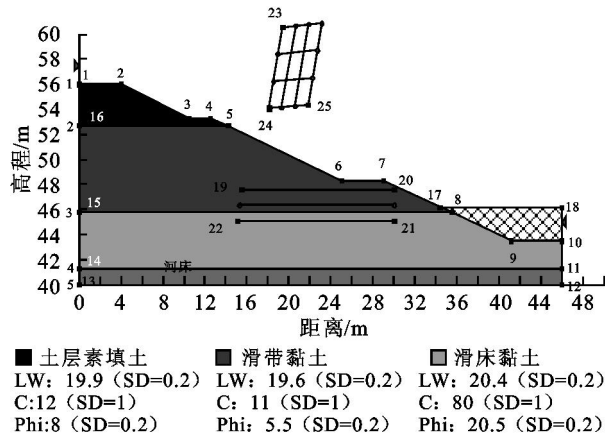


图 2 刘圩大桥滑坡安全稳定分析模型

表 3 该处滑坡研究各样本结果统计表		
样本	安全系数	可靠度系数
1	1. 150	2. 254
2	1. 256	2. 954
3	1. 980	3. 870
4	1. 006	2. 025

由上述结果得出 U 的隶属度函数矩阵 R ,即

$$R = \begin{bmatrix} 0. 3 \\ 0. 1 \\ 0. 24 \end{bmatrix}$$

预报判据评价指标集为 $U = (U_1 \quad U_2 \quad U_3)$, U_i 权重定义为 $A = (0. 4 \quad 0. 3 \quad 0. 3)$ 。

那么, U 的综合评价矩阵,即: $C = R \cdot A =$

$$(0. 4 \quad 0. 3 \quad 0. 3) \begin{bmatrix} 0. 3 \\ 0. 1 \\ 0. 24 \end{bmatrix} = 0. 87$$

表 4 滑坡判据指标集

等级	稳定	较稳定	欠稳定	不稳定	已滑动
评价指标值	0~0. 2	0. 2~0. 4	0. 4~0. 6	0. 6~0. 8	0. 8~1. 0

根据滑坡判据指标集(见表 4)判断,该滑坡处于已滑动状态,必须立刻提出治理方案,着手进行治理以免影响渠道的正常过水。

3 结 语

2003 年 12 月“合肥工业大学岩土工程勘察设计院”得出的《刘圩工程地质勘察报告》中的分析结论中,该剖面处稳定系数 $F_s = 1. 429$,滑坡目前总体处于暂时稳定状态^[10-11],其稳定性较低。用该滑坡预报模型判断该处滑坡现处于已滑动的状态,急待治理。2006 年初的一场大雪后,课题组再次对该处滑坡进行实地调查,发现在二级平台处已经再次发生滑坡,这与本模型预测得出的结论相吻合,说明该模型具有可靠性和实用性。但由于工程地质条件的复杂、自然条件的变化以及人类工程活动等因素的随机性和不可控制性,模型的适用性局限相对较大,只能在具有相同气候、地质、人类活动的特定的灌区内适用,有待于进一步的研究。

参考文献:

[1] 李天斌,陈明东,王兰生. 滑坡实时跟踪预报[M]. 成都:成都科技大学出版社,1999.

[2] 殷坤龙. 滑坡灾害预测预报分类[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(4):12-18.

[3] 李秀珍,许强,黄润秋,等. 滑坡预报判据研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(4):6-10.

[4] 杨纶标. 模糊数学原理及应用[M]. 广州:华南理工大学出版社,2003.

[5] Ercanoglu M, Gokceoglu C. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area(West Black Sea Region, Turkey)[J]. Engineering Geology,2004,75(3/4):215-354.

[6] 叶少有,陆俊. 水利工程项目报价的模糊综合评价法[J]. 工程与建设,2006,20(6):765-767.

[7] 张宏林,朱静. Visual Basic 6. 0 程序设计与开发技术大全[M]. 北京:求是科技出版社,2004.

[8] Chau K T, Sze Y L, Fung M K, et al. Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS[J]. Computers and Geosciences,2004,30(4):429-443.

[9] 陆俊. 滑坡预报模型及其在工程中的应用研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2006.

[10] Hu Shaowei. Structural Integrity Assessment and Large Deformation Analysis Theory[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press,2006.

[11] GB50330- 2002. 建筑边坡工程技术规范[S]. GB 50330-2002.