

# 滑坡发生的危险边坡判别及预测预报分析

陈永波, 王成华

(西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610015)

**摘 要:** 滑坡预测预报研究一直是地学研究的前沿, 前人多以定性研究为主, 本文采用数理统计方法, 通过对历史资料的分析, 对区域滑坡预测预报进行了定量分析。

**关键词:** 危险边坡; 判别; 预测

**中图分类号:** P642.22

**文献标识码:** A

作为边坡破坏的一种形式, 滑坡给人民的生命及财产安全造成了严重的危害。四川省更是滑坡灾害的高发区, 如 1997-06-05 四川省美姑县则租滑坡, 造成死亡, 失踪计 151 人, 直接经济损失 1529 万元(人民币)<sup>[1]</sup>; 1997-07-23 四川省兴文县金凤村滑坡<sup>[2]</sup>, 使 54 人死亡, 直接经济损失 300 余万元(人民币)。因此对危险边坡的判别及滑坡的预测预报, 具有十分重要的理论及现实意义。

## 1 原理及方法

### 1.1 原理

已知空间中有  $m$  个(判别归属) $p$  维(影响因子)总体  $G_1, G_2, \dots, G_m$ , 它们的分布函数分别为  $F_1(x), F_2(x), \dots, F_m(x)$ 。构造一判别函数, 通过判别规则判别新样本  $X$ (判别对象)的归属<sup>[3]</sup>。

### 1.2 方法

目前多采用距离判别法对样本  $X$  的归属进行判别。在欧氏空间中, 欧氏距离对随机函数的判别存在明显的缺陷, 它对样本的判别不仅受样本随机分布的影响, 而且随单位的不同而产生差异, 马氏距离则克服了这些缺点。

#### 1.2.1 马氏距离的定义

设  $X, Y$  是两个样本, 则定义  $X, Y$  两点之间的马氏距离为

$$D(X, Y) = \sqrt{(X - Y)' \Sigma^{-1} (X - Y)} \quad (1)$$

式中  $\Sigma$  为总体  $G$  的协差阵, 当  $\Sigma = I$ (单位阵)时, 马氏距离与欧氏距离一致。其中样本中包括反映样本的各个因子, 如在滑坡预测中包括后面的 6 个因子。

#### 1.2.2 判别函数的构造与判别规则

A) 设有两个总体  $G_1, G_2$ , 均值与协差阵分别为  $\mu_1, \mu_2$  及  $\Sigma_1, \Sigma_2$ 。对待判别的一个样本  $X$ , 要判别其归属, 现构造函数如下:

$$\begin{aligned} W(x) &= D^2(x, G_2) - D^2(x, G_1) \\ &= (x - \mu_2)' \Sigma_2^{-1} (x - \mu_2) - (x - \mu_1)' \Sigma_1^{-1} (x - \mu_1) \end{aligned} \quad (2)$$

通常情况下  $\mu_1, \mu_2$  及  $\Sigma_1, \Sigma_2$  是未知的, 可通过对总体中若干样本的统计而近似得到。判别函数可表示为

$$W(x) = (x - \bar{x}^{(2)})' \hat{\Sigma}_2^{-1} (x - \bar{x}^{(2)}) - (x - \bar{x}^{(1)})' \hat{\Sigma}_1^{-1} (x - \bar{x}^{(1)}) \quad (3)$$

收稿日期: 1999-10-05; 改回日期: 2000-09-05。

作者简介: 陈永波(1971-), 男(汉族), 山西运城人。西南交通大学在职博士生, 在《自然辩证法学报》、《山地研究》、《四川省地质学报》等核心刊物上发表多篇文章, 主要从事边坡稳定性分析及设计。

式中  $\bar{x}^{(1)} = \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_1} X_k^{(1)}, \quad \bar{x}^{(2)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n_2} X_k^{(2)}, \quad \hat{\Sigma}_1 = \frac{1}{n_1} S_1, \quad \hat{\Sigma}_2 = \frac{1}{n_2} S_2,$

$$S_1 = \sum_{k=1}^{n_1} (x_{(k)}^{(1)} - \bar{x}^{(1)}) (x_{(k)}^{(1)} - \bar{x}^{(1)})', \quad S_2 = \sum_{k=1}^{n_2} (x_{(k)}^{(2)} - \bar{x}^{(2)}) (x_{(k)}^{(2)} - \bar{x}^{(2)})'$$

B)距离判别的基本思想是:对于待判别样本,如果离哪个总体的马氏距离近,就判定它属于哪个总体。因此判别规则为

$$\begin{cases} X \in G_1 & W(X) \geq 0 \\ X \in G_2 & W(X) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

## 2 滑坡判别分析及预测

### 2.1 判别目标(目的)

滑坡判别的目的是为了区分稳定边坡与危险边坡(即处于极限态的坡体),而研究已经发生的滑坡就失去了判别的意义。因此可将边坡划分为两个总体  $G_{\text{稳}}, G_{\text{危}}$ 。对于一个斜坡样本  $X$  的判别目的就是为了区分稳定边坡与危险边坡<sup>[4]</sup>。

### 2.2 判别要素

边坡作为一个开放系统,不断的与外界进行着物质与能量的交换,而引起系统熵变。由于内外因素的涨落,从而使系统状态发生质的变化,最终导致边坡系统失稳。根据影响边坡稳定性的因素,遴选出如下6个因子作为进行滑坡区域划分时的判别要素:

(1) 坡形坡度: 边坡总体坡度; (2) 优势面倾角: 边坡潜在滑移面的倾角; (3) 优势面粘聚力: 边坡潜在滑移面的粘聚力; (4) 优势面内摩擦角: 边坡潜在滑移面的; (5) 高差: 潜在滑坡前后缘垂直高差内摩擦角; (6) 连续降雨强度<sup>[5]</sup>: 是指间隔不超过24小时的降雨过程中, 平均每天的降雨量。

当然影响坡体稳定性的因素还比较多,如结构面的空间组合、地下水及地震等作用的影响。这里对边坡稳定性分析的目的是为了对滑坡区域划分进行定量研究,并不是对任一区域的具体滑坡都适用。

### 2.3 判别模型

将边坡系统划分为两个总体,即危险边坡( $G_1$ )与稳定边坡( $G_2$ )。以上述6个因子作为判别要素,从研究区的历史资料中选取了18个样本<sup>[6]</sup>(表1)。

其统计资料如下

$$\begin{aligned} \bar{X}^{(1)} &= [33.9, 31.9, 0.29, 15.4, 173.2, 15.4] \\ \bar{X}^{(2)} &= [31.7, 33, 0.76, 23.1, 160.9, 2.31] \end{aligned}$$

总体协差阵为

$$\begin{aligned} \Sigma_1 &= \begin{bmatrix} 92.569 & 76.949 & 0.1017 & 6.074 & 142.472 & -23.566 \\ 76.946 & 148.729 & 0.6457 & 26.934 & -95.388 & -111.766 \\ 0.1017 & 0.6457 & 0.03316 & 0.16872 & -0.0564 & 2.20599 \\ 6.074 & 26.934 & 0.16872 & 41.7642 & 5.822 & 3.1205 \\ 142.472 & -95.388 & -0.0564 & 5.822 & 10610.8 & 1047.742 \\ -23.566 & -111.766 & 2.20599 & 3.1205 & 1047.742 & 508.811 \end{bmatrix} \\ \Sigma_2 &= \begin{bmatrix} 84.328 & 43.55 & 3.189 & 23.235 & 571.83 & -1.2515 \\ 43.55 & 34.667 & 2.357 & 19.733 & 444.02 & -2.635 \\ 3.189 & 2.357 & 0.2233 & 0.5845 & 24.575 & 0.3658 \\ 23.235 & 19.733 & 0.5845 & 66.085 & -82.67 & -2.821 \\ 571.83 & 444.02 & 24.575 & -82.67 & 10954.3 & -102.2755 \\ -1.2515 & -2.635 & 0.3658 & -2.821 & -102.275 & 4.60 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

其判别函数

$$W(X)=(X-\bar{X}^{(2)})'\sum_2^{-1}(X-\bar{X}^{(2)})-(X-\bar{X}^{(1)})'\sum_1^{-1}(X-\bar{X}^{(1)})$$

(5)

表 1 某研究区原始资料

Table 1 The statistics of original data

编号	组别	坡形坡度	优势面倾角	优势面粘聚力	优势面内摩擦角	高差	降雨强度
1	G1	24	25	0.3	18.5	200	16.7
2	G1	20	30	0.29	9.5	200	1.51
3	G1	45	40	0.1	14	333	5
4	G1	40	20	0.12	7.46	100	4.5
5	G1	50	60	0.6	20	129	12.7
6	G1	30	15	0.5	15	350	80
7	G1	45	41	0.1	19	240	10.4
8	G1	30	25	0.25	9.5	39	21
9	G1	30	35	0.45	19	54.2	16
10	G1	30	30	0.2	8	140	0
11	G1	29	30	0.1	29	120	2
12	G2	20	30	0.43	15.3	200	1.3
13	G2	45	40	1.5	18	333	3.1
14	G2	45	41	1	33	240	0.3
15	G2	30	25	0.5	16.3	39	5.2
16	G2	30	35	1.2	29	54.2	5
17	G2	30	30	0.41	17	140	0
18	G2	29	30	0.3	33	120	1.25

通过原 18 个样本进行回判。从表 2 中可以看出前十一个样本的判别函数全部大于 0, 即其已失稳, 后七个样本都小于 0, 即处于稳定状态, 这与实际情况吻合。

表 2 某研究区原始资料回判表

Table 2 Judgement table of original data

编号	W(x)	编号	W(x)	编号	W(x)
1	>0	7	>0	13	<0
2	>0	8	>0	14	<0
3	>0	9	>0	15	<0
4	>0	10	>0	16	<0
5	>0	11	>0	17	<0
6	>0	12	<0	18	<0

2.4 滑坡预测

对于某研究区任一边坡样本资料, 通过(5)式均可得到其判别归属, 帮助我们区分稳定边坡与可能发生滑坡的危险边坡。

一般情况下通过对某研究区统计所得到的判别函数仅适用于本研究区域, 而对于其它研究区就不一定适用, 因此这种定量分析仍是建立在野外实际工作的基础之上。

在实际工作中, 对一边坡资料, 我们可以人为的不断改变降雨强度使  $W(x)=0$ , 从而找出该区域边坡的危险降雨强度。由于降雨与坡体强度的定量关系目前研究的还不是很透彻, 因此对滑坡的预测还存在一定的人为性和模糊性。

表 3 某研究区待判别样本资料

Table 3 The data of sample in studying area

编号	坡形坡度	优势面倾角	优势面粘聚力	优势面内摩擦角	高差	降雨强度
1	35	24	0.41	16	150	20
2	27	20	0.6	12	210	7
3	26	23	0.6	15	130	35
4	40	36	0.9	17	260	1.1
5	23	17	1.2	13	360	0.9
6	30	27	0.8	18	170	6
7	28	26	0.6	12	160	4
8	30	24	0.9	15	210	2.2
9	19	16	0.9	16	97	0.8
10	27	25	0.4	12	156	1.2

3 实例分析

表 3 所示, 为该研究区 10 个样本的资料, 通过(5)式对其进行判别(表 4)。

在被判别的 10 个样本中, 仅有第 5 个样本判别出错, 可信度比较高, 因此在大面积的滑坡区划过程中, 这种定量方法的应用具有十分重要的现实意义。

表 4 被判别样本资料回判表

Table 4 Judgement table of differentiated sample

编号	W(x)	编号	W(x)	编号	W(x)
1	>0	5	<0	9	<0
2	>0	6	>0	10	>0
3	>0	7	>0		
4	>0	8	>0		

参考文献:

[1] 崔鹏, 何智武, 王成华, 等. 第一届海峡两岸灾害与环境保育研讨会论文集[C] 成都: 四川科学技术出版社 1999.  
[2] 陈永波, 王成华. 金风村滑坡成灾特征与减灾分析[J]. 山地学报, 1998 16(1):53~58.  
[3] 中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会. 中国典型滑坡[C]. 北京: 科学出版社, 1988.  
[4] 唐邦兴, 王成华, 崔鹏, 等. 山洪、泥石流、滑坡灾害及防治[M]. 北京: 科学出版社, 1994.  
[5] 吴积善, 王成华, 程尊兰, 等. 中国山地灾害防治工程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1997.  
[6] 涂汉生, 何平. 应用统计[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1993. 138~147

DIFFERENTIATING AND FORECASTING LANDSLIDE

CHEN Yong-bo, WANG Cheng-hua

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610015 PRC)

**Abstract:** It is one of the most important researches to differentiate and forecast landslide for geologist. Through qualitative analysis predecessors have had a lot of work and acquired important achievement. On the base of scientific research of predecessors , the paper attempt to find a new method by the aid of mathematical statistics to quantitative analysis and forecast landslide .

**Key words:** dangerous slopes; differentiation; forecast