

# 不稳定斜坡危险度的判别

乔建平

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

**提 要** 为判别不稳定斜坡的危险度,在斜坡表面的变形迹象、斜坡本身的内部条件及外界的触发因素中,分出12项定性定量判别指标,它们各自有因子判别值 $X_i$ ( $i$ 为判别指标的编号,1—12; $j$ 为因子判别值等级编号,1—6)。把各判别指标的因子判别值 $X_i$ 叠加并予以综

合后,使得叠加因子判别值 $Y = \sum_{i=1}^N X_i / N$ ( $N$ 为判别指标的数目,至少取6个),再查表13,定出不稳定斜坡危险度 $D$ 。

**关键词** 不稳定 斜坡 危险度 判别

现行的判别不稳定斜坡危险度标准多采用定性指标。其实斜坡在遭破坏时,处于不稳定状态,其表面会出现各种变形迹象。斜坡变形由斜坡本身的内部条件和外界的触发因素所造成。对斜坡表面的变形迹象,以及造成斜坡不稳定的内部条件和外界触发因素,可用来判别不稳定斜坡的危险度,加以区分后,可定出12项定性定量的判别指标,并各自有自己的因子判别值 $X_i$ ( $i$ 为判别指标的编号,以数码1—12表示; $j$ 为因子判别值等级编号,以数码1—6表示,等级编号大小与因子判别值大小相反)。现叙述于后。

## 一、判别指标及因子判别值

### (一)斜坡的表面变形

斜坡表面变形是斜坡遭破坏的重要依据。变形的主要迹象有各种裂缝、鼓丘、坡体位移、地下水动态异常等。

用作判别不稳定斜坡危险度指标的前后缘变形特征见表1、2<sup>1)</sup>。

**表 1 后缘变形**

Table 1 Deformation at the trailing edge

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	裂缝连通率(%)
I	$X_1=6.00$	100
II	$X_2=5.00$	80
III	$X_3=4.00$	60
IV	$X_4=3.00$	40
V	$X_5=2.00$	20
VI	$X_6=1.00$	10

**表 2 前缘变形**

Table 2 Deformation at the leading edge

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	变 形 特 征
I	$X_1=6.00$	局部挤压剪出或局部牵引滑动
II	$X_2=5.00$	鼓丘出现明显鼓张裂缝或牵引下滑
III	$X_3=4.00$	鼓丘等挤压变形或现牵引拉张裂缝
IV	$X_4=3.00$	地表有异常变形或局部拉张裂缝
V	$X_5=2.00$	有挤压或牵引蠕变迹象
VI	$X_6=1.00$	变形微弱

1)据李明华滑坡模拟实验资料。  
本文改回日期:1991-02-13。

滑动面一旦形成后,坡体位移量表明了岩土滑动速度的快慢(表3)<sup>[1]</sup>。

表3 坡体位移量

Table 3 Displacement volume of slope body

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	计时单位	土质斜坡位移量(厘米)	岩质斜坡位移量(厘米)
I	$X_1^I=6.00$	分		肉眼可见位移
II	$X_1^{II}=5.00$	时	$1<S_{s1}<10$	$1<S_{r1}<10$
III	$X_1^{III}=4.00$	日	$10<S_{s1}<100$ $1<S_{s2}<10$	$1<S_{r1}<10$ $10<S_{r2}<20$
IV	$X_1^{IV}=3.00$	月	$10<S_{s1}<20$ $1<S_{s2}<2-3$	$1<S_{r1}<10$
V	$X_1^V=2.00$	年	$10<S_{s1}<30$ $5<S_{s2}<20$	$1<S_{r1}<10$ $1<S_{r2}<5$
VI	$X_1^{VI}=1.00$	季	$5<S_{s1}<20$ $1<S_{s2}<10$	$1<S_{r1}<5$ $0<S_{r2}<3$

$S_{s1}$  为土质斜坡水平位移量,  $S_{s2}$  为土质斜坡垂直位移量,  $S_{r1}$  为岩质斜坡水平位移量,

$S_{r2}$  为岩质斜坡垂直位移量。

据野外调查统计,70%的不稳定斜坡在驱动前发生过地下水露头突变现象(表4)。

表4 坡体地下水

Table 4 Groundwater in slope body

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	地 下 水 露 头	泉 水 动 态
I	$X_1^I=6.00$	斜坡前缘同一高程有多处露头	雨季成数倍增加,混浊不堪
II	$X_1^{II}=5.00$	斜坡前缘同一高程至少有2处露头	雨季增加3—4倍,混浊不明
III	$X_1^{III}=4.00$	斜坡前缘同一高程有1—2处露头	雨季增加2—3倍,较混浊
IV	$X_1^{IV}=3.00$	斜坡前缘有间歇地下水出露	雨季增加1倍,或成连续露头
V	$X_1^V=2.00$	斜坡前缘不同高程有间歇地下水出露	受降水影响不明显
VI	$X_1^{VI}=1.00$	坡体中部以上有露头	基本不受地表水影响

不稳定斜坡可能演变成滑坡的规模也应作为危险度的判别指标(表5)。因为在人类活动区滑坡规模的大小往往决定着危害程度的轻重。

表5 可能滑动的规模

Table 5 Possible scale for sliding

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	方量(万米 <sup>3</sup> )	规模类型
I	$X_1^I=6.00$	$>100.0$	巨 型
II	$X_1^{II}=5.00$	$100.0-50.0$	大 型
III	$X_1^{III}=4.00$	$50.0-10.0$	中 型
IV	$X_1^{IV}=3.00$	$10.0-0.5$	小 型
V	$X_1^V=2.00$	$0.5-0.1$	局部破坏
VI	$X_1^{VI}=1.00$	$<0.1$	稍有滚落

表6 斜坡率

Table 6 Slope rate

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	土质斜坡坡率	岩质斜坡坡率
I	$X_1^I=6.50$	1:1.00	1:0.58
II	$X_1^{II}=5.50$	1:1.25	1:0.84
III	$X_1^{III}=4.50$	1:2.00	1:1.00
IV	$X_1^{IV}=3.50$	1:2.50	1:1.24
V	$X_1^V=2.50$	1:3.00	1:1.40
VI	$X_1^{VI}=1.50$	1:5.00	1:1.70

## (二)斜坡本身的内部条件

斜坡变形取决于斜坡本身的内部条件。其判别指标有三种,即:斜坡有效临空面、斜坡物质抗剪强度、斜坡原生结构。鉴于三者是关键性因子,因而它们各自比其他的因子判别

值要增高 0.5.

斜坡有效临空面以斜坡率表示(表 6). 其中土质斜坡以坡积亚粘土覆盖层为例, 岩质斜坡以强风化砂质页岩为例. 斜坡率可按需判别的斜坡加以计算而得, 设危险度  $D$  为 V 级时的斜坡有效临空面处于临界状态.

斜坡物质抗剪强度是岩土滑动速度快慢的基础条件. 斜坡分为土(夹石)质与岩(含软弱夹层)质两大类(表 7)<sup>[2,3]</sup>. 均质土斜坡在西北地区较多, 而非均质土斜坡在西南地区多见. 表 7 中所列的数据对西南地区的斜坡物质抗剪强度较合适. 室内常规实验难以测准非均质土的内聚力  $C$ 、内摩擦角  $\varphi$  值, 由此常采用实验-经验综合值. 岩质斜坡的滑动面一般产生在软弱夹层中, 表 7 所列的岩质斜坡物质抗剪强度是软弱夹层的.

表 7 斜坡物质抗剪强度

Table 7 Shear strength of slope materials

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	土质(夹石)斜坡		岩质(含软弱夹层)斜坡	
		$C$	$\varphi(^{\circ})$	$C$	$\varphi(^{\circ})$
I	$X_1=6.50$	0.00—0.01	1—5	0.01—0.05	5—10
II	$X_2=5.50$	0.01—0.03	5—10	0.05—0.10	10—15
III	$X_3=4.50$	0.03—0.06	10—15	0.10—0.15	15—20
IV	$X_4=3.50$	0.06—0.09	15—20	0.15—0.20	20—25
V	$X_5=2.50$	0.09—0.20	20—25	0.20—0.25	25—30
VI	$X_6=1.50$	0.20—0.50	25—30	0.25—0.30	30—35

斜坡原生结构(表 8)是指不同岩性的地层组合. 岩质斜坡中的软弱夹层岩性是产生斜坡不稳定的基础因素. 在软硬岩层相间的斜坡中, 往往呈现差异风化, 利于形成崩塌、滑坡. 土质斜坡的地层组合, 最常见的为上覆堆积层, 下伏顺坡倾斜的基岩. 基岩倾角越陡, 发生滑坡的几率就越大.

表 8 斜坡原生结构

Table 8 Original structure of slope

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	土 质 斜 坡	岩 质 斜 坡		
		下伏基岩的倾斜, 倾角 $\beta(^{\circ})$	岩层结构 $W(M+J, \text{层})$	节理发育程度	风化程度
I	$X_1=6.50$	顺坡, $>35$	3+3	极发育	极严重
II	$X_2=5.50$	顺坡, 35—25	3+2	很发育	很严重
III	$X_3=4.50$	顺坡, 25—20	3+1	发 育	严 重
IV	$X_4=3.50$	顺坡, 20—15	2+1	较发育	较严重
V	$X_5=2.50$	顺坡, 15—10	1+1	一 般	一 般
VI	$X_6=1.50$	顺坡, 10—5	1+0	不发育	轻 微

$W$  为岩层总数;  $M$  为坚硬岩层层数;  $J$  为软弱岩层层数.

### (三) 外界触发因素

不稳定斜坡必须在外界触发因素作用下, 才可能产生崩塌、滑坡. 这里用作判别指标的外界触发因素有: 雨量、地震烈度、重力与人为活动力.

雨量是不稳定斜坡最主要的外界触发因素. 表 9 中除时雨量外, 引参考文献[4—6]. 降雪对斜坡不稳定的触发作用缓慢, 通常要在融雪后数十天才触发不稳定斜坡滑动<sup>[7]</sup>.

目前还无法作出判别的是降雪量和风力。

表 9 雨 量

Table 9 Rainfall

危险度 $D$	因子判别值 $X_j$	时雨量 (毫米)	日雨量 (毫米)	月雨量 (毫米)
I	$X_1^1=6.00$	80—60	200—150	300—350
II	$X_1^2=5.00$	60—40	150—100	150—250
III	$X_1^3=4.00$	40—20	100—50	50—200
IV	$X_1^4=3.00$	20—10	50—40	30—150
V	$X_1^5=2.00$	—	40—30	15—100
VI	$X_1^6=1.00$	—	<30	<10

表 10 震 烈 度

Table 10 Earthquake intensity

危险度 $D$	因子判别值 $X_j$	地震烈度 $I$ (度)	触发规模 $V$ (万米 <sup>3</sup> )
I	$X_1^0=6.00$	极震区	>100.0
II	$X_1^0=5.00$	X	100.0—50.0
III	$X_1^0=4.00$	IX	50.0—10.0
VI	$X_1^0=3.00$	VIII	10.0—0.5
V	$X_1^0=2.00$	VII	0.5—0.1
VI	$X_1^0=1.00$	VI	<0.1

地震力是崩塌、滑坡的直接触发因素<sup>[8]</sup>。与斜坡破坏有关的地震参数是：地震烈度  $I$ 、加速度  $a$ 、地震周期  $T$ 、地震历时  $t$ 、最大震中距  $\Delta_{\text{最大}}$ <sup>[9]</sup>。目前使用较广泛的判别指标仅为地震烈度  $I$  (表 10)<sup>[10]</sup>。

斜坡在重力作用下,会产生重力卸荷裂隙。它控制着斜坡破坏规模,岩质斜坡中尤为明显。野外观察得知,硬岩质斜坡中的重力卸荷裂隙深度  $h$  为斜坡高度  $H/3$ ,软岩质斜坡中的  $h$  不足  $H/6$  (表 11)。

表 11 卸 荷 裂 隙 深 度

Table 11 Depth of unloaded crack

危险度 $D$	因子判别值 $X_j$	岩 质 斜 坡		土质斜坡中的 $h$ (米)
		硬岩斜坡中的 $h$ (米)	软岩质斜坡中的 $h$ (米)	
I	$X_1^1=6.00$	$>H/3$	$>H/6$	$0.57H-27.1^{1)}$
II	$X_1^2=5.00$	$H/3-H/4$	$H/6-H/7$	$(0.57H-27.1)/2$
III	$X_1^3=4.00$	$H/4-H/5$	$H/7-H/8$	$(0.57H-27.1)/3$
IV	$X_1^4=3.00$	$H/5-H/6$	$H/8-H/9$	$(0.57H-27.1)/4$
V	$X_1^5=2.00$	$H/6-H/7$	$H/9-H/10$	$(0.57H-27.1)/5$
VI	$X_1^6=1.00$	$H/7-H/8$	$H/10-H/11$	$(0.57H-27.1)/6$

1)引自刘汉超的资料。

人为活动力有直接和间接之分,结果使不稳定斜坡遭受不同程度地破坏(表 12)。

## 二、判 别 式

把上述各判别指标的因子判别值  $X_j$  叠加并予以综合后,即得叠加因子判别值  $Y$ ,判别式为

$$Y = \sum_{j=1}^N X_j / N, \quad (1)$$

式中  $N$  为判别指标的数目。 $N$  越多,判别精度就越高。 $N$  取  $>6$ ,即:斜坡表面变形中取 2—3 个,斜坡本身的内部条件中也取 2—3 个,外界触发因素中取 1。

表 12 人为活动力

Table 12 Human activity

危险度 $D$	因子判别值 $X_i$	活 动 方 式	造 成 的 后 果
I	$X_1^2=6.00$	不合理切割坡脚	在短期内直接触发滑坡
II	$X_1^2=5.00$	灌溉生产生活用水	使斜坡逐渐产生滑坡
III	$X_1^2=4.00$	不合理开山放炮, 开矿挖煤	使斜坡失稳
IV	$X_1^2=3.00$	增加荷载	使斜坡逐渐变形
V	$X_1^2=2.00$	水利工程不当	掏蚀坡脚, 使之缓慢失稳
VI	$X_1^2=1.00$	乱砍植被	破坏斜坡生态平衡

求出  $Y$  值后, 查表 13, 便得不稳定斜坡的危险度  $D$ 。

表 13 危险度的判别

Table 13 Judgment of danger degree

危险度 $D$	叠加因子判别值 $Y$	斜 坡 变 形 阶 段
I	6.13—5.06	临近崩滑阶段
II	5.06—4.13	加速向崩滑发展阶段
III	4.13—3.13	逐渐形成整体破坏阶段
IV	3.13—2.16	斜坡内部破坏发展阶段
V	2.16—1.01	斜坡内部破坏初始阶段
VI	1.01—0.00	斜坡内部可能有局部蠕变阶段

### 三、实 例

四川省木里县城坐落在一个大型古滑坡上。1984—1985 年古滑坡局部复活。1987 年古滑坡右侧一块复活体的后缘和前缘变形加剧。兹对其判别如下:

$X_1=3.00$  后缘弧形裂缝连通率 40 %。

$X_2=4.00$  前缘出现牵引拉张裂缝。

$X_3=3.00$  土质斜坡的垂直位移量 1—2 厘米/月, 最大水平位移量 10 厘米/月。

$X_4=4.00$  复活体方量 20 万立方米。

$X_5=4.50$  土质斜坡的斜坡率 1:2.00。

$X_6=5.50$  物质成分为古滑坡堆积体, 土夹 10 % 碎石,  $C=0.02$ ,  $\varphi=10^\circ$ 。

$X_7=4.50$  堆积体下伏基岩(粉砂岩、板岩互层), 顺坡倾斜, 倾角  $\beta=21^\circ$ 。

$X_8=5.00$  县城雨季(7—9 月)日雨量 130 毫米。

$X_9=2.00$  县城地震烈度  $I=VI$ 。

$X_{10}=5.00$  县城的生活用水排泄不畅, 大部分灌入坡体。

用式(1)将 10 个判别指标的各自因子判别值叠加并综合, 得  $Y=4.05$ 。

查表 13, 得  $D=II$ 。即复活体处于加速向滑动发展阶段。调查结果表明, 复活体完全具备滑动条件, 变形迹象明显, 由外界主要触发因素地表水大量灌入地下而造成。县上采取排水措施后, 效果明显, 1987—1989 年间复活体无新的变形迹象。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 湖北省西陵峡岩崩调查处,1985,新滩滑坡征兆及其成功的监测预报,水土保持通报,(5),第 1—9 页。
- 〔2〕 交通部第一铁路设计院,1975,铁路工程地质手册,人民交通出版社,第 134—135 页。
- 〔3〕 工程地质手册编写组,1982,工程地质手册,中国建筑工业出版社,第 244—245,269—272 页。
- 〔4〕 王少东,1984,四川雨季滑坡规律的初步探讨,滑坡文集(第四集),中国铁道出版社,第 32—44 页。
- 〔5〕 Wiczorek, G. F., Sarmiento, J., 1988, Rainfall, piezometric levels, and debris flows near La Honda, California, in storms between 1975 and 1983. Landslides, floods, and marine effects of the storm of January 3—5, 1982, in the San Francisco Bay region, California. U. S. Geological Survey professional paper 1434, United States Government Printing Office, Washington, 43—62.
- 〔6〕 曲焰,1989,蠕变滑动与降雨量的相关关系,滑坡论文选集,四川科学技术出版社,第 198—205 页。
- 〔7〕 傅传之等,1983,试论酒勒山滑坡机理,水土保持通报,(3),第 8—16 页。
- 〔8〕 乔建平,1988,云南地震与崩塌滑坡,地理,1(1),第 15—21,45 页。
- 〔9〕 乔建平,1987,川西南滇北接壤带地震滑坡概述,山地研究,5(3),第 181—186 页。
- 〔10〕 胡聿贤,1988,地震工程,地震出版社,第 189 页。

## JUDGMENT OF DANGER DEGREE OF INSTABILITY SLOPE

Qiao Jianping

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences

&amp; Ministry of Water Conservancy)

## Abstract

The danger degree judgment of instability slope is made with qualitative indexes. It may be classified danger, secondary danger and undanger.

The deformed slope surface and the internal conditions and outside trigger factors causing instability of the slope may be used to decide the danger degree of the instability slope.

12 qualitative and quantitative indexes for deciding the danger degree are: trailing edge deformation, leading edge deformation, displacement volume of slope body, groundwater in slope body, possible scale for sliding, slope rate, shear strength of slope materials, original structure of slope, rainfall, earthquake intensity, depth of unloaded crack and human activity. They all have factor judgment values  $X_i^j$ , where,  $i$  is the number of judgment indexes, 1—12;  $j$  is the degree number of factor judgment values, 1—6. Superposing all factor judgment values  $X_i^j$ , the superposed factor judgment values are:  $Y = \sum_{i=1}^N X_i^j / N$ ,  $N$  is the amount of judgment indexes (more than 6 indexes). And then the danger degree  $D$  of instability slope may be decided based on table 13.

**Key Words** instability, slope, danger degree, judgment