

# 新滩滑坡位移量影响因素的分析

同济大学 阳吉宝

**【提要】** 本文首先运用统计数学方法——数量化理论,建立了影响新滩滑坡变形位移量的预测公式,然后对影响该滑坡位移量的诸因素作了分析。研究表明,降雨作用、基岩面形状和坡体厚度是该滑坡变形位移的主要影响因素。该结论对滑动后的新滩边坡加固改造具有指导意义。

**【Abstract】** A useful formula for the prediction of the displacement of xintan landslide is set up according to the theory of quantification. It is found that the effect of rainfall, the configuration of the interface of the bedrock and the depth of the talus deposit are main affecting factors. This conclusion has significant to strengthen xintan slope which slidden.

## 一、前言

人们在防治滑坡实践中发现,滑坡位移观测是滑坡研究中最直接可靠且简单易行的方法。滑坡的变形位移观测也越来越受到工程地质界所重视。目前,滑坡的位移观测资料主要用来预报滑坡发生时间。其实,滑坡变形位移资料包含着大量的有用信息,深入研究长期观测所获得的滑坡体在其破坏前的运动特征,不但有助于我们查清滑坡发生机理、准确预报滑坡,而且还有助于我们寻求分析滑坡稳定性的新方法,以便减少实物勘探工作量的投入,提高长期观测的经济效益。本文就是在研究新滩滑坡位移长期观测资料的基础上,提出一种利用长期观测资料分析影响滑坡稳定性因素的新方法。借助于近年来发展起来的一种统计数学方法——数量化理论,把滑坡位移量同控制影响它的各种因素直接地定量联系起来。所建立的预测方程通过回判表明较符合客观实际。在建立方程过程中得到的影响滑坡位移主要因素,对分析滑坡失稳机制及滑后边坡加固处理皆有重要的指导意义。

## 二、数量化理论<sup>[1]</sup>基本原理

数量化理论为多元统计的一个分支,其自变量既可以是定性变量,又可以为定量变

量。从而可充分利用可能搜集到的定性、定量地质条件信息,使那些难以作详细定量研究的地质问题定量化,更全面地研究并发现事物间的联系的规律性。

### 1. 项目、类目及反应矩阵的概念

在数量化理论中,常把定性变量叫做项目,而把项目的不同取“值”称为类目。

今考虑有一些项目,  $x_1, x_2, \dots, x_m$ 。对定量的基准变量进行预测,设第一个项目  $x_1$  有  $r_1$  个类目,  $C_{11}, C_{12}, \dots, C_{1r_1}$ ; 第二个项目  $x_2$  有  $r_2$  个类目,  $C_{21}, C_{22}, \dots, C_{2r_2}$ ; 第  $m$  个项目  $x_m$  有  $r_m$  个类目,  $C_{m1}, C_{m2}, \dots, C_{mr_m}$ ; 总共有  $\sum_{j=1}^m r_j = P$  个类目。

称  $\delta_i(j, k)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, M$ ;  $k = 1, 2, \dots, r_j$ ) 为  $j$  项目的  $k$  类目在第  $i$  个样品中的反映,并按下式确定:

$$\delta_i(j, k) = \begin{cases} 1 & \text{当第 } i \text{ 个样品 } j \text{ 项目的定性} \\ & \text{数据为 } k \text{ 类目时;} \\ 0 & \text{否则。} \end{cases}$$

如考虑有  $H$  个定量变量和  $m$  个定性变量的情况,定量变量在第  $i$  个样品中的数据为  $x_i(u)$  ( $u = 1, 2, \dots, H, i = 1, 2, \dots, N$ )。假定观测了几个样品,测定的结果如下:我们称此矩阵为反应矩阵。



表 1 基准变量、类目及定量变量一览表

基准变量	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\delta(1,1)$	$\delta(1,2)$	$\delta(2,1)$	$\delta(2,2)$
0.4739	37.6	12.0	13.2	48.0	0	1	1	0
0.4333	16.0	11.3	13.2	62.0	0	1	1	0
0.4337	8.0	11.3	21.5	64.0	0	1	1	0
0.4331	46.0	15.5	24.0	40.0	0	1	0	1
0.4199	22.8	11.3	13.2	56.0	0	1	0	1
0.2961	8.0	11.3	21.5	64.0	0	1	0	1
1.0774	64.0	29.5	25.9	28.0	1	0	1	0
0.5014	46.0	15.5	24.0	40.0	0	1	1	0
0.4616	20.0	11.3	13.2	60.0	0	1	1	0
0.5617	52.0	15.5	24.0	36.0	0	1	1	0
0.4850	22.8	11.3	13.2	56.0	0	1	1	0
0.4810	52.0	15.5	24.0	36.0	0	1	0	1
0.4186	37.6	12.0	13.2	48.0	0	1	0	1
0.8466	64.0	29.5	25.9	28.0	1	0	0	1
0.3818	16.0	11.3	13.2	62.0	0	1	0	1
0.3772	20.0	11.3	13.2	60.0	0	1	0	1

2. 建立预测方程

$$Y = 1.4037 - 0.0094x_1 + 0.0243x_2 + 0.0107x_3 - 0.0164x_4 + 0.1397\delta(1,1) + 0.0904\delta(2,1)$$

复相关系数为0.9858。

笔者根据数量化理论<sup>[1]</sup>基本原理,编制了FORTRAN程序,经计算得到如下预测方程:

表 2 基准变量、预测值一览表

基准变量	预测值	基准变量	预测值	基准变量	预测值	基准变量	预测值
0.4739	0.5011	0.4199	0.4023	0.4616	0.4536	0.4186	0.4106
0.4333	0.4586	0.2961	0.3218	0.5117	0.5307	0.8468	1.1130
0.4337	0.4122	1.0774	1.2034	0.4850	0.4927	0.3818	0.3682
0.4331	0.4313	0.5014	0.5218	0.4810	0.4402	0.3772	0.3632

3. 根据偏相关系数确定主要影响因素

表 3 所示的偏相关系数可用来衡量各变形影响因素的贡献大小。从其排序来看,对坡体位移影响较大的三个因素从大到小依次为:降雨作用,基岩面倾角、堆积体厚度。

再让我们讨论一下各影响因素对坡体位移的具体影响。

由预测方程可知,各主要影响因素对滑体位移量有如下影响:

(1) 降雨作用对坡体位移影响较大,

表 3 偏相关系数一览表

项 目	系 数	排 序
距剪出口距离 $x_1$	0.2303	4
坡面坡度 $x_2$	0.2217	5
基岩面倾角 $x_3$	0.3316	2
堆积体厚度 $x_4$	0.2763	3
岩土体结构	0.1024	6
降雨作用	0.8226	1

雨季位移量明显大于其它季节。尤其是在滑体接近大滑时,坡体部分部位被挤压而使其渗透性急剧下降,降雨入渗而不断抬高地下水位,坡体稳定性不断恶化。降雨作用与坡体位移正相关。

(2) 基岩面倾角与坡体位移正相关。基岩面越陡,位移量越大。

(3) 堆积体厚度与坡体位移呈负相关。说明堆积体越厚,其自稳性越强,因而坡体位移也就越小。

### 五、水和岩崩加载作用特征

新滩边坡失稳的主要动力是降雨作用和岩崩加载,正是它们的交互作用使坡形不断改变。因此,上述三个主要影响因素也是通过对降雨作用和岩崩加载作用的反应来影响边坡稳定性的。我们知道,降雨作用与岩崩加载往往同时发生,很难分清谁主谁次。为此作如下讨论:

#### 1. 岩崩加载位置

广家崖基岩崩塌是崩塌物的主要来源,此崩塌物的堆积位置受崩塌速度和坡面形状等因素所控制。首先,主要在姜家坡以上前一次大滑后的残积体上堆积,形成双层结构;其次,随着崩塌发展,基岩后退,崩塌物又主要在广家崖脚下堆积,形成纯崩积物区。据地质调查,1964年以后,广家崖崩积物主要堆积于750m高程以上的崩积物上。

#### 2. 边坡变形发育史

1964年秋季降雨以后,首次在该边坡西侧(高程650m以下)出现了一条长450m、宽0.1m近SN向展布的长大拉张裂缝,而其上部广家崖脚(高程910m)却未出现任何变形迹象。此说明,最初变形并非由岩崩加载或崩积物失稳导致的。

### 3. 地下水赋存和作用空间

高程750m以上为纯崩积物,地下水极难赋存,水对其作用只是在降雨时的动力作用,而高程750m以下坡体为双层结构,下层粘土含量增高,透水性降低,地下水位变动幅度大,是地下水赋存和活动的主要空间,地下水对该边坡作用就是通过对该段作用来实现的。

#### 4. 上段中间地段的抗滑作用

利用有限元法计算出的上段各部位的稳定性系数有如下规律,高程400~560m和高程640m以上两段稳定性系数均小于1,而高程560~640m的中间地段稳定性系数大于1。也就是说,崩积物加载作用为中间抗滑体所抗消,未能传递到姜家坡前缘,该边坡上段后缘失稳和前缘失稳在一定时间内并无直接力的联系。

#### 5. 观测资料

高程580~750m设立的8个观测点所观测到的水平位移所反映的各观测点之间关系如表4所示。 $F_4$ 点附近(高程650m左右)出现拉张变形。截至1985年6月10日情况仍然如此。此资料既验证了有限元计算结果的正确性,又为上述分析提供了有力佐证。有限元计算可参阅文献<sup>[1]</sup>。

#### 6. 滑动时间序列

1985年6月10日,姜家坡前缘高程580m以下,沿高家岭西侧沟槽先期下滑约70万方,拉开了大滑的序幕。

6月12日凌晨,高程390~630m坡体首先剪出,尔后,630m以上坡体再整体下滑。

此滑动时间序列表明,上段大滑并非始于后缘,相反,前缘部位失稳而导致崩积物下滑。

表 4

观测点序号	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$
观测点之间力学联系	压	压	压	拉	压	压	压	压

### 7. 边坡破坏历史

1935年7月3日,连降七天七夜暴雨之后,姜家坡一带产生滑坡,总体积达170万方。此次滑坡纯为地下水的作用,并无岩崩记载。

### 8. 基岩面的作用

我们知道,基岩面是堆积体边坡内的主要弱面,对边坡稳定性起着控制作用。对于多次复活的滑坡,基岩面形状控制着大滑时滑坡残积物的堆积。主要表现在每一次大滑后的边坡堆积物表面(坡面)形状与基岩面形状相似,即所谓的正地形。而在其进入下一次失稳循环时,崩积物又使边坡改造成与基岩面形状相反的负地形。如此循环往复,使边坡一次次复活失稳。基岩面形状还是地下水渗透状况的主要影响因素。

### 六、边坡加固改造

针对上述说明,上段边坡根据力学状态可分为下列三段:

#### 1. I 段

高程750~910m,为纯崩积物。受广家崖岩崩加载作用,I段沿基岩面自1982年开始下坐,对其下崩坡积物施加下滑推力。

#### 2. II 段

高程630~750m,为崩坡积物。该段自稳,但其既受I段下滑推力作用,又受III段牵引作用。地下水对其作用比I段大,但又小于III段。此段抗滑作用使I段与III段之间无直接力的联系,只是在临滑前,II段抗滑力消失,才使I段下滑推力通过II段传递给III段。

#### 3. III 段

高程400~630m,为崩坡积物。该段受地下水作用较I、II段强烈。同时,自1964年以来,在地下水作用下一直在发生着失稳变形。该段稳定性主要受地下水、基岩面形状和坡体厚度所制约,而不受I、II段影响。只是到了1985年6月10日以后,边坡应力状

态发生了剧变,整个上段随着II段抗滑作用消失而形成统一的应力场,自上而下发生整体滑动。

由上分析可以看出,加固该边坡要着重解决好两个问题。一个是在查明高程630m以下边坡基岩面形状的基础上,合理布设人工排除地下水的工程措施,有效地消除III段内所受的地下水作用;另一个是加固广家崖基岩,防治岩崩加载。

另外,也可以考虑基岩面形状及坡面形状对边坡稳定性的影响,尝试一下通过协调两者关系来提高边坡稳定性。

### 七、结论

1. 影响新滩边坡上段稳定性的主要因素为由降雨而产生的地下水作用、基岩面形状和堆积体厚度。

2. 综观边坡破坏历史,岩崩不断改造着坡体形状并调节其应力场;但1964年以后,岩崩加载主要影响高程750m以上堆积体的稳定性。

3. 地下水的作用是上段坡体高程630m以下地段失稳的主要动力。地下水作用力的大小和时间又受控于降雨作用。

4. 地下水对上段坡体中I段的作用和岩崩加载对III段失稳的影响都是极其有限的。分析地下水和岩崩加载作用时要分清时间、地点和方式。

5. 提高该边坡稳定性主要依靠有效地防治崩塌对I段的加载作用和地下水对III段的静水压力作用。

### 参 考 文 献

- 1 阳吉宝.运用自重与地下水渗流耦合应力场分析边坡稳定性.勘察科学技术,1994. No. 2
- 2 阳吉宝.新滩滑坡特征及其力学机制分析.中国地质大学(北京)研究生论文,1990.6
- 3 骆培云.新滩滑坡与临滑预报.中国典型滑坡.北京:科学出版社,1988