

四川省万县市豆芽棚滑坡

乔建平

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 豆芽棚滑坡体长 500m, 宽 150m, 平均厚 10—15m, 体积 100 万 m^3 . 主滑方向 30° . 滑坡前缘海拔 150m, 后缘海拔 200m. 本滑坡是在斜坡遭人为破坏(加载)后由降雨诱发的. 滑坡防治措施主要拟采取减载和布设抗滑桩.

关键词 四川省 万县市 人为活动 破坏模型

豆芽棚滑坡所在的四川省万县市城北, 为长江三峡库区城市移民的新建城区. 滑坡体长 500m, 宽 150m, 平均厚 10—15m, 体积 100 m^3 . 主滑方向 30° . 滑坡前缘海拔 150m, 后缘海拔 200m. 滑体上陡下缓, 坡度: 上段 20° 、下段 10° . 滑坡表面呈阶梯状(图 1).

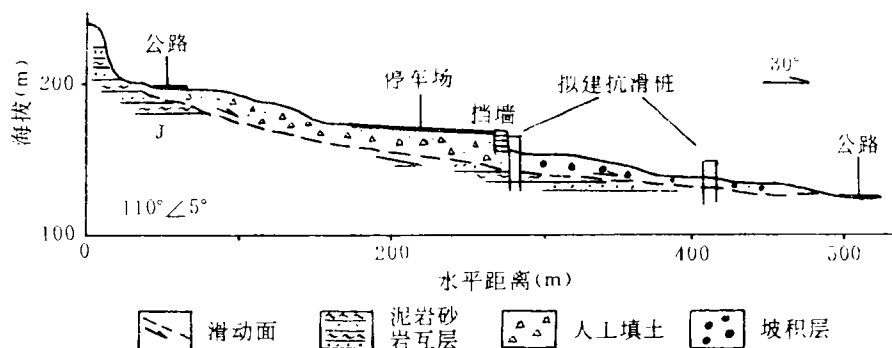


图 1 万县市豆芽棚滑坡纵剖面

Fig. 1 Section of Douyapeng Landslide in Wanxian City

随着三峡库区城市移民工作的开展, 近年来万县市城建布局逐步向高处后移, 在滑坡体后缘及中部相继修筑了大量高层建筑和其他城市设施. 滑坡前沿的旧城建筑物、公路均处于水库淹没线之下. 1992-08, 滑坡后缘楼房、公路出现局部裂缝; 当年 09, 后缘裂缝基本连通, 最宽达 2—3cm, 垂直下沉 10—30cm; 前沿也出现鼓丘及鼓张裂缝. 局部已挤压剪出, 位移量 10—30cm. 此后滑坡位移仍在继续发展.

1 滑坡形成机理

1.1 内部因素

豆芽棚滑坡发育在古滑坡体上. 其物质由紫红色粘土夹块石、碎石和人工填土组成. 基岩为侏罗系中统上沙溪庙组紫红色泥岩和粉砂岩, 倾向 110° , 倾角 $3^\circ—5^\circ$, 倾向与主滑

本文收稿日期: 1993-09-10.

方向斜交。据地质钻孔资料揭露,覆盖层底面起伏呈阶梯状,亦为上陡下缓。覆盖层底面起伏和地面起伏大体一致。原始斜坡组成物质、地貌起伏特征均与四川红层易滑有关,这是滑动的内部因素。由于古滑坡物质的顺坡下移运动,大部松散物已移至坡脚,斜坡中后部覆盖物相对变薄。原始斜坡的滑动内部因素虽具备,但因斜坡中后部基岩埋藏较浅,如果不破坏斜坡的自然结构状态,一般就能保持相对稳定,产生滑坡的几率较低。

1.2 触发因素

1.2.1 主导因素

20 世纪 80 年代后期开始,豆芽棚古滑坡后缘相继建起若干高层建筑;1991—1992 年,为兴建万县市汽车客运中心站停车场,在古滑坡中部(主滑段)大量堆积人工填土,构筑了一个体积 10 万 m^3 的平地。停车场前沿高出原始地面 20m,形成人工高陡坡,从而完全改变了原始斜坡结构,增大斜坡载荷,为古滑坡复活创造了充分条件。此时斜坡虽已处于临界状态,但其组成物质的性质尚未改变,因此古滑坡未立即复活。随后在人们充分利用有限空间过程中,忽视了保护斜坡的稳定性,以致破坏。

1.2.1 诱导因素

1992-04 起万县市连续干旱长达 4 个多月,地面普遍开裂,地下水位下降。当年 07 下旬转入雨季后,连降暴雨数日,尔后又持续降中小雨,到 08 中旬结束。久旱之后的降雨通过地表裂缝迅速渗入地下,使斜坡物质的性质改变,内聚力下降,负荷(静水压力)加大,为古滑坡复活创造了必要的条件。08 底开始,斜坡出现变形迹象,这显示已处于临界状态的斜坡逐渐演化成滑坡。所以豆芽棚滑坡是在人为破坏下由降雨诱发的。

2 滑坡发展趋势

1992-09 中旬,豆芽棚滑坡后缘变形加剧,拉张裂缝迅速连通,垂直方向和水平方向同时出现位移。之后,滑坡前缘相继出现鼓丘,局部可见剪出口。滑坡右侧商品楼地基也发生塌陷,严重威胁楼房安全。1992-09—1993-04 观测资料显示,滑坡主滑方向的位移量总的在增大(图 2),其中 8, 9, 10 三个观测点的位移量至 1992-10 急速增大,年底又一次陡增,随后变缓。7, 11, 12 三个观测点的位移量较小,变化较缓。

2.1 位移量的统计处理

为分析滑坡发展趋势,对实测位移量作了如下三种统计。

2.1.1 各观测点平均位移量统计

按月对各观测点实测位移量(见图 2)作出统计平均,即

$$y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=7}^{12} m_i, \quad (1)$$

式中 y_i 为各观测点平均位移量; n 为观测点统计个数; m_i 为各观测点实测位移量。

2.1.2 各月平均位移量统计

据图 2 所提供的位移量作出各月位移量统计平均(图 3),即

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=7}^{12} y_i, \quad (2)$$

式中 \bar{y} 为各月平均位移量.
 由此可使各观测点的实测位移量具有对比性,便于滑坡发展趋势分析.

2.1.3 滑坡位移趋势统计

由图 3 可见,曲线基本符合指数函数关系,即

$$\hat{y} = A e^{Bt},$$

式中 \hat{y} 为滑坡位移函数; A, B 均为常数,经数学统计得: $A=14.0, B=0.14$ (相关系数 $r=0.97$); e 为自然对数的底; t 为位移变量. 由此豆芽棚滑坡位移趋势的指数函数关系式成

$$\hat{y} = 14.0e^{0.14t}. \tag{3}$$

2.2 滑坡发展趋势分析

从实测位移量的统计分析来看,豆芽棚滑坡发展趋势具有两种可能.

2.2.1 无控制作用下的发展趋势

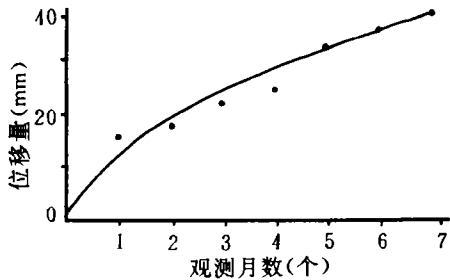


图 3 豆芽棚滑坡位移趋势
 Fig. 3 Displacement tend of Douyapeng Landslide

采取积极有效防治措施(如挡排等工程),可控制滑坡继续滑动,使斜坡重新趋于稳定状态.

3 破坏模型

3.1 受力结构模型

为讨论方便,把豆芽棚滑坡主滑方向受力结构模型定为加载前后两种简单理想模型(图 4).

3.1.1 加载前的斜坡受力结构模型

斜坡失稳前应基本符合

$$K_1 = R_1(M_1, a_1)/T_1(M'_1, a'_1) \geq 1, \tag{4}$$

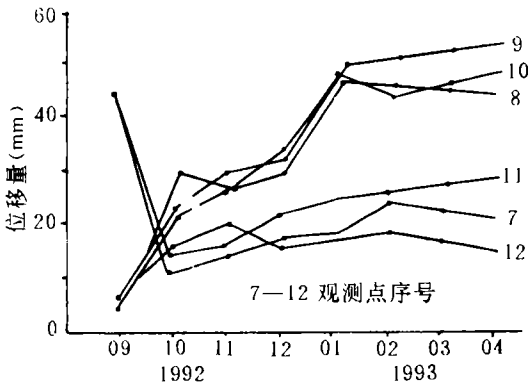


图 2 豆芽棚滑坡位移观测曲线
 Fig. 2 Curve of obsered displacement to Douyapeng Landslide

没有人为控制作用(如未设滑坡防治工程)而在天然状态下,斜坡虽已滑动,但能量尚未充分释放,可是受到斜坡组成物质(易滑)和地貌条件(阶梯状)的限制,故滑坡不致产生高速滑动,却有继续呈缓慢位移的可能,以至斜坡改变目前的受力状态,重新达到极限平衡状态(图 3 中的曲线形状将改变). 如前所述,豆芽棚滑坡是在降雨诱发下产生的,故降雨量、降雨历时在滑坡的发展过程中将起着至关重要的作用.

2.2.2 有控制作用下会趋向稳定

式中 K_1 为加载前的安全系数; R_1 为加载前的抗滑力; T_1 为加载前的下滑力; $M_1 = \sum_{i=1}^6 J_{i1}$ (加载前抗滑段模型块体的体积) 为加载前抗滑段体积; α_1 为加载前抗滑段斜坡坡度; $M'_1 = \sum_{i=7}^{10} J_{i1}$ (加载前主滑段模型块体的体积) 为加载前主滑段体积; α'_1 为加载前主滑段斜坡坡度. 满足式(4)应

$$R_1 \geq T_1 \Rightarrow M_1 \geq M'_1, \alpha_1 < \alpha_{0k}, \alpha'_1 < \alpha'_{0k}.$$

其中 α_{0k} 为斜坡抗滑段临界角; α'_{0k} 为斜坡主滑段临界角. 一般地说, 四川红层的 $\alpha_{0k} \leq 15.0^\circ$, $\alpha'_{0k} \leq 25.0^\circ$.

加载前的斜坡受力结构即

$$M_1 = m_1 + \dots + m_6 > M'_1 = m_7 + \dots + m_{10},$$

$$\alpha_1 = 7.0^\circ - 10.0^\circ < \alpha_{0k}, \alpha'_1 = 15.0^\circ - 20.0^\circ < \alpha'_{0k},$$

故斜坡能处于相对稳定状态.

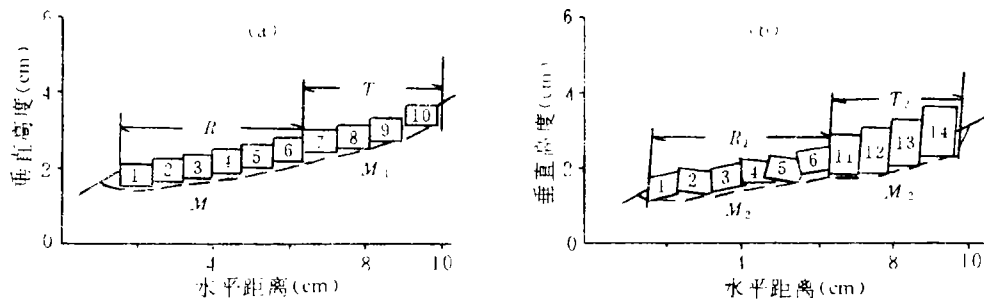


图4 加载前(a)后(b)的斜坡受力结构模型

Fig. 4 Before increase weight (a) and after increase weight (b), slope structure model under force

3.1.2 加载后的斜坡受力结构模型

人为加载改变了原始斜坡的受力结构方式. 这应基本符合

$$K_2 = [R_2(M_2, \alpha_2)/T_2(M'_2, \alpha'_2)] < 1, \quad (5)$$

式中 K_2 为加载后的安全系数; R_2 为加载后的抗滑力; T_2 为加载后的下滑力; $M_2 = M_1$ (即加载对抗滑段无影响, $J_{i2} = J_{i1}$, $\alpha_2 = \alpha_1$); $M'_2 = \sum_{i=11}^{14} J_{i2}$ (加载后主滑段模型块体的体积) 为加载后主滑段体积; α'_2 为加载后主滑段斜坡坡度. 满足式(5)应

$$R_2 < T_2 \Rightarrow M_2 < M'_2, \alpha_2 > \alpha_{0k}, \alpha'_2 > \alpha'_{0k}.$$

加载后的斜坡受力结构即

$$M_2 = M_1 < M'_2 = m_7 + \dots + m_{14},$$

$$\alpha_2 = 10.0^\circ - 15.0^\circ \geq \alpha_{0k}, \alpha'_2 = 25.0^\circ - 30.0^\circ \geq \alpha'_{0k}.$$

由此可见, 斜坡的自重和坡度都在改变, 便产生滑动.

3.2 坡形变化模型

不稳定斜坡的坡形(滑坡有效临空面)由坡度及相对高度所决定, 其中坡度是判别滑

坡发生可能性的重要依据。由此以图 4 作出相似坡形曲线(图 5),并分别计算出斜坡加载前后稳定状态和不稳定状态的坡度,以分析斜坡破坏的坡形特点。

由图 5 可见,相似坡形曲线的函数方程:
 加载前 $f_1(x)=a^{(x/b)}$, (6)
 加载后 $f_2(x)=a^{(x/c)}$, (7)
 相似坡形曲线上每一点的斜率即为斜坡上每一点的坡度。
 加载前的斜坡坡度
 $\alpha_1 = \tan^{-1}[f_1'(x)] = \tan^{-1}[a^{(x/b)} \ln a^{(1/b)}]$, (8)
 加载后的斜坡坡度
 $\alpha_2 = \tan^{-1}[f_2'(x)] = \tan^{-1}[a^{(x/c)} \ln a^{(1/c)}]$, (9)
 式中 a, b, c 分别为计算常数 2, 5, 4。

用式(8, 9),按斜坡模型块体顺序,分别计算出加载前后的斜坡坡度(表 1)。据此再计算出加载前后的斜坡平均坡度。

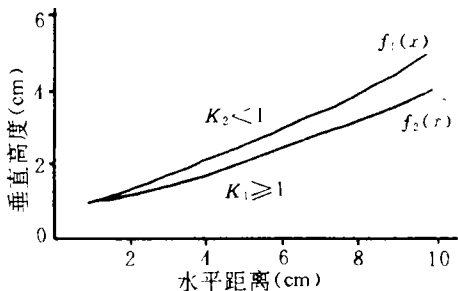


图 5 加载前后的豆芽棚滑坡相似坡形曲线
 Fig. 5 Before increase weight and after increase weight, similar slope shape curve of of Douyapeng Landslide

表 1 加载前后的斜坡坡度

Table 1 Before increase the weight and after increase weight, gradient of model slope

斜坡模型块体序号	抗滑段						主滑段			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha_1(^{\circ})$	8.4	9.7	11.1	12.7	14.5	16.6	18.9	21.3	24.3	27.4
斜坡模型块体序号	1	2	3	4	5	6	11	12	13	14
$\alpha_2(^{\circ})$	11.0	13.0	15.9	18.7	22.0	25.6	29.0	34.0	38.0	43.0

3.2.1 加载前的斜坡平均坡度

加载前抗滑段的斜坡平均坡度 $\bar{\alpha}_1 = \sum_{i=1}^6 \alpha_i / N = 12.1^{\circ} < \alpha_{ok}(15^{\circ})$,
 加载前主滑段的斜坡平均坡度 $\bar{\alpha}_1 = \sum_{i=7}^{10} \alpha_i / N = 22.9^{\circ} < \alpha'_{ok}(25^{\circ})$.

式中 N 为斜坡模型块体个数。
 这表明:斜坡处于相对稳定状态。

3.2.2 加载后的斜坡平均坡度

加载后抗滑段的斜坡平均坡度 $\bar{\alpha}_2 = \sum_{i=1}^6 \alpha_2 / N = 17.0^{\circ} > \alpha_{ok}(15^{\circ})$,
 加载后主滑段的斜坡平均坡度 $\bar{\alpha}_2 = \sum_{i=11}^{14} \alpha_2 / N = 36.0^{\circ} > \alpha'_{ok}(25^{\circ})$
 这表明:斜坡不稳定。

由上可见,当斜坡已具备滑坡组成物质、滑动结构条件时,斜坡有效临空面的变化对斜坡破坏作用十分显著。尤其是斜坡坡形在人为改造下(如加载、开挖等),变化显著,产

生破坏的几率就增大。

针对上述情况,对豆芽棚滑坡的防治宜减载、布设抗滑桩,对遭破坏的建筑需采取局部加固措施(如护挡、锚固等),并辅以必要的排水工程。

DOUYAPENG LANDSLIDE IN WANXIAN CITY, SICHUAN PROVINCE

Qiao Jianping

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*
& *Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041*)

Abstract

Douyapeng Landslide is located in northern of Wanxian City, Sichuan Province, where is also the planned new city section to that the people will move from the Three Gorges Reservoir Area of Changjiang River. Landslide was caused by man-made and raining osmosization.

Landslide is about 500m of length, 150m of width, 10—15m of depth, and $1\text{M}(\text{m})^3$ of volume. The slide direction tends to 30° , the altitude is 150—200m, and the slope angle is 10° downwards to 20° upwards.

A vehicle stop station was built in 1991—1992 on middle of the slope. Crack was found beyond the slope on August of 1992; on September the crack horizontal displacement was 2—3cm and vertical displacement was 10—30cm.

The shape of landslide surface show the step like the rock floor. Landslide matter is consisted of “red rock bed of Sichuan”. Critical dip angle of skid-resisting is $\alpha_{0k} \leq 15.0^\circ$ and critical dip angle of slide is $\alpha'_{0k} \leq 25.0^\circ$. Decline ratio of the points on correlation curve (Fig. 5) are also the dip angle to the points on slope. Calculation result declared that before building the station, the average slope angles of skid-resisting and slide are $\bar{\alpha}_1 = 12.1^\circ < \alpha_{0k}$, $\bar{\alpha}'_1 = 22.9^\circ < \alpha'_{0k}$, the slope was stable in this time. After building the station, the angles are $\bar{\alpha}_2 = 17.0^\circ > \alpha_{0k}$, $\bar{\alpha}'_2 = 36.0^\circ < \alpha'_{0k}$, the landslide was triggered.

Control project includes relieving loading on slope and skid-resisting piles.

Key words Sichuan Province, Wanxian City, landslide, man-made, damaged model