

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.2020.05.002

# 震后斜坡崩滑土体分块差异稳定性计算方法\*

黄成<sup>1</sup>, 陈宁生<sup>2</sup>, 张友谊<sup>3</sup>, 张勇<sup>2</sup>

(1. 广汉市水利局 河道保护中心, 四川 德阳 618300; 2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010)

**摘要:** 九寨沟“8·8”地震后发育大量的土质斜坡崩滑灾害, 这一类型的崩滑斜坡坡体较为破碎, 厚度较小。传统的传递系数法计算模型应用于这类崩滑斜坡稳定性计算时, 存在将边坡整体计算及不能反映局部崩滑稳定性的问题。将崩滑斜坡破碎程度分为: 极度破碎、高度破碎、中度破碎、轻度破碎以及不破碎, 基于传递系数法, 考虑了坡体的5种破碎程度, 对滑坡稳定性系数以及推力大小计算模型进行改进。并以九寨沟县热西寨老电站对面崩滑为例, 对比了两种计算方法的结果。结果表明: 分块差异稳定性计算模型比传统计算方法得出来的数值更符合实际情况, 即分块法计算每个滑块稳定性存在差异, 有的在极端工况下处于欠稳定, 有的处于不稳定状态。基于分块法差异计算结果, 得出了崩滑斜坡的分块防治模式。

**关键词:** 崩滑斜坡; 分块差异稳定性; 破碎程度; 防治模式

**中图分类号:** TU43    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-2132(2020)05-0690-08

## Method for Calculating Blocked Differential Stability of Slope Collapse-slide Soil after Earthquake

HUANG Cheng<sup>1</sup>, CHEN Ningsheng<sup>2</sup>, ZHANG Youyi<sup>3</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>

(1. River Protection Center, Guanghan Water Resources Bureau, Deyang 618300, China; 2. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China; 3. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** A large number of soil slope collapses-slides disaster have developed after the “8.8” earthquake in Jiuzhaigou, which is more fragmented and has a smaller thickness. When the traditional transfer coefficient calculation model is applied to stability calculation of such slopes, there is a problem that the overall slope calculation cannot reflect the stability of a slider. In this paper, the fragmented degree of collapse-slide slope is divided into: extreme fragmentation, high fragmentation, moderate fragmentation, slight fragmentation, and no fragmentation. Based on the transfer coefficient method and considering the five degrees of fragmentation of the slope, this paper improves landslide stability coefficient and thrust calculation model. Taking the collapses and slides of old Rexi stockade Power Plant in Jiuzhaigou County as an example, the results of two calculation methods are compared. The

\* 收稿日期: 2018-08-02; 修回日期: 2018-11-13

基金项目: 国家自然科学基金国际合作与交流项目(41661134012)、“一三五”项目(SDS-135-1705)资助

作者简介: 黄成(1992-), 男, 硕士研究生。主要从事地质灾害形成机理与防治技术。Email: huangcsj@163.com

通讯作者: 陈宁生(1965-), 男, 研究员, 博士。主要从事地质灾害形成机理与防治技术。Email: chennsh@imde.ac.cn

results indicate: Compared with the traditional calculation method, the block differential stability calculation model more consistent with the actual situation, so there is a difference in the stability of each slider calculated by this method. Some are not stable under extreme conditions and some are unstable. Based on the difference calculation results of the block method, a block control model for the collapse-slide slope was obtained.

**Keywords:** collapse-slide slope; blocked differential stability; fragmented degree; control model

## 引言

在8·8九寨沟地震的影响下,九寨沟县内发生了大量的土质斜坡崩滑灾害。斜坡崩滑是不同破碎程度坡体的差异性滑动,而不是发生整体滑动,类似的地质灾害也出现在“5·12”汶川地震与“4·20”芦山地震影响的斜坡中<sup>[1-5]</sup>。从工程实例可以发现崩滑边坡失稳破坏与一般岩土边坡破坏有所不同,具有浅层性、多发性和重复性等特点。斜坡崩塌体的厚度一般多在5~7 m,其后壁存在陡坎,影响范围与严重程度比深层破坏小,但发生频率极高,且会重复发生。其导致原有斜坡发生改变,并可能进一步引起深层破坏<sup>[6-7]</sup>。目前,国内常用的滑坡稳定性计算方法为传递系数法,其优点是借助于滑坡构造特征分析稳定性及剩余推力计算,可以获得任意形状滑动面在复杂荷载作用下的滑坡推力,且计算简洁,但是计算这类差异性滑动的崩滑的稳定性存在困难<sup>[8-9]</sup>。传统的传递系数法计算模型应用于这类崩滑斜坡稳定性计算存在两个方面的问题:其一是传统的方法将边坡作为整体,考虑统一计算形成的整体稳定性与实际破碎分异的坡体不一致;其二是整体计算不能反映局部崩滑的稳定性问题,使得工程防治存在将崩塌“滑坡化”的问题,所以有必要研究土质崩滑斜坡的稳定性计算方法。

## 1 边坡破碎程度划分

九寨沟县景区处于“8·8”地震震中地区,也是地震灾害重灾区。地震不仅造成了大量的人员伤亡和经济财产损失,还诱发了崩滑、滑坡、泥石流等次生地质灾害。从九寨沟大量的崩滑灾害案例中可以看出崩塌斜坡失稳破坏的特殊性,崩滑斜坡与滑坡的区别是崩滑不像滑坡有明显的滑面,其主要特征是坡体较为破碎,主要表现为坡体局部崩滑,沿着坡体分级滑动,破坏后的坡体较为凹凸不平,且

前缘堆积体方量较小,如图1所示。

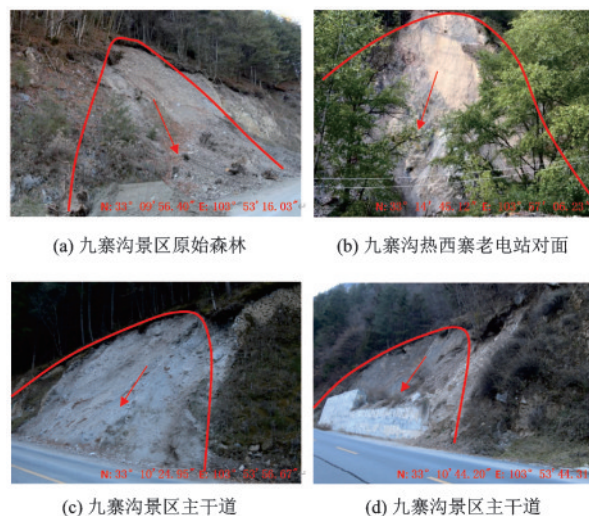


图1 土质崩滑斜坡案例

Fig.1 Soil collapses-slides slope case

根据“5·12”汶川地震、“4·20”芦山地震及“8·8”九寨沟地震震后崩滑斜坡案例,提出了坡体破碎程度的划分依据。破碎程度的主要是根据岩土体的裂隙间距与植被覆盖率来确定,破碎程度分为:极度破碎、高度破碎、中度破碎、轻度破碎以及不破碎,划分结果见表1。

表1 坡体破碎程度划分

Table 1 Slope fragmented degree division

破碎程度	划分标准
极度破碎	裂隙发育,裂缝间距小于1 m,无植被
高度破碎	裂隙较为发育,裂缝间距小于3 m,无植被
中度破碎	存在裂隙,裂缝间距小于5 m,植被稀少
轻度破碎	存在裂隙,裂缝间距小于10 m,植被稀少
不破碎	岩土体较为完整,植被茂盛,胶结较好

J.N.Hutchinson<sup>[10]</sup>对滑坡的分类讨论中,连续性旋转滑动的破坏模式与斜坡崩滑破坏模式相同,这是一种连续性的浅层的旋转滑动,大约分布在从坡顶到坡脚整个斜坡上,通常具有退式发育过程,并在斜坡上形成规则的阶梯状。计算该类崩滑斜坡

稳定性和推力大小首先需要将坡体划分滑块,根据崩滑斜坡坡体整体破碎程度,将斜坡划分为  $n$  个滑块,如图 2 所示。

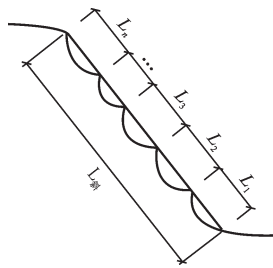


图 2 崩滑边坡的滑块划分

Fig.2 Collapses-slides slope slider partition

划分滑块是与斜坡坡面的长度和整体破碎程度密切相关,存在以下关系式:

$$L = \frac{1}{20} L_{斜}$$

极度破碎时滑块占斜坡坡面的长度为  $L$ ,高度破碎时滑块占斜坡坡面的长度为  $3L$ ,中度破碎时滑块占斜坡坡面的长度为  $5L$ ,轻度破碎时滑块占斜坡坡面的长度为  $10L$ 。取值可用插值法计算得到,见表 2。

表 2 滑块沿坡面方向长度划分

Table 2 Dividing of the slider along the length of the slope

破碎程度	边坡斜面 $L_{斜}/m$			
	20	50	100	200
极度破碎	1	2.5	5	10
高度破碎	3	7.5	15	30
中度破碎	5	12.5	25	50
轻度破碎	10	25	50	100
不破碎	—	—	—	—

## 2 崩滑土体分块差异稳定性计算模型

传统的传递系数法在我国水利、交通和铁道部门滑坡稳定分析中得到了广泛的应用,传递系数法依据《滑坡防治工程勘查规范》<sup>[11]</sup>的相关要求,采用刚体极限平衡法的传递系数法定量分析滑坡稳定性和推力大小,滑动面为折线的时候<sup>[12-14]</sup>:

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + T_n} \quad (1)$$

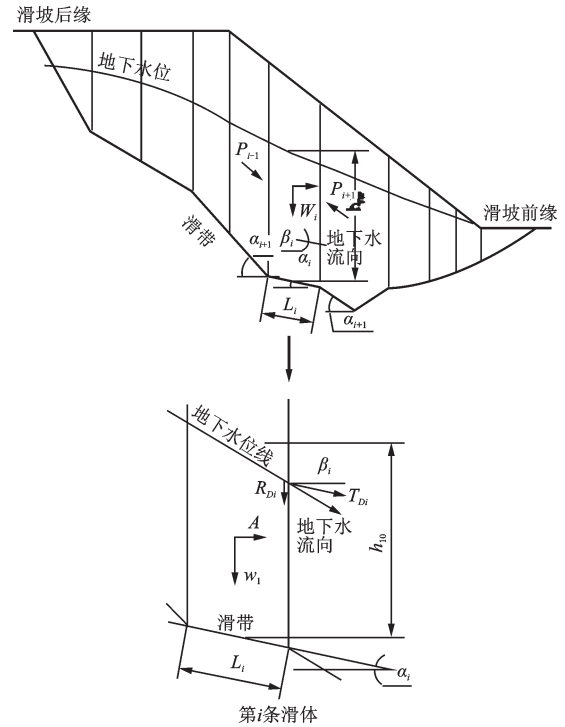


图 3 滑坡传递系数法计算模型(折线型滑动面)

Fig.3 Landslide transfer coefficient method calculation model (folded line sliding surface)

$$P_i = P_{i-1} \times \psi + K_s \times T_i - R_i \quad (2)$$

式中,  $F_s$  为滑坡稳定性系数;  $P_i$  为第  $i$  计算条块的剩余下滑推力;  $R_i$  为第  $i$  条块的抗滑力;  $T_i$  为条  $i$  条块下滑力;  $\psi_i$  为第  $i$  块段的剩余下滑力传递至第  $i+1$  块段时的传递系数;  $K_s$  为滑坡推力安全系数;  $R_n$ 、 $T_n$  以及未详尽参数见文献<sup>[15-16]</sup>。

基于上述的传递系数法,只对滑块进行整体稳定性计算。若考虑了滑块的破碎程度,对滑块再进行分块计算,更符合实际破碎分异的坡体计算结果。因此对传统的传递系数法作进一步改进,使得对滑块的稳定性系数以及推力大小计算更为合理。根据滑块的破碎程度以及裂隙发育程度,对每个计算的滑块进行划分为  $n$  个计算单元,划分计算单元依次为 I、II、III、IV..., 其后一计算单元与前一计算单元在斜坡坡面的长度差值分别为  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ ... $l_n$ 。根据滑块破碎程度划分标准对  $l$  取值:极度破碎时,  $l=1$  m,高度破碎时,  $l=3$  m,中度破碎时,  $l=5$  m,轻度破碎时,  $l=10$  m。同时,在计算滑块稳定性时,滑块内计算单元破碎程度一致,岩土力学参数取值相同,但需考虑不同滑块破碎程度对岩土力学参数取值的影响。模型示意如图 4 所示。

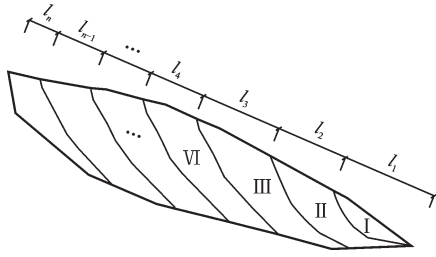


图4 划分计算单元模型

Fig.4 Dividing the calculation unit model

然后对滑块的每一计算单元采用传递系数法进行计算,计算模型如图5所示。

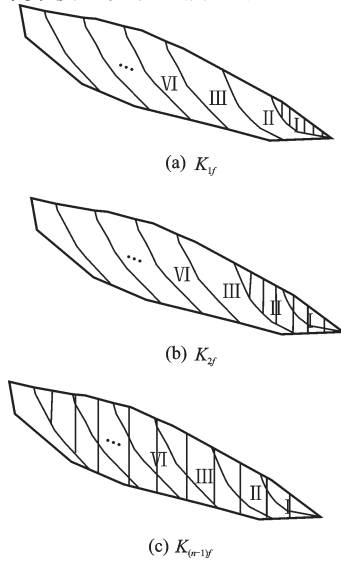


图5 滑块计算单元模型

Fig.5 Slider calculation unit model

①稳定性计算:计算得到  $n$  个计算单元的稳定性系数  $K_{1f}$ 、 $K_{2f}$ 、 $K_{3f}$ 、 $\dots$ 、 $K_{nf}$ 。根据后一计算单元与前一计算单元在斜坡坡面的长度差值分别为  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 、 $\dots$ 、 $l_n$ , 求得其  $l$  在斜坡坡面所占的比例, 根据推导得出:

$$K_f = k_1 K_{1f} + k_2 K_{2f} + k_3 K_{3f} + \dots + k_n K_{nf},$$

式中,

$$k_n = \frac{l_n}{l_{\text{总}}} \quad (3)$$

$$K_{nf} = \frac{\sum_{ni=1}^{n-1} (R_{ni} \prod_{nj=ni}^{n-1} \psi_j) + R_{nn}}{\sum_{ni=1}^{n-1} (T_{ni} \prod_{nj=ni}^{n-1} \psi_j) + T_{nn}} \quad (4)$$

由式(1)、(4), 最终得到斜坡崩滑土体分块差异稳定系数为:

$$K_f = \frac{l_1 \left( \sum_{1i=1}^{n-1} (R_{1i} \prod_{1j=1i}^{n-1} \psi_j) + R_{1n} \right)}{l_{\text{总}} \left( \sum_{1i=1}^{n-1} (T_{1i} \prod_{1j=1i}^{n-1} \psi_j) + T_{1n} \right)} + \frac{l_2 \left( \sum_{2i=1}^{n-1} (R_{2i} \prod_{2j=2i}^{n-1} \psi_j) + R_{2n} \right)}{l_{\text{总}} \left( \sum_{2i=1}^{n-1} (T_{2i} \prod_{2j=2i}^{n-1} \psi_j) + T_{2n} \right)} + \dots + \frac{l_n \left( \sum_{ni=1}^{n-1} (R_{ni} \prod_{nj=ni}^{n-1} \psi_j) + R_{nn} \right)}{l_{\text{总}} \left( \sum_{ni=1}^{n-1} (T_{ni} \prod_{nj=ni}^{n-1} \psi_j) + T_{nn} \right)} \quad (5)$$

②推力大小计算:利用传递系数超载法对滑块的每一计算单元进行计算,得到每一计算单元的推力大小  $P_{1i}'$ 、 $P_{2i}'$ 、 $P_{3i}'$ 、 $\dots$ 、 $P_{ni}'$ , 又由  $l_n$  在  $l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n$  所占的比例, 推导得出:

$$P_{1i}' = \frac{l_1}{l_1} P_{1i}, P_{2i}' = \frac{l_2}{l_1 + l_2} P_{2i}, P_{3i}' = \frac{l_3}{l_1 + l_2 + l_3} P_{3i}, P_{ni}' = \frac{l_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n} P_{ni} \quad (6)$$

综合上式:

$$P_{ni} = P_{n(i-1)} \times \psi + K_s \times T_{ni} - R_{ni} \quad (7)$$

由式(6)、(7), 求得斜坡崩滑土体分块剩余推力为:

$$P = P_{1i}' + P_{2i}' + P_{3i}' + \dots + P_{ni} = \frac{l_1}{l_1} P_{1i} + \frac{l_2}{l_1 + l_2} P_{2i} + \frac{l_3}{l_1 + l_2 + l_3} P_{3i} + \dots + \frac{l_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n} P_{ni} = \frac{l_1}{l_1} (\psi P_{1(i-1)} + K_s T_{1i} - R_{1i}) + \frac{l_2}{l_1 + l_2} (\psi P_{2(i-1)} + K_s T_{2i} - R_{2i}) + \frac{l_3}{l_1 + l_2 + l_3} (\psi P_{3(i-1)} + K_s T_{3i} - R_{3i}) + \dots + \frac{l_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n} (\psi P_{n(i-1)} + K_s T_{ni} - R_{ni}) \quad (8)$$

### 3 算例与分析

#### 3.1 工程概况

九寨沟县九寨沟景区热西寨老电站对面崩滑区斜坡属深切构造侵蚀中高山地貌,坡脚地理坐标:东经103°57'6",北纬33°14'45",斜坡总体坡向9°。滑塌体顶部高程为2 242~2 252 m,坡脚高程为

2 183~2 188 m,斜坡坡度60°~75°,顶部局部直立,为浅表层的崩滑。崩滑体主要构成为第四纪崩积物,坡脚基岩为三叠系中统扎尕山群(T<sub>2zg</sub>)灰、深灰色含石英粉砂绢云母板岩、变质长石石英砂岩。

计算参数是以室内实验值为基础,主要参考地质测绘对滑坡稳定性的宏观判断,结合参数反演结果和类比当地滑坡经验综合选取滑带土岩土体力学参数,见表3。

表3 滑坡土体计算参数

Table 3 Landslide soil calculation parameters

破碎程度	抗剪强度指标				坡体重度	
	天然状态下		暴雨状态下		天然状态下	饱水状态下
高度破碎	内聚力(kPa)	内摩擦角(°)	内聚力(kPa)	内摩擦角(°)	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$
		10.6	38.0	7.1	31.8	20.3
中度破碎	天然状态下		暴雨状态下		天然状态下	饱水状态下
	内聚力(kPa)	内摩擦角(°)	内聚力(kPa)	内摩擦角(°)	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$
	11.7	40.3	8.0	34.7	20.7	21.2

据该崩滑的可能破坏模型,采用潜在软弱面来计算。根据本次勘察可知,崩滑体不被水淹没,不考虑水淹没的影响;因坡体为较陡,地表存水相对较少,可不考虑动静水压力的影响;坡体内无稳定地下水位,不考虑地下水的影响;本区地震基本烈度为Ⅶ度,考虑地震的影响;本区为降雨集中,暴雨多发区,要考虑暴雨对滑体加载及对滑带软化的影响(采用20年一遇暴雨)。考虑影响区内的斜坡失稳的主要因素是强降雨和地震,选取天然工况、暴雨工况与地震工况3种荷载组合作为计算工况。

运用传递系数法对剖面I-I',II-II'(图6)的滑块的稳定性及推力大小进行计算,计算结果

见表4。

表4 传递系数法稳定性计算结果

Table 4 Transfer coefficient method stability calculation result

计算剖面	工况条件	稳定性系数	剩余下滑力/kN	稳定状态
I-I'剖面	天然工况	1.09	939.27	基本稳定
	暴雨工况	0.83	3 412.08	不稳定
	地震工况	0.99	525.1	不稳定
II-II'剖面	天然工况	1.1	972.78	基本稳定
	暴雨工况	0.85	3 449.16	不稳定
	地震工况	1	545.55	不稳定

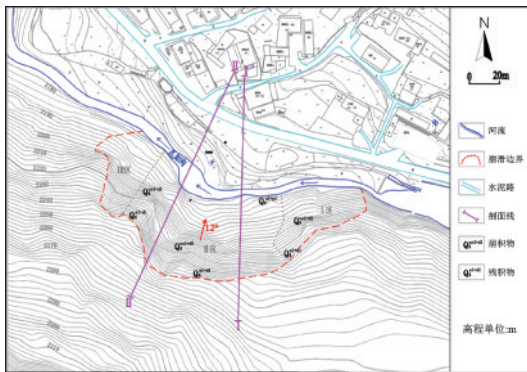


图6 热西寨老电站对面崩滑平面

Fig.6 Collapses and slides of old Rexi stockade Power Plant plan

#### 3.2 分块差异稳定性计算

根据表1对斜坡破碎程度进行划分,将坡体划分为高度破碎、中度破碎、轻度破碎以及不破碎(图7)。坡体平均高度为61.5 m,根据表2采用插值法计算可得极度破碎 $L=3.08$  m,高度破碎时滑块占坡面斜面的长度为 $3L$ ,中度破碎时滑块占坡面斜面的长度为 $5L$ ,轻度破碎时滑块占坡面斜面的长度为 $10L$ ;根据规范计算各勘探剖面稳定性与推力时,确定滑坡的形态及滑坡的主滑方向,选取滑坡典型剖

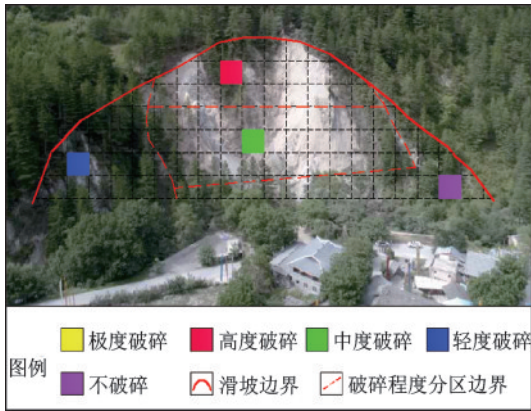


图7 崩滑边坡破碎程度划分

Fig.7 Collapses-slides slope fragmented degree division

面。同时,根据崩滑边坡的破碎程度得出的滑块沿坡面的长度,将边坡划分为多个滑块(图8)。

运用改进的传递系数法对典型剖面 I-I'、II-II' 的稳定性及推力大小进行计算。根据破碎程度划分滑块计算单元的标准:极度破碎时,  $l=1$ ; 高度破碎时,  $l=3$ ; 中度破碎时,  $l=5$ ; 轻度破碎时,  $l=10$ 。计算得到每一滑块的稳定性及推力大小,见表5~6。

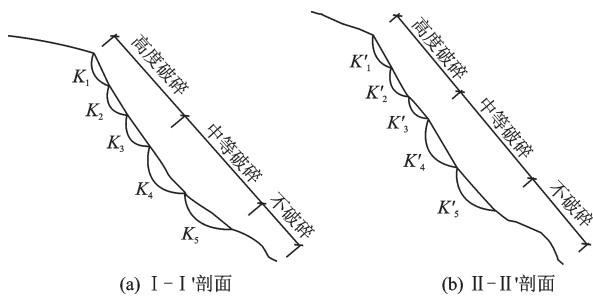


图8 滑坡典型剖面

Fig.8 Landslide Typical Profiles I-I', II-II'

#### 4 稳定性计算结果

根据《滑坡防治工程勘察规范》<sup>[11]</sup>规定,滑坡稳定状态根据:稳定系数  $K_f < 1.00$ , 稳定状态为不稳定;  $1.00 \leq K_f < 1.05$ , 稳定状态为欠稳定;  $1.05 \leq K_f < 1.15$ , 稳定状态为基本稳定;  $K_f \geq 1.15$ , 稳定状态为稳定。本案例采用分异法计算稳定性结果如图9所示。

综上所述:①边坡在天然工况下处于基本稳定,在暴雨和地震工况下处于不稳定。②30组计算结果与传递系数法计算的稳定性结果大致相同,但是每一滑块的稳定性存在差异,在地震工况下5处滑块处于欠稳定和5处滑块处于不稳定状态。

表5 稳定性计算结果

Table 5 Stability calculation result

计算剖面	滑块	工况 I (自重)	工况 II (自重+暴雨)	工况 III (自重+地震)
I-I' 剖面	$K_1$	1.05	0.88	1.02
	$K_2$	1.06	0.74	0.98
	$K_3$	1.10	0.77	1.03
	$K_4$	1.07	0.78	0.98
	$K_5$	1.11	0.82	1.02
II-II' 剖面	$K_1'$	1.05	0.74	0.98
	$K_2'$	1.08	0.75	1.01
	$K_3'$	1.06	0.73	0.98
	$K_4'$	1.06	0.78	0.97
	$K_5'$	1.13	0.83	1.04

表6 推力大小计算结果

Table 6 Thrust size calculation result 单位:kN

计算剖面	滑块	工况 I (自重)	工况 II (自重+暴雨)	工况 III (自重+地震)
I-I' 剖面	$K_1$	10.73	25.09	9.14
	$K_2$	11.02	27.23	9.63
	$K_3$	16.63	39.04	13.56
	$K_4$	24.66	80.13	18.63
	$K_5$	15.85	66.18	9.56
II-II' 剖面	$K_1'$	8.98	22.45	7.21
	$K_2'$	11.42	24.47	10.16
	$K_3'$	3.74	12.06	3.70
	$K_4'$	20.86	71.63	13.81
	$K_5'$	15.78	61.14	9.4

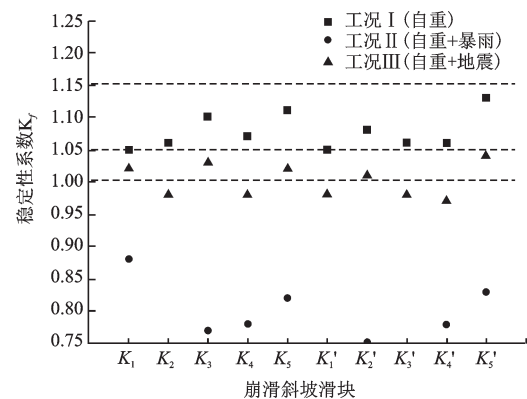


图9 分异法计算稳定性结果

Fig.9 Block difference method for calculating stability results

所以在地震影响下,每一滑块崩滑的可能性不同。而在暴雨工况下所有滑块处于不稳定状态,因此可以得出暴雨较于地震对土质崩滑边坡的稳定性影



- [3] 许冲,徐锡伟,郑文俊,等.2013年四川省芦山“4.20”7.0级强烈地震触发滑坡[J].地震地质,2013,35(3):641-660.  
Xu Ch, Xu X W, Zheng W J, et al. Landslides triggered by the april 20, 2013 lushan, sichuan province Ms7.0 strong earthquake of china[J]. Seismology and geology, 2013, 35(03):641-660. (in Chinese)
- [4] Yin Y, Wang F, Sun P. Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China [J]. Landslides, 2009, 6(2):139-152.
- [5] 周庆,江亚凤,吴果,等.芦山地震崩滑灾害空间分布及相关问题探讨[J].地震地质,2014,36(2):344-357.  
Zhou Q, Jiang Y F, Wu G, et al. Discussion of coseismic landslides in lushan earthquake and discussion on related problems[J], Seismology and Geology, 2014, 36(2):344-357. (in Chinese)
- [6] 卫军,谢海洋,李小对,等.膨胀土边坡的稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(17):2865-2869.  
Wei J, Xie H Y, Li X D, et al. Analysis on slope stability of expansive soils[J]. Chinese journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17):2865-2869. (in Chinese)
- [7] Vanapalli S K, Fredlund D G, Pufahl D E, et al. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1996, 33(3):379-392.
- [8] 杨海平.基于改进的传递系数法滑坡稳定性分析[J].水电能源科学2013,31(5):138-139,112.  
Yang H P. Landslide stability analysis based on improved transfer coefficient method[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(5):138-139, 112. (in Chinese)
- [9] 童广勤,苏爱军.改进的传递系数法[J].长江科学院院报,2010,27(6):43-48.  
Tong G Q, Su A J. Improved transfer coefficient method [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(6):43-48. (in Chinese)
- [10] Hutchinson J N. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology[C]//International Symposium on Landslides, 1988:3-35.
- [11] 滑坡防治工程勘查规范:GB/T 32864—2016 [S].北京:中国标准出版,2016.  
Landslide prevention engineering survey specification: GB/T 32864—2016 [S]. Beijing: China Standard Publishing, 2016. (in Chinese)
- [12] Renneng Bi, Dominik, Ehret, et al. Landslide reliability analysis based on transfer coefficient method: a case study from Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Earth Science, 2012, 23(2):187-198.
- [13] 苏爱军,冯明权.滑坡稳定性传递系数计算法的改进[J].地质灾害与环境保护,2002(3):51-55.  
Su A J, Feng M Q. Improving on transfer coefficient method applied to landslide stability analyse and landslide thrust value calculation [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2002(3):51-55. (in Chinese)
- [14] 张晨,王志俭,宋琨,等.滑坡稳定性计算传递系数超载法的修正[J].人民长江,2016,47(10):45-48.  
Zhang Ch, Wang Zh W, Song K, et al. Correction on transmission coefficient overloading method for landslide stability calculation [J]. Yangtze River, 2016, 47(10):45-48. (in Chinese)
- [15] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等.边坡与滑坡工程治理:[M].第2版.北京:人民交通出版社,2007:14-24.  
Zheng Y R, Chen Z Y, Wang G X, et al. Slope and landslide engineering treatment [M]. 2nd edition. Beijing: China Communications Press, 2007: 14-24. (in Chinese)
- [16] Ronglin L U, Wei L, Luo G, et al. On application scope of transfer coefficient method in evaluation of landslide stability[J]. Subgrade Engineering, 2016(4):17-22.
- [17] Yamagami T, Ueta Y, Yamakawa O. A rational design method for landslide control works and its application[J]. Landslides, 2011, 38:34-40.
- [18] 綦建峰,冯双,何如,等.滑(边)坡防治原则与防治措施简析[J].人民长江,2011,42(增2):95-97.  
Yan J F, Feng Sh, He R, et al. Brief analysis on the principles of prevention and control of sliding (edge) slopes [J]. Yangtze River, 2011, 42(Sup2):95-97. (in Chinese)
- [19] Choi K Y, Cheung R W M. Landslide disaster prevention and mitigation through works in Hong Kong [J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2013, 5(5):354-365.
- [20] Fukumoto Y. The substation analysis and prevention work of a landslide during movement in Niigata Prefecture [J]. Astronomy & Astrophysics, 2010, 491(3):929-939.

(本文编辑:周小潭)