

## 广东某滑坡特征及稳定性评价

孙 杰<sup>1,3</sup>, 贾建业<sup>2</sup>, 詹文欢<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 南海海洋研究所, 广州 510301; 2. 中国科学院 广州分院, 广州 510070;  
3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 根据对广东某滑坡的分析, 其属于蠕滑—拉裂型滑坡。根据大量的详细勘探资料, 详细阐述了滑坡的基本特征, 并研究分析了滑坡的成因机制及演化过程; 在成因机制分析基础上, 采用剩余推力传递法 (Push 法) 对该滑坡天然状态及暴雨 2 种工况下的稳定性进行了计算和评价, 为滑坡治理设计提供了重要的依据。

**关键词:** 滑坡; 成因分析; 稳定性

**中图分类号:** P642. 22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2007)05-0037-03

## Features and the Stability Evaluation for a Landslide in Guangdong

SUN Jie<sup>1,3</sup>, JIA Jian-ye<sup>2</sup>, ZHAN Wen-huan<sup>1</sup>

(1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** According to the analysis of a landslide in Guangdong, it shows that the landslide belongs to creepage sliding-tension type. By exploration data, features of the landslide are presented and the formation mechanism and evolvement process of the landslide are studied and analyzed. On the base of analyzing the formation mechanism, the stability of the landslide is computed with the residual thrust transfer method and evaluated under the natural condition and the rainstorm condition. This process provides important information for landslide control project.

**Key words:** landslide; formation mechanism; stability evaluation

广东某滑坡位于从化市流溪湖水库南岸山庄的北东侧山坡, 邻近国道。国道开挖路堑挡墙基坑时, 坡体发生开裂崩塌, 并有地下水涌出。近期由于雨水较多, 坡体变形, 围墙内外缓坡产生沉降, 造成国道路面变形, 挡土墙开裂、位移, 边坡崩塌失稳, 山庄围墙及排水系统受损, 山庄内混凝土路面塌陷, 山坡多处出现裂缝、位移等现象, 严重危及国道、山庄及滑坡体前方附近居民的安全。为防止更大规模的边坡破坏, 对该边坡进行了全面的勘探与调查, 并进行稳定性状况评价。

### 1 滑坡体特征

#### 1.1 滑坡体空间分布形态

该滑坡现处于滑动变形阶段, 尚未有大规模滑出破坏。滑坡在平面上呈半圆形, 主滑方向正北, 向水库方向滑动 (图 1)。滑坡周界清晰可见, 后缘出现数条横张裂隙; 东侧边缘出现剪切滑坡; 西侧边界坡面多处不同程度出现雁列式牵引开裂; 滑坡前缘为国道, 边坡失稳、挡土墙位移, 国道路面拱起变形。滑坡面主要位于坡积层的上部, 滑坡主轴长度约 135 m, 宽约 126 m, 滑坡面积约 17 000 m<sup>2</sup>, 滑坡体厚度约 8~9 m, 滑坡体积约 112 200 m<sup>3</sup>, 属中型滑坡。

#### 1.2 滑坡地质结构特征

滑坡属坡脚坡积裙地貌, 自然坡度约 20°。据钻孔资料和现场调查, 滑坡体成分为填筑土和坡积层。填筑土厚度

1.00~6.30 m, 主要由花岗岩风化土和岩块、碎石填筑而成, 大部分未压实。经 1 处标贯试验,  $N=5$  击。坡积物厚度 4.9~30.0 m, 由花岗岩风化的砾质黏性土、砂质黏性土和花岗岩石块、微风化球状花岗岩孤石组成, 土层结构不紧密, 局部含砂量较高, 钻探施工中常发生漏水现象。经 56 处标贯试验,  $N$  为 2~51 击, 平均 21.2 击。下伏基岩为花岗岩, 呈破碎风化状态。

钻孔揭示坡积层与下伏黏土层之间有蠕动作用留下的擦痕和滑动镜面, 该现象显示, 场地内的坡积层本来就是一个缓慢蠕动的古滑坡体。

#### 1.3 滑坡体地下水特征

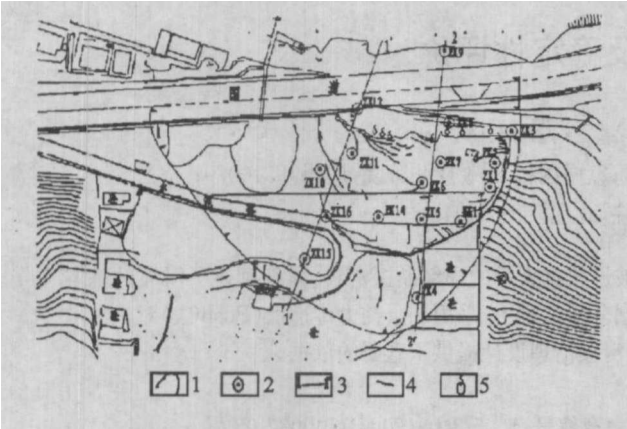
场地内地下水类型有第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。第四系孔隙水含水层主要为坡积层, 水量丰富; 基岩裂隙水含水层主要为断裂破碎带和强风化花岗岩, 水量中等—丰富。经钻孔钻探发现, 地下水位明显受地形所控制, 地下水面与地形坡度基本一致, 地下水位变化受季节气候的影响十分明显。南侧边坡有 10 处泉水涌出, 其中一涌泉点涌水量经 3 次测定, 每分钟流量为 9 L。因此, 坡积层的地下水丰富, 水力坡度较陡。

#### 1.4 滑坡变形破坏特征

经野外实地调查, 该边坡已发生较强变形, 滑坡体裂缝

收稿日期: 2006-07-23

作者简介: 孙 杰 (1978—), 男, 博士研究生, 主要从事地质灾害和地质环境研究。



1. 滑坡边界;2. 钻孔;3. 剖面;4. 裂缝;5. 涌水点  
图 1 滑坡工程平面示意图

发育,其后缘为一条贯通的弧形张裂缝,延长 65 m,最大宽度达 30 cm,该裂缝引起山庄水泥路面开裂,其北侧下沉 33~95 cm。滑体东缘为一组张剪裂缝,与后缘弧形张裂缝相接,裂缝引起边坡错落,并使山庄围墙错开,最大宽度达 54 cm,墙体下沉 46 cm,向东错位 15 cm。滑坡西侧为一组雁行状张剪裂缝,由 3 条北西向裂缝组成,裂缝致使坡积土和围墙开裂、错位。在滑体南部表面还有数条横张裂缝,近东西向展布,使水泥中面错裂,其北侧下沉 10~95 cm,形成明显的错台。主要裂缝特征见表 1。在滑坡体前缘、国道南侧边坡发生了大面积崩塌,崩塌高约 10 m、长 65 m、最大宽度 19 m。大致由 3 个崩塌组成,其后缘边坡横张裂缝发育,形成了 1.5 m 的错台,崩塌坡脚见多处泉水出露。通过在国道及其两侧布设了 12 个观测点进行滑坡位移观测(表 2),根据 40 d 观测结果,显示滑坡正处于滑动变形阶段。

表 1 滑坡体主要裂缝特征表

编号	类型	规 模			变形破坏特征
		长/m	宽/cm	可见深/cm	
1	张剪裂缝	65	20~150	30~300	该组裂缝呈北东向弧状展布于滑坡东侧,是滑坡的主裂缝,由 2~3 条裂缝组成,可见滑体向北西向错移,裂缝引起围墙张裂、错位
2	弧形张裂缝	115	5~30	50~100	该组裂缝贯通性好,呈弧状展布,为滑坡主裂缝,由 3 条裂缝组成,滑体与围岩错落明显,高度 33~95 cm
3	张剪裂缝	80	3~60	30~60	由 3 条北西向裂缝组成,雁行状展布,东侧下沉 13 cm
4	横张裂缝	100	5~95	20	沿水泥路面与草地接缝近东西向展布,裂缝北侧下沉 10~95 cm
5	纵张裂缝	11~15	8~20	20~30	由 2 条裂缝组成,沿水泥路面接缝发育,近直立,西侧向北位移 13 cm
6	弧张裂缝	13~25	10~30	20~40	见 2 条裂缝,坡积土张裂,呈弧状展布
7	横张裂缝	5~40	2~8	5~20	发育于公路边崩塌后缘,由多条弧形张裂缝组成,总体呈近东西向展布
8	横张裂缝	5~20	3~7	20	发育于公路边开挖陡坎后缘,由多条近东西向张裂缝组成
9	剪裂缝	3.5~4.5	2~3	5~8	发育于已塌路面,由 6 条 310°走向裂缝组成
10	张裂缝	5	0.5~0.6	3~6	发育在国道水泥路面上,见 2 条张裂缝,走向分别为北东、北西向

表 2 滑坡动态观测点累计位移量 mm

观测点号	累计位移量	
	XY	Z
K60+410	88	-38
K60+420	93	-44
K60+430	328	-61
K60+440	169	-51
K60+450	322	-61
K60+460	131	-104
左 1	483	-117
左 2	435	-88
左 3	496	-133
右 1	13	-10
右 2	14	-20
右 3	32	-13

1.5 滑坡成因机制分析

滑体形成于坡积层,该层土质松散,透水性强,地下水面与地形坡度基本一致,水力坡度陡,渗流速度快,易加速潜蚀作用,使坡积层失去平衡而发生滑坡。同时滑面坐落于广从断裂破碎带,破碎带裂隙发育、裂隙水丰富,断层面向北,倾角约 50~60°,与坡向一致,有利于地下水的流动。这是滑坡产生的内因。国道在边坡开挖施工时,卸土使边坡土体失去支撑,为滑坡的产生提供了有利的地形。坡面排水系统不完善且受到滑动破坏,大量地表水注入坡积层,加剧边坡失稳。在连降暴雨时,地下水位上升,坡积砂土迅速饱和,土体自重增加,抗剪强度急剧降低,从而动静水压力随之增大,下滑力增大,抗滑力减小,激发滑坡体滑动。

2 边坡稳定性分析

通过对该滑坡的工程地质调查,查明了该滑坡的形态、物质组成、规模及变形特征。要全面认识该滑坡的破坏形式和发展趋势,必须对山体边坡进行全面的稳定性评价。在滑坡综合工程地质测绘的基础上,采用工程地质定性分析法和刚体极限平衡法对滑坡的稳定性进行综合分析评价。

2.1 工程地质定性分析

根据滑坡区综合工程地质调查和钻探,滑坡体由素填土、坡积黏性土及全风化花岗岩、砂页岩组成,素填土由全风化~强风化岩块及黏性土组成,平整场地的堆填土,土体松散,未经压实,土体力学强度较低。全风化花岗岩、砂页岩因风化程度高,岩体结构松散,岩体抗压抗剪强度低。滑坡发生后,坡体表面出现多条弧形状裂缝,在纵向断面上呈迭瓦状排列,裂缝长 10~35 m,宽 0.10~0.40 m,可见深度最大可达 1.20 m,滑坡体后缘错落 0.30~1.20 m,滑坡前缘沿坡脚开挖处滑落,勘察钻孔中可见滑动擦痕和镜面。滑坡地处于亚热带,雨季长,持续时间长,降雨入渗使土体饱和,土体自重增加及力学强度也随之降低,地下水沿坡体向下渗流加快,不利于坡体稳定。

目前滑坡发生后,边坡能量在一定程度上得到释放,坡体内部应力处于调整阶段,产生滑坡的内因仍然存在,坡体变形破坏仍在发展,随着强降雨的持续进行,该处仍可能产生新的滑动。

2.2 刚体极限平衡法计算

滑坡稳定性的计算方法很多,这里采用的是岩土工程规

范推荐的剩余推力传递法(Push 法)<sup>[1]</sup>,在理正边坡稳定分析软件上实施。

2.2.1 计算剖面

本次滑坡稳定性计算选定 1-1'、2-2' 剖面(图 1),2-2' 剖面为滑坡主滑方向的纵剖面,其稳定性计算最具代表性,1-1' 剖面位于 2-2' 剖面西侧,与滑坡滑动方向基本平

行,它的稳定性计算可作为参考。其中将 2-2' 剖面恢复到滑坡前的地形,进行滑坡稳定性计算参数反演,参数反演剖面的滑动面取滑坡的实际滑动面。滑坡现状稳定性计算取 1-1'、2-2' 剖面的土层底面作为潜在滑动面,计算剖面条块图见图 2、图 3。

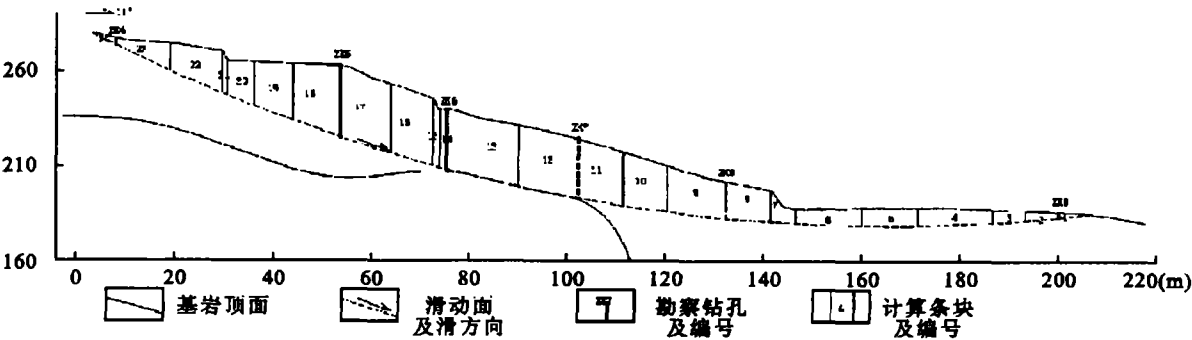


图2 滑坡稳定性计算 1-1' 剖面条块图

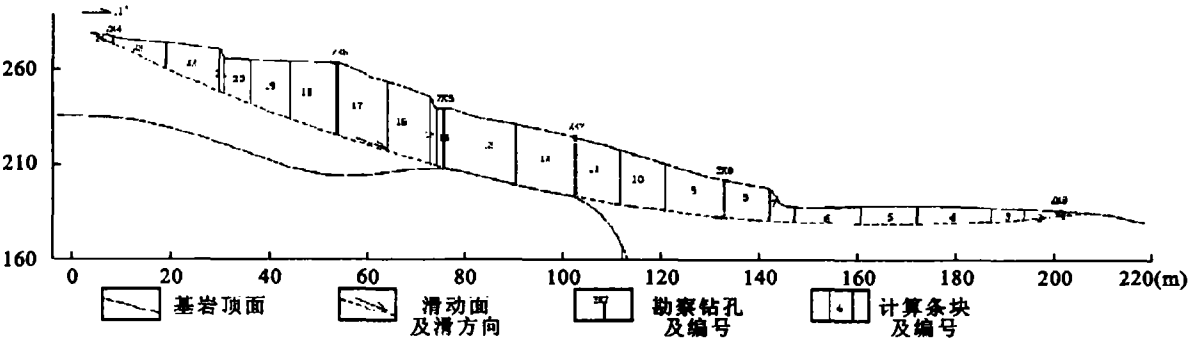


图3 滑坡稳定性计算 2-2' 剖面条块图

2.2.2 计算参数

滑坡稳定性计算的参数包括重度、黏聚力和内摩擦角。在天然状态(工况一)时,地下水位在滑动面以下,自重计算取天然重度,抗滑力计算取天然黏聚力和内摩擦角;连降暴雨(工况二)时,整个滑坡体因降雨入渗而处于饱水状态,自重计算取饱和重度,抗滑力计算取饱和黏聚力和内摩擦角<sup>[2,3]</sup>。

计算参数的选用根据室内实验并结合工程地质类比和参数反演综合确定滑坡体力学参数如下(表 3)。

表 3 滑坡体力学参数

内聚力 $c/\text{kPa}$		内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$		重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	
天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
7.90	7.11	17	24.00	18.42	19.26

表 4 滑坡稳定性计算成果表

剖面编号	条块个数	后缘高程/ m	剪出口高程/ m	水平长度/ m	工况一 (自重)	工况二 (自重+暴雨)
1-1'	20	238.48	199.00	145.26	0.99	0.94
2-2'	24	237.952	201.58	168.67	0.95	0.89

2.2.3 滑坡稳定性计算结果

采用理正边坡稳定分析软件的剩余推力传递法,选取上述计算参数和计算剖面,对该滑坡在 2 种工况下的稳定性进行计算,计算结果见表 4。

通过稳定性计算结果显示。在天然状况下。该滑坡的稳定性系数平均值为 0.97,处于极限平衡状态;在暴雨状况下。滑

坡的稳定性系数平均值为下降到 0.915,表明滑坡体在暴雨情况下。稳定性下降很多,将处于失稳状态。滑坡刚体极限平衡法计算表明,该滑坡在天然状态下处于潜在不稳定状态,随时有失稳的危险;在连降暴雨时处于不稳定状态,极易发生滑坡。

3 结论及防治建议

(1)滑坡位于断裂破碎带上,属脆弱地基,地基稳定性较差。滑体属坡积层,透水性强;来自坡面的地表水,容易注入坡积层。坡积层中地下水丰富,水力坡度陡,地下水潜蚀能量强,大雨、暴雨是激发坡积层滑坡的主要外在因素。

(2)天然状态下,滑坡处于极限平衡状态;暴雨情况下滑坡将处于失稳状态,故需对滑坡进行治理。

(3)应从截排水、卸载和支挡等方面对滑坡进行综合治理。考虑设立滑坡监测系统,在滑坡体内、前缘和后缘设置测斜管对滑坡范围进行长期的变形观测,及时掌握滑坡体的活动信息,以便优化设计和指导施工,确保治理顺利进行。

参考文献:

[1] 建设部. 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 92.  
[2] 张成恭, 王思敬, 张倬元, 等. 中国工程地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 235-238.  
[3] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 324-326.