

# Analysis of the Causes of the Landslide at the Shizikou Section on the North-East Slope of Qilin Mountain in Chaohu, China

Zuxi Liu\*, Jilin Wang, Zijian Hu, Wen Zheng

College of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu  
Email: \*liuzuxi\_cumt@163.com

Received: Jun. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 21<sup>st</sup>, 2019; published: Jun. 28<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In order to find out the formation mechanism of the landslide in the study area, based on the study of field investigation and experimental data, the basic characteristics of the landslide and the geological conditions of the area had been analyzed. The stability coefficients under natural and rainstorm conditions were calculated by using the simplified Bishop method. The results show that the slope would be basically stable in natural conditions and unstable in rainstorm conditions, which is consistent with the actual situation. It is considered that the soft-hard interfacial strata consistent with the slope tendency and the poor geotechnical engineering properties are the internal causes of landslide development. The exploitation of clay minerals leads to the change of external geological environment conditions and destroys the overall stability of the hillside, which is the main external cause of the formation of landslides. Heavy rain extreme weather is the direct inducement. The unfavorable combination of the above factors would lead to the final occurrence of the landslide in the study area.

## Keywords

Landslide, Stability, Cause of Formation, Simplified Bishop Method

# 巢湖麒麟山东北坡狮子口段滑坡成因分析

刘祖玺\*, 汪吉林, 胡子健, 郑文

中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州  
Email: \*liuzuxi\_cumt@163.com

收稿日期: 2019年6月7日; 录用日期: 2019年6月21日; 发布日期: 2019年6月28日

\*通讯作者。

## 摘要

为了查明研究区滑坡形成机制, 本文通过对野外调查与实验资料的研究, 分析了该滑坡体的基本特征和所在区域的地质条件。运用简化毕肖普法分别计算了斜坡自然状态和暴雨工况下的稳定性系数, 结果发现斜坡自然状态下处于基本稳定状态、暴雨工况下为不稳定状态, 与实际情况相符。认为与斜坡倾向一致的软硬相间地层组合及较差的岩土工程性质是滑坡发育的内因, 开采黏土矿导致外部地质环境条件改变, 破坏了山坡的整体稳定性是滑坡形成的主要外因, 暴雨极端天气是直接诱因, 以上各种影响因素的不利组合, 导致了研究区滑坡的最终发生。

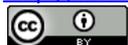
## 关键词

滑坡, 稳定性, 成因, 简化毕肖普法

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国山区面积较大, 占国土面积的 1/3, 随着国民经济发展, 山区矿产被大量开采, 但由于部分矿产的过度开发以及不科学的开发方式, 地质灾害频发, 造成了巨大的人员经济损失[1] [2]。安徽巢湖北部山区由于矿产的大规模开采, 废弃矿山周围发生崩塌、滑坡等地灾可能性大, 地质环境和地灾危险性评估均为中等[3] [4], 有众多学者对巢湖市的滑坡进行了研究, 王国强等学者分析了凤凰山南坡滑坡的形成机制, 运用简化 Bishop 法进行了稳定性分析[5], 王良宗对北外环的土质滑坡的形成条件及机理进行了研究[6], 学者们在分析的基础上提出了综合治理措施, 对巢湖地区地灾治理有良好的指导作用。汛期是滑坡的高发期, 很多边坡失稳的诱发原因是短期强降雨, 雨水使岩土体强度降低, 容重和含水率增加[7] [8]。此外, 当滑坡含有膨胀性土体时, 下雨膨胀变形受到上覆地层压力时, 会出现膨胀力[9], 膨胀土不良工程特性以及膨胀力使滑坡稳定性大大下降[10] [11]。目前在量化分析、评估滑坡体的稳定性和危害性时广泛应用简化 Bishop 法[12] [13] [14] [15] [16], 这种基于平衡理论的数学模型经过众多学者的简化优化, 其严格性和可靠度也得以论证[17] [18] [19] [20], 司光武等还将膨胀力考虑入条分法计算中[21]。在确定计算参数时, 目前很多勘查单位据水利水电工程实践的经验, 将岩石粘聚力、内摩擦角予以折减再用于计算, 实际效果较好, 有关规范也明确给出了折减系数的建议值[22] [23], 部分学者根据理论计算模型和滑坡破坏实际情况反算岩土力学参数, 也证明了岩土参数实验值折减的必要性和合理性[5] [24] [25]。

安徽省巢湖市麒麟山东北坡狮子口段原先一直处于基本稳定状态, 因人工开挖黏土矿, 2016 年该市又遭遇多日极端暴雨天气, 雨后发生山体滑坡。本文对该滑坡体的基本特征和所在区域的地质条件进行了分析, 应用简化 Bishop 法对该滑坡的稳定性进行了计算, 讨论了滑坡的形成机制, 并提出了综合治理的建议。

## 2. 研究区概况及滑坡发育特征

### 2.1. 自然地理条件

滑坡点位于巢湖市凤凰山街道灯塔社区田埠村西侧的麒麟山东北坡(经度 117°51'18"、纬度 31°38'21")。

研究区气候温和湿润,四季分明,属于季风副热湿润气候,年平均气温为 $15^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量 $900\sim 120\text{ mm}$ 之间,其中夏季降水占据全年降水的 $45\%$ ,夏季经常出现暴雨极端天气。

## 2.2. 采矿背景与滑坡发育特征

研究区采矿坑位于田埠村西侧的麒麟山东北坡,矿坑中心点经纬坐标( $117.861307, 31.638996$ )。该矿具体开采时间不详,至少于2004年之前开采,主要开采泥盆系五通组( $D_{3w}$ )黏土岩,开矿弃渣堆叠于边坡之上,边坡植被破坏严重。黏土矿呈层状分布,矿层稳定、厚度较大,走向 $50^{\circ}$ 左右,夹有薄层砂岩。黏土岩主要由高岭土、伊利石、少量石英及微量褐铁矿组成。矿坑近似呈椭圆状,长轴呈NE-SW方向伸展,长约 $200\text{ m}$ ,周长约 $500\text{ m}$ ,面积约 $4000\text{ m}^2$ 。

巢湖市凤凰山街道灯塔社区田埠村西侧的麒麟山,地质构造上处于凤凰山背斜。滑坡区域地面标高 $50\sim 100\text{ m}$ ,呈弧形,滑坡面积约为 $37,000\text{ m}^2$ ,滑坡体体积约为 $250,000\text{ m}^3$ ,属于中型土质滑坡。滑坡体出现多处拉张裂隙,滑坡体上可见“醉汉林”。滑坡前缘房屋出现裂缝,地面隆起,前缘屋后的挡土墙出现了变形,起翘剥壳。该滑坡影响其下方226户449人,同时威胁铁路专用线的安全。对斜坡主坡面进行了实测,发现组成该斜坡的地层有石炭系高骊山组( $C_{1g}$ )、石炭系金陵组( $C_{1j}$ )、泥盆系五通组( $D_{3w}$ )。其下伏地层为志留系坟头组( $S_{2f}$ )砂岩。滑坡体特征及滑坡区地形地质情况见图1。

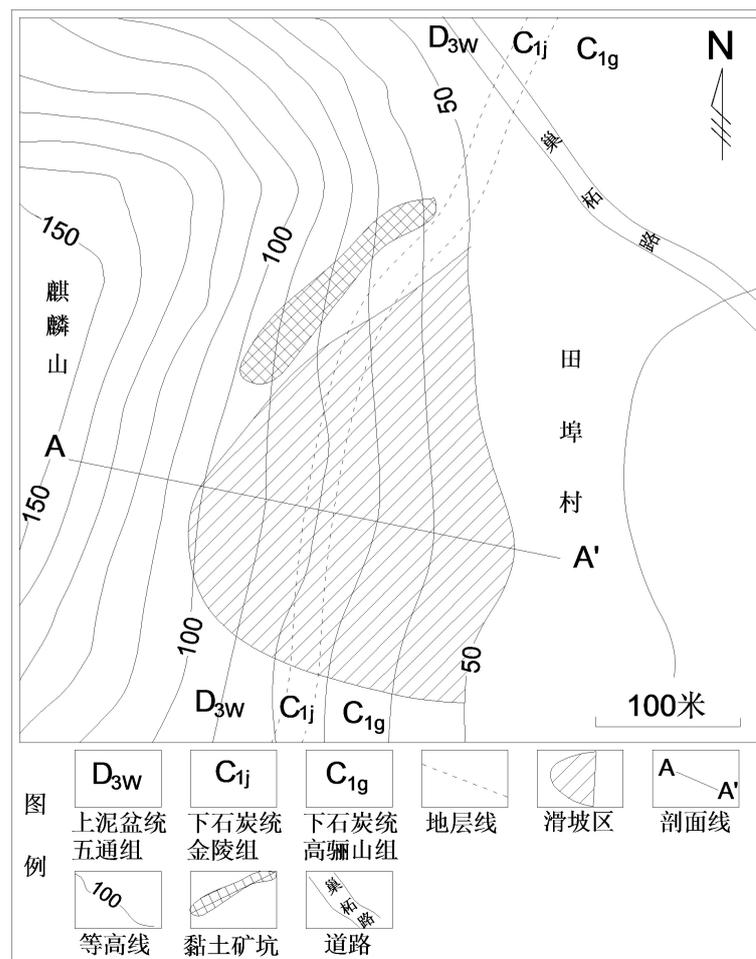


Figure 1. Topographic and geological map of landslide area

图1. 滑坡区地形地质图

### 3. 研究区工程地质条件

研究区位于凤凰山背斜的南东翼，地层主要包括志留系坟头组(S<sub>2f</sub>)、泥盆系五通组(D<sub>3w</sub>)、石炭系金陵组(C<sub>1j</sub>)和高骊山组(C<sub>1g</sub>)。

滑坡体后缘为五通组石英砂岩，十分坚硬，透水性差，稳定性好，不易产生滑动。

滑坡主要发生在五通组(D<sub>3w</sub>)顶部泥岩夹砂岩段，金陵组(C<sub>1j</sub>)和高骊山组(C<sub>1g</sub>)，滑坡物里还包括大量黏土矿废弃矿渣。其中，高骊山组泥岩风化严重，抗剪强度较低，雨后的抗剪强度下降较大。金陵组主要为一层灰黑色细晶灰岩，五通组泥岩夹砂岩段主要为淡青灰色黏土岩夹薄层中-细粒灰白色石英砂岩，软硬相间。砂岩风化严重，成碎裂块状，块体内部裂隙十分发育，本身不影响滑动。黏土岩天然状态下强度较高，但由于组成矿物亲水性较强，雨后强度迅速大幅降低，且具有弱膨胀性。滑坡体各岩土层力学参数详见表1。滑坡体地层组合及取样情况见图2。

**Table 1.** Statistical table of mechanics parameters of rocks and soils in landslide body

**表 1.** 滑坡体各岩土层力学参数统计表

地层及岩性	统计项目	物理力学性质			膨胀率(%)	
		容重(KN/m <sup>3</sup> )	C 值(kPa)	$\phi$ 值(度)	自由状态	50 kPa
C <sub>1g</sub> 泥岩	范围值	20~20	48.2~48.2	9.9~9.9	49~49	-0.7~-0.7
	平均值	20.00	48.20	9.90	49~49	-0.70
	变异系数	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C <sub>1g</sub> 砂岩	范围值	25.2~25.9	6800~6900	36.5~38	0.00	0.00
	平均值	25.55	6850.00	37.25	0.00	0.00
	标准差	0.49	70.71	1.06	0.00	0.00
C <sub>1j</sub> 灰岩	范围值	25.9~25.9	6800~6800	38~38	0.00	0.00
	平均值	25.90	6800.00	38.00	0.00	0.00
	变异系数	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D <sub>3w</sub> 黏土岩	范围值	18.3~20.8	29.3~81.2	13~23.4	19~46	-1.9~-0.3
	平均值	19.74	58.56	15.78	33.00	-0.82
	标准差	0.94	21.39	4.32	10.20	0.64
D <sub>3w</sub> 砂岩	范围值	25.2~25.9	6800~6900	14.9~15.7	0.00	0.00
	平均值	25.73	68.50	15.30	0.00	0.00
	标准差	11.51	30.64	6.85	0.00	0.00
D <sub>3w</sub> 页岩	范围值	19.4~19.4	34.3~34.3	18.5~18.5	32~32	-0.9~-0.9
	平均值	19.40	34.30	18.50	32.00	-0.90
	变异系数	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## 4. 滑坡形成机制

### 4.1. 稳定性计算

#### 4.1.1. 计算公式

在原简化 Bishop 法公式的基础上忽略孔隙水压力的影响, 得到如下计算式[5]:

$$F_s = \frac{\sum(W_i \times \tan \varphi_i + c_i \times b_i) / m_{\theta_i}}{\sum W_i \sin \theta_i} \quad (1)$$

$$\text{其中: } m_{\theta_i} = \cos \theta_i + \frac{\sin \theta_i * \tan \varphi_i}{F_s};$$

式中:  $F_s$  为边坡的稳定性系数,  $W_i$  为条块重量,  $c_i$ 、 $\varphi_i$  为条块滑面的粘聚力(KPa)与内摩擦角( $^\circ$ ),  $b_i$  为条块宽度(m),  $R$  为圆弧半径,  $\theta_i$  为条块滑面与水平方向夹角。

#### 4.1.2. 计算参数

黏土岩和砂岩的密度、粘聚力、内摩擦角等参数由室内试验所求, 其取值的准确程度对滑坡稳定性分析意义重大。砂岩测试所用岩块内部裂隙极为发育, 较难取芯, 且实际岩体十分碎裂, 本身不阻挡滑动, 因此测试结果远远大于实际岩体的强度。结合前言中资料, 辅以当地的地方经验资料, 进行了合理折减, 使之符合实际情况。试验土样由于取样方法、长距离运输以及试验操作等等因素的影响, 使测试值与实际值有一定差别。狮子口滑坡五通组黏土层试验测试结果与实际情况较为符合, 高骊山组泥岩风化严重, 结合当地经验进行合理折减。在暴雨工况下, 将各岩土层的容重增加(均增加 1 KN/m<sup>3</sup>),  $c$  值变为原来的 80%,  $\tan \varphi$  值变为原来的 90%。土层 50 KPa 下膨胀率出现较小负值, 说明弱膨胀性黏土产生膨胀力接近 50 KPa。

#### 4.1.3. 计算结果

运用边坡计算软件 SlopeLE 对该边坡进行计算。该软件借助 CAD 软件实现建模和数据采集, 然后将模型导入其客户端, 可选择瑞典条分法、简化 Bishop 法、传递系数法计算边坡稳定性与剩余下滑力, 最后生成计算表和结果图。据狮子口段滑坡实情, 选择简化 Bishop 法分析计算, 找出稳定性系数最小的滑动面, 并结合实际情况进行分析, 确定合理滑面。将折减后的参数带入公式和软件计算, 得出如下结果:

1) 自然状态下对以上公式进行简化并带入自然状态岩土工程性质参数, 计算出  $F_s$  为 1.128, 边坡处于基本稳定状态。

2) 暴雨工况下带入暴雨工况岩土工程性质参数计算出  $F_s$  为 0.965, 边坡处于不稳定状态。若考虑雨后黏土产生的膨胀力, 则等于增加了下滑力,  $F_s$  会进一步降低, 边坡更不稳定。

计算结果与边坡自然状态稳定, 连续强降雨之后发生滑坡的实际情况符合。计算分析模型见图 2。

### 4.2. 滑坡成因分析

1) 粘土矿开采, 破坏了山坡岩土体的整体性

① 黏土矿废弃矿渣的不当堆载额外增加了下滑力, 随着废弃矿渣量的增加, 下滑力不断变大, 滑坡稳定性逐年下降直至失稳。

② 受黏土矿开采施工和地层出露面积不断增加的影响, 岩土体裂隙不断增加, 强度下降。

③ 黏土矿开采使边坡对暴雨的抵抗力逐年下降: 一方面不断破坏植被, 雨水的冲刷作用逐年变大, 雨水渗入量逐年变多, 植被蒸腾作用减少的地下水量逐年减少; 另一方面废弃矿渣不当堆载使边坡排水困难, 且矿渣的亲水性和地层出露使雨水渗入量增加。加之研究区 2016 年遭遇的连续强降雨, 降水量大于往年, 因此 2016 年雨水渗入量多于往年, 坡内坟头组致密砂岩之上大量积水, 高骊山组风化泥岩和五通组黏土岩的抗剪强度短期内大幅下降, 阻滑力下降; 岩土体及堆叠的废弃矿渣含水率、雨后容重较往

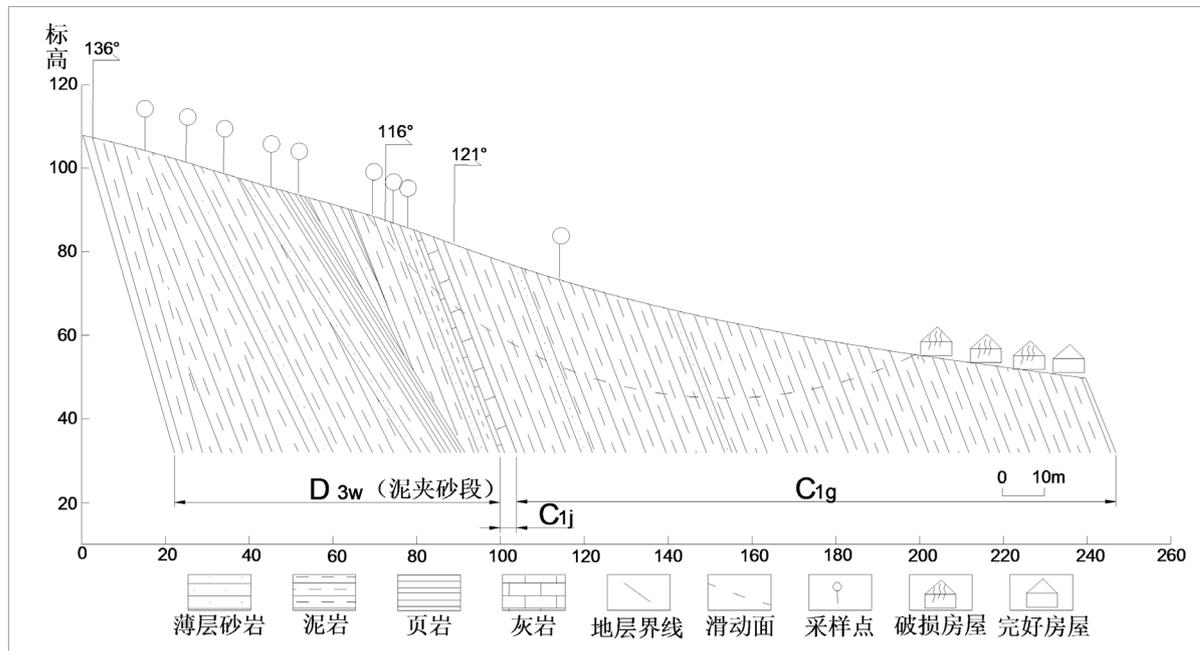


Figure 2. Profile of landslide

图 2. 滑坡剖面

年也大幅增长，下滑力增加，最终导致该滑坡的发生。

#### 2) 软硬相间地层条件下，雨水渗透、侵蚀等作用促进了岩体风化，降低了岩体强度

滑坡体下伏地层为坟头组致密坚硬，透水性差的砂岩，雨水渗入之后在边坡坟头组砂岩之上积水，对其上的岩土体进行浸润软化。发生滑动的地层主要为五通组黏土岩夹薄层砂岩与高骊山组泥岩夹薄层砂岩，软硬相间，雨水易沿着软硬地层界面渗入并带走细小颗粒形成渗流通道，因此界面附近的土体更加疏松多孔。雨水的冲刷、渗透、长期浸润软化侵蚀作用促进了风化作用，使得坡体内五通组砂岩内部裂隙不断增加和扩大，最终呈碎裂块状。碎裂块状砂岩由于强度低无法产生较大阻滑力，反而会因自身较大重力增加下滑力，加速滑动。且裂隙又会为雨水入渗提供通道，不断加速岩土体风化；使得高骊山组泥岩风化严重，粘聚力下降较大。在雨水的长期渗透、侵蚀，风化作用影响下，岩土体结构不断变化，性质不断劣化，强度降低，使得滑坡整体从基本稳定状态逐步变成至 2016 年的不稳定状态。

#### 3) 雨水入渗导致软岩膨胀，增加了岩体的不稳定性

五通组黏土岩具有弱膨胀性，雨水渗入后发生膨胀，在受到外侧地层的限制后产生膨胀力，增加下滑力，斜坡稳定性下降。

#### 4) 岩土体蠕变的影响

边坡长期微小变形的累积，使滑坡越来越不稳定。岩土体蠕变主要受废弃矿渣的量和降雨的影响：

① 废弃矿渣堆载少时边坡内部应力较小，岩土体不变形或者为衰减性蠕变；随着废弃矿渣量的增加，边坡内部的应力逐渐增大，逐渐变成非衰减性蠕变。到 2016 年时，边坡的内部应力大到使岩土体蠕变进入加速变形阶段。

② 每年的降雨使岩土体发生蠕变变形，但由于低于变形上限不会进入加速蠕变阶段[26]，到 2016 年时，土体蠕变变形累积至一定程度，且经历连续强降雨，岩土体进入加速蠕变阶段，岩土体出现破裂面，滑坡稳定性急剧下降。

综上所述，与斜坡倾向一致的软硬相间地层组合以及较差的岩土工程条件是研究区斜坡稳定性先天

不足的内因, 不合理开采黏土矿改变了外部的地质环境条件、破坏了山坡的整体性是滑坡形成的主要外因, 暴雨极端天气是直接诱因, 以上各种影响因素的不利组合, 导致了研究区滑坡的最终发生。

## 5. 结论与建议

1) 巢湖市麒麟山东北坡狮子口段滑坡区位于凤凰山背斜的南东翼, 滑坡体后缘为坚硬致密五通组石英砂岩, 滑动地层及岩性主要为五通组青灰色黏土岩夹薄层砂岩、高骊山组风化泥岩夹薄层砂岩, 整体上岩土工程性质较差。

2) 用简化 Bishop 法进行稳定性分析计算, 自然状态下  $F_s = 1.128$ , 边坡处于基本稳定状态, 暴雨工况  $F_s = 0.965$ , 边坡处于不稳定状态。

3) 与斜坡倾向一致的软硬相间地层组合以及较差的岩土工程性质是滑坡发育的内因, 外部地质环境条件的改变(不合理开采黏土矿)破坏了山坡的整体性是滑坡形成的主要外因, 暴雨极端天气是直接诱因, 以上各种影响因素的不利组合, 导致了研究区滑坡的最终发生。

4) 建议在坡顶、坡体表面和坡脚建排水渠, 加强截、排水, 防止雨水滞留浸泡; 对滑坡体产生的拉张裂隙进行封闭处理, 防止地表水入渗, 同时在坡脚(下方住户前)重新建设抗滑桩等阻挡结构。

## 基金项目

中国矿业大学 2018 年国家级大学生创新训练项目, 项目编号: 201810290022。

## 参考文献

- [1] 王涛, 吴树仁, 石菊松, 等. 国内外典型工程滑坡灾害比较[J]. 地质通报, 2013, 32(12): 1881-1899.
- [2] 李凤明, 谭勇强. 采矿活动引发的滑坡及工程治理实践[J]. 煤矿开采, 2002, 7(2): 1-5+10.
- [3] 颜存奎. 巢北平顶山及周边地区地质灾害危险性评价研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
- [4] 闫昆, 刘国生, 张园远, 等. 基于层次分析法构建巢湖北部矿区环境评价体系[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2012, 35(8): 1106-1112.
- [5] 王国强, 吴道祥, 刘洋, 等. 巢湖凤凰山滑坡形成机制和稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(5): 645-648.
- [6] 王良宗. 土质滑坡治理措施的综合运用[J]. 科技创新导报, 2015, 12(27): 67-68.
- [7] Lan, H. (2003) Rainfall-Induced Landslide Stability Analysis in Response to Transient Pore Pressure—A Case Study of Natural Terrain Landslide in Hong Kong. *Science in China Series E Technological Sciences*, **46**, 52-68.
- [8] Souting Lee. On Evaluating the Stability of the Baijian Ancient Landslide in the Three Gorges Reservoir Area, Yangtze River: A Geological History Analysis[C]//中国科学院地质与地球物理研究所. 中国科学院地质与地球物理研究所 2008 学术论文汇编. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所科技与成果转化处, 2009: 13.
- [9] Azam, S. and Ito, M. (2004) Unsaturated Soil Properties of a Fissured Expansive Clay. *Asean Economic Bulletin*, **21**, 81-93.
- [10] 杨文琦, 周成, 王林, 等. 降雨作用下考虑膨胀推力的膨胀土边坡稳定性分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2018, 38(5): 874-880.
- [11] Szczygieł, J., Mendecki, M., Hercman, H., Wróblewski, W. and Glazer, M. (2019) Relict Landslide Development as Inferred from Speleothem Deformation, Tectonic Data, and Geoelectrics. *Geomorphology*, **330**, 116-128. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.01.017>
- [12] Bishop, A.W. (1955) The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes. *Geotechnique*, **5**, 7-17.
- [13] 姚艳领. 基于 Bishop 法的边坡稳定性分析[J]. 中国锰业, 2016, 34(4): 68-70.
- [14] 姚艳领. Bishop 法滑坡稳定性分析及滑坡治理[J]. 中国锰业, 2016, 34(3): 35-38.
- [15] 张志勇, 傅德明, 杨国祥. 干坞边坡稳定性计算及边坡变形规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(9): 1505-1509.
- [16] 徐镇南, 邓志华. 基于 BISHOP 法的某水利工程滑坡稳定性计算研究及评价[J]. 水利规划与设计, 2016(8):

80-83+125.

- [17] 蒋斌松, 康伟. 边坡稳定性中 BISHOP 法的解析计算[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(3): 287-290.
- [18] 王纓. 边坡稳定性分析改进毕肖普法[J]. 邵阳学院学报(自然科学版), 2004, 1(2): 79-80.
- [19] 朱大勇, 邓建辉, 台佳佳. 简化 Bishop 法严格性的论证[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 455-458.
- [20] 彭振斌, 李俊, 彭文祥. 基于 Bishop 条分法的边坡可靠度应用研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2010, 41(2): 668-672.
- [21] 司光武, 蒋良淮, 罗强, 等. 膨胀土边坡稳定性影响因素的作用效应分析[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(S1): 386-392+419.
- [22] 吴圣林, 董青红, 丁陈建. 岩土工程勘察[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2018: 54-69.
- [23] GB50330-2013 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [24] 于清杨, 詹军, 于颖波. 粘性土抗剪强度在基坑支护设计中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(4): 40-41.
- [25] 孙即超, 王光谦, 董希斌, 等. 膨胀土膨胀模型及其反演[J]. 岩土力学, 2007, 28(10): 2055-2059.
- [26] 辛鹏, 胡乐, 王涛, 等. 位移 - 应力协同分析在新近纪软岩质滑坡监测中的应用——以陕西宝鸡市北坡滑坡为例[J/OL]. 地球学报, 2019-04-10: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3474.P.20190408.1715.002.html>

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)