

文章编号: 1008 - 2786 - (2016) 3 - 305 - 05

DOI: 10. 16089 /j. cnki. 1008 - 2786. 000132

云南昭通窝子箐滑坡稳定性分析

郭宁¹, 张俊义¹, 杨秀元¹, 姚亚辉^{1*}, 张卫强²

(1. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051; 2. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 云南昭通是我国地质灾害频发区域, 特别是在降雨和地震条件下往往导致严重的危害。位于昭通市昭阳区的窝子箐滑坡威胁坡底数十居民的生命财产安全, 因此对该坡体进行地质结构调查和稳定性研究十分必要。基于现场地质钻探和槽探确定窝子箐滑坡的表层为松散的残坡积土和耕植土, 下部为全风化和强风化的玄武岩, 且玄武岩明显受到了地质构造界面切割。地质调查同时表明该坡体在破碎的全 - 强风化玄武岩中存在两个潜在的滑移面。在雨季和 2014 年鲁甸“8·03”地震中, 窝子箐坡体局部发生了少量变形。利用 Geo - Slope 软件进行了天然状态、降雨状态、地震状态、降雨和地震共同作用 4 种工况下窝子箐滑坡的稳定性分析, 结果表明天然状态下坡体稳定性较好, 滑动面 I 稳定性系数为 1.41, 滑动面 II 稳定性系数为 1.31。降雨和地震共同作用下稳定性系数达到最低, 滑动面 I 稳定性系数为 1.01, 滑动面 II 稳定性系数为 0.93。降雨和地震条件下窝子箐滑坡稳定性系数出现显著降低, 存在滑动失稳的可能。

关键词: 滑坡勘察; 稳定性分析; 极限平衡法; Geo - Slope 软件

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

云南昭通是我国地质灾害频发区域, 特别是在降雨和地震条件下往往导致严重的危害。昭通居于云岭高原与四川盆地的结合部, 属典型的构造山地地形, 地势南高北低, 山高谷深, 海拔高差大, 最高海拔 4 040 m (巧家县药山), 最低海拔 267 m (水富县滚坎坝)。乐居乡位于昭通市昭阳区城西 18 km, 面积 84.57 km²。乐居乡窝子箐滑坡所处地貌类型为构造侵蚀中山谷地地貌, 滑坡所处斜坡高约 90 m, 坡度约 30°。滑坡体宽约 160 m, 顺坡向长约 230 m, 平均厚度约 20 m, 规模约 73.6 × 10⁴ m³。该滑坡威胁滑坡底部住户 7 户 42 人, 房屋 28 间, 如图 1 所示, 因此查明该滑坡的稳定性状况具有重要意义。现场调查得知, 在 2014 年鲁甸“8·03”地震(窝子

箐距地震震中龙头山直线距离约 35 km) 时和雨季该滑坡出现明显局部变形。

滑坡的稳定性分析是个十分复杂的问题, 李世海等人^[1]以地质体的渐进、动态破坏为基本出发点, 对滑坡的稳定性问题进行了较为系统的讨论。目前计算斜坡的稳定性系数一般采用规范明确规定的极限平衡法或基于有限元的强度折减法^[2-5]。极限平衡法的步骤是先假定破坏是沿土体内某一确定的滑动面滑动, 根据滑动土体的静力平衡条件和摩尔 - 库伦破坏准则, 计算沿滑动面滑动的可能性, 即安全系数的大小, 然后系统选取许多个可能的滑动面, 用同样方法计算稳定安全系数。安全系数最低的滑动面就是可能性最大的滑动面。

收稿日期(Received date): 2015 - 01 - 15; 改回日期(Accepted): 2015 - 05 - 05。

基金项目(Foundation item): 中国地质调查局地质调查工作项目(1212011220164), 国家自然科学基金项目(41402322)。[China Geological Survey Fund(No. 1212011220164); National Natural Science Foundation of China(No. 41402322).]

作者简介(Biography): 郭宁(1970 -) 男, 河北保定人, 本科, 主要从事地质灾害监测预警研究工作。[Guo Ning(1970 -), male, born in Baoding of Hebei Province, undergraduate degree, mainly interested in the study of geological hazard monitoring and early warning.] E - mail: ffguoning@ 163.com, Tel: 13903323909

* 通信作者(Corresponding author): 姚亚辉(1990 -) 男, 山西运城人, 硕士研究生, 研究方向为工程地质及岩土工程。[Yao Yahui(1990 -), male, born in Yuncheng of Shanxi Province, master candidate, undertaking research on engineering geology and geotechnical engineering.] E - mail: yahui4869@ 126.com, Tel: 15262014869



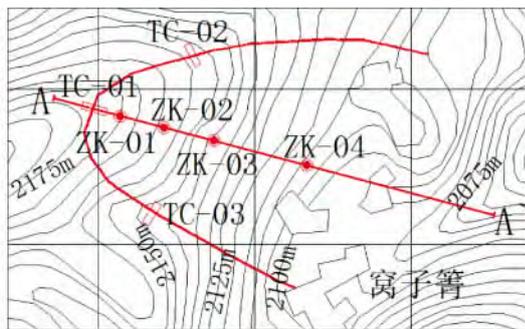
图1 窝子箐滑坡全貌照

Fig. 1 Panorama of Woziqing Landslide

为了查明窝子箐滑坡的稳定程度和深部滑动情况,对该滑坡进行工程地质勘查及稳定性分析。

1 工程地质勘查

窝子箐滑坡坡面上共完成了4个钻孔,勘探工作布置见勘查布置平面图(图2)。



图例

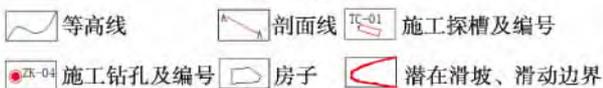


图2 勘查布置平面图

Fig. 2 Exploration layout plan

通过钻孔 ZK01 ~ ZK04 查明了该滑坡滑动层位置关系及要素,并了解滑坡的稳定程度及深部滑动情况(表1~4)。

ZK01 共分8层,如表1所示,主要岩性为:土状、碎石状、碎块石状、黄褐色-红褐色玄武岩。ZK02 共分7层,如表2所示,主要岩性为:土状、碎石状、碎块石状、块状黄褐色-青灰色玄武岩。

表1 ZK01 钻孔地层资料

Tab. 1 Drilling strata data of ZK01

层号 Layer No.	厚度 Thickness /m	岩性描述 Lithologic description
1	0~2.8	为全风化玄武岩和粉砂质泥岩互层。
2	2.8~9.4	为全风化粉砂质泥岩,其中8.8~9.4 m为软弱夹层。
3	9.4~19.35	为全风化玄武岩,其中15.76~15.91 m为软弱夹层。
4	19.35~24.04	见三处软弱夹层。
5	24.04~27.1	为全强风化玄武岩。
6	27.1~29.0	为全强风化铁质玄武岩。
7	29.0~31.05	为断层 F1。
8	31.05~38.0	为褐铁矿化岩脉。

表2 ZK02 钻孔地层资料

Tab. 2 Drilling strata data of ZK02

层号 Layer No.	厚度 Thickness /m	岩性描述 Lithologic description
1	0~1.2	为残坡积层。
2	1.2~19.1	为全风化黄褐色、灰褐色玄武岩。
3	19.1~20.1	为断层软弱夹层。
4	20.1~27.6	为全风化灰褐色-灰色玄武岩,其中23.90~24.30 m为软弱夹层。
5	27.6~28.3	为褐铁矿化岩脉。
6	28.3~36.4	为全风化灰褐色、红褐色玄武岩,其中35.87~36.40 m为软弱夹层。
7	36.4~50.05	为青灰色夹灰褐色玄武岩,其中37.0~37.25 m为软弱夹层。

ZK03 共分4层,如表3所示,主要岩性为:土状、碎石状、碎块石状、灰褐色-红褐色玄武岩。全孔岩芯总长35.10 m。ZK04 共分5层,如表4所示,主要岩性为碎石状、碎块石状、致密块状褐黄色-青灰色玄武岩及紫色粉砂质泥岩。

表3 ZK03 钻孔地层资料

Tab. 3 Drilling strata data of ZK03

层号 Layer No.	厚度 Thickness /m	岩性描述 Lithologic description
1	0~3.2	为第四系耕植土、粘土。
2	3.2~10.2	为全风化玄武岩。
3	10.20~22.00	为强风化玄武岩。
4	22.00~35.10	为强全风化玄武岩。

表 4 ZK04 钻孔地层资料
Tab.4 Drilling strata data of ZK04

层号 Layer No.	厚度 Thickness /m	岩性描述 Lithologic description
1	0~2.6	为第四系残坡积土。
2	2.6~9.8	为全风化、全强风化玄武岩。
3	9.8~11.2	为强风化粉砂质泥岩。
4	11.2~18.8	为强全风化玄武岩。其中 13.0~13.8 m、18.3~18.8 m 为软弱夹层。
5	18.8~27.1	为强风化玄武岩。

根据钻孔资料,做出滑坡的工程地质剖面图(图 3)。钻孔资料确定了窝子箐滑坡的表层为松散的残坡积土和耕植土,下部为全风化和强风化的玄武岩。在位于斜坡顶部的变形处进行了探槽揭露工作,表明玄武岩明显得受到了地质构造界面切割(图 4)。地质调查表明,该坡体在破碎的全-强风化玄武岩中存在两个潜在的滑移面。

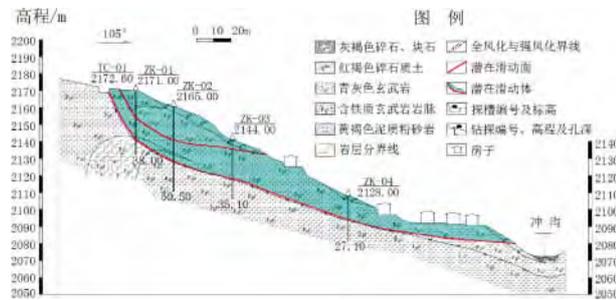


图 3 窝子箐滑坡工程地质剖面图

Fig.3 Engineering geological section plan of Woziqing landslide

2 滑坡稳定性分析

Geo - Slope 是 GeoStudio 软件中一个重要模块,专用在边坡的稳定性分析^[6-9],该软件可以采用多种边坡稳定性分析方法(如瑞典条分法、Bishop 法、Morgenstern and Price 法等)进行边坡的稳定性分析。本文以图 3 所示的窝子箐滑坡工程地质剖面图作为计算剖面,通过该软件采用极限平衡法中的 Morgenstern and Price 法进行二维边坡的稳定性分析。模拟天然状态下、降雨、地震、降雨+地震四种工况。窝子箐滑坡数值模型图如图 5。

降雨过程中,雨水渗入坡体,使土体的含水率增加,重度变大,从而增大了边坡的下滑力。雨水渗入坡体,粘聚力、内摩擦角及基质吸力降低,从而在



图 4 探槽中节理裂隙

Fig.4 Joint fissure in the trench

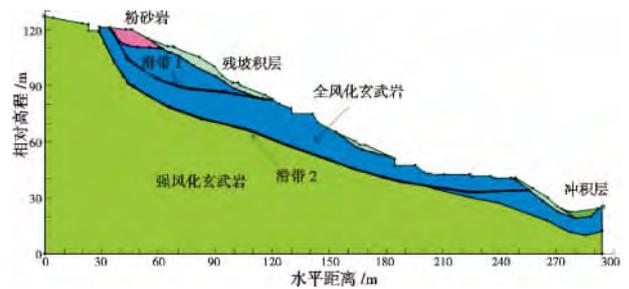


图 5 窝子箐滑坡数值模型图

Fig.5 Numerical model of Woziqing Landslide

整体上降低了土体的抗剪强度。雨水在坡体中产生渗透力和孔隙水压力,使得下滑力增大而抗滑力减小。本文计算降雨工况时,采用饱和状态下的物理力学参数进行计算。

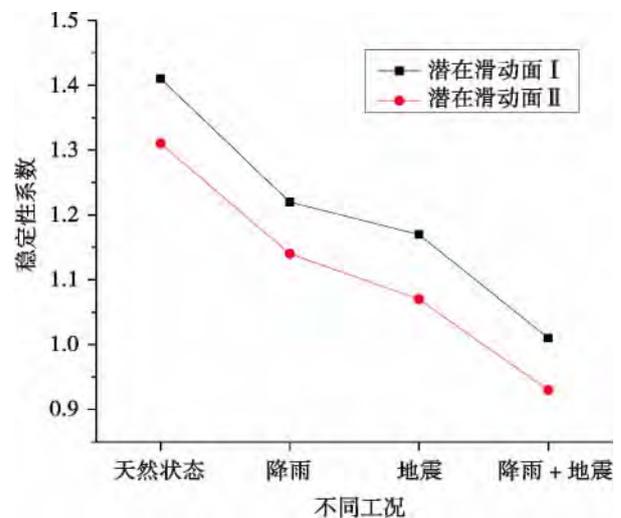


图 6 不同工况下的稳定性系数

Fig.6 Stability coefficient under different operating conditions

表 5 岩土体物理力学参数

Tab. 5 Physical and mechanical parameters of rock and soil

土(岩)层 Soil (rock) layer	重度 Bulk Density/(kN/m^3)		粘聚力 Cohesion/kPa		内摩擦角 Friction angle / $^\circ$	
	天然 Natural	饱和 Saturation	天然 Natural	饱和 Saturation	天然 Natural	饱和 Saturation
残坡积层 Eluvium	20.0	21.1	15.2	10.5	31.5	30.1
冲积层 Alluvium	20.0	21.2	14.8	9.4	30.5	30.1
粉砂岩 Siltstone	22.2	23.4	20.2	17.2	26.4	25.2
全风化玄武岩 Full weathered basalt	28.5	29.2	30.1	18.2	44.6	43.1
强风化玄武岩 Strong weathered basalts	29.5	30.4	30.5	18.2	46.2	45.2
滑带 1 Slip zone 1	19.2	20.2	18.4	15.2	24.2	21.3
滑带 2 Slip zone 2	19.2	19.8	18.4	15.4	24.1	21.1

地震工况的影响,通过最大水平地震影响系数来实现。查询《建筑抗震设计规范》得到昭通地区最大水平地震影响系数为 0.8。

稳定性分析采用现场取样并进行室内土工试验获得的岩土体物理力学参数(表 5)。

计算得出天然状态下滑坡在潜在滑动面 I 的稳定性系数为 1.41,在潜在滑动面 II 的稳定性系数为 1.31。稳定性计算结果表明,该滑坡在天然状态下处于较稳定状态。本文计算天然状态、降雨、地震、降雨+地震 4 种工况下的窝子箐滑坡二维模型的稳定性系数,计算结果如图 6 所示。潜在滑动面 I 的稳定性在 4 种工况下较潜在滑动面 II 稳定,两个滑动面计算出的稳定性从大到小,依次为天然状态 > 降雨 > 地震 > 降雨+地震。

3 结语

通过现场调查,并结合钻孔揭露的地层资料,得到了窝子箐滑坡的工程地质剖面。基于现场地质钻探和槽探确定窝子箐滑坡的表层为松散的残坡积土和耕植土,下部为全风化和强风化的玄武岩,且玄武岩明显受到了地质构造界面切割。地质调查同时表明,该坡体在破碎的全-强风化玄武岩中存在两个潜在的滑移面。

在取样测得岩土层的物理力学参数的基础上,采用 Geo-Slope 软件进行稳定性分析,得出该滑坡在潜在滑动面 I 的稳定性系数为 1.41,潜在滑动面 II 的稳定性系数为 1.31。稳定性计算结果表明,该滑坡在天然状态下处于较稳定状态。潜在滑动面 I 的稳定性在 4 种工况下较潜在滑动面 II 稳定,两个滑动面计算出的稳定性从大到小,依次为天然状态

> 降雨 > 地震 > 降雨+地震。降雨和地震条件下稳定性出现显著的降低,存在滑动失稳危险的可能,建议相关部门对该滑坡进行变形监测,在降雨和地震情况下做好避险工作。

参考文献(References)

- [1] 李世海,刘天华,刘晓宇. 论滑坡稳定性分析方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(增 2): 3309-3324 [Li Shihai, Liu Tianping, Liu Xiaoyu. Analysis method for landslide stability [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(Suppl. 2): 3309-3324]
- [2] 赵尚毅,郑颖人,时卫民,等. 用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(3): 343-346 [Zhao Shangyi, Zheng Yingren, Shi Weimin, et al. Analysis of safety factors of slope by strength reduction FEM [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(3): 343-346]
- [3] 郑颖人,赵尚毅,邓楚键,等. 有限元极限分析法发展及其在岩土工程中的应用[J]. 中国工程科学, 2006, 12(8): 39-61 [Zheng Yingren, Zhao Shangyi, Deng Chujian, et al. Development of finite element limit analysis method and its applications in geotechnical engineering [J]. Engineering Science, 2006, 12(8): 39-61]
- [4] 殷跃平,李廷强,唐军. 四川省丹巴县城滑坡失稳及应急加固研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(5): 971-978 [Yin Yueping, Li Tingqiang, Tang Jun. Landslide reactivation and emergency stabilization on Danba county town in Sichuan province [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(5): 971-978]
- [5] 郑宏,李春光,李焯芬,等. 求解安全系数的有限元[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(5): 626-628 [Zheng Hong, Li Chunguang, Lee C. F., et al. Finite element method for solving the factor of safety [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(5): 626-628]
- [6] 欧孝夺,樊克世,饶平平. 基于 Geo-Slope 的拜耳法干式赤泥堆场稳定性分析[J]. 金属矿山, 2009(7): 115-118 [Ou Xiaoduo, Fan Keshi, Rao Pingping. Geo-Slope-based analysis for the dump stability of dry red mud from bayer process [J]. Metal Mine, 2009

- (7):115-118]
- [7] 郑涛,张玉灯,毛新生. 基于 Geo-Slope 软件的土质边坡稳定性分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2008, 6(1):6-8 [Zheng Tao, Zhang Yudeng, Mao Xinsheng. Analysis on stability of soil slope based on Geo-Slope software[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2008, 6(1):6-8]
- [8] 秦凯旭,冯文凯,郎秋玲. GEO-SLOPE 软件在某滑坡稳定性计算中的应用[J]. 灾害学, 2007, 22(2):21-24 [Qin Kaixu, Feng Wenkai, Lang Qiuling. Application of GEO-SLOPE software in calculation of landslide stability [J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(2):21-24]
- [9] 陶志刚,曹辉,秦秀山,等. 地震诱发滑坡稳定性分析及监测预警方法研究[J]. 金属矿山, 2013, 12:127-130 [Tao Zhigang, Cao Hui, Qin Xiushan, et al. Stability Analysis of Landslide Triggered by Earthquake and its Monitoring Early-warning Method [J]. Metal Mine, 2013, 12:127-130]

Stability Analysis of Woziqing Landslide in Zhaotong, Yunnan

GUO Ning¹, ZHANG Junyi¹, YANG Xiuyuan¹, YAO Yahui¹, ZHANG Weiqiang²

(1. Center For Hydrogeology And Environmental Geology Survey, CGS, Baoding 071051, Hebei, China;

2. The School of Resource and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China)

Abstract: Zhaotong of Yunnan province is an area frequently suffered from geological disasters in China. Especially in earthquakes and rainfalls, it often leads to serious damage. Woziqing landslide, located in the Zhaoyang District of Zhaotong City, Yunnan Province, China, is threatening dozens of people's life and property. Therefore, it is necessary to investigate the geological structure and analyze slope stability. Based on the field geological drilling and trenching, the surface of the landslide was composed of residual soil and planting soil, the lower part were completely weathered and strongly weathered basalt. And the basalt was obviously cut by the geological tectonic interface. Geological survey also showed that two potential slip surfaces were in the broken full weathered basalt. In the rainy season and during the Ludian 8.03 earthquake, the Woziqing landslide appeared small deformation. The Geo-Slope software was used to analyze the stability of Woziqing landslide under natural rainfall, earthquake and the interaction of rainfall and earthquake conditions. The results showed that the stability of Woziqing landslide was good under natural condition. The stability coefficient of the Woziqing landslide was 1.41 at the position of potential sliding surface I and 1.31 at the position of potential sliding surface II. The stability coefficient of Woziqing landslide was lowest under the interaction of rainfall and earthquake. It was concluded that stability coefficient at the position of potential sliding surface I was 1.01, at the position of potential sliding surface II was 0.93. Under earthquake and rainfall conditions, the stability of Woziqing landslide reduced obviously and instability may appear.

Key words: landslide investigation; stability analysis; limit equilibrium method; Geo-Slope software