

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.01.08

四川峨眉山市王山-抓口寺滑坡滑带工程地质特征研究

褚宏亮¹, 孙长勇², 张希夷³, 李成皓³

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 烟台杰瑞加纳有限公司, 山东 烟台 100025;
3. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津 300457)

摘要: 本文在滑坡地质特征现场调查的基础上, 结合室内试验, 对峨眉山市王山-抓口寺滑坡滑带土颗粒成分、矿物成分、微观结构、物理力学特征及降雨对滑坡稳定性的影响等进行了研究。结果表明, 凝灰岩夹层是滑坡体形成的主要物质基础, 滑带土主要成分为粉质黏土, 滑带土具有明显的深层蠕滑磨光面和擦痕迹象; 滑带土为粉质黏土, 黏粒含量高, 透水性弱, 含有大量的蒙脱石, 易水软化, 因降雨引起滑带土饱水, 其力学强度急剧降低, 是滑坡发生高速滑动的主要诱发因素。

关键词: 滑带土; 强降雨; 工程地质特征; 矿物成分; 物理力学特征

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)01-0048-05

Research on engineering geology characteristics of Wangshan-Zhuakou landslide in sliding zone in Emeishan city

CHU Hongliang¹, SUN Changyong², ZHANG Xiyi³, LI Chenghao³

(1. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China; 2. Yantai Jereh Ghana LIMITED, Yantai, Shandong 100025, China; 3. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Design Institute, Tianjin 300457, China)

Abstract: The article based on the onsite survey on the geological characteristics of landslide, with indoor experiment has researched the grain components, mineral composition, micro structure, physical mechanics property of the Wangshan-Zhuakou Temp landslide in Emeishan City, and analyzed the effect of rainfall to landslide stability. Results shows that tuff interlayers is the main material basis of landslide formation, and the main components of soil in the sliding zone is silty clay. The soil in sliding zone has obvious deep creep polished surface and signs of scratches. Silty clay has a high content of clay and weak permeability with a lot of clay mineral such as montmorillonite which is easy to be softened after absorbing water. Sharp decrease in mechanical strength, and it is the main inducing factor for a moving landslide.

Keywords: slip zone soils; heavy rainfall; engineering geological characteristics; mineral composition; physical mechanics property

0 引言

2015 年 6 月 14 日, 受连续强降雨影响, 峨眉山市九里镇兴阳村王山-抓口寺滑坡发生滑动, 威胁 27 户 52 人的安全。由于当地政府提前组织人员紧急撤离, 滑坡未造成人员伤亡, 直接经济损失约为 500 万元, 间接经济损失 3 000 余万元。王山-抓口寺滑坡为岩质滑坡, 岩性为

西南地区广泛分布的峨眉山玄武岩, 滑带是滑坡内原生存在或后期发育的软弱结构带, 滑动后的滑带显示典型的剪切结构带特征, 作为与周围物质差异明显的软弱带, 滑带特征必然异于周围物质, 根据滑带土的力学特征可以判断滑坡在环境改变后(如饱水软化后)可能的作用变化^[1-4]。根据现场调查, 该滑坡的滑带为凝灰岩夹层, 由于凝灰岩内含有水敏性物质, 在地下水作用下强度弱化。

收稿日期: 2015-08-08; 修订日期: 2016-12-20

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011220124); 国家自然科学基金项目(41172254)

第一作者: 褚宏亮(1981-), 男, 硕士, 主要从事工程地质、地质灾害等领域的科研工作。E-mail: chuhl@mail.cigem.gov.cn

因此,本文在宏观分析的基础上,结合采集滑带土样品进行室内试验,对王山-抓口寺滑坡滑带土颗粒成分、矿物成分、微观结构、物理力学特征,分析滑带土的弱化机理和演化过程,研究在强降雨作用下滑坡的变形机理。

1 滑坡体概况

王山 - 抓口寺滑坡平面上呈箕形,滑坡坡度约 26°,主滑方向 334°。滑坡左侧边界以冲沟为界,边界走向约 310°,在中下部因受山梁阻挡,部分滑体超覆在冲沟左岸斜坡上,使边界稍微转向为正北。右侧边

界位于矿山传送带西侧 40 ~ 80 m 处,边界走向大致 343°,右侧下部边界稍偏为 310°,右侧上部边界形成高 10 ~ 15 m 的陡坎。前缘为滑坡高速下滑至九沙河南侧山体遇阻时形成的反翘鼓丘,至原河底高约 50 m。滑坡周界明显,后缘高程约 815 m,前缘抵于九沙河高程在 540 m 以上,整个滑坡高差在 270 m 以上。滑坡上下窄中部宽,中部最宽达 445 m,前缘最窄为 245 m,滑体最大纵长约 710 m,面积约 $30 \times 10^4 \text{ m}^2$,滑体厚度 20 ~ 40 m,平均厚度 30 m 以上,总方量约 $600 \times 10^4 \text{ m}^3$,滑距约 40 m(图 1)。滑带呈灰白色、浅灰色,

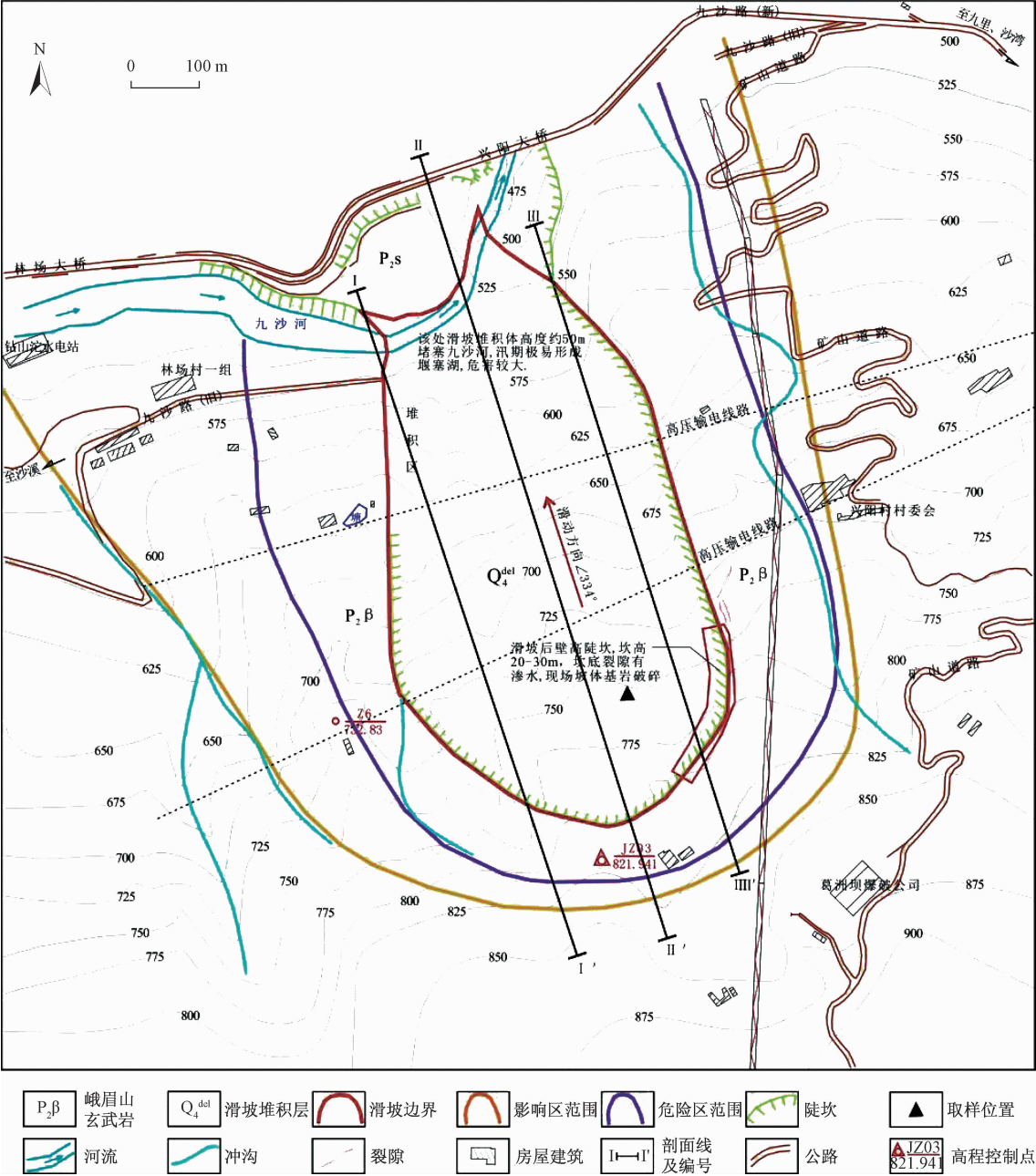


图 1 滑坡工程地质平面图
Fig.1 Scheme of engineering geology of landslide

局部紫红色,可塑状,厚度约 0.2 ~ 0.4 cm 不等,平均厚度 0.30 m,局部见擦痕、镜面(图 2)。



图 2 滑坡滑带土取样位置

Fig. 2 Sample position of the sliding zone

2 滑带土的基本物理性质

2.1 颗粒组成特征

本次试验用滑带土原状样^[5],取自滑坡体中部滑面出露位置(图 2),取样点为主滑带。通过滑带土的颗粒分析试验,滑带土以细粒土为主,小于 0.075 mm

的细粒含量占 50.23% ~ 50.27%,粉粒含量 31.3% ~ 35.4%,黏粒含量 18.2% ~ 28.4%。不均匀系数和曲率系数分别为,5.00 ~ 80.00 和 1.17 ~ 2.22,塑性指数在 7.19 ~ 7.85,滑带土为粉质黏土,透水性弱(图 3)。

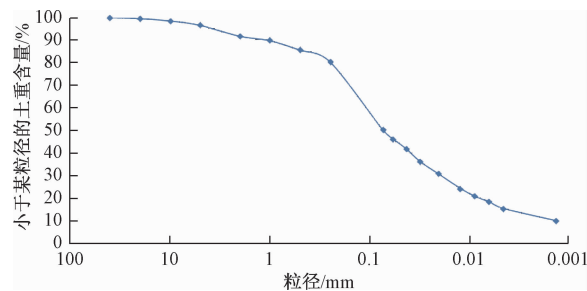


图 3 滑带土颗粒分析曲线

Fig. 3 Curve of analysis on grain components of landslide

2.2 物理性质

对取样的滑带土分组进行试验,天然密度为 2.19,孔隙比为 0.23,比重 2.70,塑限为 18.23%,液限 32.96%,主要物性指标见表 1。

表 1 滑带土的物理性质指标

Table 1 Physical mechanics property of sliding soil

天然密度/(g/cm ³)	比重	干密度/(g/cm ³)	天然含水率/%	孔隙比 e	液限 W _L /%	塑限 W _p /%	(W/W _p)/%
2.19	2.70	1.98	10.56	0.23	32.96	18.23	57.93

3 滑带土微观结构及矿物成分

3.1 微观结构

凝灰岩是指占优势的碎屑的粒径小于 2 mm 的正常火山碎屑岩。滑带中的凝灰岩主要是玻屑凝灰岩。岩石呈紫红色、灰黑色,凝灰结构(图 4)。玻屑大小一般为 0.02 ~ 0.04 mm,显微镜下显棕褐色—橙黄色,呈弧面多角形、月牙形等,呈低正突起;部分已发生了脱玻化,形成细小的自生矿物:绢云母、蒙脱石、方解石等。火山尘的粒径小于 0.01 mm,镜下也难以辨认个体形态,常呈尘点状产出,呈棕褐色。

3.2 矿物成分

现场采集了滑带样品,经过搅拌和静置后,取其上部的最细部分经恒温烘干(50 ℃)后,送 X 衍射分析实验室^[6-7],分析测试结果见表 2。由表可见,样品中含有约 26% 的蒙脱石。因此,凝灰岩夹层由于其组成中含有较多基性火山玻璃,而火山玻璃又易于和水发生化学反应,形成含较多蒙脱石的粘土化软弱夹层,使其强度急剧降低。

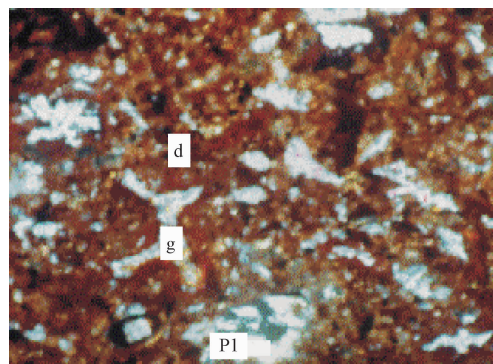


图 4 凝灰结构,岩石由玻屑(g)、少量斜长石晶屑(PI)和更细的褐色火山尘(d)所组成。(单偏光,长径=1.22 mm。)

Fig. 4 Tuffaceous texture, by vitroclastic (g), some plagioclase crystal fragment (PI) and more tiny brown volcanic dust (d). (Most of the vitroclastic is devitrificated to authigenic minerals as montmorillonite, calcite and opal.)

表 2 滑带的 X 射线粉晶衍射测试结果

Table 2 Test result of X-ray power diffraction on sliding zone

蒙脱石	伊利石	高岭石	石英	长石	赤铁矿
26%	0	0	17%	19%	37%

注:测试单位:成都理工大学;实验条件:D/MAX IIIIC 型衍射仪, FeKa, Mn 滤光,30 KV,20 mA,6°/min

3.3 化学成分

通过取滑带样品,进行化学成分分析,结果见表 3。由表可见,滑带土中出现蒙脱石等粘土矿物,蒙脱石中含有更多的 Al_2O_3 和 K_2O ,和较少的 CaO 、 SiO_2 。因此,化学成分分析和岩相学观察结果一致,说明凝灰岩中有大量蒙脱石。由于这些矿物具有较强的吸水性,极易吸收水分而膨胀,如蒙脱石吸收水分之后体积可以增大数倍,而失水后便发生体积收缩,从而易导致崩解。

表 3 滑带的主要化学成分

Table 3 Main chemical components of sliding zone										
Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O^+	H_2O^-	灼失量	
17.68	17.31	1.23	1.57	4.87	0.30	5.37	6.32	3.45	6.75	

注:所有项目均由成都理工大学材料与生物工程学院实验中心分析。

4 滑带土的力学特征

为了获得滑面的抗剪强度参数,对所取的土样烘干后筛除 2 mm 以上土样在室内配置成不同的含水率进行剪切实验,获得的不同含水率条件下的抗剪强度参数^[8-10](表 4)。

表 4 滑带土不同含水率情况下的抗剪强度参数

Table 4 Shear strength parameters of sliding soil in different water content						
湿密度/ (g/cm^3)	含水量 $W/\%$	液限 W_l	塑限 W_p	W/W_p	摩擦系 数 f	内聚力 C/KPa
2.15	10.63	32.96	18.23	0.64	0.648	41.178
2.29	15.20			0.92	0.222 6	47.965
2.34	15.84			0.95	0.085 1	41.630
2.37	16.99			1.02	0.043 4	28.960
2.40	20.07			1.21	0.033 3	15.385
2.29	20.92			1.26	0.030 0	12.399

根据大量实验,摩擦系数 f 和内聚力 C 总体上随 W/W_p 的增大而降低,相关性较明显。从而得出摩擦系数 f 与 W/W_p 的关系式为:

$$f = -0.913\ln(w/w_p) + 0.1528 \quad R_2 = 0.8289 \quad (1)$$

内聚力 C 与 W/W_p 的关系式为:

$$C = -55.69\ln(w/wp) + 30.436 \quad R_2 = 0.7153 \quad (2)$$

上述关系式的建立,为不同含水量条件下滑带土抗剪强度参数评价提供了依据。根据前面统计的该断层泥天然含水量平均值为 10.03%,塑限平均为 17.42%,利用上式(1)、式(2)获得该断层泥的摩擦系数 $f=0.657$, $C=61.18 \text{ kPa}$ 。

5 降雨对滑坡稳定性的影响

降雨作用下滑坡稳定性计算是根据降雨时饱和-

非饱和渗流数值模拟得到滑坡中暂态孔隙水压力代入 SLOPE/W 计算滑坡稳定性,采用 Mohgenstem-Prince 法评价滑坡稳定性。根据现场调查,建立滑坡稳定性计算模型见图 5。

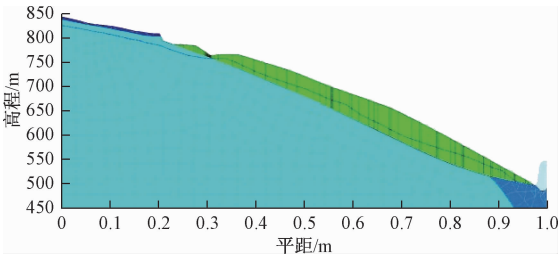


图 5 王山滑坡稳定性计算模型

Fig.5 Computing model on stability of Wangshan landslide

根据实际降雨数据,对持续降雨持时 44 天后的稳定性进行计算,计算结果见图 6。

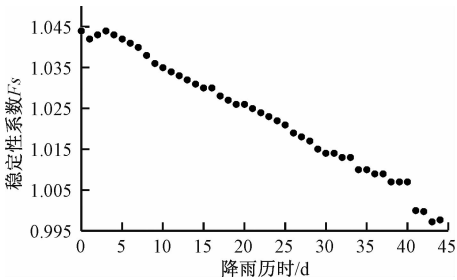


图 6 降雨历时天数与滑坡稳定性系数关系曲线
(2005. 5. 1 – 2015. 6. 14)

Fig.6 Relationship between the raining days and the landslide stability

由图 6 可见,在持续降雨影响下,滑坡稳定性系数从 1.044 降低至 0.998。在 5 月 2 ~ 3 日未发生降雨,地下水位线回落,稳定性系数略有上升;在经历 6 月 11 日 ~ 13 日持续 3 天降雨,随着雨水下渗,地下水沿滑面流动,滑面力学参数急剧降低,稳定性系数下降至 0.998,2015 年 6 月 14 日滑坡失稳,发生高速滑动。

6 结论

(1)凝灰岩夹层是滑坡体形成的主要物质基础,滑带土主要成分为粉质黏土,滑带土有明显的深层蠕滑磨光面和擦痕。

(2)滑带土为粉质黏土,黏粒含量高,透水性弱,含有大量的伊利石、蒙脱石等粘土矿物。由于这些矿物具有较强的吸水性,极易吸收水分而膨胀,而失水后便发生体积收缩,易导致崩解,强度急剧降低。

(3)滑带土的物质组成、结构与物理力学特征是滑坡体在强降雨作用下产生变形破坏的重要内在条

件。而降雨入渗致使滑带土的力学强度急剧降低,是滑坡发生高速滑动的主要诱发因素。

参考文献:

- [1] Anson R W W, Hawkins A B. Analysis of a sample containing a shear surface from a recent landslip, south otswolds [J]. *Geotechnique*, 1999, 49 (1): 33 - 41.
- [2] F C Dai, J H Deng, L G Tham, et al. A large landslide Zigui County, Three Gorges area [J]. *Canada Journal of Geotechnical Engineering*, 2004, 41: 1233 - 1240.
- [3] Anson R W W, Hawkins A B. Analysis of a sample containing a shear surface from a recent landslip, South Cotswolds, UK [J]. *Geotechnique*, 1999, 49 (1): 33 - 41.
- [4] 徐则民, 黄润秋, 唐正光, 等. 粘土矿物与斜坡失稳 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2005, 24 (5): 729 - 740.
XU Zeming, HUANG Runqun, TANG Zhengguang, et al. Clay minerals and failure of slopes [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics Engineering*, 2005, 24 (5): 729 - 740.
- [5] 游敏, 聂德新. 利用大型岩质滑坡形成的环境条件及重力压密原理分析滑面形态与强度参数 [J]. *工程地质学报*, 2010, 18 (4): 470 - 476.
YOU Min, NIE Dexin. Use of landslide formation environment information and principle of gravity compaction for large-scale rock landslide slip surface shape and strength parameters [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2010, 18 (4): 470 - 476.
- [6] 严春杰, 唐辉明, 孙云志. 利用扫描电镜和 X 射线衍射仪对滑坡滑带土的研究 [J]. *地质科技情报*, 2001, 20 (4): 89 - 92.
YAN Chunjie, TANG Huiming, SUN Yunzhi. Study on The Soil of Slipping zone in landslides and its significance by scanning electron microscope and X-ray diffractometer [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20 (4): 89 - 92.
- [7] 王洪兴, 唐辉明, 陈聪. 滑带土黏土矿物定向性的 X 射线衍射及其对滑坡的作用 [J]. *水文地质工程地质*, 2004, (增): 79 - 81.
WANG Hongxing, TANG Huiming, CHEN Chong. Study on x-ray diffraction for the orientability of clay minerals in sliding-soil [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2004 (S): 79 - 81.
- [8] 柏永岩, 聂德新. 茨菇滑坡滑带土扰动样强度参数取值分析及滑坡稳定性评价 [J]. *工程地质学报*, 2009, (4): 496 - 502.
BAI Yongyan, NIE Dexin. Strength of disturbed clay In sliding zone of CIGU landslide and associated stability analysis [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2009, 17 (4): 496 - 502.
- [9] 易庆林, 赵能浩, 孟召平, 等. 三峡库区某滑坡滑带土剪切变形特性及控滑机理 [J]. *土木建筑与环境工程*, 2014, 36 (5): 125 - 130.
YI Qinglin, ZHAO Nenghao, MENG Zhaoping, et al. Shear deformation properties of sliding zone soil and its effect on sliding mechanism of a landslide in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2014, 36 (5): 125 - 130.
- [10] 陈松, 徐光黎, 陈国金, 等. 三峡库区黄土坡滑坡滑带工程地质特征研究 [J]. *岩土力学*, 2009, 30 (10): 3048 - 3052.
CHEN Song, XU Guangli, CHEN Guojin, et al. Research on engineering geology characteristics of soil in sliding zone of Huangtupo landslide in Three Gorges Reservoir area [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2009, 30 (10): 3048 - 3052.