

三峡库区万州安乐寺滑坡滑带特征

简文星¹, 殷坤龙¹, 罗冲¹, 姚林林¹, 张超²

1. 中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 安乐寺滑坡是三峡库区典型的缓倾角红层基岩滑坡, 对其滑带特征进行详细的研究有助于揭示缓倾角红层基岩滑坡的形成机制。宏观地质特征显示, 安乐寺滑坡滑带是侏罗系红层中灰白色泥岩(软弱夹层)经挤压滑动所形成的, 擦痕指示最后一次滑动方向为 100° 。通过X射线衍射分析和红外光谱分析表明, 安乐寺滑坡滑带主要矿物成分为蒙脱石、伊利石、长石、石英等; 其特点是蒙脱石含量高, 并且滑动面上的蒙脱石含量高于滑带的蒙脱石含量。经扫描电镜观察, 滑带土微观结构以片状结构与定向排列结构为主; 显微擦痕发育, 并指示滑带曾发生过多滑动。对滑带土的物理力学性质进行实验研究可知: 滑带土为中等膨胀性粉质粘土, 其抗剪强度低; 且吸水膨胀后, 抗剪强度大大降低。滑带土的这些特殊性质, 为安乐寺滑坡的滑动提供了物质基础。

关键词: 安乐寺滑坡; 侏罗系红层; 滑带; 矿物成分; 显微结构; 物理力学性质。

中图分类号: P64

文章编号: 1000-2383(2008)05-0672-07

收稿日期: 2008-01-25

Slip Zone Characteristics of Anlesi Landslide in Wanzhou of Three Gorges Reservoir Area

JIAN Wen-xing¹, YIN Kun-long¹, LUO Chong¹, YAO Lin-lin¹, ZHANG Chao²

1. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Anlesi landslide is a typical gentle-dip landslide forming in the red clastic rocks in the Three Gorges Reservoir area. In order to discover the mechanism of the gentle-dip landslides forming in the red clastic rocks, the slip zone characteristics of Anlesi landslide were studied in detail in this paper. Field investigations show that the slip zone of Anlesi landslide was formed from a white mudstone (an incompetent bed) in Jurassic red strata by extrusion stress. The direction of the striations on the sliding surface indicates that the latest sliding direction of the landslide is 100° . The X-ray diffraction and infrared ray analysis reveal that the main mineral components of the slip zone are montmorillonite, illite, feldspar and quartz, et al. . The significant character is that the slip zone contains a large amount of montmorillonite, and the sliding surface contains more montmorillonite than the slip zone does. The results of scanning electron micrograph display that the microstructures of the slip zone are mainly sheet crystals and directional crystal structures, and micro striations developed well. A set of tests were conducted on the slip zone specimens to obtain the physico-mechanical characteristics. Test results show that the slip zone is medium swelling potential slity clay, and shear strength becomes very low once the slip zone absorbs water to saturation. The characteristics of the slip zone mentioned above make it possible to discover the mechanism of the gentle-dip landslides forming in the red clastic rocks.

Key words: Anlesi landslide; Jurassic red strata; slip zone; mineral component; micro structure; physico-mechanical characteristics.

0 引言

三峡库区降雨充沛,暴雨多,容易诱发缓倾角红层基岩滑坡。2004 年 9 月 5 日,在降雨作用下,四川省宣汉县天台乡义和村发生特大型滑坡,摧毁屋舍 1 736 间,1 255 人无家可归。滑坡体前部滑入前河,形成高 23 m、长 20 km、库容约 $6\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的堰塞湖(黄润秋等,2005)。此滑坡发生在侏罗系遂宁组红层中,滑面倾角仅 7° 。研究表明:在三峡库区中生代红层中,由于存在多层软弱夹层,在降雨特别是暴雨作用下,发生了多个规模大、滑动面平缓的红层基岩滑坡(伍四明和李日国,1994;唐殿奎,1997;殷坤龙和吴益平,1998;刘红星等,2002)。这些滑坡滑面的倾角只有 $3^\circ \sim 10^\circ$ 。为了揭示这些滑坡的形成机制,本文以安乐寺滑坡为例,对三峡库区缓倾角红层基岩滑坡滑带特征进行详细的研究。

1 安乐寺滑坡特征

安乐寺滑坡位于 NE 向隔挡式褶皱系万州弧形复向斜的核部,出露地层主要为侏罗系红层沙溪庙组(J_2s),岩性为一套紫红色砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等,分布稳定、产状平缓。安乐寺滑坡纵

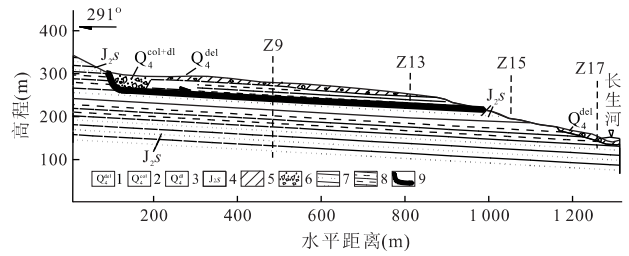


图 2 安乐寺滑坡 A-B 工程地质剖面图(据崔政权,1993 修改)

Fig. 2 A-B geological section of Anlesi landslide

1. 滑坡堆积物;2. 崩积物;3. 坡积物;4. 侏罗系沙溪庙组;5. 粘土夹碎石;6. 碎块石;7. 砂岩;8. 泥岩;9. 滑动面

长 600 m,宽 2 100 m,面积 $101 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积约 $2\,486 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 1)。滑床岩性为粉砂岩夹泥岩,产状为 $150^\circ \angle 4^\circ \sim 5^\circ$ 。滑带埋深 10 ~ 40 m 不等,后部局部可达 48 m,基本与层面平行(图 2)(崔政权,1993)。安乐寺滑坡地表汇水面积大,水塘比较多,大部分分布在后缘拉裂槽一带,地下水埋深 0 ~ 10 m。前缘分布西溪铺、移民局、农机技校与鱼鳅洞等规模较大的松散堆积体(简文星等,2005a)。

2 安乐寺滑坡滑带宏观地质特征

为了揭示安乐寺滑坡的滑带特征,在安乐寺滑坡的前缘(高程 200 ~ 250 m)进行详细追索,选定在钻孔 Z13 与 Z15 之间挖了一条探槽(图 1)。此探槽揭露了两层滑带(图 3):第一层滑带(Y1)位于实测剖面的底部,高程大约为 229 m。厚度为 20 ~ 35 cm,物质成分为灰白色粘土,内夹角砾。角砾粒径大的可达 5 cm,一般为 0.5 ~ 1.0 cm。上覆岩层为砂岩,下伏岩层为粉砂质泥岩(图 3a)。在灰白色粘土层的底部,可见很清晰的滑动面(照片 1),擦痕指示滑动方向为 100° 。第二层滑带(Y2)位于实测剖面的顶部,高程大约为 241 m。厚度为 10 ~ 15 cm,物质成分为灰白色粘土夹角砾。粘土的粘性大,含水量高,软塑。角砾成分为灰白色泥岩,棱角清晰。粒径一般为 0.5 ~ 2.0 cm,最大可达 3 cm,最小在 0.1 cm 以下。地表露头直接为第四系黄褐色粘土覆盖,下伏岩层为粉砂质泥岩(图 3b)。在灰白色粘土层的底部,可见滑动面及滑动擦痕(照片 2),擦痕指示滑动方向为 102° 。这些宏观地质特征表明,安乐寺滑坡两层滑带均由灰白色泥岩经挤压滑动所形成。

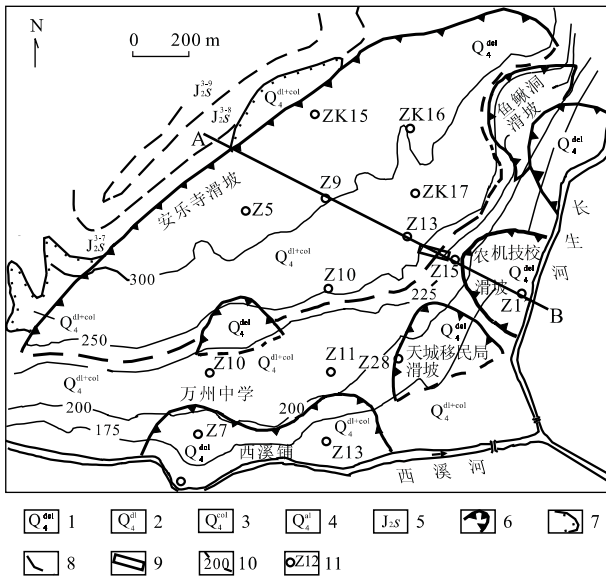


图 1 安乐寺滑坡工程地质平面图(据崔政权,1993 修改)

Fig. 1 Geological map of Anlesi landslide

1. 滑坡堆积物;2. 坡积物;3. 崩积物;4. 冲积物;5. 侏罗系沙溪庙组;6. 滑坡周界;7. 不整合线;8. 地层界限;9. 探槽;10. 等高线;11. 钻孔及其编号

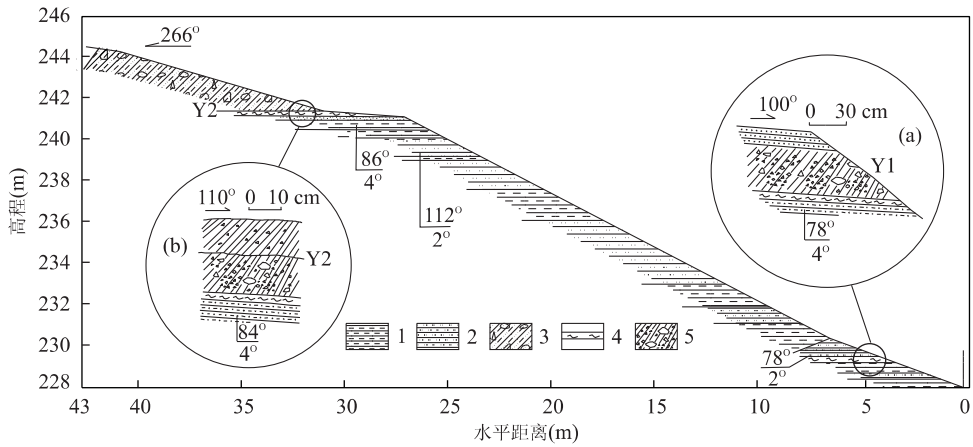


图 3 安乐寺滑坡滑带探槽实测地质剖面图

Fig. 3 Geological profile of the slip zone of Anlesi landslide in the excavated trench

1. 泥岩; 2. 砂岩; 3. 粉质粘土夹碎石; 4. 滑动面; 5. 灰白色粘土夹角砾(Y1、Y2 滑带土)

3 安乐寺滑坡滑带矿物成分

3.1 X 射线衍射分析

X 射线粉晶衍射分析在中国地质大学(武汉)测试中心完成,使用的仪器为日本理学公司 D/MAX-3A 型 X 射线衍射仪. 结果表明:安乐寺滑坡 Y1 滑带滑面矿物成分为:蒙脱石 85%,伊利石 5%,石英 5%,长石 5%(图 4); Y1 滑带矿物成分为:蒙脱石 75%,伊利石 10%,石英 5%,长石 10%. 安乐寺滑坡 Y2 滑带滑面矿物成分为:蒙脱石 65%,伊利石 15%,石英 5%,长石 15%; Y2 滑带矿物成分为:蒙脱石 65%,伊利石 5%,石英 10%,长石 20%. 总之,安乐寺滑坡滑带土蒙脱石含量高;并且滑面上的蒙脱石含量比滑带的蒙脱石含量高.

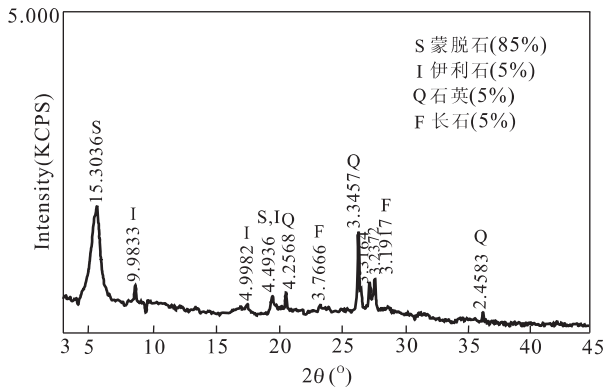


图 4 Y1 滑带滑面 X 粉晶射线衍射分析

Fig. 4 X-ray diffraction chart of Y1 sliding surface

3.2 红外光谱分析

红外光谱分析(IR)在中国地质大学测试中心完成,所用仪器为美国 Nicolet 公司生产的傅立叶变换红外光谱仪 MAGNA-IR550. 在红外光谱图中(图 5),出现了 3620 cm^{-1} 中等强度的 OH 带和 3400 cm^{-1} 较为宽缓的 H_2O 带,表明有大量蒙脱石的存在. 没有出现高岭土的特征 3700 cm^{-1} 带. 红外光谱分析显示的主要矿物属种与 X 射线衍射分析结果基本一致.

以上分析可知,安乐寺滑坡滑带的矿物成分与万州侏罗系红层软弱夹层的矿物成分一致(简文星等,2005b). 由此说明,该滑带是由侏罗系红层中的软弱夹层经滑动所形成的.

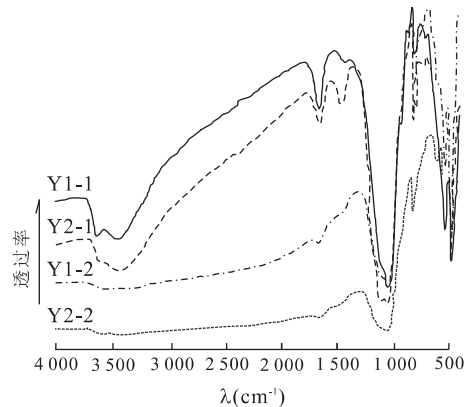


图 5 Y1 和 Y2 滑带红外光谱分析

Fig. 5 Infrared ray analysis of slip zones Y1 and Y2

Y1-1. Y1 滑带滑面样品; Y1-2. Y1 滑带样品; Y2-1. Y2 滑带滑面样品; Y2-2. Y2 滑带样品

4 安乐寺滑坡滑带微观结构特征

电镜扫描技术是获取土的结构信息的一种非常有效的手段(熊承仁等,2007)。本文采用此技术对滑带土微观特征进行观察,包括滑带土的滑动擦痕特征、矿物定向排列及矿物形态特征等。试验设备为 Quanta 200 型环境扫描电子显微镜。

4.1 滑动擦痕特征

对 Y1、Y2 两层滑带进行仔细观察发现,滑动擦痕主要集中在滑面上。其特点是光滑平直,延伸性好(照片 3)。在观察中发现滑带土表面的擦痕具有周期性。统计分析表明,共有 3 期的擦痕,前两期擦痕分别与最后一期擦痕呈大约 30° 和 50° 夹角。早期擦痕被后期滑动擦痕所截断。

4.2 矿物定向排列特征

电镜扫描观察发现:滑带土矿物具有一定的定向排列。从垂直滑动方向的角度来观察,矿物有明显的层状定向排列特征,而且片状矿物的定向排列使得滑带土和滑动面为近似平行的层面(照片 4)。在与滑动方向平行的角度来观察,矿物定向排列性方向与最后一次滑动方向呈近 30° 夹角。说明安乐寺滑带受过多次挤压滑动作用,且前期滑动的方向为 130° 。

4.3 矿物形态结构特征

滑带土的电镜扫描结果表明:滑带土的粘土矿物形态主要以片状为主(照片 5);在样品中还发现少量长条状矿物(照片 6)。从滑带土矿物的形态分析,滑带土主要由蒙脱石组成。

5 安乐寺滑坡滑带物理力学性质

对安乐寺滑坡滑带土的粒度成分、液塑限、最大干密度、最优含水量、剪切强度等物理力学性质进行实验。样品采自图 1 所示探槽的 Y1、Y2 两层滑带。实验严格按照《土工试验方法标准(1999)》(中华人民共和国国家标准,GB/T 50123,1999)进行。下面将对这些特征进行分别论述。

5.1 粒度成分

采用筛析法与虹吸比重瓶法测定滑带土的粒度成分。其结果为:Y1 滑带土砂粒含量为 1.9%;粉粒含量为 72.3%;粘粒含量为 25.8%。Y2 滑带土的砂粒含量为 26.2%;粉粒含量为 31.8%;粘粒含量为

42.2%。因此,此两层滑带土均为粉质粘土。

5.2 最优含水量与最大干密度

采用击实法确定滑带土的最优含水量与最大干密度。Y1 滑带土的最优含水量为 27.25%,最大干密度 1.453 g/cm^3 ;Y2 滑带土的最优含水量为 20.8%,最大干密度为 1.574 g/cm^3 。

5.3 液塑限

采用搓滚法测定滑带土的塑限,锥式仪法测定滑带土的液限。Y1 滑带土的塑限为 29.3%,液限为 43.2%,塑性指数为 14;Y2 滑带土的塑限为 20.1%,液限为 34.1%,塑性指数为 14。根据粘土的液限、塑限特征可以确定此两层滑带土为粉质粘土。

5.4 膨胀特性

采用自由膨胀率试验对两层滑带土的自由膨胀率进行测定。其结果为:Y1 滑带土的自由膨胀率为 87.50%,为中等膨胀性粘土;Y2 滑带土的自由膨胀率为 57%,为弱膨胀性粘土。

5.5 抗剪强度

5.5.1 直剪实验 直剪实验分 3 种状态进行:(1)将样品调制至液限状态,环刀取样;(2)将样品在最优含水量条件下用轻型击实器击实,抽气饱水;(3)对所采取的原状样品进行环刀取样、毛细饱水。然后分别进行固结慢剪实验,剪切速度为 0.02 mm/min 。试验结果(表 1)表明:原状样品的抗剪强度与液限条件下样品的抗剪强度很接近,其值比较低;击实样品的抗剪强度比较高。

表 1 Y2 滑带直剪试验条件与试验结果

Table 1 Direct shear test conditions and results of Y2 slip zone

样品试验条件	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)
液限状态下固结慢剪	6.3	16.7
击实样品抽气饱和和固结慢剪	10.2	25.1
原状样品毛细饱和和固结慢剪	5.9	13.5

为了研究滑带土膨胀性与抗剪切强度的关系,作约束条件如下的实验:(1)试样周围与上下端都有约束;(2)试样周围与下端固定而一端自由;(3)试样周围固定而两端自由。将环刀试样按以上 3 种不同约束状态装样。毛细吸水饱和后,分别作快剪实验。结果表明(表 2),在两端约束的条件下,Y1 样品的抗剪强度为: $\phi=10.3^\circ, c=21.2 \text{ kPa}$;在一端约束的条件下,Y1 样品的抗剪强度为: $\phi=8.2^\circ, c=14.2 \text{ kPa}$;在没有约束的条件下,Y1 样品的抗剪强度为: $\phi=2.6^\circ, c=$

表 2 Y1 和 Y2 滑带不同约束状态下快剪实验结果

Table 2 Quick shear test results of Y1 and Y2 slip zone under various conditions

滑带编号	约束状态	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	抗剪强度参数	
Y1	(1)	34.45	2.02	c (kPa)	21.2
				ϕ (°)	10.3
	(2)	40.68	1.97	c (kPa)	14.2
				ϕ (°)	8.2
	(3)	45.73	1.91	c (kPa)	2.6
				ϕ (°)	2.6
Y2	(1)	24.01	1.80	c (kPa)	22.4
				ϕ (°)	13.2
	(2)	28.07	1.77	c (kPa)	13.2
				ϕ (°)	10.0
	(3)	32.97	1.73	c (kPa)	1.6
				ϕ (°)	1.9

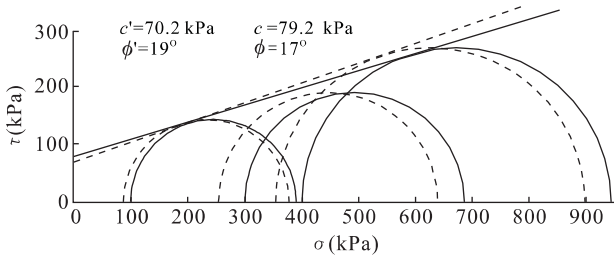


图 6 Y1 滑带土固结不排水压缩实验强度包线

Fig. 6 Mohr circles at failure and Mohr envelopes for both total and effective stresses for Y1 slip zone soil

2.6 kPa。Y2 样品也具有同样的特性。由此说明,滑带土从没有膨胀到完全膨胀,其抗剪强度参数 c 和 ϕ 值迅速衰减。此结论与路基膨胀土的抗剪强度特性相似(张嘉翔和姜淑花,2001)。

5.5.2 三轴固结不排水压缩实验 采用标准三轴试验仪器进行。在最优含水量条件下将滑带土样击实,然后在压力室内抽气饱水。试验围压分别为 100、200、300、400 kPa。图 6 所示为 Y1 滑带土的固结不排水压缩实验结果。总应力抗剪强度参数为: $c=79.2$ kPa, $\phi=17.0^\circ$; 有效应力抗剪强度参数为: $c'=70.2$ kPa; $\phi'=19.0^\circ$ 。

将不同状态下安乐寺滑坡滑带土的抗剪强度参数与万州其他滑坡防治设计所采用的抗剪强度参数(罗冲等,2005)进行对比,直接慢剪实验与三轴实验所获取的参数比设计所采用的参数值大;完全膨胀样品直接快剪所获取的参数比设计值小;部分膨胀样品直接快剪所获取的参数与设计值基本一致。

6 结论

(1)安乐寺滑坡滑带是侏罗系红层中灰白色泥岩经挤压滑动所形成的;(2)安乐寺滑坡滑带主要矿物成分为蒙脱石、伊利石、长石、石英等,其主要特点是蒙脱石含量高,并且滑动面上的蒙脱石含量高于滑带的蒙脱石含量。(3)安乐寺滑坡滑带土微观结构以片状结构为主,粘土矿物定向排列结构明显,局部可见长条状结构;显微擦痕发育,并指示滑带曾发生多次滑动。(4)安乐寺滑坡滑带土为中等膨胀性粉质粘土,吸水膨胀后,抗剪强度大大降低。总之,安乐寺滑坡滑带土的这些特殊性质,为其滑动提供了物质基础。

致谢:参加本项目野外调研及室内实验的还有闫天俊副教授,博士生刘礼领、周春梅、陈丽霞,硕士生郑磊、程传军,本科生李德营及郝佳,在此一并表示感谢!

References

- Cui, Z. Q., 1993. An Introduction on Safety Evaluation of the Three Gorges Reservoir Shores. Bureau of Geotechnique of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan (in Chinese).
- Huang, R. Q., Zhao, S. J., Song, X. B., et al., 2005. The formation and mechanism analysis of Tiantai landslide, Xuanhan County, Sichuan Province. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 32(1): 13–15 (in Chinese with English abstract).
- Jian, W. X., Yin, K. L., Zheng, L., et al., 2005a. Formation mechanism and slide prevention methods of soil deposits at the toe of Anlesi landslide in Wanzhou. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(4): 487–492, 1507 (in Chinese with English abstract).
- Jian, W. X., Yin, K. L., Ma, C. Q., et al., 2005b. Characteristics of incompetent beds in Jurassic red clastic rocks in Wanzhou. *Rock and Soil Mechanics*, 26(6): 901–905, 914 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. X., Wang, X. B., Wang, Y. P., 2002. Landslide features and stability analysis of horizontally bedded rock mass in the TGP reservoir area. *Yangtze River*, 33(5): 18–20 (in Chinese).
- Luo, C., Yin, K. L., Chen, L. X., et al., 2005. Probability distribution fitting and optimization of shear strength parameters in sliding zone along horizontal-stratum

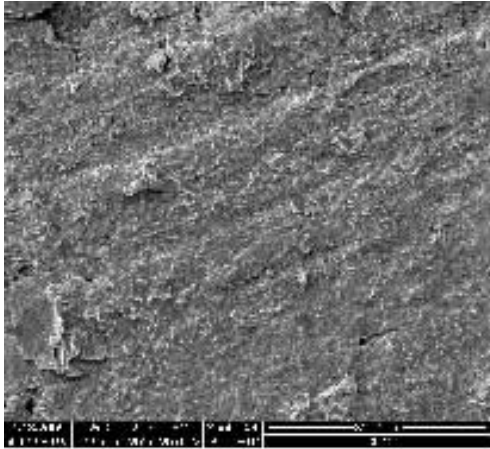
- landslides in Wanzhou City. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 24(9): 1588—1593 (in Chinese with English abstract).
- Standard of People's Republic of China, 1999. GB/T50123, Standard for soil method (in Chinese).
- Tang, D. K., 1997. Application of system engineering geology to landslide analysis. *Yangtze River*, 28(1): 33—36 (in Chinese).
- Wu, S. M., Li, R. G., 1994. Numerical simulation on formation mechanism of Wanxian landslide groups. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 21(6): 14—17 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, C. R., Tang, H. M., Liu, B. C., et al., 2007. Using SEM photos to gain the pore structural parameters of soil samples. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3): 415—419 (in Chinese with English abstract).
- Yin, K. L., Wu, Y. P., 1998. Systematic researches of one special paleo-landslide in the Three-Gorges Reservoir. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 9(Suppl.): 200—206 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Jiang, S. H., 2001. A brief discussion on properties of swell soil and stability of foundation in Dangyang-Yichang speedway. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(4): 424—428 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献
- 崔政权, 1993. 三峡工程库岸稳态评价预测概念. 武汉: 长江水利委员会勘测局.
- 黄润秋, 赵松江, 宋肖冰, 等, 2005. 四川省宣汉县天台乡滑坡形成过程和机理分析. *水文地质工程地质*, 32(1): 13—15.
- 简文星, 殷坤龙, 郑磊, 等, 2005a. 万州安乐寺滑坡前缘松散堆积体成因与防治对策. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(4): 487—492.
- 简文星, 殷坤龙, 马昌前, 等, 2005b. 万州侏罗纪红层软弱夹层特征. *岩石力学*, 26(6): 901—905.
- 刘红星, 王小波, 王永平, 2002. 三峡库区水平层状岩体滑坡特征及稳定性分析. *人民长江*, 33(5): 18—20.
- 罗冲, 殷坤龙, 陈丽霞, 等, 2005. 万州区滑坡滑带土抗剪强度参数概率分布拟合及其优化. *岩石力学与工程学报*, 24(9): 1588—1593.
- 唐殿奎, 1997. 系统工程地质在万县滑坡稳态分析中的应用. *人民长江*, 28(1): 33—36.
- 伍四明, 李日国, 1994. 万县滑坡群形成机制的数值模拟研究. *水文地质工程地质*, 21(6): 17—21.
- 熊承仁, 唐辉明, 刘宝琛, 等, 2007. 利用 SEM 照片获取土的孔隙结构参数. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(3): 415—419.
- 殷坤龙, 吴益平, 1998. 三峡库区一个特殊古滑坡的综合研究. *中国地质灾害与防治学报*, 9(增刊): 200—206.
- 张嘉翔, 姜淑花, 2001. 浅谈当宜高速公路膨胀土性质与路基稳定性问题. *地球科学——中国地质大学学报*, 26(4): 424—428.
- 中华人民共和国标准, GB/T50123, 1999. 土工试验方法标准.



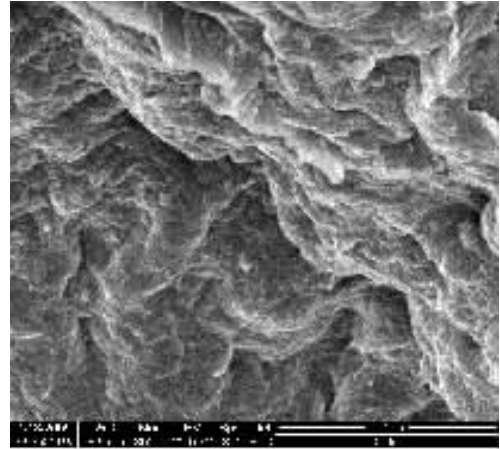
照片1 安乐寺滑坡Y1滑带中的滑面



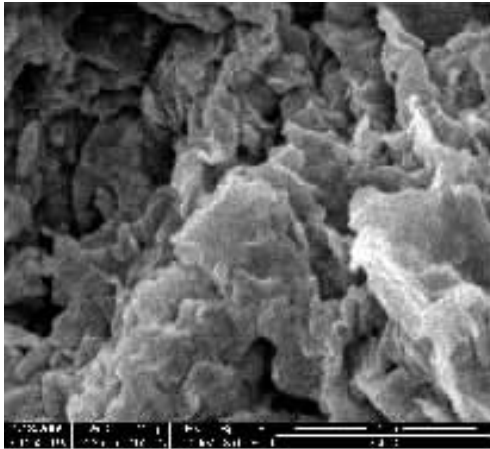
照片2 安乐寺滑坡Y2滑带擦痕(滑动方向为102°)



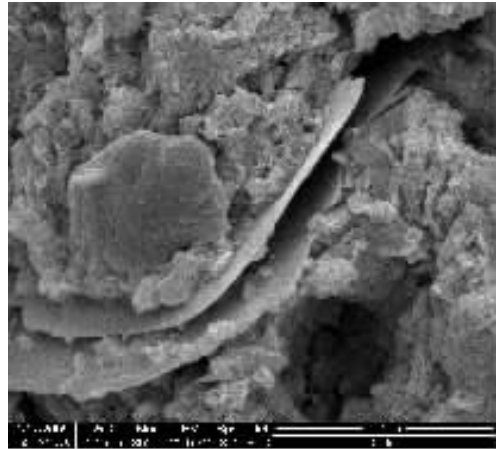
照片3 Y1滑带滑面上的显微擦痕



照片4 Y1滑带粘土矿物定向排列



照片5 Y1滑带粘土矿物片状结构



照片6 Y1滑带粘土矿物长条状结构