

文章编号: 1008-2786-(2008)5-577-06

丹巴县甲居滑坡复活机制及其稳定性分析

李明辉¹, 郑万模¹, 石胜伟², 谢忠胜²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

摘 要: 甲居滑坡为一个特大型堆积层古滑坡, 因其位于四川省丹巴县甲居藏寨风景旅游区而广受关注。结合滑坡形成的地质环境条件, 从滑坡形态、坡体结构、地表变形破坏发育特征等方面入手, 对该典型堆积层滑坡进行了分析论述。研究表明, 滑坡形成演化历史较为复杂, 是一个多级多层滑动形成的非连续复合变形体, 其变形复活与滑坡岩土结构、河流侵蚀和人类工程活动密切相关, 滑坡具有长期间歇性蠕滑变形特征, 以局部滑移为主, 难以产生整体性变形破坏, 进而为滑坡下一步的监测治理提供了依据。

关键词: 甲居滑坡; 变形; 复活机制; 稳定性

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

四川省丹巴县位于青藏高原东缘向盆地过渡的地形坡折带, 为典型高山峡谷地貌, 地形陡峭, 构造复杂, 新构造运动强烈, 地质环境脆弱, 崩塌、滑坡、泥石流等山地地质灾害较为发育, 随着人类工程活动的加强, 区内山地地质灾害发育有加剧之势, 多处滑坡复活变形, 甲居滑坡即为其中之一, 因其位于该县甲居藏寨风景旅游区而广受关注。

松散堆积体在重力作用下间歇性失稳、多次滑动变形所致, 与区域地壳快速隆升和河流快速下切密切相关。据访, 滑坡具有洪水季节的活动性, 近期较明显的变形发生于 1992-07 和 2000-06。随着人类工程活动加剧, 滑坡前缘变形趋强, 滑坡总体表现为从前往后的逐级破坏, 为一以牵引为主的特大型堆积层古滑坡。

1 滑坡概况

甲居滑坡位于大渡河上游大金川右岸宽缓斜坡区, 地形总体西高东低, 滑坡后缘高程 2 400.0 m, 前缘高程 1 920.0 m, 相对高差 480 m, 受河流侵蚀切割影响, 坡体前缘形成 15~30 m 高陡坎。滑坡平面形态呈不规则 M 形 (图 1), 其南侧边界和后缘中部为破碎的基岩山脊, 纵向上呈多级台坎地貌特征 (图 2), 前、后陡, 中部缓, 平均坡度 21°, 滑坡长 1 200 m, 宽 1 000 m, 平均厚 22 m, 体积约 $2.64 \times 10^7 \text{ m}^3$; 变形强烈和有明显活动部位主要集中于前缘, 坡体上冲沟较发育, 发育常年性流水溪沟 3 条, 沟深 5~12 m。滑坡变形历史复杂, 为其表层厚大

2 滑坡区地质环境条件

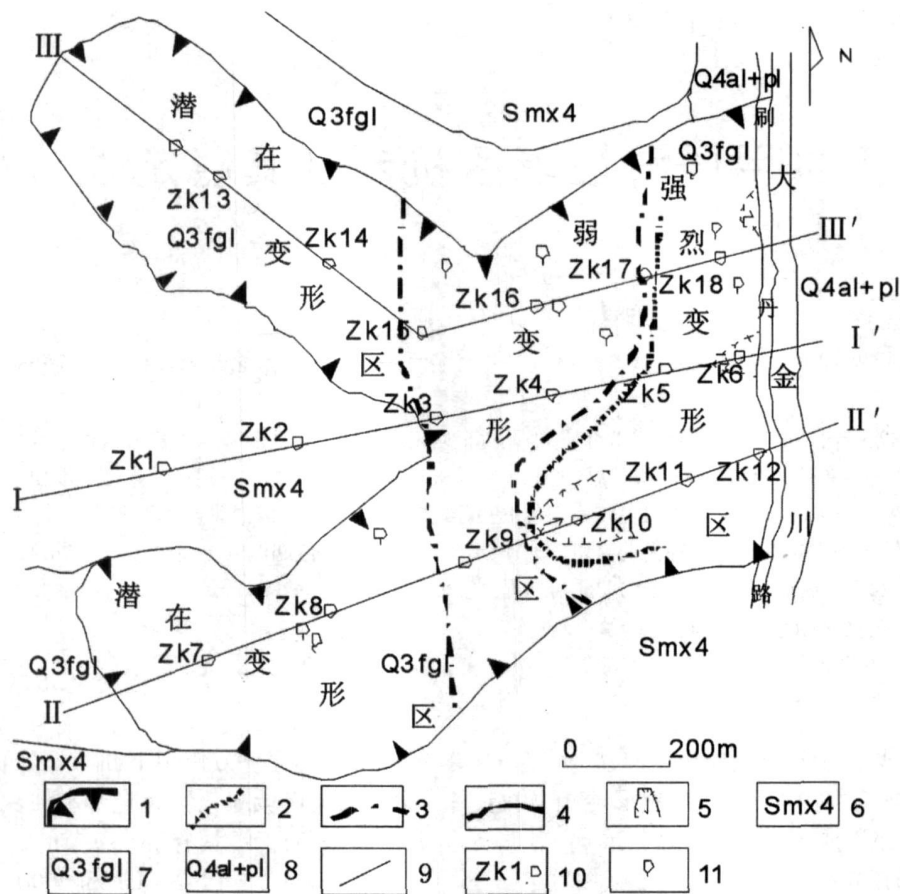
2.1 地层、构造

滑坡区为一宽缓的复杂斜坡体, 表层为厚度巨大的松散堆积物, 下伏基岩为志留系茂县群第四岩组 (S_{n4}) 二云英片岩夹大理岩。据文献资料^[1-6]、实地调研和综合分析认为, 滑坡区第四系松散堆积物为上更新统冰水堆积 (Q_3^{gl}) 为主, 夹杂冲洪积、泥石流堆积、崩滑堆积一起组成的混杂堆积体, 堆积体最大厚度 > 100 m, 纵向上表现为斜坡后部稍度变大, 横向上中间厚, 两边薄, 物质组份极不均一, 主要为土黄色碎石土、块石土, 往中前部厚色粉砂质粘土夹巨大块石或漂砾的无序组合, 土石比 3:7。

收稿日期 (Received date): 2008-01-04; 改回日期 (Accepted): 2008-04-05.

基金项目 (Foundation item): 中国地质调查局“四川丹巴县地质灾害详细调查项目” (项目编号 1212010541106-4) 资助。[Supported by Item of Detailed Investigation of Geological Hazards in Danba County, Sichuan Province (No. 1212010541106-4)]

作者简介 (Biography): 李明辉 (1968-), 男, 副研究员, 主要从事地质灾害调查、评价与研究。[Li Minghui (1968-), male, mainly engaged in investigation, assessment and study on geological hazards.] E-mail: edh.inghui@cgs.gov.cn



1. 滑坡边界, 2. 拉裂缝, 3. 变形分区界线, 4. 地层界线, 5. 前缘活动新滑坡, 6. 志留系茂青群第四系, 7. 第四系冰水堆积物, 8. 第四系冲洪积, 9. 勘探线, 10. 钻孔, 11. 泉水点

图 1 滑坡工程地质平面图

Fig 1 The engineering geological plan sketch of landslide area

滑坡夹持于北西向压扭性炭厂沟断层和佛爷崖断层之间(图 3), 区内挤压变形作用强烈, 节理裂隙发育, 岩体破碎, 岩浆活动较强, 出露多处伟晶岩脉, 地层产状主要以北北东、北北西倾向为主, 倾角在 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 间。

2.2 水文地质条件

滑坡区地下水类型主要为松散岩类孔隙水和变质岩基岩裂隙水。松散岩类孔隙水零星赋存于滑坡第四系堆积物中, 透水性因物质组成、结构特征不同而表现出较大差异, 水文地质结构复杂; 堆积物主要为粉砂质粘土、碎石土、块石土, 其透水性土体中的粘土、粉质粘土含量及土体的密实程度有关。在纵向上粉质粘土和碎块石土呈不连续状或透镜状分布, 在滑坡体中可形成多层上层滞水或在潜水面以下形成含水层与隔水层相间的滑体复合含水型结构^[7]。同时, 由于堆积层与基岩透水性存在明显差异, 大量地下水沿基岩顶面一带活动, 顺坡径流, 就

近补给下伏基岩裂隙水, 或于低洼处出露地表或渗流排入大金川河。

滑坡体上出露多处泉点或溢水点(见图 1), 以滑坡北侧发育较多, 水流量较大泉点主要集中在滑坡前缘, 推测与古滑面有关。据水样分析, 地表水、地下水无明显差异, 主要水化学类型为 $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Ca} - \text{Na}$ 或 $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Ca} - \text{Na}$ 型, 无侵蚀性 CO_2 , 矿化度 $< 0.5 \text{ g/L}$, 为低矿化淡水, 说明二者联系紧密, 水循环交替强烈。

3 滑坡变形发育特征

据现场调查、钻孔揭示, 以及综合分析认为, 甲居滑坡是地质历史时期的一个古滑坡, 其形成演化历史较为复杂, 无统一滑动面及统一主滑方向, 为覆盖层内部多级、多期次变形形成的一个复合变形体。该滑坡总体表现为间歇性重力蠕滑特征, 由前往后

产生逐级牵引, 地表变形逐渐变弱, 在坡体上产生拉裂缝、陷落坑、树木歪斜和房屋破坏, 地貌上呈现多级台坎地貌特征, 根据其地表变形程度的差异可分为以下三部分 (见图 1):

1. 滑坡前缘强烈变形区 (主滑区): 以滑坡前缘一条近乎贯通的拉裂下错陡坎及其影响带为界, 覆盖层厚 22~ 100 m, 基岩插入河床以下 70~ 80 m, 滑坡剪出口在大金川河床面附近。整个坡体结构下部为巨块石堆积, 裂隙发育, 透水性好, 剖面深度 25~ 45 m; 上部为碎石土、块石土及少量粉砂质粘土, 厚 22~ 45 m, 透水性较差, 滑坡变形强烈区域主要集中

于上部坡体内。本区地形整体上呈梯级台坎形状, 前陡后缓, 地形平均坡度 20°, 坡脚由于公路开挖和河流冲蚀形成高 15~ 30 m 陡坎, 陡坎坡度 35°~ 40°。本区变形迹象主要为南东侧发育一小型次级滑坡, 滑坡后壁高 3~ 15 m, 滑面深度 15~ 20 m, 滑面形态呈圆弧状, 滑动方向 70°, 剪出口位置不明, 为受前缘变形牵引产生的牵引式滑坡; 滑坡前缘中部和北侧各发育一个小型土质滑坡, 滑动方向垂直于大金川, 滑面深度 1~ 5 m, 滑体成分主要为碎石土; 另外多处见小范围塌滑形成的挫落陡坎, 挫落高度 3~ 6 m。

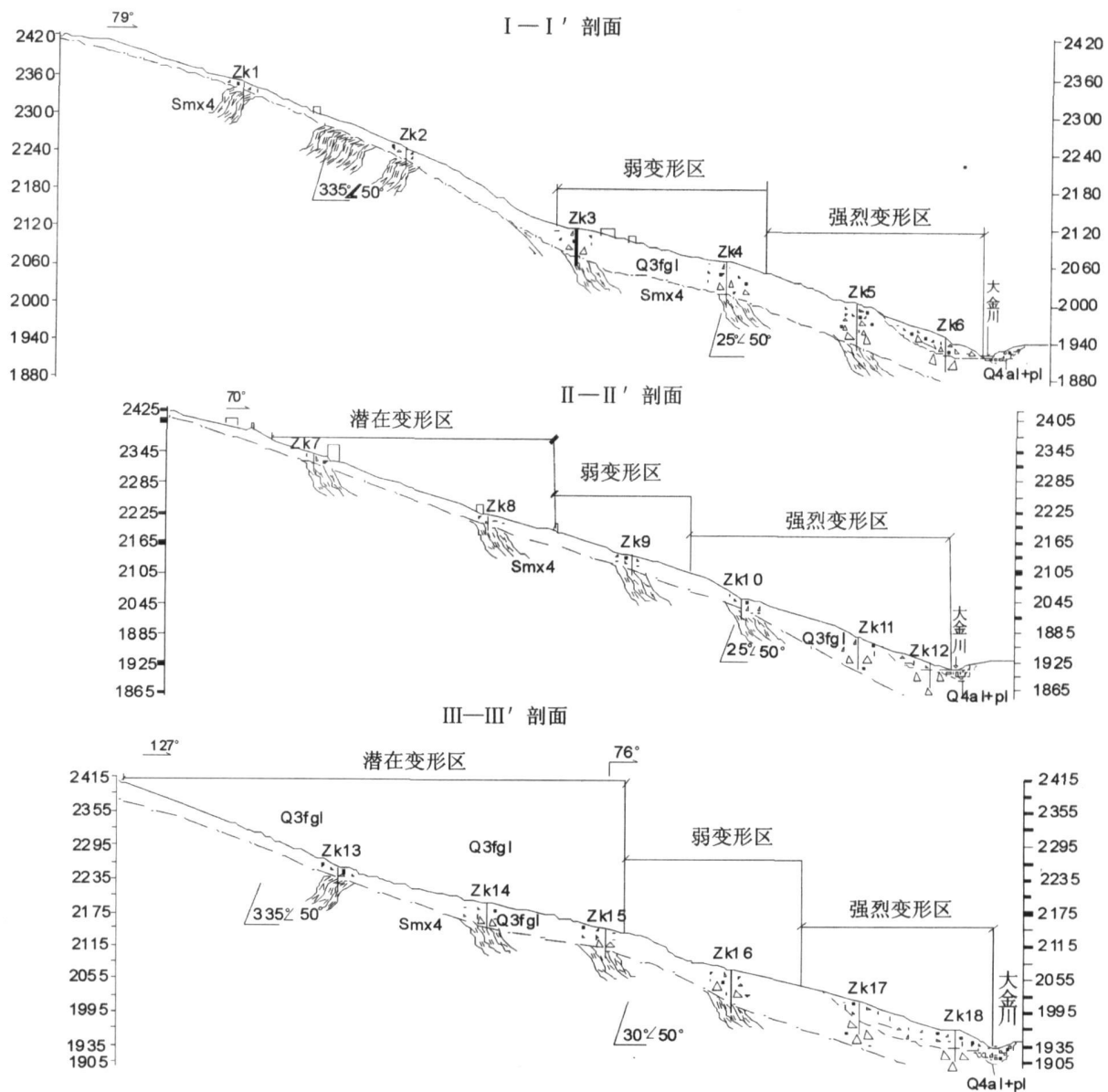


图 2 滑坡 I—I'、II—II'、III—III' 剖面工程地质平面图

2. 滑坡中部弱变形区(牵引区): 覆盖层厚度 25~35 m, 物质组成主要为碎石土夹块石, 局部为块石土, 大块石架空现象严重; 阶梯状地形, 前缓后陡, 平均坡度 20°, 后侧局部陡坎坡度 45°~70°。由于受到前缘牵引作用, 地表产生不同程度的变形, 变形迹象主要为多处见线形拉张裂缝, 其中滑坡南侧一条走向 90°, 缝宽 5~15 cm, 深度 30~60 cm, 延伸长度 30 m, 缝内有一定泥质充填; 区内多处房屋见铅直方向发展锯齿状裂缝, 缝宽 0.5~10 cm, 地表拉张变形形成多处陷落坑, 深 0.3~2 m, 多见于滑坡北侧。

3. 滑坡后缘潜在变形区: 覆盖层厚度 20~30 m, 物质组成主要为碎石土夹块石, 局部为块石土、粉砂质粘土; 地形呈宽缓阶梯状, 坡度 15°, 未发现明显变形迹象。据访, 洪水季节本区曾出现拉张裂缝, 因此将其作为潜在变形区处理。该区域民居众多, 为甲居藏寨旅游区的主体部分。

上述三区段的变形特征表明, 甲居滑坡是一个多期次、多级滑移形成的大型复合非连续变形土石体, 整体性较差, 容易产生次级滑移。目前以后退式塌岸方式变形破坏。

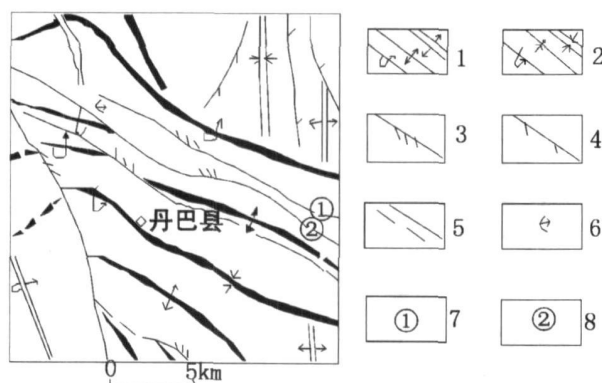


Fig 3 The tectonic sketch map in landslide area

1. 背斜轴及倒转背斜, 2. 向斜轴及倒转向斜, 3. 压扭性断裂,
4. 张扭性断裂, 5. 实测及推测性质不明断层, 6. 甲居滑坡,
7. 碳厂沟断裂, 8. 佛爷崖断裂

图 3 滑坡区构造略图

4 滑坡变形破坏复活机制分析

滑坡复活与其工程地质条件有关, 受滑坡体本身的性状、岩土结构及地下水和地应力条件等因素控制, 降水、地震和人类工程活动有诱导或加速作用, 甲居滑坡变形破坏复活影响因素主要有以下几

方面:

1. 地表水: 滑坡区内有纵向常年流水溪沟 3 条, 以及众多的人工次级灌溉引水沟, 构成坡体的地表水系网。地表水的渗入一方面增加了坡体自重, 另一方面不断软化、冲刷、淋滤土体, 造成土体内部结构状态发生改变, 产生局部塌陷和小范围滑塌现象, 坡体上许多裂缝的产生多数与此有关。

2. 河流作用: 滑坡位于河流侵蚀岸, 该段河道狭窄, 水流湍急, 水位变幅 5~12 m, 河流侵蚀作用强烈, 洪水季节水位陡涨陡落, 在坡体内产生动水压力和浮托力的急剧变化, 水位快速回落时, 动水压力的异常增大和浮托力的迅速减小对坡体的破坏起到了较大的触发作用, 滑坡前缘强烈变形区滑坡、滑塌多与此有关。

3. 易滑岩土结构: 滑坡体物质为土石混杂堆积, 结构无序, 层次多, 岩性变化大, 物质组分为粉砂质粘土、碎块石土等, 堆积物结构松散, 力学强度低, 稳定性差, 在地下水等外动力作用下容易产生变形破坏, 况且堆积物富含云母, 云母是片状定向排列增水性矿物, 遇水强度极易降低, 利于古滑坡的复活。

4. 构造抬升: 该区总体上处于地壳抬升区, 地壳隆起的幅度和速率都较大, 河流切割迅速, 在变形体前缘形成有效临空面的不断增高, 使斜坡体重力势能增大, 导致稳定性降低, 坡体在重力作用下, 容易产生蠕滑变形。

5. 人类工程活动: 由于河流侧蚀作用强烈坡脚刷丹公路时常损毁, 多在滑坡前缘开挖土方回填处理, 一方面引起坡脚应力松动, 另一方面增加滑坡前缘有效临空面, 易致局部失稳破坏, 滑坡前缘小滑坡的产生与此相关。

5 滑坡稳定性分析

5.1 定性分析

由于下伏基岩埋置较深, 滑坡前缘已插入大金川河床下 80~100 m, 滑坡整体上没有沿下伏基岩面滑动剪出的可能, 滑坡活动可能产生滑面位置主要位于大金川河床面附近及其以上位置, 前缘强烈变形区几个小滑坡, 滑面位置都在覆盖层内部, 也印证了以上的推断。

从斜坡结构看, 上部为厚大的松散堆积物, 下部为志留系茂县群第四岩组二云英片岩为主构成的基岩斜向坡, 基岩内无软弱夹层和贯通性结构面, 基岩

深埋地下, 前缘无有效临空面, 因此不存在从基岩内产生滑动的可能。

从滑坡体物质组成和结构特性看, 属土石混杂堆积, 结构松散, 物质之间胶结程度低, 性质脆弱, 很难成为一个整体, 难以产生整体式变形破坏, 主要为局部失稳破坏。

从滑坡的规模看, 为特大型, 其物质组成, 边界条件的不均一性和地下水位及应力场等因素的多变性, 决定了该类边坡变形破坏的复杂性, 由于滑坡已局部解体, 其变形失稳往往不是整体下滑, 而是在边坡最薄弱部位形成局部滑移, 而后在下滑力和惯性力作用下形成整体下滑^[8]。滑坡前缘坡脚应力最为集中, 长期受到河水的侵蚀破坏, 是整个滑坡体最薄弱部位, 况且滑坡前缘松散堆积层下部为巨块石堆积, 上部为碎石土、块石土及少量粉砂质粘土, 物质结构不均一, 此种临河的坡体结构在汛期孔隙水压力、动水压力和浮托力的快速变化下, 为易滑结构, 滑动面容易在碎石土、块石土之间产生。

综上所述, 甲居滑坡整体上不存在从基岩内、基覆界面和覆盖层内部产生整体滑动的可能, 滑动面主要产生在局部变形的覆盖层内。但是由于变形区后缘基岩埋置较浅, 覆盖层厚 15~25 m, 一旦前缘发生较大规模滑移, 有可能牵引后侧覆盖层沿基岩顶面滑动。因此分析计算滑坡前缘覆盖层的稳定性对于整个滑坡的稳定性评价显得尤为重要。

5.2 定量计算及其稳定性初步评价

滑坡前缘覆盖层内部滑动, 多为圆弧型滑面, 采用瑞典条分法对剖面 I-I'、II-II'、III-III' 分别进行稳定性计算; 潜在滑面采用二维极限平衡稳定性分析软件, 自动搜索确定。

岩土体物理力学指标, 由试验结果和丹巴地区类比参数综合确定; 分别以自重、自重+暴雨、自重+暴雨+地震三种荷载组合进行稳定性计算, 结果见表 1。

从计算结果可知, 滑坡在天然状态下, 处于稳定状态, 在持续特大暴雨和地震工况条件下, 稳定性将急剧降低, 前缘坡体将失稳破坏, 从而影响整个坡体的稳定性。

5.3 滑坡稳定性综合评价

根据定性分析与定量计算, 滑坡整体上不存在从基岩内和基岩顶面滑动的可能; 滑坡前缘浅层处于蠕滑状态, 在持续特大暴雨及地震情况下, 必然使其下滑力增大, 抗滑力减少, 导致滑坡再次活动, 有

可能在前缘覆盖层内产生滑动, 而一旦前缘滑动, 将牵引后侧覆盖层变形, 甚至拉动后侧覆盖层沿基岩顶面滑动。

表 1 稳定性计算结果表
Table 1 Results of stability calculated

剖面	工况	稳定系数
I-I' 剖面	自重	1.483
	自重+暴雨	0.905
	自重+暴雨+地震	0.857
II-II' 剖面	自重	1.565
	自重+暴雨	1.072
	自重+暴雨+地震	1.009
III-III' 剖面	自重	1.841
	自重+暴雨	1.059
	自重+暴雨+地震	0.995

6 结论

甲居滑坡是地质历史时期形成的一个以牵引为主, 兼具推移性质的特大型堆积层古滑坡, 形成演化历史较为复杂, 为覆盖层内部多级、多期次滑动变形形成的一个复合变形体。滑坡变形表现为牵引式重力蠕滑, 间歇性滑动, 根据其地表变形差异可分为三个变形区: 滑坡前缘强烈变形区、滑坡中部弱变形区和滑坡后缘潜在变形区, 其变形复活主要与松散堆积体物质结构、河流侵蚀、动水压力和前缘开挖等因素密切相关; 滑坡不具备整体滑动的可能, 在持续特大暴雨和地震作用下, 有可能在前缘覆盖层内产生滑动, 进而牵引后侧覆盖层变形, 引起更大规模的滑动破坏。因此鉴于甲居滑坡为风景旅游区, 人口众多, 潜在危害巨大, 应加强坡体排水、裂缝填埋和适当的坡面防护, 在群测群防的同时加强专业监测。

参考文献 (References)

- [1] Wang Yunsheng, Huang Gunqiu, Duan Haipeng, et al. An intensive erosion event in the last glaciation in the west of China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2006, 33(1): 73~76 [王运生, 黄润秋, 段海澎, 等. 中国西部末次冰期一次强烈的侵蚀事件[J]. 成都理工大学学报, 2006, 33(1): 73~76]
- [2] Shi Jinliang. The deep alluvion and its engineering geological problems of the Dadu river bed[J]. *Sichuan Water Power*, 1986, 3: 10~15 [石金良. 大渡河河床深厚覆盖层及其工程地质问题[J]. 四川水力发电[J], 1986年9月第3期: 10~15]

- [3] Wang Yunsheng, Luo Yonghong, Tang Xingjun, et al. Characteristics of the thick deposit layer underlain with unloaded bedrock forming the river bed of yalong river and their implications in dam construction [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2007, 15(2): 164~168 [王运生, 罗永红, 唐兴君, 等. 雅砻江谷底卸荷松弛现象与深厚覆盖层特征 [J]. *工程地质学报*, 2007, 15(2): 164~168]
- [4] Wang Lansheng, Wang Xiaohu, Xu Xiangning, et al. What happened on the upstream of Minjiang River in Sichuan Province 20000 years ago? [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(4): 189~196 [王兰生, 王小群, 许向宁, 等. 岷江上游近两万年前发生了什么事情? [J]. *地学前缘*, 2007, 14(4): 189~196]
- [5] Chen Haijun, Ren Guangmin, Nie Dexing, et al. Study on engineering geologic characteristic of the deep alluvium in valley and its evaluation methods [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 1996, 7(4): 53~59 [陈海军, 任光明, 聂德新, 等. 河谷深厚覆盖层工程地质特性及其评价方法 [J]. *地质灾害与环境保护*: 1996, 7(4): 53~59]
- [6] Liu Lide. Measures for seepage control of dam foundation which are the deep alluvium of the river valleys in Sichuan [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1982, 4(1): 94~103 [刘麟德. 四川河谷深厚覆盖层建闸坝的渗透稳定特性及防渗措施试验研究 [J]. *岩土工程学报*, 1982, 4(1): 94~103]
- [7] Zhou Pinggen. Types of hydrogeological structure of landslides [J]. *The Chinese journal of geological hazard and control*, 1998, 9 (Suppl): 207~214 [周平根. 滑坡的水文地质结构类型 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 1998, 9(增): 207~214]
- [8] He Keqiang, Li Xianzhong. The mechanical condition and criterions of forming large-scale talus deposit landslides shear outlets [J]. *Journal of Geotechnical Investigation Surveying*, 1995, 5: 13~16 [贺可强, 李显忠. 大型堆积层滑坡剪出口形成的力学条件与综合位移力学判据 [J]. *工程勘察*: 1995, 5: 13~16]

The Revival Mechanism and Stability Analysis to Jiaju Landslide of Danba County in Sichuan Province

LIM inghui¹, ZHENG W anmo¹, SH I Shengwei², X IE Zhongsheng²

(¹ Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China;

² The Exploration Engineering Institute of CAGS, Chengdu 610081, China)

Abstract Jiaju landslide is a huge ancient accumulation landslide, which has been paid so much attention to for being located in the Jiaju Tibetan villages scenery tourism area. This article analyses the typical accumulation landslide considering the geological environment, by configuration, structure, and development characteristic of its deformation and destruction, shows that it is a discontinuous comprehensive deformation mass which is formed by multistage and multi-layer sliding, and the history of formation and evolution is complicated. Its deformation and revival are closely related to earth-structure, river erosion and human engineering activity, and it has a character of long-term interval creep-sliding deformation, mainly partial slipping and sliding, that can hardly cause whole deformation and destruction. This research provides a basis to process next period of landslide monitoring and controlling.

Key words Jiaju landslide; deformation; revival mechanism; stability