

# 四川省青川县银溪窝滑坡复活机制研究及稳定性评价

尤琳, 沈军辉, 彭昌翠, 章志峰

(成都理工大学 地质灾害与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

**摘 要:**银溪窝滑坡位于四川省青川县白家乡佛山村一社,属于滑移—弯曲溃决型变形破坏形成的老滑坡体。近期,滑坡堆积体表现出一定的蠕滑变形迹象,表层局部滑塌现象较发育。“5·12”汶川地震,造成滑坡体的变形进一步加剧,中后部形成多条具一定规模的继承性圈弧状裂缝(带),坡体稳定性进一步降低,对坡体上居民的生命财产安全构成严重威胁。根据滑坡结构及变形破裂特征,结合其所处的地质环境条件,对滑坡的复活机制进行了研究,判定滑坡体在不利工况下处于欠稳定状态,提出了“后缘截水+裂缝填封+前缘抗滑桩”的综合治理方案对其进行治理。

**关键词:**银溪窝滑坡;蠕滑—拉裂;滑移—弯曲;复活机制;稳定性评价

中图分类号:P642.22      文献标识码:A      文章编号:1005-3409(2011)02-0044-04

## Study on the Resurrection Mechanism and Stability of Silver Creek Nest Landslide of Qingchuan County in Sichuan Province

YOU Lin, SHEN Jun-hui, PENG Chang-cui, ZHANG Zhi-feng

(National Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Environment Protection,  
Chdengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Silver Creek nest landslide is located in the first community of Foshan village, Qingchuan County in Sichuan Province. Qingchuan is characterized as the old landslide of slip-bending failure formation. Recently, the landslide shows some signs of deformation. The sign is surface slumping. Because of 5·12 Wenchuan earthquake, the landslide showed the further intense deformation, forming a certain scale of inheritance circle arc-shaped crack in the middle of the landslide, which caused the landslide stability became worse, posing a serious threat to the life and property of the residents on the slope. According to the structure and deformation fracture characteristics of landslide, combined with geological environment, the resurrection mechanism of landslide was studied. The results show that landslide is less stable in adverse working conditions. Based on the above results, it is suggested to use the landslide treatment measures of ‘ntercepting water on the trailing edge+filling cracks+anti-slide pile in the front’ to control landslide.

**Key words:** Silver Creek nest landslide; creep-crack; slip-bending; resurrection mechanism; stability analysis

银溪窝滑坡位于四川省青川县白家乡佛山村一社,属于滑移—弯曲溃决型变形破坏形成的老滑坡体。近期,滑坡堆积体表现出一定的蠕滑变形迹象,表层局部滑塌现象较发育。“5·12”汶川地震,造成滑坡体的变形进一步加剧,中后部形成多条具一定规模的继承性圈弧状裂缝(带),坡体稳定性进一步降低,对坡体上居民的生命财产安全构成严重威胁。因此,评价该滑坡的稳定性,并提出相应的治理措施,确保滑坡体上居民生命财产的安全具有重要的实际意义。本文根据滑坡结构及变形破裂特征,结合其所处

的地质环境条件,研究了滑坡的复活机制,在此基础上,评价了滑坡的稳定性,并提出相应的治理方案。

### 1 地质环境条件

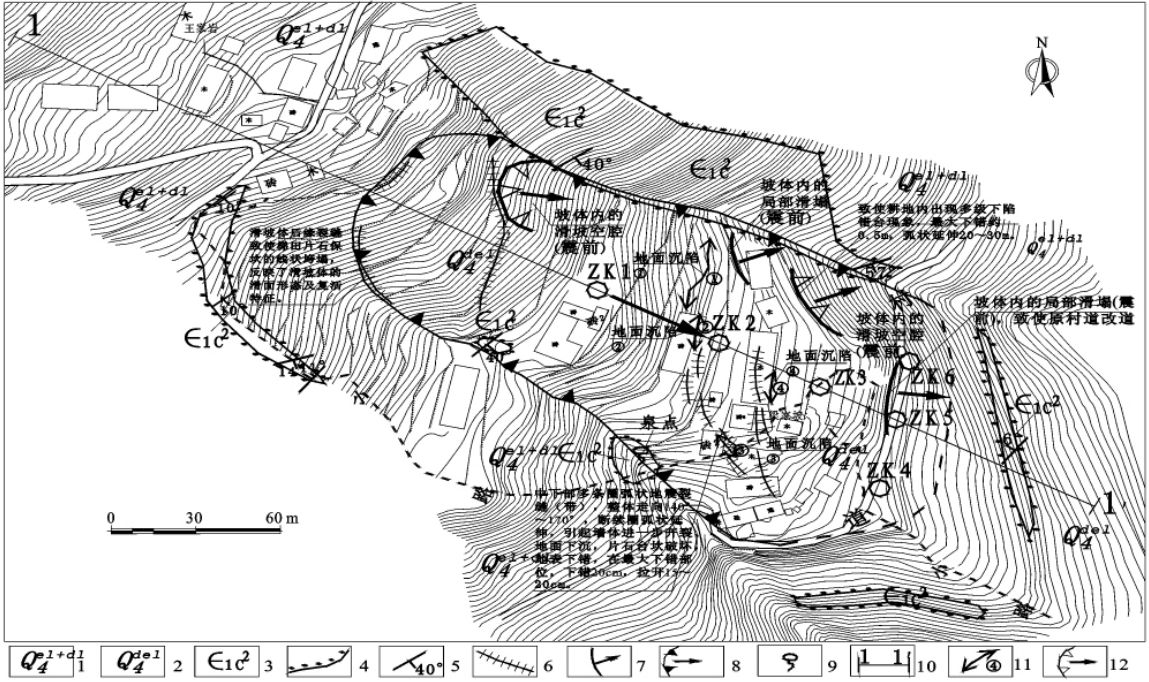
银溪窝滑坡位于矿山梁背斜南东翼近转折端一带,出露岩层为寒武系长江沟组中段( $\in_1 c^2$ )砂、页岩和灰岩,岩层产状  $135^{\circ}\sim 145^{\circ}\angle 10^{\circ}\sim 57^{\circ}$ ,斜坡整体上呈上缓下陡的顺向坡,陡倾角节理裂隙发育。

滑坡区位于距龙门山中央断裂—映秀北川断裂南东侧约 40 km,区内地震基本烈度为Ⅷ度,地震峰

值加速度为 0.15 g,地震特征周期为 0.40 s。

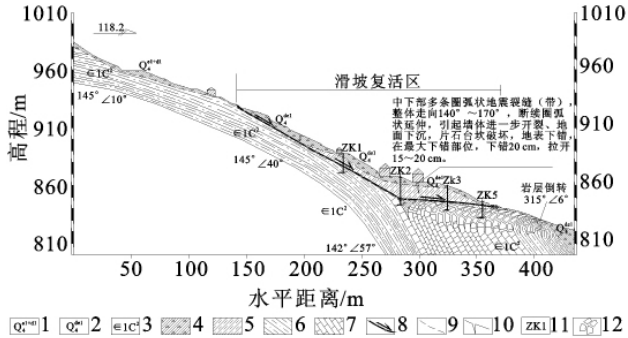
滑坡区属亚热带湿润型季风气候,雨量较充沛,降雨主要集中在 7—9 月,占全年降雨量(1 021.7 mm)的 50%以上;近年来,气候异常,极端暴雨天气频现,2005—2009 年除 2008 年外每年雨季均出现了灾害性降雨气候,全县范围内地质灾害频发。

滑坡区地形标高 800~1 000 m,属剥蚀侵蚀中低山地貌,地形整体上呈现出上下陡中部缓的特点。周边地区以中小型季节性水流冲沟为主。区内地下水类型主要为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水,在雨季坡体内具有一定规模的上层滞水,并且在滑坡体中下部南西侧边界有发育于砂岩岩层内的泉点出露(图 1)。



1. 第四系残坡积层;2. 滑坡堆积体;3. 寒武系长江沟组中段;4. 地质界线;5. 岩层产状;6. “5·12”地震裂缝;7. 局部小型滑塌;8. 滑坡(复活)范围及主滑方向;9. 泉点;10. 地质剖面;11. 坡体内的地面沉降及编号;12. 滑体内局部滑坡空腔

图 1 银溪窝滑坡工程地质平面图



1. 第四系残坡积层;2. 第四系滑坡堆积层;3. 寒武系长江沟组中段;4. 含碎石粉质黏土;5. 粉质黏土;6. 中薄层砂、页岩层;7. 灰岩;8. 滑坡(复活)滑面;9. 岩土体分界线;10. 地震裂缝;11. 钻孔编号;12. 破碎岩体

图 2 银溪窝滑坡工程地质纵剖面图

## 2 滑坡基本特征

### 2.1 外貌形态特征及规模

银溪窝滑坡属于滑移—弯曲溃决型变形破坏形成的老滑坡,因此,其外貌形态及结构特征受此形成机制的严格控制。由于老滑坡发生时伴随着巨大应变能的瞬间释放,滑体起动速度快,大部分滑体物质

在高速滑动过程中完全解体并被抛出堆积于坡体底部,仅部分堆积于滑区范围内,且坡脚处的大部分滑体物质后期被剥蚀,现存的也只是其一小部分。

滑坡复活体在平面上呈“长舌”状(图 1),纵向长约 250 m,平均宽约 100 m,面积约 2.0 万 m<sup>2</sup>,方量约 12.0 万 m<sup>3</sup>,属于中型滑坡。两侧以冲沟为界,后缘略呈陡坎状,高程 930 m,前缘以村道下方地形变化较大处为界,高程 840 m。坡体整体坡向 118°,中后部坡度较大 30°~40°,经后期人工改造呈多级台坎状,中前部坡度较缓 5°~15°,为多级平台;中前部北端坡向变化较大,为 67°,坡度 20°~30°。

### 2.2 滑坡体结构特征

滑坡的滑床和滑带的物质结构组成及形态亦受老滑坡形成机制的严格控制。

滑坡堆积体具有纵向上部薄向下逐渐变厚,横向中间厚向两侧逐渐变薄的特征。上部滑体一般厚度约 4 m,主要物质成分为老滑坡残体风化形成的灰黄、黄褐色含碎石粉质黏土,可塑—硬塑状态,碎石成分主要为砂岩、页岩及灰岩。中下部滑体一般厚度

12 m, 主要由表层的含碎石粉质黏土和下部的粉质黏土组成; 表层的含碎石粉质黏土呈可塑—硬塑状态, 碎石含量大于 25% 成分为砂岩、页岩及灰岩, 其下为透镜状分布的粉质黏土层(图 2), 呈软—可塑—硬塑状态, 碎石含量较少。

滑坡的滑面(带)受老滑坡形成机制的控制, 其形态特征整体上呈折线形(图 2), 倾角变化大。850 m 高程以上受其下滑床岩层面的控制倾角较大, 为  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ , 滑床主要为寒武系长江沟组中段( $\in_1 c^2$ )中薄层砂岩页岩, 产状  $135^{\circ} \angle 30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ , 岩体结构较完整。850 m 高程以下段为滑移—弯曲型老滑坡溃决剪出部位, 倾角一般  $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ , 滑床主要为较破碎的中厚层状灰岩。滑带土为灰黄色粉质黏土或黏土, 湿度大, 一般为潮湿—饱和, 呈可塑—软塑状态, 局部呈流塑

状态, 含 5%~10% 的碎石, 厚度一般为 0.5~1.5 m。

### 3 滑坡变形破裂特征

#### 3.1 “5·12”地震前滑坡变形破裂特征

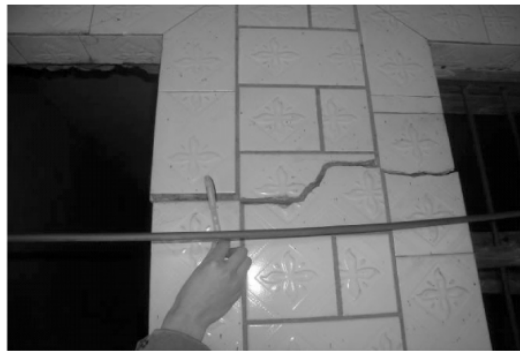
“5·12”汶川特大地震前, 滑坡的变形破坏主要发生在雨季, 表现为滑坡体的整体蠕滑—拉裂和局部的表层滑塌。滑坡整体蠕滑—拉裂的主要变形破裂迹象表现为滑坡体中部圈弧状断续延伸分布的地面沉陷(图 1、图 3), 并引起墙体开裂。此外, 坡体内的局部表层滑塌发育, 在滑坡中后部可见两处规模较大的滑坡空腔(图 1); 滑坡中前部可见多处地表滑塌(图 2), 致使耕地内出现多级下陷错台现象, 最大下错约 0.5 m, 弧状延伸 20~30 m, 在雨季有持续的变形破坏迹象; 前缘的地表滑塌致使村道改道。



a 地面沉陷①



b 地面沉陷②



c 地面沉陷③引起的墙体裂缝



d 地面沉陷④

图 3 坡体内中部断续延伸分布的地面沉陷

#### 3.2 “5·12”地震变形破裂特征

在“5·12”地震过程中, 滑坡体的变形破裂进一步加剧, 主要表现为圈弧状继承性裂缝(带)发育, 地面沉陷及墙体裂缝的变形破裂迹象更加明显。

主要的变形破裂迹象有: ①坡体的中部产生了许多圈弧状裂缝(带)(图 1)。整体走向  $140^{\circ} \sim 170^{\circ}$ , 断续圈弧状延伸, 基本上横贯于滑坡体的中部。引起墙体进一步开裂、地面下沉, 片石台坎破坏(图 4), 地表下错, 在最大下错部位, 下错 20 cm, 拉开 15~20 cm (图 5)。

### 4 滑坡复活成因机制与稳定性评价

#### 4.1 复活机制及稳定性评价

上述滑坡的变形破裂特征表明, 银溪窝滑坡的复活, 主要受降雨和地震的影响。

在雨季, 降水下渗, 由于滑坡体上部滑床为砂页岩互层, 页岩为相对隔水层, 并且滑床面倾角受岩层面控制, 倾角较大, 下渗降水沿滑床面向下渗透; 由于下部滑床面平缓, 降水渗透受阻, 于是在滑坡体内中下部形成滞水如图 1 所示, 在雨季, 坡体中下部南西

侧有泉点出露可以证明。在水作用下滑带岩土体软化或泥化,物理力学参数降低,坡体稳定性降低,滑坡体出现蠕滑—拉裂变形迹象,在坡体中部出现断续分布的地面沉降。



图 4 地震引起的片石台坎破坏和地表裂缝

②滑坡体后缘裂缝致使梯田片石保坎的线状垮塌(图 6),反映了滑坡体的滑面形态及复活特征。



图 5 地震引起的地表裂缝



图 6 滑坡后侧缘堡坎线状倒塌反映出的滑面形态及复活特征

“5·12”汶川特大地震时,地震力直接导致坡体抗滑力降低,下滑力增大,在坡体中后部形成多条圈弧状继承性裂缝(带),坡体变形破坏加剧,使坡体稳定性进一步降低。

由此可以判定,滑坡在暴雨或地震等不利工况下处于欠稳定状态。

4.2 滑坡稳定性定量评价

(1)计算参数的选取。根据岩土体物理力学参数的实验统计值,并通过与经验值和反演值的对比,确定稳定性相关计算参数的取值。滑体天然容重取  $19.80\text{ kN/m}^3$ ,饱和容重取  $20.70\text{ kN/m}^3$ ,其滑带土体(粉质黏土)相关物理力学参数取值如表 1 所示。

表 1 滑带土体物理力学参数取值表

指标	天然抗剪强度	饱和抗剪强度
$C/\text{kPa}$	21	18
$\varphi/(\text{^\circ})$	17	14.5

注: $C$ ——粘聚力; $\varphi$ ——内摩擦角。

(2)计算结果及评价。选取 1—1 剖面(图 2)为计算剖面。因该滑坡的滑面(带)呈折线(面)形,所以采用传递系数法对其进行稳定性计算比较合理。同时,这里提供了其他计算方法,以便进行比对。计算结果如表 2 所示。

表 2 银溪窝滑坡稳定性系数计算结果

计算方法	天然工况	暴雨工况	地震工况
简化 janbu 法	1.184	0.993	1.027
Bishop 法	1.209	1.031	1.045
传递系数法(规范法)	1.196	1.022	1.011

计算结果表明:滑坡在天然工况下,处于基本稳定状态;在暴雨及地震工况下处于欠稳定状态。计算结果与滑坡稳定性定性判定相符。

4.3 治理措施研究

在充分认识滑坡体的基本特征和变形破裂特征以及影响因素的基础上,提出相应的治理措施。

(1)水是银溪窝滑坡复活的直接诱因,也是影响滑坡稳定性重要因素,因此,可以在滑坡体后缘修筑截水沟,将其汇水沿两侧自然冲沟排出,并辅助裂缝填封,以减小水因对滑坡稳定的影响。

(2)对于滑坡整体蠕滑—拉裂变形破坏的治理,采用在滑坡体前缘设置抗滑桩的治理方案,能有效的控制其进一步的变形破坏。因此,本文选用“后缘截水+坡体内部裂缝填封+滑坡前缘设置抗滑桩”的综合治理措施,对银溪窝滑坡治理。

5 结论及建议

(1)银溪窝滑坡属于滑移—弯曲溃决型变形破裂形成的老滑坡堆积体,滑坡体形态及结构特征受老滑坡形成机制的严格控制;滑坡近期复活的决定性因素为降雨和地震。

减弱了农用地资源与农业产业布局的协调程度,凸显出农用地利用结构的不合理。

(3)农用地系统各要素之间具有密切的关联性,要素之间相互影响,相互制约;资源子系统和产业子系统相互作用共同影响着农用地生态经济系统的耦合程度。对于自然条件和资源有限的生态脆弱区纸坊沟流域来说,地理条件和农用地的分布状况成为影响农户农业生产的重要因素,同时也对农业产业的发展产生着制约作用,而相关的国家政策也对区域产业的发展起着重要的引导和制约作用。面对目前纸坊沟流域农用地生态经济系统的耦合状态,必须合理配置农用地资源,调整农业产业布局,提高资源的利用率,不断地完善系统的循环链网结构,寻求适合该流域农用地生态经济系统耦合的发展模式,以实现系统协调、可持续的发展。

#### 参考文献:

- [1] 王万茂,李俊梅.土地生态经济系统与土地资源持续利用研究[J].中国生态农业学报,2003,11(2):147-149.
- [2] 张兆福,魏朝富,谢德体.土地生态经济系统运行机制及其调控研究[J].生态经济,2006(6):60-63.
- [3] 梁红梅,刘卫东,刘会平.土地利用社会经济效益与生态环境效益的耦合关系:以深圳市和宁波市为例[J].中国土地科学,2008,22(2):43-48.
- [4] Cooper A, Shine T, McCann T, et al. An Ecological Basis for Sustainable Land Use of Eastern Mauritanian Wetlands[J]. Biological Conservation, 2006, 67(1): 116-141.
- [5] 张正华.泥河沟流域土地生态经济评价[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [6] 张灿强,王继军.系统耦合对农地承载力的拓展分析[J].西南师范大学学报:自然科学版,2008,33(6):39-43.
- [7] 王继军.黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济系统耦合

过程分析[J].应用生态学报,2009,20(11):2723-2729.

- [8] 王继军,姜志德,连坡,等.70年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势[J].生态学报,2009,29(9):5130-5137.
- [9] 刘佳,王继军.黄土丘陵区农业生态系统和经济系统的互动关系[J].应用生态学报,2009,20(6):1401-1407.
- [10] 赵星.贵阳市乌当区生态-经济系统耦合关系研究[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2006,24(3):111-115.
- [11] 中国科学院安塞水土保持综合试验站.黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究(上册)[M].陕西杨凌:天则出版社,1990.
- [12] 吴跃明,郎东锋,张子珩,等.环境-经济系统协调度模型及其指标体系[J].中国人口·资源与环境,1996,6(2):47-50.
- [13] 曹利军,王华东.可持续发展评价指标体系建立原理与方法研究[J].环境科学学报,1998,18(5):526-532.
- [14] 朱启贵.国内外可持续发展指标体系评论[J].合肥联合大学学报,2000,10(1):11-23.
- [15] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987:34-41.
- [16] 刘耀彬,李仁东,宋学锋.中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J].地理学报,2005,60(2):237-247.
- [17] 傅立.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1992:182-263.
- [18] 傅威,林涛.区域社会经济发展与生态环境耦合关系研究模型的比较分析[J].四川环境,2010,29(3):102-109.
- [19] 陈美球,邓爱珍,周丙娟,等.资源禀赋对农户耕地保护意愿的实证分析[J].农村经济,2007,6(7):28-31.
- [20] 吴志峰,匡耀求,黄宁生,等.基于GIS的广州市耕地资源多样性与破碎度分析[J].农业系统科学与综合研究,2004,20(4):258-260.
- [21] 王琦,陈才.产业集群与区域经济空间的耦合度分析[J].地理科学,2008,28(2):145-149.

(上接第 47 页)

(2)滑坡复活的变形破裂机制为滑移-拉裂型,其变形破裂特征及稳定性计算结果表明,滑坡体在天然状态下处于基本稳定状态,在降雨或地震工况下处于欠稳定状态。

(3)推荐使用“后缘截水+坡体内部裂缝填封+滑坡前缘设置抗滑桩”的综合治理措施对其进行整治。

#### 参考文献:

- [1] 沈军辉,王兰生,赵其华,等.二郎山榛子林滑坡形成演化机制及整治对策[J].成都理工学院学报,2000,27(2):

184-188

- [2] 四川省地质局第二区域地质测量队二分队.广元幅 1:20 万区域地质图[Z].1963-1966.
- [3] 李明辉,郑万模,石胜伟,等.丹巴县甲居滑坡复活机制及其稳定性分析[J].山地学报,2008,26(5):577-582.
- [4] 黄达,裴向军,张志刚,等.某公路滑坡成因机制及稳定性[J].山地学报,2008,26(6):721-726.
- [5] 黄润秋.20世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J].岩石力学与工程学报,2007,26(3):434-454.
- [6] 殷跃平.长江三峡库岸区移民迁建新址重大地质灾害及防治研究[M].北京:地质出版社,2004.