

# 丹巴甲居滑坡成因机制分析及防治对策建议

石胜伟<sup>1</sup>, 谢忠胜<sup>1</sup>, 王军朝<sup>1</sup>, 郑万模<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

**摘要:**在总结分析四川丹巴甲居滑坡地质环境背景及变形特征基础上, 阐述了甲居滑坡的成因机制特点, 分析了其稳定性及破坏方式, 并对滑坡的防治提出了对策建议。

**关键词:**甲居滑坡; 成因机制; 稳定性; 防治对策

**中图分类号:** P642.22   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2008)09-0059-04

**Origin Mechanism Analysis and the Control Countermeasure of the Landslide in Jiaju of Danba County/SHI Sheng-wei<sup>1</sup>, XIE Zhong-sheng<sup>1</sup>, WANG Jun-chao<sup>1</sup>, ZHENG Wan-mo<sup>2</sup>** (1. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. Chengdu Center of Geological Investigation, CGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

**Abstract:** Based on analysis of the geological environment of the landslide in Jiaju of Danba County, the article expatiates the origin mechanism of the landslide, analyzes the landslide on its stability and breakage manner and presents the control countermeasures.

**Key words:** landslide in Jiaju of Danba County; origin mechanism; stability; control countermeasure

甲居滑坡为四川西部超深覆盖层内发育的典型土质滑坡, 滑坡位于丹巴县甲居藏寨风景区, 处于大金川河的右岸。滑坡前缘临河段多次变形, 影响刷丹公路及景区安全。

## 1 滑坡地质环境背景

### 1.1 地层岩性

滑坡出露地层主要为第四系上更新统冰水堆积层( $Q_3^{fcl}$ )和志留系通化岩组( $Sth^6$ )地层。第四系上更新统冰水堆积层( $Q_3^{fcl}$ )主要由土黄色碎石土、块石土、褐黄色粉砂质粘土组成; 志留系通化岩组( $Sth^6$ )地层为银灰色(硅线、兰晶、十字)柘榴二云片岩为主夹灰色薄至中厚层变粒岩及灰白色大理岩条带, 另外局部地段还出露斜长角闪岩、黑云母石英片岩及石英团块。基岩产状主要以北东、北西倾向为主, 倾角在 $35^\circ \sim 60^\circ$ 之间, 受构造影响, 局部产状较为凌乱。

### 1.2 地质构造

滑坡位于炭厂沟断层(逆断层)和佛爷崖(逆断层)断层之间, 受构造作用影响, 滑坡区岩层局部倒转, 挤压变形作用强烈, 节理裂隙发育, 岩浆活动较强, 区内有多处伟晶岩脉出露, 滑坡前缘两侧地层产状从南往北逐步从 $355^\circ \angle 55^\circ$ 转变到 $10^\circ \sim 45^\circ \angle 50^\circ$ 。

### 1.3 地形地貌

滑坡位于大金川河右岸(西侧), 从整体上看滑坡区呈现宽缓坡地与陡坎并存的梯级台坎地貌。坡上冲沟较发育, 沟谷深切, 沟深 $5 \sim 12$  m, 斜坡中部发育有常年流水性溪沟3条。区内地形总体西高东低, 滑坡区最高高程约2400 m, 最低高程约1920 m, 相对高差480 m, 受大金川河侵蚀切割影响, 坡体前缘形成 $15 \sim 30$  m高的陡坎。滑坡区北侧及南侧为基岩山脊。

### 1.4 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两类。对滑坡影响较大的是松散岩类孔隙水, 松散岩类孔隙水零星赋存于滑坡区第四系堆积物中, 主要受降雨和冰雪融水补给, 顺坡径流, 无统一的地下水位, 局部有上层滞水。滑坡区内有多处泉点或溢水点出露, 以滑坡区北侧发育较多, 水流量较大泉点主要集中于陡坎前缘。

### 1.5 人类工程活动

滑坡区内人类工程经济活动较强烈, 主要表现为森林砍伐、农垦耕作、房屋修筑、公路建设、云母矿开发等, 对甲居滑坡的发生发展有一定程度影响, 其中影响最大的是农垦耕作与公路建设。农垦耕作的影响主要是灌溉问题, 田地灌溉提高了坡体含水量, 降低了表层土体之间的粘聚力; 再者地表水

收稿日期: 2008-08-23

作者简介: 石胜伟(1972-), 男(汉族), 河南商丘人, 中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师, 水工环专业, 从事地质灾害调查、评价及地质灾害防治技术研究开发工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港港华路139号, ssw@cgiect.com。

下渗过程中不断淋滤块石、碎石之间土体,造成了小范围塌陷的产生。公路建设对甲居滑坡的影响主要是前缘刷丹公路的开挖问题,由于公路开挖在前缘形成了多处高陡临空面,不利于坡体稳定。

## 2 滑坡变形特征

甲居滑坡根据地表变形强烈程度可分为前缘强烈变形区、中部弱变形区与后缘潜在变形区 3 个部分(见图 1)。变形区总体平面形态呈 M 形,东西向平均长约 1200 m,南北向平均宽约 1000 m,面积约 1.2 km<sup>2</sup>。变形区内呈阶梯状地貌,地面坡度 10°~32°,前、后陡,中部缓。变形强烈部位和有明显活动部位主要集中于坡体前缘,形成多级陡坎。



图 1 滑坡变形程度分区图

甲居滑坡各变形区主要特征如下。

### 2.1 前缘强烈变形区

本区微地貌呈梯级台坎形状,整体地形坡度 20°,前陡后缓。由于公路开挖和河流冲蚀大金川河附近形成了 15~30 m 高的陡坎,陡坎坡度 35°~40°。

根据钻孔揭示、物探结果及邻近资料研究,推测本区覆盖层厚度为 22~100 m,基岩顶面插入大金川河河底 70~80 m。临近大金川河区域,坡体覆盖层可划分为上下两层,上部为碎石土、块石土及少量粉砂质粘土,为弱透水地层,厚 22~45 m;下部为巨块石堆积,裂隙较发育,为透水地层;滑坡变形强烈区域主要集中于上层土体中。

本区变形迹象主要为南东侧有一小型滑坡(HP1)发育,滑坡后壁高 3~15 m,滑面深度 15~20 m,滑动方向 70°,滑体物质成分主要为碎石土夹块石,有一定胶结。该滑坡剪出口位置不明,应为受前缘临河侧坡体变形牵引产生的局部滑塌。

区内前缘另有 2 个小型滑坡发育,滑动方向垂直于大金川河,滑面深度 1~5 m,滑体成分主要为碎石土,为小型土质滑坡。除以上变形迹象外,本区多处见小范围塌滑形成的错落陡坎,错落高度 3~6

m。

### 2.2 中部弱变形区

根据钻孔揭示及物探结果,本区覆盖层厚度 25~35 m,物质成分主要为碎石土夹块石,局部为块石土。本区整体地形上呈阶梯状,前缓后陡,整体地形坡度 20°,后侧局部陡坎坡度 45°~70°。

本区变形迹象主要为坡面南侧有一条线形拉张裂缝,走向 90°,缝宽 5~15 cm,深度 30~60 cm,延伸长度 30 m,缝内有一定泥质冲填。区内多处房子有裂缝发育,裂缝多沿铅直方向发展,缝宽 0.5~1 cm。除以上变形迹象外,本区多处见小范围塌滑形成的陷落坑,深度 0.3~2 m。

### 2.3 后缘潜在变形区

根据钻孔揭示及物探结果,本区覆盖层厚度 20~30 m,物质成分主要为碎石土夹块石,局部为块石土、粉砂质粘土。整体地形为宽缓阶梯状,地形坡度 15°。坡体表面在调查过程中未见明显变形迹象,据访问,在洪水季节本区曾有拉张裂缝出现。

综合 3 个变形区特点可以看出,从大金川河向坡顶方向延伸,变形从小型滑坡大量发育—少量线性拉张裂缝出现—未见明显变形迹象,各变形区变形强烈程度逐步降低。从滑坡区变形特征看,具备上小下大、横向张性裂隙发育、表面多呈阶梯状或陡坎状的典型牵引式滑坡特征。

## 3 滑坡成因机制分析

### 3.1 滑坡变形破坏影响因素

甲居滑坡变形破坏影响因素主要有以下几个方面。

#### 3.1.1 地表水因素

滑坡变形区内有常年流水性水沟 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。由于上覆堆积层松散,地表水在松散碎块石土表面运移时,不断软化、冲刷、淋滤土体,造成块石土体内部结构状态发生改变,使小范围块石土体内部产生变形,发生局部塌陷和小范围滑塌现象。

#### 3.1.2 河流侵蚀因素

滑坡变形区坡脚为大金川河,为常年性河流,汇水面广,水流湍急,河流深切,水位变幅 5~12 m。汛期一般洪水水位比枯水季节水位高 5 m,历史最高洪水水位比枯水季节水位高 12 m,洪峰流量 < 650 m<sup>3</sup>/s。甲居段河道较窄(水面宽 18 m),河流向下切割作用较强,洪峰来临时水流汹涌,对河岸产生强烈的侧蚀作用,再加之洪水季节水位骤涨骤落,产生较

大的动水压力,导致滑坡变形区前缘局部失稳,产生滑动。据现场调查访问,坡体变形剧烈时,往往是洪水退落之时,1992 年洪水退落时,坡体前缘产生了较大的变形,形成新的下挫陡坎。小滑坡 HP1 以及前缘的小型土质滑坡的产生都与此有关。

### 3.1.3 地层因素

滑坡变形体由第四系上更新统冰水堆积物组成,物质组分为粉砂质粘土、碎块石土等,除个别地段碎石土有一定胶结外,其余堆积物都较松散,在地下水等外动力作用下容易产生变形破坏。

### 3.1.4 新构造因素

该区总体上处于地壳抬升区,河流不断下切,在变形体前缘形成有效临空面,坡体在重力作用下,容易产生蠕滑变形。

### 3.1.5 人为工程经济活动因素

滑坡变形区坡脚为刷丹公路,公路受河流影响损毁时,修复方式多在前缘坡体内开挖土方进行回填处理,开挖形成的陡坎,高 3~6 m,最高 8 m,长约 600 m,增加了滑坡变形区前缘的有效临空面,在自重作用下易失稳,产生局部滑塌。

## 3.2 滑坡形成机制

根据甲居滑坡变形区工程地质特征,可以看出甲居滑坡变形分区之间存在较大的关联关系,在变形程度上从强烈变形区至潜在变形区变形强烈程度逐步降低,在变形范围上从下至上逐渐缩小,具备一定的塔式特征。在变形次序上由下至上可看出(前缘强烈变形区)小型滑坡大量发育—(中部弱变形区)少量线性拉张裂缝出现—(潜在变形区)未见明显变形迹象的典型特征。以上种种迹象反映了甲居滑坡三区之间存在“前引后拉”的典型特点。在变形特点上,变形区地貌上的多极陡坎分布以及现状多个小型滑坡的发育反映出甲居滑坡多级、多期次变形特点,而且从勘查钻孔显示目前变形区无统一滑动面及统一主滑方向,滑面位置主要在大金川河河床面附近以及其以上位置。

根据滑坡现状特征及其变形破坏影响因素,可以看出整个滑坡区具备下部先滑,使上部失去支撑而变形滑动的牵引特点,而且滑动速度较慢,蠕滑特点明显。从滑坡形成原因看,主要是前缘大金川河的不断下切、冲蚀以及刷丹公路的开挖,造成前缘减载卸荷所致,动力源于前缘,向后传递变形,破坏机制判定为前缘卸荷牵引式。在变形时间序列上,甲居滑坡并不是一次滑动所致,而是在漫长地质演化历史过程中,多极多期次变形逐步累积形成,期间伴

随地壳抬升,河流下切,变形区逐步向大金川河(现状)位置推进,形成现状滑坡区地貌。

## 4 滑坡稳定性分析

根据钻孔揭示,滑坡下覆基岩面埋置较深,在变形区前缘位置已深入到大金川河河床面下 80~100 m,从可能剪出口角度考虑,滑坡变形区整体上没有沿下覆基岩面滑动的可能性(主要是没有滑坡活动的有效临空面),滑动面的产生主要在覆盖层内。由于变形区后缘基岩面埋置较浅,覆盖层厚 15~25 m,一旦前缘土层内部发生较大规模滑坡,有可能牵引拉动后侧覆盖层沿基岩顶面滑动。故此分析计算甲居滑坡变形区前缘覆盖层的稳定性,是稳定性定量计算工作的重点。

### 4.1 计算工况

根据甲居滑坡的危害性及工程地质环境条件,选择确定相应计算工况及设计安全系数见表 1 所示。

表 1 稳定性计算工况及设计安全系数

工况编号	荷载组合	设计安全系数
1	自重(现状条件)	1.20
2	自重+暴雨	1.15
3	自重+暴雨+地震	1.10

### 4.2 计算剖面的确定和计算参数的选取

#### 4.2.1 计算剖面确定

对纵剖面 I-I'、II-II'、III-III' 分别进行覆盖层内部滑动稳定性计算。

#### 4.2.2 计算参数选取

根据土工试验结果,类比参考丹巴县城建设后街滑坡勘察报告及大渡河沿岸水电建设项目勘察报告中相关参数的取值,综合确定甲居滑坡岩土体物理力学指标,如表 2 所示。

表 2 计算参数选取

岩土类型	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$		$c/\text{kPa}$		$\varphi/(\text{°})$	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
覆盖层(碎石土)	18.2	20.2	15	7	26.9	22.5
覆盖层内潜在滑动面	/	/	/	7	/	22.5

### 4.3 计算结果

采用二维极限平衡稳定性分析软件,进行覆盖层内部滑动面全局自动搜索计算,结果见表 3。

### 4.4 滑坡稳定性综合评价

根据稳定性定性分析与定量计算,甲居滑坡变形区整体上不存在从基岩内和基岩顶面滑动的可能,在暴雨及地震等条件下,有可能在前缘覆盖层内

表 3 稳定性计算成果表

剖面	工况	稳定系数
I - I'	1	1.483
	2	0.905
	3	0.857
II - II'	1	1.565
	2	1.072
	3	1.009
III - III'	1	1.841
	2	1.059
	3	0.995

产生圆弧形滑动。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,因此对甲居滑坡变形区特别是前缘需要采取适当的防治措施予以处置。

#### 4 防治对策建议

对于甲居滑坡变形区,由于不存在整体滑动的可能性,主要表现为覆盖层内部的变形,故此建议从影响变形的主要因素入手,本着经济合理、安全可靠的原则,进行适当治理。

(1)完善坡体现有地表排水系统,对地表水进

行疏导,防止地表水继续下渗,影响坡体稳定。

(2)对前缘覆盖层临空面,包括大金川河岸坡及刷丹公路路堑边坡,建议在统筹考虑灾害防治与公路建设的基础上,进行综合治理,方案如下:

①将刷丹公路上移至弱变形区,路基采用柔性透水材料,限制挖填规模;

②在前缘强烈变形区覆盖层内设置支撑渗沟,支撑浅部变形坡体,并排除地下水;

③对岸坡进行改造,可充分利用岸坡下部巨块石堆积体良好的稳定性与透水能力,采用石笼换填部分岸坡土体;

④对前缘刷丹公路现有路堑边坡进行削坡改造,并进行适当坡面防护。

#### 参考文献:

- [1] 中国地质科学院探矿工艺研究所、成都地质矿产研究所. 四川省丹巴县地质灾害详细调查甲居滑坡勘查报告[R]. 成都:成都地质矿产研究所,2007.
- [2] 中国地质调查局. 滑坡崩塌泥石流灾害详细调查规范(1:50000)[Z]. 北京:中国地质调查局.

## 交流的热线 沟通的桥梁 《地质装备》与您同行

《地质装备》(双月刊)是经国家科学技术部和新闻出版总署批准,由中国机械工业集团公司主管,中国地质装备总公司和北京探矿工程研究所联合主办,中国矿业联合会地质与矿山装备分会、中国地质学会探矿工程专业委员会和中国仪器仪表学会地质仪器分会共同协办的地质装备行业唯一的综合性技术刊物。

**报道内容:**主要报道国内外地质装备(包括:地质机械、地质仪器、超硬材料及制品等)行业的最新科研成果和发展趋势;介绍新产品、新材料、新技术、新工艺;交流地质装备的使用和管理经验;刊登有关地质装备行业的政策法规及市场信息。

**读者对象:**包括地矿、有色、冶金、煤田、核工业、水电、化工、建材、石油、机械、建设、交通、铁路、环保、军工等部门从事地质装备研

究、设计、制造和使用等单位的科研人员、技术人员、管理人员和现场施工人员,以及大专院校的师生。

国内统一连续出版物号:CN 11-4410/TD,国际标准连续出版物号:ISSN 1009-282X,邮发代号:80-193。广告经营许可证号:京朝工商广字 0346 号。2009 年每期订价为 8 元,全年 6 期 48 元。可在当地邮局订阅,也可汇款至编辑部订阅。

欢迎订阅、欢迎赐稿、欢迎惠刊广告。

联系地址:100192 北京市朝阳区望京西园 221 号博泰大厦五层  
电话:010-64843951,64843889

传真:010-64789866

电子信箱:dzzb@cgeg.com.cn

## 《钢结构》(月刊)

邮发代号:82-850 单价:8 元 全年价:96 元

《钢结构》由中国钢铁工业协会主管,中冶集团建筑研究总院主办。中国期刊方阵“双效”期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊、全国冶金行业优秀科技期刊、《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊。创刊于 1986 年,是我国钢结构专业领域的综合性科技刊物,具有导向性、新颖性、系统性和实用性。重点刊登钢结构领域中能代表我国发展水平的科研成果、学术论文、工程设计、工程实录,内容兼顾理论和实践。适合于在钢结构领域从事科研、教学、设计、制造、安装、检测、防护、维修等工作的科技、管理等方面及施工人员阅读。

《钢结构》为大 16 开本,96 页,彩色胶版印刷,每月 22 日出版,国

内外公开发行。全国各地邮局均可订阅(邮发代号 82-850),也可直接汇款到本编辑部订阅。

《钢结构》兼营广告,8 月开始征订下一年广告。全国“双效”期刊,将为客户带来“双赢”的结果。

本刊地址:北京市海淀区西土城路 33 号;邮编:100088

E-mail:gjig@chinajournal.net.cn

联系电话:010-82227239(兼传真)

010-82227640/8022/7806/7191/8028/7238/7239(广告)

010-82227237/8043/8927(编辑) 82227236(发行)

广告许可证:京海工商广字 0037