



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtq.2017.01.023

王运生, 张欣, 张金达, 等. 1733年东川 Ms7.8地震山地灾害研究[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 138-144. WANG Yursheng, ZHANG Xin, ZHANG Jinda, et al. Seismic mountainous geohazard investigation of Dongchuan Ms7.8 earthquake in 1733[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 138-144. (in Chinese)

## 1733年东川 Ms7.8地震山地灾害研究

王运生, 张欣, 张金达, 杨栓成, 韩立明, 严松

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

**摘要:** 1733年云南东川发生里氏7.8级地震, 震害被崔乃镛几乎完整地记录下来, 对山地区走滑发震断裂触发的震害研究具有很高的研究价值。基于史料及现场调研, 对次生山地灾害进行了复核, 并获得如下基本认识: (1) 地震次生山地灾害尤其是滑坡沿发震断裂呈窄条带状分布; (2) 弱支护采铜矿洞坍塌严重; (3) 滑坡失稳既有抛射现象也有慢速滑动现象, 取决于滑坡边界条件或失稳时间; (4) 斜坡岩土体地震过程中震裂、松动是该区泥石流高频的主要原因之一。

**关键词:** 1733东川大地震; 震害特征; 地震山地灾害; 建筑物损毁

**中图分类号:** P65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)01-0138-07

### Seismic mountainous geohazard investigation of Dongchuan Ms7.8 earthquake in 1733

WANG Yursheng, ZHANG Xin, ZHANG Jinda, YANG Shuan cheng, HAN Liming, YAN Song

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu

University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Dongchuan Ms7.8 earthquake happened on August 2nd, 1733, and the seismic hazards were completely recorded by Cui Naiyong, a local executive officer, in which the data are valuable to the study of secondary mountainous seismic hazards triggered by strike slip seismic fault. The present paper investigated the secondary seismic hazards in the field based on the guide of the historical materials, the main conclusions were as follows: (1) the secondary mountainous seismic hazards were limited in a narrow zone along the seismic fracture; (2) weak support underground mines of copper were destroyed or seriously damaged, and the wooden building was good in seismic resistance; (3) the landslide failure showed in two different styles: projecting or slowly sliding, depending on the boundary conditions of the landslides or the failure time; (4) slope seismic shattering and loosening was one of the main reasons for the high frequency debris flow.

**Key words:** Dongchuan Ms7.8 earthquake; characteristics of earthquake disasters; seismic mountainous disasters; building damage

东川位于“川滇菱形断块”东缘小江断裂带上。小江断裂以走滑为主, 与以逆冲为主的映秀-北川断裂(汶川大地震发震断裂)不同。小江断裂带历史上曾多次发生强震, 自公元1500年以来, 沿该带共发

生破坏性地震50多次<sup>[1]</sup>, 其中7级以上地震3次, 6级地震约10次, 对东川影响最大且记录最为详细的是1733年8月2日东川北紫牛坡附近发生的7.8级地震<sup>[2,3]</sup>, 也有认为此次地震震级是7.5或7.4

收稿日期: 2016-03-22 修回日期: 2016-05-23 网络出版时间: 2017-01-04

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170104.0926.009.html>

基金项目: 国家自然科学基金(41521002; 41072231); 中国地质调查局地质调查项目(1212011220154); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主课题基金资助(SKLP2015Z001)

Fund: National Natural Science Foundation of China(41521002; 41072231); Project of China Geological Survey Bureau(1212011220154); State Key Laboratory of Geological Hazard Prevention and Control and Geological Environment Protection(SKLP2015Z001)

作者简介: 王运生(1960-), 男, 安徽潜山人, 教授, 博士, 从事工程地质及区域构造稳定研究。E-mail: wangys60@163.com

级<sup>[4]</sup>。目前对历史地震的了解人们主要通过历史记载结合实地考察途径来实现<sup>[5-10]</sup>。19世纪以前在中国发生的一些大地震<sup>[11]</sup>，因地震记录大多不全，有关震害方面的信息极为粗略，这在很大程度上影响人们对历史大地震震害的客观把握。然而，1735年时任东川府知府崔乃镛（陕西同官人，1730年到任）详细记载了1733年8月2日东川大地震，被认为是中国地震史料中记述震害最详细的一次地震<sup>[11]</sup>。近年来有许多学者提及此次地震<sup>[13-14]</sup>，但由于时代久远，很少有研究者实地考察此次地震的震害情况。大地震引起的震害很多，由于东川大地震离现在的年代久远，一些震害已无法考证，鉴于此，本文主要涉及地震山地灾害等内容。

汶川地震后，笔者重温了崔乃镛著“东川府地震纪事”，在对东川大地震的详细记述深入理解的基础上，采用现场调访、多方校核比对，完成了震害现场考察，揭示了1733年东川走滑型发震断裂触发震害的主要特点，与逆冲型为主汶川大地震相比，走滑型东川大地震震害与之既有相似之处，也有自己的特点。研究成果对不同地质条件及不同性质发震断层震害研究具有理论及现实意义。

## 1 1733年东川7.8级大地震史料解读

### 1.1 临震气象特征

“雍正癸丑六月二十三日申时（1733年8月2日下午3点），东川府（辖地今会泽、东川、巧家县）地震，当天中午，突然刮起大风，大风吹过之处，房顶上的瓦好像要飞起来了…；到下午3时左右大地突然晃动起来，并伴有雷鸣般的响声…”时任东川知府（相当于市长）的崔乃镛用简练的文字详细记述了临震前天气的突变、大地震发生的准确时间及恐怖的地声。

### 1.2 震时地面运动特征

“（地震波）首先从西南方传播过来，然后很快就向北传播，平整的地面突然呈波状起伏，像波浪那样运动，楼台房屋就像波浪中的小船一样，反复地上起下落。站着的人突然倒下，走路的人突然摇摇晃晃”。作者形象地描述了东川大地震地震波横波及到达地表衍生的面波运动过程：“巧家离东川城三百里，地震更强烈，当地驻军长官的官衙全部被破坏，一民房在地震时，像水旋窝那样旋转…”描述了巧家一带各种地震波在地表叠加后的复杂干扰运动，这一描述与汶川大地震震中区居民描述的像簸箕筛麦动作的情形完全一致。

### 1.3 地表破裂

“紫牛坡地裂缝，由南向北延伸约200里，一直延伸到寻甸的柳树河，裂缝带宽的4、5尺，窄的约1尺多，用长杆子去测量地裂缝的深度，居然测量不出来，不知道究竟有多深，田中的裂缝横竖都有，断断续续地延伸没有间断过，引水到裂缝里总是听不到流水声，可能是水流入到很深的地方…”“…浑圆或长条状的山头发生错动，沿山道路大部分不能通行。”从现今地质图上量得寻甸柳树河-小江河口直线距离约100 km，地表破裂长度与作者描述的相近；蒋家沟下游附近的紫牛坡为震中，震后地震部门在紫牛坡发现当年地震留下的地表破裂形迹<sup>[11]</sup>。

### 1.4 矿洞坍塌及人员伤亡

“汤丹厂的人口共计约1万人，厂有大街、小巷、贸易市场，地震时可以根据具体情况躲避地震灾害，所以伤亡的人只有四、五人；而进入山中采矿的山洞，洞深入山体几里路，地震一晃动，砂石叠积，泥沙喷出，人很难不死亡。厂有几百个矿洞，一个矿洞内有73个采矿的掌子面，每个掌子面至少不少于十四、五人，一个矿洞里能幸运出来的人很少。”汤丹场位于东川北小江断裂上盘的山梁顶部，震动强烈，但躲避及时，伤亡较小；但铜矿矿洞位于断裂带上盘（西盘）的汤丹镇，地貌上属中山区，构造改造强烈、岩脉发育、岩体破碎，矿洞在支撑不到位甚至无支撑的情况下，地震导致洞口坍塌易堵塞坑道，在救援技术落后的年代，重大伤亡难以避免。

### 1.5 建筑物破坏

“城隍庙基本上未遭受破坏，只是大殿两侧偏殿的墙倒塌了。城内大街小巷的瓦屋大部分都垮塌了，但是该城4个城门高5丈的城楼，屋顶屋檐都没有遭受一点点破坏，这真是太奇怪了。从城楼向下看去，比城楼低3丈的房屋，南街和北街90%的破坏了，东街和西街有60%是完整的…，一般民间的木板房和茅草房，破旧将要垮塌的反而还保存完整，但是完整的反而四壁垮塌，这也是不好解释的。东川府政府办公的衙门是很久以前修建的，当地驻军参将办公的衙门也是五十多年前修建的，都经不住地震的摇动，所以大部分都倒塌了，但是那些用加工粗糙粗大木料修建，或墙壁坚厚的房屋都没有被地震破坏。”“城北3里多是土城，它的旁边是以舍村，该村24家，有21家房屋倒塌了，屋顶支撑瓦的木条全部都掉光了…”史料对建筑物破坏的描述相当精细，揭示了当时东川府的震害差异：（1）普通的砖瓦

房、土坯房抗震性能差,损毁严重;而墙体厚实、整体性好的建筑如城门及木构的城隍庙大殿,甚至一些普通的木构房抗震性好,地震中基本没有损坏;年久失修的房屋因墙体风化,墙体强度及房屋的完整性均差,破坏严重;(2)当房屋走向与地震波传播方向不同时,震害差异大,东川城位于断裂东盘附近,当时地震波传播方向为南北向,因此南街、北街走向与其垂直,损毁严重;而东街、西街房屋走向与地震波传播方向平行,损坏较轻。

### 1.6 水文地质条件的改变

“东川城西南大约 3 里左右,有一水潭,水是从山体基岩裂隙中流出的,水体非常清澈透明,当地人不知道山体内部有鱼。在水潭上面祠堂读书的小孩因为地震都来到水潭旁边,看见水潭里出来许多鱼,大鱼有几尺长,他们去捕鱼,但没有捕获,地震停止,所有的鱼都游入基岩的裂隙中,整整一个月水都是浑浊的,因为这个月曾发生多次地震。”史料记载的是东川府西南大营盘岩溶泉,此处为小江断裂上盘,碳酸盐岩地层,溶洞可能与上游地表河水有联系,地震导致地下水位变化及水质变化,“地下河”中动物异常。

## 2 次生山地灾害特征

小江流域地质灾害发育<sup>[15]</sup>,地震触发的次生山地灾害占有较大比重。《东川府地震记事》对东川大地震次生山地灾害记录相当全面并十分具体。根据历史记载,本文作者对主要滑坡、崩塌进行了为期半个月的现场复核(表 1,图 1),除少数无法查实外,多数调查结果与史料记载基本一致。从空间分布上呈窄条带状密布于发震断裂两侧(图 2),与汶川地震地质灾害面状分布<sup>[16]</sup>迥然不同。由于泥石流灾害是地震崩塌、滑坡及震裂、松动在降雨汇流后启动形成的灾害链,因此没有作为本文的重点研究。山地灾害大致可分以下几类。

### 2.1 崩塌

“东川城西北 5 里左右的鱼洞屯村位于悬崖下面,构成悬崖的岩石像刀砍了的一样,很像要垮塌的墙壁,偶然从这里经过,非常令人害怕,据当地人讲,这里从来都没有发生过垮塌。这次地震当天,崩落的一块大石头正向一家民房坠落,观看的人都认为一定会把屋里的人全部压死,但在即将接近这家民房时,这块大石头突然改变方向,坠落在一块空地里,就像有人在推动它一样,数间草屋都没有被破坏。另有一家的住房离山较远,突然一块巨石从天

表 1 主要次生山地灾害

Tab. 1 The main mountain secondary disasters

序号	灾害点名称	岸别	坡向 (°)	斜坡 类型	方量 /万 m <sup>3</sup>	规模 分类
1	小营山滑坡	大白河右岸	245	逆向坡	39.09	中型
2	石门坎滑坡	大白河右岸	200	逆向坡	762.94	大型
3	木树朗滑坡	石羊沟左岸	285	顺向坡	276.04	大型
4	石羊沟 1 号滑坡	石羊沟左岸	263	顺向坡	9.24	小型
5	石羊沟 2 号滑坡	石羊沟左岸	295	顺向坡	59.71	中型
6	石羊沟 3 号滑坡	石羊沟左岸	280	顺向坡	23.67	中型
7	深沟滑坡	深沟左岸	303	顺向坡	71.23	中型
8	窝塘地 1 号滑坡	大白河左岸	20	逆向坡	79.92	中型
9	窝塘地 2 号滑坡	大白河左岸	47	逆向坡	9.24	小型
10	大营盘滑坡	大白河右岸	313	顺向坡	83.00	中型
11	块河河口滑坡	块河右岸	293	顺向坡	40.28	中型
12	三江口滑坡	大白河右岸	357	顺向坡	10.57	中型
13	莲花池滑坡	大白河右岸	125	切向坡	0.21	小型
14	梭山滑坡	大白河右岸	50	逆向坡	7.27	小型
15	梭山山口滑坡	大白河右岸	335	逆向坡	8.24	小型
16	营盘 1 号滑坡	大白河右岸	63	逆向坡	71.69	中型
17	营盘 2 号滑坡	大白河右岸	65	逆向坡	16.50	中型
18	玉碑地滑坡	小江右岸	80	逆向坡	34.27	大型
19	白沙井 1 号滑坡	小江右岸	89	逆向坡	8.02	小型
20	白沙井 2 号滑坡	小江右岸	89	逆向坡	78.39	中型
21	绿茂乡滑坡	小江右岸	72	逆向坡	84.78	中型
22	大梁子滑坡	小江右岸	284	顺向坡	383.46	大型
23	新厂西滑坡	小江右岸	261	顺向坡	41.70	中型
24	新厂滑坡	小江右岸	253	顺向坡	80.83	中型
25	达朵村滑坡	小江左岸	98	顺向坡	6.24	小型
26	羔子地 1 号滑坡	小江左岸	113	切向坡	5.42	小型
27	羔子地 2 号滑坡	小江左岸	110	切向坡	2.27	小型
28	羔子地 3 号滑坡	小江左岸	79	切向坡	7.15	小型
29	新田坝滑坡	小江左岸	71	切向坡	872.57	大型
30	新田坝北滑坡	小江左岸	46	切向坡	909.49	大型
31	大红地滑坡	小江右岸	317	顺向坡	53.23	中型
32	茨姑田滑坡	小江右岸	204	顺向坡	17.88	中型
33	野牛坪滑坡	金沙江左岸	88	逆向坡	82.18	中型
34	溜姑乡对岸滑坡	金沙江右岸	233	顺向坡	10.60	中型
35	石膏地滑坡	金沙江右岸	260	逆向坡	846.50	大型
36	班一滑坡	金沙江左岸	333	逆向坡	945.07	大型
37	石羊沟崩塌	石羊沟右岸	202	切向坡	40.49	大型
38	梭山西侧 1 号崩塌	大白河右岸	257	顺向坡	4.07	小型
39	梭山西侧 2 号崩塌	大白河右岸	290	顺向坡	3.98	小型
40	野牛坪崩塌	金沙江左岸	150	逆向坡	134.25	大型

而降,压垮了这家的草屋,这间草屋的屋顶、木柱和用竹条编的墙壁都被压得看不见了...”现在行

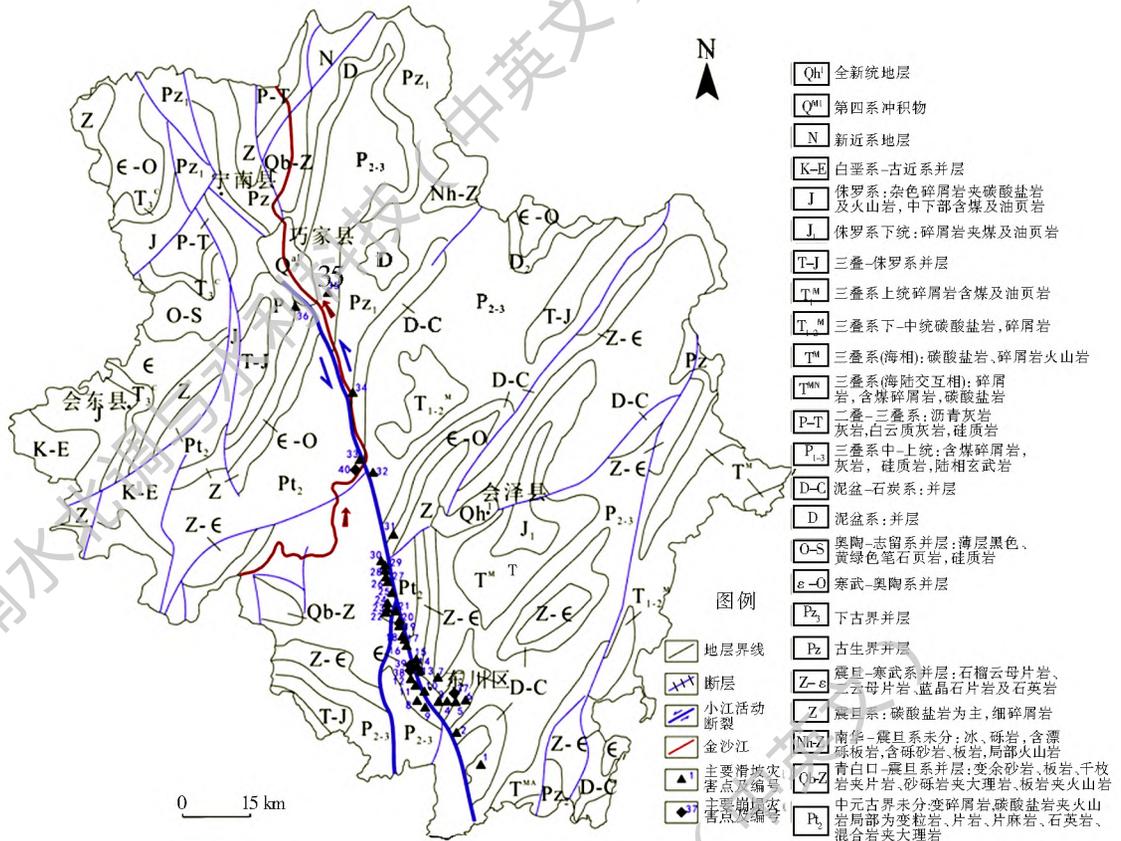


图 1 1733 东川大地震次生灾害分布

Fig. 1 Secondary geohazard distribution of Dongchuan earthquake in 1733

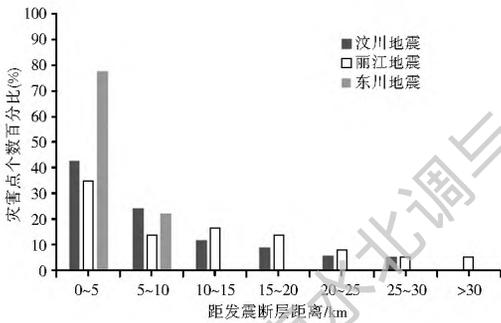


图 2 山地灾害与发震断裂距离关系

Fig. 2 Relationship between mountainous geohazards and distance from the seismic fault

政区划图上已找不到鱼洞村这个地名了,但据史料描述的方位、距离及地形,找到其大致的位置,这里出露的是震旦系灯影组白云岩,坡度 $70^\circ$ ,斜坡整体稳定,但发育危岩,地震触发下易于垮塌,房屋位于悬崖下,为崩塌危险区范围内,进一步调查揭示,该处为顺倾坡,坡表略有起伏,也就是说崩落的巨石受地形影响并非做直线运动,位于落石正下方的房屋因斜坡微地貌改变落石运动轨迹未被击中也在情理之中;另一方面,另一家虽离坡脚较远,但因落石源区位置高,启动后加速、弹跳,可以飞越较远的距离,汶川地震罗圈沟附近的房中石距坡脚至少有 50 m 之距,因此另一家离坡脚较远的房屋被砸中也是

可以理解的。

## 2.2 滑坡

### 2.2.1 低速滑坡

“在阿旺小营山上居住的几家人,地震把他们的原住址向前推移了 1 里多,而房舍瓜蔬果木竹篱的相对位置仍保持不变,好像没有发生过地震一样,他们并没有发现他们现在已经住在山谷口,往回看他们原来的住址,现在是一片空地,只有土了。”现场调查揭示,地震描述的滑坡为一反倾坡,由寒武系灰绿、灰白色极薄层页岩组成,倾倒变形现象显著,地震时住在变形体上居民地震时顺倾倒折断面慢速下滑,直到半山沟口锁口处制动而停止,运动距离长达 700 m。”(图 3)。

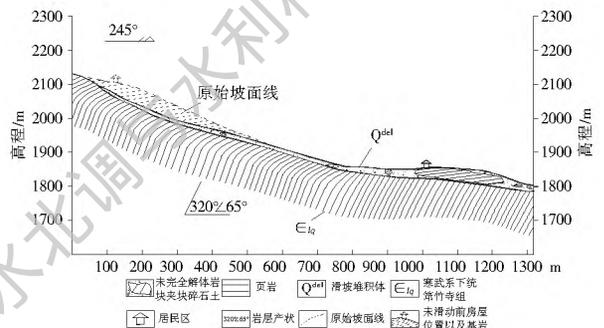


图 3 小营山滑坡剖面

Fig. 3 The longitudinal cross section of Xiaoyinshan landslide

碧谷西面的日卑七马生(玉碑地), 1733 年 8 月 14 日见半山上的民宅和长条状的田地移动到山下, 原来的地方已经堆积了杂乱无章的大小石块, 移动到山下田里的谷苗依然生长茂盛, 水渠也没有遭到破坏, 就像天然的一样。现场调查了距东川约 11 km 的石碑地, 该处为沿小江断裂带形成的槽谷地貌, 断裂从槽谷西侧通过, 谷底及半坡均有居民, 由于西侧斜坡为断裂带西盘(上盘), 坡脚一带数公里内发育多个滑坡, 其中一处滑坡与史料描述的基本吻合, 既玉碑地滑坡。

玉碑地滑坡位于东川区绿茂镇营盘村, 小江断裂中段从该处通过, 为强震触发的岩质滑坡。滑坡形态呈上窄下宽的不规则扇形状, 主滑方向为 N82° E。前缘高程为 1 315 m, 后缘高程 1 408 m 前后缘高差为 93 m, 滑坡体平均宽度约 120 m, 最大宽度达 168 m, 长约 204 m, 体积约 34 万 m<sup>3</sup>。

滑坡所处边坡为逆向坡, 坡顶高程为 1 538 m, 坡底高程为 1 310 m, 高差达 228 m, 坡向 80°, 整体坡度约 28°, 滑源区为震旦系灯影组(Z<sub>2</sub>dn) 白云岩, 地层产状 250°∠50°, 岩体卸荷较强烈。坡脚处, 岩体中发育一组倾坡外的结构面, 产状为 50°∠40°, 坡体东侧为小江断裂所形成的呈近南北走向的槽谷地貌, 槽谷宽度约 790 m(图 4)。

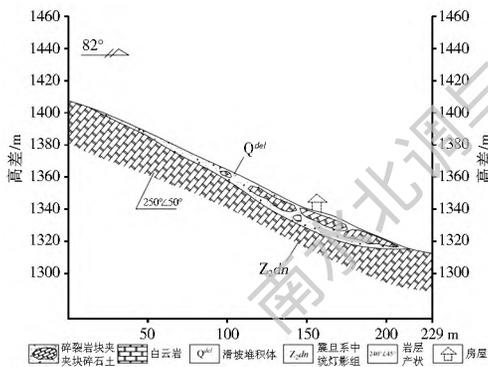


图 4 玉碑地滑坡剖面

Fig. 4 The profile of Yubeidi landslide

玉碑地滑坡堆积体内部结构从上到下有明显的变化: 堆积体中、上部为未完全解体的灯影组白云岩岩块, 呈碎裂状结构, 岩块风化程度较强, 且保留原岩层的层理和结构, 但产状与滑源区差别大; 下部解体程度高, 无层理性, 主要由块碎石土组成, 且从上到下, 块石逐渐减少; 堆积体前缘超覆在紫红色残坡积层之上, 残坡积主要由含碎石壤土组成, 碎石的成分以白云岩为主, 并包括砂岩、玄武岩、泥岩等。

通过对玉碑地滑坡堆积体的调查揭示滑坡区正好位于小江断裂附近, 岩体较为破碎, 在强烈的地震动影响下, 高位岩体沿倾坡外结构拉裂, 并使变形坡

体处于欠稳定状态, 震后坡体在重力作用下继续发生蠕变, 并最终失稳, 属震动拉裂-剪切机制。

据文献[2]记载, 该滑坡按发生时间为 8 月 14 日, 离主震发生时间达 12 d, 应该是“滞后型”地震滑坡<sup>[17-18]</sup>, 由于启动时没有初始加速度, 滑面较缓, 加之滑源区与主堆积区高程不大, 致其滑动速度较慢, 使滑坡堆积体总体上解体程度不高, 因而没有导致其上的房屋解体, 与快速滑坡形成鲜明对比。

### 2.2.2 抛射式滑坡

“莲花池是一座苗寨, 有一块约半亩的旧房地基地, 种植有十分茂盛的苕麻, 地震时这块地被一分为二, 一半留在原地, 另一半抛在空中快速旋转移动, 飞越与它相邻的一块稻田, 坠落在稻田的旁边, 田中稻苗没有被破坏, 苕麻一根也没有倒, 这块麻地与遗留的麻地分别在稻田的两边遥遥相对, 像地震前一样长得非常茂盛。”这一描述与汶川非典型型滑坡启动机理及运动过程相同, 属抛射型滑坡<sup>[19-20]</sup>, 历史上该处的坡脚有一荷花池塘, 靠近断裂上盘斜坡上为梯田, 种植苕麻, 地震时上方的梯田在地震力的作用下撕裂解体, 顺惯性力在空中旋转并飞向下方的田里(图 5)。通过现场调查访问得知, 莲花池的具体位置位于现碧新路与龙东格路交叉口南侧的半山腰上, 苗寨的所在地现仅存一废弃的祠堂, 祠堂的一侧地势有一不明显的凹陷, 凹陷正对的坡脚现今为一人工养殖池塘, 这与史料的描述一致。根据现场实测抛射田块与相邻田块的相对位置及高差, 对当时地震地表峰值加速度进行了计算:

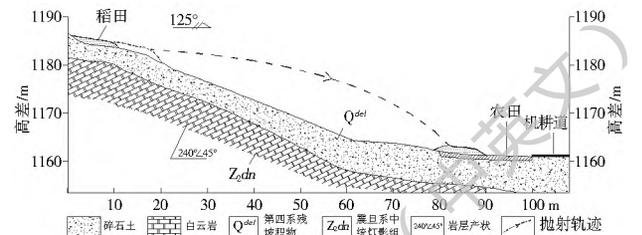


图 5 莲花池滑坡地震抛射轨迹

Fig. 5 The ejection path of Lianhuachi landslide

$$PGA(\text{峰值加速度}) = V_0/t_0 \quad (1)$$

式中:  $V_0$  为块体抛射时初速度;  $t_0$  为块体脱离前震动持续时间。

$$V_0 = L/t_1 \quad (2)$$

式中:  $L$  为块体抛射直线距离;  $t_1$  为块体脱离后运动时间。

$$t_1 = (2H/g)^{0.5} \quad (3)$$

式中:  $H$  为高差;  $g$  为重力加速度。

根据纬度查得:  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ; 实地测量获取  $H = 20 \text{ m}$ ;  $L_1(\text{斜长}) = 77 \text{ m}$ 。由式  $L = (L_1^2 - H^2)^{0.5}$

求得  $L = 43.9 \text{ m}$ 。

因此,失稳瞬间不同震动持续时间地表峰值加速度(PGA)计算结果见表2。

表2 失稳瞬间不同震动持续时间地表峰值加速度

Tab.2 The PGA in different durable time

$t_0$	PGA
3	1.27g
4	0.99g
5	0.76g

查表得其对应的烈度可达 XI 度,如此大的加速度足以克服重力产生抛射运动。

### 2.3 崩滑堵江

“引格河两岸的山体同时发生崩塌,崩塌下来的土石堵塞了引格河,这时鱼虾全部浮出水面,居民在那里围观但不敢去捕捞;木树郎两岸山体崩塌导致河流断流3d,漫溢出的河水冲毁了农田和禾苗,田间的沟渠被分割成若干小段,原来的形状已经完全被破坏。”此次经多方调访,未找到引格河,但木树郎河就在东川市上游1.5km,现场沿该沟追溯调查揭示木榔河中上游深切,纵坡降150%~200%,谷底宽20~30m,两岸高陡,坡度 $40^\circ \sim 50^\circ$ ,以碳酸盐岩及碎屑岩为主,崩塌、滑坡及沟道洪积、泥石流物源丰富,残存的崩滑体后缘高于谷底80~100m。平水期流量平均305L/s,雨季流量约 $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ,八月份正值雨季,堵塞三天库容近26万 $\text{m}^3$ ,具备地震崩滑堵河的地形及地质条件,如今河道下游仍保持有当时决口形成的宽近100余米的洪泛粗颗粒堆积。

### 3 结论与讨论

结论:结合东川大地震史料记载及现场考察,有以下几点认识。(1)1733年东川大地震为典型的走滑型地震,地表破裂长、释放能量大、震害严重。(2)小江断裂带两侧岩体破碎、风化强,极震区地震次生山地灾害发育,以崩塌及滑坡为主,同时,矿洞坍塌及山体震裂也相当严重。(3)地震次生灾害主要集中在断裂带两侧5km以内,特别是2km内最为集中,呈窄的条带状,不同于汶川地震次生山地灾害的面状分布。(4)抛射式滑坡灾害反算的地震加速度大于0.7g,对应震级烈度为X至XI度。(5)房屋破坏具有明显的方向性,且木构建筑防震性能好于砖瓦房、土坯房。

讨论:小江断裂带中段地貌上可以区分为断层槽谷及两侧的中-强切割中山区,地层组成复杂,断

裂构造发育,断裂带及其附近区域因断裂长期活动导致岩体破碎,大震过程中山体表层大面积震裂,素有“铜都”之称铜矿冶炼,始于东汉,长期的伐木烧炭炼铜使森林大面积被毁<sup>[21]</sup>,现今小江两岸大规模高频暴雨泥石流流密集成群发育<sup>[22]</sup>,应与大地震强烈扰动有着密切联系。

致谢:成都理工大学李永昭教授对史料进行了翻译,现场调研过程中得到东川市政府、布依族老乡、汤丹镇退休矿工等大力支持,在此表示诚挚谢意!

### 参考文献(References):

- [1] 宋方敏,汪一鹏,俞维贤,等.中国活断层研究专辑-小江活动断裂带[M].北京:地震出版社,1998:114-137.(SONG Fangmin, WANG Yi peng, YU Wei xian, et al. China active fault research album - Xiaojiang active fault zone[M]. Beijing: Seismological Press, 1998: 114-137. (in Chinese))
- [2] 崔乃铺.东川府地震纪事[O].1735.(CUI Nai yong. The earthquake chronicle in Dongchuan Prefecture[O]. 1735. (in Chinese))
- [3] 《中国地震简目》汇编组.中国地震简目:公元前780-公元1986年[M].1988:19.(Edit group of China Earthquake. China Earthquake: 780 B. C.-1986 AD[M]. 1988: 19. (in Chinese))
- [4] 历史上的东川大地震[EB/OL].http://blog.sina.com.cn/s/blog\_b2abde750101qw6s.html,2013-11-18.(Dongchuan earthquake in history[EB/OL].http://blog.sina.com.cn/s/blog\_b2abde750101qw6s.html,2013-11-18. (in Chinese))
- [5] 袁道阳,雷中生,何文贵,等.公元前186年甘肃武都地震考证与发震构造探讨[J].地震学报,2007,29(6):654-663.(YUAN Dao yang, LEI Zhong-sheng, HE Wen-gui, et al. Textual research of Wudu earthquake in 186 B. C. in Gansu province, China and discussion on its causative structure[J]. Acta Seismologica Sinica, 2007, 29(6): 654-663. (in Chinese))
- [6] 史志刚,雷中生,袁道阳,等.1306年宁夏固原地震考证与发震构造探讨[J].西北地震学报,2011,33(4):342-348.(SHI Zhi-gang, LEI Zhong-sheng, YUAN Dao yang, et al. Textual research on the Guyuan earthquake in 1306 in Ningxia region, and discussion on its seismogenic structure[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(4): 342-348. (in Chinese))
- [7] 袁道阳,雷中生,何文贵,等.1738年青海玉树地震考证及其与2010年玉树7.1级地震关系探讨[J].地球物理学进展,2011,26(6):1950-1958.(YUAN Dao yang, LEI Zhong-sheng, HE Wen-gui, et al. Textual research of Yushu earthquake in 1738 A. D. in Qinghai Province and discussion their relationship with Yushu earthquake Ms7.1 in 2010[J]. Progress in Geophysics, 2011, 26(6): 1950-1958. (in Chinese))
- [8] 晁洪太,刁守中,王志才.公元前179年“齐楚地震”考证与发震构造讨论[J].地震地质,2012,34(2):211-227.(CHAO Hong-tai, DIAO Shou-zhong, WANG Zhi-cai. Textual research of the QICHU earthquake of 179 BC and discussion on its seismogenic structure[J]. Seismology and Geology, 2012, 34(2): 211-227. (in Chinese))

- [9] 史志刚,袁道阳,李廷栋,等. 公元 600 年秦陇地震考证与发震构造探讨[J]. 科技导报, 2013, 31(12): 48-52. (SHI Zhirgang, YUAN Dao yang, LI Ting dong, et al. Textual research of A. D. 600 Qir Long Earthquake and discussion on its seismogenic structure[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(12): 48-52. (in Chinese))
- [10] 袁道阳,雷中生,刘兴旺,等. 公元 842 年甘肃碌曲地震考证与发震构造分析[J]. 地震地质, 2014, 36(3): 609-624. (YUAN Dao yang, LEI Zhong sheng, LIU Xing wang, et al. Textual research of Luqu Earthquake in 842 AD Gansu province and analysis of its causative structure[J]. Seismology and Geology, 2014, 36(3): 609-624. (in Chinese))
- [11] 李善邦. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 1960. (LI Shan bang, Chinese earthquake catalog[M]. (in Chinese))
- [12] 中国百科网. 东川 1733 年地震[DB/OL]. <http://wenda.chinabaike.com/html/20103/q1410922.html>. 2016-01-13.
- [13] 滕德贞. 云南省小江断裂带中段地震地质基本特征[J]. 地震研究, 1978, 1(2): 55-64. (TENG De zhen, Basic features of seismic geology of the middle segment of Xiaojiang Fault[J]. Journal of Seismological Research, 1978, 1(2): 55-64. (in Chinese))
- [14] 刘翔,王绍晋,钱晓东,等. 2005 年会泽 5.3 级地震与小江断裂地震活动关系研究[J]. 地震研究, 2006, 29(4): 332-337. (LIU Xiang, WANG Shao jin, QIAN Xiao dong, Relation between the 2005 Huize M5.3 Earthquake and the Seismicity of Xiaojiang Fault[J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(4): 332-337. (in Chinese))
- [15] 兰恒星,王琴涓,周成虎. 云南小江流域滑坡关键影响因子研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 100-106. (LAN Heng xing, WANG Ling juan, ZHOU Cheng hu. Study on the key landslide factor by means of GIS in Xiaojiang Valley, Yunnan[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003, 14(1): 100-106. (in Chinese))
- [16] 黄润秋. 汶川地震地震灾害研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010. (Geohazard Assessment of the Wenchuan Earthquake [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))
- [17] 唐川,黄楚兴,万晔. 云南省丽江大地震及其诱发的崩塌滑坡灾害特征[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(3): 76-84. (TANG Chuan, HUANG Chu xin, WAN Ye. Lijiang earthquake and the induced rockfalls and slumps in Yunan[J]. Journal of Natural disasters, 1997, 6(3): 76-84. (in Chinese))
- [18] 倪振强,史存鹏,韩涛. 地震滞后滑坡的破坏机理及防治措施研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(9): 63-68. (NI Zhen qiang, SHI Cun peng, HAN Tao. Failure mechanism and prevention measures of lagged earthquake induced landslide[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute. 2015, 32(9): 63-68. (in Chinese))
- [19] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 29-38. (YIN Yue ping. Features of landslides triggered by the Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 29-38. (in Chinese))
- [20] 朱守彪,石耀霖,陆鸣,等. 地震滑坡的动力学机制研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(7): 1096-1105. (ZHU Shou biao, SHI Yao lin, LU Ming, et al. Dynamic mechanisms of earthquake triggered landslides[J]. Science China: Earth Sciences, 2013, 43(7): 1096-1105. (in Chinese))
- [21] 杜玉龙,方维萱,柳玉龙. 东川铜矿因民矿区非污染性环境地质问题分析[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(4): 404-409. (DU Yu long, FANG Wei xuan, LIU Yu long. Analyzing of non-pollution type environmental geology problem of Yinmin Mine in Dongchuan Cu Deposit[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(4): 404-409. (in Chinese))
- [22] 赵鑫,程尊兰,刘建康,等. 云南东川地区单沟泥石流流危险度评价研究[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 102-106. (ZHAO Xin, CHENG Zun lan, LIU Jian kang, et al. Hazard degree assessment on site specific debris flows in Dongchuan of Yunnan Province[J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(1): 102-106. (in Chinese))

(上接第 71 页)

- [16] 高彦春,刘昌明. 区域水资源系统仿真预测及优化决策研究以汉中盆地平原区为例[J]. 自然资源学报, 1996, 11(1): 23-32. (GAO Yan chun, LIU Chang ming. A study of the simulated calculation and optimal decision making of regional water resources: taking the plain area of the Hanzhong basin as an example[J]. Journal of Natural Resources, 1996, 11(1): 23-32. (in Chinese))
- [17] 闫业超,孙希华,李平. 水资源对区域经济社会发展的支撑能力研究: 以济南市长清区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(1): 132-137. (YAN Ye chao, SUN Xi hua, LI Ping. Load-carrying capacities of regional water resource for social and economic development [J]. China Population, Resources and Environment [J]. 2005, 15(1): 132-137. (in Chinese))
- [18] 李新,尹景原. 吐鲁番盆地的干旱环境特征[J]. 干旱区地理, 1993, 16(2): 63-69. LI Xin, YIN Jing yuan. The arid hot environmental characteristics in Turpan Basin [J]. Arid Land Geography, 1993, 16(2): 63-69. (in Chinese))