

四川省美姑县则租滑坡泥石流*

崔鹏 钟敦伦 李泳

(中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提要 这是一个厚层岩质顺层高速滑坡,主滑体长1 300m,宽550m,平均厚度28m,总方量2 000万 m³. 滑坡物质堆积在沟道中,形成三个临时性堰塞湖,其中最下游方的堰塞堤局部溃决,形成流量约540m³/s的大规模泥石流. 这次滑坡泥石流造成了严重灾害.

关键词 四川省 美姑县 滑坡 泥石流

1 滑坡泥石流活动及灾情概况

美姑县乐约乡则租地区位于溜筒河一级支流(金沙江二级支流)伞第沟左岸(图1).

从地貌形态来看,则租地区为一大规模古滑坡. 据调查,古滑坡在近代有过两次活动:一次200a BP,一次1983年,都是局部复活. 1997-06-05凌晨,在暴雨激发下,古滑坡第三次复活,产生超大型推动式高位高速岩质滑坡,滑坡后缘已有部分越过分水岭,最高海拔2 800m,堆积区海拔1 600m,相对高度约1 200m,主滑方向320°,主滑体长1 300m,平均宽550m,平均厚28m;受主滑体冲击、扰动的范围及堆积范围的总长2 000m,平均宽500m;主滑体滑动总方量2 000万 m³,被冲击、扰动的土体400万 m³,其中

直接进入沟谷的堆积物达2 100万 m³,堆积在山坡上有300万 m³,主滑体面积0.72km²,受冲击、扰动和成为主要堆积区的面积1.60km². 滑坡规模大,速度快,运动中岩块解体,并彼此碰撞,形成有感震动. 绝大多数物质冲入伞第沟,其中一部分转化成泥石流.

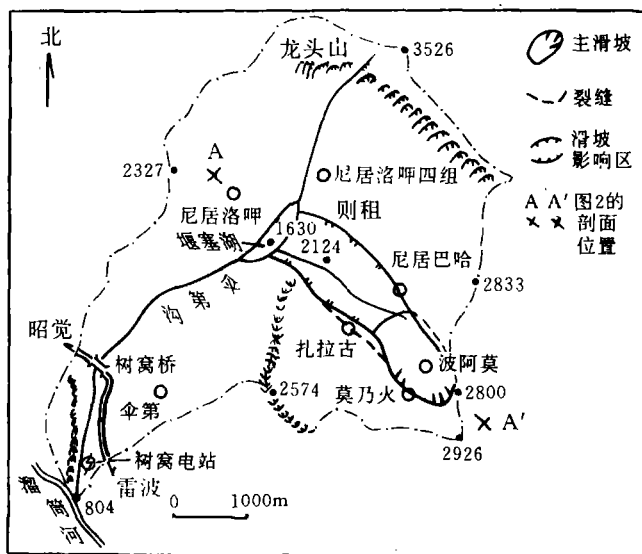


图1 则租滑坡泥石流

Fig. 1 Landslide and debris flow in Zeru

* 中国科学院特别支持领域“山地灾害——泥石流、滑坡基础研究”特别资助应急考察项目;国家教委回归留学人员科研资助项目(编号:教外司留[1996]644号),中国科学院回归留学人员科研资助项目[编号:教字(1996)063号].

考察过程中,蒙四川省、凉山彝族自治州、美姑县三级有关部门直接指导和关心,并派员参加,谨深表谢忱.

本文收稿日期:1997-08-07.

这次滑坡泥石流造成的危害极为严重。据中共凉山州委、州政府和中共美姑县委、县政府统计,有莫乃火、尼居巴哈、扎拉古和尼居洛呷四个村(包括16个生产组307户1527人)受灾;损坏房屋307间,毁耕地437hm²,损失存粮21万kg,死亡大牲畜4084头,死亡和失踪151人,直接经济损失达1529万元^{1,2)}(照片1,2)³⁾。冲入沟谷的滑坡物质,一部分以泥石流方式运动,绝大部分物质堆积于沟床内,致使沟床抬高100m,并形成三个堰塞湖。最下游的一个堰塞湖,于1997-06-08局部溃决,再次形成泥石流,冲出松散碎屑物质20余万m³,给当地居民的生产和生活带来巨大困难。

2 则租滑坡和伞第沟泥石流的形成条件

2.1 则租滑坡的形成条件

地质条件 则租滑坡所处地层为下志留统龙马溪组,岩体软硬相间,质地细密,含泥量大,易风化;风化产物颗粒细小,粘土成分高,亲水性强,为高膨胀性土。这种风化土极易使页岩与粉砂岩之间的界面成为滑面。下伏的奥陶系未经滑动(图2)。则租滑坡所处的岩体结构十分有利于滑坡的形成。该岩体层面倾向与山坡坡向一致(约320°);岩层倾角由上向下逐渐变缓;滑坡后壁23°~25°,向下15°~17°,再向下13°~15°(照片3);岩体受多次构造运动影响,形成三组倾向角较大的裂隙,倾向分别为360°,310°和260°~280°。受三组裂隙切割,岩体破碎。倾向与山坡坡向一致的岩体层面结构,利于顺层滑坡的发育(照片4)。岩体倾角上陡下缓,利于推动式滑坡的形成。岩体三组倾向角较大的裂隙,尤其是倾向310°和260°~280°两组裂隙的强烈切割,利于滑坡两侧和后壁周界的形成(照片5)。

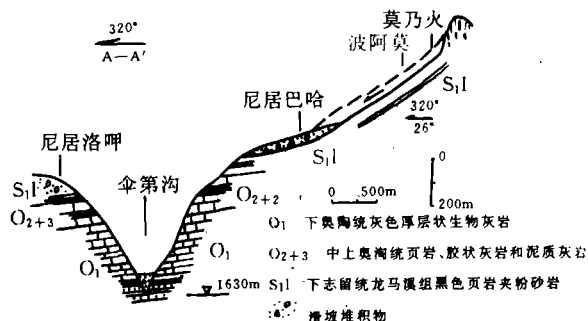


图2 则租滑坡纵剖面

Fig. 2 Longitudinal profile of landslide in Zezu

地貌条件 则租滑坡位于川西南山地金沙江强烈切割区,山高坡陡,相对高度大(照片6)。滑坡后壁与堆积区的相对高度1200m,原坡面水平长度3300m,加权平均坡度19°。分段量测结果显示,主滑体长1300m,平均坡度17°。其中上段长530m,坡度21°;下段长770m,坡度16°。实测剪出面附近岩层倾角13°~15°。相对高度较悬殊,为高速滑坡的形成储备了充足的位能;陡峭的山坡为位能的高速转化创造了条件;主滑体剪出口处的地面坡度(16°)>滑面坡度(13°~15°),为滑坡形成提供了临空面。

人类活动影响 则租古滑坡存在着滑坡洼地、平台等,地面相对平缓,土层深厚,出

1)凉山州人民政府救灾办公室. 关于我州部分县遭受特大暴雨、泥石流、冰雹灾害的汇报. 1997-06-10. 2.

2)中共凉山州委、凉山州人民政府赴美姑救灾工作组. 中共美姑县委、县人民政府关于乐约乡则租山体滑坡灾情的汇报. 1997-06-08. 3.

3)本文照片见刊末图版I, 1.

露泉水,因而成为当地居民农耕和生息之地。莫乃火、尼居巴哈和扎拉古三个行政村有居民 1 500 人,牲畜近万头,耕地 1 500 hm²。人和牲畜的活动及住房的修建,增加了坡体的静动荷载,坡地的垦殖和耕作、生产生活用水的倾倒,增加了坡体水分的入渗,导致了坡体静水压力、动水压力及坡体自重的增加。人为因素通过滑坡内因起加速滑坡发育的作用。

降水条件 1997 年入夏后,则租地区降水较多。据美姑县气象站资料统计,05-20~06-04 间降水日 13d,降水量 54mm。则租地区海拔比美姑县城海拔高,降水量应比县城有所增加。这些前期降水使坡体饱和,并加速了裂缝发展。06-04 20:00~05 凌晨降水(估计 50mm)时,大量雨水沿裂缝渗入滑体,增加滑体内静动水压力和滑体自重,并迅速沿滑面形成渗流,降低滑面强度,使滑动力>抗滑力,致滑面贯通,形成超大型滑坡。

2.2 伞第沟泥石流的形成条件

则租滑坡所处流域为伞第沟。据沟内雷(波)昭(觉)公路树窝桥附近及下游一带的堆积物分析,该沟曾暴发过多次泥石流,为一条老泥石流沟。

地貌条件 伞第沟流域面积 21.6 km²,主沟长 7.9 km,沟床比降 188‰,最高海拔 3 526 m,最低海拔 804 m,相对高度 2 722 m,山坡平均坡度 $\geq 35^\circ$ 。这为松散碎屑物质提供了强大的位能、位能转化成动能及固液两相物质迅速汇流的极好条件。

地质条件 流域内的地层主要有下志留统龙马溪组黑色页岩夹粉砂岩,中上奥陶统页岩、胶状灰岩和泥质灰岩,下奥陶统灰色厚层状生物灰岩,寒武系西王庙组砖红色粉砂岩、泥岩¹⁾。这种软岩或软硬互层岩石利于物理化学风化。在构造上,该流域位于莫红背斜西翼,地层舒缓,倾角约 20° ;夹于大谷堆—马颈子断层和美姑河断层之间,新构造运动使地块不断抬升,河流切割不断加强,形成高山峡谷;受褶皱和断裂影响,有三组裂隙发育,岩体切割破碎。这为重力作用的生成提供了有利的条件,滑坡转化成泥石流活跃。

水源条件 伞第沟流域位于西南季风区,干湿季分明,5~10 月为雨季,11 月至翌年 4 月为干季。据美姑气象站资料统计,年降水量 818 mm,雨季降水量占年降水量的 92%,一日最大降水量 67 mm,日降水量 ≥ 50 mm 的降水平均 0.3 d/a。这使流域内的土体在雨季处于饱和状态,当降暴雨时,几乎全部转化成地表径流,为泥石流形成提供充足的水源和水动力条件而暴发泥石流。此外滑坡、崩塌等往往堵塞主沟沟道,形成堰塞湖,在湖水静动压力作用下发生溃决而形成泥石流。

人类活动影响 流域内人类活动以农业为主,陡坡垦殖和植被破坏相当严重,加之居民对泥石流、滑坡认识不足,滑体(或滑坡平台)常被用作居住和农耕地。这种不合理的经济活动,使流域环境退化,水土流失加剧,崩塌滑坡发育,加速了泥石流的发生发展。

3 则租滑坡、伞第沟泥石流的性质与动力学特征

3.1 则租滑坡的性质与动力学特征

则租滑坡是一个高位能推动式厚层岩质顺层高速滑坡(见图 2)。滑坡后缘顶到剪出口的相对高度 420 m,平均坡度约 17° ;剪出口到谷肩的相对高度 380 m,水平距离 1 550 m,

1) 四川省地质局第一区域地质测量队. 中华人民共和国地质图雷波幅及测量报告(1:20 万). 1972.

平均坡度约 14° ; 谷肩到谷底相对高度 440m, 水平距离 300m, 平均坡度约 56° . 滑面贯通, 聚集的能量在瞬间得以释放, 以弹性冲动给主滑体以额外能量, 使其产生加速运动, 加之落差 400m 余的高势能作用, 使滑体急速向下运动, 运动块体扫荡其前进途中一切物质, 使主滑体下方的表层风化层、土壤层及基岩小山丘被推动下移, 加大了滑坡规模. 运动块体产生的气浪, 直冲滑坡对岸 300m 的坡地. 在高速下滑过程中, 运动块体内部产生岩块碰撞, 发出火花和沉闷的轰鸣声(目击者所见). 滑体在坡面上运动后, 沿谷肩坠入伞第沟中, 又冲击对岸, 产生强烈震动. 据调查, 在块体运动中 5~6km 范围内有明显震感, 民房墙壁震裂, 房瓦坠落, 相当于 6° 地震烈度.

下面据一般的能量过程, 讨论滑坡的运动速度.

则租滑坡是顺层岩质的, 整体性较好(破碎是滑动后期发生的), 边界也较为理想, 滑床光滑而整齐, 为一光滑小摩擦斜面, 则运动中加速度

$$a = g(\sin \theta - \tan \varphi \cos \theta), \quad (1)$$

其中 g 为重力加速度; θ 是滑床倾角; φ 为内摩擦角.

现考虑滑体沿主滑段的运动, 运动距离为坡长的 $1/2$, 剪出口的最终速度

$$v = \sqrt{gH(1 - \cot \theta \tan \varphi)}, \quad (2)$$

式中 H 为滑体前台缘的相对高度.

基于岩性特征, φ 很小, 有 $\tan \varphi \approx \varphi$ (弧度数), 那么

$$|\delta v/v| = \cot \theta \delta \varphi / 2(1 - \varphi \cot \theta). \quad (3)$$

据实地考察和图上计算, 参数 H, θ 分别取 420m, 17° ; 据同类岩面的分析结果^[1], φ 取 0.17, 由式(2)可求得滑坡平均速度 43m/s. 由式(3)得 $\delta v \approx 3.7 \delta \varphi$. 若 φ 的精度为 $1/10$, 即 $\delta \varphi \approx 0.017$, 则 $|\delta v/v| \approx 0.06$, 换言之, 速度计算精度为 6%.

由于没有可靠的 φ 值, 计算结果的可靠性还有赖于其他证据. 例如: 滑坡运动中的火花是物体高速运动的特征之一; 运动岩块铲掉田埂表土层, 并携带其在空中飞行 300m 余堆积时还保持完好结构, 这也说明了岩块是高速运行的(照片 7); 对岸尼居洛呷村前坡耕地上大面积覆盖的黑色尘埃, 这是滑体高速运动所激起的气浪带过来的岩体碎屑; 谷坡、谷肩和坡地上树木和庄稼都有被气浪剧烈冲击的明显痕迹(照片 8).

3.2 伞第沟泥石流的性质与动力学特征

滑坡物质进入伞第沟后, 在沟谷水流作用下, 一部分物质即形成泥石流, 冲毁下游树窝电站引水口, 致死 4 人, 损失羊 400 余头. 绝大部分物质仍堆积在沟谷中, 形成三个堰塞湖(照片 9). 06-08 08:00, 最下游一个湖局部溃决, 又形成泥石流. 泥石流飞溅的泥浆越过距溃坝口 2.5km 的雷昭公路树窝桥桥面, 桥头上四户居民险些遇难(照片 10). 桥下游 250m 处的弯道被淤埋, 路基被冲坏, 由两侧伸入主沟的坡积物被泥石流强烈切割, 沟道被裁弯取直. 弯道超高痕迹清晰可辨(照片 11). 泥石流堆积扇伸入溜筒河中, 但未堵塞主流. 树窝桥上的泥石流侧积物形态表明, 有两次泥石流过程, 两者规模相近, 第一次淤积范围稍大(高出第二次堆积物约 20cm), 这主要是由于树窝桥过流面积较小, 第一次泥石流受壅塞而扩大了堆积范围. 第一次泥石流及其后续流已在桥下下切 2m, 扩大了过流断面, 因而第二次泥石流在该处的堆积位置稍低, 从整个沟谷纵断面看, 泥石流对沟谷

(特别是树窝桥以下断面)的下切较强,泥痕清晰规整.现以 1997-06-08 溃决型泥石流野外实测资料为基础,确定有关参数.

堆积在沟道中的物质多由细颗粒组成,夹杂有粉砂岩岩块.由此形成的泥石流为细粒含量较高的粘性泥石流.据现场访问和泥石流侧积估测,泥石流容重 2.0 g/cm^3 .

泥石流的流速、流量是通过两个断面来确定的.断面 I 就在树窝桥(海拔 1 050m),断面 II 位于桥下游 1km 沟道内(海拔 940m).粘性泥石流流速

$$V_c = H_c^{2/3} I_c^{1/2} / n_c, \quad (4)$$

式中 n_c 为粘性泥石流沟床糙率,据沟床特征取 3.57; H_c 为泥石流平均流深,断面 I 处 6.00m,断面 II 处 6.69m; I_c 为断面泥石流纵坡,断面 I 处 0.114,断面 II 处 0.105.由此求得:断面 I 处和断面 II 处的泥石流流速分别为 3.98m/s 和 4.11m/s.实测断面 I 处的过流面积 136.78 m^2 ,断面 II 处的过流面积 132.50 m^2 ,则断面 I 处和断面 II 处的泥石流峰值流量分别为 $544.38\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $544.75\text{ m}^3/\text{s}$.泥石流总方量 34.5 万 m^3 ,冲出的固体物质方量 20.9 万 m^3 .

在树窝桥(断面 I 处),泥石流浆体的冲压力 43 t/m^2 ,不足以破坏桥体.实测一石块尺寸 $1.1\text{ m} \times 1.3\text{ m} \times 1.7\text{ m}$,等效直径 1.39m,据“泥石流中大石块的冲击,相当于一个弹性球与速度等于零而半径和质量十分巨大的球相冲击”^[2]的假设,可求得该石块对树窝桥的冲击力 258 t/m^2 ,足以毁坏 200# 砼建筑物.桥左台基和电站引水口有被撞坏痕迹.

电站引水口(树窝桥上游 150m)以上泥石流以堆积为主,以下以冲刷为主(图 3).

这主要受沟谷特性影响.树窝桥以上沟谷较宽,泥石流流深浅,流速小,动力作用相对弱,固体物质多以侧积物沿沟谷两岸堆积;树窝桥以下沟谷较窄,泥石流完全归槽,流深增加,动力作用强,加之两岸地表径流汇入,增大了其挟沙能力和动能,狭窄且以松散堆积物构成的沟槽(沟床堆积物和坡积物),极易形成以侵蚀和下切为主的沟段;电站引水口至树窝桥为过渡沟段.进入溜筒河的

泥石流固体物质,大部分被主流挟带散淤于溜筒河下游河床中或作为悬移质汇入金沙江,一部分形成堆积扇伸入溜筒河中,但总方量不是很大,尚未产生灾害性后果.

4 则租滑坡、伞第沟泥石流的发展趋势

4.1 未滑体的稳定性

目前滑体后缘尚有许多残留体.在主滑体左右两侧,发育着众多裂缝,汇集到滑体边缘(照片 12).这些被裂缝所围的岩体有 400 万 m^3 .破坏了岩体在大雨或暴雨激发下,

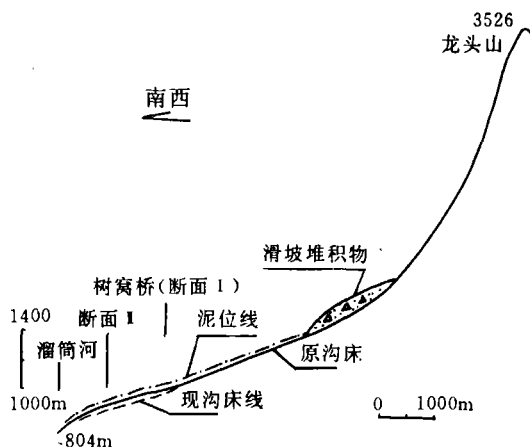


图 3 伞第沟泥石流沟床纵剖面

Fig. 3 Channel longitudinal profile of debris flow in Sandi Gully

仍可能沿已出露的滑面继续滑动,对莫乃火、尼居巴哈、扎拉古三村的残留部分和尼居洛呷四组的安全构成严重威胁。现以主滑体东北侧越过分水岭处为例,分析它的稳定性。

由地形图可算出此处体积 30 万 m^3 ,裂缝在原滑面上所围的面积 $1.78 \times 10^6 \text{cm}^2$,单位面积上的重量为 4.2kg/cm^2 。下滑力 $F = 4.2 \sin 17^\circ = 1.24$,阻力 $f = 4.2 \cos 17^\circ \tan 10^\circ = 0.71$,岩体粘结力为 C ,则稳定系数

$$K = (f + C) / F = 0.57 + 0.81 C. \quad (5)$$

稳定条件是 $K \geq 1$,即 $C > 0.53$,据岩性和土壤特征,可以确定 C 。显然 C 越大越稳定。一般而言,龙马溪组黑色页岩的 C 不会很大,残留体易滑落。

4.2 泥石流的潜在隐患

目前在伞第沟内尚存储有 2 100 万 m^3 松散堆积物,形成三个堰塞湖(除一个局部溃决外),这是形成泥石流非常有利的条件,加之有大暴雨出现或沟道中水体蓄积到一定程度,便可形成大规模乃至特大规模的泥石流。在滑坡坡面上,还有 300 万 m^3 的已受扰动的松散固体物质,其在大雨或暴雨期间极易形成坡面泥石流而汇入主沟,并可能使沟谷中已有的松散固体物质起动,形成更大规模泥石流或与主沟泥石流叠加而增大规模,危害伞第沟下游的电站、公路、居民、农田和溜筒河。

参 考 文 献

- [1] 华东水利学院编. 水工设计手册,第一卷. 基础理论. 北京:水利电力出版社,1983. 1-623~1-625.
- [2] 周必凡,李德基,罗德富等编著. 泥石流防治指南. 北京:科学出版社,1991. 65.

LANDSLIDE AND DEBRIS FLOW IN ZEZU, MEIGU COUNTY, SICHUAN PROVINCE

Cui Peng Zhong Dunlun Li Yong

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041)

Abstract

This is a huge bedding landslide with high velocity. It developed along the interface between soft and hard rocks with the scale of 1 300m in length, 550m in width, 28m in depth and $2 \times 10^7 \text{m}^3$ in volume. The material slid down and deposited in the gully channel to form 3 dammed lakes which broke the stream. The downstream dammed lake bursted partly, which caused a large scale debris flow (about $540 \text{m}^3/\text{s}$) and serious losses on 8th June, 1997.

Key words Sichuan Province, Meigu County, landslide, debris flow



照片 1 多方人员在了解灾情,慰问灾民



照片 2 滑坡毁灭波阿莫、尼居巴哈与莫乃火村大部



照片 3 滑床光滑,上陡下缓



照片 4 滑坡沿岩层层面发育,主滑体越过分水岭



照片 5 滑坡侧壁的东北角(右),大致平行于主滑方向,规整陡峭,高达 30 余 m



照片 6 溜筒河强烈下切,临空面高



照片 7 高速运动的岩块铲掉田埂表土层,并在空中飞行 300m 余后落下



照片 8 滑坡高速滑动气浪的冲击痕迹



照片 9 大量滑动物质(最大堆积厚度达 100m,堆积总方量 2 140 万 m^3)堆积在沟道中,形成堰塞湖



照片 10 滑坡物质进入主沟后转化成大规模泥石流(流速 4m/s ,流量约 $540\text{m}^3/\text{s}$)



照片 11 泥石流弯道超高 2.5~3.0m(桥下游 250m 处)



照片 12 主滑体周边发育有 0.5~2.0m 宽的裂缝