

李俊, 陈宁生, 欧阳朝军, 等. 扎木弄沟滑坡型泥石流物源及堵河溃坝可能性分析[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 80-84, 116. [LI Jun, CHEN Ningsheng, OUYANG Chaojun, et al. Volume of loose materials and the analysis of possibility of blocking and dam break triggered by debris flows in Zhamunonggou[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 80-84, 116. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.014.]

## 扎木弄沟滑坡型泥石流物源及堵河溃坝可能性分析\*

李俊<sup>1,2</sup>, 陈宁生<sup>1</sup>, 欧阳朝军<sup>1</sup>, 李爱国<sup>3</sup>, 左玺龙<sup>3</sup>

(1. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所 山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 长江岩土工程总公司(武汉), 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 研究易贡乡扎木弄沟泥石流物源及再次形成滑坡型泥石流堵河溃坝的可能性, 对选择川藏铁路跨越易贡藏布的基础工程及附属设施具有重要的意义。首先基于工程地质分析方法和野外实际调查得出了扎木弄沟泥石流的物源总量。其次, 通过三维数值模拟估算今后再次发生类似2000年滑坡型泥石流的堆积范围和深度。最后, 基于四种工况下滑坡型泥石流的堆积形态和2000年堰塞坝物质组成分析了泥石流堵河及溃坝可能性。通过研究得出了如下结论: 扎木弄沟泥石流物源总量为 $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 在地震(地震烈度为Ⅷ度)和极端气候工况下, 今后再次发生类似2000年的滑坡型泥石流有可能造成堵河; 在流域源头崩滑启动方量增大的情况下, 堰塞坝溃决的风险逐渐增加。

**关键词:** 滑坡型泥石流; 堵河数值模拟; 扎木弄沟; 西藏波密县易贡乡; 川藏铁路

**中图分类号:** X43; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)01-0080-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.014

滑坡型泥石流为泥石流流域源头的高位崩滑体在水击机制作用下失稳形成高速滑坡<sup>[1]</sup>, 受强降雨和深V型沟谷的影响<sup>[2]</sup>, 该高速滑坡在运动1~2 km后即转化为高速运动的泥石流<sup>[3-4]</sup>。2000年4月9日易贡扎木弄沟滑坡型泥石流输移的大量松散固体物质堵塞易贡藏布并形成堰塞坝。6月10日堰塞坝溃决, 最大溃决洪峰流量为 $12.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。溃决洪水冲毁了易贡藏布和帕隆藏布沿江的318国道通麦大桥、墨脱解放桥、公路等基础设施, G318国道中断76 d。由此可见, 2000年扎木弄沟滑坡型泥石流+堰塞湖+溃决洪水灾害对易贡藏布和帕隆藏布两岸的基础设施造成了较大的破坏。

目前有关西藏波密县易贡乡扎木弄沟物源和再次发生类似2000年的特大滑坡型泥石流堵河溃坝的可能性虽然做了一些研究, 但依然存在以下问题: 据目前研究, 流域源头的岩体破碎, 崩塌滑坡发育, 流域仍有较多的泥石流松散固体物质<sup>[5-8]</sup>, 但该流域泥石流松散物源量还缺乏定量研究; Delaney通过数值模型模拟了2000年滑坡型泥

石流堵河的淤积范围和深度<sup>[9]</sup>, 但今后发生类似2000年的滑坡型泥石流堵河的数值模拟研究依然较少; 2000年堰塞坝的物质组成虽然有较多的研究<sup>[8-10]</sup>, 但是以堰塞坝物质组成分析其溃决成因的研究还鲜有报道。研究显示扎木弄沟流域内松散固体物质丰富, 基础和激发条件依然存在, 今后仍然存在滑坡泥石流灾害风险。因此定量地确定物源量和再次发生特大滑坡型泥石流堵河溃坝的可能性对保护川藏铁路通麦段的基础设施及附属工程具有重要的意义。本文从地质学角度描述BH01和BH02潜在崩滑体的范围, 通过FLAC数值模拟方法<sup>[11]</sup>计算扎木弄沟BH01和BH02潜在崩滑体的体积, 结合实际调查和物源计算模型<sup>[12-13]</sup>确定扎木弄沟其他物源的体积。然后基于泥石流运动深度积分的数值模型<sup>[14]</sup>估算2000年滑坡型泥石流的运动参数, 进而把BH01、BH02潜在崩滑体体积和2000年滑坡型泥石流运动参数作为该数值模型的计算参数, 采用该模型模拟地震(地震烈度为Ⅷ度)和极端气候工况下今后发生类似2000年的特大滑坡型泥石流的堆积范围和深度, 分析

\* 收稿日期: 2016-05-23 修回日期: 2016-08-04

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(41190084)

第一作者简介: 李俊(1989-), 男, 四川乐山人, 博士研究生, 研究方向为山地灾害形成机理及其防治技术。

E-mail: lijunxiaoyouxiang@163.com

滑坡型泥石流堵河的可能性。本文试图为进一步研究扎木弄沟特大滑坡型泥石流 + 堰塞湖 + 溃决洪水对川藏铁路的影响程度提供一定的理论依据。

### 1 扎木弄沟地质背景概况

易贡乡扎木弄沟位于南巴迦瓦峰北北西侧, 易贡藏布左岸(图 1a), 地势上西高东低, 其地貌类型属于高山地貌, 流域面积 29.4 km<sup>2</sup>, 流域最高海拔 5 616 m, 最低点海拔 2 185.72 m, 相对高差 3 430.28 m。扎木弄沟海拔 5 200 m 以上为冰蚀地貌发育的高山寒冻和高山冰雪带, 海拔 4 500 ~ 5 200 m 为现代冰缘地貌发育的寒冻风化带, 基岩裸露, 岩石遭受的冻融破坏作用强烈。海拔 4 000 ~ 4 500 m 为灌丛草甸带, 海拔 3 500 ~ 4 000 m 为针叶林带, 海拔 2 198 ~ 3 500 m 为针阔混交林带(图 1b)。扎木弄沟为“V”型河谷, 海拔 2 660 ~ 5 616 m 以上沟道狭窄, 平均宽度 7 m 以下, 走向为 S42°W, 沟道纵比降 27.7%。

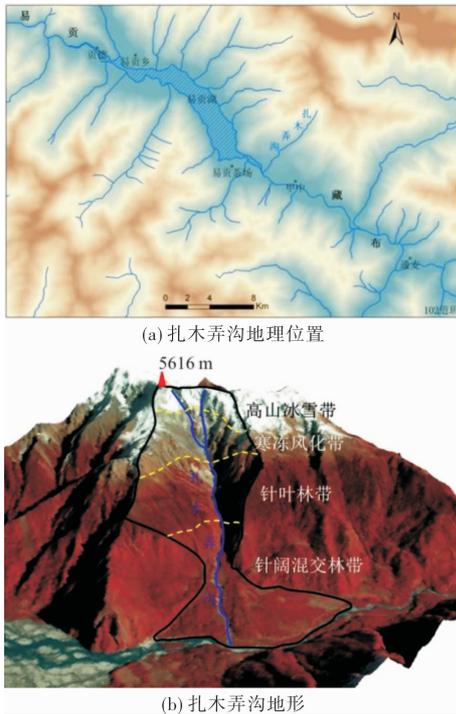


图 1 扎木弄沟地理位置及地形

### 2 物源量

扎木弄沟泥石流松散物源类型多, 数量大, 物源类型为滑坡、崩塌、沟岸崩滑物、沟道堆积物(图 2)。扎木弄沟目前物源总量为  $2.37 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。扎木弄沟主要物源来自 BH01 和 BH02 潜在崩滑体, 这两处潜在崩滑体的体积之和为  $1.86 \times 10^8$

m<sup>3</sup>, 占物源总量的 68%。

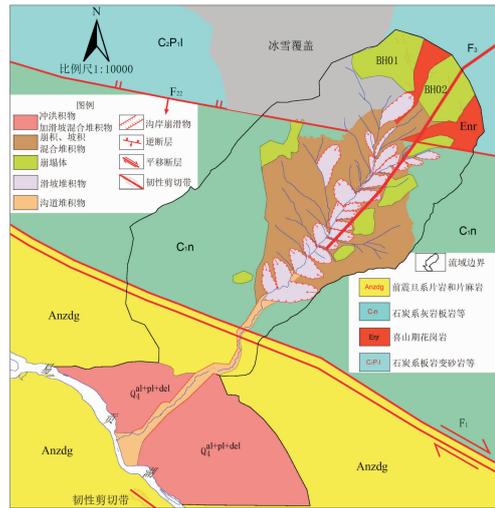


图 2 扎木弄沟物源分布(据 1: 20 万通表地质图和 1: 25 万边坝地质图改绘)

#### 2.1 BH01 和 BH02 潜在崩滑体体积

从 BH01 和 BH02 地形、地质构造、岩体风化程度和地表水补给情况来看, 这两处均为潜在的崩滑体。

BH01 地处扎木弄沟流域源头右侧, 该处地形高差大, 山体形状呈角峰状, 平均山体坡度为 38°(图 3a)。受达德—阿尼扎断裂(F<sub>22</sub>)和达嫩—则普断裂(F<sub>3</sub>)的影响(图 3b), BH01 岩体结构十分破碎, 节理裂隙发育。距离该处山体 4 km 处宗本—则普断裂(F<sub>18</sub>)为活动断裂带, 受此影响, BH01 会受到地震的持续的影响而趋于不稳定的状态。该处降水丰富, 地表水补给条件好, 季节性冰雪冻融循环作用强, 长期冻融循环作用会进一步降低 BH01 结构面的力学性质, 促进 BH01 山体往临空面方向进一步倾斜。

BH02 地处扎木弄沟源头左侧, 2000 年 BH02 所在山峰发生了大规模的崩塌, 该处山体在崩塌后地形更加陡峭, 平均坡度为 41°, 最大坡度为 60°(图 3a)。达嫩—则普断裂(F<sub>3</sub>)穿过该处山体, 达德—阿尼扎断裂(F<sub>22</sub>)也在该处下部穿过(图 3b), 受这两个断裂影响, 该处山体节理裂隙十分发育, 主要发育倾南方向的节理, 其破裂面的产状主要为 203°∠34°, 94°∠57°, 211°∠86°。距离该处山体 4 km 处宗本—则普断裂(F<sub>18</sub>)为活动断裂带, 受此影响, BH02 会受到地震的持续的影响而趋于不稳定的状态。该处降水丰富, 地表水补给条件好, 季节性冻融循环作用强烈, 长期的冻融风化作用会进一步降低 BH02 结构面的力学性质, 促进 BH02 山体往临空面方向进一步倾斜。

另外扎木弄沟邻近区域的自然斜坡工程类比

法计算结果也显示, BH01 和 BH02 均为潜在崩滑体。



图3 BH01 和 BH02 潜在崩滑体平面图及似立面图

2.1.1 FLAC 数值模拟方法和模型计算参数

采用 FLAC 数值模拟方法估算这两处潜在崩滑体在地震极端工况下的崩滑纵面积, 基于潜在崩滑体的坡度特点, 参照 2000 年崩滑的坡形确定潜在崩滑体的宽度, 估算其方量。FLAC 数值模拟方法是基于强度折减概念的有限元法或快速拉格朗日法。FLAC 数值模拟方法中安全系数  $F_s$  的实际计算过程在抗剪强度不断折减条件下的 FLAC 计算过程, 该计算过程如公式(1)所示。

$$c' = c/RF, \phi' = \arctan(\phi/RF) \quad (1)$$

式中:  $c'$  和  $\phi'$  为折减之后的强度参数,  $c$  和  $\phi$  为折减之前的强度参数,  $RF$  为强度折减系数, 当某一强度折减系数使滑动面塑性区完全贯通时, 强度折减系数  $RF$  即为所求的安全系数  $F_s$  值。

扎木弄沟 BH01 和 BH02 潜在崩滑体的计算剖面位置如图 4 所示。在 BH01 和 BH02 可能崩滑范围内分别选取两条沿花岗岩节理方向的剖面线, BH01 潜在崩滑体的花岗岩节理倾向为  $211^\circ$ , BH02 潜在崩滑体的花岗岩节理方向为  $163^\circ$ 。然后根据剖面线切取计算剖面, 采用 FLAC 数值模拟方法得出 BH01 和 BH02 可能的崩滑深度。

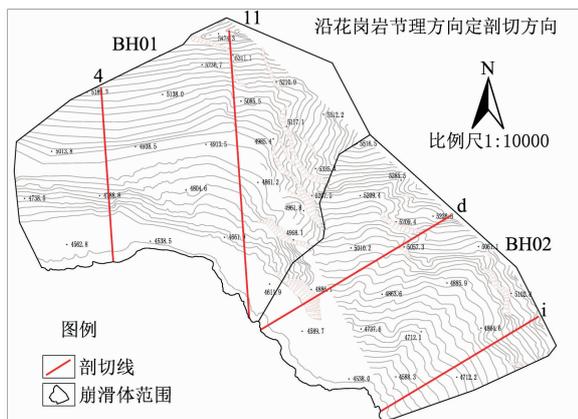


图4 BH01 和 BH02 建模剖面线平面图

通过 MTS815 岩石力学试验获取了饱水条件下的 BH01 和 BH02 花岗岩岩体强度参数和其他参

数。岩体强度参数和其他参数可作为扎木弄沟 BH01 和 BH02 潜在崩滑体的计算参数, 其取值如表 1 所示。由表 1 可知, BH01 和 BH02 潜在崩滑体的岩体强度参数和密度均一致, 主要差别为弹性模量、泊松比和抗压强度取值不同。因  $F_3$  断层直接穿过 BH02 潜在崩滑体, 该崩滑体内的岩体节理和裂隙更加发育, 这是造成 BH01 和 BH02 潜在崩滑体的弹性模量、泊松比和抗压强度取值不同的主要原因。

表 1 饱水条件下 BH01 和 BH02 花岗岩体计算参数

| 名称   | 密度/<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 弹模/GPa | 泊松比  | 粘聚力<br>$C/\text{MPa}$ | 内摩擦角<br>$\varphi/(\text{度})$ | 抗拉强<br>度/MPa |
|------|-----------------------------------|--------|------|-----------------------|------------------------------|--------------|
| BH01 | 2630                              | 20.0   | 0.20 | 9.69                  | 58.27                        | 6.0          |
| BH02 | 2630                              | 3.0    | 0.31 | 9.69                  | 58.27                        | 3.5          |

2.1.2 潜在崩滑体体积计算结果

采用 FLAC 数值模拟方法计算的 BH01 和 BH02 崩滑深度如图 5 所示。图 5 中蓝色图块是可能崩滑的塑性岩体, 白色图块为稳定岩体。这两个崩滑体在计算剖面上可能的崩滑面积如图 5 中红线所示, 在图 5 上统计了崩滑面积和崩滑深度。

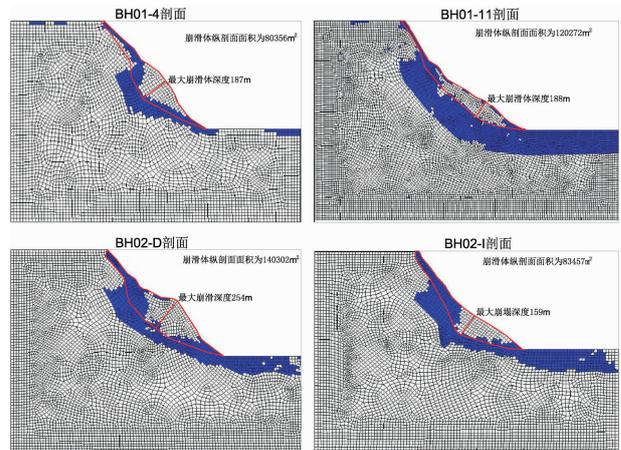


图5 BH01 和 BH02 崩滑深度模拟结果

将以上计算的 BH01 和 BH02 潜在崩滑体的平均面积、平均宽度和体积统计于表 2。由表 2 知, BH01 和 BH02 潜在崩滑体的体积分别为  $0.94 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $0.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 总体积高达为  $1.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 2 BH01 和 BH02 潜在崩滑体总计方量

| 名称   | 宽度/m   | 平均崩滑面积/ $\text{m}^2$ | 体积/ $\times 10^8$ |
|------|--------|----------------------|-------------------|
| BH01 | 935.30 | 100314.00            | 0.94              |
| BH02 | 822.07 | 111879.50            | 0.92              |
| 总计   |        |                      | 1.86              |

2.2 扎木弄沟其他物源量

其他物源包括滑坡、崩塌、沟岸崩滑物和沟道堆积物。通过计算知, 滑坡物源方量为  $3292.46 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 崩塌物源方量为  $1620.94 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 沟

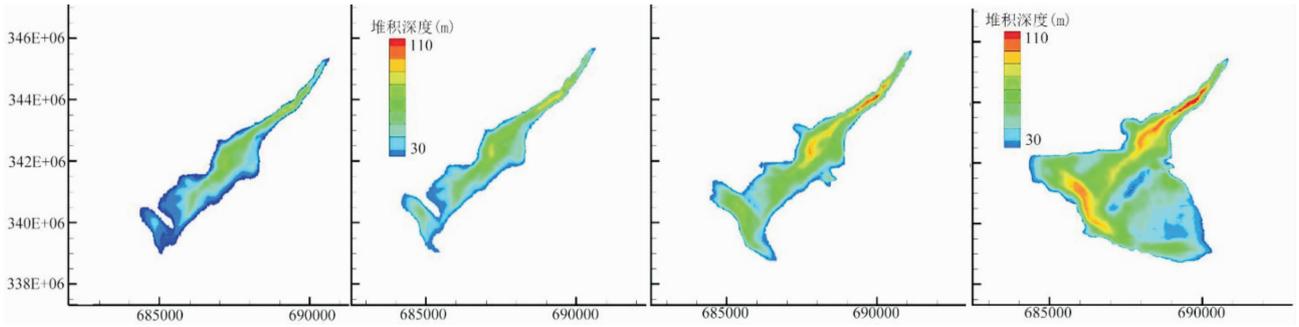


图6 四种工况下的堆积深度

岸崩滑物源方量为  $1.55.74 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 沟道堆积物物源方量为  $80.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

### 3 今后发生类似 2000 年的滑坡型泥石流堵河的可能性分析

#### 3.1 数值模拟方法

由文献可知, 2000 年的滑坡型泥石流形成运动过程及运动机理非常复杂<sup>[15-16]</sup>, 一般的 CFD 计算流体软件不能很好地模拟这种特大滑坡型泥石流的运动过程。基于泥石流运动深度积分的 MacCormack-TVD 有限差分数值方法模拟今后扎木弄沟滑坡型泥石流可能的运动过程, 其数值方法具体介绍见文献[14]。今后再次发生类似 2000 年的滑坡型泥石流堵江的数值模拟思路为: 首先, 以 2000 年滑坡型泥石流堆积范围和堆积深度为校核标准, 调整基于泥石流深度积分的数值模型的运动参数, 包括运动摩擦系数和泥石流规模放大系数等, 使模型计算的泥石流堆积深度和堆积范围与 2000 年扎木弄沟滑坡型泥石流的堆积深度和堆积范围相吻合。再以估算得出的 2000 年滑坡型泥石流的运动参数和 BH01 和 BH02 潜在崩滑体体积为计算参数, 考虑 4 种工况, 基于泥石流运动深度积分的数值模型模拟得出不同工况下的今后类似 2000 年的滑坡型泥石流的堆积范围和深度。

#### 3.2 2000 年滑坡型泥石流运动参数估算结果

三维数值模拟的 2000 年滑坡型泥石流堆积结果显示沟口最大堆积深度为 76 m, 而文献[17]显示该位置处的堆积深度范围为 72 ~ 80 m, 数值模拟的沟口最大堆积深度及位置与实际结果相差较小。经核实, 本次模拟的泥石流堆积体积与文献[17]中实际调查确定的 2000 年滑坡型泥石流堆积体积相差较小。这说明基于泥石流深度积分的三维数值模型能够较为准确地模拟扎木弄沟滑坡型泥石流的运动过程和堆积过程, 可以通过基于泥石流深度积分的三维数值模型模拟今后类似 2000 年的滑坡型泥石流运动和堆积过程。

表 4 2000 年滑坡型泥石流的运动参数取值

| 模型参数                                   | 具体取值 | 取值范围             | 参考文献 |
|--|------|------------------|------|
| 崩滑起动方量 $V_0 / \times 10^8 \text{ m}^3$ | 0.91 | 2000 年滑坡型泥石流起动方量 | [9]  |
| 摩擦系数 $\mu$                             | 0.23 | 0.10 ~ 0.30      | 无    |
| 内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$            | 25   | 20 ~ 30          | 无    |

表 4 是 2000 年滑坡型泥石流的计算参数。该次泥石流的崩滑起动方量为  $0.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 泥石流与沟床之间的摩擦系数取 0.23, 内摩擦角取  $25^{\circ}$ 。将 2000 年滑坡型泥石流的摩擦系数、内摩擦角作为今后类似 2000 年的滑坡型泥石流的运动参数。

#### 3.3 今后发生类似 2000 年的滑坡型泥石流堆积形态的三维数值模拟结果

由 2.1.2 小节可知, BH01 和 BH02 的崩滑方量分别为  $0.94 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $0.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。BH01 和 BH02 潜在崩滑体的方量可作为模型参数中的起动方量。第 1 种工况为 BH01 和 BH02 潜在崩滑体在地震(地震烈度为 VIII 度)和极端气候情况下局部少量崩滑, 崩滑起动方量为  $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。第 2 种工况为 BH01 和 BH02 潜在崩滑体在地震(地震烈度为 VIII 度)和极端气候情况下局部崩滑, 崩滑起动方量为  $0.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因扎木弄沟 F<sub>3</sub> 断层直穿 BH02 潜在崩滑体, 所以 BH02 潜在崩滑体更危险, 第 3 种工况为 BH02 潜在崩滑体在地震(地震烈度为 VIII 度)和极端情况下全部崩滑形成滑坡型泥石流, 崩

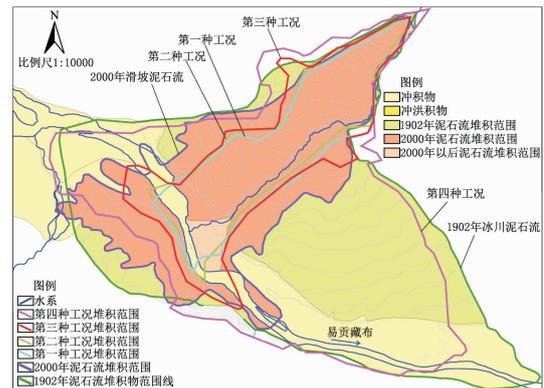


图 7 各种工况下的滑坡型泥石流堆积范围

滑起动量为  $0.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。第 4 种工况为 BH01 和 BH02 潜在崩滑体在地震(地震烈度为Ⅷ度)和极端气候情况下全部崩滑,崩滑起动量为  $1.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。通过三维数值模拟的 4 种地震和极端气候工况下滑坡型泥石流堆积物的深度和范围如图 6 所示。

由图 7 可知,滑坡型泥石流在 4 种工况下搬运的松散固体物质均堵塞易贡藏布并形成松散堰塞坝。为进一步分析这 4 种工况下堰塞坝溃决的可能性,我们分析了 2000 年堰塞坝物质组成。2000 年堰塞坝物质呈散体,结构松散,并含有大量的粗粒固体物质,堰塞坝的岩性均以花岗岩为主,大理岩、灰岩、片麻岩和片岩次之,堆积物的磨圆度大多为棱角状和次棱角状,堰塞坝物质颗分曲线连续,无粒径缺失,粘粒含量高,为典型的高粘粒含量的宽级配土体。这种物质组成决定了 2000 年堰塞坝在形成初期结构强度较大,但随着浸润面的升高,高粘粒含量(3%~6%)的堰塞坝结构强度大幅度减少,堰塞坝容易漫顶溃决。

根据 2000 年堰塞坝的物质组成,推测类似 2000 年滑坡泥石流形成的堰塞坝在初期不会溃决,这种高粘粒含量的堰塞坝结构强度随浸润面的升高(堰塞湖水位升高)而大幅度减小,当结构强度减小到某一值时堰塞坝就会发生溃决。这说明当堰塞湖水位快速升高时,堰塞坝的结构强度大幅度减小,随堰塞坝规模的增大,堰塞坝溃决的风险有可能逐渐增大<sup>[18]</sup>。

## 4 结论

通过以上研究,本文得出了以下三个结论。

(1)易贡扎木弄沟泥石流的物源总量为  $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中滑坡物源量为  $0.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,崩塌物源量为  $2.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,沟岸崩滑体物源量为  $155.74 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,沟道堆积物物源量为  $80.40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。扎木弄沟 BH01 和 BH02 潜在崩滑体是今后特大滑坡型泥石流的主要物源,其方量分别为  $0.94 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $0.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2)在地震(地震烈度为Ⅷ度)和极端气候工况下,今后发生类似 2000 年的滑坡型泥石流有可能造成堵河。

(3)当堰塞湖水位快速升高时,堰塞坝的结构强度大幅度减小,随源头崩滑起动方量增大,堰塞坝溃决的风险有可能逐渐增大。

## 参考文献:

- [1] 黄润秋,裴向军,崔圣华. 大光包滑坡滑带岩体碎裂特征及其形成机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(1): 1-15.
- [2] 邢爱国,殷跃平,齐超,等. 高速远程滑坡气垫效应的风洞模拟试验研究[J]. 上海交通大学学报, 2012, 46(10): 1642-1646.
- [3] 康志成,李焯芬,马嵩乃,等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] Hu M J, Pan H L, Zhu C Q, et al. High-speed ring shear tests to study the motion and acceleration processes of the Yingong landslide[J]. Journal of Mountain Science, 2015, 12(6): 1534-1541.
- [5] Evans S G, Delaney K B. Characterization of the 2000 Yigong Zangbo River (Tibet) Landslide Dam and Impoundment by Remote Sensing[M]. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [6] Shang Y, Yang Z, Li L, et al. A super-large landslide in Tibet in 2000: background, occurrence, disaster, and origin[J]. Geomorphology, 2003, 54(3/4): 225-243.
- [7] Zhou J W, Cui P, Hao M H. Comprehensive analyses of the initiation and entrainment processes of the 2000 Yigong catastrophic landslide in Tibet, China[J]. Landslides, 2015, 13(1): 1-16.
- [8] 殷跃平. 西藏波密易贡高速巨型滑坡特征及减灾研究[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(4): 8-11.
- [9] Delaney K B, Evans S G. The 2000 Yigong landslide (Tibetan Plateau), rockslide-dammed lake and outburst flood: Review, remote sensing analysis, and process modelling[J]. Geomorphology, 2015, 246: 377-393.
- [10] 刘国权,鲁修元,李扬. 西藏易贡崩塌滑坡泥石流堆积体溃决分析[J]. 东北水利水电, 2001, 19(7): 26-27.
- [11] 年廷凯,张克利,刘红帅,等. 基于强度折减法的三维边坡稳定性与破坏机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(1): 178-185.
- [12] Guzzetti F, Ardizzone F, Cardinali M, et al. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2009, 279(3): 222-229.
- [13] Guzzetti F, Malamud B D, Turcotte D L, et al. Power-law correlations of landslide areas in central Italy[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 195(3): 169-183.
- [14] Ouyang C, He S, Xu Q, et al. A MacCormack-TVD finite difference method to simulate the mass flow in mountainous terrain with variable computational domain[J]. Computers & Geosciences, 2013, 52(1): 1-10.
- [15] 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): 433-454.
- [16] 殷跃平. 西藏波密易贡高速巨型滑坡概况[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(2): 100-103.
- [17] Wang Z. A thunder at the beginning of the 21st century-the giant Yigong landslide[J]. Landslides and Engineered Slopes, 2008, 2: 2111-2118.
- [18] 罗刚. 唐家山高速短程滑坡堵江及溃坝机制研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.

- 527; 1130 - 1141.
- [6] 王俊英. 福建省山洪灾害特征及其防治区划研究[J]. 中国水运(下半月), 2009, 9(2): 156 - 159.
- [7] 邱瑞田, 黄先龙, 褚明华, 等. 2015 年全国山洪灾害防治工作进展[J]. 中国防汛抗旱, 2016, 26(1): 41 - 44.
- [8] 米德才, 徐国琼, 秦礼文. 广西山洪灾害现状与成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 165 - 167.
- [9] 雷声. 江西省山洪灾害防治项目概述[J]. 江西水利科技, 2015, 41(3): 179 - 181, 185.
- [10] 谢彦. 江西省山洪灾害系统的特征以及区划防治的初步研究[J]. 河北农业科学, 2011, 15(12): 75 - 78.
- [11] 许小华, 何雯. 基于 DEM 的山洪灾害风险区划分研究[J]. 中国农村水利水电, 2015(10): 83 - 86, 95.
- [12] 杨培生. 铅山县山洪灾害成因分析与防治对策研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
- [13] 樊建勇, 单九生, 管琨, 等. 江西省小流域山洪灾害临界雨量计算分析[J]. 气象, 2012, 38(9): 1110 - 1114.
- [14] 江西省水文局. 江西省暴雨洪水查算手册(2010 版)[EB/OL]. (2013 - 04 - 19) [2015 - 07 - 16]. <http://www.bzfxw.com/soft/sort011/ShuiLi/168219063.html>.
- [15] 《江西地图集》编纂委员会. 江西省地图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 2008.
- [16] 中国科学院资源环境科学数据中心. 2010 年全国 GDP 空间分布公里网格数据[DB/OL]. <http://www.resdc.cn>.

## Risk Assessment and Zoning of Mountain Torrent Disaster Based on GIS in Jiangxi Province

FANG Xiuqin<sup>1</sup>, WANG Kai<sup>1</sup>, REN Liliang<sup>2</sup>, ZHANG Xiaoxiang<sup>1</sup> and FENG Li<sup>1</sup>  
 (1. College of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;  
 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,  
 Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the characteristics of mountain torrent disasters in Jiangxi Province and systematic theory of flood disaster, we selected 9 risk assessment factors to set up the index system of mountain torrent disaster according to the trigger factors of flood, underlying surface environment and characteristics of disaster-bearing body. Afterwards, we determined the weight of each factor by analytic hierarchy process (AHP). With the support of GIS technology, we made a quantitative analysis for mountain torrent disaster of Jiangxi Province and map the risk zoning. The survey data of historic mountain torrent disaster in Jiangxi Province were used to verify our quantitative analysis results. Result of verification showed that the accuracy of risk assessment of mountain torrent disaster is around 73%, which confirmed high reliability and applicability of the approach and risk assessment model used in this study. Based on the mapping of mountain torrent disaster risk assessment, statistical analyses were made according to different administrative areas, basins and morphologic regions, which are vital to the prevention and management of mountain torrent disaster in Jiangxi Province.

**Key words:** mountain torrent disaster; risk assessment; GIS technology; Analytic Hierarchy Process; Jiangxi Province

(上接第 84 页)

## Volume of Loose Materials and the Analysis of Possibility of Blocking and Dam Break Triggered by Debris Flows in Zhamunonggou

LI Jun<sup>1, 2</sup>, CHEN Ningsheng<sup>1</sup>, OUYANG Chaojun<sup>1</sup>, LI Aiguo<sup>3</sup> and ZUO Xilong<sup>3</sup>  
 (1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Process, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** The study of volume of loose materials and the possibility of blocking and dam break triggered by debris flow mobilization from landslides in Zhamunonggou has important scientific and engineering significance. Firstly, we get the total volume of source of debris flow based on the engineering geology analysis method and field investigation. Secondly, we estimated the deposition range and depth of future debris flow by three dimensional numerical simulations. Lastly, we get the possibility of debris flow blocking river and dam break by the analysis of deposition and material composition of the dam in 2000. The following conclusions are obtained through the study: (1) the total volume of loose materials of debris flow is  $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; (2) under the earthquake (seismic intensity is VIII degrees) and extreme climate conditions, debris flow mobilization from landslides similar to the 2000 incident are likely to cause blockage; (3) dam break risk may increase gradually with the starting volume increases.

**Key words:** debris flow mobilization from landslides; numerical simulation of blockage model; Zhamunonggou in Tibet; Sichuan Tibet railway; Yigong county of Bomi in Tibet