

# 不同出口山脚约束的泥石流淤埋实验研究<sup>\*</sup>

柳金峰<sup>1,2,3</sup>, 欧国强<sup>1,2</sup>, 游勇<sup>1,2</sup>, 吕娟<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院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·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**汶川8.0级地震后,在灾后重建的过程中,很多位于泥石流沟口堆积区的居民建筑、交通干线、临时设施等都不可避免会遭受到泥石流的威胁。不同泥石流沟堆积区两侧山脚的夹角都有所不同,其对泥石流在堆积区的淤埋情况也会有所影响。针对此种情况,开展了18组室内实验,探讨出口山脚约束对泥石流淤埋的影响。实验结果表明,随着约束程度的加大,泥石流扇状地的淤埋宽度随之减小,淤埋长度和厚度随之而增大,泥石流淤埋危险有向下游推进的趋势。

**关键词:**出口山脚约束;泥石流;淤埋;实验研究;汶川8.0级地震

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)03-0007-04

## 0 前言

汶川8.0级地震后,由于地震带来的大量崩塌、滑坡直接为泥石流活动提供了丰富的松散固体物质,并且地震造成大量坡体失稳和岩体破坏,使这些泥石流沟在今后较长一段时间内处于活跃期,泥石流暴发规模和频率将显著增加<sup>[1-2]</sup>。泥石流造成危害的主要方式之一的淤埋危害将严重威胁到灾区人民生命财产安全以及灾后重建过程中各项工程的安全。如2008年5月12日汶川8.0级地震发生后至5月19日,灾区就有近200名交通人员和灾区乘客在转运时被泥石流吞没<sup>[3]</sup>;2008年9月22-24日,地震灾区遭遇泥石流袭击,造成擂鼓镇麻柳湾村三组14人失踪,部分民众受伤<sup>[4]</sup>,泥石流还将麻柳湾村板房安置点的三排板房全部淤埋,一批基础设施被毁<sup>[5]</sup>。地震灾区灾后重建中,很多居民建筑、交通干线、临时设施等都位于泥石流沟口堆积区,其堆积区的各种约束条件都对泥石流造成的淤埋危害有一定的影响。本文通过室内模型实验,探讨泥石流出口后堆积区两侧山脚约束条件对淤埋的影响。

通过室内实验研究泥石流的淤埋堆积,国内外学者开展过很多的研究。高桥保讨论了坡度和

流路宽度均急剧变化时泥石流的堆积情况,提出了预测泥石流龙头到达距离和扇状地堆积坡度的计算公式<sup>[6]</sup>;刘希林通过模型试验,得到计算泥石流堆积范围的一系列回归公式<sup>[7]</sup>;谢正伦、蔡元芳利用一系列以各种不同试验条件下所形成的72个泥石流堆积扇和5处现场扇状地来探讨扇状地的堆积特征<sup>[8]</sup>;王裕宜通过小型水槽试验建立了堆积范围与下游流路坡度、泥石流流体浓度的关系式<sup>[9]</sup>。以上这些对泥石流淤埋堆积的实验研究都是将泥石流堆积区假设成无任何约束条件的平坦地形。实际上,在现实的自然界中,泥石流出口后,会受到堆积区两侧山脚的约束,这种约束会影响到泥石流淤埋危害的方式和程度。

## 1 实验设计

### 1.1 实验装置

实验装置包括3个部分(图1):料斗(长50 cm,宽40 cm,高85 cm),可装载泥石流约0.1 m<sup>3</sup>,与水槽固定连接,连接处通过闸门控制流量大小;流通区为长300 cm,宽20 cm,高30 cm的钢架水槽,侧面为玻璃以便于观测,坡度调节范围为0°~20°;堆积区为长300 cm,宽200 cm的平板,坡度可自由调节,板上以10 cm

<sup>\*</sup> 收稿日期:2009-02-02

基金项目:科技部973计划(2008CB425803);国家科技支撑计划(2006BAC10B04)

作者简介:柳金峰(1979-),男,安徽泾县人,博士研究生,助理研究员,主要从事山地灾害实验与防治工程研究。

E-mail: liujf@imde.ac.cn

为间隔标有 540 个方格以测定泥石流淤埋面积和淤埋厚度。

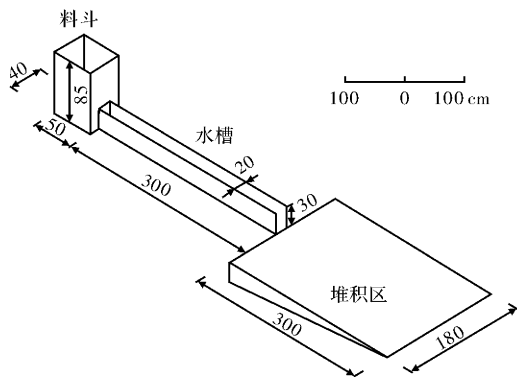


图 1 实验装置示意图

### 1.2 实验物料

实验物料采用中科院云南东川站采集回来的蒋家沟泥石流原样，取样时将粒径大于 10 mm 石块剔除。实验物料颗粒级配曲线见图 2。

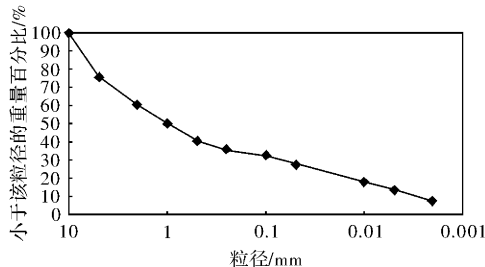


图 2 泥石流样品的颗粒级配

### 1.3 实验内容

模拟实验主要通过调节堆积区两侧山脚的夹角( $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ )来概化山脚约束对泥石流堆积的影响(图 3)。主要进行的模拟实验见表 2。

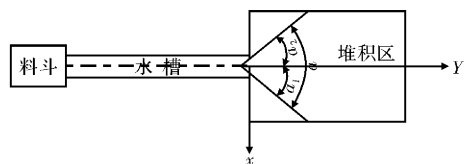


图 3 出山口约束条件模拟实验示意图

表 2 出山口约束条件下泥石流淤埋实验内容

实验组合	一次泥石流体积 /cm <sup>3</sup>	水槽坡度 /°	泥石流容重 /t/m <sup>3</sup>	堆积区坡度 /°	山脚夹角 $\alpha$ /°
1	30 000	12	2.0	3	$\alpha_1 = \alpha_2$ 30、60、90、120、150、180
2	25 000	12	2.0	3	$\alpha_1 \neq \alpha_2$ $\alpha_1 = 0、15、30、45、60、75, \alpha_2 = 15$
3	25 000	12	2.0	3	$\alpha_1 \neq \alpha_2$ $\alpha_1 = 0、15、30、45、60、75, \alpha_2 = 90$

## 2 主要实验结果分析

### 2.1 泥石流扇状地发展过程分析

下面以双侧对称约束条件( $a = 90^\circ$ )下的一次泥石流淤埋实验为例说明泥石流扇状地的发展过程(图 4)。

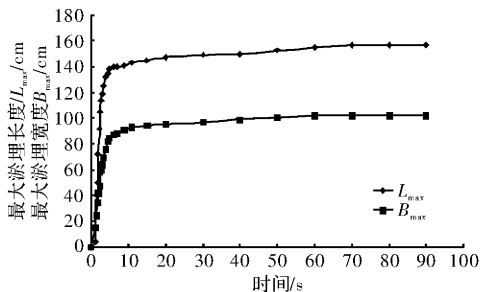


图 4 扇状地淤埋长度( $L_{\max}$ )、淤埋宽度( $B_{\max}$ )随时间变化图

图 4 根据在堆积平台上方所摄之录像解析而

来，从图中可以看出，在 0 ~ 6 s，最大淤埋长度的发展速度  $V_{L_{\max}} = 23.3 \text{ cm/s}$ ，最大淤埋宽度  $V_{B_{\max}} = 14.5 \text{ cm/s}$ ；在 7 ~ 70 s， $V_{L_{\max}} = 0.27 \text{ cm/s}$ ， $V_{B_{\max}} = 0.23 \text{ cm/s}$ 。结果表明：泥石流扇状地在发展初期的最大淤埋长度和宽度的增长速率非常快(0 ~ 6 s)，最大淤埋长度的发展速度快于宽度的发展速度，之后的增长速率降低很快，其发展速度非常缓慢(6 ~ 70 s)，在时间 70 s 以后，泥石流的运动完全停止。

### 2.2 双侧对称约束条件对泥石流淤埋的影响分析

实验目的是为了探讨不同的出山口山脚夹角(对称情况)对泥石流淤埋的影响。实验所用控制参数为：容重为  $2.0 \text{ g/cm}^3$ ，水槽坡度  $12^\circ$ ，堆积区坡度  $3^\circ$ ，泥石流用料  $30\,000 \text{ cm}^3$ 。实验共设计 6 次，分别为夹角  $30^\circ、60^\circ、90^\circ、120^\circ、150^\circ、180^\circ$ 。

选取 6 次实验的扇状地中轴线(图 3 中 Y 轴方向)的堆积数据，点绘成泥石流扇状地中轴方向的

纵断面图(图5)。从图中可以看出,随着山脚夹角的减小,也即随着约束程度的加大,扇状地的堆积厚度有增大的趋势,最大堆积长度也有线性增大的趋势(图6)。以多项式方法拟合纵断面曲线,如以  $\alpha = 60^\circ$  夹角为例,拟合公式为:

$y = -0.000\ 02x^2 + 0.010\ 5x + 28.713$ , 相关系数  $R^2 = 0.968\ 6$ 。

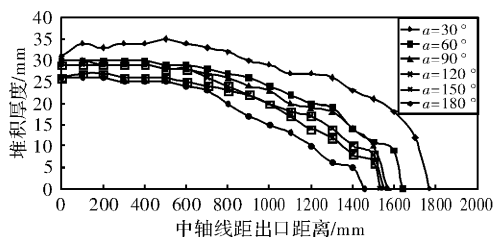


图5 泥石流扇状地中轴方向纵断面图

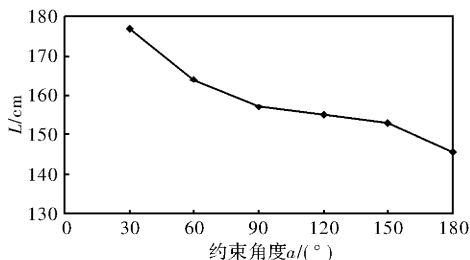


图6 最大堆积长度  $L_{\max}$  与约束角度关系图

拟合的相关性非常好。以此拟合其它纵断面,可以得出泥石流扇状地纵断面的曲线方程为一元二次方程,只是不同的夹角情况下,方程中的参数不同。

以同样的方法,选取6次实验的X轴方向最大堆积宽度处的堆积数据,点绘成泥石流扇状地的横断面图(图7)。从图7中可以看出,随着夹角的减小,也即随着约束程度的加大,泥石流扇状地堆积厚度有减小的趋势,最大堆积宽度有减小的趋势。以多项式方法拟合横断面曲线,如以  $\alpha = 60^\circ$  夹角为例,拟合公式为:

$y = -0.000\ 08x^2 - 0.004\ 4x + 25.078$ , 相关系数  $R^2 = 0.923\ 3$ 。

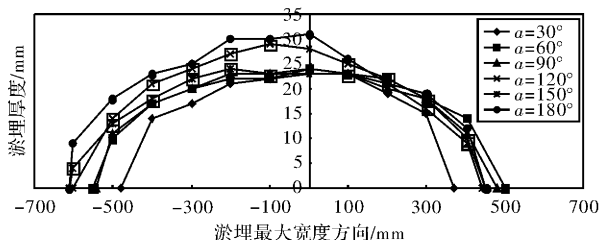


图7 泥石流扇状地最大堆积宽度处的横断面图

拟合的相关性非常好。以此拟合其它横断面,可以得出泥石流扇状地横断面的曲线方程为一元二次方程,只是不同的夹角情况下,方程中的参数不同。

以6次实验所得出等高线中的20 mm等高线进行分析比较(图8),从图8中可以看出,随着约束角度的减小,也即随着约束程度的加大,等高线有往下游推进的趋势,也就是说,随着约束程度的加大,泥石流扇状地的淤埋厚度有往下游推进的趋势。

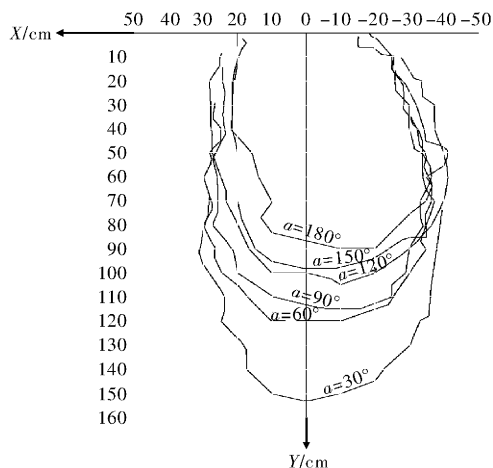


图8 6次实验等高线=20 mm比较

实验还探讨了双侧不对称约束条件和单侧约束条件对泥石流淤埋的影响,通过分析比较,分析项目的变化趋势与双侧对称约束条件下的情况基本相同,在此不再详述。

### 3 结论

(1) 堆积区条件有无约束情况下,泥石流淤埋危险情况有明显差异,泥石流淤埋长度:有约束 > 无约束;淤埋宽度:有约束 < 无约束;淤埋厚度:有约束 > 无约束。

(2) 泥石流扇状地的发展过程:淤埋长度的发展速度快于宽度的发展速度,长度、宽度的发展速度都是先快后慢,最后趋于稳定。

(3) 通过对泥石流扇状地淤埋纵横断面的分析表明,泥石流扇状地堆积纵断面和横断面都为一元二次曲线。

(4) 随着约束程度的加大,泥石流扇状地的淤埋长度和厚度随之增大,淤埋宽度随之减小。因此,泥石流淤埋危险随泥石流堆积区约束的增大而往下游推进。

### 参考文献:

- [1] 崔鹏, 韦方强, 陈晓清, 等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J]. 中国科学院院刊, 2008, 23(4): 317-323.
- [2] 崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. 5·12汶川地震诱发的山地灾

- 害及减灾措施[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 280-282.
- [3] 长江日报. 去灾区路上, 泥石流吞没 200 人[EB/OL]. [http://cjmp.cnhan.com/whcb/html/2008-05/20/content\\_336592.htm](http://cjmp.cnhan.com/whcb/html/2008-05/20/content_336592.htm)
- [4] 中国新闻网. 地震灾区北川县遭暴雨泥石流袭击 14 人失踪[EB/OL]. [http://news.china.com/zh\\_cn/domestic/945/20080924/15104553.html](http://news.china.com/zh_cn/domestic/945/20080924/15104553.html)
- [5] 四川新闻网. 北川灾情惨重, 洪涝冲毁安置板房[EB/OL]. <http://my.newssc.org/system/2008/09/25/011141123.shtml>
- [6] Tamotsu Takahashi. Debris flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures [M]. Netherlands: Taylor & Francis, 2007.
- [7] 刘希林, 张松林, 唐川, 等. 泥石流危险范围模型试验[J]. 地理研究, 1993, 12(2): 77-85.
- [8] 蔡元芳, 谢正伦. 土石流扇状地几何相似特性之试验与数值研究[J]. 中国工程学报, 1997, 20(6): 629-642.
- [9] 王裕宜. 山区泥石流防治中堆积坡度预测模式的试验研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(4): 58-67.

## An Experimental Study on Debris Flow Silting and Burying Damage under Condition of Mountain Foot Constraint

Liu Jinfeng<sup>1,2,3</sup>, Ou Guoqiang<sup>1,2</sup>, You Yong<sup>1,2</sup> and Lü Juan<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Process and Hazards, CAS, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 3. Graduate University, CAS, Beijing 100049, China)

**Abstract:** During the period of the reconstruction after the M8.0 Wenchuan earthquake, many residential buildings, main roads, temporary facilities, etc. in the debris flow accumulation areas are inevitably threatened by debris flows. Different angles of the mountain bottom in different debris flow accumulation areas have different influences on silting and burying situations in the accumulation areas caused by debris flows. Eighteen laboratory experiments are carried out accordingly to study the influence of mountain pass constraints at the foot of the mountain on debris flow silting and burying situations. It is shown that, with intensification of the constraint, the silting and burying width decreases while the silting and burying length and thickness increase in the debris flow fan-shaped area. So it shows a tendency of downstream extending of debris flow silting and burying.

**Key words:** mountain bottom constraint; debris flow; silting and burying damage; experimental study

### 欢迎订阅 2010 年《灾害学》杂志

随着《灾害学》杂志内在质量的不断提高和社会知名度的不断扩大, 其订户日益增多, 稿源日益丰富。为了满足广大读者和作者的心愿, 尽可能多地刊发高质量的稿件, 本刊已从 2007 年起, 改为大 16 开, 增加到 144 个页码。改版扩容后的《灾害学》杂志仍为季刊, 每季末月 20 日出版, 80 克胶印纸印刷, 彩色插图, 国内统一刊号: CN61-1097/P。

《灾害学》杂志 2010 年定价每期仍为 12.5 元, 全年 50 元(含邮费)。另外, 编辑部还存有少量 1988-1990 年、1994-2008 年的各年的精装合订本, 每册定价 60 元。

《灾害学》杂志编辑部热忱欢迎广大读者和作者订阅该刊。订阅方式有:

(1) 通过邮局直接汇款至编辑部, 即: 西安市边家村水文巷 4 号灾害学杂志编辑部, 邮编: 710068。

(2) 通过银行转帐, 单位: 灾害学杂志编辑部; 帐号: 3700023109014486285; 开户行: 工行西安市含光路支行。

款到后即寄杂志(需要正式发票请在汇款时注明要发票)。需要征订单来函或来电即寄。

编辑部电话: 029-88465341

E-mail: zhx@eqsn.gov.cn

zhx02988465341@163.com