

方群生, 唐川. 汶川8.0级地震震区溃决型和一般型泥石流冲出量研究[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 66-71. [ Fang Qun-sheng and Tang Chuan. Study on Run-out Amount of Break and General Debris Flows in Wenchuan Earthquake Area[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 66-71. ]

## 汶川8.0级地震震区溃决型和一般型泥石流冲出量研究<sup>\*</sup>

方群生, 唐川

(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, 四川 成都 610059)

**摘要:** 汶川8.0级地震后, 震区在强降雨作用下不仅诱发形成大量的一般暴雨型泥石流灾害, 还诱发形成危害性更大的溃决型泥石流。通过泥石流勘查应急报告和野外实地调查, 核实选取了汶川震区9条溃决型泥石流沟和34条一般型泥石流沟冲出量的相关参数作为样本数据, 先对汶川震区溃决型泥石流的特征进行分析总结, 其次对比分析汶川震区溃决型泥石流与一般型泥石流冲出量的特点及其是否堵江的原因, 结果表明溃决型泥石流冲出量较一般型泥石流要大出几十倍, 且比一般型泥石流更易造成堵江。最后建立一般型泥石流冲出量多因子统计预测模型, 提高了一般型泥石流冲出量普遍预测模型的精度, 验证显示该预测模型对汶川震区一般型泥石流冲出量的预测具有科学有效性。研究结果为进一步深入研究震区溃决型泥石流提供理论依据, 也为震后灾区一般型泥石流的减灾防灾工程设计提供计算方法。

**关键词:** 汶川震区; 溃决型; 一般型; 泥石流; 冲出量

**中图分类号:** X43; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)01-0066-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.01.014

汶川8.0级地震后, 震区的滑坡、崩塌、泥石流等山地灾害异常强烈<sup>[1]</sup>。地震后灾区暴雨泥石流将进入一个新的活跃期, 泥石流活动在未来的5~10年会是震区内最主要的地质灾害之一<sup>[2]</sup>。2010年8月12-14日, 汶川县部分地区降暴雨, 局部地区降大暴雨, 致使汶川县映秀镇和都江堰市龙池镇均发生了群发性泥石流, 给灾区人民生命和财产带来了惨重的损失<sup>[3-4]</sup>。2013年7月6-10日, 汶川县普降特大暴雨, 历时近5 d。特大暴雨在汶川县城周边、国道G213及省道S210沿线诱发形成大量地质灾害。泥石流流域内的大量松散固体物质在震后4个雨季强降雨的激发作用下启动形成溃决型泥石流和一般暴雨型泥石流, 致使震区泥石流危险性范围进一步扩大。震区泥石流沟道内堆积了大量由地震触发的崩滑物质, 极易形成天然堵塞坝。在降雨径流与上游水流的不断侵蚀冲刷作用下, 此类沟道内的天然堵塞体很容易发生失稳溃决, 对沟道形成高强度洪水冲蚀, 从而形成冲出规模大、成灾快及破坏力强的溃决型泥石流。此类泥石流若发育于河流两岸发育则

极易造成堵江灾害链, 其导致的灾害损失严重程度要比一般的暴雨型泥石流大<sup>[5]</sup>。大量研究也表明, 在同一流域下, 震区泥石流暴发规模较震前要大数倍<sup>[6-8]</sup>。

因此, 本文通过泥石流勘查应急报告及实际野外调查, 选取了汶川震区9条溃决型泥石流和34条一般暴雨型泥石流的相关参数作为样本数据, 对比分析汶川震区溃决型泥石流与一般型泥石流冲出量的特点及其是否堵江的原因, 结果表明溃决型泥石流冲出量较一般型泥石流要大出几十倍, 且比一般型泥石流更易造成堵江。这为进一步深入研究震区溃决型泥石流, 以及为更有效地进行泥石流的风险评估、预警预报、工程治理提供理论依据。同时, 本文还对汶川震区34条一般暴雨型泥石流冲出量和流域内的总物源量、流域面积、流域纵向长度、流域高差进行回归判别, 建立泥石流冲出量多因子统计预测模型, 验证结果显示, 所建立的预测模型有效, 这为震后灾区一般型泥石流的减灾防灾工程设计提供计算方法, 同时采用较多的因子判别泥石流的冲出量, 提高了冲出

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2015-05-18 修回日期: 2015-07-08

基金项目: 科技基础性工作专项(2011FY110100-3); 国家重点实验室团队项目(SKLCGP2012Z002)

作者简介: 方群生(1988-), 男, 广东揭阳人, 硕士研究生, 主要从事环境地质和地质灾害方向研究. E-mail: fqshjdz@163.com

通讯作者: 唐川(1961-), 男, 安徽合肥人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事地质灾害、地貌学、工程地质研究.

E-mail: tange@cdut.edu.cn

量普遍预测模型的精度。

## 1 研究区溃决型泥石流特征

泥石流堵塞坝的溃决方式对溃决过程和溃决洪水的特征具有直接决定作用, 由坝体堆积物的泥沙运动特征出发, 可将堵塞坝溃决模式分为冲刷溃决、有表面流的泥石流堆积体水力再启动、没有表面流的泥石流堆积体重力再启动三种基本模式<sup>[9]</sup>。汶川地震后, 我国境内溃决型泥石流的分布和类型均发生了变化。在强降雨作用下, 汶川震区有些泥石流沟道内形成的大型堵塞体很容易激发形成规模庞大、危害高的溃决型泥石流, 这打破了汶川地震前大多分布在新疆和西藏地区的多为冰湖溃决型泥石流的布局<sup>[10]</sup>。笔者通过对汶川震区泥石流的多次野外实际调查发现, 汶川地震触发的大量山体崩滑体堆积于沟道, 极易形成天然堵塞体。溃决型泥石流是由形成堰塞湖的滑坡坝、终碛堤溃决和地震作用、水流不断冲刷、堤坝自身不稳定性引起的各种拦水堤坝溃决, 而引发了突发性高强度洪水冲蚀的泥石流<sup>[11]</sup>。

汶川震区溃决型泥石流活动在泥石流容重、流量或流速、冲击力三个表征其特征的重要指标上较一般型泥石流均发生了变化。容重是泥石流最基本的物理指标, 它反映了泥石流的成因类型; 流速和流量是研究泥石流动力过程的关键因子, 它反映了流域的产汇过程; 泥石流冲击力是揭示泥石流动力性质的重要参数, 它包括泥沙浆体的整体冲压力和大石块的冲击力<sup>[12]</sup>。通过野外调查及相关研究分析发现, 映秀镇红椿沟泥石流在流通区内的容重、流量与流速, 以及泥石流流体整体冲压力三个重要指标在泥石流运动过程中具有同步增长现象, 同时发现支沟甘溪铺沟沟口附近的增幅最大。原因是该支沟沟口附近的崩塌滑坡等大量松散物源堵塞沟道, 堵塞体被上游流水不断地冲刷侵蚀, 最后发生溃决。泥石流沟道内典型的堵溃情况如图 1 所示。由于溃决型泥石流发生溃决的突发性及一次性携带的松散固体物质量较大, 因此其冲出方量也是巨大的, 据统计此次红椿沟的冲出方量就达到了 80.5 万  $\text{m}^3$ , 巨大的冲出方量经沟口堆积扇直接冲入岷江, 从而致使岷江受堵, 大大增加了泥石流的危害性<sup>[13]</sup>。

总结相关研究和野外调查分析结果得到, 对汶川震区溃决型泥石流沟道内的堵塞体溃决起关键作用的是降雨径流和沟道上游流水不断侵蚀冲刷。这类泥石流具有的基本特征主要包括以下几点: 泥石流沟道内堵塞体的失稳形式以漫顶破坏模式为主; 泥石流容重较一般型泥石流存在显著



图1 红椿沟泥石流典型堵溃点

增加现象, 原因是堵塞体溃决时造成的; 泥石流流量由于沟道内堵塞体溃决的存在, 而在流通区内沿途会出现暴涨暴落现象, 流量也会明显放大, 有时甚至会在断面达到某个极值; 堵塞体的拦截致使沟道内物质的势能增加了几倍, 从而也使流体动能相应增大了几倍, 这样便直接导致溃决型泥石流的冲击力较一般型泥石流要大出几个级数。由于堵塞体溃决的突发性、高强度以及一次冲出松散固体物质方量巨大, 因此更容易形成破坏力较强、危害性较大、堵江性较高的灾害。

## 2 建立泥石流冲出量模型

泥石流冲出量是指泥石流沟在水条件、物源条件及地形条件三大决定性因素具备时, 其沟道内的大量松散固体物质冲出沟口的所有物质方量。溃决型泥石流较一般型泥石流有其特殊的形成过程, 由于溃决型泥石流沟道内堵塞体的作用, 使其冲出量要比一般型泥石流大很多。通过四川省地震灾区泥石流详细应急勘察报告和野外实际调查复核, 本文从中选取了强震后且经过 2010 年的“8·13”和 2013 年的“7·10”强降雨后的汶川震区 9 条溃决型泥石流和 34 条一般暴雨型泥石流及与冲出量有关的泥石流参数作为样本数据对震区这两种类型泥石流进行分析(表 1、表 2)。

表 1 汶川震区 34 条一般型泥石流基本参数

沟名	流域面积 $A/\text{km}^2$	流域纵向 长度 $L/\text{km}$	流域高差 $H/\text{km}$	总物源量 $W/\text{万 m}^3$	冲出量 $V_{\text{out}}/\text{万 m}^3$	最大冲出 长度 $L_f/\text{km}$	最大冲出 宽度 $B_f/\text{km}$	时间	堵江情况
豆芽坪沟	2.73	2.57	1.74	296	2	0.15	0.17	2010.8.13	未堵江
麻羊站沟	2.02	2.59	1.82	501	2.2	0.18	0.14	2010.8.13	未堵江
麻柳湾沟	0.55	1.3	1.12	72	0.8	0.09	0.07	2010.8.13	未堵江
大沟	1.03	2.02	0.9	45	1.2	0.09	0.09	2010.8.13	未堵江
大槽头	3.99	3.78	1.54	65	0.7	0.13	0.09	2010.8.13	未堵江
皂角湾沟	2.88	2.4	1.71	435	1.1	0.1	0.14	2010.8.13	未堵江
兴文坪大沟	1.71	2.44	2.02	278	4.3	0.18	0.2	2010.8.13	未堵江
苏坡店沟	2.81	2.74	1.44	238	0.6	0.15	0.07	2010.8.13	未堵江
毛家湾沟	0.53	1.3	1.12	102	0.5	0.08	0.06	2010.8.13	未堵江
斑鸠岗 1#沟	0.56	1.35	0.4	51	0.225	0.05	0.05	2010.8.13	未堵江
白岩沟	1.54	2.14	0.82	173	1.512	0.12	0.06	2010.8.13	未堵江
猪槽沟	2.43	2.58	1.38	213	1.68	0.1	0.08	2010.8.13	未堵江
漆树坪沟	1	1.95	0.94	71	0.96	0.3	0.2	2010.8.13	未堵江
冷浸沟	2.42	2.36	1.04	247	2.52	0.08	0.05	2010.8.13	未堵江
椿芽树沟	0.56	1.71	0.88	121	0.576	0.12	0.05	2010.8.13	未堵江
孙家沟	1.45	2.45	1.1	242	3.12	0.08	0.06	2010.8.13	未堵江
纸厂沟	2.78	3.01	1.36	224	2.7	0.16	0.07	2010.8.13	未堵江
木瓜园沟	0.64	1.47	0.78	37	0.2	0.13	0.1	2010.8.13	未堵江
碱坪沟	3.43	2.82	1.02	315	3.15	0.08	0.03	2010.8.13	未堵江
麻柳槽沟	0.94	1.93	0.92	98	0.45	0.15	0.05	2010.8.13	未堵江
水鸠坪沟	2.8	2.57	1.08	98	0.576	0.03	0.05	2010.8.13	未堵江
麻柳沟	0.98	1.95	0.96	134	0.72	0.08	0.04	2010.8.13	未堵江
公家沟	0.51	1.62	0.7	43	0.27	0.06	0.04	2010.8.13	未堵江
王家沟	3.57	3.08	0.92	109	0.54	0.05	0.03	2010.8.13	未堵江
新桥沟	14.3	3.93	0.85	70.52	1.52	0.06	0.05	2010.8.13	未堵江
一碗水沟	7.18	4.82	2.48	1633	11.52	0.24	0.2	2010.8.13	未堵江
彻底关沟	16.49	6.2	2.38	742.679	12.9	0.84	0.5	2011.7.20	未堵江
银杏坪沟	7.16	4.32	1.94	242.55	2	0.01	0.03	2011.7.03	未堵江
清水沟北侧	0.9	1.8	1.18	19.5	0.56	0.06	0.045	2011.7.03	未堵江
苏村沟	5.79	3.8	2.28	33.996	1.9	0.5	0.05	2013.7.10	未堵江
羊岭沟	7.95	5.5	2.12	347.17	2	0.475	0.065	2013.7.10	未堵江
福堂沟	1.12	1.8	1.30	47.85	4.36	0.06	0.25	2013.7.10	未堵江
桃关沟	50.86	14.2	2.84	1 668.6	14	4	0.13	2013.7.10	未堵江
幸福沟	33	8.6	2.62	1 192.3	17	1.4	0.5	2013.7.10	未堵江

注：数据部分来自文献[14]和实地调查核实，部分来自四川省震区泥石流应急勘查报告和实地调查核实。

表 2 汶川震区 9 条溃决型泥石流参数

沟名	流域面积 $A/\text{km}^2$	流域纵向 长度 $L/\text{km}$	流域高差 $H/\text{km}$	总物源量 $W/\text{万 m}^3$	冲出量 $V_{\text{out}}/\text{万 m}^3$	最大冲出 长度 $L_f/\text{km}$	最大冲出 宽度 $B_f/\text{km}$	时间	堵江情况
王一庙	0.51	1.39	1.00	173.00	10.40	0.22	0.19	2010.8.13	全堵江
红椿沟	5.35	3.60	1.29	380.01	80.50	0.90	0.20	2010.8.13	全堵江
牛圈沟	10.70	5.40	1.84	763.41	4.00	0.10	0.16	2010.8.14	全堵江
映秀磨子沟	5.32	3.65	1.62	378.21	15.80	0.10	0.20	2010.8.14	全堵江
高家沟	3.79	3.26	1.76	271.87	42.78	0.50	0.35	2011.7.03	全堵江
华溪沟	10.39	5.51	1.90	1227.04	48.99	0.55	0.22	2013.7.10	全堵江
高点村 1 组瓦窑沟	1.21	2.78	1.80	140.61	22.00	0.69	0.19	2013.7.10	未堵江
草坡磨子沟	7.40	4.80	2.04	647.48	41.75	0.15	0.17	2013.7.10	全堵江
七盘沟	54.20	15.10	2.90	2180.57	78.20	3.30	0.27	2013.7.11	全堵江

注：数据部分来自文献[14]和实地调查核实，部分来自四川省震区泥石流应急勘查报告和实地调查核实。



## 2.1 溃决型泥石流冲出量特点

溃决型泥石流是一种具有成灾快、规模大、破坏力强特点的特殊泥石流, 其主要分布于地震区和冰川地区。据表 1 和表 2 中的统计数据显示, 一般型泥石流未发生堵江情况, 而在溃决型泥石流样本中却有 89% 条由于一次性冲出量规模巨大, 冲出物质在河流中形成堰塞体从而堵塞河流(图 2)。在相似地质环境与流域环境下, 且流域面积、流域纵向长度、流域高差等地形地貌特征相近条件下, 溃决型泥石流的总物源量和最大冲出宽度与一般型泥石流的差异不大, 有时一般型泥石流可能冲出范围还较大些, 这说明地形地貌等流域特征对泥石流冲出量是否堵江起不到绝对影响作用。其中不难发现泥石流总物源量及冲出量才是泥石流是否堵江的关键因子, 溃决型泥石流一次性冲出量规模大, 冲出物质进入河流的容量就大, 而河流在一定范围内的携带物质量有限, 因此剩下的冲出物质量巨大, 就会很容易堆积于河流中, 一下子将河流堵塞。一般型泥石流冲出量相对而言要比溃决型泥石流小的多, 故即使冲出物质能冲入河流, 也会因为量小而被河流流水携带到下游, 无法形成堰塞体堵塞河道。



图 2 典型的溃决型泥石流冲出量特征

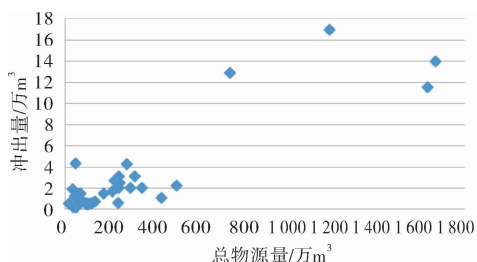


图 3 一般型泥石流冲出量与总物源量散点图

由表 1 和图 3 可看出, 一般型泥石流的总物源量集中于 0~600 万  $\text{m}^3$ , 占样本数据的 88%, 总物源量超过 600 万  $\text{m}^3$  的极少, 仅占样本数据的 12%。同时泥石流冲出量的分布特点与总物源量一致, 集中于 0~6 万  $\text{m}^3$ , 占样本数据的 88%, 总物源量超过 10 万  $\text{m}^3$  的极少, 仅占样本数据的 12%。这说明冲出量与总物源量有密切的关系, 泥石流流域内总物源量的多少直接影响冲出量的大小。

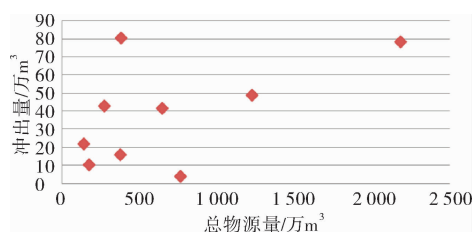


图 4 溃决型泥石流冲出量与总物源量散点图

由表 2 和图 4 可看出, 溃决型泥石流的总物源量最小为 140.61 万  $\text{m}^3$ , 0~600 万  $\text{m}^3$  的占样本数据的 56%, 超过 600 万  $\text{m}^3$  的占样本数据的 44%。而泥石流冲出量小于 10 万  $\text{m}^3$  的只有一个, 超过 10 万  $\text{m}^3$  的有 8 个, 占样本数据的 89%。对比表 1 和图 3, 可知溃决型泥石流流域内的总物源量总体要比一般型泥石流丰富, 同时泥石流冲出量比一般型泥石流大几十倍。

## 2.2 建立一般型泥石流冲出量模型

一般型泥石流冲出量与溃决型泥石流冲出量存在很大差异, 因此在建立汶川震区泥石流冲出量模型时, 应将溃决型泥石流剔除, 以往所建立的汶川震区泥石流冲出量模型对该因素考虑不足, 将溃决型泥石流也包括于模型中, 其模型已不能适应于震区泥石流冲出量的预测。建立预测模型所考虑的相关因子越多, 说明模型的有效性、科学性及其可靠性越好, 本模型将影响一般型泥石流冲出量的关键因子都考虑在内。本文选取了研究区汶川内的 34 条一般型泥石流流域内的流域面积、沟道纵向长度、总物源量、流域高差作为样本数据进行分析建立回归方程, 利用统计学中的非线性回归方法, 建立多因子统计模型, 利用统计软件 Matlab 编写程序, 对研究区内一般型泥石流冲出量进行回归判别, 总结出冲出量的曲线(图 5)和拟合函数关系式:

$$V_{\text{out}} = 0.306 \cdot [(H \cdot W)^{0.274} + 0.043 \cdot A^{1.002} - 0.206 \cdot L]^2 - 1.503[(H \cdot W)^{0.274} + 0.043 \cdot A^{1.002} - 0.206 \cdot L] + 2.689. \quad (1)$$

式中:  $V_{\text{out}}$  表示泥石流冲出量, 万  $\text{m}^3$ ;  $H$  表示流域高差, km;  $W$  表示流域内总物源量, 万  $\text{m}^3$ ;  $A$  表示流域面积,  $\text{km}^2$ ;  $L$  表示流域纵向长度, km。经检验其复相关性系数的平方  $R^2 = 0.836$ , 复相关系数是检验回归方程相关性的重要参数,  $R$  值介于

表 3 验证区 7 条一般型泥石流参数

沟名	流域面积/ km <sup>2</sup>	纵向长 度/km	流域高 差/km	总物源量/ 万 m <sup>3</sup>	冲出量/ 万 m <sup>3</sup>	时间	堵江情况
黑滩子沟	1.27	3.12	1.14	407	1.26	2010.8.13	未堵江
刘瘸子沟	0.66	2.43	1.02	278	2.71	2010.8.13	未堵江
雍家沟	2.51	3.64	1.38	495	4.41	2010.8.13	未堵江
簸箕沟	0.51	0.75	0.62	18	0.65	2010.8.13	未堵江
蒲家沟	0.85	1.19	0.8	102	0.58	2010.8.13	未堵江
麻柳湾沟	1.01	1.68	0.8	115	1.4	2010.8.13	未堵江
蔺家沟	1.27	2.56	0.76	141	0.96	2010.8.13	未堵江

注：数据部分来自文献[14]和实地调查核实，部分来自四川省震区泥石流应急勘查报告和实地调查核实。

0、1 之间，当  $R$  值越接近 1 时表明回归效果越好。式(1)的  $R = 0.914$ ，表明泥石流冲出量和流域高差、总物源量、流域面积、流域纵向长度回归效果显著，可将其作为预测泥石流冲出量的影响因子。

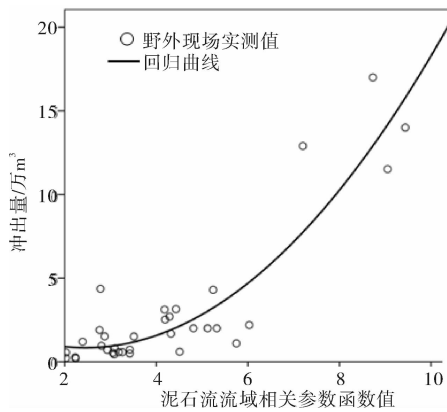


图 5 一般型泥石流冲出量与泥石流流域相关参数函数值相关性统计图

### 3 验证一般型泥石流冲出量模型

为了验证所建立的一般型泥石流冲出量预测模型的有效性，本文另外选择北川震区的 7 条泥石流沟进行验证，泥石流分布在汶川地震作用区，与模型样本数据的泥石流有着相似的流域环境背景和地质环境背景，且泥石流的发育背景和暴发机理相同，验证结果表明了预测模型的可靠性，其基本参数见表 3。

此次选择与一般型泥石流冲出量相关性较好的流域高差、总物源量、流域面积、流域纵向长度作为预测泥石流冲出量的推导因子，将已建立的泥石流冲出量预测模型即式(1)对验证区的 7 条一般型泥石流冲出量进行计算，得到预测的泥石流冲出量(表 4)。利用预测值与实测值的差值和实测值作比值得到了误差率。由表 4 的计算结果可看出，泥石流冲出量的预测值比实测值出现了偏大和偏小的情况(图 6)，预测值分布比较均衡，相对误差为  $-22.63\% \sim 46.60\%$  之间，与其他相关经验模型相比，其误差范围是可以接受的<sup>[7,14-15]</sup>。预测结果与实际情况相对而言比较吻合，说明一

般型泥石流冲出量的预测模型可以有效地对研究区或与研究区流域环境地质背景相似的地区的一般型泥石流冲出量进行初步预测。

表 4 验证区 7 条一般型泥石流冲出量预测模型误差统计表

编号	冲出量 $V_{out}/\text{万 m}^3$			
	实测值	预测值	残差	误差/%
黑滩子沟	1.26	1.60	0.34	26.94
刘瘸子沟	2.71	2.25	-0.47	-17.17
雍家沟	4.41	4.01	-0.40	-9.05
簸箕沟	0.65	0.93	0.28	43.53
蒲家沟	0.58	0.84	0.27	46.60
麻柳湾沟	1.40	1.08	-0.32	-22.63
蔺家沟	0.96	0.98	0.02	2.20

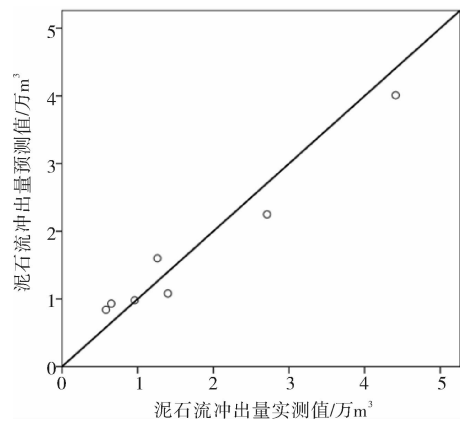


图 6 验证区一般型泥石流冲出量残差分布

### 4 结论

本文通过泥石流勘查应急报告和野外实地调查核实选取了汶川震区 9 条溃决型泥石流沟和 34 条一般型泥石流沟冲出量的相关参数作为样本数据，先对汶川震区溃决型泥石流的特征进行分析总结及利用影响其冲出规模的相关参数初步分析溃决型泥石流较一般型泥石流在冲出量特点上的异同。其次对 34 条一般型泥石流冲出量和流域总物源量、纵向长度、流域面积、流域高差进行回归分析，从而建立一般型泥石流冲出量多因子统计预测模型，验证显示该预测模型对于汶川震区一般型泥石流冲出量的预测具科学有效性。

(1) 溃决型泥石流容重较一般型泥石流存在显著增加的现象, 沟道内堵塞体的失稳形式以漫顶破坏模式为主, 泥石流流量在流通区内沿途出现了暴涨暴落现象, 泥石流的冲击力较一般型泥石流要大出几个级数。由于堵塞体溃决的突发性、高强度以及一次冲出松散固体物质方量巨大, 因此更容易形成破坏力较强、危害性较大、堵江性较高的灾害。溃决型泥石流比一般型泥石流发生堵江概率更大。流域面积、流域纵向长度、流域高差等流域特征对溃决型泥石流和一般型泥石流冲出量是否堵江起不到决定性作用, 而泥石流总物源量及冲出量才是泥石流是否堵江的关键性因子。

(2) 由于溃决型泥石流形成、运动和堆积过程较一般型泥石流复杂, 目前对溃决型泥石流冲出量计算模型存在不足之处, 例如样本较少, 机理复杂, 仅统计模型是不足的, 应该只有建立基于机理的模型才能比较科学地计算其冲出量, 因此对其启动条件、运动规律和冲出特征等机理还需进行更充分的研究, 这样才能更有效地进行溃决型泥石流冲出量计算模型研究。

(3) 基于前人对泥石流冲出量的研究, 本文进一步完善了冲出量模型的相关参数, 运用统计学模型理论, 采用 Matlab 软件对流域总物源量、纵向长度、流域面积、流域高差四个影响因子与泥石流冲出量进行多因子回归分析, 建立一般型泥石流冲出量多因子统计预测模型, 使预测模型的精度更加高。检验结果显示, 本模型可以利用较其他经验模型精确度较高的模型对研究区一般型泥石流冲出量进行预测, 利用该模型得到的绝对误差在允许范围内, 这证明了该模型对研究区或与研究区流域环境地质背景相似的地区的一般型泥石流冲出量的预测是有效的。

## 参考文献:

- [1] 唐川, 丁军, 齐信. 汶川地震高烈度区暴雨滑坡活动的遥感动态分析[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2010, 35(2): 317-323.
- [2] Tang C, Zhu J, Li W L. Rainfall triggered debris flows after Wenchuan earthquake[J]. Bull Eng Geol Environ, 2009, 20(9): 187-194.
- [3] 刘洋, 唐川, 李为乐, 等. 四川省都江堰市龙池地区群发性泥石流源敏感性分析[J]. 灾害学, 2013, 28(2): 107-113.
- [4] 马煜, 余斌, 李彩侠, 等. 汶川强震区群发性泥石流特征研究—以四川省都江堰龙池“8·13”群发泥石流为例[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 218-222.
- [5] 柳金峰, 游勇, 陈兴长. 震后堵溃泥石流的特征及防治对策研究—以四川省平武县唐房沟为例[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(5): 68-75.
- [6] Chuan Tang, Jing Zhu, Jun Ding, et al. Catastrophic debris flows triggered by a 14 August 2010 rainfall at the epicenter of the Wenchuan earthquake[J]. Landslides, 2011, 2(11): 69-74.
- [7] 朱静, 常鸣, 丁军, 等. 汶川震区暴雨泥石流危险范围预测研究[J]. 工程地质学报, 2012, 20(1): 7-11.
- [8] 胡凯衡, 崔鹏, 游勇, 等. 物源条件对震后泥石流发展影响的初步分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(1): 1-5.
- [9] 党超, 程尊兰, 刘晶晶, 等. 泥石流堵塞坝溃决模式实验[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 15-19.
- [10] 王欣, 刘世银. 冰碛湖溃决灾害研究进展[J]. 冰川冻土, 2007, 29(4): 629-630.
- [11] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0220-2006 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [12] 乐茂华. 强震区溃决型泥石流动力过程模拟及特征研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [13] 甘建军, 孙海燕, 黄润秋, 等. 汶川县映秀镇红椿沟特大型泥石流形成机制及堵江机理研究[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 5-9.
- [14] 丁军. 强震区泥石流活动规模与最大堆积长度预测研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [15] Chuan Tang, Jing Zhu, Ming Chang, et al. An empirical statistical model for predicting debris-flow runout zones in the Wenchuan earthquake area[J]. Quaternary International, 2010, 20(11): 63-73.

## Study on Run-out Amount of Break and General Debris Flows in Wenchuan Earthquake Area

Fang Qunsheng and Tang Chuan

(State Key Laboratory for Geo-Hazard Prevention and Geo-Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** A large number of general debris flows were triggered by rainstorm in the seismic area after Wenchuan earthquake. Meanwhile, bam-break debris flows were triggered by rainstorm. Therefore, we select the investigation data from the report of emergency exploration for debris flow in the seismic area and field investigation which conduct 34 common debris flow gullies and 9 break debris flow gullies. Firstly, we analyze and summarize the characteristics of break debris flow in Wenchuan earthquake area. Secondly, break debris flow is easier to block the river than general debris flow, because the run-out amount of break debris flow is several times larger than the common debris flow. Finally, applying the multivariate regression analysis, a multiple-factor and regression-statistical model which has been improved the accuracy of the runout volume is established to estimate the run-out volume of the common debris flow. The validation shows that the new model is suitable for predicting the run-out volume of the common debris flow in Wenchuan earthquake areas. The results of the study not only provides more effective and scientific equations to design disaster prevent and mitigation engineering for the common debris flow, but provides the basis theory of researching further depth for dam-break debris flow in the seismic area.

**Key words:** Wenchuan earthquake area; bam-break; general; debris flow; run-out volume