

doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2014.04.011

# “4.20”芦山地震前后宝兴冷木沟 泥石流物源特征

曹运江<sup>1,2</sup>, 黄玉凤<sup>2</sup>, 戴世鑫<sup>1,2</sup>, 杨浩<sup>2</sup>, 王洪磊<sup>3</sup>, 潘书华<sup>3</sup>, 朱继良<sup>3</sup>, 曹修定<sup>3</sup>, 罗福义<sup>4</sup>

(1. 湖南科技大学 煤炭资源清洁利用与矿山环境保护湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 3. 中国地质调查局 水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051; 4. 贵州省黔美基础工程公司, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 研究区受“5.12”汶川地震、“8.18”泥石流、“4.20”芦山地震等大型地质灾害叠加作用的影响, 区域上构成独特的工程地质环境条件. 通过系统调研和收集宝兴冷木沟地震前后泥石流物源地质原型和泥石流灾害防治的第一手资料, 重点查清泥石流形成的物源条件, 对比研究“4.20”芦山地震前后泥石流物源特征、动/静储量比例. 分析研究结果表明冷木沟发育点状物源、线状物源、面状物源, 其中震前震后均以沟床侵蚀物源(线状物源)为主, 占76.110%和60.690%。“4.20”芦山地震后, 沟岸堆积物源(点状物源)却成倍增多, 为48的倍率, 超31.490个百分点. 整体上, 除沟岸侧蚀物源(面状物源)外, 同一流域段内, 震后物源动储量高于震前. 静动储量线性关系较为明显, 相关系数 $R^2$ 达0.8~1.0, 均属高度正相关.

**关键词:** 震前震后; 泥石流; 物源类型; 物源量; 冷木沟

中图分类号: P642.23

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2014)04-0054-06

## Material source characteristics of Lengmugou debris flow, before and after “4.20” Lushan earthquake in Baoxing country

CAO Yunjiang<sup>1,2</sup>, HUANG Yufeng<sup>2</sup>, DAI Shixin<sup>1,2</sup>, YANG Hao<sup>2</sup>, WANG Honglei<sup>3</sup>, PAN Shuhua<sup>3</sup>,  
ZHU Jiliang<sup>3</sup>, CAO Xiuding<sup>3</sup>, LUO Fuyi<sup>4</sup>

(1. Hunan Province Key Laboratory of Coal Resources Clean - utilization and Mine Environment Protection, Xiangtan 411201, China; 2. School of Civil Engineering of Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 3. China Geological Survey Hydrogeology and Environmental Geology Survey Center, Baoding 071051, China; 4. Guizhou Province Qianmei Basic Engineering Company, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** “5.12” Wenchuan earthquake, “8.18” debris flow, “4.20” Lushan earthquake and other large - scale geological disasters made additive effects on the study area, and constituted a unique engineering geological environmental condition. Through systematically investigate and collect geological prototype research of the debris flow material source before and after Lengmugou earthquake, Baoxing country and first - hand information of debris flow disaster prevention and control, the point research of the source condition of debris flow and comparative research before and after the “4.20” Lushan earthquake debris flow material source characteristics, dynamic and static material source reserve ratio, according to material source is one of the three conditions formed debris flow. The analysis results indicate that Lengmugou point material source, line material source and surface material source has well - developed, but the major is gully erosion source material (line material source), reaches 76.110% and 60.690% before and after earthquake. After Lushan earthquake, during the accumulation material source in shore ditch (point material source) increased exponentially, ratio of 48, by more than 31.490%. In addition to ditch shore erosion source material source (surface material source), dynamic reserves than before the earthquake source in the same watershed section. Static and dynamic material source reserves of linear relationship is relatively obvious, the correlation coefficient ( $R^2$ ) of 0.8 ~ 1.0, are positively related, and is highly relevant.

**Key words:** before and after earthquake; debris flow; material source type; material source reserves; Lengmugou

收稿日期: 2013-07-12

基金项目: 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心资助项目(12120113010800); 湖南省科技厅重大专项项目(2011FJ1009, 2012FJ1006); 湖南省科技厅计划项目(2012SK3111); 湖南省国土资源厅软科学研究计划资助项目(2011-04); 国家自然科学基金资助项目(41172275)

通信作者: 曹运江(1967-), 男, 湖南新化人, 博士, 教授, 主要从事地质工程研究. E-mail: 1020002@hnust.edu.cn

泥石流是山区沟谷中,由暴雨、冰雪融水等水源激发的,含有大量泥砂、石块的特殊液态、固态两相洪流<sup>[1]</sup>.具有暴发迅猛、持续时间短、群体暴发即群发性、突发性、破坏性、灾害链效应等特点<sup>[2-6]</sup>.运动过程介于山崩、滑坡和洪水之间,是多种自然因素综合作用的结果,由于受季风及复杂地质构造的影响,在西南高海拔地区泥石流频发.

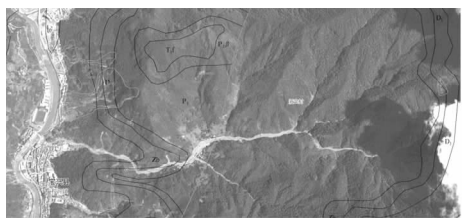
国内外大量实例研究表明,受强震影响的山区,震后最大的地质灾害隐患就是泥石流灾害,并且震前与震后、震区与非震区暴发泥石流灾害的特点具有显著差异.国内学者通过2008年汶川地震引发北川县区域泥石流灾害的研究中,对汶川地震区未来滑坡、泥石流活动趋势作了预测<sup>[7]</sup>.崔鹏等对汶川地震诱发的山地灾害进行初步的分析,提出震区次生山地灾害应急减灾措施和恢复重建中的减灾措施<sup>[8]</sup>.然而,不管是震前泥石流还是震后泥石流,其形成均须具备3个必要条件:有利于贮集、运动和停淤的地形地貌条件(地形问题);丰富的松散土石碎屑固体物质来源(物源问题);短时间内可提供充足水源和适当激发因素(水动力问

题),三者缺一不可,其中物源是形成泥石流的最基本条件之一.2013年“4.20”芦山地震又诱发一定数量的崩塌滑坡,同样为今后可能诱发泥石流提供多种物源类型.因此,如要深入细致地开展泥石流的研究工作,首先必须将泥石流物源问题列为重点攻关的课题.

## 1 研究区泥石流流域特征

宝兴县城距“4.20”芦山地震震中仅15 km,属侵蚀构造中高山河谷地貌,周边斜坡高陡,地势非常狭窄,致使县城周边地震后较震前诱发大量泥石流灾害数量更多,危险性更大.

冷木沟位于宝兴县城北部,宝兴河左岸,沟道总体沿由东向西展布,流域面积9.440 km<sup>2</sup>,如图1(a)、图1(b),流域形态为典型的“喇叭口”型,主沟长约3.980 km,平均纵比降212‰.沟域最高点高程3 044 m,沟口高程为996 m,相对高差2 048 m.冷木沟流域内主要发育6条支沟,左岸1条,右岸5条.



(a) 冷木沟泥石流遥感影像



(b) 冷木沟流域水系分布图

图1 冷木沟泥石流流域图

## 2 研究区泥石流物源基本类型与计算

受“4.20”芦山地震影响,冷木沟原堆积沟岸或斜坡上的第四系松散固体物源出现前缘垮塌,后缘拉裂等变形迹象,成为泥石流新的固体物源及动态物源,参与泥石流活动.震后冷木沟沟内崩滑体物、沟道物源、坡面物源、沟岸物源及物源总量和参与泥石流活动的动储量都重新布局、重新调整.泥石流沟实地调查中发现,地震后泥石流都远远超出以往,更重要的是灾区泥石流物源启动方式完全不一样.“4.20”芦山地震后,冷木沟物源量又发生新的变化,震前震后物源类型可归纳为如下几种情形.

### 2.1 点状物源

沟岸崩滑堆积物源为点状分布的集中性物源.

由现场测出的长宽及估计的厚度,再根据各崩滑体实际堆积的几何形状,计算出该点状物源量.

### 2.2 线状物源

沟床侵蚀物源是一种沟道型物源,即为线状物源,沟谷类型属于V型谷.堆积物厚可按各沟床浅井中揭露实际堆积厚度,宽取整个沟床平均宽度,长度是以现场调查长度为准,从而计算出该线状物源量.

### 2.3 面状物源

沟岸侧蚀物源是一种面状物源,其沟谷类型则以“U”型谷居多.沟岸侧蚀物源根据坡面物源分布形态及特征可分为沟岸堆积物源及斜坡侵蚀物源.沟岸堆积物源主要指堆积于沟岸两侧斜坡坡脚,范围相对集中,厚度相对较大的第四系崩坡积物.该部分物源参与泥石流活动的方式主要是侧蚀沟岸堆积物坡脚,导致临空面增加,引起坍塌汇入主沟后转化为泥石流.

沟岸堆积松散固体物源量可依据《泥石流防治指南》<sup>[9]</sup>中求坡地松散物源三棱柱体法计算,其计算模型如图2(a)所示。

如图2(a),当斜坡基岩出露点位于E点时,

$$S_{\text{多边形}ABCE} = S_{\triangle ABE} + S_{\triangle BCE}$$

沟岸堆积松散固体物源量计算公式如下:

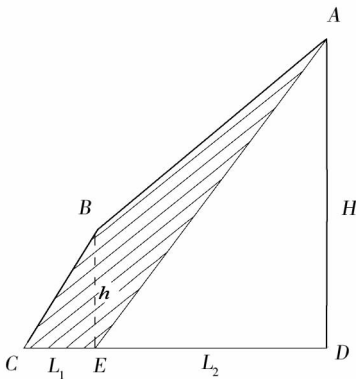
$$V_{\text{固}} = \frac{1}{2} \times h \times CD \times L_{\text{固}} \quad (1)$$

式中,  $V_{\text{固}}$  为沟岸松散固体物源量,  $\text{m}^3$ ;  $h$  为沟岸斜坡高度,  $\text{m}$ ;  $CD$  为堆积体沿斜坡分布的投影距离,  $\text{m}$ ;  $L_{\text{固}}$  为堆积体沿沟道分布的长度,  $\text{m}$ 。

侧蚀沟岸动态物源可依据乔建平、黄栋等关于“侧缘侵蚀型泥石流流动储量”计算方法进行计算<sup>[10]</sup>,其计算模型见图2(b)。

假设“U”形谷坡面堆积体在洪水侵蚀洪水侧蚀作用下,从  $c_2$  点到  $d$  点将逐渐坍塌形成泥石流物源,其中任意三角形  $\Delta c_2od$  是泥石流流动储量的最大可能物源区. 该区的面积为

$$\Delta c_2od = \frac{1}{2} \times c_2o \times c_2d = \frac{1}{2} \times l^2 \times \tan\varphi = \frac{1}{2}$$



(a) 沟岸堆积松散固体物源计算模型

$$\times l^2 \times \tan(\alpha - \theta) \quad (2)$$

式中,  $\theta$  为斜坡自然休止角;  $\alpha$  为实测沟岸坡角;  $\varphi$  为崩积体与自然休止角夹角;  $c_2o = l$  - 实测坡面长度。

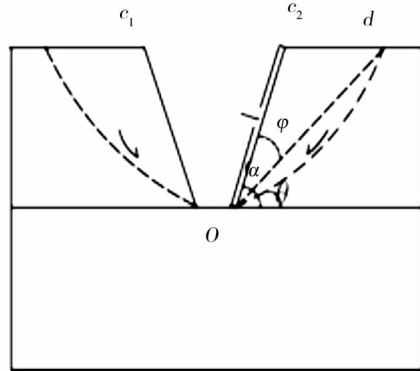
动储量体积为

$$V_{\text{动}} = \Delta c_2od \times L_{\text{动}} \quad (3)$$

式中,  $V_{\text{动}}$  为侧缘侵蚀型动储量,  $\text{m}^3$ ;  $L_{\text{动}}$  为沟道堆积体长度,  $\text{m}$ 。

斜坡侵蚀物源是指斜坡体覆盖层遭受侵蚀所形成的松散堆积物. 一般厚度较小, 侵蚀物源量较少. 由测出的长宽及估计的厚度, 计算出该堆积物物源量. 如果坡体岩石坚硬不易风化, 植被发育较丰富, 物源量相对不多, 一般不考虑参与泥石流物源的估算<sup>[11-13]</sup>。

冷木沟内植被发育, 覆盖率 70% ~ 80%, 生态环境条件较好, 水土流失较微, 斜坡体覆盖层厚度较小, 一般厚度小于 0.5 m, 斜坡侵蚀物源量较少, 加之植被丰富, 一般不考虑参与泥石流物源的估算。



(b) 侧缘侵蚀型泥石流流动储量

图2 面状物源计算方法

### 3 研究区地震前后物源特征

笔者利用实际收集的数据, 分别将震前震后点状、线状、面状物源总储量与动储量均做过相关性统计分析, 相关系数的取值范围为  $[-1, 1]$ ,  $R^2 > 0$  为正相关,  $R^2 < 0$  为负相关,  $R^2 = 0$  表示不相关.  $R^2$  的绝对值越大, 相关程度越高, 在 0.3 以下是无直线相关, 0.3 以上是直线相关, 0.3 ~ 0.5 是低度相关, 0.5 ~ 0.8 是显著相关(中等程度相关), 0.8 以上是高度相关<sup>[14-15]</sup>。

#### 3.1 地震前后沟岸崩(滑)体点状物源特征

##### 1) 地震前沟岸崩(滑)体点状物源

震前沟域内发育不同规模崩滑堆积物源点共

5 处, 共为泥石流提供物源量  $2.590 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 其中一次可参与泥石流活动的动储量为  $0.810 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 动/静之比平均为 31.270%<sup>[16]</sup>(表 1)。

##### 2) 地震前沟岸崩(滑)体点状物源

根据调查, 冷木沟“4.20”地震后共新增崩滑体物源共 17 处, 其中崩塌 5 处, 滑坡 4 处, 不稳定斜坡 8 处. 崩塌均为地震时产生岩体崩落, 多堆积于沟道内及少量堆积于斜坡上. 滑坡在地震后出现明显滑动, 前缘出现垮塌, 后缘出现拉张裂缝. 不稳定斜坡受地震影响前缘局部垮塌, 后缘出现拉裂缝, 但未出现明显滑动破坏痕迹. 17 处崩滑体共为泥石流提供物源量  $123.780 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 一次可参与泥石流活动的动储量为  $28.470 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 动/静之

比为 23.000%。

表1 地震前崩滑堆积物源统计表

编号	类型	位置	稳定性	物源总量/ $10^4 \text{ m}^3$	物源动储量/ $10^4 \text{ m}^3$	比例/%	补给方式	补给条件
B <sub>1</sub>	崩滑	冷木沟	欠稳定	0.583	0.200	34.310	洪水或泥石流裹	暴雨泥石流
	堆积物源	上游右岸					坡面冲刷及及岸	流冲刷
B <sub>2</sub>	崩滑	冷木沟	欠稳定	0.900	0.300	33.330	洪水或泥石流裹	暴雨泥石流
	堆积物源	上游右岸					挟坡面冲刷	流冲刷
B <sub>3</sub>	崩滑	冷木沟	欠稳定	0.500	0.200	40.000	洪水或泥石流裹	暴雨泥石流
	堆积物源	上游左岸					挟坡面冲刷	流冲刷
H <sub>1</sub>	崩滑堆积物源	冷木沟右岸	欠稳定	0.540	0.100	18.520	暴雨冲刷滑塌	暴雨冲刷
H <sub>2</sub>	崩滑堆积物源	冷木沟右岸	欠稳定	0.063	0.010	15.870	暴雨冲刷滑塌	暴雨冲刷
合计				2.590	0.810	31.270		

### 3) 地震前后沟岸崩(滑)体点状物源总储量与动储量相关性统计图

从图3可以看出震前与震后沟岸崩(滑)体点

状物源总储量与动储量相关系数分别达到0.9544与0.9472,都属于正相关,充分说明两者关系密切,呈高度相关<sup>[17]</sup>。

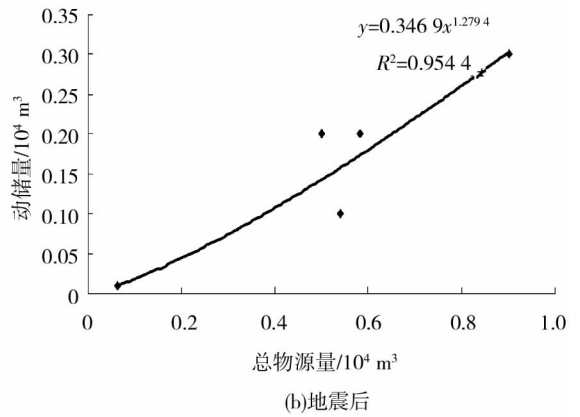
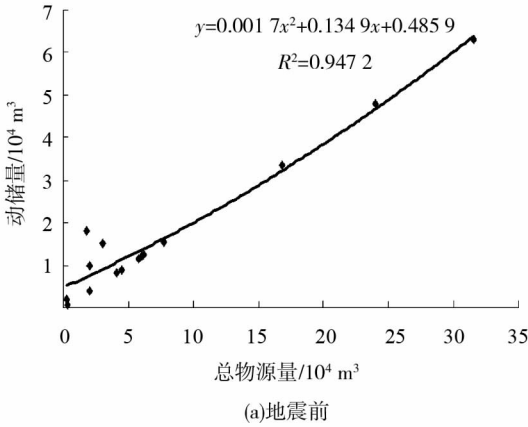


图3 地震前后点状物源总储量与动储量相关性统计图

### 3.2 地震前后沟道内线状物源(沟床侵蚀物源)特征

#### 1) 地震前沟道内线状物源(沟床侵蚀物源)

根据冷木沟各段(含支沟)沟道堆积体厚度、沟道宽度、分布长度、冲刷深度等特征,结合拟布工程情况,共分为14处沟道物源。震前沟道内堆积物源总量 $213.180 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中一次可参与泥石流活动的物源量为 $29.550 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,动/静之比为13.860%。

#### 2) 地震后沟道内线状物源(沟床侵蚀物源)

崩落于沟道内的崩塌或滑坡都计算在崩滑体物源内,因此地震后沟道物源总量与地震前没有多大变化,但由于地震后沟内物质结构发生变化,更松散,更易揭底冲刷,且沟道堵塞比地震前严重,因此泥石流冲刷深度将会增大,估算冲刷深度比原来平均增加0.5m,沟道内堆积物源总量 $231.760 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中一次可参与泥石流活动的物源量为 $36.490 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,动/静之比为15.740%。

### 3) 地震前后沟道内线状物源(沟床侵蚀物源)总储量与动储量相关性统计图

从图4可以看出震前与震后沟道内线状物源(沟床侵蚀物源)总储量与动储量相关系数分别达到0.8313与0.8510,同样都属于正相关,呈高度相关。

### 3.3 地震前后坡面侵蚀(沟岸侧蚀)面状物源特征

#### 1) 地震前坡面侵蚀(沟岸侧蚀)面状物源

根据调查,在冷木沟主沟及各支沟中沟岸集中分布第四系松散物源堆积体共16处,据各处堆积的长度、宽度、厚度等特征,按上述计算模型和公式分别估算沟岸松散固体堆积物源与一次参与泥石流的动态物源见表2。经本次调查结合定量计算,冷木沟坡面侵蚀物源总量估算约 $64.330 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中近期可能参与泥石流活动的动态物源量约 $9.110 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,动/静之比为14.160%。

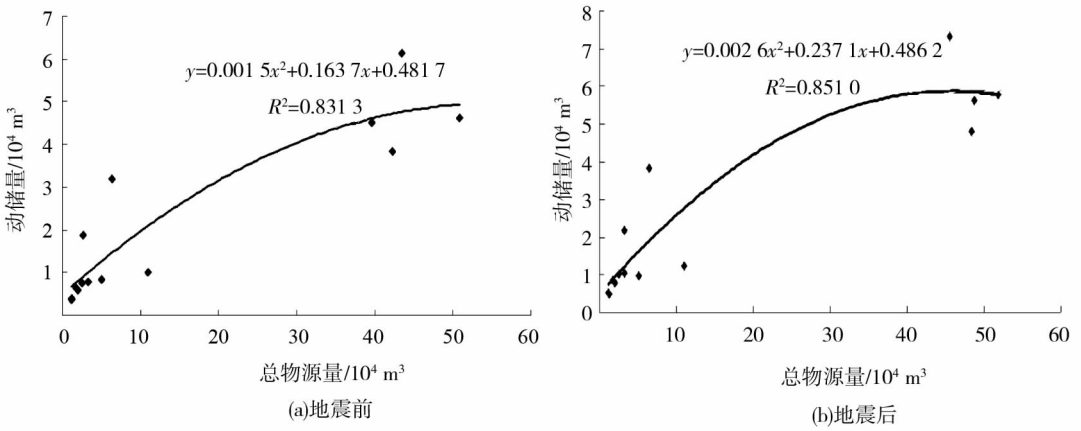


图4 地震前后线状物源总储量与动储量相关性统计图

表2 冷木沟震前沟岸松散固体堆积物源分段统计表

序号	位置	分布长度 /m	投影平均宽度/m	沟岸平均高度/h	斜坡自然休止角/(°)	实测沟岸坡角/(°)	沟岸堆积物源量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	一次参与活动物源量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	比例/%
Q <sub>1</sub>	主沟下游右岸	100	10	3	30	75	0.150	0.050	33.330
Q <sub>2</sub>	主沟下游右岸	130	30	3	30	75	0.590	0.060	10.170
Q <sub>3</sub>	主沟下游左岸	620	55	5	30	80	8.530	0.920	10.790
Q <sub>4</sub>	主沟下游右岸	80	30	4	30	80	0.480	0.080	16.670
Q <sub>5</sub>	主沟中游左岸	550	60	4	28	80	6.600	0.560	8.480
Q <sub>6</sub>	主沟中游右岸	560	70	4	25	80	7.840	0.640	8.160
Q <sub>7</sub>	主沟上游右岸	200	40	5	30	80	2.000	0.300	15.000
Q <sub>8</sub>	主沟上游左岸	70	30	4	30	80	0.420	0.070	16.670
Q <sub>9</sub>	大沟下游左岸	320	50	7	25	80	5.600	1.120	20.000
Q <sub>10</sub>	大沟下游右岸	200	35	5	25	80	1.750	0.360	20.570
Q <sub>11</sub>	大沟上游右岸	180	40	6	30	80	2.160	0.390	18.060
Q <sub>12</sub>	大沟上游顶部	450	80	12	30	80	21.600	3.860	17.870
Q <sub>13</sub>	中沟左岸	170	25	3	30	80	0.640	0.090	14.060
Q <sub>14</sub>	鹁子沟左岸	110	20	3	30	80	0.330	0.060	18.180
Q <sub>15</sub>	鹁子沟右岸	150	40	6	30	80	1.800	0.320	17.780
Q <sub>16</sub>	黑沟右岸	240	80	4	30	80	3.840	0.230	5.990
合计							64.330	9.110	14.160

2) 地震后坡面侵蚀(沟岸侧蚀)面状物源

地震后堆积于沟岸或沟岸斜坡体上的第四系堆积体在地震力作用下个别堆积体出现前缘垮塌,后缘拉裂等变形迹象,使得原堆积体转化为滑坡或不稳定斜坡,成为崩滑体物源,因此,地震后沟岸堆积总物源比地震前将减少,动/静之比为13.820%。

3) 地震前后坡面侵蚀(沟岸侧蚀)面状物源总储量与动储量相关性统计图

从图5可以看出震前与震后坡面侵蚀(沟岸侧蚀)面状物源总储量与动储量相关系数分别达到0.9642与0.8976,同样属于正相关,呈高度相关。

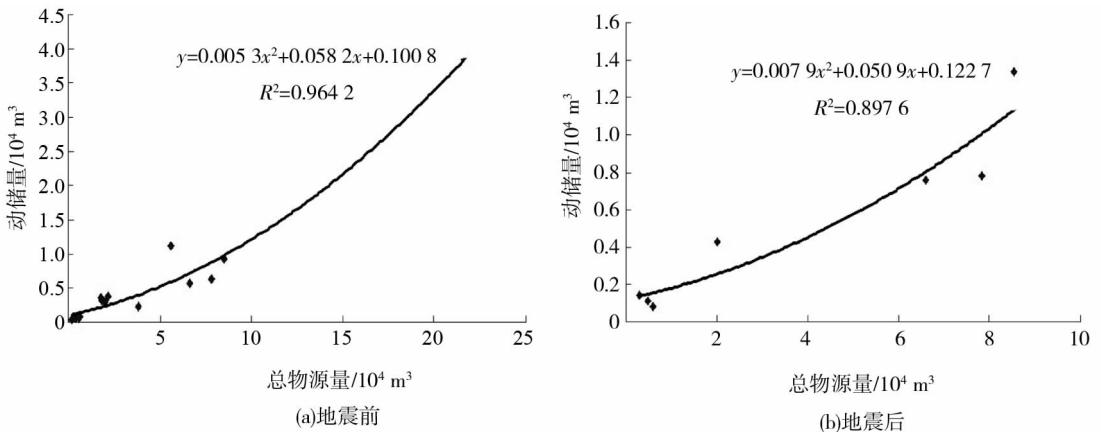


图5 地震前后面状物源总储量与动储量相关性统计图

## 4 地震前后物源对比分析

冷木沟地震前后泥石流物源对比如表3所示。依据表3可以看出,冷木沟在芦山“4.20”地震前松散固体物源总量为 $280.100 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,地震后为

表3 冷木沟泥石流“4.20”地震前后物源变化统计表

物源类型	松散固体物源/ $10^4 \text{ m}^3$		动储量/ $10^4 \text{ m}^3$		物源变化/ $10^4 \text{ m}^3$		比例/%
	地震前	地震后	地震前	地震后	固体物源	动储量	
沟岸崩(滑)堆积体物源	2.590	123.780	0.810	28.470	+121.190	+27.660	22.820
沟道内堆积物源	213.180	231.760	29.550	36.490	18.5800	+6.940	37.350
坡面侵蚀(沟岸侧蚀)物源	64.330	26.330	9.110	3.640	-38.000	-5.470	14.390
物源总量	280.100	381.870	39.470	68.600	+101.770	+29.130	28.620

综上所述,地震后固体物源及动态物源增加主要来自于崩滑体物源及沟岸堆积物源。地震后导致大量崩塌、滑坡,也致使原本处于稳定状态的堆积于沟道两岸的第四系松散崩坡积物出现拉裂、滑动,转化成泥石流固体物源。地震后沟内堆积大量的崩落块石,导致沟道堵塞,泥石流峰值流量增加,对沟床的揭底冲刷能力加强,从而导致冲刷深度增大,沟内动态物源总量增加。

## 5 结论

1)目前冷木沟泥石流物源是受控于“4.20”芦山地震地质灾害,是复合叠加作用的综合产物。将冷木沟流域的泥石流物源种类归纳总结为点状物源(沟岸崩滑堆积物源)、线状物源(沟床侵蚀物源)和面状物源(沟岸侧蚀物源)3种空间上具有不同展布形态的三状三物源类型,这3类物源类型可包容泥石流所描述的物源类型。

2)震前震后泥石流物源特征明显,均以线状物源(沟床侵蚀物源)为主,分别占76.110%和60.690%。“4.20”芦山地震后,新增17处崩滑体物源,其点状物源(沟岸堆积物源)成倍增多,倍率为震前的48倍,超31.490个百分点。

3)静动储量线性关系较为明显,相关系数达0.8~1.0,均属正相关,呈高度相关。但同时可以看出泥石流静动物源量具有复杂性,其线性相关公式呈现多样性,因此不能简单地对地震灾区前后泥石流总物源量与动储量进行相关性统计,以此来建立统计学模型,进而估算参与泥石流活动的物源量。这种方法只能适应特定的单一泥石流,而不具有广泛地适用性。

## 参考文献:

[1] 许强.四川省8·13特大泥石流灾害特点、成因与启示[J].工程地质学报,2010,18(5):596-608.  
[2] Sasse K T. The mechanism starting liquefied landslides and debris flows [C]// Proceedings of 4th International Symposium on Landslides. Rotterdam: A A Baikema,1984.

$381.870 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,固体物源增加 $101.770 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,递增率为36.33%;震前一次可能参与泥石流的动态物源总量为 $39.470 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,震后为 $68.600 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,动储量增加 $29.13 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,递增率为73.800%。

[3] 倪化勇,郑万模,唐业旗,等.汶川震区文家沟泥石流成灾机理与特征[J].工程地质学报,2011(2):262-270.  
[4] Blackwelder E. Mudflows as a geologic agent in semi-arid mountains [J]. Geological Society of America Bulletin,1928:465-487.  
[5] Hungr O. Analysis of debris flow surges using the theory of uniformly progressive flow [J]. Earth Surface Processes and Landforms,2000,25(5):483-495.  
[6] Iverson M, Rcosta E J, Lahusen G R. Large-scale debris flow flume becomes operational in Oregon, USA [J]. Landslide News,1993(7):29-30.  
[7] 唐川.汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J].山地学报,2010,28(13):341-349.  
[8] 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,2010,26(3):280-282.  
[9] 周必凡,李德基,罗德福,等.泥石流松散固体物质储量[M].北京:科学出版社,1991.  
[10] 乔建平,黄栋,杨宗信,等.汶川地震极震区泥石流物源动储量统计方法讨论[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(2):1-6.  
[11] 唐邦兴,周必凡,吴积善,等.中国泥石流[M].北京:商务印书馆,2000.  
[12] Iverson R M. The physics of debris flows [J]. Reviews of Geophysics,1997,35(3):245-296.  
[13] Tognacca C, Bezzola G R, Minor H E. Threshold criterion for debris-flow initiation due to channel bed failure [C]// Proceeding 2nd International Confences on Debris Flow Hazards Mitigation. New York: American Society of Civil Engineers,2000.  
[14] Berti M, Simoni A M. Experimental evidences and numerical modeling of debris flows initiated by channel runoff [J]. Landslides, 2005(2):171-182.  
[15] 冯自立,崔鹏,何思明.滑坡转化为泥石流机理研究综述[J].自然灾害学报,2005,14(3):8-14.  
[16] 地质工程公司.宝兴县城周围地质灾害(冷木沟“8.18”泥石流)治理工程补充勘查报告[R].成都:四川省地质工程勘察院,2012.  
[17] 曹运江.含软岩高边坡稳定性的系统工程地质研究—以岷江紫坪铺水利枢纽工程为例[D].成都:成都理工大学,2006.