

文章编号: 1008-2786-(2010)5-628-07

# 对甘肃舟曲特大泥石流灾害的初步认识

胡凯衡<sup>1,2</sup>, 葛永刚<sup>1,2</sup>, 崔鹏<sup>1,2</sup>, 郭晓军<sup>1,2</sup>, 杨伟<sup>1,2,3</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:** 2010-08-07 T23:00左右, 甘肃省甘南藏族自治州舟曲县县城北面的罗家峪、三眼峪流域突降强降雨, 引发了特大泥石流灾害。泥石流将沿途村庄和城区夷为平地, 摧毁了沿途的楼房民居, 毁坏了大量的农田。泥石流还冲进白龙江形成堰塞湖, 将半个舟曲县城淹在水中。此次泥石流流速快、流量大、规模超大, 发生于半夜, 且表现为山洪-泥石流-堰塞湖灾害链形式, 因而造成重大人员伤亡和财产损失。截止08-15共造成4496户、20227人受灾, 水毁农田约95 hm<sup>2</sup>, 房屋5508间, 1248人遇难, 496人失踪, 是建国以来我国损失最严重的泥石流灾害。现场调查与遥感图像分析表明, 舟曲泥石流是局部强降雨作用下发生的百年一遇的水力型特大泥石流灾害。三眼峪、罗家峪泥石流总方量约220×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。沟内储存的大量的崩塌、滑坡体及坡积物、残积物为泥石流提供了丰富的固体物质。形成区陡峭的地形以及沟道内堆石坝、拦沙坝形成的陡坎级联堵溃效应, 加大了泥石流的流速、流量与破坏力。在分析本次泥石流的背景条件、灾害成因、特征以及发展趋势的基础上, 提出了相应的减灾对策。

**关键词:** 舟曲; 三眼峪; 泥石流成因; 减灾对策

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A

2010年是我国自然灾害频发, 受灾极为严重的一年。1~6月全国地质灾害发生数量是2009年同期的10倍, 而6月山地灾害发生数量为15倍。进入雨季, 我国主要河流洪水肆虐, 全国大部分省份受灾, 暴雨还触发大量的崩塌、滑坡、不稳定斜坡、泥石流、山洪等山地灾害, 造成重大人员伤亡和财产损失。

2010-08-07 T23:00左右, 甘肃省舟曲县县城北面三眼峪和罗家峪受强暴雨影响, 暴发了特大泥石流灾害。泥石流出口后, 沿沟床冲进月圆村、北关村、北街村、东街村、南门村、椿场村、罗家村、瓦厂村, 所到之处淤埋耕地、摧毁房屋与建筑, 三眼峪口被夷为平地。三眼峪泥石流出口后, 形成长约2 km, 宽170~270 m(最宽350 m, 城区80 m)、平均

200 m左右的堆积区, 淤积厚度2~7 m, 平均约4 m, 罗家峪泥流出山后, 形成长约2.5 km, 平均宽度约70 m的堆积区, 平均堆积厚度2 m(图1~2)。泥石流冲进白龙江, 形成堰塞湖, 水位上升10 m左右, 淹没大半个县城, 造成重大财产损失和人员伤亡(图3)。据统计, 泥石流灾害共造成4496户、20227人受灾, 水毁农田约95 hm<sup>2</sup>, 水毁房屋307户、5508间, 其中农村民房235户, 城镇职工及居民住房72户; 进水房屋4189户、20945间, 其中农村民房1503户, 城镇民房2686户; 机关单位办公楼水毁21栋, 损坏车辆18辆。截止2010-08-15共有1248人遇难, 496人失踪, 是建国以来我国最严重的泥石流灾害事件。灾害发生后, 本文作者于2010-08-09赶赴舟曲泥石流现场, 对三眼峪和罗

收稿日期(Received date): 2010-08-19; 改回日期(Accepted): 2010-09-02.

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q03-5)、国家自然科学基金青年科学基金项目(40701014)、国家重点基础研究发展计划资助(2008CB425802)。[This research is supported by Project of Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (Grant No. KZCX2-YW-Q03-5), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 40701014), and the National Program on Key Basic Research Project (Grant No. 2008CB425802).]

作者简介(Biography): 胡凯衡(1975-), 男, 研究员, 硕士生导师, 主要从事泥石流研究。[Hu Kaiheng (1975-), M, Born in Ruijin County of Jiangxi Province. Professor, Major in debris flow mechanism and mitigation. ] E-mail: khhu@imde.ac.cn

家峪泥石流开展了 3 d 的灾后调查工作。本文系在此次应急调查获取的数据基础上, 综合相关的文献资料撰写而成, 对该特大泥石流的背景条件、成因、特征性质和发展趋势做了初步的分析, 并提出了一些泥石流减灾对策, 以避免类似重大灾害再次发生。

## 1 研究区域概况

三眼峪和罗家峪位于嘉陵江一级支流白龙江的左岸, 舟曲县城的北面, 下游直接穿过舟曲县城, 汇入白龙江(图 4)。舟曲县地处青藏高原东北缘, 白龙江中上游, 秦岭山脉与龙门山脉的接合部, 山体高耸挺拔, 地势险峻, 河谷深切, 水流湍急, 主要呈“V”型谷或峡谷地形特征, 为典型的中高山侵蚀地貌, 新构造运动活跃, 属  $\times$  度地震烈度区, 为地震强烈活动区, 是我国四大泥石流活跃区之一。白龙江流域的泥石流滑坡分布密度和暴发次数在甘肃省都居于首位<sup>[1-3]</sup>。舟曲县城也是我国直接遭受泥石流威胁的 150 余座县级以上城镇之一<sup>[4]</sup>。

该区属西秦岭构造带的延伸部分, 主要受到南北向断裂带、新构造运动及印支、燕山和喜马拉雅等造山运动的影响, 构造活动活跃。本区出露的地层岩性主要是泥盆系、二叠系的灰色千枚岩、硅质灰岩、碳质页岩和板岩等, 岩石经受多次构造运动作用, 褶皱、裂隙、节理比较发育, 很容易风化形成岩屑和粘土。区内第四纪沉积物主要为间断发育的河流冲积物(阶地)、湖相沉积物、泥石流堆积物、重力侵蚀堆积物、残-坡积物及黄土层<sup>[5]</sup>。

舟曲属温暖半湿润气候, 年平均气温 14.1℃, 年日照时数 1 842 h 降水受东亚季风气候影响, 年际分布极不平衡。降水主要集中在 5~10 月, 占全年降雨量的 75.8%, 县城范围多年平均降雨量为 434.0 mm, 日最大降雨量为 62.9 mm, 1 h 最大降雨量为 40.7 mm<sup>[6]</sup>。汛期降雨强度大, 以中雨、暴雨为主, 雨量非常集中。该区为高山峡谷区, 河坝区植被覆盖度低、岩石大面积裸露, 暴雨作用下大多数降

水以地表径流形式汇入沟谷、江河, 进入下游地区。白龙江是区内最主要的河流, 其从西北向东南流经舟曲县。县内大多数沟谷、河流都为白龙江的支流。境内白龙江河道长 67.5 km, 落差 420 m, 年均流量 81.9 m<sup>3</sup>/s<sup>[7]</sup>, 雨季时可达 300 m<sup>3</sup>/s。三眼峪与罗家峪以降水和地下水为主要的水源补给, 平均流量 0.75 m<sup>3</sup>/s 罗家峪流量较三眼峪稍小。

三眼峪是一条高频性泥石流沟, 有大眼峪和小眼峪两条大的支沟。据调查<sup>[5]</sup>, 自 1823 年以来的 187 a 间, 三眼峪灾害性泥石流就曾经暴发过 11 次, 从 1978 年到 1994 年间, 共暴发泥石流 5 次, 平均 4 a 暴发一次。1961 年、1989-05-10、1992-06-04 的泥石流对县城造成危害, 其中 1992 年的泥石流规模为 50 a 一遇, 造成 87 人死伤, 经济损失高达 1 260 万元。

## 2 泥石流成因和性质

### 2.1 形成条件

1. 物源条件。受构造运动和地震的影响, 三眼峪和罗家峪内崩塌、滑坡较为发育, 其堆积于沟道中, 是泥石流物质的主要来源。史料记载, 1879 年文县-武都地区曾经发生 8 级地震, 形成大量的崩滑体堆积于沟道中, 还形成了数量、高度不等的多级堆积坝, 堵塞沟道。其中三眼峪的大峪、小峪形成了 4 座 80~280 m 高的堆积坝, 三眼峪 4 条支沟共有滑坡 8 处, 滑动面积 0.88 km<sup>2</sup>, 滑坡总体积 1 303.9 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 发育崩塌体 58 个, 方量约 2 830.1 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 此外沟内还发育滑塌、坍塌和沟道堆积物约 1 029 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 以上各项共计 5 163 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 可以直接补给泥石流的松散固体物质 2 510 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup><sup>[5]</sup>。根据对罗家峪的勘查, 从遥感影像判断, 其沟谷内的固体物质与三眼峪近似, 主要由坡积物供给。

2. 地形条件。三眼峪、罗家峪地形独特, 其沟谷形态呈圈椅状, 上游宽阔, 下游束窄, 在流域出口形成卡口, 此种地形容易汇集上游水土, 在下游形

表 1 三眼峪和罗家峪的地形参数

Table 1 Landform characteristics of Sanyanyu Ravine and Luojiayu Ravine

沟名	流域面积 (km <sup>2</sup> )	沟床比降 (%)	主沟长度 (km)	最高海拔 (m)	沟口海拔 (m)	相对高度 (m)	崩滑体面积 (km <sup>2</sup> )
三眼峪	25.75	24.1	10.4	3 828	1 340	2 488	0.88
罗家峪	16.14	25.8	9.5	3 780	1 320	2 460	



图 1 特大泥石流灾害后的三眼峪与罗家峪及舟曲县城

Fig. 1 Situation of Sanyanyu Ravine, Luojiayu Ravine and Zhouqu City after the disastrous debris flow



图 2 县城附近的村庄被夷为平地  
Fig. 2 Villages buried by the event near the city



图 3 受淹的舟曲县城  
Fig. 3 Buildings submerged in the dammed lake

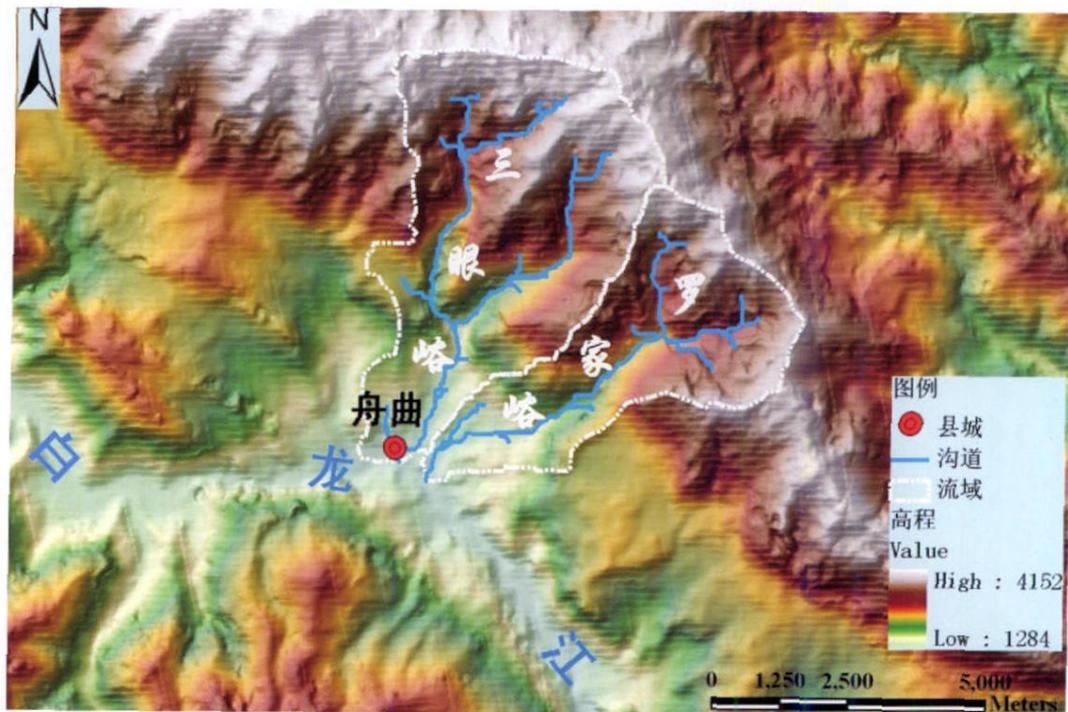


图 4 研究区域和泥石流沟分布图

Fig. 4 Study area and debris flow ravines

成大规模泥石流。三眼峪山体陡峻, 源区坡度普遍超过  $50^\circ$ , 支沟沟道坡降  $14\%$ , 跌坎、堆石坝位置坡降超过  $50\%$ , 主沟沟床坡降  $9\%$ 。沟内山体基岩裸露, 造成流域内地表径流极易汇流, 为泥石流提供了有利的动力条件 (图 5~6)。野外调查与遥感解译表明, 罗家峪与三眼峪地形、地表覆盖相近, 利于泥石流活动。

3. 水源条件。具备丰富的固体物质与有利的地形条件后, 强降雨是泥石流最重要的触发因子。气象观测数据显示, 2010-08-07 当地强降雨持续约 40 min, 降雨量超过 90 mm, 最大降雨量出现在舟曲县城东南 10 km 的东山镇, 降雨量 96.3 mm, 舟曲县西北方向上游的迭部县代古寺为 93.8 mm, 据此推断, 三眼峪和罗家峪上游地区与这两个地区地处同一降雨带, 降雨量与东山镇、代古寺相当, 是舟曲县建站以来的最大降雨强度。受三眼峪、罗家峪自然条件的影响, 强降雨迅速汇流, 形成沟谷洪水, 冲刷堆石坝及沟道中的固体物质, 造成堆石坝及拦沙坝溃坝, 形成泥石流。

## 2.2 泥石流性质

1. 根据在三眼峪内的实地调查, 泥石流物质主要来自于沟道中的崩塌、滑坡堆积物及堆石坝、拦沙坝中积蓄的固体物质。而遥感影像显示, 上游地区没有发现大面积的坡面泥石流 (图 7)。该区域上游的植被覆盖率比较高。平时的溪水清澈, 为县城饮用水源地。加之形成区多为灰岩, 不易发生坡面侵蚀。因此, 可以初步推断本次泥石流为沟道起动的水力类泥石流。

2. 本次泥石流是在极端强降雨条件下触发的特大型泥石流, 总方量大约为  $220 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。三眼峪、罗家峪受沟谷形态和地形特征影响, 降雨下渗率低, 地表径流量大、汇流迅速。但泥石流规模增大的主要原因是, 沟内有多处由古地震形成的堆石坝, 容易形成堵塞, 多级堵塞体逐级溃决, 从上游到下游逐级增大, 造成泥石流瞬间流速大大增加, 破坏力增强。调查所到的地方一共有两座堆石坝、三个大型的坡积体和两道基岩卡口。另外, 根据两支沟交汇口泥石流堆积的形态, 可以推断小眼峪的泥石流先主沟形成了一道临时的堰塞坝, 然后大眼峪的泥石流冲开这道堰塞坝, 两条支沟的物质汇集在一起冲向下游。这一点是比较罕见的。

3. 泥石流的搬运能力惊人。直径为 4~5 m 的巨石在堆积扇上缘、出山口附近和沟道中游比比皆

是, 均搁置在泥石流表面。调查所见漂砾的粒径最大为 12 m。泥石流中细粒含量和块石含量都较大。根据对泥石流的现场调查和采集样品的分析, 本次泥石流为高密度粘性泥石流, 密度大约在  $2.0 \text{ t/m}^3$  左右。

4. 根据实地调查, 通过形态调查与计算分析, 三眼峪泥石流在峪门口的峰值流量为  $1485 \text{ m}^3/\text{s}$  左右, 断面平均流速为  $9.9 \text{ m/s}$ 。断面过流面积为  $150 \text{ m}^2$ 。三眼峪泥石流受沟谷中堆石坝、崩滑体堆积及拦沙坝的共同作用, 堵塞严重, 通过雨洪修正法进行泥石流的反演计算 (堵塞系数取 3.0, 密度取  $2.0 \text{ g/cm}^3$ ) 表明, 清水流量应该为  $1485/3.0/2.43 = 203.7 \text{ m}^3/\text{s}$  为 100 a 一遇的降水所形成。因此本次泥石流为百年一遇的特大型山地灾害。

同理计算的罗家峪泥石流流量为  $390 \text{ m}^3/\text{s}$  其流速为  $5.4 \sim 5.6 \text{ m/s}$  其清水流量为  $79 \text{ m}^3/\text{s}$

表 2 三眼峪和罗家峪的泥石流过流参数

Table 2 Cross sections of debris flows at Sanyanyu Ravine and Luo jayü Ravine

断面位置	平均泥深 (m)	断面面积 ( $\text{m}^2$ )	坡降 (%)	流速 (m/s)	流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
三眼峪 (峪门口)	5	150	9	9.9	1485
罗家峪口	2	71	9	5.5	391

## 2.3 泥石流发展趋势

受特殊的地质、地貌等自然环境因素的影响, 舟曲所在的白龙江流域是我国四大滑坡、泥石流活跃的区域之一, 滑坡、泥石流异常活跃, 尤其是强降雨发生时, 泥石流发生呈现区域性、群发性特点。对白龙江上下游的调查表明, 2010-08-07 的强降雨在白龙江流域的迭部、舟曲、武都境内引发数十处滑坡、泥石流灾害, 一度中断通往舟曲的通道。08-11 晚的强降雨, 再一次引发包括三眼峪在内的多条沟泥石流暴发, 其中泄流坡沟、南峪沟泥石流再次阻断白龙江形成堰塞湖, 通往两河口的道路因为滑坡、泥石流中断, 阻碍了抢险救灾物资的运输。

三眼峪以往的灾害记录显示, 山洪泥石流的发生频率为 3~4 a 一次, 其规模较小。本次泥石流为 100 a 一遇的特大型泥石流, 受沟内松散物质的变动, 今后一段时间内在没有特大暴雨作用下, 发生类似规模的泥石流灾害的概率较小。但是, 受本次泥石流灾害影响, 其沟谷微形态, 尤其是中下游地区发

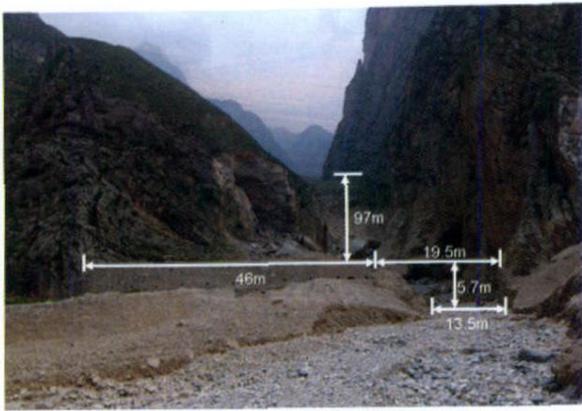


图 5 小峪豁口的堆石坝及泥石流断面

Fig. 5 Natural rock-fill dam and cross section at the outlet of the Xiaoyanyu

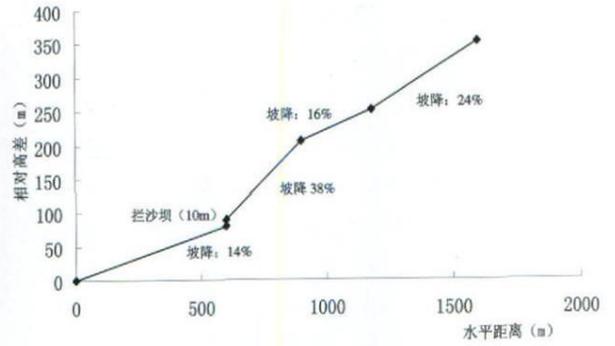


图 6 大眼峪局部沟床纵坡降变化

Fig. 6 Longitudinal profile at a reach of Dayanyu

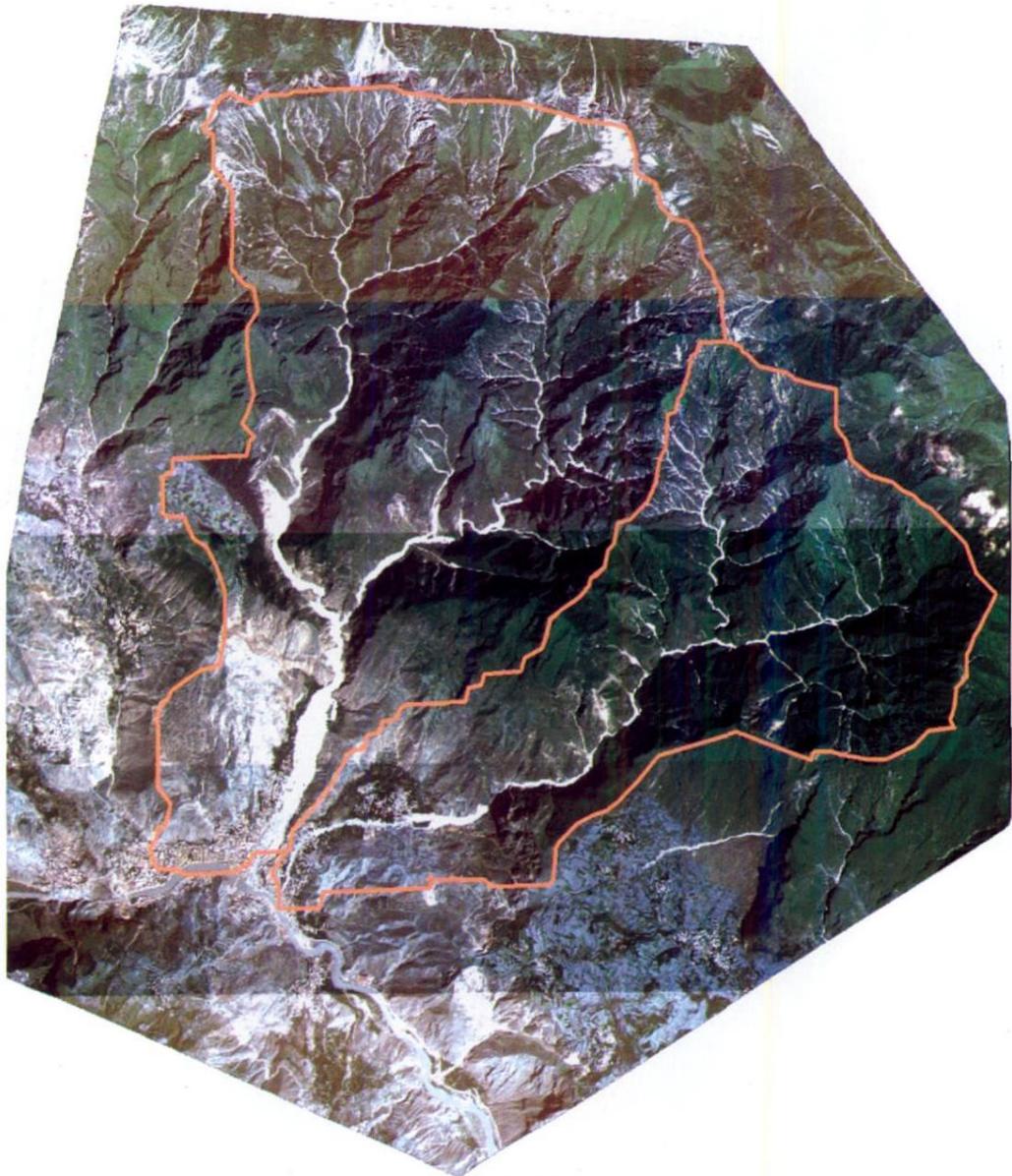


图 7 2010-08-15 的 Quickbird 遥感影像

Fig. 7 Quickbird remote sensing image on Aug. 15, 2010

生较大变化, 原来较为稳定的坡积物、崩滑体, 稳定性降低, 在强降雨条件下, 高频率、小规模泥石流将是今后若干年这两条沟泥石流活动的特征。根据白龙江流域武都火烧沟、马槽沟的研究数据, 雨强大于  $5 \sim 8 \text{ mm} / (10 \text{ m in})$  和  $10 \text{ mm} / (30 \text{ m in})$  时可以激发泥石流。目前三眼峪还保有数千万立方米的固体松散物质, 舟曲县境内平均降雨量  $> 25 \text{ mm}$  的每年有  $1 \sim 2$  次,  $> 30 \text{ mm}$  的一次<sup>[5]</sup>。而据魏新功等人的研究<sup>[6]</sup>, 沟谷型的泥石流 1 h 临界雨量仅为  $12 \text{ mm}$ 。因此, 三眼峪在今后  $5 \sim 10 \text{ a}$  都有可能发生泥石流, 尽管其规模比本次泥石流小的多, 但频率明显增加, 并随着时间推移逐渐降低。

### 3 结论和讨论

野外调查与实验数据分析表明, 舟曲特大泥石流是由局地强降雨引发的高密度粘性泥石流。多次地震活动产生的沟道崩塌、滑坡体及风化物、坡积物、残积物为泥石流提供了充足的松散物质。流域上游陡峻山体与沟道、圈椅型沟形特征为泥石流形成提供了有力的动力条件与汇流条件。充分的物源和地形条件, 在强降雨激发下, 发生了这次特大型泥石流灾害。泥石流活动具有激发时间短、流速快、流量大、规模巨大、持续时间长、发生于夜间、造成的损失惨重等特点, 泥石流峰值流速约  $9.9 \text{ m/s}$  流量  $1485 \text{ m}^3/\text{s}$  加上灾害预警措施失效、居民减灾意识与知识缺乏, 造成重大人员伤亡和损失。

针对本次的特大泥石流灾害活动特征, 针对性提出泥石流减灾对策, 以避免类似重大灾害再次发生。

1. 加强泥石流机理研究, 提高泥石流预测、预警水平

当前极端气象(降雨)事件频发, 泥石流发生频率高、规模大、危害对象广泛、损失巨大, 必须加强泥石流成灾机理的研究, 以地震重灾区、山区道路沿线、重大水电工程扰动区及山区重点城镇为研究区, 分析极端降雨条件下泥石流成因、活动特征、成灾模式, 为泥石流减灾提供支撑基础。

2. 针对性进行泥石流沟的危险性评估

以舟曲特大泥石流灾害为契机, 全面排查周边区域及开展白龙江流域泥石流的危险性评估, 进行不同时空尺度的泥石流危险性的综合评估, 划分危险区, 为舟曲灾后重建及区域经济建设提供安全保

障。对于类似三眼峪、罗家峪等具有重要危险对象的沟谷, 进行重点评估, 提出泥石流防灾、减灾策略, 避免重大泥石流灾害的重演。

3. 以科学选址、统筹规划推进城镇建设, 规避泥石流灾害

山区城镇建设必须吸取舟曲特大泥石流灾害、汶川地震灾区重建的经验教训, 充分考虑泥石流、滑坡的危害, 在山地灾害危险性与资源承载力评估的基础上, 科学选址、统筹规划, 避免将城镇、居民区建在泥石流、滑坡、山洪高危区, 并适度控制城镇人口、建设规模, 坚持可持续发展的理念, 保护城镇与人民生命财产安全。

4. 加强泥石流沟的治理, 提高减灾、防灾能力

全面调查、系统分析三眼峪、罗家峪及白龙江流域 2010-08-07 和 08-11 泥石流的活动特征, 重新审视流域泥石流的工程防治标准, 提出适合流域特征的集工程防治与生态防治于一体的泥石流防治模式, 全面推进重点泥石流沟谷的防治, 修善和加固以往的泥石流防治工程, 推进水土保持、生态环保工程实施, 改善区域生态环境条件, 提高防灾、减灾能力。

5. 泥石流预警、预报与减灾预案的建立

以区域泥石流机理研究为基础, 分析泥石流起动的临界条件, 建立以泥石流起动为基础的泥石流预警、预报体系, 在重点沟谷布设专业监测设备、无线监测设施、专职监测人员, 建立以泥石流沟谷为单位的群测群防体系, 并构建泥石流减灾预案, 雨季实施全面监测、预警与预报, 减少泥石流灾害的损失。

6. 加强泥石流科普知识与宣传, 提高民众泥石流减灾意识

针对舟曲县城民众对泥石流灾害认识不足, 防灾、减灾知识匮乏的现状, 今后必须通过广播、报纸、电视及宣传画、小手册等各种措施, 全面提高我国山区民众对山洪、泥石流、滑坡灾害的认识, 提高防灾、减灾意识, 增强民众自身的减灾、自救能力, 降低灾害损失。

### 参考文献 (References)

- [1] Lanzhou Institute of Geobiology and Cryopedology, Academia Sinica Traffic Science Institute of Gansu Province, China. Debris flow in Gansu Province [M]. Beijing: The Publishing House of People's Transportation, 1982 [中国科学院兰州冰川冻土研究所, 甘肃省交通科学研究所. 甘肃泥石流 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1982]

- [2] Zhang Lifang, Tang Shaoqing. Debris flow and its countermeasures in Gansu province [J]. *Journal of Arid Resources and Environment*, 1994, 8(4): 27~34 [张丽芳, 唐少卿. 甘肃泥石流灾害的特点、成因及对策 [J]. 干旱区资源与环境, 1994, 8(4): 27~34]
- [3] Yang Junji, Fang Duq, Chen Ziyong et al. Study on disaster and distribution characteristics of debris flow in Gansu Province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(6): 92~95 [杨具瑞, 方铎, 成自勇, 等. 甘肃泥石流灾害及其分布研究 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 92~95]
- [4] Xie Hong, Zhong Dunlun, Wei Fangqiang et al. Debris flow hazards and their formation causes in mountain urban area of china [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(1): 79~87 [谢洪, 钟敦伦, 韦方强, 等. 我国山区城镇泥石流灾害及其成因 [J]. 山地学报, 2006, 24(1): 79~87]
- [5] Ma Dongtao, Qi Long. Study on comprehensive controlling of debris flow hazard in Sanyanyu Gully [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1997, 17(4): 26~31 [马东涛, 祁龙. 三眼峪泥石流灾害及其综合治理 [J]. 水土保持通报, 1997, 17(4): 26~31]
- [6] Wei Xingong, Wang Zhenguang, Bao Hongxia. Study on geological disasters caused by rainfall in Zhouqu county [J]. *Gansu Science and Technology*, 2008, 24(21): 84~88 [魏新功, 王振国, 包红霞. 降水原因造成的舟曲县地质灾害分析 [J]. 甘肃科技, 2008, 24(21): 84~88]
- [7] Li Yuduo, Li Zhen. Preliminary analysis of drought and water resources utilization in Zhouqu county [J]. *Gansu Science and Technology*, 2010, 26(9): 7~9 [李玉多, 李臻. 浅析舟曲县干旱与水资源利用问题 [J]. 甘肃科技, 2010, 26(9): 7~9]

## Preliminary Analysis of Extra-large-scale Debris Flow Disaster in Zhouqu County of Gansu Province

HU Kaheng<sup>1,2</sup>, GE Yonggang<sup>1,2</sup>, CUI Peng<sup>1,2</sup>, GUO Xiaojun<sup>1,2</sup>, YANG Wei<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, 610041, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu, 610041, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** A debris-flow catastrophe hit the city of Zhouqu of Gansu Province at midnight on August 7th, 2010. Following a local intensive rainfall of 97 mm/(40 min), the debris flows happened in Sanyanyu and Luojiayu ravines which are located in the north of the urban area. A great mass of debris material formed a 1.2 km long dam in Baibing River which the two ravines flow into. As of August 15th, 1 248 people were killed, 496 missed, and 4 496 families suffered from the disaster. The event also destroyed 233.4 acre farmland and damaged 5 508 rooms, which has been the most severe debris-flow disaster since 1949. Field investigation and remote sensing image interpretation indicate that the debris flows were formed by upstream flood. Massive debris from avalanches, landslides, colluvium and weathered rock is the main source for debris-flow occurrence. Big slope and narrow downstream channel provides a high mobility of debris flows. A cascade of natural rock-fill dams and silt trapping dams was outburst to greatly increase the discharge up to 1 485 m<sup>3</sup>/s and the magnitude to 2.2 million m<sup>3</sup>. Finally, several countermeasures against future hazards are presented on the basis of causes, characteristics and trend of the disaster.

**Key words** debris flow; Zhouqu county; Sanyanyu ravine; mechanism of debris flow formation; mitigation countermeasures