

小沟床比降沟谷水石流形成原因分析研究

——以栾川瓦石岩沟为例*

邵莲芬^{1,2}, 余宏明¹, 彭祖武¹, 陈鹏宇¹, 王硕楠^{1,3}, 胡媛媛³

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 黄淮学院, 河南 驻马店 463000;

3. 河南省地质工程勘察院, 河南 郑州 450001)

摘 要:从流域地貌形态、沟道径流产能条件入手, 借鉴已有入汇型河流研究成果及砂砾土、砂卵石液化研究成果对瓦石岩沟暴发水石流原因进行分析研究。研究结果认为, 瓦石岩沟暴发水石流的原因是众多水力产能条件强的支沟、接力式的对产能条件弱的主沟水体注入能量, 加速主沟水流至具备启动砂砾土的能力; 同时支沟水流产生的连续应力波能使附近砂砾土液化, 而后与主沟水流掺混形成水石流体。最后, 将瓦石岩沟水石流形成原因概括为“瓦石岩沟模式”, 为具相同工程地质条件区域沟道水石流危险评价提供参考。

关键词:瓦石岩沟; 小沟床比降沟谷; 水石流; 原因分析; 河南栾川

中图分类号: P642. 23; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0120-05

0 引言

栾川位于河南豫西山区, 区内大面积出露易风化的火成岩和变质岩; 区域性大断裂(栾川-确山-固始断裂)横穿其境、致使境内断裂构造发育; 同时, 县域处在构造抬升区, 重力侵蚀地貌发育; 加上全县雨、旱两季分明, 暴雨集中, 造成全县具备有利的泥石流孕育环境。据历史记载, 栾川县曾数次暴发过区域性泥石流灾害。最近当属2010年“7·24”暴雨型泥石流灾害。瓦石岩沟即为当中一条暴发水石流灾害的沟道。

瓦石岩沟位于栾川县叫河乡, 属洧河一级支流, 主沟长7.5 km、流域面积11.35 km²、流域相对高差692 m, 平均沟床比降为92‰(5.26°)。据当地居民介绍, 瓦石岩沟在2007年7月暴发过一场大规模水石流、在2010年7月又暴发了一场小型水石流。结合野外调查发现, 瓦石岩沟下游地区还存在着老泥石流堆积体。对于水石流形成坡降, 费祥俊按照理论公式推导出水石流形成的最小沟床比降应达到250‰^[1](14.04°), 这与钱宁给出的水石流沟道坡度应在(14.5°, 22.9°)是一致的^[2]。因此对这样一条具小沟床比降、不易发生泥石流的沟谷内(陈宁生等认为沟床比降小于100‰不易发生泥石流^[3]), 却数次暴发水石流灾害的原因进行分析研究是非常有意义的。

1 瓦石岩沟泥石流孕育条件

1.1 地形地貌条件

瓦石岩沟流域处在1 000~2 000 m之间的中低山流水侵蚀地貌区, 为V字型沟谷, 整个沟域可分为左支沟流域和右支沟流域两部分(图1)。其中右支沟集水面积8.38 km²、占整个流域的73.8%, 其也是瓦石岩沟经常暴发水石流的沟道。野外统计(只统计沟长≥100 m的一级支沟), 右支沟发育众多一级支沟——左侧40条、右侧47条, 沿沟方向平均12.95条/km。



图1 瓦石岩沟 Google 影像图 1: 75 000(拍摄时间 2009/11/02)

1.2 物源积聚条件

瓦石岩沟右支沟区域发育有下元古界陶湾群(Pt₁t)大理岩、石英片岩、绿泥石片岩、角闪片岩和云母片岩; 第三系(N)红色粘土岩、砂岩和砾岩以及第四系(Q)松散堆积物。其中第三系(沿沟出露长度约1 km, 以左、右支沟交汇处为起点向沟

* 收稿日期: 2013-03-22 修回日期: 2013-05-07

基金项目: 河南省国土资源厅 2011 年度“两权价款”地质科研项目(2011-622-23); 河南省科技厅科技攻关计划项目(122102310477)。

作者简介: 邵莲芬(1974-), 女, 河南驻马店人, 在读博士, 副教授, 主要从事结构防灾研究。E-mail: 535792721@qq.com



片岩风化及崩塌 砾岩、粘土岩差异风化及崩塌 老泥石流堆积体 河流冲、洪积物及阶地 支流冲、洪积物

图2 瓦石岩沟右支沟水石流物源来源

内测算)两边分别通过断层与陶湾群接触。片岩及粘土岩易风化,再加上叫河-陶湾断裂的巨大挤压,造成两边岩石结构更加破碎。这些因素促成了沟道两侧发育较多小型崩滑体(图2),为沟道内物源积聚创造了来源。

1.3 降雨条件

叫河乡处在暖温带大陆性季风气候区。据叫河乡气象站 2004-2011 年降雨资料,全乡年平均降雨量为 851.63 mm,年际间变化较小。降雨多集中在 6、7、8、9 四个月,占全年降雨量的 69%,而 7 月降雨量占全年的 27%。如此集中降雨易出现山洪、泥石流灾害。在 2007 年 7 月及 2010 年 7 月,瓦石岩沟右支沟就曾暴发两场水石流,图 3 为 2007-2010 年 7 月份叫河乡日降雨量曲线图。

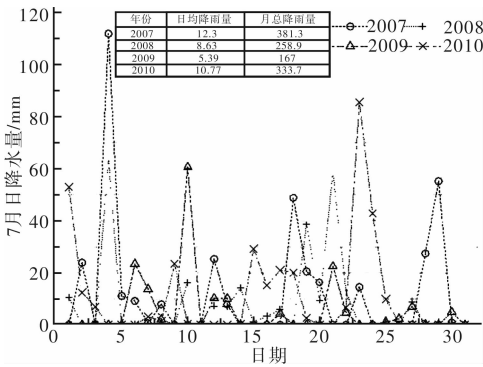


图3 叫河乡 2007-2010 年 7 月份日降雨量 (数据来自叫河乡气象站)

2 瓦石岩沟水石流特征及右支沟特点描述

2.1 瓦石岩沟水石流特征

2.1.1 水石流堆积特征

瓦石岩沟水石流体主要堆积在主沟沟口(图 1

绿色线包围区域),呈三角形。扇体(图 4)保存较完整,扇顶扩散角 65°、扇长 235 m、扇宽 130 m,平均厚 1.7 m,堆积方量约 $2.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。堆积物岩性以云母片岩、石英片岩和大理岩为主,其次还有砾岩和粘土岩,与流域出露岩性一致; $\geq 60 \text{ mm}$ 砾石以几何粒径 3~15 cm 居多、级配较差,最大长轴可超 50 cm;砾石多为棱角状至次棱角状。整个堆积体结构表面松散、向内变致密,发育叠置构造(图 4)。

2.1.2 水石流灾害特征

瓦石岩沟物源区和流通区没有明显的界限,野外调查认为其主要物源还是来自中、下游地区的沟床堆积物(多为谷坡及支沟松散物平时在主沟中慢慢积聚而成)。因此瓦石岩沟水石流灾害也主要发生在中下游地区及沟口堆积扇等地,形式有冲毁房屋和掩埋房屋两种(图 5)。

2.2 瓦石岩沟右支沟特点

瓦石岩沟右支沟是瓦石岩沟最主要的一条支沟,支沟总长 6.72 km、流域面积 8.38 km^2 ,流域高差 655 m;所计算沟床坡降为 97.47‰,面高差①为 78.16 m/km^2 。与文献[4]所提供的四川省 1 000 条泥石流沟数据相比(图 6),瓦石岩沟右支沟径流产能条件很弱,尤其是沟床坡降。

野外调查及室内分析亦发现虽然右支沟本身产能条件较弱,但其一级支沟发育众多(图 7、图 8),而且左右两侧支沟数接近(只统计沟长 $\geq 100 \text{ m}$ 的):右侧分水岭发育 47 条、左侧分水岭发育 40 条,平均 12.95 条/km(沿右支沟展布方向)。除左侧一条支沟沟床坡降为 185‰外,其余均超过 200‰,但基本上都超过主沟沟床坡降值的两倍。

另外从右支沟及其左右两侧分水岭高差曲线图上(图 9)可以看到,在右支沟全流域内,两侧分水岭很好的保持了对右支沟的高差态势。这对支沟水

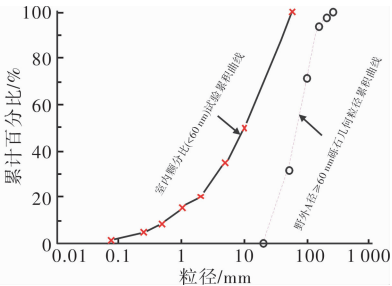


图4 瓦石岩沟水石流堆积扇照片及颗分累积曲线



图 5 瓦石岩沟水石流灾害照片(沿水流方向)

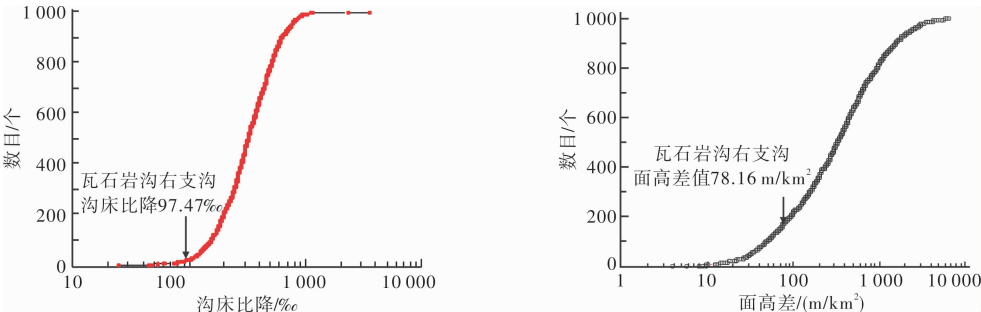


图 6 瓦石岩沟右支沟与四川泥石流沟产能条件对比(四川泥石流原始数据引自文献[4])



图 7 右支沟两侧发育的各种形式冲、切沟

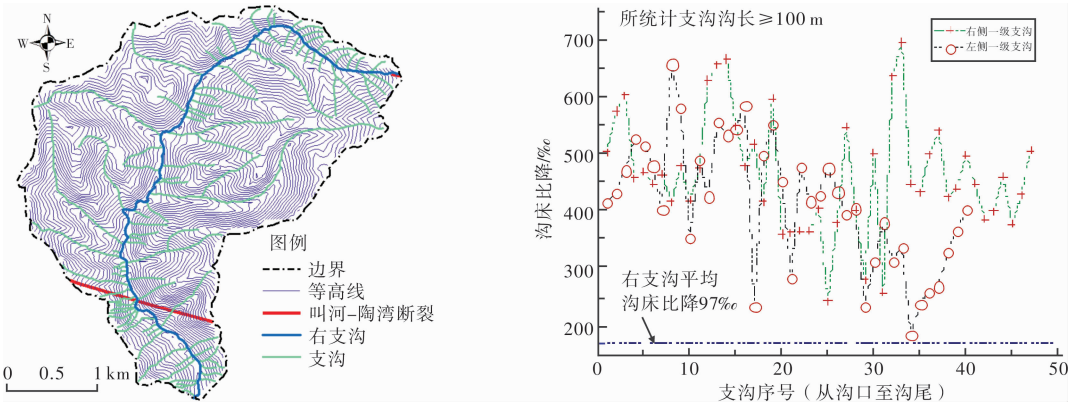


图 8 瓦石岩沟右支沟支流发育情况及支流沟床比降值

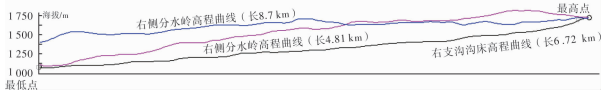


图 9 瓦石岩沟右支沟及其两侧分水岭高差曲线图

流汇入右支沟之前的能量获取是非常重要的,也是物源启动时水流具有足够速度的保障。

3 泥石流形成原因分析

沟谷要形成具有一定规模的泥石流流体,就必须

具备两方面的初始条件:①物源能够启动;②物源能够液化流动。物源启动主要取决于径流深度和水流速度;而物源初始液化则需要超孔压支持。

3.1 物源启动

瓦石岩沟右支沟流域面积有 8.38 km²,像 2007 年及 2010 年 7 月份降水量均超过了 330 mm (图 3),这样的降雨加上前期降水足够形成具有一定深度的径流。因此对于瓦石岩沟右支沟物源启动来说,最主要的还是水流速度。水流速度又与

雨强和沟床坡降有关, 图 3 中显示该区域 7 月份日均降雨量最大也只有 10 mm 多, 所以沟床坡降的影响是很重要的。因为沟床比降是泥石流势能转化为动能的基础, 表征泥石流的能量及活动强度^[3, 5]。但从图 9 上可以看到, 瓦石岩沟右支沟沟床坡降并不大、经计算只有 97.47‰, 与四川省泥石流沟相比, 沟床坡降已经很小了。陈宁生等根据统计将西南泥石流沟平均沟床比降按 50‰、100‰、300‰、500‰为界划分为小、中小、较大、大、极大等五种类型并分别评述了其暴发泥石流的难易程度^[3]。按照这样划分, 则瓦石岩沟右支沟属于泥石流不易发生区域。另外崔之久统计北京山区泥石流沟床比降后认为, 当沟谷纵坡坡度小于 8° (即 140.5‰), 就出现淤积^[6]; 费祥俊按照理论公式推导出水石流形成的的最小沟床比降应达到 250‰^[1] (14.04°), 这与钱宁给出的水石流沟道的坡度应在 (14.5°, 22.9°) 是一致的^[2]。所以按照前人研究成果, 瓦石岩沟右支沟不具备暴发泥石流的有利条件。

但由于瓦石岩沟右支沟均匀的发育了众多一级支沟且沟床比降基本上均大于右支沟沟床比降值的两倍, 因此这些支沟很好的对右支沟水流进行了连续加速 (如图 10 所示, 支沟水流汇入主沟时, 存在比主沟水流流速快的“最大流速区”)。康志成等也谈到, 山区沟谷由于流域面积大、支沟发育, 支沟中会有泥石流汇入主沟, 所以主沟沟床比降较小, 为 50‰~300‰^[5]。但瓦石岩沟右支沟情况又不一样, 其支沟汇入的多为清水而不是泥石流。这主要还是与其支沟形式有关, 从图 7 中可以看到, 右支沟流域多发育悬沟、陡沟 (比降

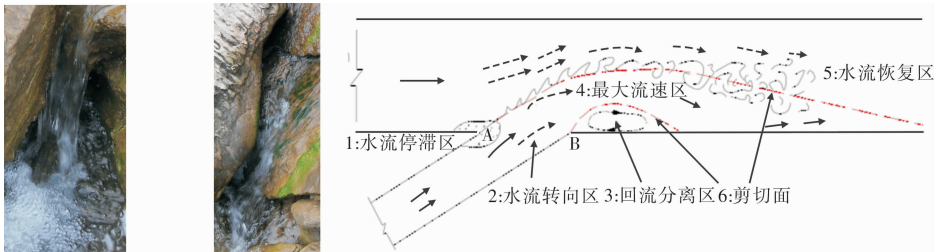
可达 700‰) 等形式支沟。从这些支沟汇入的水体会与主沟水体产生剧烈的能量交换, 从而使主沟水体流速达到一个更高值, 直至能启动并带走较大直径的砾石。关于入汇型河道, 支沟对主沟泥沙运动的影响, 刘同宦及王国卿等人做了很多研究^[7-8]。

3.2 物源液化

从上分析知, 瓦石岩沟右支沟一级支沟中存在众多陡沟、悬沟, 右支沟就相当于支沟水流的天然消力池 (图 11)。陡沟的水体在汇入主沟之时, 会在主沟水体中形成急流冲击波, 这些冲击波会持续的对沟中堆积物进行晃动; 同时从悬沟流出的水体就会不断的锤击主沟水体, 形成压缩波。这些应力波在晃动沟中砾石之时, 还会在瞬时升高饱和砂砾土孔压, 造成沟道堆积砾石液化并逐渐与主沟水流掺混形成水石流体。关于应力波造成砂砾土或砂卵石液化方面, 中国地震力学研究所袁晓铭、曹振中等研究员及郭文等其他相关机构研究人员均作了大量研究, 可参阅文献 [9-12], 在此不再赘述。

结合上述分析认为, 具小沟床坡降、不利于暴发水石流的瓦石岩沟右支沟之所以能够暴发多次水石流, 主要是因为其均匀发育众多具悬沟、陡沟形式的支沟; 这些水力产能条件强的支沟, 会将具有较大动能的水体注入动能较小的主沟内, 对主沟水体进行接力加速的同时还将对沟道堆积物进行有效的应力波冲击, 最终致使沟道堆积物启动和液化并与主沟水流掺混形成水石流体。

最后为便于与其他水石流沟形成模式相区别, 也为了能够给具备相同工程地质条件沟谷的水石



以跌水形式注入主沟 以陡坡形式汇入主沟 入汇型河道水流结构分区示意图 (引自文献[7])
图 10 一级支沟与右支沟能量交换关系

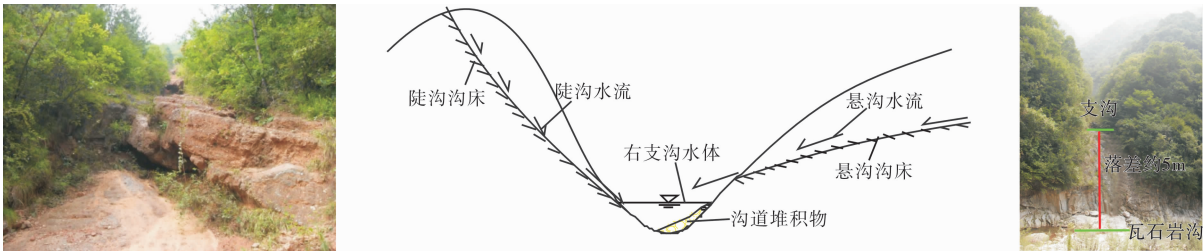


图 11 右支沟与支沟水流入汇关系示意图

流危险评判提供类比案例，作者将瓦石岩沟水石流形成模式称为“瓦石岩沟模式”。

4 结 论

根据以上分析知，瓦石岩沟沟床坡降小、而水石流主要物源又为右支沟中下游沟床砂砾土，其一级支沟未暴发泥石流。按照前人相关成果，这样较小沟床比降的沟道是不容易发生水石流的。

而野外调查发现，瓦石岩沟右支沟具有很明显的特点，主要是沟道两侧均匀发育众多悬沟和陡沟，平均达 12.95 条/km(沟长≥100 m)。这样的支沟密度，再加上支沟较强的水力产能条件，就很好的补充了主沟沟床坡降较小、产能不足的劣势。主沟两旁的悬沟和陡沟不仅可以通过接力方式、沿途对主沟水体进行加速，使得主沟水体具备启动较大砾石的动能；同时二者产生的应力波又能够不断的对水中饱和砂砾土进行晃动并升高砾粒间的孔压，最终使其液化并与主沟水体掺混形成水石流体。

因此，基于前人研究成果及野外调查、室内分析研究，认为主沟产能条件较差的瓦石岩沟右支沟之所以能够多次暴发水石流，主要是得益于其均匀发育、具备较好水流产能条件的一级支流。这些支流不仅能给主沟注入源源不断的活水，还能为主沟注入持续的能量。这是该沟在强降雨条件下，多次暴发水石流的原因。最后将这种水石流形成模式，即主沟沟床比降小、水力产能条件弱；支沟密度大、水力产能条件强；物源为主沟沟道堆积物、主沟水石流体的形成主要靠支流水

体动能的模式，称为“瓦石岩沟模式”。

感谢：本次野外调查，中国地质大学(武汉)工程学院李才、钱玉智、戴巍及河南省地质工程勘察院王邦贤、左伟参与了大量的野外调查及室内整理工作；河南省地质工程勘察院左正金、朱新春两位专家进行了大力指导。另外，栾川县地矿局提供了大力协助。在此，一并感谢！

参考文献：

[1] 费祥俊. 泥石流运动机理与灾害防治[M]. 北京：清华大学出版社，2004：81-88.

[2] 钱宁，万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京：科学出版社，1991：441.

[3] 陈宁生. 泥石流勘查技术[M]. 北京：科学出版社，2011：11.

[4] 王静宜. 泥石流地貌要素的初步分析[J]. 数理统计与管理，2002，21(3)：11-20.

[5] 康志成，李焯芬，马蔼乃，等. 中国泥石流研究[M]. 北京：科学出版社，2004：41.

[6] 崔之久. 泥石流沉积与环境[M]. 北京：海洋出版社，1996.

[7] 刘同宣. 山区入汇型河道水沙运动演化特征试验研究[D]. 成都：四川大学，2005.

[8] 王国卿，白玉川. 不同入射角对河流弯曲演变的影响[J]. 水利与建筑工程学报，2011，9(5)：45-48.

[9] 曹振中. 汶川地震液化特征及砂砾土液化预测方法研究[D]. 哈尔滨：中国地震局工程力学研究所，2010.

[10] 曹振中，徐学燕，袁晓铭. 国内外液化砂砾土土性对比分析[J]. 防灾减灾工程学报，2012，32(4)：481-487.

[11] 曹振中，袁晓铭，王维铭，等. 汶川地震砂砾土液化分布及土性特征初步研究[J]. 土木工程学报，2010，43(Supp 2)：312-319.

[12] 袁晓铭，曹振中. 砂砾土液化判别的基本方法及计算公式[J]. 岩土工程学报，2011，33(4)：509-519.

Research on Water Debris Flow Breaking Out Reasons of Small Gradient Gully

——Take Luanchuan Washiyan Gully as an Example

Shao Lianfen^{1, 2}, Yu Hongming¹, Peng Zuwu¹, Chen Pengyu¹,
Wang Shuonan^{1, 3} and Hu Yuanyuan³

(1, China University of Geosciences Wuhan 430074; 2, Huanghuai University Zhumadian 463000;
3, Henan Province Institute of Geological & Prospecting Engineering Zhengzhou 450001)

Abstract: In order to analyze the reasons of breaking out water debris flow in Washiyan Gully, one hand there considering landform feathers and gully runoff conditions, the other hand also referencing some research results of mountain confluent river and gravel soil liquefaction. Conclusions show that Washiyan Gully owns many tributaries that have strong hydraulic conditions, and can exchange energy with trunk stream which has weak hydraulic conditions. Then trunk stream flow is been speeding up to have the ability to move gravel. Meanwhile tributaries flow are producing continuous stress wave which can liquefy the gravel soil nearby. And the liquefying gravel soil are gradually mixing with flow and then forming water debris flow. Finally, the Washiyan Gully mode is proposed for referencing to similar geological engineering area to evaluate water debris flow risk.

Key words: Washiyan Gully; gully of small gradient; water debris flow; reasons research; Luanchuan County of Henan Province