

李永红, 刘海南, 杨渊, 等. 秦巴山区泥石流动力学特征及致灾模式[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 71–75. [LI Yonghong, LIU Hainan, YANG Yuan, et al. Dynamical Characteristic and Hazard Mode of a Certain Debris Flow in Qinling–Bashan Mountains [J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(1): 71–75. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.01.014.]

秦巴山区泥石流动力学特征及致灾模式^{*}

李永红^{1,2}, 刘海南^{1,2}, 杨渊^{1,2}, 胡文寿³, 何倩⁴, 李傲雯⁵

(1. 矿山地质灾害灾变机理与防控重点实验室, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054;
3. 中国建筑材料工业地质勘查中心陕西总队, 陕西 西安 710003; 4. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054;
5. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 通过详细调查 2014 年 9 月 19 日秦岭南坡九千岔沟的洼沟泥石流的发生、发展和堆积过程, 分析泥石流发生时物源的颗粒级配、容重及泥石流的流速、流量、最大历时等物理性质和动力学特征, 认为洼沟泥石流形成过程具有明显的溃决效应, 且前期降水对该泥石流的形成有显著影响; 洼沟泥石流是一种流速高、流量大、历时长的粘性、降水弃渣型泥石流; 洼沟泥石流运动过程具有高位远抛、沿沟揭底、受阻爬坡、分流折转、弯道加速、S 型前进的特点; 洼沟泥石流致灾模式严格受泥石流堆积过程中行进路线的影响, 尤其是高位冲积, 在 S 型弧线弯道处跌落时能量巨大, 是本次致灾的主要原因。

关键词: 泥石流; 动力学特征; 致灾模式; 高位远抛; 沿沟揭底; 秦巴山区

中图分类号: P642.23; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)01–0071–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.01.014

泥石流影响因素较多, 动力学特征复杂, 是迄今尚未突破的前沿课题。全球气候异常变化、山区经济快速发展, 泥石流对生命财产造成严重的灾难性事件常常发生在远离物源区的泥石流松散物运移路径中, 近年来这些因素给泥石流灾害带来的风险日益加剧, 社会影响恶劣。

陕西省秦巴山区矿产资源丰富, 早期粗放式的开采, 不合理堆放的表土、矿石、弃渣等引发泥石流较多, 历史上秦岭南北坡弃渣型泥石流均有之。自 1994 年起秦岭北坡小秦岭金矿区每 2~3 年不同峪道均发生过泥石流并致灾。2010 年 7 月 23 日 19:30, 秦岭北坡渭南市潼关县安乐镇蒿岔峪岔界沟发生泥石流, 致 8 人死亡 4 人重伤^[1-2]; 2014 年 9 月, 秦岭南坡商洛市商州区麻池河镇九千岔沟的洼沟发生泥石流, 造成 5 死 1 伤。这些弃渣型泥石流的发生, 一方面造成了大量人员伤亡, 另一方面山清水秀的地貌景观瞬息变成灰蒙一片、满目疮痍, 严重破坏了生态环境。

目前, 许多专家学者对采矿弃土导致水土流失或引发泥石流的力学特征进行了大量卓有成效的数值模拟和现场试验^[3-7], 但研究仍然存在一些未能很好解决的难点问题, 主要包括: ①已有泥石流动力学结构模型的不完善和适用性问题; ②已有数值模拟方法之间存在分歧, 难以选择应用; ③泥石流动力学复杂环境(地形、水文等)效应问题远未得到很好的解决; ④泥石流动力学数值模型耦合及与 GIS 集成等。上述问题的存在严重影响

了泥石流动力学模拟结果的准确性。这些科学研究的瓶颈严重制约泥石流数值模拟、现场试验的实用性和社会效益。为此, 笔者以洼沟泥石流实例为研究对象, 通过现场调查与实测, 采集必要的物理参数, 还原泥石流发生时部分场景, 探寻泥石流的部分力学参数, 以此进一步研究泥石流发生时的运动特征与致灾过程, 丰富泥石流成灾理论, 对秦巴山区具备相似条件的泥石流监测预警提供必要的预警参数, 为减灾防灾提供依据。

1 研究区概况

洼沟位于秦岭南坡商洛市商州区麻池河镇田沟(九千岔沟上游支沟名称)右岸皱形冲沟内(图 1), 沟谷三面环山, 呈漏斗状, 沟内有弃渣堆积, 沟谷中部进行了临时拦挡, 沟谷地形高差 200 m, 纵坡度大于 60°, 流域面积 0.12 km²。洼沟为九千岔沟的一级支流, 与其垂直交汇。九千岔沟流域面积 14.50 km²^[8], 海拔 820~1 518 m, 沟脑与沟底相对高差 698 m, 沟长 6.7 km, 纵坡降 104‰。沟谷呈“V”字型, 谷坡地形坡度 30°~40°, 局部达 50°以上, 近南北向展布, 支沟较多, 呈对称的树枝状, 近东西向展布, 支沟纵坡降远大于主沟纵坡降, 支沟谷坡坡度也明显大于主沟两侧坡度。区内地层为秦岭上亚群黑云母斜长辉长岩、黑云母

^{*} 收稿日期: 2017–05–31

修回日期: 2017–08–21

基金项目: 陕西省财政专项地质灾害防治经费项目(陕地调院发[2014]33号)

第一作者简介: 李永红(1968–), 女, 山西孟县人, 教授级高级工程师, 主要从事地质灾害防治工作. E-mail: 573142680@qq.com

变粒岩等,厚层状,出露厚度达 100 m,近东西向展布,抗风化能力强;区内第四系残坡积层广布,厚度 1~3 m,覆盖于基岩之上,植被覆盖率达 80%。田沟为某矿山企业的采石场、石料加工厂、弃渣堆积区域,目前仍有大量剥离的表土、碎石、弃渣及生产设备置于沟谷内,矿区植被覆盖率较低。研究区多年平均降水量在 800 mm 以上,2014 年 9 月 7 日-18 日连续 12d 强降雨,九千岔沟流域累计降水量 367.1 mm,为近 10 年降水之最。

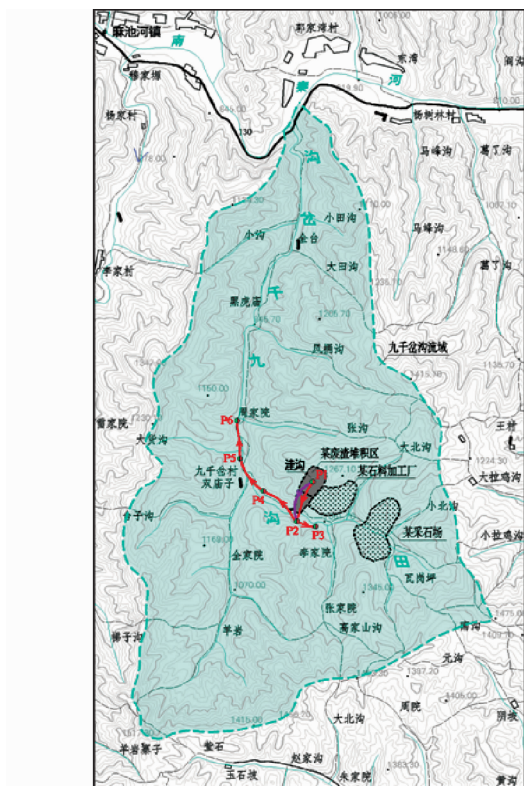


图1 研究区平面示意图

2 洼沟泥石流特征基本概况

2.1 泥石流致灾概况

2014 年 9 月 19 日凌晨,洼沟上游堆积的弃渣夹杂着沟道两侧松散残坡积物等形成泥石流,从距沟道高约 200 m 的坡体上奔腾而下,冲破前缘的临时拦挡墙,垂直于主沟方向顺坡而下,在主沟与支沟交汇处发生 90°折转后,沿九千岔沟呼啸而下,据村民讲此次泥石流持续了约半小时。泥石流致九千岔村村民 3 死 1 伤,田沟沿岸长约 1.5 km 范围内房屋、农田、树木、通村公路、输变线路均遭到不同程度毁坏。同年 10 月 4 日 11:30,残存的弃渣再次下泄,又造成 2 名施工人员死亡,施工机械被埋。洼沟泥石流灾害共造成 5 人死亡 1 人受伤。

2.2 泥石流颗粒级配分析

经过多次外业调查,作者试图在泥石流堆积区进行颗粒级配分析,旨在查明弃渣下泄过程中侧蚀沟道两侧的坡残积物、揭底沟道内的砂砾卵石的程度,进而研究秦巴山区同地质条件下,

在极端天气下,残坡积碎石土对泥石流物源的贡献程度。结果表明从上游至下游 1.5 km 堆积区中,发现堆积物中 90% 以上为弃渣,磨圆度较好的砂砾石和残坡积片状碎屑变质岩较少,说明本次泥石流的物源主要为洼沟沟脑弃渣。

2.3 泥石流三区特征

洼沟泥石流三区分布特征明显(图 2)。物源启动区即形成区位于洼沟沟脑,流通区位于洼沟中下游至与主沟交汇处,堆积区以支沟与主沟交汇为界沿主沟九千岔沟上下游堆积。

形成区:为 P1 附近的区域。位于洼沟中上游,洼沟沟脑海拔 1 220 m,与主沟交汇处的沟底海拔 1 020 m,地形高差约 200 m,洼沟顶至沟底南北垂直投影长度小于 200 m,洼沟原始地形纵坡度大于 60°,坡度较陡,表层被第四系残坡积层覆盖。洼沟三面环山,平面形态似漏斗状,漏斗颈部砌了一干石坝,上部作为堆积弃渣的临时场地,在泥石流发生前其实际库容大于 6 万 m³,前期降水量充沛,弃渣本身饱水,这些构成泥石流启动的物源。



图2 洼沟泥石流三区分布情况

流通区:为 P1~P2 的区域。支沟中下游至主沟 50 m 间,从上游到下游沟道明显收窄。物源启动下泄时受阻,加之弃渣堆积的地形较高,部分冲积物冲开拦挡墙(坝)后在空中作抛物线运动,这一点在拦挡墙(坝)下游流通区左右两侧山体上残存的灰白色弃渣痕迹佐证;部分冲积物沿洼沟下游沟道作直线运动,运动过程的弃渣对沟道内的残坡积物有侧蚀和揭底作用,残坡积物也是此次泥石流的物源之一,从沟道堆积物不难看出这一点,但相比较而言,残坡积物对泥石流的贡献较小。上述两股冲积物在支沟与主沟交汇处汇合后完成了本次泥石流发生的流通环节。

堆积区:一段位于 P2~P3 区域、另一段为 P2~P4~P5~P6 区域。流通完成后,泥石流堆积物沿主沟左岸冲起爬高受阻,向后仰起“全面开花”,主流分别向上游、下游、坡体对岸近 90°折转,受地形影响泥石流向上游倒流长度有限(P2~P3 段较短),而向下游源远流长,汇入南秦河,主要堆积区位于 1.5 km 范围内(P2~P4~P5~P6 段较长)。此次泥石流堆积严格受九千岔沟道地形条件的控制,泥石流物质可以说是边流通边堆积,本文归为堆积区便于分析。从上游向下游方向沟道由窄变宽,堆积物也由厚变薄,这种边流通边堆积的

过程中,泥石流运动方向基本呈 S 型,受阻、爬高、折转、弧形前进,再受阻、爬高、折转、弧形前进,直至速度消减,而折转之处由于流量、爬高、冲击力较大,与村民宅基相遇必致灾。

3 泥石流动力学特征

沟底摩阻力不同,泥石流的力学特征不尽相同^[9],本文主要研究泥石流的容重、流速、流量、最大历时特征参数,以此判断泥石流发生时的时速,目的是为监测预警减灾服务。

3.1 泥石流容重

本文采用泥石流浆体液-固体比例来计算容重^[10],计算公式如下:

$$\gamma_m = (G_m f + 1) \gamma_w / (f + 1) \quad (1)$$

式中: γ_m 为泥石流容重(g/cm^3); G_m 为固体物质容重(g/cm^3),取值 2.50; γ_w 为水的容重(g/cm^3),取值 1; f 为水与固体物质体积比,取值 4。

泥石流堆积物颗粒以粘粒为主,主要为选铁形成的弃渣,堆积物主要是磨碎、磁选后的闪长岩石粉。通过在洼沟沟口、九千岔村附近、田沟中下游调查与取样,测得堆积扇的堆积物平均干容重为 $2.50 \text{ g}/\text{cm}^3$; 泥石流发生时弃渣呈饱水状态,固体物质与水的体积比为 8:2,固体物质体积含量为 80%,因此 $f=4$,推算本次泥石流容重约为 $2.20 \text{ g}/\text{cm}^3$,固体物质体积含量大于 50%,容重介于 $1.80 \sim 2.30 \text{ g}/\text{cm}^3$,堆积物以粘粒物质为主,确定洼沟泥石流为粘性泥石流。

3.2 泥石流流速

洼沟泥石流暴发突然,跟其它多数泥石流一样,很难现场测定其流速^[11]。本文依据泥石流运动中弯道超高泥位、通过弯道时转弯半径、泥石流断面宽度与流速的关系,采用高桥保公式推算泥石流流速^[12]。

$$V_i = (0.5 H_i R_i g / B_i)^{1/2} \quad (2)$$

式中: V_i 为泥石流相对最大流速(m/s), H_i 为超高泥位(m), R_i 为弯道转弯半径(m), B_i 为泥石流断面宽度(m), g 为重力加速度(m/s^2)。

根据洼沟泥石流运动轨迹与流经途径,选取 P2 ~ P4、P4 ~ P5 段推算泥石流发生时的最大流速。外业测得两段超高泥位分别位于洼沟与主沟交汇处坡体为 5 m、九千岔三组村民坡体房屋上为 1 m; 泥石流在九千岔沟主沟内 S 型行进时,在河道内形成的弧长与圆心角推测弯道转弯半径, P2 ~ P4 弯道转弯半径 130 m、P4 ~ P5 弯道转弯半径 150 m; 调查与测得 P2 ~ P4 段泥石流断面宽度较窄,平均宽约 3 m, P4 ~ P5 段泥石流断面宽度较宽,平均宽约 5 m。

根据上述公式,推算泥石流冲出洼沟后在九千岔沟内边流通边堆积时, P2 ~ P4 段最大流速约 $32.6 \text{ m}/\text{s}$; P4 ~ P5 段流速逐渐减弱,最大流速约 $12.1 \text{ m}/\text{s}$ 。

3.3 泥石流流量

泥石流流量计算方法较多^[13-16]。本文根据上述求得的最大流速,旨在研究泥石流洪积物经过

沟道内几个弯道时的最大流量,其计算公式如下:

$$Q_i = V_i S_i \quad (3)$$

式中: Q_i 为泥石流最大流量(m^3/s), V_i 为泥石流最大流速(m/s), S_i 为泥石流断面面积(m^2)。

如前所述,调查与测得的 P2 ~ P4 段泥石流断面宽度较窄,平均约 3 m,从残留的堆积体可以看出,平均堆积厚度较大,约 3 m,则 P2 ~ P4 段泥石流断面面积约 9 m^2 ; P4 ~ P5 段泥石流断面宽度较宽,平均约 5 m,平均堆积厚度较薄,据第一时间调查人员反映,泥浆没过膝盖,约 0.5 m,则 P4 ~ P5 段泥石流断面面积约 2.5 m^2 。

根据已推算的最大流速与上述公式, P2 ~ P4、P4 ~ P5 泥石流最大流量分别为 $293.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $30.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

计算结果表明,泥石流最大流速、流量发生在洼沟与田沟交汇 P2 处,最大流速为 $28.6 \text{ m}/\text{s}$,最大流量为 $257.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.4 泥石流的最高历时

按泥石流暴涨暴落的特点,以泥石流总量计算公式反推泥石流最大历时^[17],其公式为:

$$T_{\max} = Q / K Q_{\max} \quad (4)$$

式中: T_{\max} 为泥石流最大历时(s); Q 为总冲淤量(m^3),本次调查估算冲淤量共为 6 万 m^3 ; K 与河道的粗糙系数有关,本文根据陕南河道水文参数取 0.8; Q_{\max} 为最大流速(m^3/s),取值 32.6。

经计算,泥石流最大历时约 0.63 h,这与村民所说的持续约半个小时相吻合。

4 泥石流形成因素分析

4.1 地形条件

洼沟属中低山地貌,沟谷整体呈“V”型,三面环山,沟口与弃渣堆积后缘高差超过 200 m,两侧谷坡较陡,沟谷纵坡度大于 60° ,水力坡度大,原沟谷地形雨水不易汇集。在弃渣堆前缘近沟口狭窄部位修建拦挡墙(坝),使水流排泄受阻,水压累积增加了溃坝的可能性。因此陡峻的地形地貌条件是“9·19”泥石流发生的必要地质环境条件。

4.2 物源分析

某矿山企业在田沟上游开采辉长岩矿石,破碎加工后形成粒级不等的建筑石料。在碎石过程中形成大量废弃石粉,集中堆放在建筑石料产品西侧的山坡与凹地内;之后矿山企业又将废弃的石粉再次磨粉、选铁,形成弃渣,其内混有少量碎石,含水量较大。矿山企业将大量的弃渣向三面环山的洼沟由上至下顺山坡(坡角约 40°)排放与堆积,形成松散的弃渣堆积体,南北长约 165 m,东西宽约 50 m,斜高约 35 m,堆积量约 9 万 m^3 。在弃渣堆前缘仅设置了高约 10 m 的拦挡墙(坝)。大量含水弃渣不合理排放形成的松散堆积体失稳,是泥石流形成的主要物源。

4.3 降水条件

根据气象资料,在 2014 年 9 月 7-18 日连续 12 d 的强降雨,九千岔沟流域累计降水量为 367.1 mm,为近 10 年降水之最。降雨入渗使弃渣含水量大大增加并饱和,内部水位逐渐升高,静水压力增大,增

加了弃渣的势能,降低了弃渣的稳定性。长时间强降水是洼沟泥石流发生的重要诱发因素。

由此可见,洼沟三面环山“掌状”陡峻的地形、丰富的可搬运的废渣松散堆积物、10年一遇充沛的前期降水^[18-22]导致了泥石流的发生。

5 洼沟泥石流成灾模式

泥石流的致灾模式主要体现在四个方面:

(1)高位远抛、沿沟揭底:长期降水导致高位堆积的弃渣饱水、势能加大,发生翻坝、溃决后,部分物质呈抛物线运动(图3),部分物质沿沟侧蚀、揭底携带松散的坡残积层沿狭窄的沟谷下泄。这个过程中由于泥石流所经之处位于洼沟,虽未造成人员伤亡,但严重影响了地貌景观。

(2)受阻爬坡、分流折转:泥石流松散物由洼沟顶部冲出沟口后,两股泥石流物质迅速在支沟与主沟交汇处汇合,从主沟右岸垂直于主沟方向直线前进数米后到达沟的左岸后,在主沟道前缘受阻爬高后主要分流于两侧(少部分冲向对岸)。一股泥石流向上游前行,由于反向爬坡,前行较短后停滞。这个过程泥石流严重堵塞通村公路,造成上游村民近10d内无法通行。

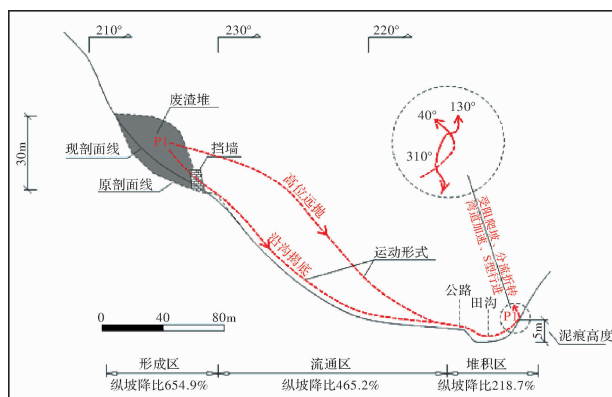


图3 洼沟泥石流运动模式剖面图

(3)弯道加速、S型行进:除上述一股泥石流向上游前行外,一股泥石流急转向下游流过,该股泥石流通过第一个弯道时,加速后向沟口右岸爬坡,于P2~P4中段爬到最高约5m后跌落至P4点时与三组村民房屋相遇,致2人死亡(图4)。泥石流在P4点后再次发生变向,沿河道向前靠左岸前行再通过第二个弯道P4~P5段,由于该段弯道河谷相对较宽,流速降低,相应流量也减少,泥石流爬行高度有限约0.5~1m,村民房屋残留的泥痕可以证明,但由于二组村民房屋位于河道低位处,跌落至P5时,泥石流将土木结构的房屋再次击倒造成村民1死1伤。P5后泥石流整体前行的流速、流量均有所降低与减少,沿田沟呈直线前行于P6点后进入九千岔沟下游,而后进入南秦河。9月19日,第一次泥石流的发生下泄弃渣约6万m³左右,造成3人死亡。泥石流行进路线基本上呈大小不等的S型。弯道处泥石流冲高、爬起时如有人员居住必致灾。



图4 洼沟泥石流致灾路径与致灾后的局部地貌

(4)认识有限、二次致灾:10月4日,由于施工人员缺乏必要的防灾意识,在主沟与支沟交汇处淤积时,上部残存饱水的弃渣在挖掘机触动下液化并再次下滑,造成2名人员被淹埋。由于沟口前期部分物质被搬运,第二次泥石流堆积物直接堆于支沟沟口,泥石流的行程较短为直线型。

6 结论

(1)通过泥石流的形成因素分析,洼沟泥石流形成过程具有明显的溃决效应,且前期降水量对泥石流的形成有显著影响。

(2)通过分析泥石流发生时的颗粒级配、容重、流速、流量、最大历时等动力学特征,认为洼沟泥石流是一次速度高、流量大、历时长的粘性泥石流,属降水-弃渣型泥石流。

(3)洼沟泥石流具有高位远抛、沿沟揭底、受阻爬坡、分流折转、弯道加速、S型行进的特点。

(4)泥石流的致灾模式严格受行进路线的影响,在弧线跌落时与建筑物相遇致灾,这与居民沿沟道居住密切相关,爬高时速度相对减少而无人居住;二次致灾与群众的减灾防灾意识淡薄有关。

(5)洼沟的主沟九千岔上游田沟内仍然有巨量的松散堆积物存在,在极端天气影响下,九千岔沟将成为高频泥石流沟,严重威胁下游村民安全,地方政府需尽快进行避灾搬迁。

(6)秦巴山区类似于洼沟地质环境条件的矿产资源开发利用区域,应引以为戒,前期降水充沛时需加强泥石流的监测与预警,防患于未然。

致谢:成文过程中得到长安大学地质工程与测绘学院陈志新老师、中国地质调查局西安地质调查中心徐友宁研究员的悉心指导,得到了商洛市国土资源局赵秋俊副局长、闵小鹏科长的支持与配合,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 徐友宁,陈华清,张江华,等.小秦岭金矿区7.23 高岔峪泥石流成灾模式及启示[J].地质通报,2015,34(11):2001

- 2008.
- [2] 徐友宁, 陈华清, 杨敏, 等. 采矿废渣颗粒粒径对矿渣型泥石流起动的控制作用[J]. 地质通报, 2015, 34(11): 1994-2000.
- [3] 兰恒星, 周成虎, 王小波, 等. 泥石流本构模型及动力学模拟研究现状综述[J]. 工程地质学报, 2007, 15(03): 314-320.
- [4] 赵暄, 谢永生, 王允怡, 等. 模拟降雨条件下弃土堆置体侵蚀产沙试验研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 1-8, 76.
- [5] 孙虎, 唐克丽. 城镇建设中人为弃土降雨侵蚀实验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 29-35.
- [6] 郭成久, 安晓奇, 武敏, 等. 弃土场侵蚀产沙模拟试验研究[J]. 中国水土保持, 2010(3): 29-31.
- [7] 陈奇伯, 黎建强, 王克勤, 等. 水电站弃渣场岩土侵蚀人工模拟降雨试验研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 1-4.
- [8] 杜少少, 张培栋, 石卫, 等. 陕西省商州区地质灾害详细调查报告[R]. 西安: 陕西省地质调查中心, 2014.
- [9] 张立舟, 王彦琦, 赵文俊, 等. 不同沟底摩阻力工况下泥石流动力学研究[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(4): 113-118.
- [10] 陈宁生, 崔鹏, 刘中港, 等. 基于黏土颗粒含量的泥石流容重计算[J]. 中国科学(E辑): 技术科学, 2003, 33(S1): 164-174.
- [11] 韦方强, 胡凯衡. 泥石流流速研究现状与发展方向[J]. 山地学报, 2009, 27(5): 545-550.
- [12] 沈强. 金华市婺城区大坞头泥石流特征与形成条件[J]. 西部探矿工程, 2009(11): 6-7, 10.
- [13] 张远瞩, 况明生, 孙艳丽, 等. 泥石流流量计算方法研究[J]. 乐山师范学院学报, 2004, 19(5): 107-109.
- [14] 沈寿长, 谢修齐, 项行浦, 等. 暴雨泥石流流量计算方法研究[J]. 中国铁道科学, 1993, 14(2): 80-89.
- [15] 康志成, 张军. 泥石流洪峰流量的研究与计算[J]. 中国水土保持, 1991(2): 15-18.
- [16] 张楠, 魏云杰. 四川省盐源县小河沟泥石流灾害调查研究[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(6): 148-153.
- [17] 费祥俊, 书安平. 泥石流运动机理与灾害防治[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 14.
- [18] 李永红, 滕宏泉, 康金栓. 陕西佛坪县城泥石流灾害成因与防治方案研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2014, 25(1): 43-48.
- [19] 李永红, 滕宏泉, 向茂西, 等. 陕西省秦巴山区泥石流灾害成因与防治对策研究[R]. 西安: 陕西省地质环境监测总站, 陕西省国土资源资产利用研究中心, 2009.
- [20] 陈建平, 范立民, 李成, 等. 秦巴山区矿产资源开采区地质灾害致灾模式研究[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 110-113.
- [21] 陈建平, 范立民, 杜江丽, 等. 陕西省矿山地质环境治理现状及变化趋势分析[J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(9): 54-64.
- [22] 李照淑. 陕西省泥石流灾害与防治[M]. 西安: 西安地图出版社, 2002.

Dynamical Characteristic and Hazard Mode of a Certain Debris Flow in Qinling-Bashan Mountains

LI Yonghong^{1,2}, LIU Hainan^{1,2}, YANG Yuan^{1,2}, HU Wenshou³ HE Qian⁴ and LI Aowen⁵

(1. Key Laboratory of Mine Geological Hazards Mechanism and Control, Ministry of Land and Resources, Xi'an 710054, China; 2. Shaanxi Institute of Geo-Environment Monitoring, Xi'an 710054, China; 3. Shaanxi Branch of China Geological Exploration Center of Building Materials Industry, Xi'an 710003, China; 4. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 5. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Through the detailed investigation of the occurrence, development and accumulation process of WA gully debris flow in south slope of Qinling Mountains Jiuqiancha gully in September 19th, 2014, and analysis the particle size distribution and bulk density of matter source, the velocity, flow rate and the maximum duration of debris flow and other physical properties and dynamic characteristics when the debris flow occurs, that WA gully debris flow formation process has clearly burst effect, and antecedent precipitation had significant effects on formation of debris flow. The WA gully is a viscous mining dregs debris flow with high velocity, large flow, long duration, which is affected by precipitation. Motor process of WA gully debris flow has the feature of high throwaway, carry the material along the bottom of gully, blocked climbing, bypass flow turning, curve speed up and go forward with s-type. The WA gully debris flow hazard mode was strictly affected by the path in the accumulation of debris, especially the high alluvial that carried tremendous energy when falling in the bend of s-type curve, which is the main cause of this disaster.

Key words: debris flow; dynamic characteristics; hazard mode; high throwaway; carry the material along the bottom of gully; Qinling-Bashan Mountains