

河南省商城县琉璃河泥石流地质特征和动力学参数分析

胡继华,陈 瑾

(河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院,许昌 461000)

摘要:琉璃河泥石流位于河南省商城县东部的苏仙石乡,是一条典型的沟谷泥石流。本文在分析琉璃河泥石流沟流域和泥石流基本特征的基础上,对形成泥石流的地形、水源、物源等基本条件进行了论述,并基于动力学原理,详细计算了泥石流的密度、流速、流量、冲出量等动力学参数。结果表明,琉璃河泥石流的流体密度为 1.47 t/m^3 ,泥石流峰值流量为 $29.3 \text{ m}^3/\text{s}$,泥石流流速为 4.94 m/s ,大块石的运动速度为 4.0 m/s ,泥石流整体冲击压力 4.86 Pa ,泥石流的最大冲起高度 1.24 m ,爬高 1.99 m 。动力学参数计算结果较为可靠,可指导泥石流防治工程设计工作。

关键词:琉璃河;泥石流;地质特征;动力学参数

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2015)03-0210-05

琉璃河泥石流位于河南省商城县东部的苏仙石乡,是一条典型的沟谷泥石流,由来已久。每逢暴雨,琉璃河均会发生规模不等的泥石流。2004年8月,商城县普降大暴雨,上游洪水顺流直下,冲毁琉璃河中游邓家楼20亩茶园、22耕地、15间房及部分农业设施和公路,无人员伤亡^[1];目前泥石流处于发展期,威胁中下游村民的生命财产安全。通过研究琉璃河泥石流的地质特征和动力学参数,了解泥石流的形成条件、活动规律及破坏力等,为下一步进行泥石流防治工程设计提供基础依据。

1 泥石流地质特征

琉璃河泥石流沟地貌属中低山区,地形东高西低,区内最高点海拔 1350 m ,位于苏仙石乡金刚台、猫儿石及月亮口等中山,最低点海拔 140 m ,位于沟口堆积区,相对高差约 1210 m ,沟谷切割较强烈,最大切深约 700 m ,单沟断面形态呈漏斗状,平面形态拐点众多,沟道宽窄变化大,宽度 60 m 至 400 m 不等。流域面积 42.1 km^2 ,主沟延伸长度 14.712 km ,主沟沟谷侵蚀切割作用强烈,两岸呈“V”形峡谷,两岸沟谷坡度 $45^\circ \sim 80^\circ$ 。

根据琉璃河沟道特点及固体物源分布特点,将泥石流分成3个区:清水动力区、物源形成区和堆积区(图1)。由于沟口上游两岸山坡均有残坡积物分布,因此,琉璃河的物源形成区包括流通区。琉璃河

清水动力区与物源形成区的分界线为东西向大断裂(F2),该沟谷南北的沟谷形态、物源分布有着明显的区别,物源形成区与堆积区界线在沟口的位置。

物源形成区坡体表层残坡积物较多,多数山坡裂隙发育,存在崩塌、滑坡现象,沟道内及沟道两岸堆积的冲洪积物较多,为泥石流的形成提供大量的松散固体物源。沟内残坡积堆积物的储存量为 $773.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,动储量为 $35.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。沟底主要为基岩,堆积区沟底主要为泥石流堆积。沟底实测纵剖面见图2。

1.1 清水动力区特征

琉璃河清水动力区位于泥石流沟上段,该段沟道长 8.20 km ,占流域总长的 61.7% ,高差约 1030 m ,沟床比降 125.6% ;该段山高坡陡,谷坡坡度 $45^\circ \sim 80^\circ$,沟谷切割作用强烈,呈“V”字形。暴雨时,汇水速度快,为泥石流的形成提供了强力的水动力条件。两侧山坡为原始自然沟道或斜坡,基岩裸露,陡崖峭壁林立,多处存在崩塌等地质灾害现象。岩层中等风化,岩性较坚硬,坡体上残坡积物较少,沟道内及两岸的冲洪积物较少,山坡植被覆盖率高,达 $70\% \sim 80\%$ 。该段沟床比降大,汇水面积最大,约 30.97 km^2 。雨水顺原始斜坡或自然沟道汇集成为具有强大动能的洪流,为琉璃河泥石流的主要水源汇集与水能集积段。由于本段植被覆盖率高,除极少量坡面流携带的残坡积物进入洪流外,基本无其它松散固体物源,水流性质为低挟砂洪流,为泥石流提供的

收稿日期: 2015-06-18

资助项目: 河南省地质灾害详细调查“河南省商城县地质灾害详细调查(20111292)”

作者简介: 胡继华(1983-),女,工程师,2010年7月毕业于中国地质大学(武汉)水文与水资源专业,本科,现主要从事地质灾害勘查防治工作,E-mail:86034985@qq.com。

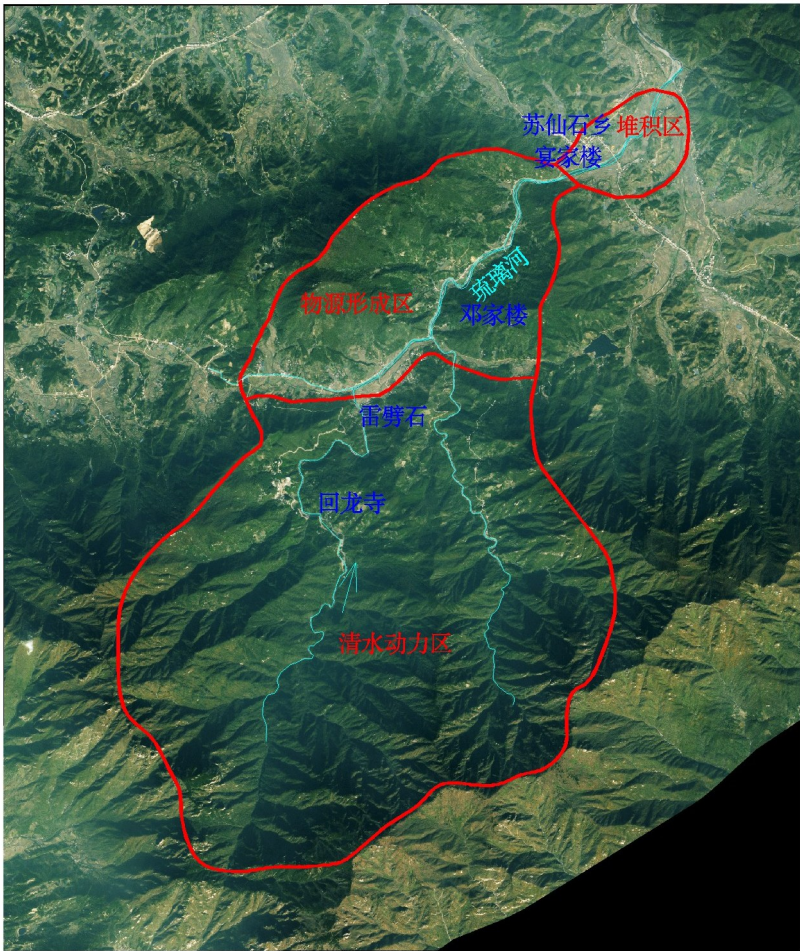


图1 琉璃河泥石流全貌

Fig.1 Full view of the debris flow in Liulihe River

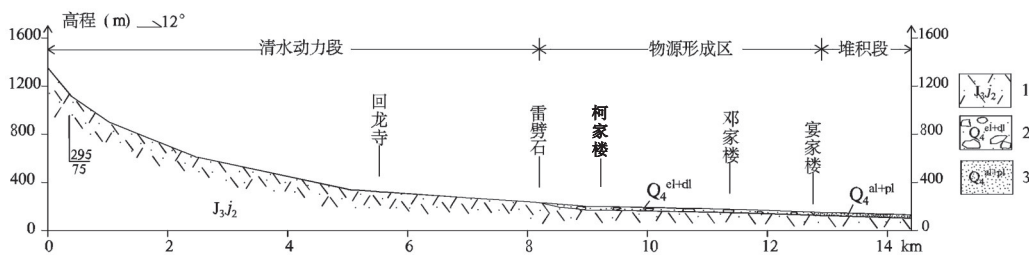


图2 琉璃河泥石流纵剖面图

Fig.2 Corss section of the debris flow in Liulihe River

1.侏罗系上统凝灰岩; 2.第四系全新统冲洪积物; 3.第四系全新统残坡积物

固体物源量较少。

该段沟内基岩裸露,泥石流堆积物含量很少,厚度一般<1 m,含漂石、卵石、砂,以2~20 cm的卵石为主,约占50%,20 cm以上的漂石约占20%~40%,砂约10%。漂卵石磨圆度较差,分选性差,沟道内的巨型块石多为两岸高陡边坡崩塌形成。

1.2 物源形成区特征

琉璃河物源形成区位于泥石流沟中段,平面呈条带状,长约4.68 km,占沟道总长的12.7%,高差约

170 m,沟床比降36.3‰;该段山高坡陡,谷坡坡度约30°~45°,沟谷切割作用较强烈,沟谷多呈“V”字形,柯家楼河道拓宽呈“U”字形。该段沟道内及两岸的冲洪积物较多,两侧山坡岩层强风化,表层残坡积物结构松散,厚度3~10 m不等,多处存在崩塌、滑坡等危害,山坡植被覆盖率约60%~70%。该段沟床比降较大,汇水面积较大约9.42 km²。坡面残坡积物、沟道内及两岸的冲洪积物较多,在2004年8月大暴雨作用下,冲刷坡体中部和坡脚大量的泥石流堆

积体,冲毁邓家楼茶园、耕地及房屋。两岸边坡残坡积物较厚,粉粒含量较多,泥石流较粘稠,重度较大,携带能力较强。

该段泥石流堆积物厚约1~6 m不等,含漂石、卵石、砂、粉土等,含量沿河谷不断变化。该段上游的堆积物含量为: >20 cm 漂石含量约占40%,2~20 cm的卵石含量约占40%,砂的含量约为5%,粉土含量约为15%。该段下游的堆积物含量为: >20 cm 漂石含量约占20%,2~20 cm的卵石含量约占30~40%,砂的含量约为5%,粉土含量约为30~40%^[2]。该段下游相比上游漂石含量减少,砂卵石含量增多,粉土含量增大,携带能力逐渐下降。

1.3 堆积区特征

琉璃河堆积区位于泥石流沟沟口,长1.83 km,横宽1.20 km,堆积区面积约1.68 km²,高差约20 m,平均纵坡降约10.92 ‰。该段地势平坦,泥石流于此处减速堆积,堆积扇上分布有农田和房屋。

堆积物厚度约1~5 m,堆积物漂石含量最少,卵石、砂、粉粒含量较多。其中>20 cm的漂石含量约占10%,2~20 cm的卵石含量约占30%~40%,砂含量约占20%,粉粒含量约占30%~40%。

2 动力学参数分析

由于泥石流参数计算公式较多,本次多采用较符合本区泥石流实际情况的公式进行计算,由于各公式中相同符号表达的意义相同,现将各公式中符号含义统一列于表1中,文中不再罗列符号含义。

2.1 泥石流密度

确定泥石流流体密度的经验公式较多,本次采用较符合本区泥石流实际情况和国内广泛采用的“高桥堡公式”进行计算^[3-5]。高桥堡公式:

$$\gamma_c = \sigma \times c + (1 - c)\rho \quad (\text{公式1})$$

根据实际情况对参数取值后按(公式1)对琉璃河流体密度进行计算,结果见表2。

泥石流密度决定着泥石流流体的性质,影响防治工程的规模 and 经济效益。

2.2 泥石流峰值流量

采用“雨洪法”计算峰值流量。即假设泥石流与暴雨同频率、且同步发生,计算断面的暴雨洪水设计流量全部转化为泥石流流量的假设条件下建立的计算方法^[6-7]。其计算公式为:

$$Q_c = (1 + \Phi_c)Q_p \times D_c \quad (\text{公式2})$$

(1)按水文方法计算出不同频率的暴雨洪水设计流量 Q_p 。

(2)按(公式2)计算泥石流的峰值流量 Q_c ,计算结果见表3。

泥石流洪峰值流量是泥石流最重要的特征值之一,反映泥石流的强度、规模和性质,决定着泥石流防治工程构筑物的类型、结构和大小。

2.3 一次泥石流过程总量

本次采用经验公式计算法,根据泥石流历时 $T(s)$ 和最大流量 $Q_c(m^3/s)$,按泥石流暴涨暴落的特点,将其过程概化成五角形,按下式进行计算^[8]:

$$Q = 0.264TQ_c \quad (\text{公式3})$$

根据琉璃河泥石流的实际情况,采用(公式3)计算可获得琉璃河泥石流的一次泥石流过程总量及一

表1 泥石流计算公式符号含义列表

Table 1 Debris flow calculating formula symbol

序号	公式符号	符号含义
1	γ_c	泥石流流体密度 (t/m ³)
2	σ	固体颗粒密度 (t/m ³),本次取 $\sigma=2.65$
3	c	泥石流固体物质体积浓度
4	Q_c	频率为P的泥石流峰值流量 (m ³ /s)
5	Q_p	频率为P的暴雨洪水设计流量 (m ³ /s)
6	Φ_c	泥石流泥砂修正系数
7	D_c	泥石流堵塞系数,取 $DC=1.50$
8	Q	一次泥石流过程总量 (m ³)
9	T	泥石流历时 (s)
10	V_c	泥石流断面平均流速 (m/s)
11	γ_H	泥石流中固体物质比重 (t/m ³)
12	m_c	清水沟床糙率系数,取2.25
13	R	水力半径 (m)
14	I_c	泥石流水力坡度 (‰)
15	V_s	泥石流中大石块的移动速度 (m/s)
16	d_{max}	泥石流堆积物中最大石块的粒径 (m)
17	α	摩擦系数,平均 $\alpha=4.0$
18	δ	泥石流整体冲击压力 (Pa)
19	g	重力加速度,取9.8 m/s ²
20	a	建筑物受力面与泥石流冲击力方向的夹角(°)
21	λ	建筑物形状系数,取1.33

表2 琉璃河泥石流流体密度成果表

Table 2 Liulihe river debris flow fluid density

沟道名称	沟床纵坡 倾角 $\beta(^{\circ})$	固体物质 体积浓度 $c(\%)$	泥石流 流体密度 $\gamma_c(t/m^3)$
琉璃河	4.85	15.4%	1.47

表3 泥石流峰值流量 Q_c 计算成果表

Table 3 Debris flow peak flow rate table

沟名	D_c	Q_p	γ_c	γ_H	ϕ_c	Q_c
琉璃河	1.5	14	1.47	2.65	0.39	29.3

次泥石流冲出固体物质的总量(表4)。

泥石流的一次泥石流过程总量及一次泥石流冲出固体物质的总量是两个非常重要的参数,对于预测评判泥石流对河道的淤塞程度以及拦挡构筑物都具有决定性作用。

2.4 泥石流流速计算

(1) 泥石流流速计算

根据琉璃河泥石流的实际情况,选用《泥石流灾害防治工程勘查规范》规范性附录I中的“稀性泥石流流速计算公式^[9-10]”,计算断面选择具有代表性的琉璃河沟口断面。

$$V_c = \frac{m_c}{\sqrt{\gamma_H \times \phi_c} + 1} \times R^{2/3} \times I_c^{1/2} \quad (\text{公式4})$$

利用(公式4)式对琉璃河泥石流的流速进行计算,计算参数取值及结果见表5。

泥石流流速是泥石流流动力学性质中最为重要的参数,是泥石流运动的主要特征参量。

(2) 泥石流中石块运动速度

根据琉璃河泥石流的实际情况,选用《泥石流灾害防治工程勘查规范》规范性附录I中的“泥石流中石块运动速度计算公式”对其进行计算^[9-10]。

$$V_s = a \sqrt{d_{\max}} \quad (\text{公式5})$$

利用(公式5)对琉璃河泥石流中大块石运动速度进行计算,计算参数取值及结果列于表6。

2.5 泥石流整体冲击压力

泥石流整体冲击压力 δ 按《泥石流灾害防治工程勘查规范》的规范性附录I中推荐的“铁二院(成昆、东川两线)公式”进行计算^[10-13]。计算公式如下:

$$\delta = \left(\frac{\gamma_c}{g} V_c^2 \sin \alpha \right) \lambda \quad (\text{公式6})$$

考虑建筑物形状为矩形,即 $\lambda=1.33$,建筑物受力面与泥石流冲击力方向的夹角为 90° ,计算结果见表7。

泥石流冲击力直接关系到防治工程结构物的材料、形式和断面尺寸和配筋的选取等。冲击力验算校核是保证工程可靠性能的重要依据之一。

2.6 泥石流最大冲起高度

按《泥石流灾害防治工程勘查规范》的规范性附录I中“泥石流冲起高度”的相关公式进行计算。计算公式如下:

泥石流最大冲起高度 ΔH 为^[10-13]:

$$\Delta H = \frac{V_c^2}{2g} \quad (\text{公式7})$$

泥石流在爬高过程中由于受到沟床阻力的影

表4 一次泥石流过程总量和一次冲出固体物质总量计算成果表

Table 4 One-time debris flow process total amount and one-time output solid substance total amount

琉璃河	历时 T (min)	1	5	10	30	60	120
	Q (m³)	475.2	2376	4752	14256	28512	57024
	Q _H (m³)	135.36	676.8	1353.6	4060.8	8121.6	16243.2

表5 泥石流流速计算成果表

Table 5 Debris flow velocity calculating

沟名	$\gamma_h(t/m^3)$	$r_c(t/m^3)$	Φ_c	m_c	$I_c(\%)$	R(m)	$V_c(m/s)$
琉璃河	2.65	1.47	0.39	2.25	84.72	0.2	4.94

表6 泥石流中石块运动速度计算成果表

Table 6 Debris flow rock velocity calculating table

沟名	最大石块的粒径 $d_{\max}$ (m)	全面考虑的摩擦系数 α	石块的运动速度 V_s (m/s)
琉璃河	1	4.0	4.0

表7 泥石流在不同频率下的整体冲击压力计算成果表

Table 7 Debris flow total impact pressure in different frequency

沟名	$r_c(t/m^3)$	$V_c(m/s)$	$\delta(Pa)$
琉璃河	1.47	4.94	4.86

表8 泥石流的最大冲起高度 ΔH 和爬高 Δh 计算成果表

Table 8 Debris flow max impact height and run-up

沟名	V_c (m/s)	ΔH (m)	Δh (m)
琉璃河	4.94	1.24	1.99

响,其爬高 Δh 为^[10-13]:

$$\Delta h = 0.8 \frac{V_c^2}{g} \quad (\text{公式8})$$

泥石流的最大冲起高度 ΔH 和爬高 Δh 计算结果见表8。

泥石流冲起高度决定泥石流拦挡构筑物的正面冲高值。

本文计算结果与泥石流实际情况吻合,动力学参数计算结果较为可靠,基本反映了琉璃河泥石流的流量特征。

3 流体参数计算在防治工程设计中的作用

各项流体参数计算、选取应尽量保证其合理性、准确性和可靠性,为泥石流灾害防治工程提供可靠的设计参数。泥石流的流体参数不仅反映了泥石流的规模、强度和流体特征,还直接决定着泥石流防治建筑物类型、结构和尺寸,是泥石流研究和防治工程

设计的基础,关系到防治工程的经济合理性、技术可行性、安全可靠性等,是整个防治工程成败的关键。

通过流体参数计算,并结合泥石流的发生条件、活动特点、危害状况及泥石流自身的特点和规律等,琉璃河泥石流的防治应从削弱或消除可能发生泥石流的条件、改变或控制泥石流的活动规律及性质、减轻或消除泥石流的危害等方面采取相应的措施。建议采用生物和工程措施相结合的方式综合治理。前者可在物源区山坡种植林地,按目的和作用分为水源涵养林、水土保持林、护堤固滩林。后者可在上游小型冲沟内修建拦挡坝,在物源区山坡上修建护坡工程,在沟内部分地段修建排导设施。

4 结论

(1)在2004年8月大暴雨作用下,暴发了琉璃河泥石流,冲毁邓家楼茶园、耕地及房屋。琉璃河泥石流流域面积 42.1 km^2 ,主沟长 14.712 km ,高差 1210 m ,沟床比降 84.72% ,规模上属于中型泥石流沟,发展阶段处于发展期,属于暴雨坡面侵蚀型低频稀性泥石流。

(2)根据琉璃河的沟道特点及固体物源分布特点,将泥石流分成3个区:清水动力区、物源形成区、堆积区。清水动力区面积 30.97 km^2 ,沟床比降大(125.6%),沟谷呈深“V”字形,物源量较少;物源形成区面积 9.42 km^2 ,沟床比降较小(36.3%),沟谷呈“V”字形,物源量丰富,该区坡体上的残坡积物是琉璃河泥石流的主要固体物源;沟口堆积区面积 1.68 km^2 ,沟床比降最小(10.92%),地势平坦宽阔。

(3)琉璃河泥石流的流体密度为 1.47 t/m^3 ;泥石流峰值流量为 $29.3\text{ m}^3/\text{s}$;泥石流流速为 4.94 m/s ,大

块石的运动速度为 4.0 m/s ;泥石流 0.5 小时最大流量 $1.43\times 10^4\text{ m}^3$, 1 小时最大流量 $2.85\times 10^4\text{ m}^3$;泥石流 0.5 小时一次泥石流最大冲出量为 $0.41\times 10^4\text{ m}^3$, 1 小时最大冲出量 $0.81\times 10^4\text{ m}^3$;泥石流整体冲击压力 4.86 Pa ;泥石流的最高冲起高度 1.24 m ,爬高 1.99 m 。

(4)通过泥石流流体参数计算,可为下步防治工程设计提供参考依据。

参考文献:

- [1] 中国地质调查局.中国地质调查局标准 DD2008-02,崩塌滑坡泥石流详细调查规范[S].2008.
- [2] 中华人民共和国建设部.国家标准 GB50021-2001,岩土工程勘察规范[S].2001.
- [3] 余斌.根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究[J].沉积学报,2008,26(5):789-796.
- [4] 余斌.不同容重的泥石流淤积厚度计算方法研究[J].防灾减灾工程学报,2010,23(2):78-92.
- [5] 吴和善,田连权.泥石流及其综合治理[M].北京:科学出版社,1993.
- [6] 周必凡.泥石流防治指南[M].北京:科学出版社,1991.
- [7] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [8] 陈光曦,王继康,王海林.泥石流防治[M].北京:中国铁道出版社,1983.
- [9] 周必凡,李德基,罗德富,等.泥石流防治指南[M].北京:科学出版社,1991.
- [10] 国土资源部.中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T0220-200,泥石流灾害防治工程勘查规范[S].2006.
- [11] 中国地质调查局.中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0239-2004,泥石流灾害防治工程设计规范[S].2004.
- [12] 储长付,胡凌.四川安县地震灾区洪水沟泥石流特征及防治工程设计[J].安徽地质,2012,22(1):34-38.
- [13] 师书冉,涂良权,沈卫立.北川县樱桃沟泥石流地质特征与动力学参数分析[J].地质调查与研究,2014,37(1):63-68.

Geological Characteristics and Dynamics Features of the Debris Flow in Liulihe of Shangcheng County, Henan Province

HU Ji-hua, CHEN Jin

(No.2 Geo-Exploration Institute of Henan Geo-Exploration & Mineral Bureau, Xuchang Henan 461000, China)

Abstract: Liuli River is a typical valley-shaped debris flow, located at Suxianshi Town, eastern of Shangcheng county, Henan province. On the base of analysis of valley-shaped and basic feature of Liuli river debris flow, we hereby discussed the basic condition of terrain, water source and material source of the forming debris flow. According to the dynamic principle, we have calculated the kinetic parameters such as density, speed, flowrate and output rate. The result shows that debris flow density is 1.47 t/m^3 , peak flow rate is $29.3\text{ m}^3/\text{s}$, speed is 4.94 m/s , rock block velocity is 4.0 m/s , whole impact pressure is 4.86 Pa , max impact height is 1.24 m and runup 1.99 m .

Key word: Liuli River; debris flow geological characteristics; dynamics feature