



河北太行山区木作沟泥石流形成条件及特征分析

付少杰,张志飞,李琛曦,张辉军,胡现振,张晓凯

河北省地质环境监测院,河北 石家庄 050011

摘 要: 通过对太行山区木作沟泥石流实地勘查,分析并总结了该沟泥石流形成条件及发育特征。在此基础上,采用经验公式法计算了木作沟泥石流运动特征参数值,即 4 条主要支沟典型断面处泥石流流速、峰值流量、整体冲击力等参数,进一步分析了泥石流活动及发展趋势,最后计算得到泥石流最大危险范围。研究结果表明:木作沟具有有利于泥石流形成的地形条件、气象水文条件及物源条件;泥石流易发程度为易发,发展阶段为壮年期,并逐步向衰退期过渡。综合判断木作沟具备再次发生泥石流的条件,对沟内居民仍具有严重威胁。建议在泥石流形成区设置谷坊坝,在流通区修建排导渠。

关键词: 太行山区;泥石流;形成条件;发育特征;运动特征;河北省

FORMING CONDITIONS AND CHARACTERISTICS OF MUZUOGOU DEBRIS FLOW IN TAIHANG MOUNTAIN AREA, HEBEI PROVINCE

FU Shao-jie, ZHANG Zhi-fei, LI Chen-xi, ZHANG Hui-jun, HU Xian-zhen, ZHANG Xiao-kai

Hebei Geo-Environment Monitoring Institute, Shijiazhuang 050011, China

Abstract: Through the field survey of Muzuogou debris flow in Taihang Mountain area, the paper summarizes its formation conditions and development characteristics. On this basis, the empirical formula method is used to calculate the parameters of movement characteristics of Muzuogou debris flow, including the flow velocity, peak flow and overall impact force of debris flow at typical sections of the four main branch gullies, to further analyze the development trend and calculate the maximum dangerous range of debris flow. There are topographic, hydrometeorological and provenance conditions conducive to the formation of debris flow in Muzuogou. The susceptibility of debris flow is high, with the mature development stage, gradually transiting to decline stage. From the above, it is inferred that Muzuogou has the condition for another debris flow, which still seriously threaten the local residents. It is suggested that check dams be set up in debris flow formation area and drainage channels built in circulation area.

Key words: Taihang Mountain; debris flow; forming condition; development characteristic; movement characteristic; Hebei Province

0 引言

太行山区复杂的地质构造、多样的地层岩类为地质灾害发育提供了良好地质条件^[1]。该区域地质灾害

分布广、分散度高,给当地造成了巨大的财产损失及社会影响^[2]。木作沟位于河北省邯郸市木作村,是南洺河左岸一级支沟,地处太行山区中山小区。区内地形

收稿日期:2020-11-02;修回日期:2020-12-21。编辑:张哲。

基金项目:河北省地勘资金资助项目“武安市管陶乡木作村泥石流勘查”(编号 454-0502-JBN-OY4F);中国地质调查局项目“全国地质资源环境承载力评价与监测预警”(编号 DD20160328)。

作者简介:付少杰(1992—),男,硕士,现从事地质环境监测方面的研究工作,通信地址 河北省邯郸市农林路 120 号,E-mail//470570713@qq.com

通信作者:张志飞(1982—),男,高级工程师,现从事水工环地质方面的研究工作,通信地址 河北省邯郸市农林路 120 号,E-mail//1174602962@qq.com

陡峭,支沟发育,沟道呈深切的“V”型谷. 沟谷平面形态呈树叶状,流域海拔 822~1563 m,总面积 6.87 km²,主沟道长约 3.76 km. 沟谷两侧斜坡坡度大,植被发育较好. 沟道内松散堆积物分布广、数量大,为泥石流形成创造了有利条件.

木作沟泥石流曾多次爆发,沟内已有的防治工程效果较差. 2016 年 7 月 19 日该泥石流再次发生,共损毁房屋 3 间、道路 181 m、土地 2.5 hm²,幸未造成人员伤亡. 木作沟泥石流一旦发生,不仅威胁木作村居民的生命及财产安全,也可能破坏沟口交通干线,堵塞河道,同时还会影响下游车谷水库的安全. 因此,本文在研究木作沟泥石流形成条件和发育特征的基础上,详细计算其运动特征值并进行分析,进一步提出泥石流灾害防治建议,为太行山区同类泥石流灾害研究提供参考.

1 泥石流形成条件

1.1 地形地貌条件

木作沟泥石流发生地区位于邯郸市西北部构造侵蚀中山区,属中山地貌. 沟谷共有 4 条支沟组成,由北至南分别为北沟、北水沟(主沟)、南水沟和南沟(见图 1). 以分水岭为界,呈北、东、南三面高,西部低的地形,流域中沟道纵横交错. 各支沟两岸坡面陡峭,山体坡度多在 20~40°之间,局部大于 55°,山高坡陡,沟道狭窄,有利于水和碎屑物质的集中. 木作沟北部发育一正断层,断裂带附近薄层砂岩呈碎块状. 受构造影响,沟道两侧岩石破碎,分布有较厚的坡洪积碎石土,松散物质丰富. 不良的地质环境及复杂的地貌构造为泥石流发生创造了有利的地形条件.

1.2 气象水文条件

木作沟流域属于半干旱季风气候,受季风环流影



图 1 木作沟泥石流区域

Fig. 1 The area of Muzuogou debris flow

响,具有四季分明的特征^[3]. 春秋少雨,夏季多雨. 历年降水量年际变化大,丰水年和枯水年呈周期性变化,一般 7~11 年为一个周期. 据资料记载,日最大降水量 462.9 mm/d,年最大降水量 1510 mm/a,年最小降水量 220 mm/a. 降雨年内分配不均,7、8、9 三个月占全年降水量的 70%以上,常形成暴雨,为泥石流灾害发生的主要因素^[4-5]. 24 h 最大降雨量 462.9 mm,1 h 最大降雨量 61 mm,10 min 最大降雨量 13.5 mm. 据相关规范^[6],河北省西部山区可能发生泥石流的 24 h、1 h、10 min 降雨量界限值分别为 60 mm、20 mm、10 mm(表 1). 因此,木作沟在遭遇暴雨或大雨时,极有可能再次发生泥石流.

区内无常流河发育. 由于地势较高,沟壑纵横,冲沟发育,排泄条件良好,仅在雨季有短暂的地表洪流,而且迅速下泄汇入南洛河. 南洛河为季节性河流,属于牙河水系,全长约 93 km.

1.3 物源条件

木作沟泥石流沟松散物源分布在各支沟沟道及两岸斜坡中下部,类型包括沟道物源和坡面物源两部分.

表 1 可能发生泥石流的 24 小时、1 小时、10 分钟降雨量界限值
Table 1 Threshold values of rainfall in 24 h, 1 h and 10 min for debris flow

H ₂₄ (D)	H ₁ (D)	H ₁₀ (D)	代表地区(以当地统计结果为准)
100	40	12	浙江、福建、台湾、广东、广西、江西、湖南、湖北、安徽、云南西部、西藏东南部等省(区)山区
60	20	10	四川、贵州、云南东部和中部、陕西南部、陕西东部、黑龙江、吉林、辽东、辽西、河北北部和西部等省(区)山区
30	15	6	陕西北部、甘肃、内蒙古、京郊、宁夏、山西、新疆部分、四川西北部、西藏等省(区)山区
25	15	5	青海、新疆、西藏及甘肃、宁夏两省(区)的黄河以西地区

降雨量单位:mm.

其形成原因为历次泥石流或山洪形成的第四系冲洪积及坡洪积松散堆积物,堆积厚度不等,上部松散.当再次发生泥石流,由于沟道呈“V”型,汇水集中,冲击力大,遇强降雨会强烈冲刷沟道,启动松散物源形成泥石流.据实地调查,木作沟泥石流发育的松散固体物源总量为 $43.99\times 10^4\text{ m}^3$ (表 2),一次泥石流过程可启动物源量为 $13.39\times 10^4\text{ m}^3$,其中沟道松散物总体积为 $15.94\times 10^4\text{ m}^3$,坡面松散物总体积为 $28.76\times 10^4\text{ m}^3$,单位面积松散物总体积为 $6.39\times 10^4\text{ m}^3/\text{km}^2$.

表 2 木作沟松散固体物质储量统计表
Table 2 Statistics of loose solid material reserves

物源类型	物源总量/ 10^4 m^3	可移动物源量/ 10^4 m^3
沟道物源	15.94	2.86
坡面物源	28.76	10.53
总计	43.9	13.39

2 泥石流发育特征

2.1 形成区

形成区分为清水区和物源区(图 2),包括各支沟和部分主沟,面积约 6.5 km^2 .清水区范围为各支沟两侧山体出露基岩处,高处以流域山脊为界,向下以人工修造梯田边缘为界.各支沟均呈“V”型,沟道纵坡降比在 $183.5\text{‰}\sim 261\text{‰}$ 之间(表 3),山体坡度多在 $20\sim 40^\circ$ 之间,局部大于 55° .山高坡陡,沟道狭窄,有利于水和碎屑物质的集中.山体基岩出露,植被发育,以灌木和杂草为主,平均植被覆盖率达 70% .形成区冲淤特征表现为以冲为主,具体表现在不同程度的坡面侵蚀、沟床松散物的冲刷运移及沟道两岸的掏蚀、垮落等.由于形成区地形陡峻,径流强烈,这些冲刷形成的松散物质很快汇入沟床,进入流通区成为泥石流的物源.

表 3 木作沟泥石流形成区各支沟发育特征
Table 3 Development characteristics of each branch gully in Muzuogou debris flow formation area

流域	流域面积/ km^2	清水区 面积/ km^2	沟长/ km	沟道纵 坡降/ ‰	沟谷剖面 形态	植被覆 盖率/ $\%$
北沟	1.94	1.28	1.75	231.4	V	55
南沟	1.35	0.86	0.96	0.705	V	50
北水沟	1.77	1.22	2.48	183.5	V	65
南水沟	1.27	0.93	1.93	228.0	V	85

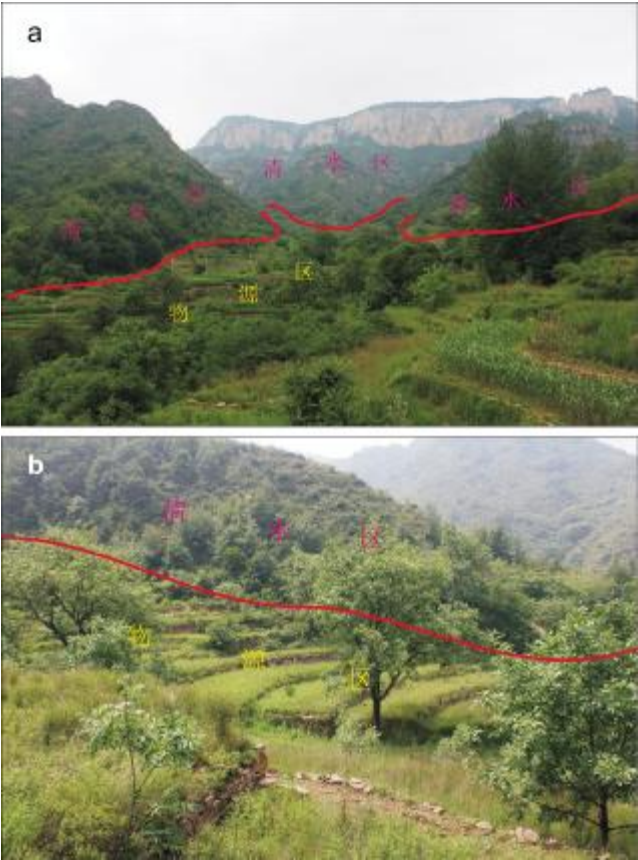


图 2 泥石流形成区地形地貌
Fig. 2 Landform of debris flow formation zone
a—形成区上游(upstream); b—形成区中游(midstream)

2.2 流通堆积区

木作沟泥石流无明显堆积区,其流通堆积区位于主沟道中下游,沟道较顺直,长度约 1.38 km ,面积约 0.54 km^2 ,流域相对高差 87 m ,平均纵坡降 63.2‰ .沟谷呈“U”型,宽度 $16\sim 30\text{ m}$,上游宽度较平均,在 $16\sim 20\text{ m}$ 之间,下游至堆积区连接处宽度逐渐增加.两侧山坡坡度 $16\sim 32^\circ$,植被较发育,乔、灌木均有,覆盖率约 65% .沟底及沟道两岸冲刷现象明显.村庄位于该区中段,因为流通区冲淤并存的现象,且发生泥石流时该段流速较大,在弯道处淤积并冲毁民房,这也正是 2016 年 7 月 19 日泥石流损毁房屋的原因.

3 泥石流运动特征

3.1 泥石流流速

1) 流速计算

泥石流流速可以反映其规模和强度^[7].流速计算一般采用经验公式^[8],本文按北京市政设计院推荐的

北京地区经验公式进行计算:

$$V_c = \frac{m_w}{\alpha} R_c^{2/3} I^{1/10} \tag{1}$$

$$\alpha = (\gamma_h \phi + 1)^{1/2} \tag{2}$$

式中: V_c 为泥石流流速 (m/s); m_w 为河床外阻力系数, 可通过查表获取; R_c 为水力半径(m), 一般可用平均水深代替; I 为泥石流水力坡度(‰), 一般可用沟床纵坡代替; γ_h 为泥石流中固体中物质密度 (t/m^3), 取 2.547; ϕ 为泥石流泥沙修正系数, 通过查表获取. 根据式(1)(2), 于 4 条支沟中各选取一个典型断面, 其特征参数及流速见表 4.

表 4 不同断面特征参数及流速

Table 4 Characteristic parameters and flow velocity for different sections

计算断面	$\gamma_h/(t/m^3)$	ϕ	α	R_c/m	I	m_w	$V_c/(m/s)$
北沟断面	2.547	0.634	0.705	0.7	0.287	4.00	1.961
南沟断面	2.547	0.634	0.705	0.6	0.231	4.00	1.732
北水沟断面	2.547	0.634	0.705	1.2	0.249	4.00	2.770
南水沟断面	2.547	0.634	0.705	0.5	0.268	4.00	1.557

2) 泥石流中石块运动速度计算

在缺乏大量实验数据和实测数据的情况下, 以堆积后的泥石流冲出物最大粒径大体推求石块运动速度的经验公式^[9]:

$$V_s = \alpha \sqrt{d_{max}} \tag{3}$$

式中: V_s 为泥石流中大石块的移动速度(m/s); d_{max} 为泥石流堆积物中最大石块的粒径(m), 根据现场调查确定不同部位最大块石粒径; α 为全面考虑的摩擦系数(泥石流容重、石块密度、石块形状系数、沟床比降等因素). $3.5 \leq \alpha \leq 4.5$, 平均 $\alpha=4.0$.

泥石流中大块石的运动速度计算结果见表 5.

表 5 不同位置大块石流速计算表

Table 5 Flow velocity calculation for big rocks at different sections

计算断面	摩擦系数 α	最大块石粒径 d_{max}/m	$V_s/(m/s)$	$V_c/(m/s)$
北沟断面	4.00	0.5	2.83	1.961
南沟断面	4.00	0.3	2.19	1.732
北水沟断面	4.00	0.4	2.53	2.770
南水沟断面	4.00	0.3	2.19	1.557

3.2 泥石流流量

采用雨洪法计算木作沟泥石流流量. 假设泥石流与暴雨同频率且同步发生, 先按水文方法计算出断面不同频率下的小流域暴雨洪峰流量(计算方法查阅水文手册), 然后选用堵塞系数, 按下式计算泥石流流量^[10-13]:

$$Q_c = (1 + \varphi) \times Q_p \times D_c \tag{4}$$

式中: Q_c 为频率为 P 的泥石流洪峰值流量 (m^3/s); Q_p 为频率为 P 的暴雨洪水设计流量(m^3/s); φ 为泥石流泥沙修正系数; D_c 为泥石流堵塞系数, 取值 1.5.

根据上述公式, 求得木作沟泥石流典型断面处泥石流流量(见表 6).

表 6 木作沟典型断面峰值流量计算结果表

Table 6 Peak flow calculation results for typical sections of Muzuogou debris flow

剖面编号	$1 + \varphi$	堵塞系数 D_c	设计洪峰流量 Q_p		泥石流流量 Q_c	
			P=2%	P=5%	P=2%	P=5%
北沟断面	1.634	1.5	6.09	5.80	14.94	14.23
南沟断面	1.634	1.5	3.53	3.41	8.66	8.36
北水沟断面	1.634	1.5	2.85	2.77	6.99	6.78
南水沟断面	1.634	1.5	2.31	2.25	5.66	5.52

3.3 一次泥石流过流总量

一次泥石流总量(Q)可通过计算法和实测法确定. 实测精度高, 但往往因不具备测量条件, 只是一个粗略的概算. 计算法根据泥石流历时(T)和最大流量(Q_c), 按泥石流暴涨暴落的特点, 将其过程概化成五角形, 按下式计算^[14-15]:

$$Q = KTQ_c \tag{5}$$

式中: K 为系数, 与流域汇水面积相关, 本次研究取值 0.113; T 为泥石流持续时间, 按 30 min 计; Q_c 最大流量, 按照 20 年一遇北水沟断面泥石流洪峰流量计.

计算得一次泥石流过流总量约为 $1\,379.05\,m^3$.

3.4 一次泥石流固体冲出物

一次泥石流冲出的固体物质总量 (Q_H), 按公式(6)计算.

$$Q_H = Q(\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_h - \gamma_w) \tag{6}$$

式中: γ_c 为泥石流的密度(t/m^3), 取 1.60; γ_w 为清水的密度 (t/m^3); γ_h 为泥石流中固体中物质的密度(t/m^3),

取 2.547。经计算,一次泥石流冲出的固体物质总量约为 565.17 m³。

3.5 泥石流整体冲击力

泥石流整体冲击力是防治工程设计及施工的必需参数^[16],计算采用铁二院(成昆、东川两线)公式:

$$\delta=(\frac{\gamma_c}{g}V_c^2\sin\alpha)\cdot\lambda \tag{7}$$

式中:δ为泥石流整体冲击压力(Pa);g为重力加速度,取g=9.8 m/s²;α为建筑物受力面与泥石流冲压力方向的夹角(°);λ为建筑物形状系数,圆形建筑物λ=1.0,矩形建筑物λ=1.33,方形建筑物λ=1.47。计算结果见表7。

表 7 木作沟泥石流整体冲击力计算表
Table 7 Overall impact force calculation results for different sections

计算断面	λ	γ _c /(t/m ³)	V _c /(m/s)	α/(°)	sinα	δ/Pa
北沟断面	1.33	1.6	1.961	90	1.00	8350
南沟断面	1.33	1.6	1.732	90	1.00	6514
北水沟断面	1.33	1.6	2.770	90	1.00	16661
南水沟断面	1.33	1.6	1.557	90	1.00	5264

3.6 泥石流爬高和最大冲击高度

泥石流在受到陡壁阻挡时,会产生冲起,其冲起最大高度(ΔH)计算公式如下:

$$\Delta H=\frac{V_c^2}{2g} \tag{8}$$

泥石流在爬高过程中由于受到河床阻力的影响,其爬坡高度(ΔH')计算公式如下:

$$\Delta H'=0.8\frac{V_c^2}{g} \tag{9}$$

通过计算,各支沟典型断面处泥石流最大冲起高度及爬高见表 8。最大冲起高度为 0.39 m,最大爬坡高度为 0.63 m。

表 8 木作沟泥石流各断面最大冲起高度及爬高计算表
Table 8 Maximum lifting heights and climbing heights for different sections of Muzuogou debris flow

计算断面	V _c /(m/s)	ΔH/m	ΔH'/m
北沟断面	1.961	0.20	0.31
南沟断面	1.732	0.15	0.24
北水沟断面	2.770	0.39	0.63
南水沟断面	1.557	0.12	0.20

4 泥石流发展趋势及危险范围

4.1 泥石流活动和发展趋势预测

1)泥石流易发性评价

根据现场调查,结合室内分析试验结果,按照《泥石流灾害防治工程勘查规范》中“泥石流沟易发程度数量化综合评判等级标准表”进行评分。该沟泥石流评分为 93 分,易发程度为易发。目前,木作沟泥石流形成区内堆积大量松散物质,物源丰富,地形条件利于汇水。根据泥石流的易发程度评价结果,在此期间如果遇强降雨还有发生泥石流的可能。

2)发展趋势分析

木作沟汇水范围较大,发育有 4 条支沟,沟道两侧山体坡度较陡,沟谷剖面多呈“V”型,松散堆积物集中分布在沟道底部及两侧岸坡中下部,是造成泥石流发生的主要原因。现状沟道在局部地段沟道变幅明显,逐年增加,持续淤积可能会造成堵塞,沟道堵塞后大量淤积物汇集此处,遇强降雨或持续降雨冲刷坡面以及坡脚,可能会将沟床刨蚀,裹挟大量堆积物形成泥石流。结合《泥石流灾害防治工程勘查规范》中“泥石流发展阶段的识别表”,综合分析认为,该泥石流的发展阶段为壮年期并逐步向衰退期过渡。该沟沟道、物源及水源发展趋势均具备在暴雨或持续降雨条件下发生泥石流的可能性。

4.2 最大危险范围计算

泥石流危险性及危险范围研究是其防治工作的重点之一^[17-19],计算得到的泥石流最大危险范围可为泥石流防治工程措施、高效避让提供科学依据。本文采用经验公式计算泥石流最大危险范围^[6, 20-21]:

$$S=0.67LB-0.08B^2\sin R/(1/\cos R) \tag{10}$$

$$L=806+1.5A+0.03W \tag{11}$$

$$B=545+3.4D+0.03W \tag{12}$$

$$R=47.8+1.3D+8.9H \tag{13}$$

式中:S为泥石流最大危险范围;L为泥石流堆积长度;R为泥石流堆积扇幅角;A为泥石流沟域面积;D为泥石流主沟长度;W为泥石流物源总量;H为流域相对高差。计算结果见表 9。

计算得出木作沟泥石流最大危险范围约 0.37 km²,在暴雨条件下一旦发生泥石流,会对沟内居民构成威胁,造成其财产损失。

表 9 泥石流最大危险范围计算

Table 9 Maximum dangerous range calculation results of debris flow

流域面积 A/km ²	流域总物源量 W/10 ⁴ m ³	主沟长度 D/km	流域相对高差 H/km	泥石流最大堆积长度 L/m	泥石流最大堆积宽度 B/m	扇幅角度 R/(°)	面积 S/m ²
6.87	43.90	3.76	0.74	817.62	559.09	5.57	369485.9

5 结论及防治建议

通过对木作沟实地勘查,分析了泥石流形成的地形条件、气象水文条件及物源条件,研究了该沟泥石流形成区及流通堆积区发育特征.采用经验公式计算出泥石流运动特征参数,计算得到泥石流最大危险范围,可作为泥石流防治工程设计的基础参考,进一步分析泥石流活动及发展趋势.研究结果对保护沟内居民生命财产安全具有现实意义,也可为当地类似泥石流灾害研究提供借鉴.研究得出的主要结论有:

1)木作沟流域属于太行山区中山构造侵蚀地貌,有利于泥石流形成的地形条件、气象水文条件及物源条件.暴雨及持续降雨是泥石流发生的主要因素.

2)木作沟属于沟谷型稀性泥石流.计算了典型断面处最大流速、洪峰流量、整体冲击力等,计算结果在反映出泥石流规模及性质的同时,还可为该泥石流沟科学治理提供依据.

3)基于该沟形成条件、发育特征及运动特征的分析,依据规范评判泥石流易发程度为易发,发展阶段为壮年期,并逐步向衰退期过渡.

4)木作沟依旧具备发生泥石流的条件,该沟最大危险范围计算结果显示,泥石流仍严重威胁木作村居民生命财产安全.建议在形成区4条支沟内分别设置谷坊坝,拦截固体物质;在流通区上、中游修建排导渠,增强排导能力.

参考文献(References):

[1]刘红耀,温利华.太行山区地质灾害风险性评价——以河北省涉县为例[J].河北农业科学,2019,23(4):63-68.
Liu H Y, Wen L H. Risk assessment of geologic hazard in Taihang Mountain taking Shexian County in Hebei Province as an example[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2019, 23(4): 63-68.
[2]柴艳.河北省太行山区泥石流灾害的分类及预测模型的研究[D].石家庄:石家庄经济学院,2011.
Chai Y. A study on classification and prediction model on debris flow in Taihang Mountain of Hebei Province[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics, 2011.

[3]成陆,付梅臣,王力.基于RS和GIS的县域洪涝灾害风险评估[J].南水北调与水利科技,2019,17(6):37-44,68.
Cheng L, Fu M C, Wang L. Comprehensive flood risk assessment based on RS and GIS in a county area [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(6): 37-44, 68.
[4]王昕洲.河北省太行山区泥石流地质灾害预测管理模型研究[D].天津:天津大学,2009.
Wang X Z. Research on predicting management model of geological disasters of debris flow in Taihang Mountainous areas, Hebei Province [D]. Tianjin: Tianjin University, 2009. (in Chinese)
[5]胡会芳,景华,魏军,等.河北省特大暴雨特征及致灾原因分析[J].湖北农业科学,2020,59(6):78-83,95.
Hu H F, Jing H, Wei J, et al. The analysis of the character and causes of the disaster of the “16·7” rainstorm in Hebei Province[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(6): 78-83, 95.
[6]中华人民共和国国土资源部.DZ/T 0220—2006 泥石流灾害防治工程勘查规范[S].北京:中国标准出版社,2006.
Ministry of Land and Resources of the People’s Republic of China. DZ/T 0220—2006 Specification of geological investigation for debris flow stabilization[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
[7]罗健,黄惠芬,秦国强.天水市龙王沟泥石流成因和运动特征及危害性[J].人民长江,2018,49(S1):75-80.
Luo J, Huang H F, Qin G Q. Study on formation conditions, movement characteristics and hazard of Longwanggou debris flow in Tianshui City [J]. Yangtze River, 2018, 49(S1): 75-80.
[8]李文博,魏菲,倪师军,等.四川安县长坡沟泥石流形成机理及防治措施[J].地质灾害与环境保护,2015,26(1):20-24.
Li W B, Wei F, Ni S J, et al. Formation mechanism and control measures of the mudslides in Changpogou valley in Anxian, Sichuan [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2015, 26(1): 20-24.
[9]张悼元.工程地质勘察[M].北京:地质出版社,1981:8-20.
Zhang D Y. Engineering geological survey [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981: 8-20. (in Chinese)
[10]陈宁生,杨成林,周伟,等.泥石流勘查技术[M].北京:科学出版社,2011:152-175.
Chen N S, Yang C L, Zhou W, et al. Investigation technology for debris flows[M]. Beijing: Science Press, 2011: 152-175.
[11]陈宁生,黄娜.普格县荞窝镇8.8泥石流灾害应急调查研究[J].山地学报,2018,36(3):482-487.

- Chen N S, Huang N. Emergency investigation on debris flow 8.8 disaster in Qiaowo Town, Puge County, Sichuan, China [J]. Mountain Research, 2018, 36(3): 482-487.
- [12] 陈志, 杨志全, 刘传秋. 云南省麻栗坡县猛洞河“9.02”泥石流调查[J]. 山地学报, 2019, 37(4): 631-638.
- Chen Z, Yang Z Q, Liu C Q. Investigation of the “9.02” debris flows in Mengdong River, Malipo County, Yunnan, China [J]. Mountain Research, 2019, 37(4): 631-638.
- [13] 黄达, 唐川, 黄润秋, 等. 美姑河马洛西沟泥石流特征及危险性研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(2): 162-167.
- Huang D, Tang C, Huang R Q, et al. Study on debris flow features and hazards of the Ermaluoxi Gully on Meigu River, Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2006, 33(2): 162-167.
- [14] 陈光曦, 王继康, 王林海, 等. 泥石流防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983: 65-89.
- Chen G X, Wang J K, Wang L H, et al. Debris flow prevention[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1983: 65-89. (in Chinese)
- [15] 袁颖, 王帅伟, 满兵. 四川都江堰椿芽树沟泥石流特征参数计算及防治工程设计[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(2): 51-56.
- Yuan Y, Wang S W, Man B. Calculation of characteristic parameters and design of control work against of debris flow in Chunyashu gully, Sichuan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(2): 51-56.
- [16] 邓虎, 陈宁生, 胡桂胜, 等. 甘肃舟曲三眼峪沟泥石流动力学特征参数计算[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2011, 30(4): 833-838.
- Deng H, Chen N S, Hu G S, et al. Calculation of dynamics parameters of Sanyanyu Gully in Zhouqu, Gansu [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2011, 30(4): 833-838.
- [17] 王国卫, 李明波, 蒋明光, 等. 基于加权信息量模型的湖南省麻阳县地质灾害危险性评价与区划[J]. 地质与资源, 2020, 29(3): 266-272.
- Wang G W, Li M B, Jiang M G, et al. Risk assessment and zoning of the geological hazards in Mayang County of Hunan Province based on weighted information model [J]. Geology and Resources, 2020, 29(3): 266-272.
- [18] 李彩侠, 马煜. 四川都江堰龙溪河流域泥石流成因、特征和危险性评价[J]. 地质与资源, 2019, 28(3): 298-304.
- Li C X, Ma Y. Causes, characteristics and hazard assessment of the debris flows in Longxi River Basin, Sichuan Province [J]. Geology and Resources, 2019, 28(3): 298-304.
- [19] 朱进守, 邓辉, 苑泉, 等. 藏东高山峡谷地带地质灾害危险性评价——以西藏贡觉县为例[J]. 地质与资源, 2018, 27(3): 272-278.
- Zhu J S, Deng H, Yuan Q, et al. Risk assessment on the geohazards in alpine and gorge region of Eastern Tibet: A case study of Gonjo County [J]. Geology and Resources, 2018, 27(3): 272-278.
- [20] 刘希林, 唐川, 陈明, 等. 泥石流危险范围的模型实验预测法[J]. 自然灾害学报, 1993, 2(3): 67-73.
- Liu X L, Tang C, Chen M, et al. The model experiment forecast on the risk range of debris flow [J]. Journal of Natural Disasters, 1993, 2(3): 67-73.
- [21] 刘希林, 唐川, 朱静, 等. 泥石流危险范围的流域背景预测法[J]. 自然灾害学报, 1992, 1(3): 56-67.
- Liu X L, Tang C, Zhu J, et al. The drainage background forecast on the risk range of debris flow [J]. Journal of Natural Disasters, 1992, 1(3): 56-67.

(上接第 589 页/Continued from Page 589)

- [19] 王希英, 方振兴, 吴婧, 等. 五大连池火山矿泥清洁泥膜的制备工艺[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(24): 41-43.
- Wang X Y, Fang Z X, Wu J, et al. The preparation technology of clean mud film of Wudalianchi mud [J]. Heilongjiang Science, 2019, 10(24): 41-43.
- [20] 方振兴, 王希英, 吴婧, 等. 五大连池矿泉接骨木眼霜的制备工艺研究[J]. 香料香精化妆品, 2019(5): 52-54.
- Fang Z X, Wang X Y, Wu J, et al. Study on preparation of Wudalianchi mineral elderberry eye cream [J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2019(5): 52-54.
- [21] 尤传誉, 冶雪艳, 张海燕, 等. 五大连池地区矿泥分布特征及储量评价[J]. 地质与勘探, 2015, 51(1): 61-67.
- You C Y, Ye X Y, Zhang H Y, et al. Distribution characteristic and reserve evaluation of the peloid in the Wudalianchi area, Heilongjiang Province [J]. Geology and Exploration, 2015, 51(1): 61-67.