

康定市子耳沟泥石流的物源特征与危险区划

高延超^{1,2,3}, 陈宁生¹, 葛华³, 徐伟³

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所 山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国地质调查局 成都地质调查中心, 成都 610081)

摘要:泥石流的物源特征是重要的影响因子,对单沟的危险区划至关重要。通过对康定市子耳沟流域内的泥石流物源成因、分布及稳定性的详细测绘,计算了泥石流沟的松散物源总量;通过调查访问确定了历史泥石流的淤埋范围,泥深及运移路径。以上述资料为基础,通过对不同降雨概率下清水流量的计算,分析了在不同频率下,可能发生泥石流的规模及危害范围。结果表明:20 年一遇的泥石流峰值流量为 $65.31 \text{ m}^3/\text{s}$,沟口泥深 2 m;100 年一遇的泥石流峰值流量为 $207.47 \text{ m}^3/\text{s}$,沟口泥深 4 m;后者的淤埋范围约为前者的 20 倍。通过对此类山区城镇泥石流的规模频率分析,为类似区域内的城市建设和防灾减灾提供科学依据。

关键词:泥石流;康定市;物源特征;危险性评价

中图分类号:P642.23;P694

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)06-0403-05

Source Characteristic and Risk Zoning of Debris Flow in Zier Watershed of Kangding City

GAO Yanchao^{1,2,3}, CHEN Ningsheng¹, GE Hua³, XU Wei³

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Process, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: The loose source characteristics of debris flows are important influence factors and are critical for the zoning of single gully City. Based on the detailed mapping of the genesis, distribution and stability of debris flow sources in the Zi'er Watershed of Kangding City, the total amount of loose debris in the debris flow ditch was calculated. Through the investigation visit, the buried depth and the migration path of the mudslide were determined. Based on the above data, the magnitude and hazard zone of debris flow were analyzed at different frequencies by calculating the flow of flood under different rainfall probabilities. The results show that the peak discharge of debris flow in 20-year return is $65.31 \text{ m}^3/\text{s}$, and the flow depth is 2 m; the peak discharge of debris flow in 100-year return is $207.47 \text{ m}^3/\text{s}$, and the flow depth in the ditch is 4 m; the sedimentation range of the 100-year return debris flow is about 20 times larger than the 20-year return debris flow. Through the analysis of the magnitude and frequency of debris flows in such mountainous towns, it can provide the scientific basis for urban construction, disaster prevention and mitigation in the similar areas.

Keywords: debris flow; Kangding City; source characteristic; risk zoning

城镇泥石流灾害,是指泥石流对城镇居民的生命与财产、生活和生产活动及城镇建设与发展造成的损失或不利影响。世界山地国家有不少城镇遭受过泥石流危害。仅前苏联境内就至少有 50 余座城市受泥石流危害^[1];其他国家,如美国、危地马拉、秘鲁、委

内瑞拉、哥伦比亚、瑞士、奥地利、意大利等,都有受泥石流危害的城镇。其中秘鲁、哥伦比亚、委内瑞拉 3 国分别在 20 世纪 70,80,90 年代发生过泥石流毁灭城镇、致死数万人的大灾难^[2]。

据统计,我国 34 个省、市、自治区、特别行政区

中,有 20 个行政区内分布着受泥石流危害的城镇,占省级行政区划总数的 58.82%。这些城镇中,仅县级及以上政府驻地城镇就达 150 余个。省会驻地城市中的兰州、西宁、太原等均遭受过严重的泥石流灾害;香港特别行政区城区也曾遭受过严重的泥石流灾害。如兰州市在 1950—1976 年的 2 年间,多次遭受泥石流灾害,致死人数达 300 余人^[3-5]。据不完全统计,1949—2000 年,我国县级及以上城镇因泥石流致死和失踪的人数约 1 500 人,城镇泥石流危害的严重性由此可见一斑;2010 年中国甘肃舟曲发生泥石流,造成 1 765 人死亡^[6]。

随着城镇化建设的进行,城镇地区受泥石流威胁的人口越来越多,一旦发生超频率特大灾害事件,后果不堪设想。近年来地震活动活跃,震后泥石流造成了重大的人员伤亡及财产损失^[7]。2010 年 8 月,发生在甘肃舟曲县城和四川汶川地震灾区清平乡、映秀镇等城镇的特大泥石流灾害,灾难深重,社会影响深远,也给我我国城镇地质灾害防治和管理再次敲响了警钟^[8-9]。泥石流的危险区评价成为学界的研究热点^[10-14],研究者分别从流域范围、单沟等角度,采用流量计算、软件模拟、区域对比等方法进行了研究。

康定城区泥石流高发,诸多学者都对其灾害特征进行过深入的研究^[15-17]。子耳沟位于康定县炉城镇子耳村后山沟内,沟口坐标 $30^{\circ}03'25.75''N, 101^{\circ}57'37.21''E$ 。沟道呈柳叶形,流域面积 6.8 km^2 ,流域全长 6 900 m,平均坡降 264‰,局部地段坡降超过 500‰(图 1)。沟谷狭长,总体流动方向近 60° 。植被覆盖较好,以灌木为主,沟道右岸阴坡生长少量树木。该沟曾于 1978 年暴发中型泥石流,沟口处的邮电局及粮食局被淤埋受损严重。2008 年发生规模较小的泥石流,停积在沟道内的宽缓地带。沟口扇区地势较平缓,是炉城镇老县城的主要建设区,居民及单位密集分布。子耳村居民建房集中分布在沟道两岸宽缓地带,并自上游向下分布有包括甘孜州党校、州档案馆、州妇幼保健院、康定县炉城镇政府、粮食局、藏族小学、邮电局、电信局、甘孜州政府(第二办公区)、甘孜州人民医院及格萨尔酒店等重要的机关事业单位、企业及学校等。

1 地质环境条件

康定县炉城镇年均降水量 839.3 mm,最大年降雨量 1 005.7 mm,多集中在 5—9 月,占全年的 60%~85%,多暴雨和连绵雨,年平均暴雨日数 2~3 d。最

大日降雨量达 60.1 mm,最大 10 分钟雨强 8.3 mm。区内最长连绵雨长达 65 d,雨量达 292.8 mm。充沛的降水,为泥石流灾害的形成提供了水源条件,而夏季集中的降水,尤其是短历时的大到暴雨往往直接激发泥石流。

炉城镇位于青藏高原与四川盆地的过渡地段,属高山峡谷地貌。子耳沟海拔分布范围为 2 495~4 427 m。流域内上游为清水汇流区,海拔 3 800 m 以上地势较平缓,呈“U”型谷。3 800 m 以下地势陡峻,沟道转为“V”型,岸坡坡度 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。流域内支沟主要分布在沟道左侧,支沟的沟道短直,坡度一般大于 30° 。

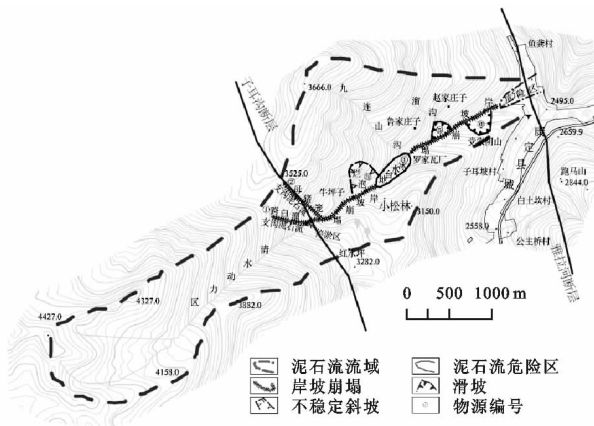


图 1 子耳沟流域平面图

近南北向的子耳坡断层从流域内横穿而过切割沟道。受断裂控制,沟道内岩体破碎,节理裂隙发育,风化强烈。流域内地层主要为第四系全新统残坡积物层(Q_h^{edl})、崩坡积层(Q_h^{col+dl})及冲洪与泥石流堆积层(Q_h^{apl+df})、更新统冰水堆积层(Q_p^{igl})、泥盆系危关组(D_1w)、志留系通化组(St)及印支—燕山期的岩浆岩。地层由新到老现分述如下:

崩坡积(Q_h^{col+dl})及残坡积(Q_h^{edl})主要分布于山前斜坡及坡脚地带,残坡积为碎石、角砾和少量块石充填砂土、亚黏土,厚度 0.1~10 余米不等;崩坡积形态上多呈倒石碓状,岩性为大块石、角砾充填砂土、亚黏土,具架空结构。冲洪积(Q_h^{apl})及泥石流堆积(Q_h^{df})分布在沟口堆积扇(洪积扇)及沟道内的宽缓停淤区。泥石流堆积为无分选的碎块石、砂土、亚砂土、亚黏土等杂乱堆积,较老的泥石流堆积物结构相对紧密,具有一定的胶结和自稳性,新近堆积的泥石流堆积物结构松散。冰水堆积为(Q_p^{igl})主要为砾石,粒径粗大,可见粒径大于 5 m 的巨石,砂及亚黏土充填,结构较紧密。

沟道中下游岩性主要为泥盆溪危关组(Dw_1)的石英岩、长石石英岩、片岩、斜长片麻岩及斜长角闪片

岩,志留系通化组(St)上段为大理岩夹片岩、片麻岩、石英岩、斜长角闪片岩、千枚岩下部有变基性火山岩,下段为灰—深灰色含石榴二云片岩、含石榴黑云片岩为主夹黑云斜长片麻岩、斜长角闪片岩、大理岩及千枚岩。沟道中上游的岩性为印支—燕山期的混合质花岗岩、角砾状及条带状混合岩。

2 新构造运动对泥石流物源的影响

康定处于鲜水河、龙门山及安宁河地震带交汇部位,新构造运动强烈。鲜水河断裂带从县境穿过,对本区影响更为直接显著。据历史记载,自1700年以后,沿鲜水河断裂带,发生5级地震以上有43次,其中最大的地震是1973年2月6日,炉霍7.9级地震,烈度达Ⅺ度,震源深度17 km;1923年3月24日炉霍、道孚之间发生7.25级地震;1955年4月14日在康定折多塘发生7.5级地震,烈度为Ⅸ度,康定县城房屋倒塌90%左右,其中全倒达50%,倒塌房屋600余间,500余间被破坏。同时在折多河一带,诱发崩塌、滑坡30余处;1786年6月1日康定磨西发生7.5级地震。其中磨西地震的震中距子耳沟直线距离47.5 km,折多塘地震的震中距子耳沟直线距离8.5 km。对沟道内的物源累积造成了重要影响。

地震对沟道的泥石流物源造成了重大的影响,崩塌多发,滑坡活跃。崩塌及滑坡占泥石流物源总量的75%。子耳沟断层(鲜水河断裂带)横向穿过沟道,造成了大量的岩体破碎及崩塌。



图2 垮白溜崩塌及支沟泥石流(镜向95°)

沟道中游左侧垮白溜为一处崩塌体(图2),该点位置为图1中①,危岩体的岩性为强风化印支—燕山期花岗岩,硬度高,但区域内因冻融导致风化强度大,断裂构造切割使岩石节理裂隙发育,岩体破碎,手扣即落。崩塌顶部坡面方向为95°,崩塌体坡度38°,斜长118 m,高约76 m,宽度30 m。岩体内发育三组节

理,将岩体切割成块状。该崩塌点为泥石流物源区,可提供泥石流物源约50 000 m³,且随着风化卸荷过程会不断补充增加。块石崩落下切形成的切沟陡直,沟道坡度约35°。切沟深约3.2 m,沟道内堆积的大于1 m的块石较多。崩塌堆积物在暴雨及有利的地形条件下形成支沟泥石流(见图3),沿冲沟向下流动形成长约1 000 m的陡峻流通区,沿程伴随不断下切揭底的侵蚀过程。



图3 垮白溜支沟泥石流堆积物(镜向260°)

3 泥石流物源补给

经调查,子耳沟内沿沟发育有多处崩塌、滑坡、支沟泥石流,松散碎屑物储量丰富,补给途径、类型多样(图1)。

(1) 支沟泥石流。与垮白溜相邻的母猪龙沟(母猪龙沟为当地对泥石流的俗称)为一条小型高频泥石流,该支沟沟道狭窄陡峻、崩塌形成的物源丰富,沟口扇面完整(图1中②)。母猪龙沟道方向120°,沟道为基岩下切形成的切沟,切沟长277 m,宽15 m,下切深度20 m,出露的破碎基岩因风化变为灰黄色。堆积扇挤压主沟道向右岸偏移,长约120 m,宽100 m,坡度约15°。该支沟可为泥石流提供的物源约为5 000 m³。支沟内爆发的泥石流能为主沟补充丰富的物源,其挟带能力亦是主沟产流的主要动力之一,支沟泥石流往往是主沟泥石流暴发的源区。

(2) 滑坡补给。沟道中段及下游有3处规模较大的滑坡及不稳定斜坡(图1中的③⑤⑥),前趾蠕移至沟道内,是泥石流的重要物源。③与⑤两处斜坡岩性以千枚岩、片岩为主,受地质构造影响节理裂隙发育,岩石较破碎,片岩、千枚岩易风化,遇水软化,片理发育,力学强度较低。沟道中游左岸的烂泡子滑坡(烂泡子为当地对沼泽的俗称,图1中③)宽约200 m,长150 m,坡度约为25°,可提供方量约为80 000

m³,坡体主要成分为碎石土。向下游约 1 000 m 处在沟道左岸有一处不稳定斜坡,宽约 200 m,长 50 m,坡度约为 25°,预估体积约为 20 000 m³,受水流冲蚀坡脚的影响,前缘挤压河道,坡体主要成分为饱和的碎石土。子耳坡沟口处右岸为党家阴山滑坡(图 4—5),现在滑坡的强烈变形区内滑体长约 150 m、宽约 30 m,方量约 30 000 m³。

(3) 冰水堆积物。沟道中段的地形较为宽阔,在第四系更新世时期因冰水作用形成了高约 10 m,长 170 m,宽约 20 m 的侧碛垄(图 1 中④),堆积体方量约为 40 000 m³。冰水堆积体固结历史较长,已经半胶结,自稳性较好,属于半稳定—稳定状态,只有在泥石流规模较大时才会启动,一般洪水或规模较小的泥石流仅会被部分冲蚀。



图 4 党家阴山滑坡全貌(镜向 120°)



图 5 党家阴山滑坡堵河断面(镜向 350°)

(4) 岸坡崩塌。沟道中下游两岸共有长约 1 200 m 岸坡是由第四系洪积层、冰水层、坡积层组成,碎块石土由碎石、砂砾石混杂黏土、亚黏土、砂及泥砾等。结构松散一半胶结,强度低,厚 3~5 m。受河水冲蚀及浸泡影响,岸坡小型崩塌多发,沿沟总储量大于 15 000 m³。属于不稳定物源,洪水、泥石流都有可能挟带输出。

4 泥石流危险性评价

通过对子耳沟泥石流物源的分析可知,沟道内物源丰富,松散固体物质储量超过 240 000 m³,可以为泥石流的发生提供充足的物源。子耳沟泥石流的发生及规模的大小主要受控于水力条件。

子耳沟泥石流属暴雨激发型,沟道内无其他的水源补给途径。由于历史泥石流无流量等数据记录,且沟道内未见泥痕等,故泥石流流量是在山洪流量计算的基础上,采用配方法进一步计算获得。在无实测流量资料情况下,暴雨是推算设计洪水最基本的依据,现采用暴雨推理公式法进行洪水流量计算,即假定暴雨和洪水同频率出现,由设计暴雨推求设计洪峰流量。本次计算主要根据《四川省水文手册》(1984 年版)提供的各时段的暴雨等值线图,读取计算所需数据,并参考实地考察的具体情况,合理选取参数。暴雨衰减指数 n 及雨力 S 根据各时段暴雨量,采用《手册》中所列的公式进行计算。汇流参数 m ,产流参数 μ 可参照盆缘山区综合公式确定。泥石流采用配方法计算,即假定泥石流的活动与暴雨洪水同步频率,用计算的设计洪水流量进行配方(按比例加上泥石流所挟带的固体物质体积)计算泥石流流量,同时根据沟道内的堵塞情况选取不同的堵塞系数。在沟道内测量过流断面,以配方法得到的流量值为依据,采用迭代算法计算泥石流在该点的泥深及流速。根据上面方法计算的泥石流流量见表 1。

表 1 雨洪法计算子耳沟泥石流流量

项目	数值			
流域面积/km ²	6.8			
沟长/km	6.9			
相对高差/m	1759			
平均坡降/‰	264			
泥石流容重/m ³	2.10(区内多为粘性泥石流,形似混凝土)			
泥沙修正系数	2.00			
堵塞系数	1.5(当 100 年一遇时取 3.0,按堵塞考虑)			
设计频率/%	10	5	2	1
暴雨洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	11.15	14.51	19.13	23.05
泥石流峰值流量/(m ³ ·s ⁻¹)	50.17	65.31	86.11	207.47
出沟口处泥深/m	1	2	2.5	4
出沟口处流速/(m·s ⁻¹)	3.6	5.7	6.5	9.0

注:表中所列泥深仅为沟口处计算值,该段沟道下底宽 8 m,上底宽 23 m,高 11 m,沟床坡度 17°。在危险区内由于局部地段沟道狭窄,泥深会增加较大。

泥石流冲出距离受沟口的地形坡度及泥石流出沟流速、障碍物等诸多因素的影响。由于子耳沟的沟口建筑密集,并且沟道经过多次人为改造,冲出距离

计算较困难。1978年泥石流发生时,龙头冲至主河(雅拉河)岸边。在泥石流危险区评估过程中,以该次泥石流冲出距离为半径圈定最大危险区范围。

1978年泥石流发生以后,原有的直进型深切沟道被淤埋。后康定县对该区域重新规划,开挖新沟道,并多次修建拦挡坝、排导槽等工程予以治理。现有治理工程存在的问题有如下几点:(1)设计标准偏低。子耳沟的治理工程是按照20 a一遇的频率进行设计的,虽然符合小城镇防治的规范要求,但当遇到极端暴雨等情况时,防灾能力不足。(2)设计排导槽改变了原来沟道的方向,弯道曲率半径较大,而泥石流具有直进性及弯道超高的特点,弯道处建筑受威胁较大。(3)沟内的拦挡坝已经全部淤满,且束流堤破碎严重,整个工程后期维护较差。

1978年至今35年来,当地居民反映居民区内未见泥石流迹象。这说明一方面水流受工程约束,另一方面由于拦挡坝淤满使沟道坡度变缓,小规模的泥石流均停积在沟道内,未冲出沟道致灾。在泥石流危险性评价过程中,不考虑10 a一遇的情况,按照20,50,100年一遇3种频率来考虑。

从子耳沟的沟口至雅拉河河岸,建筑密集,顺沟长约800 m,宽约500 m,沟口堆积扇面积约0.12 km²。按照上文计算的泥石流泥位、流速及流量,并结合堆积区范围内的建筑物分布及地形特征,图6中标示出在不同的频率下泥石流的危险区范围。

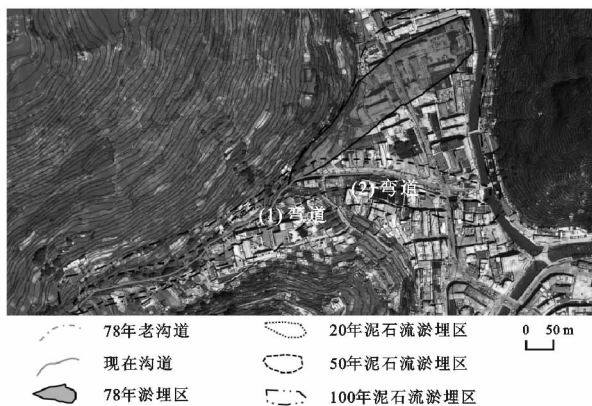


图6 子耳沟泥石流危险性分区评价

5 结论

子耳沟泥石流位于康定城西侧后山,多次爆发的泥石流造成了重要的危害。目前沟口分布的机关单位及学校、居民区分布密集,威胁较大。通过对沟道内物源的统计和稳定性分析,可以判定子耳沟泥石流处于活跃期,物源稳定性差,爆发泥石流可能性较高。本文根据已发生灾害的淤埋范围及计算泥深,结合沟

口的建筑分布及结构特点、地形条件,半定量地分析了在不同的频率及规模情况下泥石流的冲击范围及危险程度,分段划分危险区,是对城镇泥石流风险评估和合理规划的一种尝试。通过对此类山区城镇泥石流的规模频率分析,期望能指导类似区域内后期的城市建设,并为泥石流防灾减灾提供科学依据。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 谢洪,韦方强,李泳,等.1999年委内瑞拉阿维拉山北坡入海型泥石流[J].自然灾害学报,2002,11(1):117-122.
- [3] 韦方强,胡凯衡.山区城镇泥石流减灾决策支持系统[J].自然灾害学报,2002,11(2):31-36.
- [4] 韦方强,谢洪,钟敦伦,等.西部山区城镇建设中的泥石流问题与减灾对策[J].中国地质灾害与防治学报,2002,13(4):23-28.
- [5] 谢洪,钟敦伦.城镇泥石流减灾系统工程当议[J].水土保持学报,2000,14(5):136-140.
- [6] 刘传正,苗天宝,陈红旗,等.甘肃舟曲2010年8月8日特大山洪泥石流灾害的基本特征及成因[J].地质通报,2011,30(1):141-150.
- [7] 唐川.汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J].山地学报,2010,28(3):341-349.
- [8] 崔鹏,庄建琦,陈兴长,等.汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42(5):10-19.
- [9] 杨成林,陈宁生,李战鲁.汶川地震次生泥石流形成模式与机理[J].自然灾害学报,2011,20(3):31-37.
- [10] 李炫,杨本勇,范建容,等.基于流域单元的岷江上游泥石流危险性评价[J].水土保持研究,2015,22(6):335-339.
- [11] 王春山,巴仁基,周洪福,等.四川省石棉县县城泥石流灾害风险评估[J].水土保持研究,2014,21(4):219-223,228.
- [12] 侯兰功,崔鹏.单沟泥石流灾害危险性评价研究[J].水土保持研究,2004,11(2):125-128.
- [13] 陈华清,徐友宁,张江华,等.小秦岭大湖峪矿渣型泥石流的物源特征及其危险度评价[J].地质通报,2008,27(8):1292-1298.
- [14] 丛威青,潘懋,李铁锋,等.基于GIS的滑坡、泥石流灾害危险性区划关键问题研究[J].地学前缘,2006,13(1):185-190.
- [15] 宋志,巴仁基,刘宇杰.四川康定母猪笼沟泥石流形成特征与物源定量计算[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(3):39-45.
- [16] 高延超,郑万模,李明辉,等.论小流域内泥石流物源的判别:以康定县子耳沟为例[J].沉积与特提斯地质,2009,29(3):105-109.
- [17] 谢洪,钟敦伦.1995年康定城区洪灾成因分析[J].山地研究,1997,15(2):129-131.