

高寒高海拔山原区沟谷型泥石流成因与特征

——以四川省雅江县祝桑景区为例

倪化勇¹, 陈绪钰¹, 周维², 王德伟¹, 唐业旗¹

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 四川省地质矿产勘查开发局 成都水文地质工程地质队, 四川 成都 610072)

摘要: 高寒高海拔山原地区沟谷型泥石流与深切峡谷地区泥石流具有较大差异性。以四川省雅江县祝桑景区泥石流为例, 通过实地调查、测绘和泥石流堆积物样品颗粒分析, 探讨了高寒高海拔山原地区沟谷型泥石流的成因和特征。研究表明: (1) 强日照, 大温差等气候条件导致高寒高海拔山原区物理风化作用强烈, 土体松散, 斜坡稳定性差, 物源丰富, 对泥石流的形成起到了重要的作用; (2) 滑坡转化和沟底侵蚀构成物源补给与泥石流启动的主要方式; (3) 泥石流动力条件相对较弱; (4) 沟床纵坡曲线总体呈现出上游平缓, 中游较陡, 而下游至沟口进一步变陡的折线形态, 汇水区和形成区分界明显, 沟口至主河段平缓, 堆积区较长; (5) 泥石流堆积物粒度分布相对均匀。

关键词: 泥石流; 高寒高海拔山原区; 祝桑景区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0211-05

中图分类号: P642.23

Formation and Characteristics of Gully-type Debris Flow on Hilly Plateau Planes with Cold Climate and High Altitude of Sichuan Province

—A Case Study of the Zhusang Scenic Spot in Yajiang County of Sichuan Province

NI Hua-yong¹, CHEN Xu-yu¹, ZHOU Wei², WANG De-wei¹, TANG Ye-qi¹

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Chengdu, Sichuan 610081, China;
2. Chengdu Survey Brigade of Hydro-Geology Survey and Engineering Geology, Sichuan Bureau of Exploration and Development of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan 610072, China)

Abstract: There are some differences between the debris flows formed in valley areas and those formed on hilly plateau planes. The formation and characteristics of debris flows in the Zhusang scenic spot in Yajiang County of Sichuan Province were studied by field investigation, on-the-spot survey and sieving test. Results indicate that: (1) The special climate with intensive sunlight and large difference in temperature plays an important role in the formation of gully-type debris flows on the hilly plateau planes by making physical weathering processes intensive, solid deposits loose, slope stability low and supplied materials abundant. (2) Landslide and gully-bed erosion consist of two main material-supplying ways. (3) The dynamic conditions of debris flow are relatively weak. (4) In terms of drainage characteristics, the longitudinal curve takes on a poly-line configuration and the conflux zone and formation zone can be divided obviously. (5) Compared with the debris flows in the valley areas, the debris flow deposits on hilly plateau planes are more uniform in grain size.

Keywords: debris flow; hilly plateau plane with cold climate and high altitude; Zhusang scenic spot

沟谷型泥石流广泛发育于深切峡谷地区, 是我国成灾最为典型、危害最为严重的泥石流类型^[1-2]。然而调查表明, 除深切峡谷地区外, 在我国高寒高海拔山原地区同样发育沟谷型泥石流^[3-5], 但目前对该类

型泥石流的研究较少, 相关报道也是鲜见。随着西部大开发的进行, 这类泥石流对川藏公路等交通设施以及牧民安居等民生工程构成不同程度的威胁^[6-7]。调查同时发现, 无论是泥石流的流域地貌还是泥石流形

收稿日期: 2012-02-15

修回日期: 2012-03-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于雨型的泥石流发生临界降雨条件及预测模式”(41102226); 科技基础性工作专项“西南地形急变带地质灾害综合调查与风险制图”(2011FY110100); 中国地质调查局国土资源调查项目“雅江县地质灾害详细调查”(1212010814020)

作者简介: 倪化勇(1979—), 男(汉族), 山东省临朐县人, 硕士, 助研, 主要从事泥石流灾害预测预报、评价与灾害地貌的研究。E-mail: nihua-yong@126.com.

成一堆积过程,高寒高海拔山原地区沟谷型泥石流同深切峡谷地区泥石流存在一定的差异性。雅江县祝桑景区位于川西高原西北部,为典型的丘状高原地貌,泥石流比较发育,特征典型^[3]。本文将以雅江县祝桑景区拉鲁河左岸(果多至扎库段)集中分布的 7 条泥石流沟为研究对象,对该类泥石流的形成和特征进行初步研究。

1 环境地质背景

祝桑景区位于四川省甘孜藏族自治州雅江县东部,G318 国道南侧,属于半农半牧地区。由于其独特的气候特征和高原牧场风貌,祝桑景区是夏季旅游休闲的好去处,有“雪域桃园”之称,旅游资源开发潜力较大。

研究区位于祝桑乡乡政府所在地奔达村及其周边,海拔 3 680 m 以上,属于典型的高原山原地貌,山脊浑圆,河流浅切,谷底宽阔,山势平缓。拉鲁河沿北东向流经,属于大渡河水系,支沟比较发育。

雅江县地处松潘—甘孜褶皱系巴颜喀拉印支冒地槽褶皱带雅江复向斜中段核心部位区内地,境内发育一系列北西向为主的次级褶皱和断裂,而祝桑乡境内地质构造简单,褶皱断裂构造不发育,对泥石流影响较小。该区出露地层比较单一,主要为三叠系和第四系地层,在研究区北部分布有岩浆岩,基岩主要为三叠系上统侏倭组(T_{3zh})厚—中厚层硬石英砂岩与软硬板岩互层,第四系河流相砂卵石沉积于宽阔河谷。

区内气候属于高山亚寒带气候,年均气温 4.3 ℃,最高月平均气温 12.5 ℃,无霜期短,多少于 30 d,时常发生霜灾和雪灾。

2 泥石流分布与危害

研究区发育 7 条典型泥石流沟,分别为果多沟、八车沟、真穷沟、扎库沟、奔达沟、仲九沟和大宗吉沟。这 7 条泥石流沟均位于拉鲁河左岸(果多至扎库段),祝桑乡乡政府所在地(奔达村)附近(图 1)。近年来,泥石流时常发生,2009 年和 2010 年,八车沟和仲九沟发生泥石流,规模以中型为主,泥石流冲出沟口堆积,淤埋高(尔寺山)祝(桑)公路,导致交通受阻。

目前,这 7 处泥石流威胁对象主要包括村社、田地和公路。据调查统计,这 7 处泥石流尚威胁着 177 名雅江县祝桑景区群众的生命安全和价值约 340 万元的财产安全,尤其是真穷沟,因其位于乡政府所在地的背后,对乡政府已构成威胁。

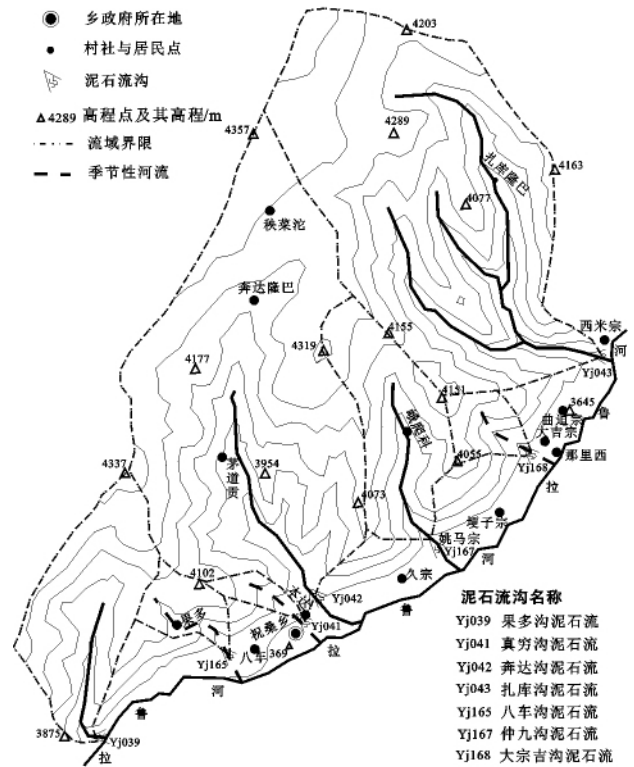


图 1 祝桑景区泥石流沟分布

3 泥石流成因

祝桑乡处于高寒高海拔地区,泥石流形成条件具有明显的高原特性,这在泥石流形成的 3 大基本条件(降雨、地形与物源)中均有体现。同一般泥石流不同,气候对高寒高海拔山原泥石流的形成起到了重要的影响作用(如图 2 所示)。

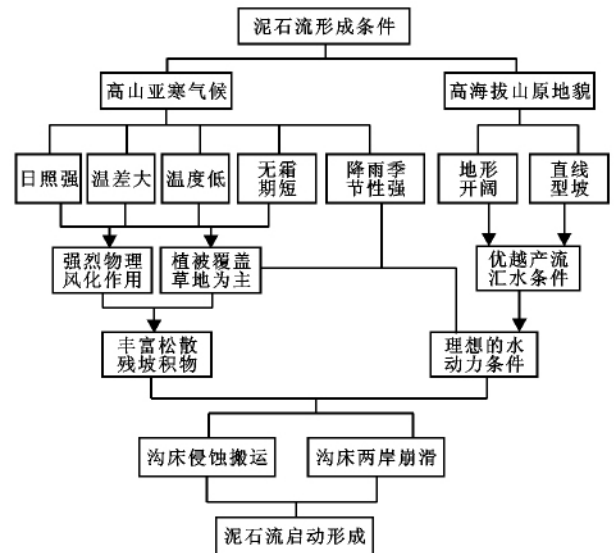


图 2 祝桑景区泥石流形成条件与影响关系

3.1 气候条件

区内气候属于高山亚寒带气候,海拔高而太阳辐

射强,气温低而昼夜温差大,干旱寒冷而无霜期短,降雨少而季节性集中成为了祝桑景区气候的典型特征。高寒气候从 2 个方面对泥石流产生影响,分别为地质条件和植被条件。(1) 地质条件。受气候影响,研究区冻融等物理风化作用强烈,砂板岩风化严重,泥石流沟流域内山坡上覆盖风化形成的残坡积层,土体为碎石角砾土,厚度可达 5~10 m,粒径多在 2~10 cm,含量 35%~50%,而在裸露沟床及残坡积层和基岩接触带可见大量覆盖风化破碎的砂板岩,片状或块状,块度多在 5~10 cm,充填少量的颗粒细小的岩屑或砂、黏土等。(2) 植被条件。受高寒气候的影响,祝桑地区植被几乎全为草甸,少量地方生长有稀疏的低矮灌丛。气候影响下的地质条件和植被条件对泥石流形成的物源条件奠定了基础,同时高寒高海拔地区独特的植被条件有利于汛期降雨产流和汇流过程的形成。

3.2 地形地貌条件

地形地貌条件是泥石流形成和发生、发展的最基本条件,高寒高海拔山区泥石流的形成与地形地貌条件关系密切。据现场调查与 1:5 万地形图判读,研究区 7 条泥石流沟的流域地貌要素如表 1 所示。

从表 1 可见,7 条泥石流沟流域相对高差介于 350~800 m,沟床纵坡降多在 100%~200%,而真穷沟和大宗吉沟的沟床比降较大,分别为 260%和 320%,为泥石流的启动提供了一定的势能和动力条件。

表 1 研究区泥石流沟流域地貌要素

泥石流名称	流域面积/km ²	主沟长度/km	相对高差/m	主沟纵坡/%
果多沟	1.5	3.3	577	158
真穷沟	0.4	1.0	402	260
奔达沟	11.9	5.4	657	100
扎库沟	12.3	6.2	800	103
八车沟	0.8	1.8	357	164
仲九沟	2.9	3.3	639	173
大宗吉沟	0.7	1.0	471	320

另外,流域形状对泥石流汇水区、形成区的汇水速度以及沟道中洪峰流量大小具有重要影响。从图 1 可以看出,研究区 7 条泥石流沟流域地形开阔,面积较大的真达沟和扎库沟,流域形态呈长、宽接近的平行四边形,面积较小的八车沟和大宗吉沟流域形态则呈明显的漏斗状或扇形。为进一步说明流域形态对泥石流的影响,通过式(1)^[8]对研究区 7 条泥石流沟流域的形态指数进行了定量计算:

$$\delta = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

式中: δ ——形态指数(无量纲); A ——流域面积(km²); L ——主沟长度(km)。

研究区泥石流沟流域形态指数计算结果见表 2。除果多沟外,研究区泥石流沟流域形态指数普遍较大,其中以大宗吉沟流域形态指数最大(0.70),其次为奔达沟和真穷沟,再次为扎库沟、八车沟和仲九沟,流域形态指数的大小反映了流域的汇水能力。

表 2 研究区泥石流沟流域形态指数

泥石流沟名称	果多沟	真穷沟	奔达沟	扎库沟	八车沟	仲九沟	大宗吉沟
形态指数	0.14	0.40	0.41	0.32	0.25	0.27	0.70

3.3 物源与补给条件

调查发现,研究区 7 条泥石流沟的物源补给条件存在一定差异性,但其物源补给可归纳为 2 个方面:

(1) 滑坡转化或补给形成泥石流。这主要体现在八车沟和大宗吉沟泥石流的形成中。根据调查,在八车沟和大宗吉沟下游均见一定规模的残坡积土质滑坡,八车沟滑坡位于下游北东转南东拐弯处左岸,斜坡坡度近 35°,滑体厚度 4~5 m,长 50~60 m,宽近 150 m,滑坡后壁明显,但受狭窄河床与右岸斜坡的阻挡,滑坡下滑仅 0.5~1 m。滑坡前部在汛期洪水侵蚀作用下,滑坡发生累进性破坏,近 1/2 的滑体已被洪水掏蚀垮塌并卷入洪水形成泥石流,这成为了八车沟早期泥石流的主要物源;大宗吉沟下游地势开阔,呈明显漏斗状,斜坡坡度约 30°,沟口可见早期滑坡和

泥石流形成的扇状堆积,调查推测系早期滑坡和泥石流所致。目前,在漏斗状斜坡与上游平缓斜坡的交汇处(大宗吉沟下游右岸)发育一滑坡,长约 50 m,宽 30~40 m,厚度 3~4 m,小型,但在降雨和侵蚀作用下,已经发生滑动并形成数次小型泥石流,在该滑坡汛期长期遭受侵蚀作用下,滑坡同样呈现累进性破坏,并导致泥石流时常发生。

(2) 侵蚀揭底补给形成泥石流。果达沟、真穷沟、奔达沟、扎库沟和仲九沟泥石流在形成的过程中,主要是受到洪水侵蚀沟床,松散的沟床堆积遭受揭底,同时,侵蚀导致两岸斜坡沿沟发生垮塌。沟床松散堆积和垮塌的残坡积土体卷入洪水从而形成泥石流。在这些沟谷中,看似岸坡平缓,草地覆盖,崩滑等不良地质现象不是很发育,但沟床底部往往存在一条

窄浅的切沟或冲沟,宽度一般 1~5 m,且均覆盖一层松散的残坡积堆积或冲洪积堆积物。洪水发生时,这些覆盖物易被掏蚀揭底而卷入泥石流,随着揭底下切,两岸的松散残坡积物也开始发生垮塌并补给泥石流,增大泥石流的规模。

4 泥石流特征

4.1 流域特征

同深切峡谷地区泥石流相比,因其独特的地理位置和地貌景观,高寒高海拔山区泥石流在流域方面呈现出不同的特征。

4.1.1 分区特征 祝桑景区高寒高海拔山区泥石流往往可以划分出明显的汇水区、形成区、流通区和堆积区 4 个区域。同深切峡谷区泥石流相比,高寒高海拔山区泥石流的汇水区和形成区界限明显,汇水区位于流域上部,地形开阔,地势平缓,形成区位于流域中下游,地形变陡,沟床开始变窄,该段主要为洪水侵蚀、岸坡崩滑而导致泥石流形成的沟段,而形成区与流通区往往出现叠加和交叉现象,流通段也为泥石流物源补给段,而不容易分开,这主要由沿沟侵蚀补给所决定的。堆积区较为明显,位于沟口以外的宽阔区域,堆积空间开阔,一直延伸至拉鲁河,长度可达数百米。

4.1.2 沟床比降 沟床比降是泥石流势能转化为动能的条件,影响着泥石流的形成和运动。据统计,我国西南山区泥石流沟中,沟床比降在 100%~300% 的沟谷发生泥石流的可能性较大,而沟床比降在 300%~500% 的沟谷发生泥石流的可能性大^[2]。对于深切峡谷地区泥石流沟来说,沟谷中上游段是泥石流物质聚集和能量转换的关键启动段,也是常见的泥石流形成段,沟床陡峻,下游沟床开阔,可以容纳泥石流的堆积,整个沟床纵坡曲线呈现出上段较陡下段较缓的下凹形态。然而,野外调查和 1:5 万地形图读图分析表明,高寒高海拔区泥石流沟谷形态和纵坡曲线呈现出显著的差异,其沟床纵坡曲线总体呈现出上游沟床平缓,中游沟床较陡,而下游至沟口进一步变陡的折线形态。这随着沟谷的发育演化而表现出不同,如果多沟,主沟较长,其纵坡曲线呈现出 4 个陡与缓的转折,呈现出扁平 S 状。在 7 条泥石流沟沟床纵坡曲线形态中,下游至沟口进一步变陡段长度几乎一致,均距离沟口 400~600 m 段。值得一提的是,由缓变陡的沟段是泥石流容易启动而形成的地区,如八车沟、仲九沟泥石流都是在下游至沟口进一步变陡段启动而发生的。

4.2 动力特征

八车沟近年来曾发生 2 次中型规模泥石流,泥石

流泥位等现象明显。因此,以八车沟为例,探讨祝桑景区泥石流的动力特征。

4.2.1 泥石流容重 由于没有泥石流现场观测的容重值,因此,本文通过经验法来确定,即通过访问当地居民,较客观地了解泥石流流体中的固液两相的体积比例,按照下式计算泥石流容重^[8]:

$$r_c = \frac{r_s f + 1}{f + 1} \quad (2)$$

式中: r_c ——泥石流容重(t/m^3); r_s ——固体物质密度(t/m^3); f ——泥石流流体中固体物质体积和水的体积之比。

通过对当地居民访问和现场调查,八车沟泥石流流体中水、土比例约为 5:5~4:5,计算中取泥石流中固体物质比重平均值为 2.65 t/m^3 ,由此可以计算出祝桑景区八车沟泥石流容重为 1.83~1.92,初步判定泥石流性质为黏性泥石流。

4.2.2 泥石流流速 泥石流流速是泥石流动力特性的重要参数之一。八车沟下游至沟口段(高程 3 768 m),沟谷相对顺直,沟床为基岩,泥石流流动后泥痕明显,故选取该段对其断面进行了测量。根据八车沟泥石流的特点,采用东川泥石流流速改进公式对该处泥石流流速进行计算^[8]:

$$V_c = K \cdot H^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{5}} \quad (3)$$

式中: V_c ——泥石流流速(m/s); I ——泥位纵坡,现场测量为 227%; H ——泥深(m),现场测量为 1.03 m; K ——黏性泥石流流速系数,本文根据表 3 取 10。

表 3 黏性泥石流流速系数

流速系数	泥深 H/m			
	<2.5	3	4	5
K	10	9	7	5

计算得知,祝桑景区八车沟泥石流的流速 $V_c = 3.74 m/s$ 。

4.2.3 泥石流流量 泥石流流量采用形态调查法计算,即根据泥石流流通段河槽岸坡上遗留的最高泥痕,测量过流断面横断面积并乘上该处计算得到的对应泥石流流速,其表达式如下:

$$Q_c = W_c \cdot V_c \quad (4)$$

式中: Q_c ——泥石流的流量(m^3/s); W_c ——泥石流过流断面面积(m^2); V_c ——泥石流流速(m/s)。

通过调查,选择高程 3 768 m 处沟床断面进行测量,测量该处泥石流泥深为 1.03 m,过流断面面积为 2.52 m^2 ,根据上述计算得到的该处泥石流流速为 3.74 m/s ,从而计算出 2010 年该处泥石流的峰值流量为 9.43 m^3/s 。

4.3 堆积特征

泥石流堆积物是泥石流快速侵蚀、搬运的产物,包含着大量泥石流形成、运动和堆积过程的信息,因此在一定程度上反映了泥石流形成机理、运动特征及搬运介质的特点。祝桑景区 7 条泥石流沟中,由于泥石流黏性不同,泥石流堆积呈现出一定差异性。

4.3.1 堆积扇形态特征 根据泥石流堆积扇的形态,祝桑景区泥石流堆积扇可以分为 2 种类型,一种是扇状堆积,一种是带状堆积。前者以流域面积较小的八车沟、大宗吉沟和真穷沟泥石流为代表,堆积扇纵、横比降都比较大,反映了黏性泥石流的整体堆积特征。据现场调查,八车沟 2010 年发生的泥石流从西南侧切穿老堆积扇并在高祝公路外侧堆积,从而形成串珠状结构,早期和 2010 年 2 次泥石流堆积扇纵比降(堆积幅角)分别为 11.6° 和 9.5° ,扩散角约 45° 。大宗吉沟泥石流堆积扇纵比降(堆积幅角)为 7.5° ,扩散角约 50° 。后者以流域面积较大的仲九沟、扎库沟、果多沟和奔达沟泥石流为代表,泥石流自出山沟口开始堆积,一直延伸到拉鲁河,扇面平整,堆积扇纵、横比降都很小,形态呈带状,反映了稀性泥石流的散体沉积特征。据测量,仲九沟 2009 年发生泥石流,堆积长度达到 270 m,扩散角不足 30° ,而堆积幅角仅约 3° 。

4.3.2 堆积物质组成特征 祝桑景区泥石流堆积物具有高原冻融区的典型特征,由于风化因素的影响,堆积物块度相对较小且粒度分布相对均匀,少见块度 0.5 m 以上的漂石。在野外调查的基础上,对泥石流堆积物进行了取样,并在实验室进行了测试分析,得到了祝桑高寒高海拔山原区泥石流堆积物的物质组成和粒度分布(如图 3 所示)。

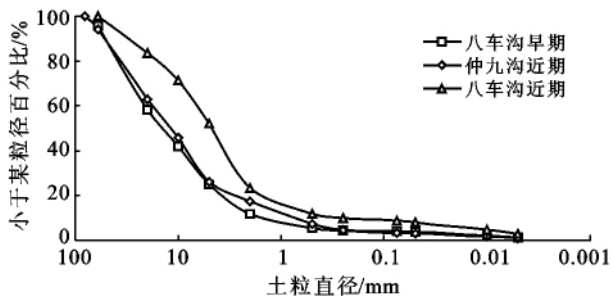


图 3 祝桑景区泥石流堆积物粒度分布曲线

可见,祝桑景区泥石流堆积物粒度分布曲线呈下凹形态,粒度分布相对均匀,物质组成以小于 20 mm 的砾石和砂为主,一般呈次棱角状或次磨圆状。分析结果显示,八车沟、大宗吉沟和真穷沟泥石流堆积物混杂程度高,粒度级配较宽,含有少量黏土,不足 2%,而仲九沟、扎库沟、果多沟和奔达沟泥石流堆积

物具有一定分选型,砾石占 55%~65%,砂占 35%~45%,并且从扇顶至扇缘泥石流堆积物粒度变细。

5 结论

(1) 高寒高海拔山原地区日照强烈但昼夜温差大,干旱寒冷无霜期短,强日照、大温差的气候条件使得物理风化作用强烈,土体松散,斜坡稳定性差,物源丰富,同时高寒高海拔山原地区气候影响下的以草地为主的植被条件有利于汛期降雨产流和汇流过程的形成。可见,同深切峡谷地区沟谷型泥石流相比,气候对泥石流的形成起到了重要的作用。

(2) 沟谷中上游段是深切峡谷地区泥石流物质聚集和能量转换的关键启动段,也是常见的泥石流形成段。而高寒高海拔山原地区泥石流沟主沟纵坡呈现出上游平缓,中游较陡,而下游至沟口进一步变陡的折线形态,汇水区和形成区分界明显,泥石流形成往往在中游或下游,动力条件较小。

(3) 祝桑景区泥石流堆积物粒度分布曲线呈下凹形态,粒度分布相对均匀。

(4) 祝桑景区泥石流目前多处于发展期,发生规模以中、小型为主,威胁对象主要包括高(尔寺山)祝(桑)公路、村社和农田,在景区开发过程中,建议根据泥石流发生频率和威胁程度,选择监测、警示、疏导治理等措施进行防御,尤其加强对八车沟泥石流的监测和防范。

致谢:雅江县国土资源局对考察予以了大力支持,李明辉教授和高延超工程师先后对本文进行了指导,徐伟工程师对图文进行了修改完善,一并致谢。

[参 考 文 献]

- [1] 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,2004:18-19.
- [2] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流[M]. 北京:商务印书馆,2000:364-365.
- [3] 中国地质调查局成都地质调查中心. 甘孜地区(雅江县)地质灾害详细调查报告[R]. 成都:中国地质调查局成都地质调查中心,2011.
- [4] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [5] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都:成都科技大学出版社,1999.
- [6] 黄勇,杨三强,周雁. 高寒高海拔山区公路坡面泥石流防治研究[J]. 资源环境与工程,2009,23(专刊):107-110.
- [7] 马清文,于远忠. 西藏中 4[#] 泥石流高寒高海拔特性的初步研究[J]. 西南民族大学学报:自然科学版,2004,30(1):114-116.
- [8] 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.