

# 涪江上游泥石流灾损土地特征及典型流域淤积危险性研究<sup>\*1</sup>

杨顺<sup>1, 2</sup> 黄海<sup>1, 2</sup> 田尤<sup>1, 2</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734;

2. 中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 四川成都 611734)

**【摘要】**: 涪江上游以高山峡谷为主, 人地矛盾突出, 泥石流灾损土地是山区居民选择的主要生产生活场所。通过野外调查, 初步查明目前涪江上游泥石流灾损土地以淤高的发展趋势为主, 灾损土地扇形完整性程度达 58%, 以中等易发为主; 大部分灾损土地距离主河距离为 100 ~ 350 m, 距离适中, 水热条件良好。基于不同降雨频率条件下泥石流主沟内泥深、流量差异性, 建立泥石流灾损土地的淤积危险范围确定方法; 快速得到南坝窖子沟 20 a 一遇、50 a 一遇、100 a 一遇 3 种降雨频率条件下泥石流淤积危险范围, 分别为 0. 167 km<sup>2</sup>、0. 292 km<sup>2</sup>、0. 420 km<sup>2</sup>。为下一步建立基于土地潜力和灾害风险两个指标的灾损土地资源化潜力评估方法, 探索泥石流灾损土地资源化利用模式, 提供基础条件, 并为山区居民进行土地利用提供快速指导。

**【关键词】**: 涪江上游; 泥石流灾损土地; 淤积危险范围; 窖子沟

**【中图分类号】**: P642. 23 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2017)11-1928-08

DOI: 10. 11870 /cjlyzyyhj201711022

泥石流是山区常见的流域性的自然地质现象, 由于其高含沙量, 往往在流域下游宽阔地段和进入主河前淤积, 形成大面积的泥石流滩地。特殊的地理位置, 泥石流滩地往往具有地势相对平缓、水源充足、热量丰富等特点, 是人地矛盾突出山区较好的土地资源, 具有广阔的开发前景。因此, 如何开发利用好泥石流滩地是贫困山区发展经济和改善生态环境的重要问题。

泥石流灾损土地是泥石流灾害对滩地有直接和间接破坏作用的土地类型。近年来, 国内外学者广泛重视对泥石流滩地的研究, 其中在泥石流滩地的特征、分类、沉积过程及危险性分区等方面进行了深入的研究<sup>[1~7]</sup>。泥石流灾损土地是资源与灾害的统一体, 它的开发利用兼有正效益和负效益的可能性。为了提高经济效益, 减少自然灾害, 值得对其危险度区划加以研究, 陈

<sup>1</sup> 收稿日期: 2017-02-23; 修回日期: 2017-05-18

**基金项目**: 中国地质调查项目“涪江流域 1 : 5 万环境地质调查”(DD20160251) [China Geological Survey Project: Fujiang River 1 : 50000 Environment Geology Investigations (DD20160251) ] ; 国家自然科学基金项目“渗流作用下孔隙水压力对坡面固体物质起动的机理研究”(41502330) [National Natural Science Foundation of China: the Research on the Slope Solid Materials Initiation Mechanism of Pore Water Pressure under Seepage Condition in Debris Flow Area (41502330) ]

**作者简介**: 杨顺(1986 ~ ), 男, 博士, 工程师, 主要从事泥石流起动机理及灾害防治技术方法方面的研究工作. E-mail: yangshun09@foxmail.com

宁生<sup>[8]</sup>就以云南蒋家沟为例对蒋家沟下游滩地的危险度进行区划；山地沟谷一旦暴发泥石流，在堆积区不同地段泛滥成灾的程度或最大威胁程度差异较大，而泥石流对堆积区破坏程度主要体现在泥石流冲击力和流速上等动力因素，基于此，唐川等<sup>[9]</sup>选用流速和泥深作为泥石流危险度评价指标，将泥石流堆积区灾损土地划分为极端危险区、高度危险区、中度危险区和轻度危险区4个等级，并用二维非恒定流物理模型进行了验证，取得较好效果；韩用顺<sup>[10]</sup>建立的简单人畜—土地载荷平衡模型科学评价泥石流滩地农业资源化的生态环境效益；柳金峰等<sup>[11]</sup>以白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地为研究对象，对泥石流堆积扇坡耕地的分布、开发利用现状、开发潜力进行了分析和评价，表明整个白龙江流域中游区泥石流堆积扇具有很好的开发潜力；刘清华<sup>[12]</sup>通过聚焦资料缺乏地区单沟泥石流堆积区，给定流量，假定泥石流沿程流深不变，并忽略泥石流左右摆动影响，对单沟泥石流堆积区淤积危险性进行了快速评价，取得较好效果，但该方法对堆积区弯道超高未加考虑，同时缺乏物理力学意义，尚需进一步开展研究。

总的来说，泥石流滩地灾损土地是人地矛盾突出的山区重要的生活生产场所，业已引起国内外泥石流领域研究者的广泛关注，开发利用泥石流堆积区灾损土地，一方面有助于改善泥石流流域的生态环境，一方面还能促进当地经济的发展。从前期涪江流域地质灾害调查可知，涪江流域上游龙门山断裂带附近条条沟道均为泥石流沟，尤其在汶川地震后若干年内，泥石流暴发是一个常态，给当地居民造成了严重的生命财产威胁。因此，如何更好的利用该区域泥石流灾损土地将是长期研究的重点和热点，目前，涉及涪江流域泥石流灾损土地研究尚处于起步阶段，故还存在诸多问题，如①泥石流灾损土地基本特征不明确；②泥石流灾损土地危险性研究较少等。

根据实地调查与对涪江流域地震后泥石流灾害研究，发现该区域泥石流暴发频率及规模随时间逐步减小并趋于稳定状况。如何高效利用并开发渐趋稳定的泥石流灾损土地（潜在泥石流滩地灾损土地）就显得十分迫切。因此，研究以涪江流域上游为研究靶区，在查明区域内泥石流堆积区灾损土地基本特征基础上，建立缺资料小流域堆积区淤积危险性方法并以典型小流域进行验证。

## 1 灾损土地特征

### 1.1 调查位置

涪江发源于四川省平武县雪宝顶，流经平武县、江油市、绵阳、三台县、射洪县、遂宁市、潼南县，最后于重庆市合川区汇入嘉陵江，主河全长670余km，流域面积3.64万km<sup>2</sup>。其中，涪江上游以高山峡谷地貌为主，龙门山断裂带横穿北川至南坝，地质构造复杂，新构造运动活跃，山体破碎，地形起伏较大，泥石流、滑坡、崩塌等灾害频发是该区段主要地质灾害问题；中下游以平坝丘陵地貌为主，该区域地质环境相对稳定，涪江两岸部分区段岸坡垮塌、水源污染等是该区域的主要地质灾害问题。

针对上游泥石流滩地灾损土地特征及淤积危险范围，开展泥石流灾损土地调查，此次调查主要分布在绵阳市平武县、北川县等地境内，包括通口河流域、百草河流域和平通河流域、南坝至擂鼓段，以及平武县以上干流和火溪河流域，共计42处，灾损土地发展趋势统计见表1。各灾损土地调查点所在涪江流域位置见下图1。



图 1 涪江流域上游灾损土地调查点位置

Fig. 1 Field Survey Location of Fujiang Upstream

从表 1 可知，9 处调查点灾损土地呈下切趋势，占总调查样本的 21. 4%，33 处调查点呈淤高趋势，占总调查样本的 78. 6%。由此可知，涪江上游堆积区泥石流灾损土地目前主要还是以淤高的发展趋势为主，表明涪江上游泥石流灾害在汶川地震后渐趋稳定。

表 1 涪江上游泥石流灾损土地发展趋势统计

调查样本	发展趋势	
	淤高	下切
个数 (个)	33	9
百分比 (%)	21. 4	78. 6

1. 2 泥石流灾损土地基本特征及易发初判

(1) 扇形完整性

涪江上游泥石流堆积区多为泥石流冲出物堆积而成，与涪江干流及各支流形成一定角度，扇形地大小不一，是当地居民重要的生产、生活场所，根据对调查点灾损土地扇形完整性统计，可得下图 2、表 2。

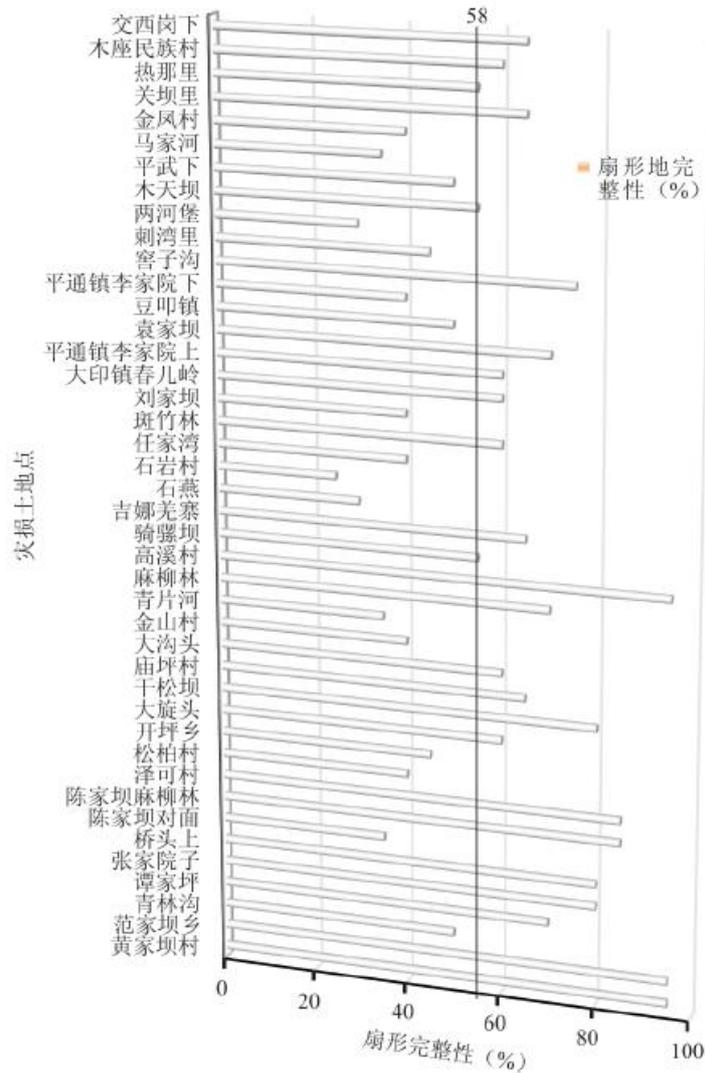


图 2 涪江上游灾损土地扇形完整性

Fig. 2 Disaster Fans of Fujiang River Upstream

表 2 涪江上游泥石流灾损土地扇形完整性分类

扇形地完整性 (%)	低	中	高	极高
	<25	25-50	51-75	>75
个数 (个)	1	13	19	9
百分比 (%)	2.4	31.0	45.2	21.4

由图 2 可知，涪江上游泥石流灾损土地扇形完整性程度介于 30%~ 95%，平均达 58%。

从表 2 可知，涪江上游泥石流灾损土地扇形完整性程度小于 25%的仅 1 处，占调查总数的 2.4%，而介于 25% ~ 75%的 32 处，占调查总数的 76.2%，大于 75% 的 9 处，占调查总数的 21.4%。总的说来，涪江上游泥石流灾损土地扇形地完整性以中、高为主，因此，可以为土地资源缺乏的当地居民作为首选的土地利用类型。

## (2) 灾损土地距主河距离

涪江流域灾损土地大部分由泥石流冲出物堆积而成，其与主河距离可直接反映出改流域泥石流活动强弱程度，图 3 为涪江流域灾损土地调查点距离主河距离。

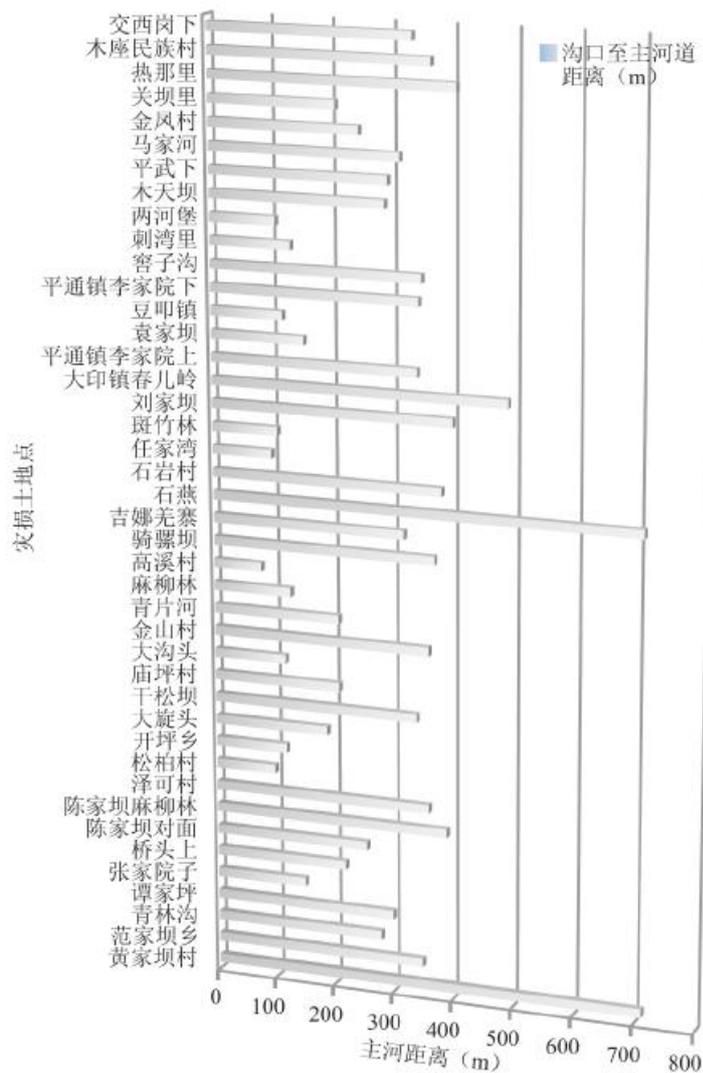


图3 涪江上游灾损土地沟口距主河距离

Fig. 3 Distance From River of Fujiang Upstream

由图3可知，涪江上游大部分泥石流出口堆积扇顶距离涪江干流或各支流直线距离主要介于100 ~ 350 m，个别灾损土地距离主河达700 m，这主要与该灾损土地所在流域大小以及泥石流活动程度强弱相关。其中，黄家坝和石燕灾损土地位置距离主河达700 m以上，黄家坝位于北川县湔江左岸两条泥石流沟汇合处，流域面积大于10 km<sup>2</sup>，调查发现龙门山断裂带横穿黄家坝泥石流沟物源区，由于频繁地震活动造成山体破碎，流域内滑坡、崩塌等松散固体物质广泛分布在沟道及坡面两侧，达数十万立方米，加上龙门山雨区强降雨激发，在汶川地震后8 a里，降雨型泥石流活动十分剧烈，每年暴发3 ~ 5次，泥石流堆积物增多，堆积区逐渐形成并稳定下来，成为当地居民聚集生活及活动场所。

(3) 泥石流灾损土地利用以农耕为主，经济作物种植为辅

涪江上游可利用的土地资源有限，泥石流堆积扇就成为当地居民进行农耕和居住的主要场所。根据全国土地利用现状调查规程，涪江上游包含耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用土地全部8大土地利用类型。然而，涪江上游高山峡谷特定的地形地貌势必使得园地、居民点及工矿用地等土地利用较少。因此，针对涪江上游泥石流堆积

区土地利用类型多寡，初步将其分为耕地(陡/缓耕地)、林地(乔木/灌木/灌丛)、草地、荒地、居民点及工矿用地(居民用地/道路等建筑用地)5类。

根据42处灾损土地调查点土地利用类型统计，可得到涪江上游灾损土地利用类型主要为耕地(缓坡/陡坡)、林地(乔木/灌木)、居民点及工矿用地(居民用地/道路等建筑用地)。其中，在所有灾损土地调查点中，耕地占总体的41.5%，林地占32.8%，当地居民点及工矿用地占12.1%，其余草地、荒地及其他土地利用情况占13.6%，见图4。

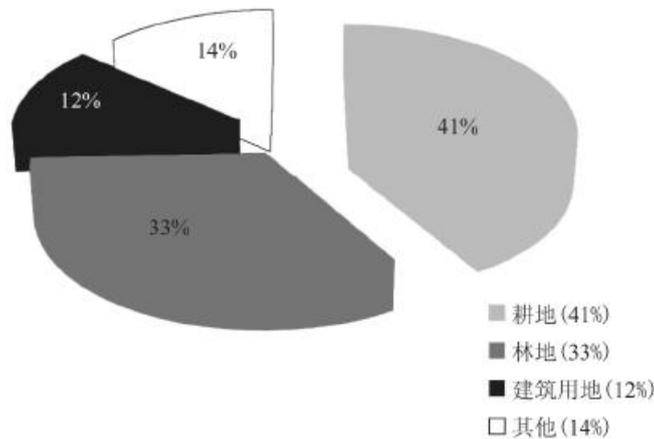


图4 涪江上游灾损土地利用情况

Fig. 4 Disaster Land Use of Fujiang River Upstream

对于区域内广泛利用的农耕地，陡坡主要分布在大于 $10^{\circ}$ 堆积区上部，缓坡为陡坡以下部分。其中，陡坡以农作物如玉米、花生种植为主，缓坡以时令蔬菜种植为主，经济作物以柏树、竹林等种植于梯坎、沟道两侧等。另外，由于泥石流灾损土地靠近主河/主沟地段，地势通常比较平缓，适宜于居民居住，故当地居民选择合适的地方作为自家的宅基地，目前涪江上游灾损土地居民自建房屋尚未开展规划，多呈散点状分布。

#### (4) 易发判别

灾损土地基本特征可通过直接调查获得，调查内容主要包括灾损土地所在流域灾害类型、松散固体物质来源、水动力条件、沟口地形、灾损土地利用情况、泥石流灾害历史以及泥石流易发性初步判识等，通过得分综合判断。从而得到42处泥石流灾损土地调查点中，易发点2个，中等易发点28个，不易发点12个，所占调查总样本比例分别为5%、67%和29%。由此可知目前涪江上游泥石流灾损土地易发程度是以中等易发和不易发为主，易发点极少，也间接说明了汶川地震后泥石流从最初的易发向不易发过渡。

总的说来，涪江上游泥石流灾损土地呈现以淤高为主，扇形地较完整，距离主河适中(100~350m)，土地利用以农耕、林地为主及中等易发等特征，间接反映出涪江上游泥石流活动逐渐减弱并趋于稳定。

## 2 典型流域危险性研究

涪江上游山高谷深，地势陡峭，自北川至南坝，龙门山中央断裂带贯穿其中，使得该区域构造活动强烈，山体破碎。汶川地震后8a里，断裂带两侧沟道连年暴发泥石流，是涪江流域泥石流暴发频率最高的区域。因此，选择区域内龙门山穿越段内小流域——南坝窖子沟开展泥石流危险性研究，可为类似缺资料小流域提供借鉴。

## 2. 1 危险性研究方法

泥石流危险性研究涉及很多方面，这里以刘清华<sup>[12]</sup>泥石流堆积区淤积范围为基础，通过改变泥石流暴发频率来确定相应条件下淤积危险性范围，其用方法步骤如下。

### ①确定典型流域基本数据

根据已有大比例尺地形图或DEM(数值高程模型)生成小流域等高线，或者现场调查、测绘、勘查确定泥石流流域主沟道基本地理地形数据，包括主沟道地理位置、泥石流过流断面  $M_0N_0$  及其宽度  $L_0$ ，并确定初始过流断面  $M_0N_0$  处泥石流水力坡度  $I$ ，见图 5。

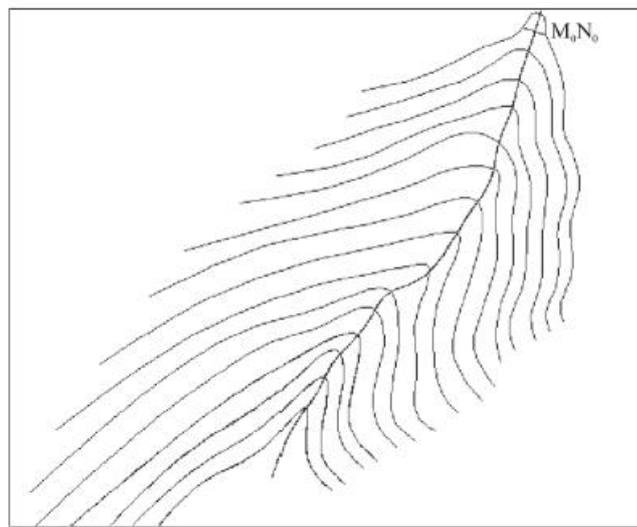


图 5 泥石流主沟道及沟口过流断面  $M_0N_0$

Fig. 5 Initial Section  $M_0N_0$  of the Debris Flow Gully

### ②计算典型小流域泥石流峰值流量 $Q_c$

南坝窖子沟小流域位于四川省内，故小流域泥石流峰值流量采用四川省中小流域水文计算方法进行计算，设置激发泥石流暴发的降雨频率分别以 20 a 一遇(5%)、50 a 一遇(2%)、100 a 一遇(1%)3 种，暴发泥石流的降雨历时为 30 min(假定有一定前期降雨浸润土体，导致土体处于极限前状态(即亚临界状态)，但此处主要考虑泥石流暴发的一次激发降雨过程)，从而得到 3 种降雨频率下泥石流峰值流量、一次泥石流总量等，见表 3。

表 3 平武县南坝窖子沟流域泥石流流量计算表

流域	设计降雨 暴发频率 $p(\%)$	特征洪峰 流量 $Q_e(m^3/s)$	泥石流峰 值流量 $Q_c(m^3/s)$	泥石流 总量 $Q(m^3)$
南坝	5	35.305	137.07	49 836.84

窖子	2	42.484	164.94	59 971.64
沟	1	47.772	185.47	67 435.64

③确定初始过流断面平均流深  $h_0$  通过概化，将初始过流断面平均流深  $h_0$  定义为对应频率下泥石流峰值流量  $Q_c$  条件下流过初始过流断面 MONO 的平均流深。通常情况下，越靠近沟道，流深越大，反之亦反。

初始过流断面平均流深  $h_0$  通过下面式 (1) ~ (4) 进行计算：

$$q_0 = Q / L_0 \quad (1)$$

$$q_0 = v_0 h_0 \quad (2)$$

$$v_0 = m R^{2/3} I^{1/2} \quad (3)$$

$$R = L_0 h_0 / (2 h_0 + L_0) \quad (4)$$

式中： $q_0$  为泥石流在沟口过流断面  $M_0 N_0$  上的平均单宽流量， $m^2 / s$ ；

$Q_c$  为泥石流峰值流量， $m^3$ ；

$L_0$  为沟口过流断面 MONO 的宽度， $m$ ；

$h_0$  为沟口对应频率下峰值流量的平均流深， $m$ ；

$v_0$  为泥石流在沟口过流断面 MONO 上的平均流速， $m/s$ ；

$m$  为粘性泥石流流速系数，根据《泥石流灾害防治工程勘察规范 DA-T0220-2006》内插糙率系数确定；

$R$  为沟口过流断面 MONO 的水力半径， $m$ ；

$I$  为沟口过流断面  $M_0 N_0$  处泥流水力坡降， $\%$ 。

通过上述计算公式，可得泥石流初始断面平均流深  $h_0$  计算表达式。

#### ④确定过流断面 $M_i N_i$ 的位置

自沟口初始过流断面 MONO 开始，需要在泥石流堆积区主沟道上进一步确定若干个平均流深为  $h_0$  的过流断面  $M_i N_i$ ， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ， $n \geq 2$ ，每一个过流断面  $M_i N_i$  两端分别与其所在点等高线相交于点  $M_i$ 、 $N_i$ ， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ，计算表达式仍然以式 (1) ~ (4) 进行计算，见图 6。

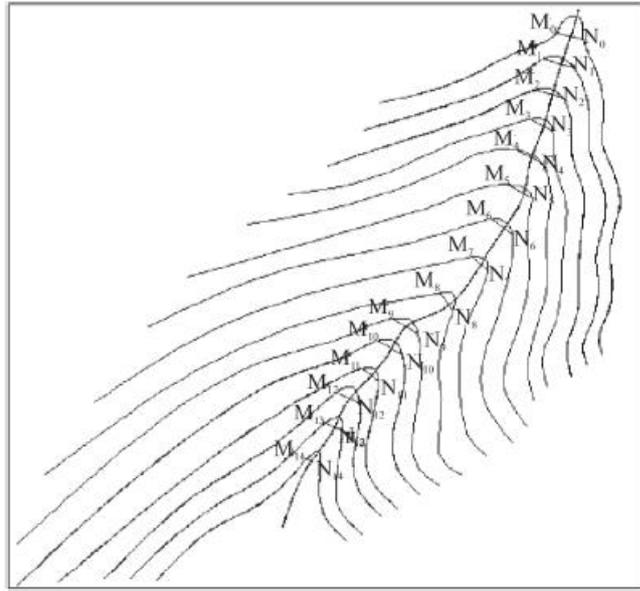


图6 泥石流主沟道及过流断面  $M_i N_i$

Fig. 6 Each Section  $M_i N_i$  of the Debris Flow Gully

⑤确定淤积范围

依次连接  $M_i M_{i+1}$ , 及  $N_i N_{i+1}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , 从而得到的范围即为泥石流淤积风险范围, 见图7。此淤积范围即为给定频率条件下泥石流可能达到的最大危险范围, 通常情况下越靠近沟道, 流深越大, 危险就越大, 反之亦反, 见图7。

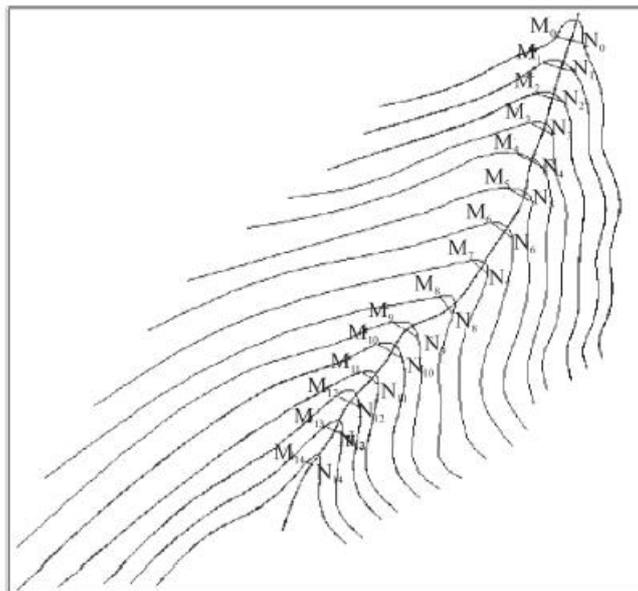


图7 泥石流主沟道两侧淤积范围

Fig. 7 Deposited Scopes of the Debris Flow Gully

## 2. 2 典型流域危险性结果

### ① 窖子沟概况

南坝镇为龙门山中央断裂北段途径位置，在该处可见到多处龙门山断裂带的地表破裂区域。窖子沟介于南坝镇和建康村之间，距离南坝镇约 5.5 km，窖子沟汇入涪江支流，由于断裂带横穿窖子沟流域中下游，造成流域中下部主沟两侧山体破碎，崩塌滑坡现象明显，通过测量，穿越窖子沟的龙门山断裂带距离主河道约 750 m。窖子沟中下游左岸一滑坡发育程度较高，该滑坡体长约 550 m，宽 350 m，如下图 8。由于松散滑坡体挤占主沟道，堵塞较严重，在未来前期降雨浸润+强降雨激发组合条件下，暴发泥石流的概率较大，可能造成主河堵塞回水，危及上方建康村村落及河道两侧农耕地，若堵塞形成堰塞湖，将进一步对下方南坝镇构成巨大威胁。

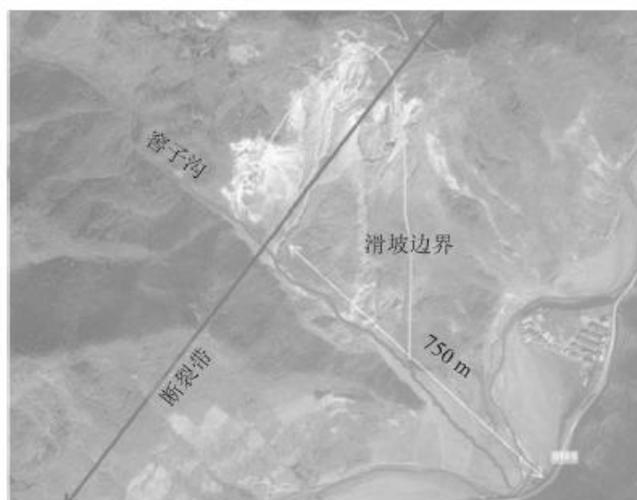


图 8 南坝窖子沟滑坡体 (来自 Google earth, 有修改)

Fig. 8 An Active Landslide from Jiaozi Gully, Nanba County (from Google earth)

南坝镇位于四川有名的龙门山雨区，属亚热带湿润季风气候，年降雨量达 500 mm 以上 [13]。而通过对窖子沟附近居民的走访调查发现，2010 年以来，每年雨季该区域间歇性短历时降水频发，在每一次短历时强降雨激发下，均会暴发不同规模的泥石流，并堆积于流域下游，见图 9。



图9 南坝窖子沟堆积扇灾损土地(无人机拍摄)

Fig. 9 Currently Debris Flow Disaster Scope  
in Jiaozi Gully, Nanba Town (photo by UAV)

通过实地勘察及无人机拍摄,发现在连年的泥石流作用下,目前窖子沟堆积区严重挤压主河道,严重威胁 S105 道,形成一个巨大的 S 型。堆积物来不及排除造成河床抬升,目前该区域 S105 道距离河床不到 0.5 m。堆积区灾损土地在不同降雨工况条件下的淤积危险范围尚不确定,泥石流防灾压力巨大。

#### ②淤积危险计算结果

小流域泥石流峰值流量采用四川省水文手册提供的雨洪法进行计算,得到 3 种设计降雨频率在 30 min 降雨历时条件下,南坝窖子沟泥石流峰值流量及一次泥石流总量,见表 3。

进而根据泥石流危险性范围确定方法,选择窖子沟出山口初始过流断面 MONO,此处等高线为 900 m,等高线间距为 5 m,依次计算每一条等高线上的过流断面上的平均泥深  $h_0$  所在位置,进而确定每条等高线两侧  $M_iN_i$  点。最终根据泥深计算结果,勾勒可得 3 种设计降雨频率条件下南坝窖子沟淤积范围,见图 10。

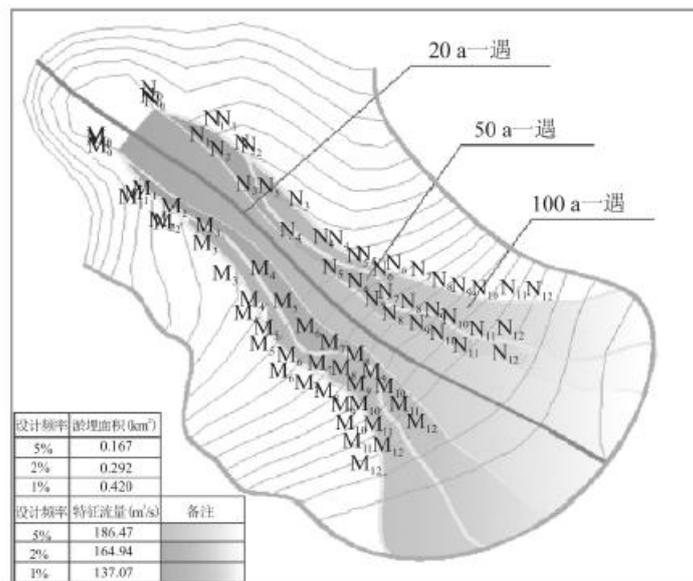


图 10 南坝窖子沟灾损土地危险(淤积)范围  
 Fig. 10 Calculation Deposited Scope of the Disaster Land in Jiaozi Gully, Nanba Town

根据对勾勒区域进行统计, 可得 3 种降雨频率下泥石流淤积危险范围, 见表 4。

表 4 不同降雨频率淤积危险范围

设计降雨暴发频率 (%)	泥石流淤积母面积 (km <sup>2</sup> )
5	0.167
2	0.292
1	0.420

由表 4 可明显得出, 窖子沟泥石流灾损土地淤积范围随降雨频率呈负相关, 即降雨频率越低, 泥石流淤积范围越大。当降雨暴发频率为 100 a 一遇 (1%) 时, 窖子沟堆积区淤积面积达 0.42 km<sup>2</sup>, 占堆积区总面积 60% 以上, 此时危险性较大, 可利用的土地极少。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

通过对涪江上游泥石流灾损土地调查及典型小流域危险范围研究, 初步取得如下认识与结论:

(1) 泥石流灾损土地是山区宝贵的土地资源, 具有广阔的开发前景, 涪江上游灾损土地主要沿涪江干流和各支流呈线状分布;

(2) 涪江上游灾损土地堆积区扇形地完整性程度较高, 平均达 58%, 是山区人民首选的土地利用类型, 目前主要还是以淤高的发展趋势为主; 涪江流域灾损土地大部分直接来自于多次泥石流冲出物, 灾损土地距离主河主要介于 100 ~350 m; 涪江上游灾损土地利用类型主要为耕地、林地和建筑用地;

(3) 基于过流断面平均泥深, 结合降雨暴发频率及单次降雨过程(一次泥石流暴发), 计算可得到涪江上游典型小流域窖子沟在不同设计降雨频率条件下的淤积危险范围, 20 a 一遇泥石流淤积危险范围为 0. 167 km<sup>2</sup>, 50 a 一遇泥石流淤积危险范围为 0. 292 km<sup>2</sup>, 100 a 一遇泥石流淤积危险范围为 0. 420 km<sup>2</sup>。

### 3. 2 讨论

目前泥石流风险研究较多, 其中, 淤积风险研究多为数值模拟, 更为直观, 但由于其物理模型欠成熟还需进一步深入研究, 因此实际应用相对较少。研究提供了一种缺乏资料地区小流域泥石流堆积区灾损土地淤积危险研究, 能快速计算和评估小流域内不同设计频率降雨条件下泥石流淤积风险, 不失为一种快速评估泥石流堆积区危险性的实用方法。目前只是对泥石流堆积区淤积危险范围进行了确定, 对该淤积范围的危险等级尚未划分, 通常情况下采用等高线间距比例, 并基于泥深和单宽流量进行划分, 具有一定的主观性, 因此, 还需进一步对此进行探讨。

#### 参考文献:

[1] 唐川, 朱静. 云南小江流域泥石流堆积扇研究 [J]. 山地研究, 1991, 9(3) : 179—184.

【TANG C, ZHU J. Research on the deposition fans in Xiaojiang watershed, Yunnan province [J]. Mountain Research, 1991, 9(3) : 179—184. 】

[2] 胡发德, 田连权. 云南蒋家沟泥石流滩地开发 [J]. 山地研究, 1997, 15(2) : 114—118.

【HU F D, TIAN L Q. Exploitation of debris flow waste-shoal land in Jiangjia Ravine, Yunnan Province [J]. Mountain Research, 1997, 15(2) : 114—118. 】

[3] 谭万沛. 泥石流扇的类型与土地利用模式 [J]. 地理学与国土研究, 2000, 16(1) : 71—75.

【TAN W P. Debris flow fan types and land-use models [J]. Geography and Territorial Research, 2000, 16(1) : 71—75. 】

[4] OKUNISH I K, SUWA H. Assessment of debris-flow hazards of alluvial fans [J]. Natural Hazards, 2001, 23(2) : 259—269.

[5] 刘玉洁, 韦方强, 李后强, 等. 泥石流滩地的开发利用对流域环境的影响——以云南蒋家沟为例 [J]. 灾害学, 2001, 16(2) : 18—22.

【LIU Y J, WEI F Q, LI H Q, et al. The influence of exploitation of debris flow waste-shoal land on environment

---

of ravine basin Taking Jiangjia Ravine Basin in Yunnan province as an example [J]. *Journal of Catastrophology*, 2001, 16 (2) : 18 –22. **】**

[6] 徐世光, 李长才, 王明珠. 云南小江泥石流与泥石流滩地开发 [J]. *地学前缘(中国地质大学, 北京)*, 2001, 8(2) : 296–300.

**【XU S G, LI CC, WANG M Z. Xiaojiang debris flow and its bottom land exploitation in Yunnan, southwest china [J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 2001, 8(2) : 296–300. **】****

[7] IBE K M, EBE A M . Impacts of debris-flow deposits on hydrogeochemical processes and the development of dry land salinity in the cross-river catchment, SE, Nigeria [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 64(2) : 449–456.

[8] 陈宁生. 泥石流滩危险度区划——初探以云南蒋家沟为例 [J]. 云南科学技术出版社, 1993: 101–104.

**【CHEN N S. Debris flow risk zoning, a case study of Jiangjiagou, Yunnan Province [J]. *Yunnan Science and Technology Press*, 1993: 101–104. **】****

[9] 唐川, 刘希林, 朱静. 泥石流堆积泛滥区危险度的评价与应用 [J]. *自然灾害学报*, 1993, 2(4) : 79–84.

**【TANG C, LIU X L, ZHU J. The evaluation and application of risk degree for debris flow inundation on alluvial fans [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1993, 2(4) : 79–84. **】****

[10] 韩用顺, 崔鹏, 王道杰, 等. 泥石流滩地农业资源化开发与利用——以蒋家沟为例 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(8) : 753–758.

**【HAN Y S, CUI P, WANG D J, et al. Exploitation and utilization of debris flow bottomland for agriculture development ——a case study of Jiangjiagully [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(8) : 753–758. **】****

[11] 柳金峰, 黄江成, 欧国强, 等. 白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发潜力分析 [J]. *水土保持研究*, 2011, 18( 1) : 92–96.

**【LIU J F, HUANG J C, OU G Q, et al. The developing potentiality of slope farmlands on the alluvial fans of debris flows in the midstream of Bailong River [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(1) : 92–96. **】****

[12] 刘清华, 唐川, 余斌, 等. 泥石流淤积泛滥范围边界划定方法及危险区划方法 [P]. 中国专利: ZL103643653A, 2015-09-30.

**【LIU Q H, TANG C, YU B, et al. Boundary delimitation method and dangerous division method for debris flow sedimentation [P]. *China Patent*, ZL103643653A, 2015-09-30. **】****

---

[13] <http://infosendsystem-pw.my.gov.cn/detail.aspx?id=20120719102807-984124-00-000> .