

文章编号: 1008 - 2786 - (2018)3 - 482 - 06

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000344

# 普格县荞窝镇 8.8 泥石流灾害应急调查研究

陈宁生, 黄娜

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

**摘 要:** 2017 年 8 月 8 日凌晨 4 点至 4 点 30 分, 普格县荞窝镇耿底村 4 组和 5 组发生泥石流灾害, 导致 25 人死亡, 71 间房屋损毁, 造成 1.6 亿元经济损失。采用现场调查、室内分析实验、参数模拟计算等方法对灾害的特征和成因进行了分析。研究结果显示 8.8 普格泥石流属于低频率中等规模的稀性泥石流。泥石流是由于流域内广泛发育的“凹槽土体”在旱后叠加暴雨的影响下激发的, 其成灾过程是一系列致灾因素叠加的结果。首先, 灾害与乡村道路堵塞行洪道关系密切; 此外区域灾害伏旱后由局地强降雨引发, 流域自然条件复杂; 隐蔽性强低频率的老泥石流沟排查识别困难; 流域上游无雨量观测站点, 难以准确预警; 洪流夜间发生, 逃生难度大等因素的存在进一步促使灾害发生。

**关键词:** 普格县; 桐子林沟; 灾害性泥石流; 运动特征; 灾害成因

**中图分类号:** P642. 21

**文献标志码:** C

2017 年 8 月 8 日凌晨 4 点至 4 点 30 分, 普格县荞窝镇耿底村 4 组和 5 组发生泥石流灾害, 导致 25 人死亡, 71 间房屋损毁, 1.6 亿元经济损失的大型灾害。灾害发生在流域面积  $3.5 \text{ km}^2$  的桐子林沟。虽然在灾前该流域已经进行了山洪灾害排查和地质灾害排查, 并采取了一定程度的预警措施, 这一大型泥石流灾害依然造成严重的灾害。这一微小流域历史上并没有大型泥石流灾害历史, 为何此灾害会突然发生呢? 区域的降水统计显示降水量不足十年一遇, 泥石流流量为何会超出百年一遇呢? 这些问题的提出, 表明该流域的灾害成因具有复杂性。带着这些问题, 笔者采用现场调查、分析实验、模拟计算等方法, 进行了泥石流特征的分析, 泥石流成因的研究, 力图寻找防灾减灾的方法, 为今后减轻人员伤亡提供经验参照。

## 1 区域背景

此次灾害发生的荞窝镇桐子林普格县荞窝镇沟, 地处西昌盐源构造侵蚀宽谷盆地中山区, 沟长  $5.5 \text{ km}$ , 流域面积  $3.7 \text{ km}^2$ , 平均纵比降  $365\%$ 。流域地形变化较大, 流域最高海拔  $3430 \text{ m}$ , 高差  $1780 \text{ m}$ , 地形坡度  $40^\circ \sim 60^\circ$ , 海拔  $3000 \text{ m}$  以上地区为云贵高原侵蚀基准面, 这一面上发育深厚的土壤层, 海拔  $1650 \sim 3000 \text{ m}$  为中山侵蚀地貌区, 海拔  $1650 \text{ m}$  以下至沟口, 为侵蚀剥蚀低山斜坡区, 高差为  $258 \text{ m}$ , 地形坡度相对较缓, 约  $15^\circ \sim 20^\circ$ , 纵比降  $147\%$ , 多以耕地、居住区为主。

桐子林沟为则木河右岸一级支沟。则木河为黑水河一级支流, 全长  $53.1 \text{ km}$ , 河床平均比降  $43.5\%$ , 流域面积  $668.2 \text{ km}^2$ , 多年平均流量  $19.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , 洪峰流量  $419 \text{ m}^3/\text{s}$ 。荞窝镇多年年平均降水

收稿日期 (Received date): 2017 - 11 - 08; 改回日期 (Acceptance date): 2018 - 03 - 27

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金国际 (地区) 合作与交流项目 (41661134012)。[Project of International Cooperation and Exchange of National Natural Science Foundation of China (41661134012)]

作者简介 (Biography): 陈宁生 (1965 -), 男, 福建建宁, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 山地灾害与工程研究。[CHEN Ningsheng (1965 -), male, born in Jianning of Fujian province, Ph. D., professor, engaged in mountain hazards and engineering research] E-mail: chennsh@imde. ac. cn

量 1400 ~ 1700 mm,最高年达到 1946.7 mm,为全县多雨的中心之一。

流域所在的区域构造上属我国南北构造带的安宁河 - 则木河断裂带,流域被 5 条断层横向切割,则木河逆冲断裂在流域的中部产生宽度上百米的断层破碎带、其他断层也产生数十米的断层破碎带,增加了泥石流的物源。破碎带由早中奥陶统的的红石崖组砂岩、泥质粉砂岩和晚三叠统白果湾组砂岩和泥岩组成,由于断层的切割作用,流域内发育了 3 处明显的断层崖,流域主沟切割断层后形成 3 个高达 10 m 的跌水,陡峻的地形极有利于泥石流流速的增加,并侵蚀沟床增加流量。在断层陡崖的上部通常形成一个相对平缓的坡面,由于区域总体处于隆升状态,剥蚀作用强(如邛海流域剥蚀速率达到 1.83 mm/

年)<sup>[2]</sup>,地质历史的侵蚀作用在这些缓坡区累积了大量的松散坡积体,有的形成“凹槽堆积体”,这些堆积物奠定了泥石流形成的物质基础。流域高差巨大河谷区宽广,降水通常随海拔的增高而增高,所以流域的中上游容易形成降水高度带,成为夏季点暴雨的集中区。流域可以依据泥石流的特征分为泥石流的形成区(汇流侵蚀区)、流通区和堆积区(成灾区)。

## 2 泥石流运动与灾害特征

此次泥石流暴发迅速,形成于海拔 2800 m 的陡坡区,形成以后侵蚀沟床进一步增加泥石流的规模和容重。依据颗粒分析(图 3),小于 60 mm 的颗粒

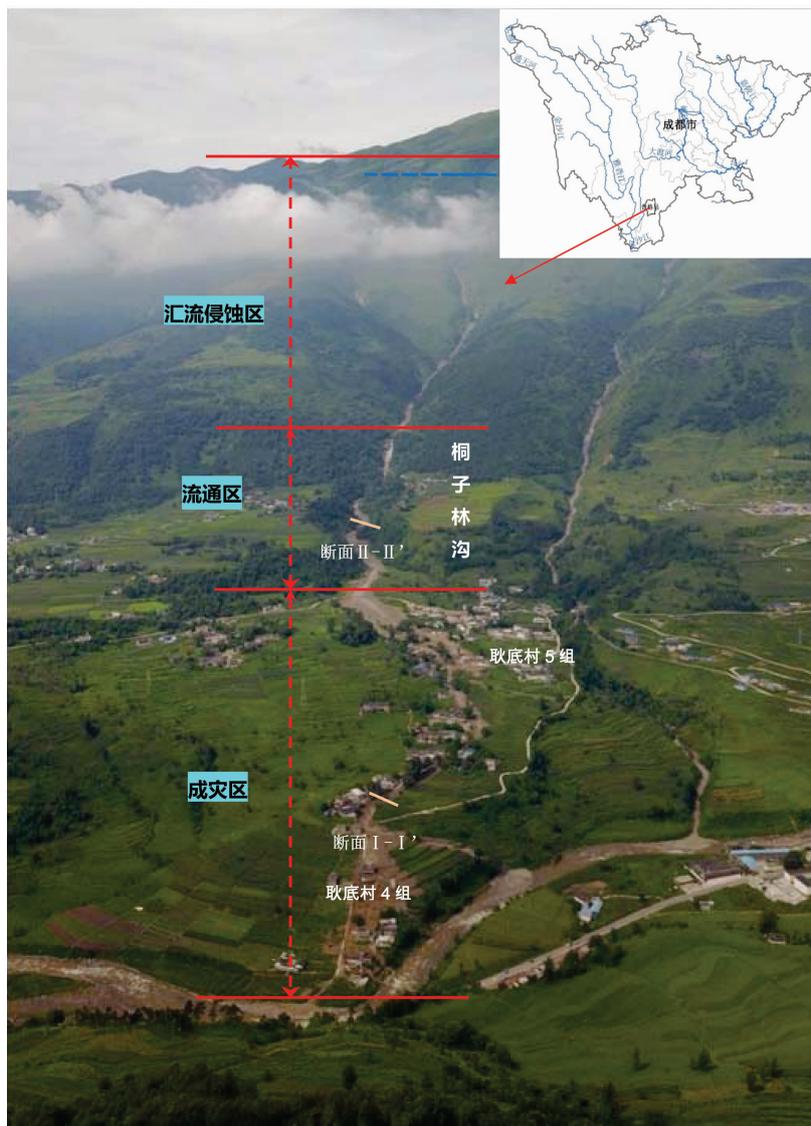


图 1 桐子林沟流域的位置和分区特征图

Fig. 1 Location and zoning characteristics of Tongzilin gully

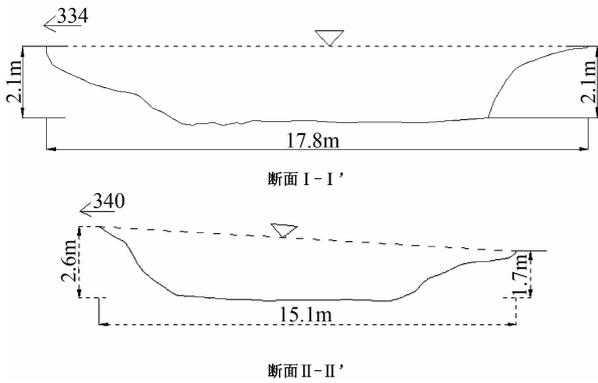


图 2 桐子林沟断面特征图

Fig. 2 Schematic profile of Tongzilin gully

中,黏土颗粒组分占 1.05%,依据泥石流黏土颗粒含量与容重的关系分析,泥石流的容重  $1.68 \text{ g/cm}^3$ ,为稀性泥石流。泥石流流速  $2.28 \text{ m/s}$ ,泥石流峰值流量达到  $126.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,泥石流暴发规模达到 100 年一遇。泥石流堆积于沟口和村道公路的上下游区域,堆积区总面积  $20\,600 \text{ m}^2$ ,扇区泥石流堆积物的总量为  $10\,300 \text{ m}^3$ ,堆积扇泥石流的颗粒直径为  $2.1 \times 1.8 \times 1.1 \text{ m}$ 。大于  $2 \text{ mm}$  的砾石中,45% 为圆和次圆的颗粒,棱角和次棱角颗粒约占 55%。泥石流堆积物中,大于  $60 \text{ mm}$  的颗粒占 20%,80% 为小于  $60 \text{ mm}$  的颗粒。详见表 1。

表 1 泥石流估算模型统计

Tab. 1 Debris flow estimation models

泥石流性质	估算模型	计算的主要参数数值	泥石流动力学参数特征值
泥石流容重	基于黏土颗粒含量的容重估算模型: $\gamma_c = -1.32 \times 10^3 x^7 - 5.13 \times 10^2 x^6 + 8.91 \times 10^2 x^5 - 55x^4 + 34.6x^3 - 67x^2 + 12.5x + 1.55$	黏土颗粒含量:1.05%	$1.68 \text{ g/cm}^3$
泥石流流速	曼宁公式: $V_c = \left(\frac{M_c}{a}\right) R^{2/3} I_c^{1/2}$	糙率值 $M_c$ :15;泥深:2.2 m; 比降:12%	$5.28 \text{ m/s}$
泥石流流量	形态调查法: $Q_c = W_c \times V_c$	断面面积: $23.9 \text{ m}^2$	$126.2 \text{ m}^3/\text{s}$
一次泥石流总量	连续性泥石流估算模型: $W_c = 19TQ_c/72$	汇流时间 15 分钟(调访);堆积区面积 $2.06 \text{ 万 m}^2$ ,平均厚度 $0.5 \text{ m}$	浆体总量:3.0 万方;一次固体物质总量:1.24 万方;堆积总量:1.03 万 $\text{m}^3$

式中:  $M_c$ :粘性泥石流沟床的糙率系数;  $R$ :断面的水力半径(m);  $I_c$ :为断面的沟床比降(%);  $\gamma_c$ :泥石流流体容重( $\text{g/cm}^3$ );  $\gamma_w$ :水的容重( $\text{g/cm}^3$ );

$W_c$ :为泥石流过流断面面积;  $V_c$ :为泥石流流速;  $\gamma_s$ :固体物质的容重( $\text{g/cm}^3$ )。

此次泥石流成灾区明显可分为两段,通乡公路

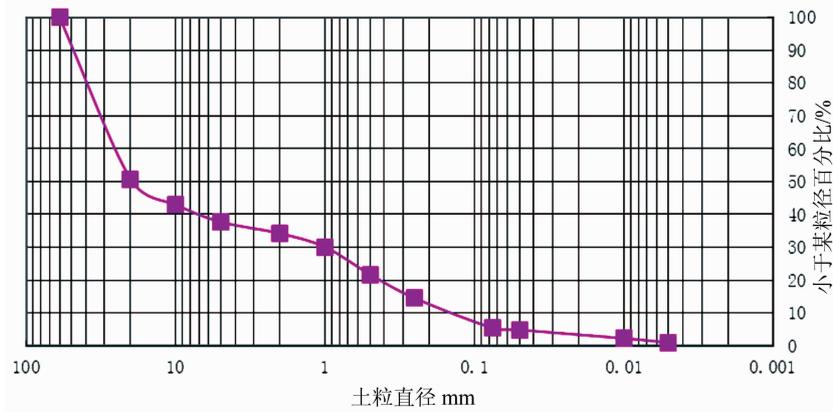


图 3 桐子林沟颗粒分析曲线图

Fig. 3 Particle analysis curve of Tongzilin gully

跨沟处至周天荣家为耿底村5组成灾区,通村公路(吉好家)至则木河右岸为耿底村4组成灾区(图1,图2)。其中5组成灾区面积约 $1.13 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,房屋倒塌及淤埋致人死亡18人;4组成灾区面积约 $0.57 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,房屋倒塌及淤埋致人死亡7人。

### 3 成因分析

本次灾害的发生与局地强降雨、区域复杂的自然条件、快速的流体运动特征和低标准的行洪沟道以及乡村道路工程有关。

(1)区域灾害伏旱后由局地强降雨引发,流域自然条件复杂,灾害隐蔽性强

灾害发生的桐子林沟流域顶部海拔达3430 m,降水丰富,此次灾害系由局地强降雨激发,据莽窝镇雨量站监测24小时降雨量49.2 mm。暴雨之前的一个月区域内降水偏少,处于中旱状态。流域中上游植被覆盖率高,灾前未见崩塌滑坡等不良地质体。流域自然沟道顺畅,灾前沟床深度2~3 m,流域近百年未见山洪泥石流灾害发生,灾前沟道内也未见明显洪(泥)痕。依据相关规范排查流域灾害隐患不明显,灾害隐蔽性强,难以识别。

(2)洪流夜间发生,成灾迅速,逃生难度大

成灾的桐子林沟流域面积小( $3.7 \text{ km}^2$ ),沟床比降大(主沟平均纵比降达365‰,其中上游段476‰),被则木河断裂带切割,主沟多级跌坎发育,洪流灾害发生在凌晨4:00左右,运动流速快、成灾迅速、逃生难度大、人员伤亡重。

(3)流域上游无雨量观测站点,难以准确预警

流域高差大(达2038 m)、中上游海拔2000 m以上地区为区域降水高度带,无雨量观测站点。目前雨量站集中分布于则木河两岸海拔1400 m左右地区,观测的降水量通常小于流域中上游真实的暴雨雨量,难以准确预警。

(4)乡村道路建设降低沟道行洪能力,促使洪流改道,加重灾情

桐子林沟流域海拔1505 m、1420 m处修建有2条横穿沟道的乡村道路。海拔1505 m处为2015年修建的普格-耿底乡道,海拔1420 m处为2014年修建的耿底村道。此次受灾的耿底村5组和4组分别位于乡道和村道的下游区域。海拔1505 m处乡

道穿越沟道时开挖形成宽8~10 m的平坦沟段,且修建有涵洞,普格-耿底乡道过沟涵洞底宽3.0 m、侧墙高1.5 m、拱高0.8 m,本次洪流裹挟长4.7 m、宽2.0 m、高1.2 m的块石堵塞涵洞,致使洪流迅速改道,直冲耿底村5组居民区,造成18人死亡。

耿底村村道过沟涵洞高1.5 m、宽2.6 m,本次洪流裹挟泥沙块石堵塞涵洞,加之原沟道近60°的拐弯,致使洪流脱离原沟道沿村道往下方直冲耿底村4组居民区,造成7人死亡。

(5)低频率的老泥石流沟排查识别困难

高中频泥石流沟的判识相对容易,然而缺少活动历史的低频泥石流沟的判识需要对堆积物和物源进行判识才可能获得认识。该泥石流沟的堆积物中呈现颗粒磨圆与非磨圆,且大小混杂堆积,所以历史上该流域发生过泥石流(图4)。受岩性和构造的控制,流域历史上的侵蚀夷平存在差异,形成系列的“凹槽土体”这些土体顶部发育一显著的汇水区,这些“凹槽土体”是容易起动的松散物源,特别在干旱和地震的背景下。一般地,凹槽土体起动泥石流的频率都很低,如美国阿巴拉契儿山区大多数“凹槽土体”起动的泥石流,其频率大多为数百年到上千年一遇。“凹槽土体”一般分布很广在加积增厚的过程中遭遇极端气候或地震等活动即容易起动形成泥石流。

### 4 结论与建议

研究结果显示8.8普格泥石流属于低频率中等规模的稀性泥石流。泥石流是由于流域内广泛发育的“凹槽土体”在旱后叠加暴雨的影响下激发的,其成灾过程是一系列致灾因素叠加的结果。首先,灾害与乡村道路行洪道堵塞关系密切;此外区域灾害因伏旱后局地强降雨引发,流域自然条件复杂;灾害隐蔽性强低频率的老泥石流沟排查识别困难;流域上游无雨量观测站点,难以准确预警;洪流夜间发生,成灾迅速,逃生难度大等因素的存在进一步促使灾害发生。今后的防灾减灾需要预测与排查相结合,加强监测预警,需要依据堆积物特征和“凹槽土体”发育特征加强对低频率泥石流沟的判识研究和应用;建议提高乡村道路的行洪标准。



图 4 桐子林沟老泥石流堆积及“8.8”泥石流堆积区图

Fig. 4 Old debris flow accumulation in Tongzilin gully and "8.8" debris flow accumulation

#### 参考文献 (References)

- [1] CHEN N S, YANG C L, ZHOU W, et al. The critical rainfall characteristics for torrents and debris flow in the WenChuan earthquake stricken area[J]. *Journal of Mountain Science*, 2009, **6** (4): 362–372
- [2] CHEN N, CHEN M, LI J, et al. Effects of human activity on erosion, sedimentation and debris flow activity — A case study of the Qionghai Lake watershed, southeastern Tibetan Plateau, China [J]. *Holocene*, 2015, **25**(6): 973–988
- [3] CHEN N S, LU Y, ZHOU H B, et al. Combined impacts of antecedent earthquakes and droughts on hazardous debris flows[J]. *Journal of Mountain Science*, 2014, **11**(6): 1507–1520
- [4] 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 [ZHOU Bifan, LI Defu, et al. Debris flow prevention guide[M]. Beijing: Science Press]
- [5] 陈宁生, 崔鹏, 刘中港, 等. 基于黏土颗粒含量的泥石流容重计算[J]. *中国科学: E 辑*, 2003, **33**(B12): 164–174 [CHEN Ningsheng, CUI Peng, LIU Zhonggang, et al. Calculation of debris flow capacity based on clay particle content[J]. *Chinese Science: E Series*, 2003, **33**(B12): 164–174]
- [6] 中华人民共和国国土资源部. 泥石流防治工程勘察规范 DZ/T0220–2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006 [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Debris Flow Prevention Engineering Survey Specification DZ/T0220–2006[S]. Beijing: China Standard Press, 2006]

## Emergency Investigation on Debris Flow 8.8 Disaster in Qiaowo Town, Puge County, Sichuan, China

CHEN Ningsheng, HUANG Na

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Key Lab of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China*)

**Abstract:** It was to investigate the genesis of a debris flow event occurred at 4 and 5 Gudong Village, Qiaowo Town, Puge County from 4 am to 4:30 am on August 8, 2017, which caused 25 deaths, 71 houses damaged and a large economic loss of 160 million yuan. The characteristics and causes of disasters were analyzed on the basis of

field investigation, laboratory test and simulation. The results showed that 8.8 Puge debris flow was a low-frequency and medium-scale debris flow. It was triggered by the extensive development of hollow in the basin under the influence of superimposed rainstorm after drought, and the disaster process was a result of a series of superimposed disaster-triggering factors. First of all, the rural roads blocked the flood channel; In addition, regional natural disasters were triggered by heavy rainfalls after summer drought, which led to complex natural conditions; There was difficulty in identifying old debris flow gully with low-frequent and latent. Some factors like time, speed, difficulty of escape and so on, all of them contributed to the initiation of the disaster.

**Key words:** Puge County, Tongzilin gully, catastrophic debris flow, dynamic characteristics, causes of disasters