

云南小江泥石流与泥石流滩地开发

徐世光^{1,2}, 李长才¹, 王明珠¹

(1. 云南地质工程勘察院, 云南 昆明 650041; 2. 中国地质大学 水资源与环境科学系, 北京 100083)

摘要:小江泥石流位于云南省东北部,属暴雨型泥石流,是中国四大泥石流作用区之一。20世纪50年代以来,共成灾40余次,直接经济损失7000余万元,已成为阻碍当地经济发展的大患。本流域泥石流是地质环境和气候环境变异以及人类经济活动叠加形成的地质灾害,其活动机理包括固体松散物源形成、河流加剧冲刷切坡、强降雨或地震诱发泥石流等3个过程。泥石流防治的根本在于控制山地荒漠化并恢复植被与生态环境。然而,要退耕还林就必须开发泥石流滩地,以安置坡地区居民,开发工程不仅要先治理泥石流沟谷,而且还要治理河床。小江农场是小江泥石流滩地开发的成功典范,其成功的基本条件总结,为泥石流滩地开发研究提供了宝贵的经验。

关键词:泥石流灾害;泥石流成因;泥石流防治;泥石流滩地开发

中图分类号:X43 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2001)02-0296-05

小江流域是中国四大泥石流作用区之一,位于云南省东北部,堪称世界泥石流博览馆,居长江之上游金沙江左岸,属金沙江I级支流,是长江流域生态环境破坏最严重、水土流失最强烈、泥石流危害最大的地区^[1]。本区泥石流为暴雨型泥石流,小江干流及其支流两岸有126条II级支沟,其中102条为泥石流沟谷。每条沟谷型泥石流中尚分布数条支沟泥石流和为数众多的坡面型泥石流。在102条沟谷型泥石流中,巨型、大型泥石流各为5条和4条,其余均属中、小型;粘性泥石流有6条,而过渡性泥石流占绝大多数,有75条;中频泥石流较发育,占64%,高频、低频泥石流各为18,19条;除两条泥石流处于衰退期外,绝大部分正处于旺盛期或发展期。

1 泥石流灾害与生态环境

小江流域泥石流自20世纪50年代以来,共成灾40余次,死187人,伤69人,直接经济损失7000余万元,已成为阻碍流域经济发展、社会稳定的大患。如国家“一五”计划项目——东川铁路支线,兴

建时未考虑泥石流危害,泥石流冲毁刚建成的部分路基和桥梁后而不得不停工,回头进行了7a的观测试验工作,并对原设计进行修改。1971年通车后,成为全国最严重的病害铁路之一,仅1985年雨季铁路沿线共发生泥石流48次,冲毁或淤埋桥梁8座、隧道4座、路基1169m,中断行车175d,直接经济损失1600万元。1992年以后沿江段铁路基本中断,1996年实施沿江段铁路改线工程。再如因民沟泥石流,1984年5月27日凌晨4时30分,正在熟睡的人们被如雷的响声惊醒,窗外是雷鸣电闪、狂风四起、雨水如柱,房内是地面颤动,一瞬间,泥石流或破门而入,或推倒房屋,整个因民镇蒙受了灭顶之灾:121人丧生,6人重伤,28人轻伤;毁坏房屋 4.5×10^4 m²,直接经济损失1100万元。又如沙湾大沟泥石流,近20a来年年暴发泥石流,年均搬运泥沙近30万m³,将拥有耕地6000余亩(1亩 $\approx 666.7 \times 10^2$ m²,下同)的沧溪坝子侵蚀成“沙滩石海”,2000余村民被迫迁至山区,村寨“步步登高”,农民赖以生存的耕地丧失,只能在非常贫瘠的“石海”上顽强生存。“水来冲成肋巴骨,天旱晒成干壳壳,一年苦到头,粮食没几颗”,就是这种情形的真实写照。

为叙述方便,将全流域分为台地区、坡地区和河谷区。(1)台地区:多位于泥石流流域上游,地形平缓,风化壳厚度大,地表多为“红土”分布,由于泥石流沟谷的溯源侵蚀,这一地区冲沟、切沟发育,地面

收稿日期:2000-12-01; 修订日期:2000-12-20

基金项目:原地质矿产部“八五”地质灾害调查项目

作者简介:徐世光(1963—),男,高级工程师,博士研究生,现任云南地质工程勘察院总工程师,水文地质工程地质学专业,主要从事地下水资源、地质环境与地质灾害防治等方面的工作。

支离破碎, 耕地、草场、林木等被蚕蚀。据现场观测和访问, 细沟源头上移速率最大可达 50 m/a , 一般值为 $1\sim 10 \text{ m/a}$, 细沟下切速率最大可达 5 m/a , 一般值为 $0.2\sim 1 \text{ m/a}$ 。(2) 坡地区: 泥石流沟谷两岸的坡地, 地形陡峻, 一般坡度均大于 25° 。全流域坡面侵蚀面积为 654 km^2 , 占流域总面积的 21.2% 。由于长期遭受侵蚀, 坡面上的土壤层多被侵蚀殆尽, 整个坡面碎石狼藉, 山地荒漠化。(3) 河谷区: 小江流域的河谷, 尤其是小江、大白河、块河、乌龙小河、盐水沟、小清河河谷和泥石流沟谷堆积地带及多数盆地(如新村、金源、乌龙等盆地), 由于泥石流携带的大量固体松散物不能被搬运走, 或在沟口堆积扇堆积, 或沿河床堆积, 致使河床年年淤高, 水流分散, 河槽频繁变化, 冲毁、淤埋、淹没农田、道路、村寨、城镇, 同时这些地区大多砂石化。

据统计, 仓房附近河床平均淤高 10 cm/a , 横山至木树朗段平均淤高 $20\sim 30 \text{ cm/a}$, 板河口至小江桥一带平均淤高 $17\sim 22 \text{ cm/a}$ ^[2]。原本不受泥石流危害的地区, 如金源盆地、乌龙盆地、新村盆地等地带, 因河床高于两岸农田, 成为“地上悬河”, 千顷良田将有毁于一旦的危险。由于河床逐年抬高, 原本仅破坏和影响局部地带的泥石流已演变成影响全流域的泥石流。如金源沙湾大沟泥石流, 原先仅淤埋茭瓜塘一带, 而目前其危害已演化为塞河床, 淹没上游地带并导致河床上涨; 金源盆地河床急剧上涨, 河流转化成“地上悬河”, 两岸农田随时有淤埋的危险; 块河携带的固体物质堆积在三江口地带, 新村盆地“泄洪”不畅, 局部地带受到洪灾威胁。

据史料记载, 数百年前, 小江阔四五丈(小于 20 m)不等, 而目前普遍宽度达 200 m 左右, 部分区段宽达 600 m 以上。另据记载, 100 多年前, 大桥河目前的冲积扇, 从喇叭口到汇入口处是一条近 5 km 长, $50\sim 60 \text{ m}$ 深的溪沟, 与小江汇合处仅分布一长 $400\sim 500 \text{ m}$, 宽 $200\sim 300 \text{ m}$ 的小型冲积扇。综上所述, 泥石流对河谷区生态环境的破坏不仅表现在将大量泥沙倾入交汇河, 而河流的挟沙能力却无法将所有泥沙搬运走, 致使泥沙在河床内淤积, 河床上涨; 而且还表现为河床上涨, 使盆地河段成为地上悬河, 加之河流为辫状水网, 水流合并、分离频繁, 主流摆动不定, 为游荡型, 对河流两岸的工农业设施危害极大。

全流域 102 条泥石流沟分布区面积达 $1\ 531 \text{ km}^2$, 占流域总面积之 50% ; 固体松散物总储

量达 47.5 亿 m^3 ; 泥石流堆积扇总面积 48.8 km^2 , 已开发利用面积 30 km^2 , 未开发利用面积 18 km^2 ; 泥石流危害 1 座城市、 7 个乡镇、 36 个村庄、 $3\ 800 \text{ m}$ 铁路和 14.15 km 公路, 危害农田 $37\ 344$ 亩。全流域 20 个乡镇尚有数万人生活在生存条件恶劣的环境中, 泥石流要么埋没、侵蚀人们赖以生存的耕地, 要么直接破坏家园, 这部分人若要脱贫, 只有异地搬迁, 或者切实治理好泥石流, 改善生存条件。

2 泥石流成因与防治的难点

2.1 泥石流成因分析

本流域泥石流是自然环境变异和人类经济活动叠加形成的一种地质灾害。(1) 自然环境变异主要指地质环境和气候环境变异。南北向深大活动断裂——小江断裂是小江流域地质环境乃至气候环境变异的控制因子。小江断裂自第三纪以来最大相对升降 $5\ 500 \text{ m}$, 造就了中国最深的谷地之一——小江裂谷, 东、西二侧分别是牯牛岭(海拔 $4\ 056 \text{ m}$)、轿子山(海拔 $4\ 237 \text{ m}$), 两山峰平距 32 km , 谷底为小江河床(海拔 $800\sim 1\ 100 \text{ m}$)。在裂谷地貌的总体背景下, 流域地形特征是山高、谷深、坡陡。由于小江断裂的长期活动, 在构造应力和地震活动作用下, 山体岩石破碎、崩塌滑坡密集分布、固体松散物储量巨大。气候环境变异是由西南向东北运移的水气, 受近南北向山体(牯牛岭、轿子山)阻挡, 使本区降水在空间上集中形成局地性暴雨, 而暴雨区往往又正是高海拔地带的泥石流形成区。(2) 人类经济活动主要指掠夺式开发资源, 尤其是开发森林资源、矿产资源、土地资源, 这一活动使得植被遭到破坏, 生态失去平衡, 继而加剧现代泥石流活动。到 80 年代初, 全流域森林覆盖率仅 6.6% 。高山垦殖、放牧更为严重, 全流域目前总耕地中坡度大于 25° 的陡坡耕地竟达 30% 左右。

泥石流沟现代活动机理包括 3 个过程。首先, 植被破坏后, 地表暂时性水流地质作用显著增强, 纹沟、细沟、切沟迅速形成并急剧扩展, 坡面侵蚀、细沟侵蚀强度和范围急剧增大, 为下游沟床提供了大量泥沙或为即将出现的泥石流活动提供了丰富的固体松散物。其次, 植被破坏后, 河流含沙量增高, 汛期洪水流量、水位增大, 打破了河流长期以来建立的稳定状态——无明显的冲刷、搬运和堆积作用; 导致 I 级沟道以侧蚀作用为主, 搬运能力显著增强, 即搬运

走Ⅱ级沟道携带来的物质,又搬运走Ⅰ级沟道侧蚀作用产生的物质;Ⅱ级沟道口急剧降低,引起Ⅱ级沟道沟床刷深,并向支沟和源头扩展;到一定阶段,Ⅱ级沟道沟床纵坡已增大到大于或接近泥石流运动所需最小坡降,支沟沟床纵坡降也增大到大于或接近泥石流驱动沟床固体松散物所需的最大坡降,沟坡脚临空致使已稳定的滑坡重新复活。最终,经历上述演变,形成泥石流的必要条件已具备,一旦出现强降雨或地震等激发、触发或诱发因素,就将暴发泥石流。

2.2 泥石流防治难点

到目前为止已先后对蒋家沟、小水沟、大桥河、尼拉姑沟、石羊沟等 16 条泥石流沟进行了治理,累计投入治理资金 5 565 万元,植树造林、封山育林 51.7 万亩,建泥石流拦挡坝 59 座,固床坝 95 座,谷坊坝 890 道,截流沟 13.1 km,护堤 3.4 km,排导槽 25.8 km,拦蓄泥沙 3 330.1 万 m^3 ,改造荒滩 2.1 万亩,保护农田 1.4 万亩,控制水土流失面积 150 km^2 。保护了东川区政府驻地新村镇的安全,保证了东川一功山公路的畅通^[3]。

经过 50 余年艰苦卓绝的防治,虽扼制了局部地段泥石流发展趋势,减轻了泥石流对城市和生命线工程的危害,但却未能抑制全流域的泥石流发展。其根本原因在于未能控制山地荒漠化并恢复植被与生态环境,以消除泥石流活动的诱因。也就是说,本流域泥石流防治的核心在于恢复植被与生态环境^[4,5],这也是防治的难点所在。

3 泥石流防治与泥石流滩地开发

要控制山地荒漠化,坡地区应严格做到退耕还林、封山育林、禁止陡坡耕种和放牧。但面临的实际困难是,全流域居住在坡地区的 8 万农民因受传统习惯和现阶段社会经济条件限制,绝大多数只能在流域内安置。分水岭台地区,因环境容量太少,且受水源和光热条件限制,只适宜发展畜牧业,原居住人口已达 2 万人,仅能再容纳 2 万人。因而,余下的 6 万人就只能向河谷区安置,但河谷区主干河流输沙能力远远小于来沙量,河床年年上涨,河谷沙化,要安置这 6 万人,不可避免地要对河谷地带进行开发。

开发河谷地带,必须抑制河床上涨。抑制方法有 2 种,一是增大河流输沙能力,由于河流输沙能力受流量、河床纵坡、河床断面、河床糙率、河床长度等

多变量控制,非常复杂且难以控制,同时泥沙输入金沙江后会给下游带来危害,因而不是上策。另一种是减少来沙量,要求对流域内泥石流进行治理,且一般情况下不允许兴建排导槽,将泥沙排向主干河流,而直接修建停淤场就地停淤泥沙。

小江滩地标高 760~1 090 m,是昆明市唯一的热区,光热资源丰富;河谷滩地总面积 38 km^2 ,已开垦利用 6.7 km^2 ,还可开垦利用滩地约 15 km^2 。

此段河谷泥石流灾害的症结:一是从两侧泥石流沟谷中泄入小江的泥沙量太多,远远超过小江的输移能力,迫使河床上涨;二是小江河床演变完全不遵循一般山区河流演变规律,而完全受控于两岸泥石流,河槽宽、浅,水流不集中,呈辫状水系。加之泥石流堆积扇上,河床纵坡降小。这些因素进一步削弱了河流输沙能力,迫使大量泥沙淤积,河床上涨。为消除泥石流危害,实现开发滩地的目标,不仅要對泥石流沟谷进行治理,而且还要对河床本身进行治理。此河段的 19 条泥石流治理措施宜选用停淤场、拦挡坝、谷坊等手段进行工程治理,原则上不选用排导槽排导泥沙,此外还要对泥石流全流域实施生物治理,保持水土。此河段河床整治措施是修筑拦河坝,人为控制河槽平面和垂向变化,达到开发滩地的目的。

拦河坝平面位置一般设在支沟泥石流入口处的上游,充分利用入口处上游段河床纵坡小,回淤长度大,库容大的特点。坝净高据河床纵坡、坝间距确定。现状河床纵坡为 13%,坝间距按 2 000 m 考虑(主要泥石流入口处间距亦约 2 000 m),治理后河床平均纵坡约 6.5%,坝净高约 10 m,在平面上,坝应向下游收敛,以引导河槽向预定位置移动。坝应分阶段修筑,每阶段高度约为 2 m,待淤满后再筑上一层坝体和坝后防冲刷体及河堤。一般宜先从下游着手治理,逐年向上游推进。筑坝工艺是用 $\phi 10$ 钢筋编网,网内装石,网与网之间用铁丝捆绑连接成整体,这种工艺筑坝造价低且防冲刷能力强。

4 泥石流滩地开发的成功范例

小江农场位于小江与蒋家沟泥石流堆积扇之间,长 6 500 m,平均宽 1 000 m,已开垦耕地面积约 8 000 亩。

蒋家沟泥石流位于小江农场下游,1919 年首次堵断小江,至今共堵断小江 7 次,大量松散物淤积在

堆积扇以上河段, 此段河床急剧淤高、拓宽、纵坡降低。70年代初采取停淤场和导流堤为主的措施进行治理, 避免了泥石流堵断小江的危害。同时, 小江桥以上长约 3 km 的河床为基岩, 纵坡小, 河流从上游搬运的物质绝大多数都停淤在此, 很少进入小江桥以下河段, 再者此段河床两岸无泥石流沟, 基本无松散物补给。此段河床自 70 年代以来以下切为主, 顺河修筑河堤后, 两岸荒滩即开发为农田^[1,6]。

小江农场是小江泥石流滩地开发最为成功的典范, 其成功的基本条件是: (1) 蒋家沟多次堵江回淤造出宽阔、平缓的滩地; (2) 此段河谷上游及两岸基本无固体松散物补给; (3) 控制住了蒋家沟泥石流堵江之危害, 减少了蒋家沟泥石流汇入小江的固体物质质量, 此段河床自 70 年代初以来不上涨而略为下切。

5 结 论

通过本项研究, 可以得出如下结论:

(1) 河谷区泥石流对生态环境的破坏表现在将大量泥沙倾入交汇河, 致使泥沙在河床内淤积, 河床上涨, 河流成为地上悬河。加之河流为辫状水网, 水流合并、分离频繁, 主流摆动不定, 对两岸的工农业设施危害极大。

(2) 泥石流是自然环境变异和人类经济活动叠加形成的一种地质灾害, 机理包括 3 个过程。首先, 随着植被遭破坏, 水流侵蚀及风化作用增强, 为泥石流活动提供了丰富的固体松散物。其次, 汛期洪水含沙量增高, 冲刷、搬运作用增强, 刷深 II 级沟道沟床, 逐渐使物源区沟床纵坡降增大到接近泥石流驱动固体松散物所需的最小坡降, 沟坡脚临空致使已稳定的滑坡重新复活。最终, 伴随强降雨或地震等激发、触发或诱发因素, 暴发泥石流。

(3) 泥石流防治的根本在于控制山地荒漠化并恢复植被与生态环境^[7], 具体应严格做到在坡地区

退耕还林、封山育林、禁止陡坡耕种和放牧。但面临的实际难题是, 如何对河谷区进行开发, 以安置好坡地区众多居民。

(4) 开发泥石流滩地, 不仅要治理泥石流沟谷, 而且还要治理河床。本河段泥石流治理措施宜选用停淤场、拦挡坝、谷坊等手段进行工程治理, 原则上不选用排导槽。而河床整治措施是修筑拦河坝, 人为控制河槽平面和垂向变化。

(5) 拦河坝宜设在支沟泥石流入口上游, 坝净高据河床纵坡、坝间距确定, 治理后河床平均纵坡约 6.5%, 坝净高约 10 m。坝应向下游收敛, 以引导河槽向预定位置移动。坝应分阶段修筑, 淤满后再筑上一层坝体和坝后防冲刷体及河堤。

(6) 小江泥石流滩地开发成功的基本条件包括, 泥石流河道堵塞回淤造出宽阔与平缓的滩地、河谷上游及两岸基本无固体松散物补给、建筑停淤场和导流堤等工程控制泥石流再堵河道的危害, 减少固体物质进入河床。

参考文献:

- [1] 杜榕恒, 康志成, 陈循谦, 等. 云南省小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1987. 1-282.
- [2] 吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 16-196.
- [3] 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. 163-178.
- [4] 王继康, 黄荣鉴, 丁秀燕. 泥石流防治工程技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [5] 李长才. 云南省小江流域地质灾害调查报告[R]. 1993. 157-196.
- [6] 陈月升, 房国庆. 云南省东川市城区泥石流治理[A]. 首届全国泥石流滑坡防治学术会议论文集[C]. 昆明: 云南科学技术出版社, 1993. 146-149.
- [7] 李德基. 泥石流减灾理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 122-230.

XIAOJIANG DEBRIS FLOW AND ITS BOTTOMLAND EXPLOITATION IN YUNNAN, SOUTHWEST CHINA

XU Shi-guang^{1,2}, LI Chang-cai¹, WANG Ming-zhu¹

(1. *Yunnan Geological Engineering Survey Institute, Kunming 650041, China;*

2. *Water Resource and Environmental Science Department,*

China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Located in northeast Yunnan, Xiaojiang debris flow, which behaves as rainstorm type, is regarded as one of the largest debris flow in China. More than forty disasters have been taken place since 1949, which directly resulted in economic losses of 70 million yuan and became a deadly factor holding back the local economic development. The debris flow is formed by the variation in geological and climatic environment, and human economic activity in Xiaojiang area. The mechanism of debris flow includes three processes, i.e. preparing unconsolidated material, increasing river erosion and triggering such as occurring storm or earthquake. The fundamental prevention of debris flow is to control over upland desertion and to recover vegetation and ecological environment. However, not only the valley of debris flow, but also the riverbed should be conquered before the bottomland could be utilized in order to settle the upland dweller. As a successful example, Xiaojiang farm offers a valuable experience for the bottomland exploitation.

Key words: disaster of debris flow; mechanism of debris flow; prevention of debris flow; bottomland exploitation