

新发展理念下的云南高原泥石流防治新方法

蒋学广

(云南地质工程第二勘察院有限公司,昆明 650218)

摘要: 过去十几年的泥石流防治主要是解决保护人民生命财产的问题,防治措施基本是拦挡和排导结合,而且是能排则排,忽视了资源利用和环境保护。随着新发展理念深入人心,这种单一的防治方法显然不符合新时代要求。通过总结云南地质灾害防治历程、存在不足和面临的问题,根据泥石流的形成条件和危害特征提出了新发展理念下基于资源利用与环境保护的泥石流防治对策与新方法。基本对策是实施全域灾害链的系统防治,提高防治目标,减轻水土流失,减少固体物源启动和运移,兼顾砂石资源利用和土地资源开发利用,减轻河湖淤积,避免形成新的环境问题。防治方法从4个方面入手,一是实施水土保持工程和专项实体工程减缓泥石流松散物质的积蓄速度;二是稳拦泥石流固体物质,控制大滑坡活动,变“固床、拦挡、疏排”为“稳源、拦挡、固床、护岸、拦淤、清淤、排导”;三是结合砂石料的开发利用,设置相应的工程措施;四是结合生态修复及土地开发利用,设置相应的防治工程。

关键词: 新发展理念;泥石流防治;资源开发利用;环境保护

中图分类号: P642.23;P694;X37 **文献标识码:** A

NEW METHODS FOR PREVENTING AND CONTROLLING DEBRIS FLOW IN YUNNAN PLATEAU UNDER THE NEW DEVELOPMENT CONCEPT

JIANG Xue-guang

(Yunnan Geological Engineering Second Survey Institute Co., LTD., Kunming 650218, China)

Abstract: In the past ten years, the prevention and control of debris flow is mainly to solve the problem of protecting people's lives and property. The basic prevention and control measures are the combination of blocking and drainage, and can be discharged, ignoring the use of resources and environmental protection. As the new concept of development takes hold, it is clear that this single approach does not meet the requirements of the new era. In this paper, by summarizing the history, shortcomings and problems of geological disaster prevention and control in Yunnan Province, according to the formation conditions and hazard characteristics of debris flow, the countermeasures and new methods of debris flow prevention and control based on resource utilization and environmental protection under the new development concept are put forward. The basic countermeasures are to implement the systematic prevention and control of the whole disaster chain, improve the prevention and control objectives, reduce water and soil loss, reduce the start and migration of solid matter sources, give consideration to the utilization of sand and stone resources and the development and utilization of land resources, reduce the siltation of rivers and lakes, and avoid the

formation of new environmental problems. Prevention and control methods from four aspects, first, the implementation of soil and water conservation projects and special solid projects to slow down the accumulation of debris flow loose material; The second is to stabilize debris flow solid material, control large landslide activities, change “solid bed, blocking, drainage” to “stable source, blocking, fixing, bank protection, silting, dredging, drainage”; Third, set up the corresponding engineering measures in combination with the development and utilization of sand and stone materials; The fourth is to combine ecological restoration and land development and utilization, set up corresponding prevention and control projects.

Key words: new development concept; debris flow prevention and control; resource exploitation and utilization; environmental protection

70 多年来,云南省地质灾害防治与研究不断进步,在这个地质灾害易发高发的高原山区省份,有效遏制了地质灾害的蔓延。泥石流的治理技术源于水土保持工程,在 20 世纪 60 年代即已形成了工程措施与生物措施并举,“稳、拦、排”结合的综合防治工程体系^[1]。2013 年以来,云南率先开启了地质灾害综合防治体系建设的新阶段^[2],地质灾害治理进入高峰期,泥石流灾害防治结合云南高原山区特点,以保护承灾对象为首要目的,治理措施以拦挡和排导为主,基本未将森林植被恢复、土地开发整理、资源利用、建设用地规划纳入可研设计。在我国新的发展阶段(创新、协调、绿色、开放、共享的“五位一体”新发展理念下的发展),环境保护、资源利用、集约和节约发展被提到了新的高度。泥石流治理也要顺应新发展要求,在减轻或消除人员和财产损失的前提下,尽量兼顾环境保护、资源利用、滩地开发等,不转移或少转移灾害,实现泥石流综合治理。本文梳理总结云南近 10 a 来泥石流防治存在的不足,从地貌演化规律、泥石流形成特征、分布规律、危害特征、资源和土地开发利用方式出发,提出新发展理念下基于资源利用与环境保护的泥石流全域综合防治对策和新方法。

1 云南地质灾害防治历程及泥石流防治存在的不足和面临的问题

1.1 地质灾害防治历程

云南省的泥石流防治工作始于 20 世纪 50 年代晚期的东川蒋家沟泥石流治理^[3],之后至 20 世纪 80 年代中期,基本是各级政府在自然灾害救助和各类工程建设中,逐步加强地质灾害应急救援及工程建设安全防范工作;1987 年起进入了城镇地质灾害重点治理及应急救援并重阶段,原地矿部部署实施了云南地质灾害调查与对策研究,云南进入了地质

灾害系统调查、研究与防治阶段;2013~2020 年启动了云南省地质灾害综合防治体系建设,实施了云南史上最大规模的地质灾害防治工程,总计投入防治经费 96.31 亿元^[4],其中安排资金 60 余亿元,实施了 1 600 多个地灾工程治理项目,基本上对危险性大的地质灾害点进行了治理,完成了全省 1:5 万县市地质灾害详查工作,同时编写了 10 余部关于云南高原地质灾害防治的理论技术专著;2020 年起开始建设全省地质灾害监测预警体系和 1:5 万县市地质灾害精细化调查,开展地质灾害常态化监测工作,变被动防治到主动防范地质灾害,同时摸清地质灾害隐患及斜坡隐患情况。全省地质灾害防治工作迈上了新台阶。

30 多年来云南省地质灾害防治取得了显著的社会效益、经济效益和生态效益,同时还形成大量理论技术成果,取得了许多好的经验。比如创造了享誉世界的生态与工程并重的东川泥石流综合防治模式——东川模式^[5-6]、绿春县城 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 削峰填谷边坡治理与建设用地开发模式^[7]、鲁甸县牛栏江红石岩堰塞湖坝体加固建设水电站的综合治理模式^[8]等;20 世纪 60 年代创造的东川槽、20 世纪 80 年代创造的“V”型槽^[9],至今仍是云南泥石流防治工程中普遍采用的槽型。

1.2 泥石流防治存在的不足

随着社会经济的发展,生态文明思想逐步深入人心,新发展理念已被普遍接受,在新的时代背景下,地质灾害防治工作也表现出一些不足,总体表现是全域综合防治理念不强,防治标准偏低。具体表现在以下 5 方面:

(1) 对土壤资源保护意识不强,对水土保持重视不够。受管理职责条块划分影响,最近 10 多年的泥石流治理基本只考虑实体工程治理的硬防治^[10],很少兼顾生态及水保措施。国家实施小流域治理的

主要目的就是保护水资源和土壤资源,实施生态环境保护与建设的重要任务之一也是防治水土流失,解决黄河、长江等几大水系流域的河湖淤积问题^[11-18]。泥石流固体物一方面对人类造成危害,同时又是珍贵的资源。过去泥石流防治工作以“固床、护岸,拦挡、疏排”为主,生态工程、其他水土保持工程运用不足,土壤流失未得到很好控制。“能排即排”的原则将大量泥沙向下游河流疏排,也是同样造成土壤资源严重流失。同时,水土保持意识不强,对流域内的中度、强度侵蚀区基本未考虑森林植被恢复措施,严重的面蚀作用蓄积了大量的沟谷松散固体物源。

(2) 对形成区重点物源控制力度不够。对泥石流的形成机理、成灾条件研究不足,特别是对物源的启动条件和泥石流放大效应研究不足。同时受施工条件的限制,大多数的泥石流治理基本都是在施工相对方便的中下游稳拦,在村庄或建筑物分布区排导,对高海拔或施工较困难的形成区物源,特别是高山区泥石流源头大型滑坡及溯源侵蚀很少采取控制措施^[19-20],导致很多中下游拦挡工程一场暴雨就全部淤满,甚至损毁,一条泥石流反复治理几十年还是处于发展期,滑坡不断向外扩展,固体物源源源不断,泥石流暴发频率和危害程度越来越大。比如德钦县一中河泥石流^[21]、永胜县期纳镇泥石流、小江流域多条泥石流等^[22],经过几十年的多次治理,目前还未进入衰退期。

(3) 重视人民生命财产保护,轻视环境治理。受资金影响,过去,泥石流防治目标单一,主要以减灾防灾为主,基本是从危害对象的角度考虑局部防治,泥石流治理主要以保护人民生命财产为主,治理措施基本是能排则排,将泥石流危害转移到危害对象下游或外围即可,存在转移灾害思想。泥石流转移到下游后又会造成河湖淤积、漫流改道、顶托回淤等新的地质灾害问题,甚至出现泥石流沟对主干河流堵塞形成堰塞湖的风险^[23-25]。我国大量的江河都已经修建了梯级水电站,大量泥沙排入主河道或湖泊,也会造成电站库区淤积或湖泊淤积等新的环境问题^[26-27]。有的主河道输砂能力弱,逐渐变成叠瓦式堆积,产生顶托回淤和侧翼扩展淤积危害,比如永胜县期纳镇达旦河;有的泥石流排导槽直接进入湖泊,就会造成湖泊淤积,比如洱海、程海、泸沽湖这些重点保护的高原湖泊周边就有多条大中型泥石流沟发育。

(4) 对泥石流资源开发利用不够。主要表现为泥石流堆积物资源利用、河滩及堆积扇土地开

划等意识不足^[28]。随着习近平生态文明思想深入人心,国家对露天砂石料场的关停整顿越来越严,生态修复要求也越来越严,然而大量堆积在泥石流沟内的砂砾石和块石却无人利用;很多泥石流堆积区和堆积扇掩埋大量农田,却未对其治理和开发利用。泥石流固体物粒径大的砂砾石和块石可作为建筑材料,颗粒细小的泥沙本质就是流域内流失的土壤资源。随着国家大力推进乡村振兴和高标准农田建设,在乡村道路建设、土地开发整理、开发建设用地、农村基础设施建设等方面,都可充分开发利用这些资源。

(5) 防治技术单一,防治标准不高。近 10 多年的泥石流治理,泥石流勘察基本以地面调查和测绘为主,辅以少量的坑探、槽探措施,大多数拦挡坝和排导工程缺少钻探或井探控制,对建设工程的地基处理重视不够,导致部分治理工程设置位置或结构不尽合理。现有的泥石流防治工程大多依据防洪标准进行设计,对泥石流裹挟的块石产生的冲击力考虑相对较弱,所以,当遭遇块石,或者巨石冲击时,防护工程往往达不到预期的效果,甚至形成连锁反应式的毁坏^[29]。拦挡坝的溢流口和铺底排导槽的槽心很多都达不到泥石流防治设计规范要求,投入运行后受损工程较多,主要表现为坝顶溢流口磨蚀严重,部分坝体或坝肩漏水、坝基露底、坝体悬空、副坝或消能池冲毁等;肋坎排导槽肋坎磨损严重、基础半悬空较多、边墙基础淘蚀严重,有的出现半悬空;铺底排导槽底部磨损严重,局部槽心揭底。这些损毁情况对工程稳定性存在较大安全隐患,再次暴发较大规模的泥石流时,拦挡坝、谷坊坝等可能造成“多米诺骨牌效应”式的毁坏,瞬间放大泥石流效应;排导槽可能造成边墙倒塌、揭底拉槽、漫流改道等,严重增大泥石流危害。

1.3 泥石流防治面临的问题

根据地貌演化理论,云南高原大部分沟谷还处于青壮年发育、演化期,重力地质作用、剥蚀作用强烈^[30],拦挡、固床、护岸工程阻挡不了地貌演化趋势。从理论上讲,拦挡工程拦不完源源不断的剥蚀、侵蚀碎屑物。基于环境保护要求又不能大量向下游江湖疏排(并且还不一定具备疏排条件),对泥石流固体物的处理面临既拦不完,又不能向下游江河、湖泊疏排的处境。比如程海流域的 23 条泥石流从 2010 年开始集中治理,目前大多数拦渣坝和谷坊坝已经淤满,已经基本没有继续加设拦渣坝的空间位置,再次暴发的泥石流只能排进程海,与高原湖泊保护明显相悖。

实践证明过度增加拦挡工程会造成泥石流的势能积蓄,增加潜在系统灾害风险。舟曲泥石流堰塞湖和汶川文家沟泥石流堰塞湖的形成都与拦挡工程形成的势能积蓄和拦挡工程毁坏、失效有关^[29,31]。大量的拦挡工程一旦遇到强烈地震与强降雨叠加,将会产生溃坝、放大灾害的风险。

2 云南高原泥石流形成条件、分布规律及危害特征

2.1 形成条件

有利的地形、丰富的物源和充沛的降雨是泥石流形成的基本条件,地形高差所具有的势能以及降雨径流提供的动能是泥石流能量的主要来源^[32]。云南由喀斯特地貌、侵蚀地貌、构造地貌等多种复杂地貌构成,全省94%为山区高原,地形起伏度大,为地质灾害的发育提供了最基本的能量与空间条件,提供了泥石流形成的基本要素之一。云南雨季有单点暴雨频发、随海拔增高降雨量增大、局地小气候特征复杂的特点^[33]。受低纬高原季风气候影响,降水时空分布极不均匀,多年平均年降水量为1 258.7 mm。一般雨季为每年5~10月,降雨量占全年总降雨量的85%;区域间变化范围在300~4 000 mm之间,总体呈南多北少、西多东少的趋势。降雨为泥石流的形成提供了很好的水动力条件。云南高原处于印度板块与欧亚板块碰撞带上,地质条件复杂多变。受喜马拉雅造山运动的影响程度强烈,中新世以来高原大幅隆升,断裂活动剧烈,地震频繁,地壳差异升降,地形切割强烈,岩石破碎,覆土广布^[34],为泥石流提供了丰富的松散固体物源。

物源控制着泥石流灾害的孕育、形成和演化,物源的动态变化改变了泥石流发育的难易程度,主导了泥石流规模和频率的变化^[35-37]。泥石流发生后,其流量和总量常超出我们采用水文模型估算的数值,有的大好几倍,泥石流规模超出雨洪法计算的数值部分应为物源控制的结果。泥石流运动过程中经历松散堆积物源或粗大颗粒物源的堵溃后流量放大,可形成超大规模的泥石流,并极易形成灾害。灾害性泥石流多为黏性泥石流,其容重达到 1.8 g/cm^3 以上,固体物质的总量达到65%以上,流量通常都为基于流域百年一遇清水流量估算结果的3~10倍,所以物源的控制作用应占主导地位^[38-42]。云南的泥石流基本发育于高中山峡谷区,沟谷内滑坡、崩塌发育,松散固体物源丰富,泥石流规模主要受沟谷内松散物源控制,也有部分泥石流主要受源头大型滑坡控制,比如宁蒗金棉河泥石流、维西二道河泥

石流等;部分泥石流受高山区风化剥蚀堆积物控制或高山草甸沟谷侵蚀控制等,比如香格里拉哈巴河泥石流、德钦一中河泥石流、玉龙一碗水泥石流等;怒江、澜沧江、金沙江峡谷内的较多泥石流还有明显的“高位”泥石流特征^[43]。

2.2 分布规律

从时间分布看,云南90%的泥石流发生在雨季^[1]。从泥石流规模看,巨型泥石流主要分布于迪庆、昆明、曲靖、大理、怒江、楚雄、昭通等7个州(市),其中迪庆州最多。从流域分布看,云南六大流域主干河流中,泥石流沿大盈江、怒江主干河流两侧最发育。主干河流对泥石流控制性最明显^[44]。从空间分布看,泥石流主要分布在横断山北段高山峡谷区的“三江”上游、滇中红层高原的金沙江支流、滇西中山宽谷盆地区的大盈江中上游以及滇东北中山峡谷区的江河沿线。活动性断裂对泥石流具有较强的影响,46.64%的泥石流位于活动性断裂约5 km影响范围内,越靠近活动断裂,灾害点数量越多;远离活动断裂,灾害点数量减少。沿大盈江断裂、怒江断裂、澜沧江断裂、中甸-剑川断裂、程海断裂、小江断裂北段、红河断裂泥石流发育^[34]。滇西中山宽谷盆地区泥石流密度最大,约为全省泥石流点密度值的2.4倍^[45]。

2.3 危害特征

云南省的地质灾害共威胁人口约264万,威胁财产约760亿元。威胁人数处于前三位的为大理州、昭通市和红河州。威胁财产数量处于前三位的为大理州、昭通市和昆明市^[34]。云南山区面积约占94%,很多村庄分布在泥石流堆积扇或泥石流沟岸缓坡上,比如怒江峡谷的村庄很多就在泥石流堆积扇上。很多泥石流穿城而过,排导不畅,比如德钦县城、南涧县城等。泥石流物源区主要是沟谷侵蚀、坡面侵蚀作用,沿途扩流,甚至成倍放大;流通区泥石流流动速度快,动能大,泥石流冲击力强,会引发新的岸塌和滑坡汇流,有一定的扩流作用。泥石流在形成区和流通区侵蚀岸坡坡脚,造成滑坡、崩塌范围向后缘扩展,或者引发新的沟岸滑坡、崩塌,造成边坡失稳,从而危害影响范围内的建构筑物、农田和地质环境。如果已经修建多级天然堆石坝和拦挡坝进行防治的泥石流,还可能溃坝造成“多米诺骨牌效应”式的毁坏,使泥石流运动学和动力学特征在出沟口后集中放大,造成更大程度的危害。堆积区泥石流流动速度相对减慢,泥石流危害主要表现为掩埋、冲毁危害,以及对下游地区江河堵塞或河湖淤积等。因建筑物密集、排导沟挤占、过流断面小、行洪能力

不足等特征,加剧了泥石流淤埋、冲压和巨石冲击破坏范围和程度^[29]。泥石流淤塞主河道形成堰塞湖,造成蓄水区域淹没危害和溃坝下泄的次生灾害。

3 泥石流防治新方法

3.1 泥石流防治目标及要求

针对泥石流防治存在的不足和问题,根据地貌演化趋势、泥石流形成活动规律与危害特征,分析新发展理念下建设环境友好型和资源节约型社会的要求,泥石流防治就要树立资源开发与环境保护的全域综合防治理念,实施泥石流全域地质灾害链的系统防治。防治目标是:①全面控制或降低泥石流危害,使泥石流尽快进入停歇期和衰退期;②防治水土流失,实现土壤资源保护;③充分开发利用砂石料资源和土地资源,加强过城泥石流沟两岸建设用地规划;④加强重点物源控制,尽量减少泥石流入江入湖量,避免形成江河堵塞、湖泊淤积等环境问题。总体要求就是除了应急抢险工程外,要将常态化的泥石流防治纳入资源保护与开发、环境保护与治理的统筹范围,结合生态环境建设,土壤资源保护、砂石料资源开发、耕地资源开发、建设用地规划等,以流域为防治单元实施综合防治。

3.2 泥石流防治技术方法

总体上树立全域综合防治理念,具体从4个方面入手,一是通过水土保持工程和专项实体工程技术减缓泥石流松散物质的积蓄速度^[14,46-47];二是稳拦泥石流固体物质,控制大滑坡活动,变“固床、拦挡、疏排”为“稳源、拦挡、固床、护岸、拦淤、清淤、排导”;三是结合泥石流泥沙、砂石料的开发利用,设置相应的工程措施;四是结合生态修复,充分考虑后期的土地开发整理和建设用地规划,设置相应的防治工程。具体分述如下:

(1) 物源区治理——保土、稳源、拦挡

①坡面治理(保土):很多泥石流流域内分布较大面积的中度和强度侵蚀区,面蚀作用强烈,活动性冲沟扩展速度快,水土流失严重,土壤资源破坏严重,给泥石流提供源源不断的物源。比如南涧县城后山泥石流、宁蒗县城三岔河泥石流等。结合乡村振兴和土地提质改造及开发整理,坡面治理主要采用两种方式:一是通过生态工程实现水土保持效果^[48-54],保护土壤资源,发挥植被调节和消减地表洪峰作用^[55-57];二是通过“坡改梯”工程,降低坡面侵蚀强度,减缓土壤流失速度^[58]。坡面治理是实现生态环境改善和保护土壤资源的重要手段,应该在未来泥石流治理中大量运用。

②沟谷治理(稳源、拦挡):传统的防治手段基本都是在沟谷内修建谷坊坝和拦渣坝拦挡物源,提高侵蚀基准面,减缓岸坡活动,但是坝高普遍较低,防治标准较低。很多物源丰富的泥石流,拦挡坝在一场暴雨后就全部淤满,两三年就出现明显的损毁现象,连续治理几十年,修建很多拦挡坝,泥石流还是很发育。所以,对滑坡、崩塌发育的泥石流,要将修建控制性工程稳定重点物源作为首选,然后结合梯级拦挡控制物源启动才是治本之举,特别是不具备排导条件的泥石流更是如此。

(2) 流通区治理——固床、护岸、拦淤

在坡降较大的沟段通过谷坊坝或拦渣坝等工程,固定和抬高侵蚀基准面,同时发挥阶梯消能作用,消减泥石流动能^[31,59]。在沟谷侧蚀地段设置护岸工程或排导工程,保护沟岸坡体,避免泥石流冲刷侧蚀引发新的滑坡、崩塌等地质灾害,防止泥石流规模扩大,减轻泥石流危害。这也是过去泥石流防治常用的技术手段之一。

(3) 堆积区治理——拦淤、清淤、排导

传统的防治手段基本都是修建排导槽,将泥石流转移到下游,前缘主河输砂能力强的次生灾害相对较小,输砂能力弱的就容易产生顶托回淤,次生灾害较严重,如果形成堰塞湖,则会造成较多次生灾害。很多泥石流堆积物既是造成灾害的罪魁祸首,也是很好的资源,其中的细颗粒物质是很好的土壤资源,粗颗粒可用作工程建设回填料或加工建筑骨料。基于此,适宜在泥石流出山口附近具备地形条件的地段设置停淤场或粒径分选梯级停淤场,定期清淤,实现资源的开发利用。很多物源非常丰富的泥石流或高位泥石流,仅靠稳源、拦挡、固床、护岸、拦淤、清淤措施是无法消除危害的,就必须设置排导措施。从经济角度考虑,泥石流前缘汇入大江大河的就可以适当减少中上游的稳源和拦挡措施,加强停淤和排导措施;泥石流前缘主河输砂能力弱,或者泥石流流入湖泊的,就要加强稳源、拦挡、停淤措施,下游主要考虑排洪沟渠。

(4)全域生态修复和用地规划应一并纳入泥石流防治。有的泥石流流域内分布采矿弃渣场、露天采矿场、工程建设弃渣场,这些地方应该设置生态修复工程,恢复水土涵养功能,防止其松散固体物汇入泥石流。有的泥石流下游堆积区范围很大,沟道摆动范围大,应设置排导槽或排洪渠,并充分考虑后期土地的开发利用,设置或规划泥石流防治工程,增加生态修复工程,防止后期用地或工程建设阻断或压缩泥石流排泄通道而形成泥石流灾害或洪涝灾害。

4 泥石流治理典型案例

泥石流防治新方法,在云南部分防治工程中已经作了探索实践,有了部分成功的工程案例,但是近 10 a 的防治工程,按新发展理念要求进行全域综合防治成功的案例少。

案例 1: 云南省维西县二道河泥石流

二道河泥石流流域面积 6.22 km^2 , 域内高差 1340 m , 主沟长 7.7 km , 沟床平均纵坡降 145% 。沟谷内松散物源丰富, 源头发育一个大型滑坡, 体积约 $270 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。二道河前缘汇入的永春河输砂能力不强, 泥石流主要危害维西县城。从 20 世纪 90 年代至今, 多家勘察设计单位先后对泥石流进行过 6 次大的治理, 累计修建的 13 道拦渣坝 2010 年全部淤满, 泥石流仍然得不到根治, 2012 年起被迫选择多个拦渣坝结合采砂开展清淤工作^[60-61]。后来由于采砂涉及矿产资源管理问题, 要求停止采砂活动, 但是泥石流还频繁发生, 危害仍然很严重。直到 2016 年在源头大滑坡前缘修建了 2 座共 50 棵抗滑桩的板式拦渣坝稳定滑坡后, 物源才得以控制(图 1), 泥石流规模和频率才逐年减小, 2018 年之后就没有再发生过泥石流。目前, 泥石流下游排导槽两岸已建成景观公园, 泥石流逐渐向衰退期过渡, 这是典型的稳物源的成功案例。



图 1 源头滑坡治理

案例 2: 云南省宁蒗县金棉河泥石流

金棉河是金沙江一级支流, 流域面积 247.21 km^2 , 主沟长 25.92 km , 海拔高差 2800 m , 平均纵坡降 90% 。流域内生态环境脆弱, 植被覆盖率低, 水土流失严重(图 2), 沟谷堆积的块石粒径一般在 $20 \sim 50 \text{ cm}$ 之间。沟床宽度已从 20 世纪 70 年代初的 $2 \sim 5 \text{ m}$ 发展到现今的 $20 \sim 100 \text{ m}$ 左右, 共冲毁良田耕地超过 233 hm^2 , 并在金沙江内形成约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的堆积扇, 每年还在不断增加河床淤积高度和宽度。流域内发育滑坡 45 个, 其中上游物源区集

中分布 26 个, 最大的一个体积约 $950 \times 10^4 \text{ m}^3$, 泥石流规模主要受源头区滑坡群控制。该泥石流计划今年立项进行综合治理, 目前完成编制待审的综合治理规划方案是: (1) 泥石流治理。在物源区设置 5 排桩林坝稳固滑坡群, 设置 6 座砌体拦渣坝拦挡物源, 17 座谷坊坝固床稳坡。(2) 河道治理。设计排洪渠 5300 m 。(3) 生态治理。植树种草约 127 hm^2 , 抚育修复约 1030.3 hm^2 , 恢复生态环境, 并规划进行碳交易。(4) 砂石资源开发利用。建议设置 2 个采矿权, 一个开采沟谷内砂石, 一个开采沟口堆积扇淤沙。(5) 土地资源开发利用。沟内砂石开采闭坑后恢复耕地种植和指标交易。



图 2 金棉河中游地貌

案例 3: 云南省洱源县赵天子沟泥石流

赵天子沟泥石流位于洱源盆地南东侧边缘, 由东、西两条沟组成(图 3), 西沟堆积区以上主沟长约 4.32 km , 流域面积 6.85 km^2 ; 东沟堆积区以上主沟长约 3.17 km , 流域面积 3.22 km^2 。泥石流形成区与流通区分界不明显, 堆积区面积约 4.45 km^2 , 前

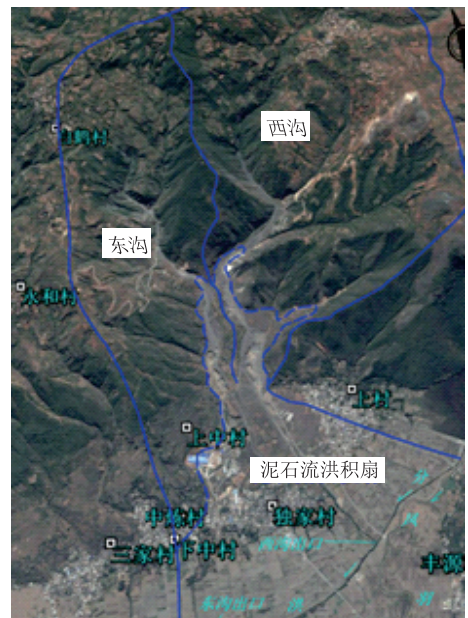


图 3 赵天子沟泥石流全貌

缘无排导的地方。堆积扇两侧及前缘主要分布村庄和农田,中部及上部为荒滩地,曾经设置过4个采砂场均已关停,之后于2017年开展泥石流治理的勘察设计,设置了11座拦渣坝、17座谷坊坝,利用原有采砂场的采空区设置了4个停淤场。2019年完成施工,治理效果较好。如果按新理念下的新方法治理,分别在两条沟堆积区的上段设置控制性拦淤坝建设停淤场,中部设立采矿权开采砂石料,闭坑后整理为耕地,能取得更好的治理效果,实现更好的生态效益和经济效益。

5 泥石流防治新方法的优势与不足

泥石流防治新方法是新发展理念下,基于资源利用和环境保护的全域综合防治方法,更具科学性和系统性,其优势主要体现在4个方面:(1)泥石流防治新方法是基于重点物源控制、资源开发与环境保护要求的综合治理,防治目标更宽、更高,更符合现实新发展理念的要求。(2)泥石流防治新方法是根据泥石流形成与活动特征、地貌演化趋势,针对泥石流全流域地质灾害链的系统防治,更符合客观规律,解决了传统泥石流防治短期性和局限性的问题,是泥石流防治的长效方法。(3)采用控制性工程稳定重点物源,可以从根本上减轻泥石流活动,避免反复多次治理。(4)泥石流防治新方法兼顾水土保持、资源利用、土地规划、环境保护等,将“拦挡、疏排”改为“稳源、拦淤、清淤”,既降低系统灾害风险,又降低总体防治费用,同时实现环境保护和资源综合利用,整体防治效果好,生态效益和社会效益更加显著。

同时,泥石流防治新方法也存在3个方面的不足:(1)防治工程涉及的管理部门多,立项及投资整合、工作协调困难。(2)项目实施周期长,林业生态工程的实施和管控难度较大。(3)砂石资源的开发利用有一定障碍,后期清淤机制保障程度差,会影响治理效果。

6 结论

(1)在新发展理念下,资源与环境问题已被摆在重要地位,泥石流防治也应该树立资源与环境理念,结合资源开发与环境保护要求进行全域综合防治。

(2)泥石流防治的基本对策是结合泥石流形成条件和危害特征,实施全域灾害链的系统防治,适当提高防治目标,减轻水土流失,减少固体物源启动和运移,兼顾砂石资源利用和土地资源开发,减轻河湖

淤积,避免形成新的环境问题。

(3)泥石流防治的新方法:总体上从4个方面入手,一是通过水土保持工程和专项实体工程减缓泥石流松散物质的积蓄速度;二是稳拦泥石流固体物质,控制大滑坡活动,变“固床、拦挡、疏排”为“稳源、拦挡、固床、护岸、拦淤、清淤、排导”;三是结合砂石料的开发利用,设置相应的工程措施;四是结合生态修复及土地开发利用,设置相应的防治工程。

(4)对集中物源或大型、特大型滑坡控制规模和频率的泥石流,应设置控制性稳源工程,防止控制性物源启动。对前缘排导条件不好的泥石流,应以稳控物源和拦淤、清淤为主,排洪为辅。

(5)政府层面应加强协调管理,建立项目指挥部或重点项目办,统一组织重大综合性泥石流全域综合治理项目的实施。建立合法、合规和合理的砂石资源开发机制和清淤机制。

参考文献

- [1] 王宇. 云南省地质灾害防治与研究历史评述[J]. 灾害学, 2019, 34(3): 134-139.
- [2] 云南省国土资源厅. 云南省地质灾害综合防治体系建设实施方案(2013~2020年)[R]. 2013. 4. 12
- [3] 云南省地质矿产局,第一、二水文地质工程地质大队. 云南省地质灾害调查与对策研究报告[R]. 1990. 10.
- [4] 李熙临. “十三五”期间云南地质灾害成效显著[I/OL]. 云南网, 2021-5-20.
- [5] 罗正东. 东川生态环境建设与泥石流综合治理[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 23-28.
- [6] 温钦舒,王道杰,王军. 云南东川深沟泥石流治理效益分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 24(2): 7-12.
- [7] 白昆生. 绿春县削峰填谷工程高边坡处理、内外排水设计浅析[A]. 云南省水利学会. 云南省水利学会2018年度学术交流会议论文集[C]. 2018: 464-467.
- [8] 由淑明,张义超,王茂. 红石岩堰塞湖处置实践与启示[J]. 红水河, 2021, 40(3): 104-107.
- [9] 张红兵,周道银. 泥石流“V”型排导槽防治理论及应用研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(3): 1-4.
- [10] 田玉柱,王宏亮. 松树沟小流域泥石流形成机理及其防治对策[J]. 山西水土保持科技, 1999, (3): 33-34.
- [11] 吴耀,赵东华,叶文瑾,等. 小流域生态治理及修复模式的探讨[A]. 中国环境科学学会环境工程分会. 中国环境科学学会2019年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛论文集(三)[C]. 《工业建筑》杂志社有限公司, 2019: 223-227.
- [12] 张新玉,杨元辉. 我国水土保持小流域综合治理模式研究[J]. 中国水利, 2011, (12): 58-61.
- [13] 余新晓,贾国栋. 统筹山水林田湖草系统治理带动水土保持新发展[J]. 中国水土保持, 2019, (1): 5-8.
- [14] 付兴盛,罗万福,龙启林,等. 水土保持综合治理是防治山洪泥石流的根本措施——“7·6”山洪泥石流灾害中两条小流域受灾程度不同的原因分析措施[J]. 中国水土保持, 2011, (9): 56-59.

- [15] 孔令桥,王雅晴,郑华,等.流域生态空间与生态保护红线规划方法——以长江流域为例[J].生态学报,2019,39(03):835-843.
- [16] 彭旭东,戴全厚,李昌兰.中国西南喀斯特坡地水土流失、漏失过程与机理研究进展[J].水土保持学报,2017,31(5):1-8.
- [17] 张文聪,高媛.水土保持生态修复工作成效与经验[J].中国水利,2011,(12):62-64,76.
- [18] 姜德文.山水林田湖草系统治理之水土保持要义[J].地学前缘,2021,28(4):42-47.
- [19] 陈绍宇.高原沟壑区溯源侵蚀发生发育规律研究[D].咸阳:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2009.
- [20] 陈绍宇,许建民,王文龙,等.黄土高原沟壑区董志塬沟头溯源侵蚀特征及其防治途径[J].水土保持通报,2009,29(4):37-41.
- [21] 吴昊.云南小流域泥石流治理方案研究[J].中国水利,2018,(18):41-42+49.
- [22] 王研.云南省德钦县一中河泥石流形成机制和防治对策[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [23] 吴积善,程尊兰,耿学勇.西藏东南部泥石流堵塞坝的形成机理[J].山地学报,2005,23(4):399-405.
- [24] 吕立群,王兆印,徐梦珍,等.怒江泥石流地貌特征与扇体堵江机理研究[J].水利学报,2016,47(10):1245-1252.
- [25] 许晓君,胡卸文,许泽鹏,等.四川壤塘县石吾陇沟泥石流启动条件与堵河程度分析[J].中国地质灾害与防治学报,2019,30(3):44-53.
- [26] 殷鸿福,陈国金,李长安,等.长江中游的泥沙淤积问题[J].中国科学(D辑:地球科学),2004,34(3):195-209.
- [27] 翟春荣.浅析泥石流造成河流堵塞应急处置[J].水利水电技术(中英文),2021,52(S2):220-222.
- [28] 崔鹏,王道杰,庄建琦.泥石流扇形地土地整治与利用[J].中国水土保持科学,2008,2(S1):6-11.
- [29] 赵成,王根龙,胡向德,等.“8.8”舟曲暴雨泥石流的成灾模式[J].西北地质,2011,44(3):63-70.
- [30] 严钦尚,曾昭璇.地貌学[M].高等教育出版社,2017.
- [31] 王兆印,漆力健,王旭昭.消能结构防治泥石流研究——以文家沟为例[J].水利学报,2012,43(3):253-263.
- [32] 谢洪,钟敦伦,矫震,等.2008年汶川地震重灾区的泥石流[J].山地学报,2009,27(4):501-509.
- [33] 骆银辉,周道银,朱荣华,等.世界自然遗产——“三江”并流区地质生态环境特征及其成因初探[J].地质灾害与环境保护,2008,19(2):94-97.
- [34] 杨迎冬,晏祥省,王宇,等.云南省地质灾害特征及形成规律研究[J].灾害学,2021,36(3):131-139.
- [35] 崔鹏,庄建琦,陈兴长,等.汶川地震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.
- [36] 熊木齐.白龙江流域泥石流拦挡工程的效应模拟研究[D].兰州:兰州大学,2017.
- [37] 铁永波,张宪政,卢佳燕,等.四川省泸定县 Ms6.8 级地震地质灾害发育规律与减灾对策[J].水文地质工程地质,2022,49(6):1-12.
- [38] 胡桂胜,陈宁生,游勇,等.“7·10”连山大桥泥石流运动特征与沟道堵溃分析[J].成都理工大学学报(自然科学版),2015,42(6):641-648.
- [39] 陈宁生,田树峰,张勇,等.泥石流灾害的物源控制与高性能减灾[J].地学前缘,2021,28(4):337-348.
- [40] 张雄,裴向军,裴钻,等.极震区泥石流流量计算方法的研究[J].自然灾害学报,2014,23(6):227-233.
- [41] 郭富赞,孟兴民,尹念文,等.甘肃省岷县耳阳沟“5·10”泥石流基本特征及危险度评价[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(05):628-632.
- [42] 胡凯衡,崔鹏,游勇,等.汶川灾区泥石流峰值流量的非线性雨洪修正法[J].四川大学学报(工程科学版),2010,42(5):52-57.
- [43] 魏昌利,何元宵,张瑛,等.汶川地震震区高位泥石流成灾模式分析[J].中国地质灾害与防治学报,2013,24(4):52-60.
- [44] 杨迎冬,汤沛,肖华宗,等.云南省地质灾害与水系关系初步分析[J].灾害学,2017,32(3):36-39.
- [45] 徐继维,张茂省.泥石流风险评估综述[J].灾害学,2016,31(4):157-161.
- [46] 方怒放.小流域降雨-径流-产沙关系及水土保持措施响应[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [47] 李宗善,杨磊,王国梁,等.黄土高原水土流失治理现状、问题及对策[J].生态学报,2019,39(20):7398-7409.
- [48] 孙波.红壤退化的阻控和定向修复与高效优质生态农业关键技术研究及试验示范[A].中国水土保持学会科技协作工作委员会.中国水土保持学会科技协作工作委员会 2011 年年会交流材料[C].2011:9-15.
- [49] 张晓远,舒若杰,段东亮,等.珠三角城市群水土保持生态建设体系探讨[J].亚热带水土保持,2021,33(2):40-43.
- [50] 李涛,唐涛,邓红兵,等.湖北省三峡地区山水林田湖草系统原理及生态保护修复研究[J].生态学报,2019,39(23):8896-8902.
- [51] 路光超.水土保持功能在水土保持区划中的应用研究[J].资源节约与环保,2021,(5):23-24.
- [52] 黄艳霞,梁志鑫,王玉杰,等.生态服务价值当量法的适用性研究——以广西典型岩溶区小流域为例[J].中国水土保持,2020,(1):43-47.
- [53] 贺莉莎,王伟.云南省生态清洁小流域治理探析[J].中国水土保持,2021,(2):26-29.
- [54] 廖桂英.城镇泥石流防灾减灾综合治理体系构建——以四川省凉山州西昌市生态城市建设为例[J].水电站设计,2018,34(4):39-43.
- [55] 李俊清.森林生态学[M].教育出版社,2017.
- [56] 高延超,李明辉,王东辉,等.植被对不同类型泥石流的抑制作用初探[J].水土保持研究,2013,20(5):291-295+299.
- [57] 宋志,符浩.生物工程在泥石流灾害治理中可行性探讨[J].地质学报,2013,87(S1):300-302.
- [58] 肖理,王章文,殷庆元,等.金沙江干热河谷坡改梯对水土保持的影响[J].西南农业学报,2019,32(12):2856-2861.
- [59] 王兆印,张晨笛.西南山区河流河床结构及消能减灾机制[J].水利学报,2019,50(1):124-134+154.
- [60] 杨在月,王邦阳.云南省二道河泥石流治理工程效果分析及改进[J].地质灾害与环境保护,2016,27(1):22-26.
- [61] 杨明,徐世光,彭淑惠.云南省维西县二道河泥石流灾害防治技术应用及研究[J].地质灾害与环境保护,2000,11(2):163-167.

作者简介: 蒋学广(1974—),男,汉族,云南宣威市人,高级工程师,主要从事地质工程、地质环境与生态修复研究工作。

E-mail:1019606180@qq.com