

泥石流与水土保持

陈循谦 编著

云南出版集团公司
云南科技出版社

泥石流与水土保持

陈循谦 编著

云南出版集团公司
云南科技出版社
· 昆 明 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

泥石流与水土保持/陈循谦编著. —昆明: 云南科技出版社, 2007. 6

ISBN 978 - 7 - 5416 - 2576 - 3

I. 泥… II. 陈… III. ①泥石流—研究②水土保持—研究 IV. P642.23 S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 066698 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

云南省地质矿产勘查开发局印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 12 附图: 12 字数: 300 千字

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1050 册 定价: 52.00 元

序 一

云南省东川，曾经为中华铜文化的发展，铸就过不朽的丰碑。2000多年的开山采矿，大规模的伐薪炼铜，也使区域自然环境遭到严重破坏，加之东川地处小江深大断裂带，山高坡陡，地质构造破碎，引发了严重的水土流失和泥石流灾害。1858km²的国土上，有较大的泥石流沟107条，小江流域的泥石流以其规模巨大、暴发频繁、类型齐全，而被称为“世界泥石流博物馆”。泥石流淤埋农田、冲毁交通设施、危害矿山、威胁人民生命财产安全，严重制约着东川经济社会的发展。

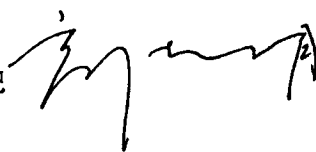
在灾害面前，东川人民没有屈服，始终采取积极有效措施，长期坚持治理泥石流和水土流失。早在20世纪60年代，东川铁路支线泥石流就引起社会各界和政府的关注，从那时起，治理工作一直受到了历届党委、政府的高度重视。1976年，对东川大桥河泥石流进行综合治理，拉开了小流域治理的序幕，并获得重大突破。1988年，提出“一保城市、二保交通、三保矿山和村庄、四保农田水利”的治理原则，以小域为单元，先后对分布于小江流域的19条重点泥石流沟进行了综合治理。东川广大科技人员在实践中大胆探索、攻坚克难，闯出了一条生物措施与工程措施相结合、“稳—拦—排”相结合的综合治理路子，并成为防治泥石流的“东川模式”，在全国广泛应用，为水土流失治理创造了新的成功经验。

《泥石流与水土保持》一书的作者陈循谦同志，是20世纪50年代云南省水利水电学校第一届毕业生，40多年来，一直在东川从事农田水利、水土保持和泥石流治理工作。长期以来，陈循谦同志始终在生产、科技第一线，大胆实践、勇于探索，为东川水土流失和泥石流治理作出了重要贡献。本书是作者把理论与实践有机结合起来，长期探索而撰写的一部专著，凝结着作者多年的智慧和汗水，也体现了广大科技人员共同探索的成果。所收集的论文，有较强的针对性、科学性和可操作性，对东川今后继续开展水土流失和泥石流防治工作，具有重要的参考价值。可为同类地区的治理工作提供借鉴，

也可为广大读者增长知识，开阔视野，提供较好的素材。

党的十六届六中全会提出了构建社会主义和谐社会的九大目标，不仅要做到人与人、人与社会的和谐，更要做到人与自然的和谐。东川区生态环境建设任重道远，广大科技工作者必须牢固树立和认真落实科学发展观，求真务实，勇于实践，大胆探索，为建设美好家园作出应有的贡献！

中共昆明市委常委、东川区委书记



2007年1月28日

序 二

泥石流是发生在山区的一种突发性自然灾害现象，常在顷刻之间给山区经济建设和居民生命财产造成严重灾难。泥石流的发生、发展与山地的形成演化过程息息相关，是山地环境退化、地表结构恶变、生态平衡失调的产物，是水土流失严重的标志。而山区人们不合理的生产活动，又在很大程度上加剧了水土流失和泥石流的发生、发展。

云南省东川是一个泥石流灾害频繁的地区，也是国内外闻名的泥石流灾害多发区。东川所处小江流域是我国雨洪型泥石流发育的典型地区。位于小江中下游的东川区，沿岸分布泥石流沟 107 条，是我国地质灾害重灾区，河谷土地砂石化触目惊心，称为“泥石流天然博物馆”。小江大量泥沙输入金沙江后，对三峡工程和计划修建的国家巨型水电站溪洛渡、向家坝、白鹤滩电站都带来极大危害。

在云南省、昆明市相关部门的大力支持下，东川人民在与泥石流灾害的长期抗争中，不畏艰难困苦，创下不朽的业绩：昔日处于泥石流包围中的城区，而今街道整齐，楼房林立，生机盎然；昔日泥石流横行肆虐的小流域，而今沟渠道道，田舍俨然，人畜兴旺。东川人民在泥石流减灾防灾、生态环境建设与保护方面成效显著，独具特色的“稳—拦—排”防治泥石流灾害的措施，被誉为“东川模式”，对于全国各地泥石流防治工作有着重要借鉴指导作用。

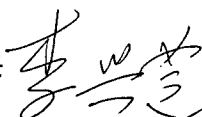
“东川模式”的成功经验，是东川区泥石流防治研究所在长期的工作实践中，得到历届党委、政府及各部门的高度重视以及中国科学院东川泥石流观测研究站的大力协作的结晶，是在与泥石流灾害抗争的大量生产实践中，经过反复的“实践—认识—再实践—再认识”的长期过程而形成的。在与泥石流灾害的坚持不懈的抗争中，造就了一大批能吃苦、业务素质较高的科技队伍和管理人才。

陈循谦同志心系山和水，志在事业中。在长期的生产、科研第一线，他大胆实践、勇于探索、善于总结，编著了《泥石流与水土保持》一书。读者可以体会到作者对泥石流、水土保持理论的探索、发展过程的认识；读者还

可以体会到科技工作者的苦乐与甘甜，也能体会到广大科技工作者对生态环境恶化的忧患意识和对人与自然和谐发展的强烈愿望。

在构建社会主义和谐社会的今天，人与自然和谐发展是极其重要的组成部分之一，生态环境建设任重而道远。东川特区建设只有勇于探索、大胆实践、善于总结，才能不断推进东川特区经济的快速发展。

昆明市东川区人大常委会主任



2007年3月27日

前 言

泥石流是水土流失最剧烈的表现形式，是山区众多自然灾害中最具突发性灾种之一，是地质环境与生态环境遭到破坏后的产物。全球 70 多年国家和地区都有泥石流分布，我国有 30 个省（自治区、直辖市）存在泥石流活动，泥石流是山区国民经济建设中应广泛关注的问题。

滇东北的小江流域是我国泥石流分布集中，类型齐全，形态多样，危害严重的地区，号称“泥石流天然博物馆”。位于小江谷地的东川，是我国开展泥石流防治最早的地区之一，其防治措施被誉为“东川模式”，引起国内外广泛关注。

本人在山区从事农田水利与水土保持工作 43 年，一直在昆明市东川区水务局、东川区泥石流防治研究所工作，领导和同仁们的关爱，历历在目，良好的学术氛围和协作精神，记忆犹新。本人结合生产实践对水土保持、泥石流防治、生态环境建设和农业综合开发等撰写 30 篇论文（文章），根据撰写和发表的顺序汇编成本书，作为自己一生从事专业技术工作的总结，其中也包含着同行们的劳动成果，尤其是一项泥石流治理工程的完成，离不开群体的协作与努力。若文章中的一些理论认识和实践经验，能给后人一些借鉴，就算达到目的。书中不足和谬误之处，敬请批评指正。

感谢中共昆明市委常委、东川区委书记高德明同志，昆明市东川区人大常委会李兴芝主任为本书作序，感谢昆明市东川区常委、办公室主任李增平同志以及娄崇新、邹跃云、张桂芬、邹康、赵光宙、李国惠等同志对书稿的审阅、关心和支持；赵瑜、杜强、杨东萍、康志成、王裕宜、殷崇庆、顾俊周同志提供照片资料；王军、吕态能同志对书稿进行补充和整理；杨永其同志负责插图清绘，使得本书能顺利出版，在此一并表示诚挚的谢意！

书中照片除下方有署名摄影人外，其余均由本人摄影。

陈循谨

2007 年 3 月 20 日

目 录

云南大桥河泥石流拦挡坝	(1)
泥石流对小江地貌的作用	(7)
改变小江流域生态环境的意见	(16)
论生态环境的破坏与泥石流活动	(19)
云南小江泥石流成因初步分析	(22)
东川因民沟“84. 5. 27”泥石流剖析	(27)
白龙江中游的泥石流灾害	(33)
云南金沙江下游的泥石流及其防治	(39)
论东川市水土流失泥石流的危害和治理	(45)
东川市水土保持效益分析	(57)
云南小江流域的泥石流灾害	(60)
长江上游(云南境内)的土壤侵蚀	(65)
河滩地的开发与利用——以云南小江流域为例	(75)
表生地质灾害与山地生态环境关系探讨——以云南小江流域为例	(80)
拯救小江 刻不容缓	(88)
小江流域泥石流分类与特征	(90)
云南泥石流灾害防治对策刍议	(94)
泥石流灾害与环境	(100)
论水土保持与金沙江农业综合开发——以云南省为例	(107)
长江上游云贵两省水土流失重点防治区的综合治理	(114)
东川市大桥河泥石综合治理技术总结	(119)
十年来东川泥石流防治综述	(136)
东川市生态环境现状及其改善对策	(140)
小江泥石流由来给人们的启示	(146)
东川市山区农田基本建设探讨	(150)
云南小江流域土地荒漠化及其防治对策	(155)
滇东北山区生态环境恢复与重建探析	(160)
东川水资源可持续利用刍议	(164)
小江流域生态建设与消除贫困的思考	(169)
加快云南小江流域水土流失治理 构建金沙江生态安全迫在眉睫	(173)
后 记	(180)

云南大桥河泥石流拦挡坝

一、前言

云南省东北部的小江流域,是我国泥石流暴发频繁,分布集中,类型齐全,危害严重的地区之一。大桥河是小江中游的一大支流,是一条粘性和稀性泥石流交替出现的大型泥石流沟。二百年前,两岸曾是一片林木繁茂、流水潺潺、农舍棋布、稻菽飘香的好地方。由于泥石流的不断暴发,使这片良田美畴沦为废墟,过去山峦叠翠、谷碧水清的河谷,现变成了童山秃岭流泥沙,寸草不长的乱沙滩。

1976年起,开展工程措施和生物措施相结合,坡沟兼治的综合治理。经过5年的连续治理,整个流域基本上形成了坡面林草带,支毛沟谷坊群,主干沟拦挡坝系和排洪道3道防线的治理工程。工程治理方面,完成浆砌石拦挡坝5座,金属格栅坝2座,浆砌石排洪道5000m,修建小谷坊189座;生物治理方面,完成造林14510亩,植树16万株(见127页,大桥河泥石流整治工程布置图)。此项工程现已基本完成,并收到了一定效益。在泥石流堆积扇上,开垦农田3700亩,保护原有农田1340亩,保护了铁路、公路的安全运输,为泥石流防治提供一些借鉴,可供水土保持小流域治理作参考。本文就防治中的浆砌石拦挡坝作一介绍。

二、概述

大桥河发源于乌蒙山西麓,由东向西流入小江。流域海拔1100~4017m,由清水沟和浑水沟汇合而成。主沟长18km,沟床纵坡4%~21%,流域面积53.1km²。清水沟两侧分布有震旦系厚层块状白云岩、白云质灰岩和玄武岩,质地坚硬,谷坡稳定,不具备泥石流产生的条件。浑水沟岩层破碎,植被稀少,滑坡、崩塌、冲沟等不良地质现象发育,是泥石流活跃区。由于受到强烈褶皱与变质作用,岩石成千枚化,极易剥落成2~10cm的碎块,有的已风化成粉状细粒,是泥石流浆体物质的主要来源。因此,治理浑水沟是整治大桥河泥石流的症结所在。

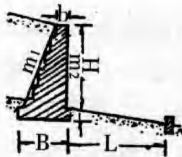
浑水沟流域面积26.2km²,在中、下游有阿依鲁和杀牛沟两大滑坡。不稳定固体物质储量约1.5亿m³,泥石流形成区段的河床纵坡为0.086,流通区段为0.05。泥石流容重2.17t/m³,流量 $Q=187\text{m}^3/\text{秒}$ 。河床质 $d_{cp}=238.6\text{mm}$, $d_{90}=462\text{mm}$ 。

为了遏制泥石流的发展,截留下泄的固体物质,改变沟壑纵坡,防止沟床继续下切,提高局部侵蚀基准,以削弱和控制侵蚀沟边坡的掏刷,达到稳定滑坡和辅助林木生长的作用,从1976年起,完成了5座浆砌石拦挡坝(各坝参数见表1)。1977年和1979年经多次泥石流考验,坝身完好。目前拦挡固体物质50万m³,拓宽了沟床1倍以上,比降减缓(为原始比降的60%~92%),使泥石流的运动要素受到抑制,规模大为减小,对治理泥

石流起到了重要作用。例如, 1977 年 8 月, 一次容重为 $2.0\text{t}/\text{m}^3$, 流量为 $185\text{m}^3/\text{秒}$ (相当于 50 年一遇的流量) 的泥石流, 经过拦挡坝的减缓比降、拓宽沟床和消能作用, 使石块密集的“龙头”没有到达沟口以外的堆积扇上, 而是在主 1 号坝坝址前停积下来, 就是拦挡坝对泥石流所起的作用。

表 1

拦挡坝结构尺寸表

坝 名	$H_{(m)}$	m_1	m_2	$b_{(m)}$	$B_{(m)}$	$L_{(m)}$	$t_{(m)}$	示意图
主 1 [#] 坝	10	1:0.7	1:0	3.0	12.0	30.0	5.0	
主 2 [#] 坝	16.5	0.6	1:0	3.0	13.0	25.0	2.0	
浑 1 [#] 坝	13.5	1:1	1:0	3.0	17.5	27.0	3.0	
浑 2 [#] 坝	10	1:0.5	1:0	3.0	8.0	25.0	2.5	
浑 3 [#] 坝	13	1:0.7	1:0	3.0	14.5	13.0	3.0	

三、工程设计

(一) 坝址的选择

在坝址的选择上尽量做到: 第一, 平面上的合理性, 即泥石流下泄时, 要尽可能全面通过溢流口, 以减小单宽流量; 第二, 坝要建在比较固定的沟床上, 并注意坝上下游的衔接; 第三, 坝址要尽可能地选择在基岩出露的沟段; 第四, 运输和施工条件比较方便。

(二) 基础设计

大桥河修建的 5 座浆砌石拦挡坝, 除主 2 号坝建立在基岩上外, 其余 4 座均在泥石流堆积的砂砾层上, 各坝间距离及河段纵坡见表 2。鉴于坝侧溢流受到条件限制, 不易实现, 5 座坝都采用坝顶溢流。

表 2

各坝间距离及河床纵坡表

坝 名	距离 (m)	纵坡 (%)
主 1 号坝—主 2 号坝	1 160	5.6
主 2 号坝—浑 1 号坝	220	5.71
浑 1 号坝—浑 2 号坝	826	6.3
浑 2 号坝—浑 3 号坝	600	6.31

为了使整个坝体建立在较密实的砂砾层上, 增加基础的许可承载能力和减小坝后冲刷, 采用人工开挖深度达 3m 后, 再做坝基。用 $8 \sim 12\text{kg}/\text{m}$ 的废旧钢轨打入淤积层 (钢轨长 $2 \sim 5\text{m}$) 作为桩基。桩基的平面布置为梅花形, 钢轨到钢轨之间的距离为 1.5m。桩基的作用是增加基础与坝底的摩擦系数和提高基础承载力 (鉴于钢轨截面积小和桩距大, 估计作用不大)。为了承担基础拉应力和增强整体性, 布置一层 $25 \sim 40\text{cm}$ 网格状的钢筋层, 浇筑一层 $50 \sim 80\text{cm}$ 厚的混凝土垫层, 然后在其上面用 50 号水泥砂浆浆砌毛石砌体。

我们认为,坝基应尽量开挖深些,最好在冲刷坑深度以下。过坝泥石流局部冲刷深度影响的因素比较复杂,目前尚无成熟的计算方法。根据中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所介绍,可用下式进行粗略计算,即:

$$T = 3 \cdot 9_q^{0.5} \left(\frac{Z}{d_{90}} \right)^{0.25} - h_i$$

式中, T ——从坝下原沟床起算的最大冲刷坑深度, m;

q ——单宽流量, m^3/s ;

d_{90} ——坝下沟床的颗粒粒径, mm;

Z ——坝上下游的泥位差, m;

h_i ——坝下沟床泥深, m。

也可采用下式进行粗略估算, 即:

$$T = k \cdot q^{0.6} H_0^{0.25} - h_2$$

式中, K ——系数, 根据河床地质情况而定, 板页岩采用 1.75;

H_0 ——上下游水位差, m;

h_2 ——下游河床水深, m。

冲刷深度估算的目的, 在于根据冲刷深度的资料确定坝基的埋深。因此, 在设计中对冲刷深度的估算必须持慎重态度, 切不可粗心大意。总之, 在基础设计中应满足: ①保证基础具有足够的强度和稳定性; ②保证基础的变形值在容许范围内, 作为设计原则。据 1977 年泥石流过坝后观测, 最大冲刷深度达 3m, 与基础埋深相符。

(三) 坝体设计

坝体用 50 号水泥砂浆浆砌毛石, 80 号水泥砂浆勾缝。上游坝坡 1:0.5 ~ 1:1 之间变幅, 以承受泥石流对坝体的压力, 增加坝体的抗滑、抗倾稳定性。下游坝坡为了避免泥石流流体过坝时的拖曳和砸烂下游坝坡, 做成垂直或接近垂直。

泥石流过坝的情况是非常复杂的, 坝体受力情况也是多方面的。然而, 我们认为, 最主要的是大量沙石 (特别是大颗粒的石块) 对坝坡的砸撞和对下游坝脚的冲刷, 这是主要矛盾。

众所周知, 泥石流是饱含大量泥沙、石块和水混掺在一起的特殊流体。倘若把下游坝坡做成倾斜面, 则泥石流过坝后, 大量沙石沿坡面下泄, 如同千万个小锤在敲击坝身, 使坝身受到振动, 天长日久, 浆砌的砂浆和毛石就容易松动, 通过从量变到质变的过程, 一旦泥石流流量增加和下泄的石块颗粒增大, 坝体就有被破坏的危险。如果下游坝坡做成垂直或接近垂直, 泥石流过坝后沙石从坝顶顺着水流的挑射, 把它抛到河床中去了, 对坝体不发生撞击, 从而保证了坝体安全。当流量和水深越大时, 挑射距离就愈远。

修建上游坝坡时, 做成微拱形, 拱背朝上游, 两端伸入基岩内 0.5m, 以增加坝体的稳定性。在坝体内隔一定距离, 预留排水孔, 以排泄坝体内的积水, 兼有减轻渗透压力的作用。

坝体受力情况的组合, 考虑坝的自重、坝上游淤积物重、泥沙压力、坝底扬压力和泥石流过坝时的作用力 5 个方面, 以坝趾为力矩中心, 进行抗倾、抗滑稳定计算。各道坝上、下坝坡及坝顶宽见表 3。其次, 还要进行坝基应力计算。验算泥石流淤满时坝的上游

边缘是否出现拉应力；验算坝基强度，使之在坝基土壤容许承载力范围之内。抗倾安全系数 K_0 、抗滑安全系数 K_c 和坝基强度校核可按式计算，即：

$$K_0 = \frac{\sum M}{\sum M_0}$$

$$K_c = \frac{\sum G \cdot f}{\sum P}$$

式中， $\sum M$ ——稳定力矩总和；
 $\sum M_0$ ——倾复力矩总和；
 $\sum G$ ——垂直力总和；
 f ——摩擦系数；
 $\sum P$ ——水平力总和。

坝基强度

$$\sigma = \frac{\sum G}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq [\sigma]$$

式中， e ——偏心距 $= \frac{B}{2} - \frac{\sum M_y - \sum M_0}{\sum G}$ ；

B ——坝底宽度；

$\sum M_y$ ——垂直力距总和；

$\sum M_0$ ——水平力距总和；

$[\sigma]$ ——坝基容许承载力。

表 3

各坝上、下游坝坡及坝顶宽度表

坝 名	坝高 (m)	上游坝坡	下游坝坡	坝顶度 (m)
主 1 号坝	10	1:0.7	1:0	3.0
主 2 号坝	16.5	1:0.6	1:0	3.0
浑 1 号坝	13.5	1:1	1:0	3.0
浑 2 号坝	10	1:0.5	1:0	3.0
军 3 号坝	15	1:0.7	1:0	3.0

(四) 坝顶设计

为了避免中、小流量时危及坝体安全的泥石流流体撞击坝身，浑 1 号坝坝顶采用挑出坝体外 40cm；为了减小坝面流速，减轻坝面磨损，增加水流挑射距离，坝顶采用 5% 的反坡，并安放废旧钢轨。

当坝顶设有水平溢流板时 S （坝顶厚度加上溢流板挑出的长度） $> (2-3) H_0$ ，水流挑射距离 L 可按下式计算（如图 2）：

$$L = \varphi \sqrt{H_0 (2P + H_0)}$$

式中， φ ——流速系数，无闸门 $\varphi = 1$ ；

P ——坝顶到下游河床的高度, m ;

H_0 ——坝顶溢流水深, m 。

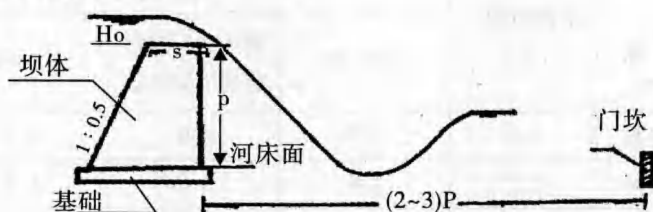


图1 拦挡坝示意图

坝顶两端与岩层接触处, 应绝对避免过水, 侧墙的高度必须高于设计泥石流泥位。坝顶做成微凹形利于小流量时, 水流集中, 水深增大, 挑射距离较远。因为常常有这种情况, 在渲泄大流量时, 下游河床水位往往较高, 水流挑射距离也较远, 这时坝身及下游河床的冲刷可能不一定是最危险情况。而渲泄较小流量时, 由于挑射距离较近, 反而可能是危险情况。

(五) 坝下防冲消能设计

大桥河拦挡坝坝下消能形式有两种: 一种是直接让水流挑射到下游河床, 形成冲刷坑, 在下游距主坝 2~3 倍坝高处做一道门坎消能的办法, 如主 1 号坝、主 2 号坝、浑 1 号坝、浑 3 号坝; 一种是采用消力池、护坦和子坝相结合消能的办法, 如浑 2 号坝。以上两种消能办法均收到一定效果。子坝不宜过高, 一般高出河床平主坝脚为宜, 以免产生过大的环流掏刷坝基 (如图 1)。冲刷坑中心距坝脚要大于 2~2.5 倍冲刷深度, 才不致危及坝体安全。因此, 坝后消能防冲的设计是关系到坝体安全的重要一环, 必须认真对待。

四、结 语

总结大桥河 5 座浆砌石拦挡坝的特点, 我们概括成三句话: 上游仰拱下游立, 拦挡泥沙最有利; 头戴帽, 坝可靠; 深基加门坎, 稳妥又安全。

在进行坝体设计的时候, 还应考虑到泥石流流体 (或叫泥石流性质) 的转化。因为泥石流流体的转化, 受一次补给固体物质的多寡、暴雨量的大小、沟床宽窄变化等诸因素的制约。就一次泥石流而言, 也往往包含着前期的洪水 (挟沙水流) → 稀性泥石流 → 粘性泥石流 → 稀性泥石流 → 洪水 (挟沙水流) 的循环转化过程。因此, 坝体的设计必须能适应这 3 种流体的转化作用。在沟壑中修建若干座坝构成坝系时, 原则上是下一座坝拦挡的固体物质能回淤保护到上一座坝的坝脚, 使两坝和沟床固体物质连成一片, 起到互相依靠, 互相制约的作用。这是防治因沟床下切危及坝体安全的有力措施。大桥河沟谷中的坝系, 都基本上达到保护上一个坝脚的作用, 并取得了适合大桥河这类泥石流特性的回淤纵坡数据 (见表 4)。

表 4

坝系回淤纵坡表

坝 名	河 床 纵 坡	未建坝前 i_1 (%)	坝系建成后 i_2 (%)			
			1977 年	同年泥石流过 后的河床纵坡	1978 年	翌年泥石流过 后的河床纵坡
主 2 号坝—浑 1 号坝		5.8	3.5	4.0	3.5	4.0
浑 1 号坝—浑 2 号坝		6.2	4.9	5.0	4.5	5.3
浑 2 号坝—浑 3 号坝		7.5	6.6	6.9	5.8	6.9

泥石流属非牛顿体范畴，遵循宾汉方程，它的流变方程为

$$\tau - \tau_0 = \eta \frac{du}{dy}$$

式中， τ_0 ——屈服切应力，即起始剪力；

η ——刚度系数；

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度。

由于泥石流浆体具有相当大的屈服切应力，当浆体的厚度超过某一数值，使它在重力作用下产生沿沟床的推移力超过其屈服切应力时才能发生运动。众所周知，根据水流能量方程推导，屈服切应力可用边壁切应力来表示，即：

$$\tau = r_c h J_0$$

式中， r_c ——流体容重；

h ——泥石流泥深；

J_0 ——沟床底坡。

当 r_c 为固定值， J_0 减小时，只有浆体厚度 (h) 增大到一定数值，即 $r_c h J_0 > \tau$ 时，泥石流才能起始流动。反之，它就停积在沟床中。由此可知，修建拦挡坝后，沟床拓宽，纵坡变缓，因而使同等规模的泥石流的泥深变薄，单宽流量相应减少，泥石流运动要素受到抑制，规模亦因此大为减小。这就是拦挡坝能遏制泥石流的理论依据。

当坝体较高时 (>10m) 宜分期施工，逐年加高。挟沙水流和泥石流过坝后，对坝顶的磨蚀是很严重的，一般混凝土和石块的护砌是不能满足的。为了提高坝顶的抗磨强度，可采用铸石铺砌。铸石制品宜大、宜厚。

大桥河泥石流拦挡坝荣获云南省科技成果二等奖 (1979 年)。

本文发表在 1981 年《水土保持通报》第 3 期，陕西科技出版社出版，国内外公开发行人物。

泥石流对小江地貌的作用

研究泥石流与山区河流地貌的关系,是地理学的一个组成部分,也是水利工作者关注的问题。泥石流具有暴发突然、历时短暂和大冲大淤的特点,它可以在短时间内完成复杂的侵蚀—搬运—堆积过程,对山区河道演变起着重要作用。

小江属金沙江的一级支流,发源于云南省寻甸县鱼味后山,流域面积 $3\,043\text{km}^2$,河长 138km ,由南向北流经寻甸县、东川市和会泽县境,在革勒注入金沙江。小江发育在著名的小江断裂带,沿断裂带地表断层密集,岩层古老破碎(如图1),褶皱发育,新构造运动强烈,地震烈度大和山高坡陡(如图2),暴雨集中,植被稀少等特殊的地质构造和特定的自然地理环境,使它成为我国四大泥石流地区之一^①,也是金沙江重要的泥沙源地。

本文就泥石流对小江地貌的作用,提出一些认识。

一、泥石流对小江河谷地貌的作用

小江流域泥石流暴发频繁,分布集中,规模巨大,危害严重,当地群众用“条条沟壑吹喇叭,座座山头走蛟龙”来形容泥石流分布之广泛。据调查,小江主河两侧,有大的泥石流沟51条,占沟道总数的83.5%(图3,较大的泥石流沟是指对当地工农业生产和交通运输危害较大的沟谷)。

小江近代泥石流的发生迄今大约200~300年历史。它是各种下垫面因素(包括地质、地貌、土壤、植被等)和气候因素以及人类经济活动因素综合作用的结果。

小江中游以下(仓房以下),由于泥石流沟犬牙交错地出现在河道两侧,沟谷侵蚀强烈,每年输入小江的固体物质约 $2\,000\text{万} \sim 3\,000\text{万 m}^3$ ^[1]。这些固体物质中,1.4~14mm的砾石占50%左右,而且容重大于 1.5t/m^3 (见表1)。高含沙量对水流的粘滞性产生了显著的影响,大大减小了粗颗粒泥沙在水流中的沉速^[2],从而提高了水流的挟沙能力,携带大量的粗颗粒泥沙进入小江,致使河床淤积拓宽,形成很大的河滩地。

小江属山地河流,然而它的河漫滩却像冲积平原河流,面积宽大(枯水期约为河槽面积的10~20倍),滩面沉积物颗粒分选较好,厚度大,并缺乏植物覆盖。

下游地区,由于河流比降变缓,泥石流物质的堆积造成水流冲刷作用减弱,而沉积作用加强,河谷开展,成宽广的平谷(照片1、照片2)。据《会泽县志》记载,过去“小江阔四五丈不等”,现在普遍宽度达200m左右,一些区段宽达600m以上。

小江河口,由于上游来沙量大,径流所挟带的粗颗粒泥沙造成集中淤积而形成沙咀。金沙江水位的变幅造成小江河口侵蚀基准面的变化,致使沙咀不断处于延伸—摆动—改道的演变之中,使金沙江江面宽度减少 $2/5$ (照片3)。

① 四大泥石流地区即青藏高原东南部山地、川滇两省山地、西北黄土高原和华北、东北山地。

