



东川泥石流形成发展、运动 规律与综合治理示范研究

杜榕桓 康志成 吴积善

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所)

提要 本文全面介绍了云南东川泥石流形成的灾情概况以及为研究其发展、运动规律所进行的工作和所获得的各项进展。最后,阐述了东川市泥石流综合试点防治工程体系及其效益分析。

关键词 泥石流 形成发展规律 试点防治工程 综合防御体系 效益分析

一、东川地区泥石流概况

云南东北部的小江流域,是我国泥石流的典型发育地区。这里的泥石流,就其分布之广、类型之全、活动之烈、规模之大以及成灾之重而论,均为其它山区所罕见。“座座山头走蛟龙,条条沟口吹喇叭”则是当地人们对泥石流活动情景的生动写照。小江两岸,现代泥石流比比皆是,古代泥石流痕迹斑斑,仅东川市附近不足90Km长的小江西岸,就有灾害性的沟谷型泥石流100余处,泥石流的形成发展、兴衰行止及其与自然环境变迁和人类经济活动之间的相互作用,在这里得到充分的显示。小江流域堪称“泥石流的天然博物馆”。

蒋家沟毗邻东川市,是小江流域泥石流爆发最频繁、规模最大、危害最严重的一条泥石流沟,其流域面积为48.6Km²。该沟每年爆发泥石流15次左右,最多者达28次,最大流量达2800m³/S,泥石流的形成发育条件充分,运动过程完整,类型齐全,流态多样,作用强烈,实为野外条件下直观研究泥石流发生发展全过程的理想之地。

小江流域,特别是东川市及邻近地区,深受泥石流灾害之苦,每年6-9月间,在暴雨激发下,条条泥石流破山而出,倾入小江,给城镇、矿山、交通、农田、水利和江道整治等造成严重灾难,数以百计的人因泥石流而丧生。东川地区近30多年来,几乎每年都因泥石流而造成数百万元的经济损失。1984年5月27日,东川因民矿区爆发泥石流造成121人死亡,30多人受伤,直接受害者239户1000多人,冲走大量生产生活设施,矿山停产半个月,经济损失1000多万元。1985年夏,东川地区泥石流灾害空前严重,铁路多处被毁,隧道被淤埋,东川市被泥石流层层包围,陷入瘫痪的境地。小江两岸的泥石流沟,已由50年代的38条,发展到80年代的107条,大量泥石流物质拥入小江,致使小

江河床迅速淤高(每年淤高速度达 20—25cm)。蒋家沟、大白泥沟、小白泥沟、豆腐沟等十几条大型泥石流都发生过堵江危害,回水淹没沿江农田村寨。不少村被迫迁移上山,15 万亩河滩地目前仅开垦有 6 万多亩,还有 8 万多亩仍为泥石流乱石滩。泥石流已成为当地农业和农村经济发展的主要症结。

简而言之,小江流域的泥石流具有成群、成带、成片发育的特点,并常出现多沟群发、齐发泥石流的险恶局面,泥石流对环境的破坏和影响,已经由局部的“点”向“线”和“面”发展,泥石流灾害对小江流域和东川地区已构成具有全局性的影响。

二、点面结合,深化对泥石流的认识

泥石流是山区一种突发性的自然灾害现象,而人类活动,又在一定程度上使泥石流的形成过程更趋复杂化。欲稳妥可靠地防御泥石流,必须深化对泥石流形成发展规律的认识,我们是通过以蒋家沟为点、以小江流域为面的点面结合的方法来实现的。

通过对蒋家沟泥石流的系统观测和防治试验工程的效益观测,研究泥石流的形成机理、形成过程、力学性质、运动规律和冲淤过程等基本理论问题,探讨泥石流的预测预报原理和方法;通过对小江流域泥石流的综合考察和重灾点详查,系统地研究泥石流形成发展的区域规律,自然环境背景与人类经济活动对泥石流的影响、泥石流的活动特点与发展趋势,探讨泥石流区域防治规划的原则和方法、人口密集区泥石流综合防御体系的建立和具体防治方案。通过两方面的研究,为建立泥石流理论体系和防治模式提供资料和论据。

为了达到上述目的,我们将研究内容归纳为三个方面:

1、基础理论研究:

- (1) 东川地区泥石流形成发展及其与自然环境变迁和人类经济活动之间的关系;
- (2) 泥石流的形成条件、形成源地、形成过程和发展历史的研究;
- (3) 泥石流的物质结构和流动过程的研究;
- (4) 泥石流运动规律、流态特征和流动过程的研究;
- (5) 泥石流的冲击力、振动等动力学特性的研究;
- (6) 泥石流的输移、冲淤和堆积物特性的研究;
- (7) 泥石流的分类和编目的研究。

2、应用和应用基础研究:

- (1) 泥石流的预测预报原理和方法;
- (2) 泥石流警报的依据和方法;
- (3) 泥石流综合治理的原则和措施;
- (4) 中、小流域泥石流防治规划的原则、方法和步骤;
- (5) 以保护城镇矿山为先导的泥石流综合防御体系及其试点研究。

3、观测实验技术研究:

- (1) 泥石流测试仪器研制;
- (2) 泥石流预警报仪器研制;
- (3) 泥石流自动化观测系统的建立和运行;
- (4) 泥石流动态观测和数据处理研究。

蒋家沟泥石流定位观测试验均在雨季进行,每年 5 月下旬进站,6 至 9 月进行观测试

验,持续5年雨季观测,先后观测到52次完整的泥石流爆发过程的珍贵资料,进行了预测报警试验和治理工程的改进工作,建立和健全了7个观测系统,观测工作也由过去的手工操作和机械化操作,提高到半自动化观测的水平、丰富了观测内容,提高了观测精度,一些观测研究项目跃居世界先进行列或填补了国内空白,标志着一个初具规模的、现代化的观测项目和系列均较齐全的泥石流野外定位观测研究站已基本建成。

在进行研究工作中,我们做到了如下几方面的结合:

第一,点与面的结合,以蒋家沟为点,以小江流域为面,采用点面结合,以点带面,以面促点的研究方法,不仅深化了对泥石流形成发展的内在规律的认识,而且也深化了对区域泥石流发展规律的认识。前者解剖了一条沟泥石流形成发展的特殊性规律;后者则洞察了全流域泥石流形成发展的普遍性规律。点与面的资料成果,互相补充,互为所用,对提高泥石流研究水平,更有效地防灾减灾和强化泥石流的综合研究,都是十分有益的。

第二,理论研究与应用实践的结合,用理论指导实践,再由实践检验理论和促进理论研究,在东川泥石流及其防治的研究中显示出强大的生命力。诸如通过对泥石流泥位特征和振动(地声)特性的研究,掌握了泥石流特有的泥位过程和振动的频率及振幅,据此而研制了泥石流泥位报警器和地声报警器,成功地实现了泥石流警报;根据小江流域泥石流的考察研究,在掌握该区泥石流形成发展规律和人类活动特点及其演变过程的基础上,提出了区域或流域的泥石流防治规划;在权衡泥石流活动与国民经济各部门之间的利害关系的基础上,提出了泥石流防治需分三个层次进行;对城市矿区泥石流防护,要以确保安全为目标,需建立综合防御体系;泥石流防灾减灾需与当地的经济振兴、国土整治、环境保护等工作协调兼顾,以获取综合性效益。

第三,传统的野外考察、定位观测与新技术、新方法的结合。小江面上的工作,采取了全流域考察、重灾区段详查、重灾点勘测相结合的方法进行,首次完成了对小江流域107条泥石流沟的综合考察,对其中的25条沟进行了重点详查,对东川市后山的8条泥石流进行了勘测与防治规划,并进而提出了防御设计方案。在工作中充分运用了航片、卫片、电影、录像、测试分析等手段。蒋家沟观测站,设立了7个观测系统,进行泥石流的形成过程、静力学特性、运动要素、冲击力和地声等动力特性、冲淤变化、预测报警和治理效益的观测。在国内有关单位的支持下,研制了一批适用于大型泥石流观测实验的仪器设备,如泥石流自动采样设备、泥位测量仪、冲击力仪等,使用效果良好。此外,还利用计算机技术,如泥石流自动采样设备、泥位测量仪、冲击力仪等,使用效果良好。此外,还利用计算机技术,进行冲击力、地声、运动诸要素等数据采集,处理和储存。

通过以上工作,基本实现了泥石流研究的一体化:即以流域或地区为单元,以防治规划为中心的区域泥石流考察工作的综合化和规范化;以典型泥石流沟为基地,以泥石流形成全过程为实体的定位观测研究的系列化和自动化;以不同防护对象为目标,以城市泥石流防治为先导的东川市后山泥石流综合防治试点工程的建立,创建了区域考察、定位观测和防治试点三结合的泥石流研究模式。

三、理论联系实际,发展学科,指导减灾

泥石流学是一门应用性很强的新兴学科,它是通过防灾减灾实践而逐步发展起来的。我们的研究工作,旨在通过实地考察和定位观测研究,为小江流域和东川地区泥石流防灾

减灾服务,并借此充实完善泥石流理论体系,发展我国泥石流学。历经5年的科学实践,在如下几方面有较大进展:

1、基本理论研究方面的进展

蒋家沟定位观测研究:自1982年以来,通过7个观测系列,对泥石流进行了全面系统的观测,实测到52次泥石流爆发过程的动态资料,其主要成果有:

(1)在国内首次测得了泥石流流速、泥位、冲击力、地声和冲淤的过程线,泥石流流体的流变曲线,以及泥石流龙头形态图等,深化了对泥石流性质的认识;

(2)探讨了泥石流形成与滑坡移动、暴雨强度和地下水活动之间的关系,提出了泥石流源地分类系统,首次研究了散流坡上泥石流的形成机制和发育过程;

(3)揭示了泥石流流体的组成特点、结构形式和流变模式,提出了泥石流流态的新分类方案。

(4)探索了泥石流流速与泥深、沟宽、比降、容重、粘度和沟床糙率之间的关系,建立了一些新的经验和半经验的流速计算公式和流量计算公式。

(5)探明了泥石流地声所特有的振动频率、振幅(强度)、泥石流冲击过程,建立了泥石流流体和石块的冲击力计算公式。

(6)探讨了泥石流的悬浮和承载特性,输移规律,阐述了泥石流冲淤过程及其时空分布规律。

小江流域综合考察研究:1982-1985年进行了全流域的泥石流综合考察,查明该区泥石流沟由50年代的38条,发展到目前的107条,通过对泥石流形成发展的区域性规律的研究剖析,提出如下成果:

(1)从大环境着眼、小流域入手,深入分析了泥石流形成发展与自然环境演化和人类生产活动的关系,明确指出了该区泥石流的形成发展是受小江流域特殊的地质、地貌和气候因素控制的,近二、三百年来,人类不合理的生产活动(砍伐森林烧炭炼铜、村寨迁移上山,陡坡垦殖放牧,开矿弃碴、筑路弃土和引水渗漏等),是导致该区古泥石流复活,新泥石流丛生的激发因素。

(2)通过对小江全流域的综合考察,提出了泥石流的系统分类和分区,并对重灾江段和25条泥石流活动强烈和成灾严重的沟进行了详查和编目,为全流域的泥石流防治规划和重点沟整治积累了丰富的科学资料和数据。

(3)在全面考察和分析该区自然环境演变和泥石流形成发展过程的基础上,提出了小江流域早在地质时期就发育有泥石流,并把其称为古泥石流,从泥石流遗迹判断,中更新世(Q₂)和全新世(Q₄)曾有两期泥石流活动的高潮。这一发现和论述,对人们全面认识现代泥石流的形成发展规律和确切评价人类生产活动对泥石流的影响,都具有重要的理论意义。

(4)通过对小江河谷15万亩泥石流乱石滩的研究,我们提出了“砂石化”这个概念,揭示了在我国南方山地,目前正在孕育着一种生态环境退化过程,出现了大面积的“砂石化”现象,山坡河谷砂石累累,一片荒凉,酷似我国大西北的戈壁荒滩。并阐述了西南山区由于山崩滑坡泥石流等特殊侵蚀作用和水蚀作用对地表的粗化过程而形成的“砂石化”地面,提出了控制“砂石化”的对策。

2、应用与应用基础研究方面的进展

在进行泥石流基础理论研究的同时，狠抓了以预测预防为主的泥石流应用方面的研究，其主要成果是：

(1) 探讨了泥石流爆发与前期降水量、暴雨强度之间的关系，建立了泥石流预报模式，利用遥测雨量装置在国内率先提出了泥石流预报，在蒋家沟进行了现场预报，其准确率达到 85%，预报提前时间为 20-45 分钟，其方法原理达国内外先进水平。

(2) 根据泥石流运动所特有的振动频率和振幅，泥位过程线，确立了用地声和泥位进行报警的原理，并应用遥测地声报警器、遥测泥位报警器进行泥石流报警，在蒋家沟现场进行报警试验时，其准确率达到 90%。经专家鉴定，以上两项成果均达到国内外先进水平。

(3) 在国内首次提出了泥石流防治要从大环境着眼，小流域入手的观点，以此为指导，提出了以小江流域为单元的泥石流综合考察和防治规划、为全面整治小江泥石流灾害，发展小江流域经济、保护东川市安全，提供了科学依据。

(4) 深入分析了小江流域的环境背景、人类活动特点和当地经济发展趋势，提出了统筹兼顾、全面规划，突出重点，抓住要害，因害设防，防治与利用相结合的泥石流治理原则。并拟定了泥石流防治要以城市矿区为先导、以交通能源为重点、以农田村寨为基础的三个层次进行，融防灾与当地经济开发、国土整治和环境保护为一体，以达多种效益的统一。

(5) 为了确保山区城市矿区的安全，提出了新的泥石流综合防御体系：即工程防御体系，生物防御体系、预警报体系、管理体系和社会体系。这就把泥石流防灾效益与经济效益、社会效益、生态环境效益统一起来。

3、技术手段研究方面

泥石流是一种突发性灾害现象，是介于普通高含沙水流与滑坡崩塌等块体运动之间的特殊流体。以往无专用仪器，多依靠手工操作或借助于某些水文观测仪器。即使在经济、技术发达的美国、日本直接用于泥石流观测的仪器也不多。我们通过 5 年的观测试验所研制的一些观测仪器设备，有的在国内外尚属首创，填补了这一领域的空白，有的比国外先进、实用，具有我国的特色，适应了我国泥石流观测研究的需要。蒋家沟观测站的仪器设备之多、观测项目之全，在国内外均处于领先地位。自 1981 年以来，利用国内协作研制的泥石流专用观测仪器设备有：UL-1 型超声波泥位计、CL-810 型测速雷达、NCH-1 型数传泥石流冲击力设备(含 NCC-1 型和 NCC-2 型传感器)、泥石流地声测试装置、泥石流采样装置、SHL-1 型砂浆流变仪、动态立体摄影仪、UY-1 型遥测雨量设备、DFT-1 型无线泥位报警器、NJ-2 型遥测地声报警器等。

四、东川市泥石流综合防治工程试点

东川市是著名的矿山城市，位处小江流域中游右岸。发源于乌蒙山牯牛岭的 8 条泥石流沟，穿越市区，在山外形成面积达 14.5km² 的庞大堆积扇，成为东川市 6 万多居民赖以生存的场所。江川市的安危存亡、关系到当地的经济发展和社会安定。为此，我们选择东川市作为泥石流综合防治工程的试点，利用已取得的成果，为当地防灾减灾服务。从东川市的战略地位和泥石流灾害特点考虑，要把防灾减灾与改善山地环境融为一体，在狠抓治

理工程的同时，要高度重视环境保护和预防工作。对已成灾的泥石流沟，要强化工程治理和生物治理，对原有工程要配套补缺，形成系统，提高工程的设计标准和防护能力，并加快工程进度；对潜在威胁大、可能出险情的泥石流沟，加强防御工程的同时，做好灾前预测预报和临灾报警工作；成立市泥石流工程指挥部或委员会，加强对各项工程的技术管理和养护工作；市府也相应地颁布法规，对泥石流防御工程和环境工作实行立法管理。

1、泥石流综合防御体系的内容

城市泥石流防御体系，事关国家建设和人民生命财产的安危、社会的安定，要万无一失，确保安全。因此在东川市防灾规划中我们提出如下要点：

- (1) 全面规划，综合防御，突出重点，抓住要害；
- (2) 市郊结合，以市为主，保护关键，兼顾全市；
- (3) 因地制宜，因害设防，以防为主，防治结合；
- (4) 工程措施与生物措施同步，预测报警与防灾避难措施配套，多层防御，确保安全；
- (5) 政策与权益挂钩，以法为据，狠抓管理，加强防灾避难的科普宣传工作。

在规划实施过程中，既要考虑防灾避害的需要，又要视国家和地方的财力物力，同时还要市政建设，环境美化相适应，工程设施力求坚固、实用、经济、美观以期使国家的投资在防灾中充分发挥作用。据此规划要点和要求，拟定了由 5 个系统组成的综合防御体系：

(1) 工程防御体系：由拦挡工程(上中游固沟护坡拦蓄砂石)、排导工程、停淤工程和排水工程等组成；

(2) 生物防御体系：由封山育林、植灌种草造林、蓄水保土、坡地梯田化、水田改旱作及其它农业生物工程等组成；

(3) 预测预报和报警体系：由降雨预报、地声报警、泥位报警等组成；

(4) 技术管理系统：由设计和施工部门会同有关单位组成工程指挥部或管理委员会，负责施工期间的技术管理，竣工后的工程养护管理，各类工程的效益观测管理等；

(5) 社会管理体系：由市府颁布市规民约，与国家颁布的有关法规相辅相成，以确保上述四个体系的顺利实施和长期稳定的经营管理。

2、防治工程的综合效益分析

近几十年东川市多次受到泥石流的袭击，酿成灾祸，财产损失和人员伤亡均较严重，为此，也进行了一些应急性的防灾工程，自 1986 年“东川城市后山泥石流综合治理规划”被中央和省市主管部门审批实施后，走上了全面系统和综合性防治的轨道。在市府的直接领导下，由中科院成都山地灾害与环境研究所城镇泥石流防治规划组和东川市城建局合作，并在东川市各部门的大力协同下，以防治规划为依据按照上述 5 个体系所规定的内容进行设计、仅仅经过 3 年多的实施，已取得了显著的效果。

1987-1989 年，东川市及邻近地区都爆发了泥石流，造成不少损失和伤亡，但东川市仍安然无恙，这应归功于已建的各类工程。1987 年 7 月 5 日、滇东北普降暴雨，暴雨量为近 30 年所罕见，12 小时降雨量达 96mm，市区 5 条沟的上游和众多小支沟都爆发了泥石流，市东北郊的农田、公路、糖厂等都受到损失。但因市区上方的石羊沟、尼拉姑沟和深沟等拦挡、排导工程起了作用，不少堤坝被淤满后，多余的泥石流均沿排导槽顺畅下

泻,石羊沟排导槽泥深达 1.6m,流量达 $35\text{m}^3/\text{s}$,接近 20 年一遇泥石流的流量,但市区未受任何损失,拦蓄排导初见成效。后山各沟的中游和上游,前期生物措施进展较慢,近两年来市府和有关部门狠抓了封山育林和植树种草等生物措施,山坡环境已有明显的改善,有些山坡草灌丛生,并开辟了干热河谷造林试点,建立邻山苗圃和果园,泥石流沙坝已改造为高产农田和东川市公园,东川市现已绿树成荫,花坛毗连,成为我国山区新城的典范,被誉为云南省的“花园城市”。近几十年来,用于防治泥石流的总投资仅 1000 多万元,初步保护了东川市(人口 6—7 万,固定资产约 5 亿元)的安全,这个生动实例表明,泥石流灾害是可以防治的,从经济效益上来看也是值得的,更重要的是安定了人心,稳定了社会,促进了山区生产。

(参考文献略)

DEMONSTRATION STUDY TO THE LAW OF FORMATION, DEVELOPMENT, MOVEMENT AND THE COMPREHENSIVE TREATMENT OF MUD-ROCK FLOW IN DONGCHUAN, YUNNAN PROVINCE

Du Ronghuan Kang Zhicheng Wu Jishan

(Chengdn Insititute of Disaster and Envrinment in Mountain Region, Academia Sinica)

Abstract

Dongchuan city is a famous mining city, located in the right bank of Xiaojiang River. The Xiaojiang River Basin is a typical area for developing mud-rock flow, where it is characterized by wide-spreading with different kinds, strong activity, large scale and serious disaster.

In recent 30 years, the mud-rock flow hazard has taken place almost every year causing serious economica lose and injury even death of person in Dongchuan city.

From 1982 to 1987, the comprehensive and systematic study to the law of formation, development and control of mud-rock flow was carried out, got a great deal of results on basic theory, practice and technic, and suggested to set up a control system for it. It is a comprehensive system-engineering, biological, predicting and warning, technical management and social management.

Through the rigorous trails of an exceptionally serious storm in Jul. 5. 1987, Dongchuan city has not subjected any damage. That means, this system is effective.

Key words: Dongchuan city, mud-rock flow, the law of formation and development. Trial engineering of prevention and control, comprehensive defence system, benefit analysis.