



中国科学院成都山地灾害与环境研究所
中国科学院东川泥石流观测研究站
吴积善 康志成 田连权 章书成 主编

云南蒋家沟泥石流观测研究

科学出版社

-77
8

云南蒋家沟泥石流观测研究

中国科学院成都山地灾害与环境研究所

中国科学院东川泥石流观测研究站

吴积善 康志成 田连权 章书成 主编

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书系中国科学院东川泥石流观测研究站及其它协作单位自1961年以来,特别是1981年以来,对云南蒋家沟泥石流观测、实验和研究工作的总结,是一本反映当前我国泥石流观测研究水平的专著。

本书以蒋家沟泥石流观测和实验资料为依据,论述了泥石流形成机理、基本性质、运动规律、力学特性和冲淤过程;探讨了泥石流流变、流态、冲击、地声和输移等方面的基础理论;提出了泥石流流体容重、刚性系数、屈服应力和泥石流流速、流量、冲击力等方面的计算公式;介绍了泥石流预警报和综合治理的基本原理与实施方法。

本书可供从事泥石流、泥沙工程、水土保持、工程地质、河道整治、地貌与第四纪地质等方面工作的科研、勘测设计和观测实验方面的专业人员,以及高等学校有关专业的师生参考。

云南蒋家沟泥石流观测研究

中国科学院成都山地灾害与环境研究所

中国科学院东川泥石流观测研究站

吴积善 康志成 田连权 章书成 主编

责任编辑 谢洪源

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100737

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年2月第一版 开本:787×1092 1/16

1990年2月第一次印刷 印张:16

印数:平 1—1270

插页:平 1 插 3

印数:精 1—120

字数:372 000

ISBN 7-03-001370-0/P·245 (平)

ISBN 7-03-001371-9/P·246 (精)

定价: 平 装 15.00 元
布 脊 纸 面 17.20 元

前 言

研究和防治泥石流的一个重要途径,就是对泥石流进行原型观测。建国初期,在修建铁路、公路和兴建工矿企业的过程中,遇到不少泥石流灾害问题。为了掌握泥石流的基本规律,有效地进行泥石流治理,以避免和减轻泥石流危害,不少生产和科研单位在我国西藏波密的古乡沟、甘肃武都的火烧沟、四川凉山的黑沙河、云南东川的蒋家沟和盈江浑水沟等进行了多年的观测和研究。所获的大量科学资料和研究成果,对推动泥石流学科的发展和防治工作的开展发挥了积极作用。

蒋家沟是我国西南山区一条典型的暴雨泥石流沟,位于云南省东北部金沙江支流小江河谷的右岸,流域面积 48.6 平方公里,主沟长 13.9 公里。流域内主要支沟有门前沟、多照沟、大凹子沟、查箐沟和老蒋家沟等(图 1-1, 图 1-2)。除老蒋家沟外,其它支沟年年均有泥石流发生。蒋家沟每年雨季(5—10 月)发生泥石流就有 12 次至 20 余次,每一次泥石流又由几十阵至上百阵粘性泥石流阵流组成,一次历时长达 3—4 小时,甚至数十小时,流量一般几百至上千立方米/秒,流体粘稠,容重高达 2.37 吨/立方米。阵流龙头黑浪翻滚,吼声如雷,奔腾向前,情景十分壮观。该沟泥石流类型齐全,过程完整,流态多样,为国内外所罕见,被誉为“泥石流的天然博览馆”,成为科学工作者进行泥石流观测研究最理想的基地。

蒋家沟泥石流活动历史悠久,现仍处于活跃时期。据观测统计,该沟每年平均冲出沟外的固体物质总量达 100—300 万立方米,致使小江河床不断抬升。1919 年以来小江被堵 7 次,给当地工农业生产造成了严重经济损失。为防治蒋家沟泥石流灾害,确保东川铜矿的生产和运输设施的安全,东川矿务局做出了不懈努力。于 1961 年开始在该沟观测泥石流,1964 年设立了泥石流治理工地和观测站,在此前后中国科学院和铁道部等单位也对该沟进行了调查、观测和研究,积累了大量的资料,写出了不少专题研究报告和论文,为泥石流防治工作和学科的发展作出了重要贡献,但是缺乏全面系统的总结。1982 年中国科学院批准把“东川地区泥石流形成发展、运动规律和综合治理研究”列入院重点课题,以蒋家沟为点进行了泥石流的基本规律的观测研究,以小江流域为面进行了综合考察和防治规划研究。为了深入系统地开展此项研究工作,我们在原蒋家沟泥石流观测站的基础上,丰富了观测内容,改善了观测条件,研制和引进了一批观测仪器,于 1984 年初步建成具有泥石流形成、运动、动力、静力、冲淤、预警报和治理效益等七个观测系统和项目的半自动化泥石流观测研究站。通过 1982—1986 年的观测实验,获得了大量系统的原型观测资料。本书就是在前人工作的基础上,对这五年的观测资料进行的系统全面的分析、计算和总结。

本书共分八章,各章作者如下:第一章:吴积善、康志成;第二章:田连权、胡发德、李静;第三章:王裕宜、罗贵生、刁惠芳;第四章:康志成、胡平华;第五章:章书成、陈精日、叶明富;第六章:吴积善、张军;第七章第一节:陈景武,第二节:章书成、叶明富,第三节:康志成、胡平华;第八章第一节:王士革,第二节:张有富。

44/56/09 02

本书是中国科学院东川泥石流观测研究站(简称东川站)全体成员辛勤劳动的成果,在1981至1986年,东川站的观测工作由中国科学院成都山地灾害与环境研究所(原中国科学院成都地理研究所)东川泥石流队主持,队长为康志成,副队长为张连秋、罗家骥和邝安德,参加观测的业务队员除本书的诸作者以外,尚有孙恩智、罗家骥、张松林、胡兵、杨仁文和李斌等;参加行政管理的队员有张连秋、邝安德、刘小辛、张家义、贺守华、丁辉荣、韩少华、王亚东、彭忠元、黄成友、谭万友、刘世仲和魏德元等。

此项观测研究工作,得到东川矿务局、东川市政府、会泽县政府以及东川市科委、东川市泥石流防治研究所、东川矿务局泥石流工地、以礼河水电厂等部门的大力帮助和支持。本成果经陈光曦高级工程师、华国祥教授、唐邦兴研究员、沈寿长研究员和钟学正教授等评审鉴定,并提出了宝贵的修改意见,杜裕桓研究员也提出了修改意见,在此一并致谢。

本书的第一和八章由田连权主审,第二和六章由康志成主审,第三和五章由吴积善主审,第四和七章由章书成主审,全书由吴积善和康志成总审,张军和罗贵生校对;阎金秀等清绘全书插图,田连权图件审校。

由于水平限制,工作不细,总结还很不完善,错误之处在所难免,还望同行专家、各方人士给予批评指正。

目 录

前言

第一章 蒋家沟泥石流观测实验研究概况	(1)
第一节 蒋家沟流域概况和泥石流危害	(1)
第二节 蒋家沟泥石流主要特征	(4)
第三节 蒋家沟泥石流观测研究的历史	(6)
第四节 蒋家沟泥石流观测研究的内容和系统	(8)
第五节 蒋家沟泥石流观测研究的主要进展	(10)
第二章 蒋家沟泥石流形成过程	(16)
第一节 蒋家沟泥石流形成条件	(16)
第二节 蒋家沟泥石流形成源地	(31)
第三节 蒋家沟泥石流形成过程	(38)
第四节 蒋家沟泥石流的发展历史与趋势	(47)
第三章 蒋家沟泥石流体静力特征	(53)
第一节 蒋家沟泥石流体静力特征的测定方法	(53)
第二节 蒋家沟泥石流体容重	(56)
第三节 蒋家沟泥石流体的机械组成和矿物成分	(62)
第四节 蒋家沟泥石流体中的可溶盐成分	(71)
第五节 蒋家沟泥石流的流变特性	(78)
第六节 蒋家沟泥石流的结构力和结构参数	(94)
第四章 蒋家沟泥石流运动要素观测研究	(99)
第一节 蒋家沟泥石流运动要素观测	(99)
第二节 蒋家沟泥石流流速观测研究	(108)
第三节 蒋家沟泥石流流量与输沙率	(127)
第五章 蒋家沟泥石流物理参数的测试与研究	(141)
第一节 蒋家沟泥石流冲击力的主要特征和野外测量方法	(141)
第二节 蒋家沟泥石流地声特性及测量方法	(156)
第六章 蒋家沟泥石流输移和冲淤	(165)
第一节 蒋家沟泥石流输移	(165)
第二节 蒋家沟泥石流冲淤	(176)
第七章 蒋家沟泥石流预警报系统的实验研究	(197)
第一节 蒋家沟暴雨泥石流预报	(197)
第二节 泥石流地声报警原理及 NJ-2 型遥测地声警报器的研制	(213)
第三节 泥石流泥位报警	(217)
第八章 蒋家沟泥石流治理效益及改进意见	(222)
第一节 蒋家沟泥石流治理工程效益及改进方案	(222)
第二节 蒋家沟泥石流生物治理效益及改进意见	(237)

第一章 蒋家沟泥石流观测实验研究概况¹⁾

蒋家沟位于云南省东北部,系金沙江水系小江右岸的一条支流,其中上游属会泽县大海区,下游系东川市绿茂区(图 1-1),是一条规模巨大、暴发频繁、危害严重的暴雨泥石流沟。

蒋家沟泥石流发育典型,类型齐全,过程完整,流态多变,这就为开展泥石流观测实验研究和预测、预报、治理试点提供了丰富的科学资料和得天独厚的天然条件。该沟早在 1961 年开始进行泥石流观测研究,现已成为我国第一个半自动化泥石流观测研究站,具有七个观测实验系统或项目,可以全面地开展泥石流形成、运动、力学和冲淤的理论研究,泥石流预测、预报、警报和治理的应用研究。

从 1961 年开始,尤其是 1980 年以来,积累了大量的数据和资料,在泥石流的理论研究、应用实践和研究方法等方面取得了一些进展,为泥石流学科的发展和泥石流防治创造了条件。

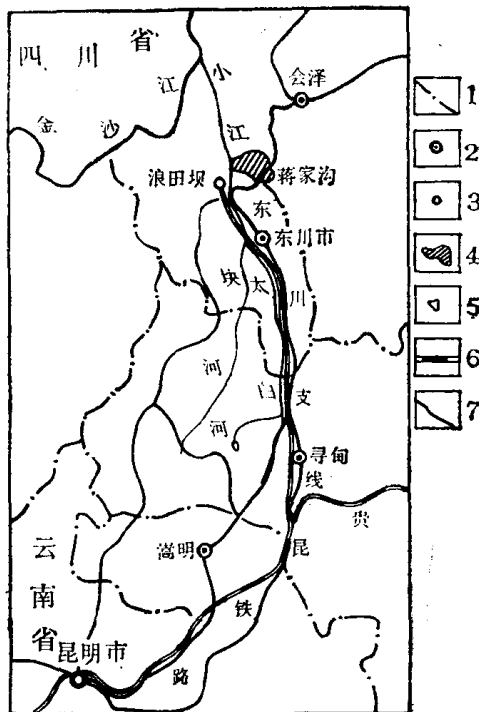


图 1-1 云南东川蒋家沟平面位置图
(据云南省地图)

第一节 蒋家沟流域概况和泥石流危害

蒋家沟流域位于北纬 $26^{\circ}13'$ 至 $26^{\circ}17'$, 东经 $103^{\circ}6'$ 至 $103^{\circ}13'$, 处于云贵高原北部, 乌蒙山脉西缘, 属滇东北高山峡谷区。该沟沟源在会泽县大海区杨梅垭口, 从东向西经东川市绿茂区汇入小江。流域地势东高(最高海拔 3 269 米)西低(最低海拔 1 042 米, 呈阶梯状下降; 流域形态东宽(约 7 公里)西窄(约 2 公里), 呈葫芦瓢状(图 1-2)。

蒋家沟流域山高坡陡, 岭谷相对高差达 500 米左右。坡度大于 25° 和 35° 的山坡面积分别占流域总面积的 55% 和 16%。

蒋家沟流域气候干湿季分明, 垂直气候带明显^[1]。雨季为 5 至 10 月, 降水量占全年总降水量的 85% 以上; 旱季为 11 月至次年 4 月, 降水量不足全年总降水量的 15%。同时雨季多暴雨, 暴雨和阵雨量约占年总降水量的一半以上^[1], 暴雨中心大多出现于流域内海拔 2 500 至 3 000 米的地带。该流域年降水量随海拔的增加而递增, 而年蒸发量却随海

1. 县、市界线; 2. 县、市政府所在地; 3. 东川支线终点站; 4. 蒋家沟流域; 5. 湖泊; 6. 铁路线; 7. 公路线。

1) 本章作者: 吴积善、康志成。田连权也负责撰写了部分段落。本章所采用的资料是由东川泥石流观测站的全体同志共同收集的。

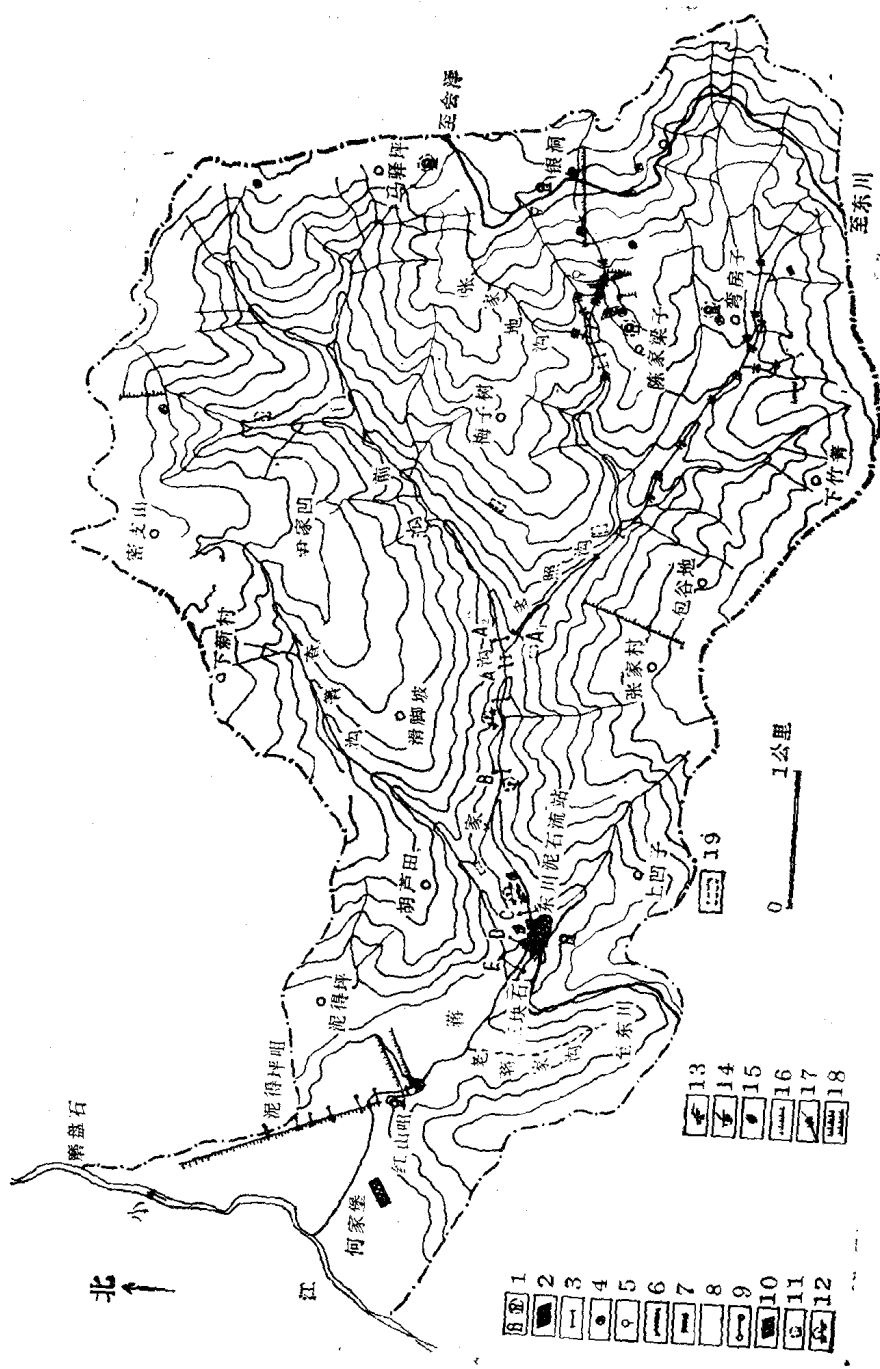


图 1-2 蒋家沟流域和泥石流观测设施图

1. 自记雨量或遥测雨量点；
 2. 片流和片蚀观测场；
 3. 挟沙水流观测断面；
 4. 土壤取样点；
 5. 地下水观测点；
 6. 滑坡位移观测断面；
 7. 上游泥石流观测和取样断面；
 8. 泥石流冲淤测量断面 (A 为断面号)；
 9. 泥石流观测断面；
 10. 人工泥石流试验场；
 11. 遥测超声波泥位报警器布设点；
 12. 遥测地声报警器布设点；
 13. 测速雷达布设点；
 14. 泥石流地声传感器埋设点；
 15. 遥测数传冲击力仪测试墩；
 16. 导流堤；
 17. 谷坊或拦沙坝；
 18. 停淤场和拦淤堤；
 19. 废墟。
- 1) 此图由田连权编制。

拔增加而递减。在两者共同影响下,形成了流域内垂直生物气候带,即下游小江谷地(海拔低于1700米)为半干旱稀树草原带;中游(海拔1700至2300米)为山地亚热带常绿阔叶林带;上游(海拔2300米以上)为山地温带针阔叶混交林带和寒温带高山灌丛草甸带。蒋家沟流域80%以上的面积集中在海拔1500至3000米的地带内,即在山地亚热带常绿阔叶林带和山地温带针阔叶混交林带内,相应的自然土壤为红壤和山地棕壤。

蒋家沟流域位于康滇地轴东缘的小江深大断裂带内,小江断裂的东西两支正好在蒋家沟下游交会。因此该区新构造运动活跃,地震活动强烈,岩层经走向为南北、北东和北西的三组断裂交叉分割,十分破碎。该流域出露的地层主要为下元古界昆阳群浅变质岩,约占整个流域面积的80%。据岩性和岩层颜色的差异分上下两组:下组为灰黑色砂岩和板岩,岩性软弱,易风化成为薄板或碎块,主要分布于门前沟、查箐沟、多照沟的下游和梅子树沟及老蒋家沟沟口以上的主沟两岸;上组为紫红色砂岩和板岩,岩性软弱,极易风化,主要出露在多照沟上游和中游左侧分水岭地带的支沟沟谷下部。震旦系灯影组白云岩不整合于昆阳群上组砂岩和板岩之上,呈灰白色、中厚层,质地坚硬致密。由于断裂、节理和后期滑动的影响,因此破裂成巨砾或碎块,主要分布在多照沟上游及大凹子沟以上的左侧分水岭地带。

蒋家沟流域有支沟200多条,其中切沟154条,冲沟46条。因流域内岩性软弱、断裂纵横、地形陡峻、植被稀疏(详见第二章),地表形态十分复杂,滑坡和崩塌活动非常强烈,其面积占流域总面积的61%,储有松散固体物质12.3亿立方米。一到雨季,崩塌和溜滑纷纷发生,泥石流频频暴发。从1965至1985年共发生泥石流260余次,最多一年达28次,一次泥石流通过观测站观测中断面的固体径流量为几万到几十万立方米,实测一次最大达195.1万立方米,通常一年为100至300万立方米,最多年达500万立方米;泥石流流量一般为100至1000立方米/秒、实测最大流量为2820立方米/秒。而小江实测最大洪峰流量仅为530立方米/秒,故蒋家沟泥石流流量经常大于小江洪峰流量,最大流量可为小江洪峰流量的5倍以上。

在修建导流堤以前,蒋家沟主流与小江几乎成直角交汇。东川矿务局的干燥车间和精矿转运基地,通往矿区的铁路和铁路桥、公路和公路桥均位于汇口以上8公里内。由于蒋家沟泥石流峰值流量大大超过小江洪峰流量,因此经常出现蒋家沟泥石流堆积扇压缩小江江道,顶托江水,有时甚至堵断小江,在堵江处上游积水成湖。据统计,从1919到1968年的50年间,蒋家沟泥石流曾七次堵断小江(表1-1),回水十几公里,堵江处水位升高10米左右,堵江时间长达48天,致使上游近万亩良田受淹而颗粒无收。如1961年8月3日至10月23日,泥石流先后堵断小江共10次,累计时间258小时,受淹面积8000余亩,损失粮食150余万斤;1964年堵江10天,损失粮食250万斤;1968年8月10日蒋家沟泥石流在红山咀附近冲溃导流堤,直奔小江,堵断江道,回水至小江桥以上,使东川矿务局的干燥车间、精矿转运基地,及铁路桥、公路桥受淹,交通停运三个月之久,损失达150万元以上。

从表1-1看出,自1919至1949年的30年间,蒋家沟泥石流共堵小江3次,而1950至1968年的近20年间,泥石流共堵小江4次,堵江的频率有增加的趋势。1968年以后,东川矿务局加强了对导流堤的管理,加固了导流堤,使蒋家沟主流与小江江道锐角相交,故至今一直未发生溃堤,也消除了泥石流堵江成灾的现象,保证了铜矿砂的外运和上游近

表 1-1 蒋家沟泥石流历年堵江情况

发生堵江日期	堵江历时 (日)	堵江时最高 水位 (米)	回水长度或 末端位置 (公里)	堵江造成危害和 损失	其它情况
1919 年	48	1 087~1 088	10		
1937 年	40		10		
1949 年	30				
1954年 7 月26日	20	1 087.9	回水至炭窑		
1961年 8 月3 日 至 10 月 23 日	共 10 余日, 累 计历时 258 小 时	1 088.6		淹没农田 8 000 余亩, 损失 粮食 150 余万斤	先后共堵江十次, 其中 9 月 21 日一次历时最长, 达 67 小 时
1964年 9 月14日	10			损失粮食 250 万斤, 增加运 输费 18 万元	
1968年 8 月10日		水位上升 10 米左右	回水至小江铁 路桥以上	交通停运三个月, 损失 150 万元左右	

万亩良田的安全。但是导流堤河段的堆积和局部冲刷仍非常严重。目前在红山咀附近, 因导流堤顶已高出堤外原泥石流堆积扇面 41 米, 故导流堤一旦溃决, 泥石流居高临下, 直奔小江, 则可能会造成比历史上更严重的泥石流堵江灾害。

蒋家沟中上游, 由于泥石流作用, 沟道强烈下切而使山坡前缘的临空面变得又高又陡, 促进了滑坡和崩塌发生, 因此位于滑坡或崩塌体上的耕地和村寨遭到了彻底的破坏。近百年来, 不少村寨多次搬迁, 有的竟达五次以上。由于以上原因, 耕地面积越来越少, 位置越来越高, 产量越来越低, 居民点越来越集中, 因此导致人均耕地不足 1.4 亩 (其中绝大部分为坡度较大的低产旱地), 人民生活较为贫困。1967 年以来, 在东川矿务局的支持下, 通过东川市和会泽县人民的共同努力, 修建谷坊 44 座, 植树造林多片, 某些支沟的泥石流活动明显减轻或基本上得到控制, 沟床趋向冲淤平衡, 滑坡逐渐得到稳定, 保证了耕地和村寨的安全。但极大部分泥石流支沟尚未治理, 滑坡活动仍然很强烈, 泥石流频频发生, 从而导致主沟泥石流活动十分强烈, 沟床不断下切, 山坡迅速后退, 山坡上的耕地和村寨安全仍受到严重威胁或直接危害。

可见, 探明蒋家沟泥石流形成机理、运动规律、力学特性和冲淤过程, 有效地治理泥石流, 尤其是防止泥石流堵断小江, 稳定中上游村寨邻近的滑坡, 具有重要的理论意义和实用价值。

第二节 蒋家沟泥石流主要特征*

蒋家沟泥石流类型齐全, 性质典型, 为开展泥石流观测实验研究提供了得天独厚的条件。同时该沟已有谷坊、拦沙坝、导流堤、停淤场、植树造林等工程措施和生物措施, 进行了泥石流预报和警报的试验, 为开展泥石流预报、警报和治理研究提供了极其理想的场所。

* 中国科学院兰州冰川冻土研究所、北京大学, 1973, 蒋家沟泥石流总结报告。

一、泥石流发育典型

蒋家沟是一条典型的泥石流沟,有明显的泥石流形成区、流通区和堆积区。在形成区又可分为清水区和土源区。清水区位于各主支沟的源头,土源区常与滑坡、崩塌区一致,当然它也是水源区之一,但水体大部分渗入土体(包括泥沙、石块在内的所有松散固体物质,以下均同)之中或与土体混合,呈泥石流或浑水流汇入主沟;流通区从门前与多照的两沟汇口处至红山咀附近,实际上这一段处于冲淤交替,以淤为主,也有不少土体物质汇入,但与两沟汇口以上和红山咀以下沟段相比,汇入的土体物质或沟床的天然堆积(指不受工程影响情况下的自然堆积)总速率相对较小,可近似地视为是流通区;红山咀以下为堆积区。不过在下游修建导流堤和停淤场后,改变了天然状况,原流通区下段发生强烈堆积,流通区末端由红山咀上移至泥得坪引水渠入口附近,即入口以下为堆积区。故在蒋家沟可全面地开展泥石流形成、运动和堆积全过程的观测研究。

除主沟外,蒋家沟还有许多冲沟和切沟型泥石流支沟。这些支沟往往也有明显的形成、流通和堆积区,也可以全面地进行泥石流观测。有的泥石流支沟,具有大量被地下水饱和的土体物质,即使在晴天只要稍加人为的扰动,即可形成泥石流,为开展简易的人工泥石流试验提供了良好的条件。

二、类型齐全

蒋家沟具有各种类型和各种性质的泥石流。按泥石流体的性质,有稀性、过渡性、粘性和高粘性等四类泥石流(详见第三章);按沟坡形态,有坡面和沟道泥石流,前者又可分为散流坡和重力坡泥石流,后者也可分成溪沟、冲沟和切沟泥石流(详见第二章);按流动过程,有连续和阵性二类泥石流。总之,在蒋家沟各种类型的暴雨泥石流应有尽有。

三、泥石流过程完整

蒋家沟泥石流的各种过程,包括形成过程、流动过程和堆积过程均很完整,持流时间又较长久。从降水开始,产生坡面汇流、小支沟汇流、直至形成沟道阵性泥石流,在不少支沟中清晰可见。泥石流流动过程尤为典型,在一次完整的泥石流暴发过程中,随着时间和泥石流体容重的变化可依次出现:前期稀性泥石流连续流、前期过渡性泥石流阵性连续流(介于连续流和阵性流之间,即各阵泥石流之间不断流)、前期粘性泥石流阵流、粘性泥石流连续流、后期粘性泥石流阵流、后期过渡性泥石流阵性连续流、后期稀性泥石流连续流。但大部分泥石流往往缺失其中的一、二个过程,一般粘性连续流只有在上游暴雨强度大、土体物质供给充足时才出现;前期过渡性泥石流阵性连续流持续时间很短,有时缺失。

四、泥石流流态多样

蒋家沟泥石流流态多样,变化迅速,尤其是粘性泥石流,随着沟床条件和阵性流中所

处的部位不同,可呈现:浪花飞溅、巨石翻腾的紊动流(或称紊流);表面平滑、流线大致平行的似层流(或称层动流);表面平静、流动缓慢的蠕动流,流速很快,形态变化不大,泥石流流体仿佛在沟床残留层上滑动前进的滑动流;还有一种表面光滑,呈波浪式前进,流体中物质前进的速度远较波形前进速度为慢的波动流。由于流量大小和沟床条件的变化,流态的时空变化迅速,因此有时一阵泥石流中,往往头部是紊动流,身部和尾部是层动流;有时一阵泥石流,在运动过程中随着沟床条件的变化,流态也相应变化,在不到 500 米距离沟床内,可以使紊动流转变成层动流、波动流,直至蠕动流。

五、泥石流规模巨大

泥石流规模大,包括流量大、输沙率高、固体径流量多。蒋家沟泥石流实测最大流量为 2 820 立方米/秒、容量为 2.37 吨/立方米、输沙率为 6 079 吨/秒、一次固体径流总量为 195.1 万立方米,上述各特征值之大为国内外众多的泥石流沟所少见。

六、泥石流作用强烈

蒋家沟泥石流的各种作用,包括冲刷(侵蚀)、输移(搬运)、淤积(堆积)、冲击、振动和磨蚀等均很强烈。

泥石流的冲刷下切作用十分明显,一次泥石流可下切 5 米左右,局部沟段最大可达 16 米以上,个别冲刷坑的深度估计可达 20 米。下游导流堤沟段总的趋势以淤为主,但局部冲刷亦相当严重,有时一次泥石流可冲深 3 米以上。

泥石流具有惊人的输移能力,通常只要有足够的比降,上游下泄的泥石流固体物质均可输入小江,尤其是粘性泥石流,可挟带直径 1 米以上的巨石漂悬前进,当泥深较小时则呈翻滚前进。蒋家沟下游当沟床比降大于 5.0%,并有槽形沟床时,泥石流均可输移。

泥石流的堆积非常强盛,1980 年以前,下游沟床以每年 2 米左右的速率上涨。观测站附近因受下游停淤场的影响,1982—1984 年观测断面处淤高 10 米左右。

蒋家沟泥石流的冲击作用,包括冲击力和冲起高。冲击力又可分为泥石流体的动压力,泥石流龙头的冲击力和石块的撞击力。冲击力一般为 200—800 牛顿/平方米,实测最大值达 5 000 牛顿/平方米。泥石流的冲起高通常为龙头高度的 3 至 5 倍,一般超过 5 米,有时达 10 米以上,个别石块或泥浆飞溅的高度可达 15 米。

大型泥石流,尤其是粘性阵性流奔流过境时,往往气浪逼人,地面颤动。泥石流摩擦沟床所产生的弹性波,沿纵横方向传播产生的地面振动,也称地声。泥石流所引起的地声有其特有的频谱和振幅。

由于泥石流容量大,流速快,结构性强,因此对建筑物表面的磨蚀作用亦十分强烈。如谷坊坝的过流部分,经过几次大泥石流后,表层混凝土可以磨蚀掉几厘米。浆砌块石护面的导流堤护坡表层,勾缝的砂浆混凝土,亦可被磨蚀掉。

第三节 蒋家沟泥石流观测研究的历史

蒋家沟泥石流各种特征的典型性和要求对它进行治理的迫切性,为泥石流观测研究

提供了良好的自然条件和社会条件。早在 1961 年,云南省东川矿务局就在蒋家沟下游红山咀设断面开始进行泥石流观测,以探索泥石流运动过程和冲淤规律,寻求防止泥石流堵塞小江的途径,从而揭开了蒋家沟泥石流观测与实验研究的序幕。1984 年建成全国唯一的半自动化泥石流观测实验站,该站对泥石流的形成、运动、冲淤和力学开展了全国的观测与实验研究,对泥石流警报、预报和治理进行了综合的试点与效益分析。25 年以来,蒋家沟泥石流观测研究大致经历了三个阶段。

一、第一阶段

从 1961 至 1971 年,由云南省东川矿务局主持观测。1961 年,为了消除和控制由于堵江所造成的对矿山建设的危害,东川矿务局在调查蒋家沟全流域的基础上,在红山咀设断面进行了泥石流观测。但由于该处断面太宽,沟床不太稳定,观测难度较大,因此于 1964 年迁至大凹子沟沟口(即现在站址),在相对较窄的河段设站观测。该站的中断面宽为 200 米,观测项目有雨量、泥深、沟宽、流速、冲淤和取样分析等。参加单位有铁道部第二设计院和中国科学院地理研究所西南地理研究室(即中国科学院成都山地灾害与环境研究所的前身)、铁道科学院西南研究所等(表 1-2)。

表 1-2 蒋家沟泥石流观测研究沿革

观测时间	观测站位置	主要观测项目	主要观测仪器	主持单位	参加单位	参加人数
1961 年	红山咀	流态、泥位、流速、冲淤、样品分析	测流缆道、手工取样筒、经纬仪	东川矿务局		6
1965 年至 1967 年	大凹子沟沟口	降水、流态、泥位、流速、冲淤、样品分析	自记雨量计、测流缆道、手工取样筒、经纬仪	东川矿务局	铁道部第二设计院、铁道科学院西南研究所、中国科学院七个研究所	18—26
1973 年至 1977 年	大凹子沟沟口	降水、流态、泥位、流速、冲击力、冲淤、样品分析、工程实验	自记雨量计、测流缆道、冲击力仪、静切力仪、粘度计、测泥位重锤、经纬仪	中国科学院兰州冰川冻土研究所	东川矿务局、北京大学	15—23
1980 年至今	大凹子沟沟口	形成、运动、动力、冲淤、样品实验分析、预报和警报试验、治理试点和效益观测(细目见表 1-3)	遥测雨量计、超声波泥位计、测速雷达、遥测数传冲击力仪、电动铅鱼式泥石流取样器、泥石流地声测定装置等(详见表 1-3)	中国科学院成都地理研究所	东川矿务局	15—26

1967 年 2 月,中国科学院受中央有关部委的委托,组织十余个研究所,建立了三个泥石流队,其中泥石流一队是按冶金部的要求,对蒋家沟泥石流进行全面考察和观测研究,制订泥石流防治规划,故该队又称蒋家沟泥石流队,由中国科学院兰州冰川冻土研究所主持,中国科学院地理研究所西南分所(即现中国科学院成都山地灾害与环境研究所)、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国科学院林业土壤研究所(即现中国科学院沈阳应用生态研究所)等 6 个单位参加。自 1967 年开始泥石流一队直接参加了泥石流观测研究工作。

在这期间,先后参加泥石流观测研究的单位较多,积累了较丰富的资料,编写了《云南东川胜利沟(即蒋家沟)泥石流考察报告》和一些专题报告或论文。

二、第二阶段

从 1972 至 1977 年,由中国科学院兰州冰川冻土研究所主持,东川矿务局和北京大学地质地理系等单位参加观测研究。除原有的观测内容外,又增加了冲击力测验和泥石流实验工程。在这期间,观测方法稍有改进,设置了泥位缆道,用机械方法测定泥位,安装了遥测数传冲击力仪,实现了机械与手工相结合的观测方法。

由于采取了以上方法和措施,因此取得了大量比较系统而配套的资料,建立了流速、流量、冲击力、冲起和弯道超高等一系列经验或半经验性的计算公式,编写了《蒋家沟泥石流总结报告》和二十多篇系列性论文。

三、第三阶段

1978 年,按照中国科学院关于地学研究布局的要求,兰州冰川冻土研究所的部分研究人员和蒋家沟站(即现东川站)的泥石流观测划归成都地理研究所。1980 年由成都地理研究所开始主持观测,1982 年“东川地区泥石流形成发展、运动规律和综合治理的研究”被列为中国科学院重点研究课题。同年成都地理研究所开始筹建东川半自动化泥石流观测研究站,1984 年初步建成,经过 1985 年和 1986 年的进一步完善,该站已拥有七个观测系统,其中有 4 个系统基本上实现了观测自动化(详见本章第四节),对泥石流形成、运动、静力特征和动力特征进行了观测研究,对泥石流预报、警报和治理进行了试点研究和效益观测,取得了近五万个数据,完成了 30 余篇论文。

第四节 蒋家沟泥石流观测研究的内容和系统

蒋家沟泥石流,观测研究的目的在于利用该沟独特的泥石流性质和优越的实践条件,全面系统地开展泥石流综合观测与实验,探索泥石流内在规律,摸索泥石流防治途径,为建立中国泥石流理论体系和防治模式提供资料和论据,环绕这一宗旨开展七项泥石流观测实验研究,并建立了相应的观测实验系统(表 1-3)。

一、泥石流形成观测研究

本项旨在研究泥石流形成条件及其与泥石流形成关系、泥石流形成过程和汇流规律,人类活动对泥石流形成发展的影响,探明泥石流形成机理,建立泥石流形成模式和汇流理论,以及相应的泥石流流量计算公式。

为此,我们在上游泥石流形成区设置了四个在不同立地条件下的片蚀观测场、七条滑坡位移观测断面、五个自记雨量或遥测雨量观测点、三个地下水观测点,并在一条典型的泥石流支沟中设了一个挟沙水流观测断面和三个泥石流观测和取样断面,建立了一个简易人工泥石流试验场,进行了泥石流形成试验。同时对各种泥石流形成物的机械、矿物和可溶盐成分进行了实验分析。

二、泥石流流体的取样和特性分析

本项旨在研究泥石流流体的组成、结构、流变和静力特征,探讨泥石流的组成、结构与流变之间的内在联系,建立泥石流流体流变模式和各种静力特征值的计算公式。

为此,我们在东川泥石流观测研究站的取样断面上安装了电动铅鱼式泥石流取样器,在国内,以致在国际上首次实现了在高容重和高速运动的泥石流流体内连续取样,为开展泥石流流体特性分析奠定了基础,建立了泥石流的机械、化学、流变和土工等4个分析实验室,这些实验室除了采用常规的粘度计、静切力仪、电导仪、酸度计、流塑限仪、比重计和容重仪外,还委托研制了SHL-1型砂浆流变仪,引进了ML-1型砂浆流变仪(日本)、RV₂型粘度计(民主德国),采用了大型直剪仪,研制了大型沉降筒。

三、泥石流运动观测研究

本项目旨在研究泥石流流态、流型和流动过程,探讨泥石流运动机理和阻力规律,建立泥石流运动模式和流速计算公式。

为此,我们在观测站设立了观测断面,进行了泥位、流速、比降、容重以及流态和流动过程的观测,并委托研制了CL-810型测速雷达,合作研制了UL-1型超声波泥位计,基本上实现了观测自动化。

四、泥石流动力观测研究

本项目旨在研究泥石流冲击力和冲起高的物理特性,泥石流地声的基本特点,建立泥石流动力方程和各种动力参数的计算公式,为泥石流地区各种工程的设计和建立警报系统提供参数和依据。

本项主要是观测泥石流流动压力、龙头冲击力和石块撞击力,泥石流地声频谱和振幅。为此合作研制了NCC-1型压电石英晶体传感器,以及NCH-1型遥测数传冲击力仪设备,并将传感器接收到的冲击力信号直接输入MDR-Z80微型计算机。同时采用DT-1型传感器,研制了泥石流地声测定装置。上述两者都建立了以微型计算机为核心的数据采集和处理系统,实现了本项目观测自动化。

五、泥石流输移和冲淤观测研究

本项目旨在研究泥石流中各种土体颗粒的悬浮和沉降特性,泥石流输移规律,泥石流冲淤过程及其时空变化,泥石流堆积形态和堆积物特性;探明泥石流输移机理和冲淤规律,建立泥石流堆积模式和冲淤的计算公式。

为了达到以上目的,主要应进行泥石流中土体颗粒的沉降试验,输移过程的观测,沟床冲淤断面的重复测量,泥石流观测断面冲淤过程的测定,泥石流堆积物物化性质、结构和构造的观测和实验。为此,我们在中游沟段布设了7个固定的冲淤测量断面,即A₁, A₂, A, B, C, D, E断面(图1-2),其中后三个即为观测站上、中、下泥石流观测断面。在下游

导流堤沟段布设了六个冲淤测量断面,进行重复水准测量;在泥石流观测中,断面(即D断面)采用超声波泥位计测定阵性泥石流冲淤过程;采集不同剖面的泥石流堆积物样品,进行物理与化学特性的测定;采用合作研制的动态立体摄影仪进行沟段冲淤观测。

六、泥石流预测、预报和警报的试验研究

本项目主要研究泥石流预测、预报和警报的基本原理,确定预报、警报的基本参数,建立预测、预报和警报的基本模式,研制预报和警报的仪器,实现泥石流预、警报。

为了达到以上目的,我们主要进行了以暴雨强度和前期降水量为主要指标的泥石流预报试验,确定了泥石流暴发与10分钟暴雨强度、前期降水量在一定地形和土体条件下的关系,建立了泥石流预报模式,并应用委托研制的UY型雨量遥测装置和利用蒋家沟泥石流暴发频率高的特点进行了泥石流预报试验。

同时,根据泥石流地声和泥石流泥位固有的特点,合作研制了NJ-2型遥测地声警报器和DFT-1型遥测超声波泥位警报器,并运用这两种仪器在蒋家沟分别开展了泥石流地声报警和泥位报警的多次试验。

七、泥石流防治的试点研究和效益观测

本项目主要研究泥石流综合治理的原理、规划和措施,泥石流各种治理工程的设计参数和结构形式,泥石流生物治理的各种措施和实施方案,确定各种泥石流综合治理的最佳模式,以及各类治理工程的最优结构断面和各类生物措施最有效方案,实现泥石流防治的标准化和规范化。

为了实现以上目的主要应观测谷坊、拦沙坝、导流堤和停淤场等泥石流治理工程效益和工程的稳定性,乔木、灌木和草被等生物治理效益和生长情况。为此,我们在导流堤沟段布设了六个冲淤测量断面,测定冲淤幅度,对上游44座谷坊的回淤纵坡进行了调查和测定,对导流堤和停淤场沟段的纵坡进行了测量。同时,对流域的植被和人造林进行了调查和填图,结合泥石流形成观测,在乔木林、灌木林、草被和裸露地等四个不同立地条件的坡地上修筑了四个片蚀场,进行生物水保效益观测。此外,还对东川地区经过治理的泥石流沟进行了治理效益的对比调查。

第五节 蒋家沟泥石流观测研究的主要进展

一、资料积累方面

与国内外其它泥石流沟的同类资料相比,蒋家沟泥石流的观测和实验资料,具有项目较全、数据较多、系列较长和幅度较宽的特点。

(一) 项目较全

蒋家沟泥石流观测与实验几乎涉及到泥石流学科各个领域(表1-3),构成了较为

表 1-3 蒋家沟泥石流观测与研究系统表

观测实验系统 (或项目)	观测实验细目	主要观测实验仪器	学科体系
流体特性	成分: 机械成分 化学成分 粘土矿物成分 容重 结构 构造 流变: 起始静切力 屈服值 粘度(刚性系数) 浮托和沉降	比重计 电导仪、酸度计 体视显微镜 容重仪 静切力仪 粘度计 砂浆流变仪 大型沉降筒 电子天平 电动铅鱼式泥石流取样器	静力学
形成	降水 清水径流 地下水 片流侵蚀 滑坡位移 形成物的成分和性质 形成过程	自记雨量计 遥测雨量计 自记水位计 经纬仪 水准仪 水质速测箱	形成学
运动	泥位 流宽 流速 流态 流动过程	超声波泥位计 测速雷达 浮标投放器 电视录像机	运动学
动力	地声 冲击力 冲起高 弯道超高	泥石流地声测定装置 遥测数传冲击力仪	动力学
冲淤	断面冲淤过程 沟段冲淤幅度 堆积形态 堆积物特性: 成分和构造 流塑限 抗剪强度 渗透压力	经纬仪 动态立体摄影仪 流塑限仪 大型直剪仪	沉积学
预报、警报	预报试验: 长期预测 中期预报 短期预报 警报试验: 地声警报 泥位警报	雨量遥测装置 遥测地声警报器 超声波泥位警报器	预报学
防治	治理工程试点 生物治理试点 治理效益观测: 治理工程效益 生物治理效益	测量仪器 多功能气象速测仪	防治学