

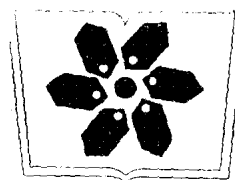
吴积善 田连权 康志成 著
张有富 刘 江

泥石流

及其综合治理

科学出版社

泥石流及其综合治理



中国科学院科学出版基金资助项目

中国科学院
水利部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 田连权 康志成 著
张有富 刘江

科学出版社

1993

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是一本泥石流基础理论和综合治理方面的专著。全书系统论述了泥石流的定义、研究内容与方法、泥石流流体组构、运动规律等,分析了我国泥石流形成的条件与形成过程,进行了泥石流分类,并阐述了泥石流综合治理的原则与方法,以及治理的生物、工程措施等。

本书结构严谨,论据充分,可供山区灾害防治、水土保持、资源开发、城镇交通建设方面的科研人员、工程管理人员及有关大专院校师生参考。

泥石流及其综合治理

吴积善 田连权 康志成 著
张有富 刘 江

责任编辑 吴三保 杨佳木

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

北京市怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1993年10月第一次印刷 印张: 21 1/4 插页: 2
印数: 1—1 000 字数: 492 000

ISBN 7-03-003390-6/P·661

定价: 15.80 元

DEBRIS FLOW AND ITS COMPREHENSIVE CONTROL

Institute of Mountain Hazards and Environment,
Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy

Dongchuan Dabris Flow Observation and Research Station,
Chinese Academy of Sciences

by

Wu Jishan, Tian Lianquan, Kang Zhicheng,
Zhang Youfu, Liu Jiang

Science Press, Beijing, China

1 9 9 3

前 言

泥石流是介于挟沙水流和滑坡之间的山区土、水、气混合流。它往往突然暴发，来势凶猛，严重地影响着山区经济建设。尤其近半个世纪以来，世界上许多多山国家，灾害性泥石流频频发生，并造成惨重损失，成为山区主要自然灾害之一。因此，掌握泥石流的基本理论，有效地治理泥石流，业已成为发展山区经济、保障山区人民生命财产安全的一项重要任务。

我国泥石流分布广泛、活动强烈、危害严重，尤其是随着山区经济的日益发展，人类活动日趋频繁，泥石流灾害也不断加剧。为了减轻或消除泥石流危害，我国不少研究单位和生产部门，从 60 年代以来，通过野外考察、定位观测、分析实验和模型试验，积累了大量数据和资料，对泥石流的基本理论问题进行了深入探讨，并取得了显著进展，使我国泥石流研究步入世界先进行列。在开展理论研究的同时，进行了泥石流治理试点研究。在本世纪 70 年代初我国开始了泥石流综合治理；到 70 年代末，对众多灾害性泥石流沟进行了综合治理，并获得了明显的经济、社会和生态效益。同时积累了丰富的治理经验，提出了一系列综合治理方案和各种适合泥石流特性的综合治理措施，逐步形成了具有中国特色的泥石流治理模式。上述理论研究和综合治理为本书编著奠定了基础。

在本书编著中，参阅了大量国内外文献，试图较客观地反映泥石流研究现状和我国泥石流研究成果以及实践经验。书中大部分论点和资料来源于作者们对一些泥石流流域的直接观测，如四川凉山黑沙河、云南东川蒋家沟、盈江浑水沟和西藏加马其美沟等流域。此外，还有作者们参加治理的一些泥石流流域，如云南东川大桥河流域、盈江浑水沟流域、梁河三家村沟和永安寨沟流域以及四川凉山喜德东沟流域和黑沙河流域等。

全书首先阐述泥石流的基本性质、形成机理、运动规律、力学特征和冲淤过程等基本理论问题，然后介绍了泥石流综合治理的依据、原则、方案和措施，旨在让读者通过本书掌握泥石流的基本原理，进行综合治理规划和设计。

全书分十章。在第一章绪论中，阐述了泥石流研究的对象、内容、任务、方法、意义、与其它学科的关系、泥石流研究简史和我国泥石流治理概况。第二章论述了泥石流体的基本性质，包括泥石流的定义、性质分类、组成结构和流变性质，为确定泥石流运动、物理力学参数值提供理论依据。第三章在分析了我国泥石流形成条件（含地貌条件、土源条件、水源条件和人为因素）的基础上，提出了二类（水力类和土力类）泥石流的形成过程及其相互转化关系，可为泥石流预测、预报和综合治理提供依据。第四章研究了各类泥石流运动过程的特征、运动机理和流态分类，试图增加泥石流运动学、动力学等方面的研究深度。第五章研讨了泥石流输移机理、输移过程和冲淤规律，可为防治泥石流的冲淤危害提供依据。第六章研究了泥石流某些特征（流量、流速、冲淤等）值的确定方法，这些方法可供泥石流工程设计选用或参考。第七章在吸取国内外各种泥石流分类经验后，提出了本书的各种单指标分类和综合治理分类系统，以期客观地反映泥石流

发生、发展与活动规律，指导泥石流综合治理。第八章在论证泥石流危害及其治理现状和趋势的基础上，提出了泥石流综合治理的原则、依据、措施和方案，可供泥石流治理选用。第九章在对治理泥石流生物措施分类研究后，商讨了泥石流地区宜林地造林的立地条件分类与区域划分，并指出了造林的不利条件与克服措施，这些可供我国西南山区一些泥石流治理借鉴。第十章对治理泥石流的工程措施进行分类，给出了治理工程设计中主要参数的确定方法和设计实例。

本书系集体编著，由吴积善编写第二、五、八章，田连权编写第一、三、七章，康志成编写第四、六章，张有富编写第九章，刘江编写第十章。全书由田连权负责统稿，吴积善校审，由华国祥教授、陈光曦高级工程师、沈寿长研究员和唐邦兴研究员等有关专家评审。鉴于著者水平有限，本书取材未能充分反映国内外泥石流研究成果与水平，内容不够全面，恳请批评指正。

本书承蒙陈光曦高级工程师、华国祥教授、沈寿长研究员、唐邦兴研究员等同行专家，以及姚德基编审等提供宝贵意见，承蒙本所从事泥石流研究、观测和实验的专业人员提供资料和数据，谨此一并致谢。

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 泥石流研究的内容和任务	(1)
第二节 泥石流研究与其它学科的关系	(3)
第三节 泥石流研究的主要方法	(5)
第四节 泥石流研究的意义	(8)
第五节 泥石流研究简史	(10)
第六节 泥石流治理概况	(13)
第二章 泥石流体的基本性质	(17)
第一节 泥石流的定义和性质分类	(17)
第二节 泥石流体的组成	(20)
第三节 泥石流体的结构	(28)
第四节 泥石流体的流变性质	(33)
第三章 泥石流形成的条件与过程	(56)
第一节 泥石流的形成条件	(56)
第二节 泥石流的形成过程	(81)
第四章 泥石流的运动特征	(92)
第一节 泥石流运动特征观测及研究概况	(92)
第二节 泥石流的流态分类	(96)
第三节 泥石流的运动特征	(101)
第四节 泥石流运动机理的讨论	(113)
第五章 泥石流的输移和冲淤	(121)
第一节 泥石流输移的机理与过程	(121)
第二节 影响泥石流输移的主要因素	(134)
第三节 泥石流的冲淤形式及其影响因素	(137)
第四节 泥石流的冲淤过程和沟床演变	(149)
第五节 泥石流堆积扇的堆积过程和演变	(155)

第六章 泥石流某些特征值的研究与计算	(164)
第一节 泥石流流量的研究与计算.....	(164)
第二节 泥石流流速的研究与计算.....	(170)
第三节 泥石流冲淤值的研究与计算.....	(181)
第四节 泥石流动力学研究与计算.....	(185)
第七章 泥石流的分类	(192)
第一节 泥石流分类概述.....	(192)
第二节 国外泥石流分类研究的历史与现状.....	(194)
第三节 中国泥石流分类研究的历史与现状.....	(199)
第四节 泥石流的分类.....	(202)
第八章 泥石流综合治理的原则和方案	(215)
第一节 泥石流的危害及其方式.....	(215)
第二节 泥石流治理的现状与趋势.....	(223)
第三节 泥石流综合治理的依据与原则.....	(227)
第四节 泥石流综合治理的方案与措施.....	(231)
第九章 治理泥石流的生物措施	(251)
第一节 生物措施的类型与作用.....	(251)
第二节 泥石流地区造林的立地条件与造林区划.....	(258)
第三节 泥石流地区造林的不利条件及其克服措施.....	(269)
第十章 治理泥石流的工程措施	(281)
第一节 工程措施的类型.....	(281)
第二节 主要设计参数的确定.....	(286)
第三节 泥石流治理工程的设计.....	(298)
英文摘要	(313)

第一章 绪 论

第一节 泥石流研究的内容和任务

一、泥石流概述

泥石流是山区常见的一种自然现象,乃是介于崩塌、滑坡等块体运动与挟沙水流运动之间的一系列连续流动现象(过程)^[1],大体上可视为山坡上或山谷内固(土体颗粒,简称土粒)、液(水或泥浆)两相流体或伪一相流体。它是各种自然因素、以及人为因素综合作用的产物,以其突然暴发、速猛奔腾,给山区生态环境,山区经济发展,山区人们生活、生产造成深重灾难。这种灾难随着山区建设、资源开发、人类社会发展,与日俱增,从而引起人们关注。

在国内外文献中,“泥石流”这个术语的名称繁多^[2]。诸如俄文为 Сель, Силъ, С-ейль, Сейлю, Селяъ等;英文为 Mudflow, Mudavalanche, Debris flow, 法文为 Torrents, Mure; 德文有 Widhach, Mûre; 日文有山津波(浪)、土石流等。我国各地山区亦有不同称谓。比如,西北山区称为“流石流泥”、“流泥”或山洪;东北山区称为“山啸”、“山膨”;华北燕山地区称为“龙扒”;太行山区又叫为“水泡”、“出浆子”或“石洪”;南方山区称为“起蛟”;川滇山区称为“出龙”、“走蛟”、“打地炮”;西藏东南山区唤为“冰川暴发”等。由此可见,泥石流广布于全球各地山区,而对它的研究尚处于探索阶段^[2-7]。

泥石流与块体运动、山洪一样,均属山区地貌现象,它侵蚀搬运山区松散物质,促使山体高度降低;又堆填、淤高山谷或山麓地带,加速山体地貌演化。

泥石流与水流相似处在于:它们均具有流动性特征,即流体横断面上存在着流速梯度。这便是其区别于山坡块体运动之处。泥石流又以泥、沙、石块等土粒物质含量高,流体浓稠,粘性强而不同于挟沙水流,从而致使泥石流具有结构性、惯性强、搬运力大、破坏性强和分选性差等特征。这些特征又与山坡块体运动相反。再从泥石流的源地和暴发时刻来看,它均介于坡面块体运动与山洪之间的地段和时段。

泥石流乃是山区一种自然灾害。1970年5月30日秘鲁杨格镇附近暴发的泥石流,流速之快(80—90m/s)、搬运土量之多(达 $5 \times 10^7 \text{m}^3$)、流程之长(160km)、死亡人数之多(1.8×10^4)为全球所罕见^[8]。1985年11月13日哥伦比亚火山再次喷发,熔岩融化山顶积雪,导致泥石流暴发。泥石流咆哮着冲进几个沉睡的村镇,吞噬了 2.5×10^4 人,成为最严重的灾害,被列入当年全世界重大事件之一。1891年四川西昌城郊东河暴发泥石流,泥石流冲毁城区5条街,死亡1000余人,其灾情仅次于1850年西昌地震震害。1953年9月29日,西藏波密古乡沟暴发泥石流,它的表面流速达10—20m/s,峰值流

量达 $2.86 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$, 一次总体积达 $1.7 \times 10^7 \text{ m}^3$, 堵断波都藏布江, 回水淹没大量农田、村寨和森林^[9]。

滇东北蒋家沟流域年年均要暴发泥石流, 峰值流量可达 $2812 \text{ m}^3/\text{s}$, 大于其沟口干流——小江实测最大洪峰流 5 倍, 故曾多次堵断干流, 回水淹没农田, 危害公路、铁路和厂矿等。1968 年堵江 3 个月期间, 仅东川矿务局增加交通费用一项, 损失人民币达 150 万元。我国铁路沿线泥石流沟数达 1368 条¹⁾, 轻则断道阻车, 重者颠覆列车, 车毁人亡。泥石流毁坏过并仍威胁着全球山区许多城镇。解放以来, 我国遭受泥石流灾害的城镇达数十座, 其中包括兰州市、武都市、天水市、雅安市、西昌市、攀枝花市、华蓥市、都匀市、东川市等。一次泥石流灾害的损失少则几万至几十万元, 多达几千万元, 乃至上亿元。由此可见, 防治泥石流已成为我国山区社会、经济发展中急迫研究的课题。

二、泥石流研究的内容

泥石流研究的内容十分广泛, 大体包括如下四方面的内容 (图 1-1)。

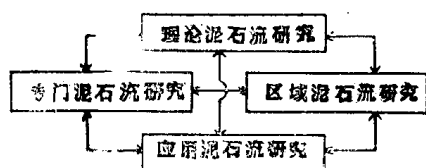


图 1-1 泥石流研究内容的框图

(1) 理论泥石流研究 这乃是泥石流形成、运动与堆积的全过程及其机理等方面的基础理论研究。其中包括泥石流形成条件, 形成过程, 暴发频率, 流体结构、性质、规模和危害度的研究等。

(2) 区域泥石流研究 研究的主要内容为各区泥石流发生、发展的规律性 (一般性和特殊性)。泥石流区域的范围可小可大, 小到不足 1 km^2 的冲沟、切沟泥石流流域, 大到全球山区, 故有级差性, 即有全球泥石流、洲际泥石流、山系 (或水系) 泥石流 (含中、小流域泥石流)。

(3) 专门泥石流研究 研究的主要课题有水下泥石流 (浊流)、陆上泥石流; 自然泥石流、人为泥石流; 地震泥石流、火山泥石流、崩塌泥石流、滑坡泥石流、散流坡泥石流、侵蚀沟泥石流、溃决泥石流; 雨水泥石流、融水泥石流; …等等。

(4) 应用泥石流研究 主要的内容有防灾、开发资源、改善和提高环境质量等方面的课题。现阶段侧重于泥石流的预测、预报和警报方面的基础性研究, 着重于泥石流灾害的预防和治理方面的实践研究以及探索与泥石流有关的资源开发方面的利用研究。本书偏重于防治泥石流灾害方面的研究, 包括泥石流对城镇、工矿、村寨, 对公路、铁道、航道, 对农田、草地和森林等方面危害的防治研究。

三、泥石流研究的任务

当前, 不同国家、地区和部门研究泥石流的深度和广度不等, 研究的偏重点也有差异。就我国来说, 宜在理论泥石流和区域泥石流广泛深入研究的基础上, 对全国泥石流

1) 谭炳炎, 中国铁路沿线泥石流病害及防灾综合研究 1988。

进行危险度区划；在研究泥石流形成机理过程中，拟定泥石流预测、预报方案；在泥石流运动规律研究基础上，提出泥石流警报方案和研制报警装置；在以小流域泥石流综合研究的基础上，进行泥石流灾害综合治理试点研究。本书着重于理论泥石流研究和泥石流灾害综合治理方面研究。

小流域泥石流综合治理方案取决于灾害程度、防灾能力和具体目的要求。本书着重于防治整个小流域泥石流灾害，包括泥石流对各个部门、各个区段和邻近区段的危害，从而可获得明显的社会、经济和环境效益，具体地说有如下三个方面的任务。

(1) 防治城镇泥石流灾害 山区城镇是山区政治、经济、文化和交通的中心。其中许多城镇却遭受过或潜伏着泥石流灾害。我国这类县级以上的城镇可达数十座，只有控制和消除泥石流灾害，才能稳定社会秩序，安定人心，保障城镇发展，进而带动广大山区发展。

(2) 防治泥石流对山区生态环境的危害 泥石流频频暴发，此起彼落，不仅直接危及山区居民的劳息场所，也破坏山区生态平衡，使水土流失加剧，毁坏耕地、草场，山泉枯竭，洪灾频繁，江河湖库淤积加剧，危害范围迅速扩大，山区及其邻近平原地区的环境质量迅速降低。通过治理，便可改善和提高泥石流山区的环境质量。比如，四川凉山黑沙河流域、西昌东河流域、云南盈江浑水沟流域及其邻近地区的环境质量均得到明显改善。

(3) 防治山区资源开发中的泥石流灾害 通过泥石流治理，减轻了云南盈江盆地20余万亩农田洪涝灾情，扩大了云南东川大桥河流域农田数千亩，增加四川凉山从西昌东河流域到黑沙河流域的数万亩人工森林。

第二节 泥石流研究与其它学科的关系

泥石流研究是一门新兴的学科。它的产生、发展源出于山区资源的开发和社会、经济的发展。泥石流又是一门理论性和应用性较强的学科，山区国土规划、环境保护、资源开发、城镇、工矿和交通设施等的基本建设，农、林、牧、副业的发展等，均需按各自的需求，对泥石流的利弊，作出不同处理。泥石流研究要为山区经济建设和经济发展提供科学依据。这客观的需求又促进泥石流研究的迅速发展。

泥石流研究属于边缘学科，大体上归入地学范围，为山地（地理）学之一。对泥石流的发生、发展、物质组构、运动过程和堆积规律的研究，将涉及地学（地质学、水文学、气象学、地貌学、植物地理学、土壤地理学等）、力学（土力学、水力学、流变学）、化学（土化学、水化学、地球化学、胶体化学）、生态学、环境保护（水土保持、环境污染等）和灾害学（地震、火山、崩塌、滑坡、洪涝、火灾）等（图1-2）。



图1-2 泥石流研究与相邻学科关系图

一、泥石流研究与地学的关系

泥石流系全球山区（和水底）的自然现象之一。始于地球发展历史中的岩石圈、水圈和大气圈出现之时，继后，随着生物圈的出现和发展，尤其是人类的出现和社会、经济的发展，影响泥石流发生、发展的因素不断增多。这些因素包括构造、岩性、地形、火山、地震、冰川、冻土、水土流失、气象、水文、土被、植被和人为活动（毁林、陡坡垦殖、人工爆破、开矿、筑路、修渠、造库和环境污染等）等。研究这些因素对泥石流发生、发展的影响，往往吸取地学研究的成果和方法。而泥石流研究的成果亦可丰富地学的内容。

泥石流既是一种外营力地貌现象（过程），又是一种外营力地貌过程（现象），其土体均系岩层破碎、失稳的产物。岩层的破碎不外遭受二种作用，即内力作用和外力作用（主要为风化作用）。岩石的内力破碎作用主要有断裂、火山和地震作用等。我国活火山稀少，故缺少火山型泥石流。地震活动却十分强烈。在强烈地震带（烈度大于7°）内，地震强烈震动中可产生地震断层、地震崩塌、地震滑坡等^[10-11]，致使断层两侧岩层更趋破碎，崩、滑活动进一步使山体岩或风化壳层松动、下移，甚至堵断沟道。这可为泥石流储供大量土体；地震震动中又可改变地下水流路，一旦地下水汇集于松散土源地段，便激发地震泥石流。故强烈地震带往往又是泥石流强烈活动带，强烈地震年份或稍后年份又是泥石流频繁活动的时期。可见，泥石流研究与地质学、地震学的关系甚为密切。

风化作用致使山体岩石破碎成块、成粒、成粉、成粘。这一过程又受地表自然地带性规律制约，一般情况下，从赤道湿热地带向北南两极地带过渡，风化作用强度减弱，风化壳层厚度减薄，粒度增大。故泥石流一般发生在湿热地区，泥石流发生在两极、高寒或陡急山区。而岩石抗风化程度差异颇大，故又可分为若干类岩石，易风化的粉质岩、页岩、泥岩、板岩等地区，都易暴发泥石流；不易风化的碳酸盐类岩石、块状玄武岩、石英岩等地区，便不易暴发泥石流。

泥石流研究与地貌学的关系甚为密切。泥石流与崩塌、滑坡、河流、冰川、冻土等地貌作用一样，均为地貌演变的外营力过程之一。泥石流一旦暴发，自源地至堆积区的沿程途中，均在程度不同地既接受着各种地貌条件的影响，又改造着原有的种种地貌条件，同时塑造出新的地貌特征^[12]。对这些地貌过程的研究，宜采取地貌学的理论和方法。

泥石流研究与气象水文学的关系颇为密切。泥石流水源主要来自大气降水（雨、雪等），且又受地面各种汇流条件制约，故研究泥石流的激发雨量、雨强和激发泥石流的径流量等均需采用气象水文学方法^[9, 13]。

泥石流始发的三个主要临界条件（纵坡、水量与土层厚度）除彼此关系十分密切外，还与地表的植被、土被等有关。研究植被、土壤与泥石流形成的关系，可为采用生物措施治理泥石流灾害提供依据。

由上可见，泥石流研究与地学的关系十分密切。

二、泥石流研究与力学的关系

泥石流运动的动能主要由饱水土体或水流的势能转化而来。阐明这一转化过程以及泥石流运动过程中能量损耗过程等均需涉及到土力学、水力学、静力学、动力学、结构力学、工程力学和流变学等。只有从能量守恒原理出发，才能建立起准确的泥石流运动方程。

泥石流既是一种自然灾害，又是一种环境恶化的表现和因素。这种灾害还与山崩、滑坡、水土流失、洪涝灾害和森林火灾等有同发性、伴生性或亲缘关系。防治这种灾害还采用社会、经济、环境保护和生物工程措施等，因此便与生态学、环境保护和防灾学发生有密切关系^[14]。

在从相邻学科吸取营养的同时，随着泥石流理论的深入研究，势必充实、丰富相邻学科的内容。比如，泥石流全过程的研究成果，将丰富地貌学和管道输送方面的理论，亦可增添研究古地理环境的新手段等。

可见，泥石流研究不是一门单一的、孤立的学科，而是一门与相邻学科密切联系着的边缘学科。

第三节 泥石流研究的主要方法

泥石流研究的方法颇多，大体上可概括为如下几方面的方法（图 1-3）。

一、泥石流调查分析法

采用泥石流调查方法，以利确定泥石流的形成条件、暴发频率、运动参数、力学性质、冲淤规律，沟、坡地貌演变，危害的程度、方式与范围，防治灾害的可能性、必要性，治理规划方案与治理措施布局等。具体方法有下列 6 种。

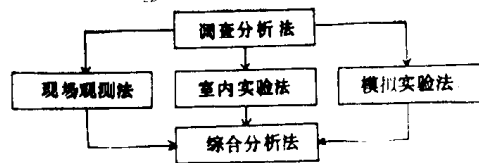


图 1-3 泥石流研究方法框图

(1) 形态计量法 对一个泥石流流域的特征，需进行量计和形态描述。比如，流域的汇水面积；土源地面积、土体方量、沟道形态（长度、沟宽、纵坡），水土源地的分布、面积、补给方式、速度，泥石流汇流沟道的特征（长度、宽度、卡口、纵坡），泥石流堆积淤埋区的范围、形态、淤埋速度和危害情况等。

(2) 气象水文统计法 在野外调查确定泥石流水源类型、始发雨量、始发径流量、泥痕等资料的基础上，还需收集、分析气象、水文资料，才利于确定泥石流某些运动参数。比如，各种频率的泥石流流速、流量、泥深（位）、暴发频率（间歇期）、冲击力和发展趋势等的确定。

(3) 航片、卫片判读法 当在无法通行的泥石流地区，或欲迅速获取大面积上的泥石流资料，便可采用航片、卫片判读法。这是一种费省效宏的方法，但必须与必要的野外调查相配合。

(4) 访问调查法 利用对当地长住居民的访问,可获得近几十年来有关泥石流资料。比如,泥石流暴发的次数、各次泥石流暴发日期时辰、泥石流规模的相对大小、成灾程度、危害的方式与范围等。

(5) 年代法 采用该法可追溯泥石流暴发的历史,即从几十年到几亿年的历史。具体的方法有树木年轮法、地衣法、 ^{14}C 法、 ^{137}Cs 法、砾石氧化环法、历史文献记载、地层古生物法等。例如,采用 ^{14}C 法确定了云南东川蒋家沟泥石流始发于晚更新世,尔后又发育全新世(古)泥石流和近代泥石流。

(6) 泥石流相关堆积相法 泥石流一旦暴发,便同时存在着侵蚀作用和堆积作用。泥石流的侵蚀作用使源地地形不断降低;泥石流堆积作用使堆积区地形不断堆填增高。这两种作用从成因上和年代上是同生共存的。而“相”则为泥石流堆积层所反映出的沉积条件和环境,包括泥石流堆积层的粒度、孔隙度、结构、构造、颜色、生物遗体以及它们的空间分布和时间(剖面)上的变化等。本书采用此法对四川凉山黑沙河泥石流堆积扇分出3期,即红扇堆积期、黄扇堆积期和黑扇堆积期。

二、泥石流现场观测法

泥石流现场观测主要测定泥石流运动、力学等方面的参数和研究泥石流发生、发展的动态变化。

一条沟道内泥石流的动态变化取决于流域内物源(水源和土源)、底床条件和堆积区等的变化。于是,泥石流动态观测法相应地分为四方面的研究方法,即泥石流流体动态观测法、底床动态观测法、物源动态观测法和堆积动态观测法。

(1) 泥石流流体动态观测法 采用该法一般均宜设置观测断面。在断面上,测量流体(含泥石流和水流)的深度、宽度、速度、流量、总方量、冲击力、地声(对沟岸的振动波),分析流体的成分、组构、性质与运动参数值之间的关系等。

(2) 泥石流底床动态观测法 该法系采用多次观测资料之间的变化来确定底床的动态变化。测量方法有断面测量,陆地摄影测量,航片、卫片判读,系留气球遥感摄影测量等。

(3) 泥石流物源动态观测法 除用气象-水文法确定泥流水源动态变化外,还需采用各种方法确定各类源地的土源动态变化。比如,对泥石流滑坡源地,需采用滑坡动态观测法;对崩塌坡源地,需采用崩塌动态观测法;对散流坡源地,就采用片流泥沙观测法或散流坡侵蚀桩观测法等。

(4) 泥石流堆积动态观测法 使用该法时,首先需区别泥石流堆积范围,淤埋情况,研究各次各类泥石流堆积空间的变化和彼此相互关系;其次,亦需采取剖面法,研究确定泥石流堆积速度及其在时间上的变化,进而追溯泥石流的发展历史和推测泥石流堆积范围扩展趋势。具体方法可采取堆积区地形测量法、陆地摄影法、埋设堆积速度桩法等。

三、泥石流室内实验法

泥石流流体及其流域特征值,包括流体的性质、组构、特征,流域的几何特征值及其变化等,均需大量室内实验研究确定。大体上可归纳为如下几种具体方法。

(1) 泥石流颗粒粒度分析法 该法可测定泥石流流体的粒度成分,再分别与源地、堆积区粒度成分对比,既可确定泥石流物质的来源及其构成,又可揭示泥石流运动、堆积过程中颗粒的分选情况。此外,还可采用岩石矿物分析法,土、水化学成分分析法, ^{137}Cs 法、粘土矿物分析法等来确定泥石流的物源及其构成。

(2) 泥石流流体的物理力学分析法 该法可确定泥石流流体的容重、颗粒的比重、孔隙度、水土比、流变曲线、静切力、冲击力、地声的频率和振幅等值。这些泥石流的基本资料既是深入研究泥石流的宝贵资料,又可为防灾设计和预警报提供依据。

四、泥石流模拟实验法

鉴于泥石流往往暴发于崇山峻岭,偏僻山区,又多出现于夜晚,这就给泥石流观测研究带来极大困难。于是利用模拟实验法,便可加快泥石流研究的进程。比如,数学模拟法、模型法、人工泥石流法等。

(1) 人工泥石流法 该法宜在泥石流源地进行,在水、土源条件得到人为控制下,对所暴发的泥石流进行全过程研究。此法在苏联小阿拉木图河道内采用过,我国先后在四川凉山黑沙河流域、云南盈江浑水沟流域、东川大桥河和会泽大沟等流域内采用过,属原型泥石流试验,可收到事半功倍效果。但实验条件难以控制,泥石流资料的精度有限。

(2) 泥石流模型实验法 据自然泥石流及其流域特征,以一定比例缩小,呈现于模型台上,进行研究和分析。此法的优点是可准确控制实验条件,资料精度高。但与泥石流原型的相似程度的理论,尚不成熟,加之费用昂贵,故尚在探索中^[15]。我国进行过模型实验的泥石流沟道有四川凉山懋农河(1966)、黑沙河(1968),攀枝花市三滩沟(1976),陕西元龙镇沟(1964),甘肃武都火烧沟(1970)^[15]等。

五、泥石流综合分析法

无论对泥石流的形成机理、运动特征和冲淤规律研究,或者确定泥石流发展趋势、危害程度和防治方案等,均需采取综合分析法,方能取得较好成果。诸如,在颇多泥石流形成条件(因素)中,只有采用综合分析法才能确定形成泥石流的主要条件和一些临界值;再如,在研究泥石流危险度时,除考虑泥石流(规模、性质、危害方式)外,还需研究灾区社会、经济状况,才能决定泥石流危害的程度和泥石流灾害防治的方法与措施等。

综合分析法尚须研究与泥石流有关、并往往相伴生的崩塌、滑坡、山洪、水土流失等灾害。只有这样,才能确定各自的特征和彼此间的关系。

在泥石流研究中, 上述许多方法是在野外进行的, 但也有在室内和实验室中进行的。总的来说, 野外研究是基本的。使用精密仪器可提高泥石流研究成果的精度。仪器随科学技术的不断发展而变化着, 故须不断改善、更新或研制新仪器。

第四节 泥石流研究的意义

人类在泥石流地区从事活动 (含社会、生产、军事等), 便与泥石流发生了关系。这种关系不外乎有三, 即有害无利、无害无利和有利无害。人类要把有害变为无害, 进而变为有利, 就得研究泥石流, 创建泥石流研究的理论与方法。这些理论和方法的实用范围有如下几个方面。

一、山区资源利用方面

山区自然资源较为丰富, 诸如气象资源、土地资源、能源资源、水资源、生物资源、矿产资源等。开发这些资源往往要注意防治泥石流灾害。

(1) 土地资源利用方面 目前我国泥石流地区多数处于自然经济状态, 一般以农业为主, 随着人口不断增长, 垦植面积迅速扩大, 由缓坡至陡坡, 直至 25° 以上的急陡坡, 林、灌、草等生物资源利用过度, 并遭受不同程度破坏, 导致水土流失加剧, 水、土地资源质量迅速下降; 崩塌、滑坡、泥石流、干旱、洪涝灾害频繁发生, 进一步削减土地、水、生物等资源, 致使泥石流山区经济难以振兴。落后的自然经济, 粗放的耕作方法和不合理的利用资源又促进灾害频频发生, 如此恶性循环, 酿成了山区经济长期处于贫穷落后状态。可见, 只有合理利用山区资源, 经济上富起来, 才有财力治理灾害; 防治了灾害, 又才能保障和促进灾区社会、经济的发展。

(2) 矿产资源利用方面 任何国家经济的发展均需有原材料基地。在基地的新建和扩建过程中, 若忽视泥石流灾害, 往往会造成深重灾难。比如, 1984年5月27日黑山沟泥石流迫使云南东川因民铜矿停产半月之久。还可由于在矿山新建或扩建中增加水、土补给量, 又可造成人为的矿山泥石流灾害^[16]。而这两类泥石流已给我国矿山建设带来严重的经济损失和人员伤亡^[10]。防治矿山泥石流、道路 (铁路、公路) 泥石流和城镇泥石流等的灾害, 宜于始自规划阶段, 当然在建设阶段和生产过程均需时时提防。

(3) 水资源利用方面 山区水资源包括水利、水力两个方面。泥石流对水利、水力资源开发均可带来严重损失。比如, 1979年云南怒江州一次山洪泥石流毁坏农渠2593条, 1986年临沧地区一次泥石流毁坏农渠9056条, 防洪堤坝1950处。1986年7月13日思茅、普洱等4县接壤地区暴发泥石流, 泥石流冲毁小型水库堤坝4道、塘坝76座, 河堤长16.7km, 渠道2321条 (长2000km), 毁坏小水电站39座 (总装机容量4515千瓦)。1986年7月26日凌晨, 云南一股强大的泥石流把漫湾水电站工区内一座桥梁卷进了澜沧江; 28、29日山洪和泥石流又冲断了工地与南涧、云县、景东和临沧之间的公路, 致使数十个工作面, 万余人施工工作被迫停工, 生活困难。可见, 山区水力、水利资源开发中, 必须防治泥石流灾害。

二、经济建设方面

山区经济建设是促进社会经济发展的必要条件。山区建设包括城镇居民点网、交通网、动力网、通讯网和给排水系统等。在这些基本建设的规划、实施和运行中均需防治泥石流灾害。

(1) 城镇居民点网建设 我国遭受过或可能遭受泥石流危害的县城以上的城镇达数十个,其中包括兰州市、攀枝花市、武都市、东川市、雅安市等省辖市。一次泥石流给城镇带来的损失颇为严重,少则数十万元,多达数千万元,乃至上亿元,死亡人数可达数百人,乃至上千人(比如,1891年西昌市东河泥石流)。通过四川喜德、南坪和西昌市等城镇泥石流治理表明,城镇泥石流灾害是可治理的^[17-19]。

(2) 交通线路网建设 在一定时期内,我国山区的交通运输还依赖于公路、铁路和内河航运。而泥石流正是阻碍交通运输的重要灾害。比如,1981年雨季泥石流灾害,导致四川出川铁路几乎全部断道阻车。全国铁路沿线泥石流沟多达1368条。全国公路沿线泥石流大大超过此值。金沙江下游(金江街以下)江道险滩将近400个,其中85%为两岸支沟泥石流或山洪汇入、堆积、堵塞所致。金沙江下游航道的开辟,主要为防治泥石流危害。通过交通部门、科研单位、大专院校等各方努力,治理了不少泥石流沟,始能保证成昆铁路、宝成铁路等8条铁路干支线和许多条公路通行^[5,7]。但仍需努力,方能达到畅通,杜绝断道阻车。

(3) 工厂、矿山建设 泥石流对山区工厂、矿山往往带来严重灾害。比如,1987年6月24日黔东南都匀市的南华仪表厂遭受泥石流灾害,泥石流淤埋厂区面积 10^3m^2 ,淤埋厚度达2m,损失250余万元,全厂停产2个月。1979年四川攀枝花市501电厂遭受一次泥石流灾害,直接损失 8×10^6 元,间接损失 2×10^7 元。1984年5月27日滇东北东川矿务局因民铜矿遭一次泥石流灾害,在30秒钟内淤埋建筑面积达 $5\times 10^4\text{m}^2$,死亡120人,全矿停产半个月,商业停业,学校停课,带来了深重灾难^[20]。可见,山区工厂、矿山的新建、扩建中,须注意防治泥石流灾害。

(4) 农田水利建设 山区农田水利设施既可遭受自然泥石流危害,又可因水利设施失事,酿成人为泥石流灾害。比如,1986年7月中旬云南普洱、墨江、江城和思茅4县接壤地区遭受泥石流、山洪灾害,除毁坏大量水利设施外,还阻塞公路涵洞280个,冲毁挡土墙 $3\times 10^3\text{m}^3$,毁坏公路桥30座、人行桥33座,通讯线倒杆断线长250km,毁坏农田6万余亩,死亡63人,直接损失达 2.69×10^8 元。这次受灾面积达 800km^2 。1981年夏季四川盆地四周山地泥石流灾区面积更大,给农田水利设施带来的损失更为严重^[21]。此外,农田水利设施失事引起的人为泥石流时有发生。比如,1976年四川米易水陡沟上游一座小型水库堤坝溃决,酿成溃决型泥石流,泥石流淤埋成昆铁路线上的弯丘火车站,致使该线断道达7昼夜。农渠渗漏亦可引起泥石流灾害。这样的实例在我国山区屡见不鲜。可见,山区农田水利建设和运行管理不仅要防治自然泥石流危害,而且也要防治人为泥石流灾害。