



中国 泥石流研究

康志成 李焯芬 著
马蔼乃 罗锦添



科学出版社
www.sciencep.com

中国

泥石流研究

王世杰

中国泥石流研究

康志成 李焯芬 著
马蔼乃 罗锦添

资助单位:香港大学

支持单位:中国科学院东川泥石流观测研究站

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书是中国泥石流灾害防治和观测研究的基本成果,也是中国近 40 年来泥石流特征、性质和基本规律的实录。特别是香港特区斜坡灾害中的泥石流问题,在中国泥石流研究中占有特殊和重要的位置。因为它是台风雨引起的灾害,所以它的内容包括泥石流的形成、形成过程、形成模式、运动、动力、物质特征及防治体系,特别是香港泥石流的防治措施和风险管理对其他地区均有借鉴作用。

本书可供从事泥石流研究和教学的有关人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国泥石流研究/康志成等著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-013800-7

I. 中… II. 康… III. 泥石流-研究-中国 IV. P642.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 064859 号

责任编辑:谢洪源 朱升堂/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 10 月第 一 版 开本:A4(890×1240)

2004 年 10 月第一次印刷 印张:16 3/4 插页:20

印数:1—1 500

字数:535 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

序

1973年的6、7、8三个月,北京大学地质地理系地貌教研室一行4人应原中国科学院兰州冻土冰川沙漠研究所之邀,赴云南东川蒋家沟泥石流观测站进行泥石流的野外定位观测研究。同年10月我应康志成同志的邀请,赴兰州进行泥石流的动力地貌研究总结,完成了6万字的泥石流动力地貌研究报告。之后,我就再也没有机会研究泥石流的问题了。30年后的10月金秋季节,康志成同志拿着即将呈现在读者面前的书稿,诚恳地要求我审查书稿,特别是泥石流的动力地貌部分,他很谦虚地表示几十年来东川泥石流观测站所观测的资料,一直是在1973年写的泥石流动力地貌基础上进行的,因此邀请我作为作者参加本书的完稿与终审。

该书实际上是康志成同志自大学毕业后,在职期间几十年,从未间断地、年复一年地在东川蒋家沟泥石流观测站,进行野外定位观测的成果。在此基础上,结合对国内外泥石流的研究而进行的总结。在他退休后,又赴香港研究香港的泥石流3年,始终在泥石流的研究中灌注了全部的心血。全书实际上共分两大部分,前部分可以看作是宏观泥石流研究;后部分可以看作微观泥石流研究(类似于宏观经济与微观经济,而不是物理学中的宏观与微观)。

中国是泥石流的博物馆,每年都有十几次到几十次阵性泥石流的蒋家沟泥石流是世界上独一无二的,在这种环境中的研究积累,无疑是世界水平的经验,康志成同志几十年专注的研究,是值得地理科学界所称赞的,是值得我们所钦佩的。2007年将在中国召开第四届国际泥石流会议,这本书可以作为中国泥石流研究的主要代表作之一,届时期望该书能够译成英文发表。

在动力地貌学中,泥石流既不同于水流,也不同于土流,是两者之间的现象。从力学上看,是流变力学中各种过渡的力学性质,是水力学与土力学之间的问题,因此是一种复杂性的力学现象。蒋家沟泥石流由于地处小江断裂地震极度频繁的地区,由元古宙变质板岩、页岩、泥页岩组成的山体已经十分破碎,蒋家沟的泥石流虽然不是暴雨型的泥石流,但在前期降雨20mm,山坡土层被浸泡,只要再降20mm的雨,就能产生泥石流,因此称为“雨洪型泥石流”。由于岩性的原因,泥石流中黏粒组分很高,往往达到10%以上,因此泥石流的泥浆浆体很黏稠,能够悬浮托起巨大的土体与石块,其容重可以达到 $2.2\sim 2.4\text{g/cm}^3$,形成速度达到15m/s以上的阵性泥石流,具有“龙头”拖着“龙尾”的、“雷声隆隆”的、“风驰电掣”的、“排山倒海”的、“咆哮奔腾”的极其壮观的泥石流景象,世界罕见。

康志成同志在研究蒋家沟泥石流的基础上,关注中国的泥石流,乃至世界的泥石流,从泥石流的概念、定义、灾害、危害、分类、分布、分区、成因、实验观测、力学原理、动力地貌,到工程性的防治与对策,全面地、概要地阐述了泥石流现象。对于初学者来说,本书是泥石流的入门;对于中国泥石流的观测研究者来说,是一本阶段性、总结性的专著。

东川蒋家沟泥石流观测站是一个国际性的、开放的定位观测站,有志于研究泥石流的国内外学者,都可以到该站去研究,相信在过去研究的基础上,今后泥石流的研究会更加深入和完整。

马蔼乃

2004年1月

于北京大学燕南园

前言

泥石流作为一种自然灾害现象已在世界范围内引起广泛的重视。泥石流可由暴雨、冰雪的急剧消融、以及火山爆发、地震和溃堤引起。在上述所有引发泥石流的灾害中,惟独火山爆发造成的泥石流灾害最为严重。例如,1980年美国圣海伦斯火山(Mount st. Helens)引发的一次大泥石流,虽然造成的人员伤亡不大,但它摧毁了邻近山坡和谷内的森林植被,并在山麓下形成了一个巨大的冲积扇;1985年哥伦比亚的 Nevado del Ruiz 的 Ruiz 火山爆发引起的火山泥石流使 20 000 多人丧身;1991年菲律宾的 Mount Pinatubo 火山爆发后,随后的暴雨引起的泥石流埋葬了附近的城镇和乡村。

日本国受地震和火山的影响很大,其泥石流灾害多发生在地震、火山爆发的山区,这些山区有大量的火山灰和火山碎屑岩,在遭受暴雨时常常发生泥石流。例如:富士山、烧岳山和云仙—普贤岳火山。像云仙—普贤岳火山,从 1663 年首次记录爆发火山以来,共发生了大的火山爆发 14 次。这些火山地区由于缺乏细粒物质(主要是 $0.005\sim 0.05\text{mm}$),因此泥石流几乎都为非黏性水石流性质。最近一次是 1991 年 6 月 3 日火山爆发,大量的火山灰和碎屑物沉积在山坡和沟道内,到了 1993 年 4~7 月间,出现了几次强暴雨而引发了 7 次大的水石流灾害,给日本的岛原市带来严重的危害。日本国深受火山地震后期因暴雨引发的泥石流灾害,他们的研究和防治对策虽比欧美各国晚,但进展很快。现在他们已弄清全国泥石流沟道有 62 272 条,受灾总户数达 102 万户,有专门的研究和防治机构。泥石流在日本已发展成一门专门的学科,称砂防学。高桥保的水石流理论和机理研究,水山高久的水石流防治对策研究,不仅在日本国有很大的影响,而且也影响到中国。

前苏联地域广阔,受泥石流危害和影响的地带多为冰雪覆盖的高山区,它们在炎热高温的夏季常常引起高山冰川和积雪强烈消融,导致冰川湖溃决或河水猛涨,携带走大量冰碛物,由此而形成的泥石流常常对下游的城镇居民造成严重灾祸,是当时苏联政府重视泥石流研究和防治的主要原因。例如,1963 年 7 月 7 日,阿拉木图市的伊克塞镇遭受了来自它上面有 8000 年历史的伊克塞湖溃决形成的一次泥石流灾害,其流量达 $1000\text{ m}^3/\text{s}$,容重为 $2.0\text{t}/\text{m}^3$,冲毁了镇上的数条街道,酿成巨灾。后来经调查发现,是伊克塞湖上游的一条冰川强烈融化而引起的。1973 年 7 月 15 日小阿拉木图也是因为其上游的冰川强烈融化导致泥石流冲毁冰碛堤形成泥石流,其容重为 $2.0\text{t}/\text{m}^3$,流量高达 $2000\sim 3000\text{m}^3/\text{s}$;冲毁了下游的两座拦沙坝,堆积在下游的泥石物达 400 万 m^3 。1947 年苏联科学院泥石流委员会成立,在苏联解体前的 30 多年中,共召开全苏泥石流学术会议 14 次,专门论述泥石流的专著有几十部。这些文献主要通过水文学、水利学和流体动力学来探索泥石流的基本规律。他们的学术概念影响中国泥石流研究和防治工作近 30 年(1950~1980)。最有影响的苏联泥石流学者是弗列斯曼,他有两本泥石流专著,即《泥石流及其散布地区的道路设计》和《泥石流》分别在 1957 年和 1986 年译成中文。

欧美泥石流防治工作开展得很早,17~18 世纪在阿尔卑斯山区周边的一些国家(奥地利、法国、意大利、瑞士等),就开始出现因高山冰雪消融引发的泥石流灾祸,到了 19 世纪中期,就成了这些国家的严重问题。19 世纪末和 20 世纪初,阿尔卑斯山周边的国家,颁布了森林保护法,并出现了坡地梯田化、植树造林和水利工程相结合的综合治理,有效地控制了阿尔卑斯山区泥石流的发展。这些国家的泥石流灾害治理措施和分类风险管理是很先进和有效的。第三届国际泥石流学术会议 2003 年 9 月在瑞士召开,给与会代表展示了阿尔卑斯山区泥石流灾害防治的这些先进成果。美国早期(大约在 20 世纪初),由于对西部地区的开发速度加快,因此这个地区的泥石流灾害严重的影响着该地区的经济开发,特别是加利福尼亚的洛杉矶地区显得更为突出。从 1915 年开始,对该地区进行了系统的治理,如修筑拦沙坝 105 座,停淤库 28 个,修排洪沟总长 22 600km,同时加强了森林防火工作,使泥石流治理取得了显著效益。1980 年 Mount st. Helens 发生火山泥石流造成重大灾害,引起美国公众和政界的极大关注,美国一大批地质调查局的工程技术人员投入了此项的调查和研究。泥石流无论是火山还是暴雨引起的,在美国都将它作为一种地质过程来研究。从 20 世纪 80~90 年代,除了日本泥石流研究和防治对中国产生影响外,就算美国地质调查局的一批工程技术专家,他

们中最有影响的是 Richard M. Iverson 和 Kevin M. Scott。

暴雨泥石流虽然不像火山爆发引起的泥石流那样严重,但它分布广,频率高,数量多,总体成灾损失(主要指生命、财产损失)远远大于火山泥石流。2003年4月1日发生在玻利维亚的一宗暴雨泥石流灾害中,至少造成214人死亡,这是继哥伦比亚1985年由于火山爆发导致的泥石流灾害之后,人类进入21世纪又一严重灾祸。因此暴雨(包括台风雨)泥石流灾害成因及防止问题将成为各国关注的焦点。中国是个暴雨泥石流受灾大国。据最近统计,中国泥石流分布面积有430万 km^2 ,有泥石流8万多处,每年有250~500人死于泥石流灾害,造成的经济损失达15~20亿人民币。最突出的暴雨泥石流成灾事例有:1981年7月9日四川省甘洛县李子伊达沟暴雨泥石流冲毁桥梁,使一列客车坠入泥石流沟内,造成200多人丧身,经济损失超过2000万元人民币。1984年5月27日,云南省东川市黑山沟暴雨泥石流冲进矿山居民区,造成120多人死亡,经济损失达1100万元人民币。2002年8月14日,云南玉溪市新平县,暴雨引发滑坡泥石流灾害,造成60多人死亡,10多人受伤。1997年6月5日四川省美姑县则租因暴雨引发滑坡泥石流,造成151人身亡,直接经济损失达1500万元人民币。1990年9月11日在香港特区新界西部图门附近的青山东侧的高位山坡上,因特大暴雨引发了一场崩塌型泥石流,破坏了出口处的钢筋混凝土的建筑物,约有19 000 m^3 土石体冲在那里。对香港总面积只有1075 km^2 ,人口容量高达630万人的大都会来说,发生这样的灾害,引起人心恐慌和经济波动的程度远比内地山区要严重得多。最近一次(2003年7月11日)由于暴雨引发四川省甘孜州丹巴县邛山沟大的山洪泥石流灾害,因此,造成50多人死亡,泥石流将大金川河阻断,回水数公里,使几千当地居民受灾。

暴雨泥石流是中国泥石流研究和防治的主要对象。从20世纪60年代以来的40年间,通过大量的泥石流区域考察,灾害调查,定位观测,积累了大量的泥石流原型数据和资料;与此同时在实际工作的磨炼下,涌现出一大批泥石流研究和工程技术人才,他们为泥石流学科的发展洒下了艰辛的汗水。本书就是在这个时期作者经过对大量泥石流的调查和观测所获得资料的基础上,而进行的概括和总结,客观地展示了天然泥石流在诸多方面的基本性质。例如泥石流类型分布特点,泥石流形成模式,泥石流的地质地貌过程,泥石流体的物理力学性质,泥石流运动力学特征,泥石流的冲淤规律,泥石流防治体系等。

在暴雨泥石流灾害中,台风雨常常是引发香港自然山坡和人工斜坡山泥倾泻(崩塌-滑坡型泥石流)灾害最普遍最突出的问题。据香港土力工程处的调查登记:在香港境内,属于远离人类活动的高位山区(称非发展区)有天然滑坡体20 000个;与发展区接触和进入的天然山坡荒溪有44 000个,其中有1000处直接影响建筑物;在发展区内有54 000人工斜坡,到1984年有5000处发生过山泥倾泻灾害。香港土力工程处每年在台风雨季节都要收到山泥倾泻灾情报告140~400宗。就拿1997年来说,收到山泥倾泻灾情报告550宗,其中有50宗属严重事故,三个地方有人命伤亡。为了防治山泥倾泻灾害,香港已于1995~2000年巩固了900个斜坡,预计2000~2010年再治理3900个斜坡。香港大学土木工程系的李焯芬教授是从事此项研究的专家学者,特别是他将滑坡与泥石流结合起来探索该区山泥倾泻的发生机理,监测预报及风险评估等方面,积累了丰富的经验,在中国泥石流研究领域里占有重要和特殊的地位。本书将在不同的章节介绍这方面的研究成果。

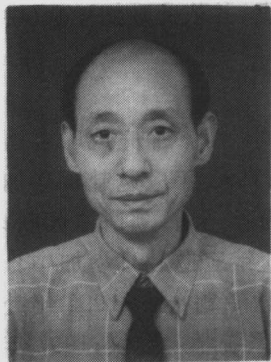
就世界范围而言,泥石流学还不成熟。正如1997年在美国举行的第一次国际泥石流会议对世界各国泥石流研究水平的评价中所指出的那样:国际减灾十年大大促进了各国对泥石流问题的重视和探索,在许多方面取得了进展。但是由于对泥石流的发生及发展阶段的机理不清,导致泥石流的治理、危险区划、预测预报和风险评估(管理)不是很有效的。因此我们40余年来仅对天然泥石流的调查与观测,其他方面的研究进行得较少。泥石流的原型研究成果是泥石流理论研究、实验研究、物理和数学模拟的基础。所以本书的第二个用意想尽可能多的附上一些我们认为获取不易、分析不足,而对未来泥石流研究又很重要的一部分泥石流原型配套的调查和观测资料,特别是雷达和超声波仪测得的运动要素资料。以便为从事上述工作的研究者、工程师、管理者、教师和学生,特别是研究生参用。

本书在写作过程中得到许多同行的鼓励、支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。本书大部分图件由北京大学正在就读的方晨博士用计算机制作。特别要感激妻子龙海英几十年来的支持、关心和理解,承担起家庭重担,使我能安心心的从事外业和内业工作,最终使书稿顺利完成。

康志成

2003年7月10日于香港大学

作者简介

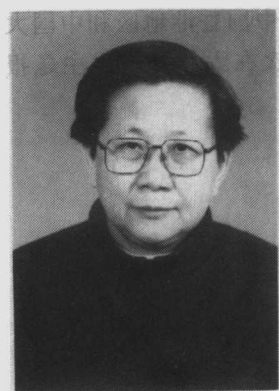


康志成,男,1937年8月15日出生,陕西汉中。中国科学院水利部山地灾害与环境研究所研究员。

1963年参加工作,一直从事泥石流灾害调查、观测实验、运动力学研究和防治规划设计,是中国科学院东川泥石流观测研究站第一任站长。多项科研成果获奖,其中获国家级成果三等奖1项,院级成果一等奖1项、三等奖3项。1989年获竺可桢野外工作奖,1993年其论文《云南东川蒋家沟泥石流运动流态特征》获钱宁泥沙科学论文奖。在国内外发表论文70余篇,合作编写专著7部。



李焯芬,男,1945年生,祖籍广东中山。香港大学工学学士(1968年),硕士(1970年);加拿大西安大略大学博士(1972年)。曾服务于加拿大安大略省电力局近18年,从事水电核电工程建设及科研工作。1994年回香港大学土木工程系任教。现为香港大学副校长,岩土工程讲座教授,中国工程院院士,加拿大工程院院士,香港工程科学院副院长。主要科研范围为滑坡泥石流防治及岩土工程。发表学术论文约200篇。



马蔼乃,女,1936年11月生于上海市。北京大学教授、博士生导师。现任北京大学遥感与地理信息系统研究所开放实验室学术委员会主任、北京大学环境工程研究所顾问,中国科学院和水利部黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室学术委员,中国空间科学学会理事、遥感专业委员会副主任、外事专业委员,《地理与地理信息科学》、《南水北调与水利科技》副主编,《地理学报》、《遥感技术与应用》编委,水利部水土保持司全国水土保持监测中心专家组组长等职。

1. 学历与教学成果

1955年考入北京大学,就读于地质地理系自然地理专业,1958年派往南京河海大学水文系进修水文专业,专攻河流动力学,1960年正式毕业于北京大学,并留校担任河流(动力)地貌课程。1964年参加水利部泥沙运动培训班进修,时年完成《河流地貌》教材。1975年始开遥感概论课程,1984年完成编著《遥感概论》(科学出版社),1986年始开动力地貌学课程,1992年始开遥感与地理信息科学课程,1997年完成专著《遥感信息模型》(北京大学出版社)。1998年出版《河流动力地貌学》(北京大学出版社,合作),1999年出版《长江地区可持续发展研究丛书》(武汉出版社,群作8册),2000年出版《地理科学与地理信息科学论》(武汉出版社)。已出版专著5部。共培养硕

2003/03

士研究生 43 名,博士生 15 名,博士后 7 名,1997 年获北京市教学成果二等奖(第 1 名)。

2. 研究领域与科研成果

1960 年讲授《河流地貌》,开始进行水文与地貌的跨学科研究(三级学科的交叉),1981 年发表了“云南东川蒋家沟泥石流流速分析”的代表作。1975 年研究遥感信息,开始进行数学、物理、地理的跨学科研究(二级学科的交叉),1997 年出版《遥感信息模型》代表作。1990 年研究人地系统,开始进行自然科学与社会科学的跨学科研究(一级学科的交叉),1999 年出版《可持续发展与长江地区发展战略》丛书代表作。参加国际会议 10 余次,前后共发表中英文论文 80 余篇(第 1 作者)。1988 年获国家教委科技进步二等奖(第 1 名),1993 年获水利部科技进步一等奖(第 2 名),1995 年获国家科技进步二等奖(第 2 名),1996 年获北京市科技进步二等奖(第 2 名),包括教育奖共获 5 次奖励。主要研究水土流失,指导完成全国第一次的土壤侵蚀遥感调查,地面行程 5 万 km,到过全国各省、市、自治区(除台湾省),该项成果为国家发表数据,并依此数据立法(中华人民共和国水土保持法)。

3. 国际学术活动与影响

1978 年参加中国地质代表团,出访西德与法国,考察遥感地质;1982 年赴美访问学者,参加完成联合国援助中国第 1 个项目建立国家遥感中心的任务;1986 年赴美参加国际泥沙学术会议;1988 年应邀赴日参加国际摄影测量与遥感会议;1990 年参加芬兰国际测量大会,应原苏联政府国家测绘局局长邀请,顺访原苏联;1992 年赴美参加 2 次国际会议并顺访夏威夷大学,同年应邀赴日访问千叶大学;1993 年应邀赴日参加中日双边国际会议,同年应印度遥感中心邀请,作为中国专家赴印度参加遥感国际会议,做专题报告;1995 年赴美参加成立国际一般系统学术会议,顺访加拿大;1996~1997 年之交赴美参加国际系统学术会议;1997 年赴美参加遥感地质大会;1998 年访问香港中文大学;1999 年赴荷兰参加国际航天大会,应欧洲 ITC 邀请,赴恩斯赫德做专题报告;2000 年赴加拿大访问并考察 3 个月。在国际学术交流活动中,1983 年曾获美国政府地质调查局的荣誉证书,1994 年获英国世界名人中心《地理信息科学》荣誉证书。



罗锦添教授于 1969 年和 1971 年分别获香港大学学士和硕士学位,1974 年获加拿大西安大略大学博士学位。罗教授长期从事滑坡、土体液化和测试技术的研究。在加拿大和香港政府机构和咨询公司主持有关水电站项目、地震灾害评估项目、滑坡调查和地基工程项目等课题。在学术研究及工程服务上罗教授曾多次获奖,包括 1995 加拿大工程所资深研究员奖,同年获 Carleton 大学研究成就奖,1999 年获加拿大岩土工程学会 Stermac 奖,1990 年及 2001 年两获加拿大岩土工程学报最佳论文(Quigley)奖,及 2002 年加拿大全国岩土工程讲座讲员。罗教授曾任职于加拿大国家研究院 17 年,自 1992 年起,在加拿大 Carleton 大学土木与环境工程系任教授职位。

罗教授近年来广泛活跃于国际学术舞台,先后赴美国、欧洲、日本、新加坡、南美、中国香港地区和中国大陆多次出席有关滑坡、斜坡稳定、工程力学和地震工程等方面的国际学术会议,并多次在大会做特邀主题报告。罗教授在国际学术学报、杂志及研讨会上发表 160 篇以上学术报告。

图 版



照片 1.1 大桥河古泥石流台地，高出现代河床 30~50m，结构紧密，混杂，有泥裹砾结构，漂砾呈星悬型



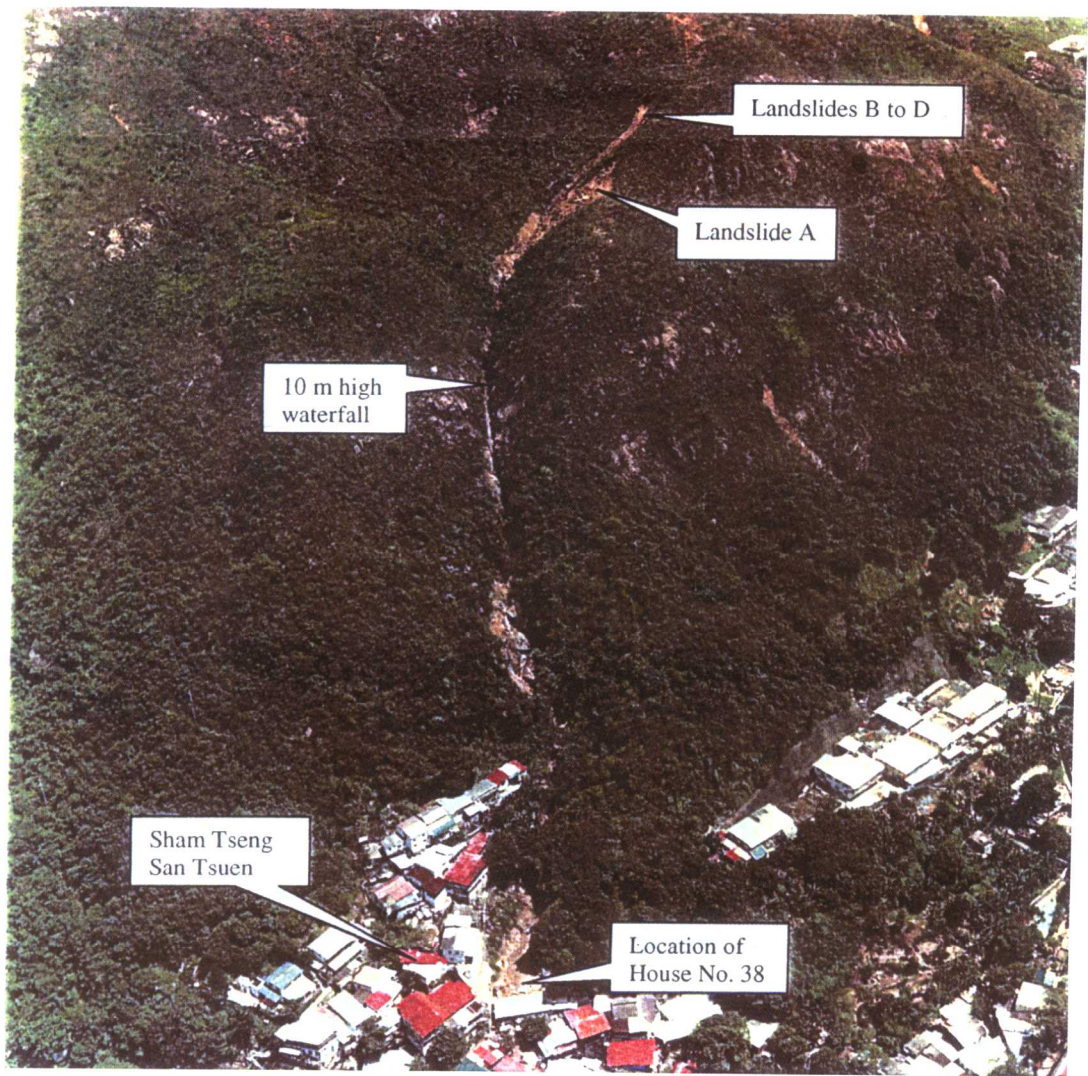
照片 1.2 泥石流的强烈侵蚀下切作用，形成的三级台阶(云南东川 东川大桥河)



照片 1.3 泥石流冲出物在小江河谷大量沉积，而形成的相互交错的冲积扇



照片 1.4 泥石流形成的冲积扇，固体物质由小到黏粒，大到漂石组成



照片 2.1 1998 年 8 月 23 日香港大屿山岛自然山坡发生山泥倾泻，进入居民区，造成严重灾害（来自 GEO 的 2000 年 4 月的报告）



照片 2.2 泥石流冲毁楼房(四川南坪县)



照片 2.3 泥石流淤埋铁路



照片 2.4 泥石流淤埋铁路桥



照片 2.5 泥石流冲毁铁路桥



照片 2.6 泥石流冲击铁路桥并推至下游



照片 2.7 泥石流破坏通讯线路



照片 2.8 泥石流冲毁公路



照片 2.9 崩塌泥石流阻断公路



照片 2.10 崩滑泥石流造成公路严重阻塞