

Mountain Torrents and
Debris Flow in Beijing

北京山洪泥石流

■ 李金海 余新晓 谢宝元 高甲荣 等/编著



中国林业出版社

北京山洪泥石流

Mountain Torrents and
Debris Flow in Beijing

■ 李金海 余新晓 谢宝元 高甲荣 等/编著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

北京山洪泥石流/李金海等编著. - 北京: 中国林业出版社, 2007. 7
ISBN 978-7-5038-4919-0

I 北… II. 李… III. 暴雨洪水—泥石流—研究—北京市 IV. P642. 23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 118268 号

出版: 中国林业出版社 (100009 北京西城区德内大街刘海胡同 7 号)

网址: www.cfph.com.cn

E-mail: cfphz@public.bta.net.cn 电话: 66183789

发行: 中国林业出版社

印刷: 北京地质印刷厂

版次: 2007 年 7 月第 1 版

印次: 2007 年 7 月第 1 次

开本: 889mm × 1194mm 1/16

印张: 18

字数: 430 千字

定价: 68.00 元

《北京山洪泥石流》编委会

学术顾问

关君蔚 王礼先 于志民 吴 斌

主 编

李金海 余新晓

副 主 编

谢宝元 高甲荣 张利明

编 委

(以姓氏笔画为序)

刘 松	齐 实	李金海	张利明
杨建东	杨新兵	余新晓	张国桢
武 军	岳永杰	高甲荣	续 源
谢宝元			

序

泥石流是指在山区突然发生，具有极其强大的破坏力，能造成毁灭性灾害，是我国的心腹之患。在北方，首都北京就在泥石流包围之中。新中国成立后的1950年8月，宛平县斋堂，东西胡林所在清水河流域南北山多处发生泥石流，冲毁耕地1550多 hm^2 ，村庄10余座，死伤多人。对这一往事我至今仍记忆犹新。经过半个多世纪，北京市园林绿化局（原北京市林业局）、北京市水利局和北京林业大学等有关大专院校，以及全国各方面专家锐意探索，根据泥石流发生条件及运动规律，就可以预见其发生、发展及其危害的全部过程和后果。北京市山区早在1954年后，陆续运用多种途径，对受泥石流威胁的村镇，雨前做好回避场所和道路，即使发生泥石流，也可以避免人员的伤亡。近20年来北京市山区人口逐年增加，山区建设日新月异，一旦发生泥石流，其损失将千百倍于20世纪50年代！但只要能保住没有人员伤亡，也将成为奇迹。为此，找出科学合理的防治方法与措施，已成为关系首都社会经济发展和生态安全的当务之急。

《北京山洪泥石流》一书就是在这一形势下应运而生的。该专著为北京林业大学、北京市园林绿化局（原北京市林业局）多年来对北京山区泥石流实地考察与研究的基础之上，通过对山洪泥石流概念、分类、特征、危害、形成机制、沟道分布与特点、危险区空间分布与特点的研究，结合北京林业大学多年来水土保持工作的研究成果，制定出北京山区山洪泥石流灾害措施体系，并对北京山区山洪泥石流灾害防治作出规划，最后提出了北京山区山洪泥石流灾害管理措施。书中还列举了泥石流防治规划实例，并对不同防治规划方案进行了比较与分析，提出了最佳实施方案。

该书充分反映了我国泥石流区域研究的特征和特点，也是多年来水土保持工作者辛勤汗水的结晶。该书资料详实可靠，内容丰富多彩，图文并茂，可操作性强，具有较高的学术与推广价值。该书的出版，无疑将对山洪泥石流防治工作的深入开展与进一步研究起到积极的推动作用，同时对于提高该领域科研人员、技术人员、行政人员的科研、管理水平与公众生态环保意识等方面，必将作出重要的贡献。

吴君祥

2007年4月

前言

北京地区位于华北平原西北端，北有燕山山脉，西有太行山山脉北段，山区面积占全部面积的 62%，最高海拔 2303m（东灵山），并有多座海拔高度大于 1000m 的山峰，平原地区包括北京市区及东南部，海拔高度一般在 50m 以下。地形高度总趋势是西北高东南低，境内主要河流自北向南有潮河、白河、温榆河、永定河、大石河和拒马河，河谷山高坡陡，地质构造复杂，加上夏季季风降水集中，暴雨强度大，使山区泥石流灾害成为北京市的重要自然灾害之一。北京山区在中国大陆上是属于东亚季风气候影响的暴雨泥石流强烈活动区之一。据历史资料记载，北京山区山洪泥石流灾害几乎每隔一定时间就有发生，仅 20 世纪，有山洪泥石流灾害记载的年份就达 24 个，平均每 5 年发生一次。灾害发生的地点主要集中在 7 个山区（县），尤以门头沟、密云、怀柔、房山灾害发生频率最高。近 50 年来，北京发生较大泥石流灾害 13 次，死亡 486 人，冲毁耕地 2.13 万 km²，冲塌房屋 6886 间，给京郊山区人民的生命财产带来很大损失。仅 1991 年 6 月 10 日的“6·10”暴雨中，怀柔区境内就有 937 处滑坡，2526.67 hm² 农田受灾，倒塌房屋 1715 间，死亡 16 人，公路塌方 647 处，冲毁桥梁 42 座、谷坊 255 km、小型水利工程 1 132 处、供电线路 210 km，毁树 43 万棵，造成直接经济损失 1.2 亿元。泥石流对北京山区的人民生命财产安全、社会经济发展等均造成了严重破坏。为此，防治泥石流灾害，对改善北京山区环境，保护首都水源地及生态安全等都有着十分重要意义。

自 1950 年门头沟区清水河流域遭受山洪泥石流危害之后，党中央、国务院和北京市委、市政府对北京山区泥石流的防治工作给予了高度重视。北京林学院等单位曾先后多次组织专家进行现场考察，并提交了《永定河官厅山峡水土保持调查研究报告》，随后北京林学院的专家学者在当地有关部门的配合下，以田寺沟小流域为单元，开展了泥石流防治试点，并积累了大量的观测资料。20 世纪 60 年代末期、70 年代、80 年代和 90 年代，北京山区相继多次遭受严重的泥石流灾害，北京林业大学、北京市园林绿化局（原北京市林业局）、北京市水务局（原北京市水利局）等多家单位先后进行了山区泥石流调查，这些调查研究成果为北京山区开展泥石流、滑坡防治提供了科学依据。

泥石流是我国十分严重的环境灾害问题之一，也是北京生态环境诸多问题中十分关键和防治意义深远的一个问题。了解北京山洪泥石流状况、危害、成因、形成条件和发展趋势，进而找出科学合理的防治方法，以恢复和改善北京生态环境，能够有效地服务于北京经济社会的可持续发展。北京市已经取得了 2008 年奥运会的举办权，时代赋予了北京市新的发展机

遇,也为北京市的水土保持和生态环境建设输入了新的动力。用新的理念和技术手段作包装,让水土保持和生态环境建设贯穿于绿色奥运的始终,为绿色奥运增添光彩,为北京成功举办奥运会服务写上辉煌的一页。

本书立足于国内外山洪泥石流领域的前沿,以长期和大量的第一手观测资料和实验数据为基础,系统论述了北京山洪泥石流的形成、类型、特征、危害、防治及其管理等方面的理论与方法,充分反映了我国泥石流区域研究的特征和特点。全书共分8个章节。第一章为山洪泥石流概述,涉及山洪泥石流的概念、分类、特征及发展动态;第二章为北京山区概况与山洪泥石流危害,阐述了北京山区地貌、地质、水文、植被、社会经济及泥石流的危害,并对危害原因进行了分析与预测;第三章为北京山区山洪泥石流形成机制,首先从总体上阐述了山区山洪灾害的类型及形成过程,其后对北京山区泥石流、崩塌滑坡形成机制进行了分析与研究;第四章为北京山区山洪泥石流沟道分布与特点分析,首先对北京山区山洪泥石流沟道分类,然后详细论述密云、怀柔、延庆、昌平、门头沟、房山、顺义山洪泥石流沟道分类及特征;第五章为北京山区山洪泥石流危险区空间分布与特点分析,着重分析了密云、怀柔、延庆、昌平、门头沟、房山、顺义山洪泥石流危险区分布及特征;第六章则从山洪泥石流防治工程措施、停淤场及沟坡整治工程、实体拦沙坝工程、格栅坝工程、生物措施5个方面进行了阐述;第七章为北京山区山洪泥石流灾害防治规划,阐述了北京山区山洪泥石流灾害防治规划的原则、内容、步骤和成果,列举了泥石流工程防治规划实例,并对不同方案进行了比较与筛选;第八章为北京山区山洪泥石流灾害管理,着重阐述了北京山区山洪泥石流灾害管理法律体系与行政管理,并提出了加强北京山区山洪泥石流灾害管理的建议。

本书为我国水土保持工作者多年来对北京山区泥石流的研究成果的展示。泥石流研究有很多问题尚处于探索之中,随着研究的不断深入,必将对控制与预防泥石流的发展起到积极的推动作用。作者殷切希望本书的出版能够引起有关人士给予该领域更大的关注和支持,并希望从事该领域研究的学者有所裨益,共同将这一领域推向新的发展阶段,为建设美好首都北京和2008年的北京绿色奥运作出贡献。

在本书的写作过程中,课题组成员通力合作,进行了大量的资料整理和分析工作。特别要感谢的是中国工程院资深院士、北京林业大学关君蔚教授,本书正是由于关君蔚教授获悉菲律宾南来特省昆萨胡贡村发生了特大泥石流遇难者达1800人的消息后,他焦急万分,为了首都的生态安全,为了北京人民的安危,挥笔疾书,向国务院有关领导人建言,引起回良玉副总理等有关领导的关注,从而促成了本书的出版,在此表示衷心的感谢。

中国林业出版社为本书的出版给予了大力的支持,编辑人员为此付出了辛勤的劳动,在此表示诚挚的感谢。

对于书中的问题与不足,恳切希望同仁批评指正。

李金海 余新晓

2007年4月

目录

CONTENTS

第一章 山洪泥石流概述	(1)
第一节 山洪及泥石流的概念	(1)
第二节 泥石流的分类	(4)
第三节 山洪泥石流特征	(13)
第四节 山洪泥石流研究综述与发展动态	(19)
第二章 北京山区概况与山洪泥石流危害	(30)
第一节 地貌条件	(30)
第二节 地质条件	(34)
第三节 气候水文条件	(41)
第四节 植被条件	(56)
第五节 土壤条件	(62)
第六节 社会经济状况	(64)
第七节 山区山洪泥石流危害	(67)
第三章 北京山区山洪泥石流形成机制	(76)
第一节 山区山洪灾害的类型及形成过程	(76)
第二节 北京山区泥石流形成机制	(77)
第三节 北京山区崩塌滑坡形成机制	(87)
第四章 北京山区山洪泥石流沟道分布与特点分析	(93)
第一节 北京山区山洪泥石流沟道分类	(93)
第二节 密云县山洪泥石流沟道分类	(99)
第三节 怀柔区山洪泥石流沟道分类	(106)
第四节 延庆县山洪泥石流沟道分类	(113)
第五节 昌平区山洪泥石流沟道分类	(120)
第六节 门头沟区山洪泥石流沟道分类	(123)
第七节 房山区山洪泥石流沟道分类	(129)
第八节 平谷区山洪泥石流沟道分类	(133)
第九节 北京山区山洪泥石流沟道分布特征	(136)
第五章 北京山区山洪泥石流危险区空间分布与特点分析	
	(138)
第一节 北京山区山洪泥石流危险区划分	(138)

第二节	密云县山洪泥石流危险区分布·····	(141)
第三节	怀柔区山洪泥石流危险区分布·····	(142)
第四节	延庆县山洪泥石流危险区分布·····	(144)
第五节	昌平区山洪泥石流危险区分布·····	(145)
第六节	门头沟区山洪泥石流危险区分布·····	(146)
第七节	房山区山洪泥石流危险区分布·····	(147)
第八节	平谷区山洪泥石流危险区分布·····	(148)
第九节	北京山区山洪泥石流危险区分布特征·····	(149)
第六章	北京山区山洪泥石流灾害防治措施体系·····	(200)
第一节	山洪泥石流灾害防治措施体系概述·····	(200)
第二节	山洪泥石流防治工程措施·····	(201)
第三节	泥石流防治生物措施·····	(226)
第七章	北京山区山洪泥石流灾害防治规划·····	(231)
第一节	山洪泥石流灾害防治规划概述·····	(231)
第二节	北京山区山洪泥石流灾害防治规划的原则·····	(231)
第三节	北京山区山洪泥石流灾害防治规划的内容·····	(234)
第四节	北京山区山洪泥石流灾害防治规划的步骤和成果·····	(235)
第五节	北京山区山洪泥石流灾害防治规划实例·····	(238)
第八章	北京山区山洪泥石流灾害管理·····	(254)
第一节	山洪泥石流灾害管理概述·····	(254)
第二节	北京山区山洪泥石流灾害管理法律体系·····	(259)
第三节	北京山区山洪泥石流灾害行政管理·····	(260)
第四节	北京山区山洪泥石流灾害发展趋势及建议·····	(264)
参考文献	·····	(268)

第一章

山洪泥石流概述

我国国土辽阔,山地约占全国总面积的 70 % 以上,山洪、崩塌、滑坡、泥石流等山地灾害十分严重(张春山, 2004; 盛海洋, 2004; 陈洪凯, 2003; 胡海涛, 1998; 罗元华, 1994),受地貌、地质、气候以及社会经济等条件影响,崩塌、滑坡、泥石流分布极不均衡。特别在新构造运动活跃的中西部地区:地壳强烈上升,河流深切,形成高山峡谷地形;气候湿润、雨量充沛,时有暴雨发生;植被覆盖率低,生态环境较脆弱导致山地灾害频繁发生,给当地工农业生产及人民生命财产造成巨大损失。在省级行政单元中(张春山, 2004),高度危险性灾害省(区、市):云南、四川、重庆、陕西、甘肃、贵州;较高度危险性灾害省(区、市):西藏、广西、青海、湖南、湖北、北京、辽宁、台湾;中度危险性灾害省(区、市):新疆、宁夏、海南、广东、江西、福建、浙江、河北、河南、山西、吉林;较低度危险性灾害省(区、市):山东、内蒙古、黑龙江、江苏、安徽;低度危险性灾害省(区、市):天津、上海。

随着我国经济建设的重心从沿海向内地、从东南向中西部、从平原向山区战略转移,山地灾害已成为区域经济发展的严重障碍。加强山地灾害的发生研究,开展减灾防灾工作,建立良性的生态体系,保护好山区的地质环境,是我国中西部经济可持续发展的必要保证,具有重要的现实意义和巨大的社会、经济、环境效益,是一个“功在当代、利泽千秋”的宏伟事业。“山地灾害”是一个遍及全球的共同性课题,尤其在人口膨胀、资源短缺、环境恶化的当今世界,更引起各国政府、专家与学者们的高度重视。

北京市辖区总面积 16 807.8km²,其中山区面积约为 10 417.5km²,占总面积的 62.0% (北京统计年鉴, 2001)。山区由中、低山和丘陵构成,相对高度较大,山坡和沟床陡峻;地层出露较全,古老地层和胶结不良的岩层分布较广,在各地质旋回期岩浆活动强烈,侵入岩和喷出岩均占有一定比例;降水约为 400 ~ 800mm,虽不太丰沛,但高度集中;人类经济活动强烈,对地表和环境的破坏比较严重。在上述因素的综合作用下,区内泥石流活动活跃。

第一节 山洪及泥石流的概念

一、山洪的概念

关于山洪和泥石流的定义,国内外有很多争议。山洪、泥石流灾害都是水灾的一种表现形式,因是持续性高强度大暴雨所致,故称雨洪灾害,又因发生在山丘区,故

又称之为山洪灾害。在陡峻的地形和充足的降雨条件下,极易形成山洪,并在松散堆积物丰富的溪沟里诱发泥石流。

山洪就是山区河流(溪沟或荒溪)的洪水,特别是指山区小河(沟)和周期性水流的洪水。山洪的特点是:流速大,冲刷力大,破坏力大,含有大量泥沙,暴涨暴落,历时短暂(周金星、王礼先等,2001)。

山洪按其成因,在我国可分为:

- (1) 暴雨引起;
- (2) 融雪引起;
- (3) 冰川融化引起;
- (4) 湖或水库堤坝溃决引起;
- (5) 由某几种成因同时引起。

二、泥石流的概念

泥石流的概念涉及到泥石流学科的研究对象和研究范围,因此是泥石流和相邻学科的科技工作者十分关注的问题。国内外泥石流科技工作者都在泥石流研究和防治工作中,根据自身的认识和体会给泥石流下过许多定义(王礼先,2004;钟敦伦,2003)。这些定义既存在共同点,又有不少分歧,但都从不同侧面、不同角度描述了这一现象的某一内涵,都曾为泥石流学科的发展和泥石流防治工作的开展做过重要贡献。

有关泥石流的定义,国外代表性的定义有5个,其中较为合适的定义由英国地质学会工程组提出,即泥石流是介于水流和滑坡之间的一系列过程,因而包含重力作用下松散物质、水体和空气三者构成的块体运动;前苏联 Ю. Б. 维诺格拉多夫的定义:泥石流乃是水体和松散碎屑岩石混合物构成的山地洪流,它包括有众多的自然现象,即自雨水洪流至土滑和滑坡。这两个定义的共同点是泥石流介于水流(或洪流)与滑坡之间,由水体和松散物质所组成,较客观地反映了泥石流的主要特性。国内代表性定义有二:一为钱宁的定义:泥石流是发生在沟谷和坡地上的饱含小至黏土、大至巨砾的固液两相流,液相是水和细颗粒泥沙掺混而成的均质浆液,固相是较粗的颗粒。二为吴积善的定义:泥石流是山区介于挟沙水流和滑坡之间的土(泛指固体松散物质)、水、气混合流。这个定义包含三层涵义,即泥石流发生在山区;泥石流介于挟沙水流和滑坡之间,不包括挟沙水流和滑坡;泥石流是土、水、气混合流,不一定是洪流或块体运动。本书采用吴积善等的定义。

由定义可见,泥石流具有如下三个基本性质,并以此与普通山洪、高含沙山洪和滑坡相区分(王礼先,2004;钟敦伦等,2003)。

1. 泥石流具有土体的性质——结构性

表征结构性的特征值是起始静切力(即抗剪强度) τ_0 ,当土体起动后形成过渡性(亚黏性)泥石流时,其 τ_0 一般为0.50~2.55Pa;当形成黏性泥石流时,其 τ_0 一般为2.5~20.0Pa;当形成稀性泥石流时,由于土体在流体中密度小,尤其是细粒物质含量少,在运动中因其结构容易遭到破坏而导致 τ_0 值很小,甚至趋近于0。但由于流体中的土体含量,尤其是细颗粒含量总是大于挟沙水流,因此,细粒间的结构在遭到破坏后

也可重建,从而保持流体中 τ_0 值总是大于0,并以此与挟沙水流(含高含沙水流)相区别。

2. 泥石流具有水体的性质——流动性

表征流动性的特征值是流速梯度 dv/dy (式中 v 为离沟床底面距离 y 处的泥石流流速)。这一性质是区分泥石流和滑坡的指标,即泥石流与沟床之间没有截然的破裂面,只有泥浆润滑面,从润滑面向上有一层流速逐渐增加的梯度层;而滑体与滑床之间有一破裂面,流速梯度等于零或趋近于零,这与具有破裂面的崩塌、滑坡相区别的。

3. 泥石流具有发生在山区(包括高原和丘陵)的性质——有较大流动坡降(或沟床比降)

这一性质可区分为普通高含沙水流与泥石流,取二者之间的流动坡降极限值为1%,大于此值的土、水、气混合流为泥石流(含泥流),小于此值的为高含沙水流。从流体的本身性质来看,泥石流(尤其是泥流)与高含沙水流区别不大,故采用流动坡降(或沟床比降)进行区分。

泥石流是山区的一种特殊侵蚀现象,也是山区的一种自然灾害。泥石流是在水流冲力和重力共同作用下的一种特殊的混合侵蚀形式,是一种含有大量的泥沙石块等固体物质的特殊洪流,它既不同于一般的暴雨径流,又是在一定的暴雨条件下,受重力和流水冲力的综合作用而形成的。泥石流在其流动过程中,由于崩塌、滑坡等侵蚀形式的发生,得到大量松散固体物质补给,或因泥石流流体的黏性阵流和暂时性阻塞而溃决,形成巨大沙石补给量,使泥石流饱含大量泥沙、块石,具有很大的动能。泥石流含有比一般洪流多5~50倍的泥沙石块,刹时间将数以千百万立方米的沙石冲进江河。一场泥石流,即可使河道面目全非,或堵塞河道,聚水成湖,或推移河道,易槽改道,水流横溢,漫流成灾。由于它爆发突然,来势凶猛,历时短暂,所以具有强大的破坏力。泥石流中砂石等固体物体的含量一般超过25%,有时高达80%,密度 $1.3 \sim 2.3 \text{ t/m}^3$ 。

泥石流,实际上是水体和土体及土体中部分空气(极少量,可忽略不计)相互充分作用后,在沟谷内或坡地上沿坡面(含自然坡面和压力坡)运动的流体。泥石流既不是挟沙水流,更不是崩塌和滑坡,而是具有独特性质的独立流体。它的主要特性是既具有流体的性质,又具有土体的性质。泥石流是一种独特的流体,并以自身独特的性质区别于相似的现象——挟沙水流和崩塌、滑坡。典型泥石流沟(流域)自上游到下游具有三个区段(中科院冻土所,1973):形成区(滑坡、崩塌、岩锥等不良地质现象发育、水土流失严重,是泥石流的固体物质和水源的供给区);流通区(泥石流沟的中游段,谷坡陡峭、纵比降大,大量固体物质与水的混合物经此段输送到下游);堆积区(下游固体物质停积段,多呈扇形或锥形,地面垄岗起伏)。泥石流的形成与发生需具备基本条件(丰富的松散固体物质条件、充分的水体条件、地形条件)和促发(激发、触发和诱发)条件。

第二节 泥石流的分类

泥石流的分类应具有科学性和实践性。泥石流分类的科学性表现于分类系统的准确性、完整性和系统性。要想使泥石流的分类直接为研究和防治工作服务,则分类系统要严格,界限值要准确,命名简练,便于识别。目前国内外学者对上述标准尚未取得一致意见,于是便缺乏公认的泥石流分类原则、方法和指标。因此本节首先介绍一下国内外泥石流分类的情况(康志成等,2004)。

一、按沟谷地貌特征分类

按流域的沟谷地貌形态把泥石流沟分为三类,它比较形象,便于识别,为泥石流工作者普遍接受和认同。这三类的特点简述如下:

1. 典型泥石流沟

此类泥石流沟有明显的清水区、泥石流形成区、流通区和堆积区。有些大型泥石流沟,流域内发育有多条支沟,有各种类型的不良地质过程。

2. 沟谷型泥石流沟

此类泥石流流域为长条形,形成区不明显,两侧谷坡为泥石流物质的主要供给区,流通区很长,有时替代了形成区;堆积区视汇入的主河是淤积性或是下切侵蚀性的,处在前者发育有明显的堆积扇,处在后者就没有堆积扇存在。

3. 坡面型泥石流沟

是发育在山坡上的各种类型不良地质作用下产生的小型泥石流沟,它没有明显的受水区,仅仅是山坡上发育的冲沟和切沟。

二、按水源条件分类

水是泥石流组成的重要成分,也是泥石流形成激发条件,所以国内外许多学者都以水源条件分类来进行研究,为防治工作服务。该种分类方法,也是泥石流工作者普遍采用的一种分类。按照水源可将泥石流分为:

1. 暴雨型泥石流(包括台风雨)

此类泥石流是地球上分布最广泛的一类泥石流,特别是中国的西南山区、香港和台湾,每年由于暴雨和台风雨产生的泥石流给当地造成严重的危害。

2. 冰雪融水型泥石流

此类泥石流主要发源于高寒山区,由于冰川积雪的消融,因此有时雪崩爆发等都可能激发泥石流的产生。这类泥石流主要分布在我国西藏高原的东南部冰川积雪地带。

3. 水体溃决型泥石流

这类泥石流主要是由于水库、堵塞湖、高山、冰湖以及滑坡崩塌形成的临时性湖

泊的溃决而引起的泥石流产生。

三、按土源条件分类

土源条件,也就是泥石流的物质组成来源。国内外的不少专家按这样的分类研究和描述泥石流。此种分类在泥石流学界有广泛的市场和应用前景。因为此类泥石流与岩性关系密切,是绘制泥石流分布图的最好表达方式,因此许多地质地理研究者用这种分类方法。

1. 水石流

这类泥石流主要发育在风化不严重的火山岩、灰岩、花岗岩等基岩山区。这类泥石流在我国陕西华山一带分布最为典型。

2. 泥流

这类泥石流主要发育在第三、第四系广泛分布的地带,特别是我国西北的广大黄土高原,那里发生的泥石流,由于缺乏粗颗粒砾石,因此一般都是泥流或高含沙水流。

3. 泥石流

除了上述两类泥石流外,在我国广大山区,特别是西南山区,是这类泥石流常见的现象。这类泥石流的物质组成非常宽,从最小的黏土($<0.005\text{mm}$)到最大的漂石($>100\text{mm}$)。它最常见的有两种:①按照颗粒特性将泥石流的物质组成划分为表1-1中的类型;②按沉积地质学以 φ 值划分泥石流的物质组成,如表1-2所示。

表 1-1 泥石流固体物质的粒组分类 (康志成, 2004)

粒组(mm)	名称	主要性质
<0.001	胶粒	有胶体特性,如可塑性、膨胀性、极弱的透水性 胀性
$0.001 \sim 0.005$	黏粒	
$0.005 \sim 0.01$	细粉砂	无胶体特性,颗粒之间为毛管连接,透水性弱
$0.01 \sim 0.05$	中粉砂	
$0.05 \sim 0.50$	粗粉砂	
$0.50 \sim 1.0$	细砂	具毛管连接力,有透水性
$1.0 \sim 2.0$	粗砂	
$2 \sim 5$	小砾石	具强烈透水性,无毛管连接力
$5 \sim 10$	中砾石	
$10 \sim 20$	大砾石	
$20 \sim 40$	小卵石	
$40 \sim 80$	大卵石	
>80	漂石	

表 1-2 φ 值分类 (康志成, 2004)

φ 值	粒径 (mm)	相近名称
5	0.032	—
4	0.0625	
3	0.125	
2	0.25	砂
1	0.5	
0	1	
-1	2	
-2	4	—
-3	8	
-4	16	
-5	32	卵石

我们常将泥石流又划分为两个亚类, 即黏性泥石流和稀性泥石流, 这两类泥石流的特点:

(1) 黏性泥石流: 一般来讲, 黏性泥石流的容重从 $1.5 \sim 2.3 \text{ t/m}^3$, 固体颗粒中小于 0.005mm 含量占到固体总量的 3% 以上, 颗粒组成的直方图为双峰型, 流型为阵性运动, 流态无明显的紊流现象。

(2) 稀性泥石流: 稀性泥石流容重一般小于 1.0 t/m^3 , 黏粒占固体含量小于 3%, 颗粒组成的直方图为单峰型, 流型为连续性, 有明显的紊流现象。

四、按发展历史分类

根据现代泥石流的发育历史的研究表明, 一次泥石流的活动周期 (对某一流域或一条沟而言, 从首次爆发泥石流到最后停息流动为止, 把此段活动时间作为泥石流活动的一个周期) 大约 $300 \sim 500$ 年。泥石流这一自然过程, 不仅存在于现代, 而且也发生于古代, 大量的沉积物和大漂石被发现, 泥石流在地质历史上也曾有活动。按年代的这种序列可将泥石流分为三类:

1. 现代泥石流

进入人类活动以来, 曾经出现的而迄今仍在继续活动的泥石流称为现代泥石流。

2. 老泥石流

进入人类活动以来, 曾经出现而迄今已停止活动的泥石流称为老泥石流。

3. 古泥石流

在地质历史上曾经出现的泥石流称为古泥石流。

这种分类, 易被许多地质、沉积和冰川研究者所采纳。

五、按发育阶段分类

在泥石流一个发育周期中, 有它的发生、发展和消亡过程, 大体上可分为三个阶

段，即幼年期、壮年期和老年期。

1. 幼年期泥石流

上游侵蚀不太明显，小规模不良地质过程，沟道和沉积扇不明显，有零星的泥石流沉积物。

2. 壮年期泥石流

是泥石流发育的旺盛时期，上游侵蚀强烈，各类不良地质过程发育，沟道和冲积扇上有明显的泥石流沉积物并有多条流路通过，冲积扇上无灌丛和树林，仅有稀疏的杂草。

3. 老年期泥石流

上游沟道已侵蚀到分水岭，并有坚硬的基岩出露，侵蚀沟两侧已有杂草丛生，沟道内阶地（台阶）发育，形态明显（是泥石流沉积物下切而形成的），冲积扇扇面已无明显的泥石流堆积，并有灌丛和林木生长，有固定的沟道通过冲击扇，沟内有近期泥石流的沉积物。

六、按发生频率分类

泥石流爆发的频率或间歇期的变幅颇大，高者一年可发生数十次，低者几十年至几百年才发生一次。根据这一原则，可将泥石流分为高频、中频和低频三类。此种分类，是泥石流防治工程中许多工程技术人员经常采用的分类原则，因为它涉及到防护工程的安全度和造价。

1. 高频率泥石流

一年爆发多次或几年爆发一次的泥石流称为高频率泥石流。我国的高频率泥石流沟是世界上少见的。例如，云南东川的蒋家沟、大盈江的浑水沟、甘肃的火烧沟等。

2. 中频率泥石流

十几年至几十年爆发一次的泥石流称为中频率泥石流沟。这类泥石流在我国和日本分布较为普遍。在我们调查和治理当中，大都是这种类型。

3. 低频率泥石流

一般为百年以上到几百年才发生一次的泥石流称为低频率泥石流。这类泥石流多发生在山区大比降溪沟中。平常洪水带走了沟床中的细粒物质，经长期的作用河床形成一层粗大块体相互嵌夹的结构，粗化层以下的混杂物受到大石块的隐蔽作用，为一般洪水所不能搬运。只有那些超强暴雨引发的大洪水才能掀揭保护层，形成灾害性泥石流，这种泥石流的出现是非常少见的。没有长期的物质积累和百年不遇的降雨，这类泥石流是不会发生的。

七、按规模大小的分类

划分这类泥石流的原则有两种方法：一种是按总量和单宽流量的原则（姚德基，1981），一种是按泥石流的洪峰流量和总量大小的原则，但都是工程技术人员评价泥石流危害的一种方法。它们的分类和标准列于表 1-3。

表 1-3 泥石流规模分类 (康志成, 2004)

类型名称	PG 库尔金标准		姚德基标准	
	一次泥石流总量(m^3)	单宽流量(m^3/s)	峰值流量(m^3/s)	一次泥石流总量(m^3)
特大型泥石流	$>1 \times 10^6$	8 ~ 9	2000	$>1 \times 10^6$
大型泥石流	$5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$	5 ~ 7	300 ~ 2000	$1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$
中型泥石流	$1 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$	3 ~ 5	50 ~ 300	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$
小型泥石流	$<1 \times 10^5$	$<3 \sim 5$	<50	$<1 \times 10^4$

八、按力源条件分类

据多数研究者的观点, 在陆地上形成泥石流, 分为土力类泥石流和水力类泥石流。

1. 土力类泥石流

这类泥石流主要是由土石体的滑动、错落、崩塌和坠落为动力, 引起土石体转化为泥石流。据蒋家沟的观测资料表明: 泥石流的固体物质径流量的 90% 是由上游形成区以重力侵蚀形式补给, 不到 10% 的固体物质是由降雨径流侵蚀补给的 (Kang Zhicheng, 1954)。

2. 水力类泥石流

此类泥石流多数发育在山区的沟谷和有常流水的溪流中。它们的产生是靠特大洪水冲刷河床质而形成泥石流的。分布在日本、俄罗斯的泥石流, 绝大部分属于此类。中国西南山区稀性泥石流和上面提到的低频率泥石流均属此类。此类泥石流可通过实验进行模拟。在试槽中铺上一定厚度的沙石体, 然后逐渐放水, 沙石体饱和后在一定的自重作用下发生剪切, 随之膨胀, 并与一定厚度的表层水结合而形成稀性泥石流。

九、按运动流态的分类

按泥石流流态分为三类:

1. 紊流型泥石流

紊流态运动的泥石流体可划分为浆体和固体两部分。水和细颗粒组成浆体, 作为输送介质, 粗颗粒作为被输送物质。这类泥石流容重一般在 $1.5 \sim 1.8 \text{ t/m}^3$, 石块随浆体推移跳跃前进, 整个流体波浪翻滚, 流面破碎, 紊动明显。

2. 层流型泥石流

此类泥石流浓度很高, 一般容重达 $1.9 \sim 2.3 \text{ t/m}^3$, 流体中除漂石外, 石块与浆体同速, 浪头有紊动, 其后流面光滑平顺, 层间有摩擦, 流线受到干扰, 石块略有转动。流速一般在 4m/s 左右。

3. 蠕流型泥石流

此类泥石流容重在 2.3 t/m^3 以上, 已接近极限浓度, 所有的粗颗粒物料紧密镶嵌排列, 粒间浆液黏滞力很大, 流动时结构不受破坏, 无层间交换, 但速度缓慢, 活像蠕