

泥石流防治指南

周必凡 李德基 罗德富 编著
吕儒仁 杨庆溪

科学出版社

泥石流防治指南

中国科学院
水利部 成都山地灾害与环境研究所
中国科学院科研工程研究会西南分会

周必凡 李德基 罗德富 编著
吕儒仁 杨庆溪

科学出版社

1991

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

全书共分三篇十四章,系统地阐述了泥石流及其流域调查、泥石流实验和计算、泥石流灾害防治工程规划和设计,以及预报和警报措施等,并列举了大量实例。本书内容丰富,附有许多图表和计算公式,对于泥石流研究和防治工作具有一定的指导意义,并有较大的使用价值。

本书可供从事山区建设和环境保护工作的科研、设计、施工人员,以及有关行政管理干部和大专院校师生使用和参考。

泥 石 流 防 治 指 南

周必凡 李德基 罗德富 编著

吕儒仁 杨庆溪

责任编辑 赵徐懿

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

北京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

*

1991年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1991年10月第一次印刷 印张: 14 1/2

印数: 0 001—1 400 字数: 322 000

ISBN 7-03-002612-8/P·524

定价: 14.00 元

前 言

泥石流是松散土体和水的混合体在重力作用下沿坡面流动的现象，多发生在山区。由于它暴发突然，很难预知其发生的准确时间；其泥位陡涨暴落，来势凶猛且历时较短，常常冲毁或淤埋铁路、公路、农田，以及水利、国防、通讯和旅游点等工程设施，甚至摧毁城镇和厂矿，造成重大损失。泥石流灾害日益引起世界有关国家的关注，已列入联合国“国际减轻自然灾害10年（1990—2000）”项目的内容。

新中国成立以来，一些地区和部门为了保障山区各项事业和人民生命财产的安全，在泥石流研究和防治方面做了大量工作，同时也取得了一些科研成果和防治经验。但是，编著者在多年泥石流研究和防治工作中感到，泥石流防治还处于探索阶段，无论是防治对策和技术，还是工程设计、施工和管理方面，都还没有可遵循的规范，也缺少统一的技术标准。泥石流发生前往往因认识不足而掉以轻心，灾害发生后又感到束手无策，处理无章，防治工程失败的事例也时有发生，这种情况与泥石流科学研究还没有达到所需的水平是相应的。为此，一方面需要加强科学研究，一方面也需要在防治实践中总结经验，并将二者很好地结合起来。

编写本书的目的在于将我国现阶段泥石流灾害防治所涉及的诸多问题条理化，并根据已有的经验和科学研究成果作出回答，以期使泥石流防治工作逐步做到有章可循，达到规范化，谨此为推进泥石流防治事业和国际减灾十年活动抛出引玉之砖。

本书对泥石流及其流域调查、泥石流实验和计算、泥石流灾害防治工程规划和设计以及预警报系统等作了系统归纳和阐述，并列举了大量实例。

全书共分三篇十四章，第一、三（部分）、四、五、六、十四章由周必凡编写，第八、九、十、十一章由李德基编写，第七、十三章由罗德富编写，第二章由吕儒仁编写，第十二章由杨庆溪编写，第三章的第2、3节由何素芬编写。全书由周必凡统稿和总审，插图由左晓荣清绘。

本书编写过程中，诸多同行给予了大力支持和帮助；华国祥教授以及陈光曦、吉文翰、金应教、恽大中等高级工程师对本书进行评审并提出了宝贵的指导性意见，在此一并致谢。

本书使用的主要符号及单位

A	面积 (厘米 ² ; 米 ² ; 公里 ²)
A_b	流域面积 (公里 ²)
B	断面宽度 (米)
B_c	泥石流宽度 (厘米; 米)
B_w	主河水面宽度 (米)
B_{cp}	平均液面宽度 (米)
C	粘结力 (千克/厘米 ² ; 吨/米 ²)
C_s	松散土体中土体的体积浓度 (%或小数); 偏差系数
C_r	泥石流中土体的体积浓度 (%或小数); 变差系数
D_s	泥石流中土体颗粒的平均粒径 (毫米)
D_i	第 i 组颗粒的平均粒径 (毫米)
D_M	土体颗粒最大粒径 (毫米; 米)
D_m	土体颗粒最小粒径 (毫米)
D_0	泥石流中土体的不沉粒径 (毫米)
D_s	河床质的标准粒径 (毫米)
D_u	堵塞系数
du	相邻两层流体的流速差 (厘米/秒)
dy	相邻两层流体的法向距离 (厘米)
E	材料的杨氏模数 (千克/米 ²)
F_c	冲击力 (千克; 吨)
F_d	泥石流沿弯道运动的离心力 (千克; 吨)
F_m	泥石流沿超高面向弯道内侧运动所受的合力 (千克; 吨)
F_s	泥沙压力 (千克; 吨)
F_t	张力 (千克; 吨)
F_y	扬压力 (千克; 吨)
F_{cl}	泥石流体水平压力 (千克; 吨)
F_{wl}	水体水平压力 (千克; 吨)
f	砌体和坝基之间的摩擦系数; 垂度 (厘米; 米)
G_f	流体的比重
G_s	土体的比重
G_w	水的比重
g	重力加速度 (厘米/秒 ² ; 米/秒 ²)
H	某处高程 (米)

H_c	泥石流深 (厘米; 米)
H_d	坝高 (米)
H_l	滑坡的最大高差 (米)
H_s	沟岸冲刷深度 (米)
H_w	水深 (米)
h_d	落差 (米)
h_f	流深 (米)
h_l	滑坡的平均厚度 (米)
h_s	淤积厚度 (米)
h_A	弯道超高 (米)
h_{Ac}	泥石流冲起高度 (米)
h_{As}	安全超高 (米)
I_b	沟床纵坡 (% 或小数)
I_c	泥石流水力坡度 (%)
I_f	排导槽纵坡 (% 或小数)
I_s	回淤纵坡 (% 或小数)
I_w	清水水力坡度 (%)
J	断面的惯性矩 (厘米 ⁴)
K	系数
L	线性尺寸 (厘米; 米)
L_f	流通段沟道长度 (米); 土粒的沉降距离 (厘米)
L_g	坡面沿沟谷的长度 (米)
L_s	冲刷长度 (米)
L_w	流域长度或主沟长度 (公里)
l	两断面间的距离 (米)
l_s	回淤段长度 (米)
M	力矩 (克·厘米; 千克·米; 吨·米); 震级
M_c	泥石流河床糙率系数
M_e	侵蚀模数 (万吨/公里 ²)
M_w	清水河床糙率系数
n	土的孔隙度 (% 或小数); 边坡坡度比; 调查统计总年数
n_c	泥石流河床糙率 (%)
n_w	清水河床糙率 (%)
p_c	泥石流土体中粘土和粉土颗粒的重量百分比 (%)
p_d	0.05 毫米与 D_0 间的土体颗粒的重量百分比 (%)
p_s	泥石流中砂粒及其以下的土体颗粒的重量百分比 (%)
Q	水平力合力 (千克; 吨)
Q_a	年最大流量算术平均值 (米 ³ /秒)
Q_c	泥石流流量 (米 ³ /秒)

Q_w	清水流量 (米 ³ /秒)
q_c	单宽泥石流流量[米 ³ /(秒·米)]
R	断面的水力半径 (米)
R_c	弯曲河道的曲率半径 (米)
R_{10}	10 分钟最大降雨量 (毫米)
T	泥石流历时 (秒)
U_c	泥石流断面平均流速 (米/秒)
U_s	大石块运动速度 (米/秒)
U_w	水流断面平均流速 (米/秒)
V_b	单位坝体体积 (米 ³)
V_c	泥石流体积 (米 ³)
V_m	悬液的体积 (厘米 ³)
V_s	固体物质体积 (米 ³)
W	重力合力 (吨)
W_c	泥石流体重 (克; 吨)
W_d	坝体自重 (吨)
W_s	土体重 (吨)
α	夹角 (°); 综合系数
β	综合系数
γ_b	建筑材料容重 (吨/米 ³)
γ_c	泥石流体容重 (克/厘米 ³ ; 吨/米 ³)
γ_m	泥浆体容重 (克/厘米 ³ ; 吨/米 ³)
γ_w	清水容重 (克/厘米 ³ ; 吨/米 ³)
γ_s	土体实体容重 (克/厘米 ³ ; 吨/米 ³)
γ_y	泥石流中土体的容重参数 (克/厘米 ³ ; 吨/米 ³)
δ	流域完整系数 (%)
η_c	泥石流体粘度 (帕·秒; 克·秒/厘米 ²)
η_m	泥浆体粘度 (帕·秒; 克·秒/厘米 ²)
η_w	水的粘度 (帕·秒; 克·秒/厘米 ²)
θ_b	沟床底坡倾角 (°)
θ_f	泥石流表面纵坡角 (°)
θ_m	泥石流运动所需的最小坡面倾角 (°)
λ	原型与模型比尺
μ	材料的波桑比
π	圆周率
σ	正应力 (千克/厘米 ² ; 吨/米 ²)
τ	单位面积上的剪切力 (克/厘米 ²)
τ_B	宾汉剪切强度 (克/厘米 ²)
τ_c	泥石流运动剪切力 (克/厘米 ²)

τ_i 河床质表层土体的抗剪强度 (克/厘米²)

τ_k 泥石流运动阻力 (克/厘米²)

τ_0 泥浆体静剪切强度 (克/厘米²)

τ_w 管壁切应力 (克/厘米²)

ϕ 离均系数

ϕ_c 泥石流流量增加系数

ϕ_m 泥石流中土体的动摩擦角 (°)

ϕ_i 饱和土体的内摩擦角 (°)

Ω 旋转角速度 (度/秒)

注: 本书采用 m.k.s. 重力工程单位制, 即以吨、千克、克为重力(力)单位. 1 吨 = 9.8×10^3 牛顿, 1 千克 = 9.8 牛顿, 1 克 = 9.8×10^{-3} 牛顿.

目 录

前言.....	i
本书使用的主要符号及单位.....	vii

第一篇 泥石流及其流域调查

第一章 泥石流及其危害概述.....	1
1.1 泥石流定义	1
1.2 泥石流分类及特征	2
1.3 泥石流发生条件	4
1.4 泥石流分布	6
1.5 泥石流危害	6
1.6 泥石流灾害等级划分	14
第二章 泥石流流域调查	16
2.1 概述	16
2.2 流域自然背景调查	16
2.3 流域地质调查	24
2.4 沟道调查	36
2.5 堆积物特征调查	38
2.6 植被调查	38
2.7 人类活动调查	39
2.8 流域调查成果表	39
2.9 泥石流流域判别	39
2.10 泥石流形成、运动和堆积过程	45
2.11 泥石流发展趋势分析	46
2.12 典型泥石流流域调查实例选	48

第二篇 泥石流实验与计算

第三章 泥石流流体特征值测定.....	51
3.1 概述	51
3.2 泥石流体容重及其测定方法	51
3.3 泥石流体土粒组成及其测定方法	52
3.4 泥石流体粘度及其测定方法	56
3.5 泥石流体静剪切强度及其测定方法	60
3.6 泥石流体特征值实例选	61
第四章 泥石流运动特征分析和计算.....	65
4.1 概述	65

4.2	泥石流冲击力计算	65
4.3	泥石流运动的最小坡度计算	68
4.4	泥石流冲刷和淤积计算	70
4.5	泥石流堵塞主河分析	73
4.6	泥石流弯道超高和冲起高度计算	75
第五章	泥石流流速和流量计算	80
5.1	概述	80
5.2	粘性泥石流流速计算	80
5.3	稀性泥石流流速计算	84
5.4	设计断面泥石流流量计算	87
5.5	一次泥石流总量计算	92
5.6	年平均泥石流冲出泥沙量计算	93
第六章	泥石流模型实验	96
6.1	概述	96
6.2	泥石流定性模型实验	96
6.3	泥石流定量模型实验	98
6.4	泥石流模型实验实例	98

第三篇 泥石流防治措施

第七章	泥石流防治概述	109
7.1	泥石流防治目的和原则	109
7.2	泥石流防治基本体系	109
7.3	泥石流防治基本资料	110
7.4	泥石流防治标准	111
7.5	泥石流防治工程设计阶段划分	112
7.6	泥石流防治工程规划设计	113
7.7	泥石流防治工程初步设计	117
7.8	泥石流防治工程施工图设计	121
第八章	泥石流排导槽	123
8.1	概述	123
8.2	平面布置	123
8.3	纵断面	125
8.4	横断面	126
8.5	结构型式	129
8.6	受力分析	130
8.7	工程实例	130
第九章	泥石流拦砂坝（实体重力坝）	133
9.1	概述	133
9.2	坝址及坝型选择	133
9.3	坝高	134
9.4	荷载分析	136
9.5	拦砂坝平面布置要点	140

9.6 坝的横断面设计	141
9.7 重力坝的结构计算	143
9.8 坝体附属工程及细部设计	145
9.9 拦砂坝库容计算	147
9.10 拦砂坝的回淤纵坡	149
9.11 拦砂坝实例	150
第十章 泥石流流格栅坝	153
10.1 概述	153
10.2 梁式坝	154
10.3 切口坝	156
10.4 泥石流钢索网格坝	157
10.5 刚性格子坝	159
10.6 桩林	162
第十一章 泥石流停淤场、渡槽和沟道整治工程	163
11.1 泥石流停淤场	163
11.2 泥石流渡槽	168
11.3 泥石流沟道整治工程	175
第十二章 防治泥石流的生物措施	179
12.1 概述	179
12.2 生物措施的分类和特点	179
12.3 生物措施规划	180
12.4 防治泥石流的林业措施	181
12.5 防治泥石流的农业措施	182
第十三章 泥石流预报和警报	184
13.1 概述	184
13.2 泥石流预报类型	184
13.3 泥石流预报和警报方法实例选	185
13.4 危险区划分与疏散救灾	193
第十四章 泥石流防治实例	195
14.1 城镇泥石流防治	195
14.2 运输线路泥石流防治	203
14.3 矿山泥石流防治	207
14.4 农田泥石流防治	210
参考文献	215

第一篇 泥石流及其流域调查

第一章 泥石流及其危害概述

1.1 泥石流定义

泥石流是松散土体和水的混合体在重力作用下沿自然坡面或沿压力坡流动的现象^[1]。这种现象在陆地表面或江、湖、海底都会出现,地质史上的泥石流沉积岩层和泥石流地貌特征是其留下的痕迹。而这种现象多发生在条件具备的山区,并常常对人类社会和自然环境造成危害。

泥石流暴发突然,很难预知其发生的准确时间,其泥位和流量陡涨暴落,历时较短,一次泥石流过程一般从几分钟至几小时。

泥石流中固体物含量高且含有巨石,若沿山高坡陡的地形坡面运动,其流速每秒可达几米甚至几十米,高的位能转化为强大的动能,其破坏力很大;而在缓坡地带又会迅速堆积。它与一般洪水和水流有着迥然不同的运动机理。由于其组成不均匀,它的流动是不稳定的,即使通过同一断面的泥位不变,而其单位时间所通过的质量是随时间变化的;一般泥石流都有阵流并拥有前锋(龙头),其运动有明显的直进性,遇障碍物或通过弯道不易绕流或变向,而产生猛烈的冲击作用或爬高冲起现象。

泥石流中的土体多种多样,其颗粒大小的分布范围有的较窄,粒径较为均匀;而有的很宽,从粘粒至卵石甚至漂砾极不均匀。土粒间的间隙全部为水或泥浆充满,不含或含极少的空气。

泥石流中土体的体积浓度 C_s 介于夹沙水流和滑动土体之间^[2],按下式计算,它表示固体物质在泥石流体中所占的体积比,

$$C_s = (\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_s - \gamma_w) \quad (1.1.1)$$

式中, γ_c 为泥石流体的容重(克/厘米³; 吨/米³),按3.2节所述方法测定; γ_w 为泥石流中水的容重(一般取1克/厘米³或1吨/米³); γ_s 为泥石流中土体的实体容重(克/厘米³, 吨/米³),在数值上等于土体的比重,按《土工试验规程 SDS01-79》测定; C_s (%或小数)变幅较大^[3], 上、下界线为:

$$C_s > C_{s1} \geq 1 / (\gamma_s + \gamma_w) \quad (1.1.2)$$

式中, C_{s1} 为发生泥石流的松散土体中土体实体的体积浓度(%或小数)。

$$C_s = 1 - n \quad (1.1.3)$$

n 为土体的孔隙度(%或小数),根据野外取样按土工试验规程测定。

土水混合体中,土体的体积浓度 C_s 处于(1.1.2)式范围内,属于泥石流; $C_s \geq C_{s1}$, 属于滑动土体; $C_s < 1 / (\gamma_s + \gamma_w)$, 属于水流或含沙水流或高含沙水流。

级配良好的松散土体其 C_{s1} 值可达0.75—0.80。 γ_s 一般在2.6—2.8之间。将这些

数值代入 (1.1.2) 式, 得到泥石流中的土体体积浓度 C_v 介于 0.26 至 0.28—0.75 至 0.80 之间, 相应的泥石流流体容重 γ_c 介于 1.42 至 1.50 克/厘米³—2.20 至 2.44 克/厘米³ 之间。

根据 (1.1.1) 式,

$$\gamma_c = C_v \gamma_s + (1 - C_v) \gamma_w \quad (1.1.4)$$

泥石流中水的体积含量为 $1 - C_v$, 代入上述 C_v 值, 得出其水体体积含量一般介于 0.72 至 0.74—0.20 至 0.25 之间。

1.2 泥石流分类及特征

按照泥石流的成因、地貌条件、物质组成、固体物质提供方式、流体性质、激发因素、动力学特征、发育阶段等不同指标和综合指标, 目前主要有以下几种分类。

1. 按照泥石流成因分类

(1) 自然泥石流

这类泥石流是由于综合的自然条件造成的。

(2) 人为泥石流

这类泥石流主要是由于人类活动而引起的。

2. 按照泥石流发生的地貌条件分类^[4]

(1) 河谷型泥石流

这类泥石流的发生、运动和堆积过程在一条发育较为完整的河谷内进行, 固体物质主要来自河床质。

(2) 山坡型泥石流

这类泥石流发生、运动过程沿山坡或在山坡冲沟中进行, 堆积在坡脚或冲沟出口与主河交汇处, 固体物质主要来自沟坡。

3. 按照泥石流物质组成分类^[5]

(1) 泥石流

泥石流中土体颗粒大小分布宽, 由粘土、粉土、砂、砾、卵石直至漂砾等各种粒径的颗粒组成。

(2) 泥流

泥石流中土体主要由粘土、粉土和砂组成, 缺少或很少砾和卵石颗粒。

(3) 水石流

泥石流中土体主要由大量的砂、砾和卵石组成, 缺少或很少粘土和粉土颗粒。

4. 按照泥石流固体物质提供方式分类^[1, 6]

(1) 滑坡泥石流

固体物质主要由滑坡提供。

(2) 崩塌泥石流

固体物质主要由崩塌提供。

(3) 沟床侵蚀泥石流

固体物质主要由沟床堆积物侵蚀提供

(4) 坡面侵蚀泥石流

固体物质主要由坡面或冲沟侵蚀提供。

5. 按照泥石流流体性质分类^[7]

(1) 粘性泥石流 (或称结构型泥石流)

土体中粘土含量一般 $>3\%$, 泥石流流体粘度 >0.3 帕·秒, $C_s>50\%$, $\gamma_s>1.8$ 克/厘米³ (泥流 $\gamma_s>1.5$ 克/厘米³); 呈整体层流运动, 有阵流现象; 流体中常保留有原状土块; 堆积物无分选。

(2) 稀性泥石流 (或称紊流型泥石流)

土体中粘土含量一般 $<3\%$, 泥石流流体粘度 <0.3 帕·秒, $C_s<50\%$, $\gamma_s<1.8$ 克/厘米³ (泥流 $\gamma_s=1.2-1.5$ 克/厘米³); 呈紊流运动, 无明显阵流; 堆积物有明显分选, 其土体颗粒较发生泥石流的原始土体的粗化。

6. 按照泥石流激发、触发和诱发因素分类^[8]

(1) 激发类泥石流

由绵雨、中到大雨、暴雨、冰雪融水、冰雪雨水、冰湖或水库溃决等激发造成。

(2) 触发类泥石流

由强烈地震、火山、大爆破、崩塌、滑坡等触发造成, 地震烈度一般需在7度以上地区。

(3) 诱发类泥石流

由森林破坏、采矿弃碴、地下水涌流等诱发造成。

7. 按照泥石流动力学特征分类^[9]

(1) 土力类泥石流

这类泥石流沿较陡的坡面运动, 其中的土体运动勿需水体提供动力, 而是靠其自重沿坡面的剪切分力引起和维持运动。

(2) 水力类泥石流

沿较缓的坡面运动, 其中的土体是靠水体部分提供的推移力引起和维持其运动。

8. 按照泥石流发育阶段分类^[9]

(1) 发展期泥石流

流域一般属幼年期地形, 按2.2节所述方法确定; 山体破碎, 坡面不稳定且日益发展; 泥石流规模逐渐增大, 淤积速度递增。

(2) 旺盛期泥石流

流域一般属壮年期地形, 按2.2节所述方法确定; 坡、沟很不稳定; 泥石流发生频繁, 规模变化不大, 淤积速度大致稳定。

(3) 衰退期泥石流

流域一般属老年期地形, 按2.2节所述方法确定; 坡、沟趋于稳定; 泥石流规模逐渐减小, 以河床侵蚀为主。

(4) 停歇期泥石流

流域内沟、坡稳定, 植被已恢复, 沟槽固定, 沟床以水流冲刷为主, 多年已未见泥石流发生。

9. 泥石流综合分类^[9]

将上述各种指标综合起来, 可以进行泥石流综合分类。综合分类实际上是根据野外

调查和实验研究所获得的基础资料对泥石流基本特征的概括，是采取防治对策的重要依据。表 1 列出泥石流综合分类及相应的主要防治对策。

表 1 泥石流综合分类表

分类指标	分 类	相 应 的 主 要 防 治 对 策
泥 石 流 成因	自然泥石流	改变促发泥石流的自然条件组合，如土水分离、调洪等措施
	人为泥石流	加强环境保护，恢复生态平衡，如恢复植被、合理开发、加强管理等措施
泥石流发生 的地貌条件	河谷型泥石流	进行河道综合整治，如拦蓄、稳坡护岸、固床、合理利用山坡等措施
	山坡型泥石流	进行坡面冲沟治理，如植树造林、合理利用土地等措施
泥石流物 质组成	泥 石 流	拦挡宜用实体坝，排泄坡度宜陡，工程的整体性和牢固性宜高
	泥 流	拦挡宜用实体坝，排泄坡度宜陡
	水石流	拦挡宜用缝隙坝，排泄坡度适中，工程设计要考虑个别巨石的冲击力
泥石流固 体物质提 供方式	滑坡泥石流	稳定滑坡，如拦砂坝稳滑坡等措施
	崩塌泥石流	防止崩塌，如坡面排水、保护坡脚等措施
	沟床侵蚀泥石流	稳定沟床，如设防冲肋板、护岸、护坡等措施
	坡面侵蚀泥石流	控制坡面侵蚀，如植树造林、建谷坊等措施
泥石流 流体性质	粘性泥石流	拦挡宜用实体坝，排泄坡度宜陡
	稀性泥石流	拦挡宜用缝隙坝，排泄坡度适中
泥石流 促发因素	激发类泥石流	可利用暴雨、冰川活动特征等资料进行预警报
	触发类泥石流	可利用地震裂度进行预警报
	诱发类泥石流	对诱发原因加以控制
泥石流 动力学特征	上力类泥石流	保护目标应避免与其直接顶撞，拦挡宜用高坝，排泄沟宜顺直
	水力类泥石流	拦挡宜用缝隙坝，排泄坡度适中
泥石流 发育阶段	发展期泥石流	控制环境恶化因素，防治措施需考虑有增加的余地
	旺盛期泥石流	按现状制定防治措施，并考虑有增补和加强的余地
	衰退期泥石流	按现状制定防治措施
	停歇期泥石流	加强环境保护，防止泥石流复活

1.3 泥石流发生条件

泥石流发生需要基本条件和促发条件，在同时具备下述三个基本条件^[7]和具备激发、触发或诱发条件之一的情况下，就会发生泥石流。

1. 基本条件

(1) 松散固体物质条件

自然泥石流的松散土体来源主要取决于流域地质特征，在地质构造复杂、断裂褶皱发育、新构造运动强烈、地震烈度高于 7 度的地区，山坡稳定性差，岩层破碎，山崩、滑坡、崩塌、岩锥、错落、表层剥蚀等自然地质作用能为泥石流形成提供丰富的松散土体。

人为泥石流的松散固体物质来源，除取决于地质特征外，主要由人类活动造成。工厂矿山生产中的废渣、建设中的弃土处置不当，山坡遭破坏、森林被乱砍滥伐而加剧水土流失等，能为泥石流形成提供大量固体物质。

泥石流松散土体一般需要在较长时间内积累，而其成为泥石流运动，常常是以突发性的山崩、滑坡、崩塌和河床或坡面堆积物遭水流强烈侵蚀等方式在短时间内完成的。

(2) 水体条件

自然泥石流的水体主要由大气降水提供，降雨、冰川积雪融水能为泥石流形成提供足够水体，地下水、泉水、冰湖和堵塞湖溃决也能造成泥石流。

人为泥石流的水体，在缺少降水和地下水的情况下，含水饱和或过饱和的废渣、弃土堆在强烈震动下发生液化，也能形成泥石流。

发生泥石流所需的水量与多种因素有关，主要取决于松散土体的性质和地形，若土体颗粒细，疏松，含水量高，且具有较陡的地形，则较少的水量即能引起泥石流。除沙漠、戈壁区外，一般山区流域都具备发生泥石流的水源条件。

(3) 地形（自然坡面）或压力坡条件

由表面水流引起的河床堆积物发生土力类泥石流，其坡度一般不小于 14 度，坡面堆积物发生土力类泥石流，坡度应接近其饱和土体的内摩擦角。水力类泥石流发生的坡度随土体颗粒组成和容重变化而变化，其值小于土力类的。

泥石流发生后，若沿程坡度大于其运动所需坡度，则泥石流会继续运动，泥石流运动所需最小坡度根据流体性质按 4.3 节所述的方法确定。

封闭泥石流（地下或管道中泥石流）所需的坡度由高低压端所形成的压力坡提供，当压力坡大于泥石流运动所需的最小坡度便会发生泥石流。

2. 激发、触发和诱发条件

具备前述泥石流发生的三个基本条件后，泥石流发生需要激发、触发或诱发条件。激发条件是指泥石流发生基本条件中某一条件超过一般情况下的强度持续作用；触发条件是指泥石流发生基本条件以外的其他动力作用；诱发条件是指影响泥石流发生基本条件的间接因素。下述情况之一可造成这种条件。

(1) 土体骤然失稳

如崩塌、滑坡、冰崩、雪崩等促使土体突然运动。

(2) 水体突然增加

如暴雨、冰川积雪强烈消融、水库或冰湖溃决、地下水压力增大等使水体和水压力突然增加并强烈推动和冲刷堆积物。

(3) 地形突变

如人类活动使坡度变陡、松散土体堆增高等，促使土体发生泥石流运动。

(4) 震动

如强烈地震（烈度大于 7 度）、大爆破等，促使泥石流体起动，或使水饱和土体发生液化流动。

(5) 山坡森林植被遭破坏

1.4 泥石流分布

自然泥石流分布在具备泥石流发生条件的山区。在沙漠、戈壁区没有足够的水体，不会发生泥石流。特别湿润山区，降水充沛且分配均匀，松散土体经常被水流冲刷带走，一般也难以发生泥石流。在空间分布上，泥石流主要发生在温带和半干旱山区，以及有冰川积雪分布的高山地区，在热带和亚热带山区，若遇大暴雨也会发生泥石流。在时间分布上，泥石流主要发生在雨季和冰川积雪强烈消融时期。

我国泥石流主要分布于西南、西北、华北山区和青藏高原边缘山区，东北的西部、南部和东部山地，华东、中南部分山地，以及台湾、海南岛等山地也有泥石流分布^[6]。

1. 川滇山区泥石流

本区是我国暴雨泥石流最为发育的地区。其中以滇北山区、金沙江中下游沿岸和四川西部山区分布最为广泛，活动最频繁。

2. 青藏高原东南部山区泥石流

本区是我国冰川泥石流最发育、最活跃的地区。所谓冰川泥石流系指发育在高山冰川和积雪边缘地带，以冰碛物为主要固体物质补给源，以冰雪融水、冰湖溃决、冰崩雪崩融水为主要水源，以古冰川和现代冰川谷地及流水沟谷为活动场所的泥石流。

3. 西北黄土高原山区泥石流

本区是我国暴雨泥石流最为发育的地区。同时在陇南山地也多发生暴雨泥石流，华山地区多发生暴雨水石流，祁连山、天山、昆仑山等山区也有泥石流零星分布^[6]。

4. 华北和东北山地泥石流

本区以暴雨水石流为主。北京西山、太行山东麓、辽宁西部山区等都常发生泥石流灾害。

根据已有的资料从行政管辖区看，全国有28个省、市、自治区（包括台湾）都分布有泥石流。四川、云南、西藏、陕西、甘肃、辽宁等省区的山区，泥石流分布更为广泛，发生相当频繁，危害甚为严重。图1至图7分别为中国泥石流分布略图，以及全国主要铁路沿线、成昆铁路沿线、云南小江流域、四川汉源流沙河流域、四川省、云南大盈江流域等泥石流分布图。

人为泥石流除发生在山区外，在其它地区由于人类活动创造了三个基本条件，若遇激发、触发或诱发条件亦可发生。1976年7月28日凌晨，在唐山7.9级强烈地震触发下，位于天津市塘沽滨海平原的天津碱厂废渣堆（该区地震烈度为8度）发生了废渣液化泥石流，流动距离300米，流动体积约200万 m^3 ，造成巨大损失^[10]。

1.5 泥石流危害

泥石流对其活动区（包括发生区、流通区、堆积区）内的生态环境、城镇、居民点、工业、农业、交通、水利设施、通讯、旅游、资源等和人民生命财产会造成直接破坏和伤害。同时，大量泥沙进入或堵塞江河，还会给上、下游地区造成巨大危害，间接损失更难以计算。表2列出了部分泥石流灾害实例。