

第一篇 中国泥石流的区域特征

第一章 中国泥石流发育的环境和人为因素

§ 1.1 地质背景

一、地质构造

影响我国泥石流发育的控制性因素主要是：地质构造复杂，近期活动强烈，升降差异显著，地形起伏巨大，斜坡工程地质条件差，岩性脆弱地带等区域地质背景。

我国构造运动表现十分强烈，断裂非常发育，特别是以纵向构造和歹字型构造最突出。这些断裂规模大、活动性强，是影响区域地壳稳定性的主要因素。大断裂分布地区也是区域地震活动最为频繁地区；断裂对地形的影响和斜坡岩体的破坏作用也很明显，它们不仅控制着我国现代地貌的发育，而且也基本控制了我国泥石流发育和区域的分布特征。

大断裂构造的破碎带可长达几公里至数十公里，沿断裂带上软弱构造面发育，岩石破碎，形成了糜棱岩、破裂岩和角砾岩等动力变质岩，成为滋生泥石流的温床，是泥石流发生发展的控制性因素。我国活动断裂带，诸如安宁河断裂带、绿汁江断裂带、小江断裂带和波密-易贡断裂带以及白龙江断裂带等，成为我国泥石流最发育地区，其泥石流数量之多，规模之大，活动之强，灾害之重，为我国之冠。其次，怒江断裂带（巴青-丁青、邦达-左贡）、澜沧江断裂带（昌都-察雅）、金沙江断裂带（巴塘-奔子栏）等发育了较多的泥石流。次一级或小断裂构造对泥石流的发生和发展也有直接影响，例如东川蒋家沟泥石流、大白泥沟泥石流、四川黑水芦花沟泥石流、九寨沟荷叶沟泥石流等。在我国东部地区，主要有北东向和南北向断裂等也发育了较多的泥石流。由此可见，我国泥石流绝大多数发育带与区域大断裂的展布有关。活动断裂构造有利于泥石流的发育和形成，但不是所有断裂构造都能发育和形成泥石流。

二、地层岩性

我国地域辽阔，出露地层齐全，从上古生界到第四系地层都有分布，还出露大规模的

不同期的花岗岩，火山岩等。

在地质构造控制下，一个地区的地层岩性与泥石流发育和形成也有密切的关系。由于风化速度的不均，岩性软弱的岩层或软硬相间的岩层比岩性均一的坚硬岩层易遭破坏，提供松散物质也就越易，因而对于形成泥石流就越有利，反之亦然。

我国易发育和形成泥石流的岩层主要有以下几类^[1]：

(1) 新生界地层。为固结较差的粘土岩类和各种成因的松散堆积，极易产生泥石流等山地灾害。特别是西南地区的成都粘土、昔格达粘土，西北地区的黄土及含盐地层，泥石流发育，成片状分布。

(2) 中生界陆相地层。特别是含膏盐红层，此类岩层岩石固结性差，抗剪强度低，易软化和泥化，在干湿变化下胀缩作用明显，岩石表层崩解迅速，常形成较厚的碎屑层，该地层常含膏盐，在水的长期作用下，固结力会降低甚至失去，由于软化性大，当其处于边坡位置，特别是当产状与坡向一致时，坡面易于失稳，产生滑坡，成为泥石流的物质补给来源。在该地层分布地区泥石流发育。例如安宁河、龙川江、澜沧江（昌都—雅砻段）、川东地区。

(3) 煤系地层。该地层为砂泥质岩系，粘土岩类强度低，遇水易软化，组成的斜坡易失稳发生滑坡泥石流灾害，其发育和分布多呈点状或带状，如贵州六盘水煤矿区。

(4) 含凝灰岩夹层的玄武岩。该岩层常夹数层凝灰岩或凝灰碎屑岩，对岩体稳定性影响很大，特别是当其产状顺坡时，边坡失稳产生滑坡，导致泥石流发生，如云南禄劝普福等大型崩塌型滑坡。

(5) 变质岩类。此类岩层时代古老，节理、裂隙发育，常有较厚的风化带，特别是在水浸作用下，其中变质矿物如绢云母、绿泥石易重新分解为粘土矿物而发生泥化，极易产生滑坡，形成泥石流。例如云南东川小江流域的蒋家沟、大、小白泥沟，西藏东南部波密加马其美沟，四川西部大渡河和岷江的金川八步里沟、黑水芦花沟，甘肃武都白龙江的柳湾沟、火烧沟等泥石流，均发育于此类岩层组成的山地河谷地带。

(6) 碳酸盐岩层。该岩层具有可溶性，在石灰岩分布地区只有机械风化或寒冻风化所形成的岩块碎屑或经淋溶残积红土，成为泥石流流域固体物质补给源时，才有可能参与泥石流活动。四川九寨沟泥石流发育于古生代碳酸盐岩山地。该岩层不仅提供固体物质，而且形成陡峻地形，有利于泥石流的形成和活动。又如云南大理苍山 18 溪泥石流的发育状况也与此类似。我国南方喀斯特（岩溶）发育地区，由于碳酸盐岩层的可溶性和溶洞发育，不仅难以为泥石流提供充足的固体物质，也缺乏水源，因此，在碳酸盐岩层分布的大部分地区无泥石流发育。

(7) 强烈风化的花岗岩。花岗岩在炎热多雨的气候条件下，易形成深厚的风化壳，厚度达 50~100 米，强风化带厚 5~30 米，呈砂土状，强度低，易于泥石流发育和形成。在寒寒地区以寒冻风化为主，岩体机械破碎，形成岩屑型风化壳，也利于泥石流发育。例如西藏波密古乡沟冰川泥石流，四川甘洛利子依达沟泥石流，云南黑山沟、梁河、盈江浑水沟泥石流等发生在花岗岩、火成变质岩地区，岩体多构成高山，经历了物理和寒冻风化作用，使岩体沿节理裂隙面崩解成巨大岩块、碎石、粗砂，成为泥石流固体物质的补给源，多发育了大型泥石流。利子依达沟内花岗岩体中三组裂隙所组成的稠密裂隙网，加速了岩石的风化破碎。由于花岗岩的结构构造和矿物成分的特点，经物理和化学风化，导致岩体崩解，

矿物或岩石表面裂开形成碎屑或砂粒，因此，花岗岩的岩体构造和岩性，对泥石流固体物质补给提供了极为有利的条件，使泥石流活动频繁，规模很大。此外，花岗岩岩性对泥石流的性质也有很大的影响，花岗岩颗粒粗大（0.5~1.5 毫米）形成的泥石流多属稀性。

三、新构造运动

新构造运动是控制泥石流分布和发生发展的重要因素。因为新构造运动为泥石流的形成提供了地形条件和重力能量，并控制区域水文网的发育，地震活动强度取决于新构造运动对大断裂活动的强化强度。

新构造运动对泥石流发育的影响主要表现为新构造运动的类型，其次是运动幅度。

1. 运动类型

（1）差异升降区。从我国西部泥石流发育特征来看，随着差异升降幅度越大泥石流分布越密集，具数量多、活动强、灾害重的特点。如龙门山—邛崃山—大雪山—小相岭—玉龙雪山是横断山区向四川盆地、滇中拗陷的过渡带，泥石流极为发育，仅岷江上游发育有泥石流沟 545 条。断陷盆地、断块山两侧差异运动幅度大，泥石流十分发育。贡嘎山地区发育了 43 条泥石流沟，炉霍一带鲜水河谷地发育分布有 310 余条泥石流沟，安宁河断陷谷地两侧有 176 条泥石流沟。

（2）翘起抬升区。该区内泥石流主要发育和分布于翘起抬升区的顶端，因为断裂强烈，地形坡度陡，有利于泥石流发育。例如，安宁河流域翘起抬升区的顶端黄联关—德昌段泥石流流域面积分布率为 27.4%，德昌—河口为 20.5%。

（3）整体抬升区。整体抬升区具有地表稳定、强震少、断裂活动性弱、岩体完整、地形高差小等特点。基本不具备泥石流形成发育必不可少的地形条件，泥石流不发育。

2. 运动幅度

新构造运动可分为垂直运动和水平运动，其中垂直运动对泥石流发育影响较大。垂直运动幅度对泥石流发育的影响比较复杂，从横断山区整体看，隆升幅度从东南向西北递增，但泥石流发育和分布并没有呈现类似的规律，这主要是因为地壳稳定性、断裂活动强度、地震活动主要与新构造运动类型有关。但在同一流域中，强隆升断块区泥石流发育，而沉降断块和稳定断块区内泥石流不发育。如安宁河流域东岸为强抬升区，西岸较稳定，东岸抬升量高于西岸约 100 米，冕宁以南东岸其发育有 124 条泥石流沟，而西岸只有 39 条，泥石流面积分布率东岸为 34.2%，西岸为 12.9%。南北间次级断块也有类似规律。

四、地 震

地震是释放地壳应力和地壳应变能量的重要方式之一。地震特别是强震可显著降低表层的强度，破坏自然斜坡的稳定性。地震所激发的滑坡等，是地震力对斜坡变形的直接效应，7 级以上的强震还可产生大量地震断层，这些都直接增加了泥石流固体物质来源。因此 1973 年的炉霍地震，1976 年的松潘—平武地震，均曾有泥石流活动。地震对泥石流

发育分布的影响是叠加在新构造运动和断裂活动之上的,因为强震都发生在新构造运动强烈、深断裂运动性强、断裂互相交切的地区。

地震对泥石流发育和分布的影响大小主要受地震烈度的控制。一般认为,地震烈度在 7 度以上的地区,地震对泥石流发育和分布影响显著。

据安宁河主河谷两侧不同地震烈度区泥石流分布密度统计,得出如下结论,并在横断山区得到了验证。

(1) 烈度 9 度以上地区泥石流沟发育 分布极密。例如 位于 1850 年西昌礼州 7 $\frac{1}{2}$ 级地震与 1952 年石龙 6 $\frac{3}{4}$ 级地震之间的安宁河谷两侧,泥石流沟密度达 0.51 条/公里。横断山区地震烈度在 9 度以上,地震泥石流分布具同样的规律。

(2) 烈度 7 度以上地震地区泥石流分布与地震关系较密切。安宁河主河谷两侧 7 度以上地区烈度与泥石流沟谷密度有一定的线性关系。

$$y = 0.05x - 0.007; \quad R = 0.969$$

式中 x 烈度; y 沟谷密度; R 相关系数。

横断山区由于地质构造、新构造运动的差异,以及考察的局限,虽未得出全区烈度与泥石流分布密度的关系,但本区 8 条强震发生带都是横断山区主要泥石流分布地带。

此外,地震对泥石流发育和分布的影响还受到其他自然条件特别是地形的影响。地形陡峻的地区地震对泥石流影响大,所以川西的龙门山强震发生带、松潘-茂汶强震发生带、鲜水河强震发生带、安宁河强震发生带等与滇西北的永胜-宾川强震发生带、中甸-大理强震发生带、泸水-龙陵强震发生带泥石流分布都很密集。

综上所述,地质背景条件是决定泥石流发育和分布的最重要因素。在地质条件中新构造运动类型、深断裂及其活动是控制泥石流发育和分布的首要因素。

§ 1.2 地 貌 条 件

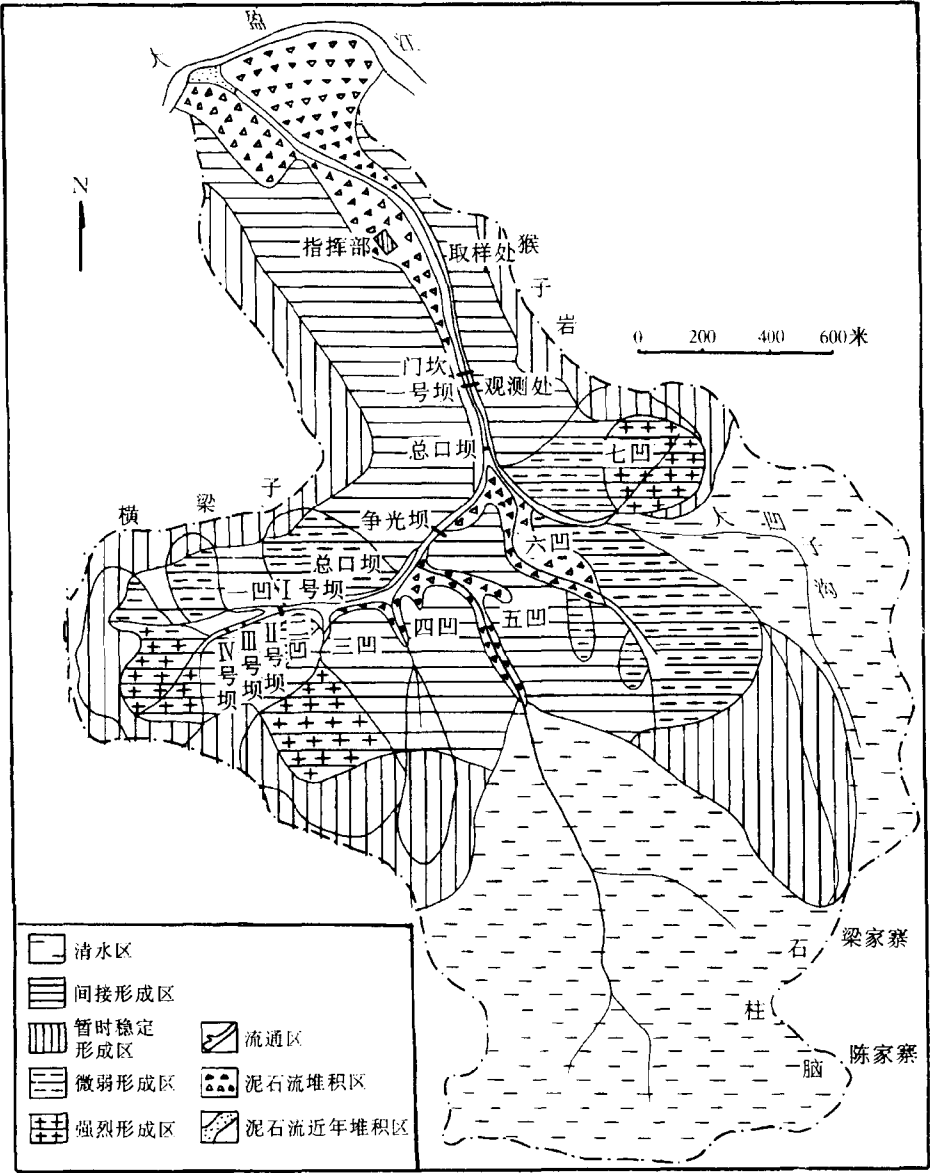
地貌条件是形成泥石流的内因和必要条件,制约着泥石流的形成和运动,影响着泥石流的规模和特性。在泥石流形成的三个基本条件中,地貌条件是相对稳定的,其变化是缓慢的,同时它在泥石流活动过程中也进行着再塑造作用。

泥石流形成的地貌条件 主要是泥石流沟沟床比降、沟坡坡度、坡向、集水区面积和沟谷形态等^[2,3]。

晚第三纪以来,我国大部分山地强烈隆起,尤其是青藏高原的崛起,不仅形成了巨大的山系,构成了我国地貌总的骨架,而且影响到季风活动和水热状况的分布,同时也决定了我国山地自然灾害的形成和分布格局。

我国的地形具有西部高、东部低,呈阶梯状特点。西部为大高原、极高山、高山,东部为宽广的中山、低山、丘陵和平原。从西部到东部地形高度呈阶梯状下降,明显有三级阶梯,平均海拔分别为 4 500 米以上、2 000~1 000 米和 500 米以下。在各级阶梯过渡的斜坡地带和大山系及其边缘地带,岭谷高差达 2 000 米以上,山坡坡度 30°~50°,河床比降陡,多跌水和瀑布,这种青壮年期地貌特点,无疑是十分有利于泥石流的形成。但就一个

沟谷来说 其地貌条件 主要由沟床比降、沟坡坡度、集水区面积和沟谷形态以及地形坡向等表示。泥石流沟谷一般可划分为：形成区（包括清水区）和固体物质补给区；流通区；堆积区三部份。图 1.1 是浑水沟泥石流分区示意图。



1. 沟床比降

沟床比降是流体由位能转变为动能的底床条件，是影响泥石流的形成和运动的重要因素，一般来说，泥石流沟床比降愈大，则愈有利于泥石流的发生，反之亦然。兹将有代表性的西藏 150 条各类泥石流平均沟床比降统计如表 1.1。

表 1.1 泥石流沟床比降统计表

沟床比降(‰)	< 50	50~100	100~300	300~400	400~500	>500	小计
泥石流条数所	3	26	82	28	5	6	150
占比例 (%)	2	17.3	54.7	18.7	3.3	4	100

从表 1.1 中看出，沟谷平均沟床比降在 50‰~300‰的占总数 90.7% 尤以 100‰~300‰ 的沟床比降居多 占 54.7%。说明这种沟床比降对泥石流的形成和运动最为有利，因此在这个比降范围的沟谷，泥石流暴发十分频繁。比如，古乡沟自谷口至源头平均比降为 283‰ 加马其美沟平均比降为 262‰，这两条泥石流沟是西藏境内泥石流暴发最频繁的典型泥石流沟。

我国其他山区泥石流沟床比降与西藏情况也很相似，例如四川汉源流沙河流域的 42 条泥石流沟 其平均沟床比降以 100‰~300‰ 居多 占总数的 83% 起始比降最小值为 380‰ 最大值为 686‰。这种沟床比降既表现沟谷坡面侵蚀与沟道侵蚀的相互关系，又反映出泥石流沟的发育状况，当沟谷处于发展阶段，沟床强烈下切而极不稳定，常具有猛冲、猛淤的特点 往往在较短的时间输移大量的固体物质 使沟床比降不断进行调整 当沟床纵比降变缓，沟内所提供的固体物质无力输送到沟口以下的主河谷地时，沟床比降处于不冲不淤的均衡剖面状态 此后泥石流活动将发生显著变化 其间歇期增长 活动性减小，直到衰亡，即由泥石流沟谷变成成为非泥石流的清水溪沟，从而揭示了泥石流沟谷地貌发育史上一定阶段的产物

2. 沟坡坡度

沟谷内沟坡坡度的陡缓直接影响到泥石流的规模和固体物质的补给方式与数量（表 1.2）。从多数泥石流沟谷坡度来看，有利于提供泥石流固体物质的沟坡坡度，在东部中低山区为 10°~30°，固体物质补给方式主要是滑坡；在西部边缘高山区则为 30°~70° 固体物质补给方式大多为崩塌、滑坡和岩屑流。在森林线以上坡地尤其如此。沟坡较陡的沟谷内 崩塌、滑坡规模较大 而形成泥石流的规模也较大 因此 这是我国西部泥石流规模较大的原因之一。例如，西藏古乡沟沟坡陡达 50° 沟的源头基岩裸露的山坡 坡度达 60°~80° 寒冻风化强烈 岩崩和雪崩频繁 而切于冰碛物内的沟坡陡直 坡度达 60°~70° 坡面很不稳定 崩塌、滑坡活动强烈 为泥石流固体物质主要补给源 因此该沟泥石流暴发频繁 规模较大。

表 1.2 甘肃泥石流形成区山坡坡度统计

坡 度(°)	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	合计
泥石流条数	10	10	7	8	3	38
占总条数的百分比 (%)	26.6	26.6	18.7	21.0	7.1	100

3. 集水区面积

泥石流大多形成于集水区面积较小的沟谷，一般来说，较小的集水区面积易于泥石流

的形成和活动 现将西藏 219 条泥石流沟流域面积统计如下（表 1.3）。

表 1.3 西藏泥石流沟集水区面积统计表

集水面积(公里 ²)	<0.5	0.5~10	10~50	50~100	>100	合计
泥石流沟条数	26	135	49	7	2	219
占总条数百分比(%)	11.9	61.6	22.4	3.2	0.9	100

从表 1.3 看出 集水区面积 0.5~10.0 平方公里的泥石流沟有 135 条 大于 10.0 平方公里有 58 条 小于 0.5 平方公里的有 26 条。冰雪类泥石流沟集水区面积大于 10.0 平方公里，多暴发特大的泥石流，西藏古乡沟集水区面积为 26.0 平方公里 章陇弄巴沟集水区面积为 31.8 平方公里，均暴发过特大泥石流。暴雨泥石流沟的集水区面积大多为 0.6~10.0 平方公里，它们是西藏最普遍和最活跃的泥石流沟。

4. 沟谷形态

泥石流沟谷因泥石流类型和发育阶段不同而具有多种形态。其中漏斗状和勺状为典型的泥石流沟谷形态，这种形态对于泥石流的形成和活动均较有利，前者如西藏古乡沟、云南蒋家沟、四川西农河，后者如云南小江大白泥沟。这种流域形态大多具有泥石流形成、流通和堆积等三个区段，是发育比较完善的泥石流沟谷，而处于高山峡谷地段集水区面积 < 1.0 平方公里，而且受到主河侵蚀下切影响的沟谷，其形态很不规则，三个区段发育不完善 特别是堆积区不发育 如西藏加马其美沟便是一例。

5. 地形坡向

地形坡向对泥石流的形成、分布和活动强度也有显著影响。我国山系呈东西向、北西向西向、南北向和北东向展布，其间江河流向受严格控制。山地与河谷两岸因地形坡向的不同，而影响冰雪积累、消融和降雨量的多少，以及植被生长、岩石风化程度等，尤以东西走向山地的喜马拉雅山、秦岭等山地的南北坡最为明显。在阴（北）坡地带冰雪冷储条件好，雪线较低 南 坡低 现代冰川较阳坡发育 长度大 下 达海拔低 冰川相对稳定 因此 泥石流形成固体物质和水源条件比较差，而多数沟谷泥石流活动不明显。相反，在阳坡地带受太阳辐射的热能强，并对南来的暖湿气流拦截更多的大气降水，加速冰川（雪）消融，极易形成泥石流 因此 阳坡地带降雨型和冰川（雪）消融型泥石流发育。

§ 1.3 水 源 条 件

1. 降水

泥石流发生和水的关系极为密切。泥石流发生的水源主要来自大气降水，其次为地下水和冰雪融水。我国处于典型的季风气候区 雨量充沛 降水集中 多暴雨和特大暴雨，若以年降水量 500 毫米等值线为界，可将我国分成东部湿润区和西部干旱区。

在东部湿润区多发生降雨型泥石流，而且出现频率高；西部干旱区和高寒区出现冰雪消融泥石流、冰湖溃决泥石流和降雨型泥石流，但冰雪消融泥石流规模大，频率高。降雨

型泥石流发育和分布于辽西山地、北京西部山区、太行山区、秦岭山区、大巴山区、龙门山区、横断山区、乌蒙山区、南岭、五指山区 台湾的阿里山也有零星分布。降水与冰雪消融、冰湖溃决为水动力条件而形成泥石流的地区分布于喜马拉雅山、念青唐古拉山、祁连山、天山及横断山（一部分高原地区）等山区。从行政区上看，我国的降雨型泥石流遍及全国 20 多个省、市、自治区。泥石流发生频率高 受灾严重的有云南、四川、西藏、甘肃、陕西、青海、新疆、北京（市）、河北、辽宁、江西、湖北、湖南、广东、河南和台湾等。

中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨 它们在 24 小时内降雨量有下限依次为 10、25、50、100 和 200 毫米）均可激发泥石流。据研究，泥石流发生与前期降水量，特别是与 10 分钟和 1 小时的短历时的强降水量 雨强 有十分密切的关系。

暴雨是由中尺度的天气系统作用造成的，这类天气系统的尺度，一般只有数十公里，历时只有几个小时，而且暴雨集中的地区，此天气系统的尺度还要小得多。事实上，由暴雨激发的泥石流，常常是限制在较小的范围内，或是发生于某个山岭某几条沟的流域，大面积的沟谷泥石流同时共发的现象，在没有特殊条件的情况下（如强烈地震作用和大暴雨），一般是少见的 即使在地形、固体物质和植被等条件都类似的同一地区 或相邻的沟谷，往往也并不同一时发生泥石流。泥石流的形成、运动和停积的全过程是非常短促的，一次泥石流经历数十小时的，从国内外的资料来看，仅是有限的几次。

强暴雨的局地性和短历时雨强对泥石流激发起着重要的作用。在日本，激发泥石流的 1 小时雨强一般都在 30 毫米以上，10 分钟雨强在 7~9 毫米以上。我国川西地区激发泥石流的 1 小时雨强也在 30 毫米左右，10 分钟雨强则在 10 毫米以上（表 1.4）。

表 1.4 泥石流发生的降水特征统计表

沟名	泥石流 发生时间	降水量(毫米)		雨强(毫米)		泥石流活动特征	备 注
		前期	当日	1 小时	10 分钟		
关庙沟	1984/07/18		50	40	20	暴发大型粘性泥石流	南坪县城区
			37.3	26.8	20	酿成百年少见的灾害	
芦花沟	1984/07/17	10.1	33.0	32.9	20.2	暴发中等规模泥石流，成灾	黑水县城区
	1986/06/15	23.9	28.8	8.9	4.0	暴发中小规模泥石流	
	1987/06/13	23.5	29.6	10.4	5.8	暴发小型泥石流	
	1987/07/19	14.9	14.7	5.0	1.5	暴发小型泥石流	
张家沟	1985/05/14		9.5	7.9	6.0	暴发小规模泥石流	小金县城区
上窑沟	1988/06/08				20.5	暴发中小规模泥石流灾害严重	松潘县城区
七盘沟	1978/07/15	79.5	66.7	36.4	17.0	粘性泥石流，危害公路、工厂等	汶川县
	1979/08/15	48.0	30.8		6.1	稀性泥石流，无危害	汶川县
	1983/07/09		31.3	8.1	1.7	稀性泥石流，无危害	汶川县
八步里沟	1981/08/20		56.2	18.0	10.0	稀性泥石流，危害道路、农田	金川县城区

2. 冰雪融水^[5]

冰雪融水是青藏高原现代冰川和季节积雪地区泥石流形成的主要水源。

有现代冰川分布的青藏高原地势高亢，由于高海拔造成低温、拦截水份和强大的冷储环境，是山地现代冰川赖以生存和发育的重要条件，现代冰川比较集中分布于西藏东南部的念青唐古拉山(东段)喜马拉雅山(中东段)横断山(中段)唐古拉山(东段)昆仑山、天山和祁连山等。

分布在念青唐古拉山和横断山的冰川是一种海洋性冰川，这种冰川发育在海洋性气候条件下，活动性强，年积累和消融最大。

冰温接近融点，冰川前进速度快，地质地貌作用强烈，冰川下缘海拔低，常伸入森林，逼近村庄、耕地和公路，产生泥石流。我们把这种泥石流称之为海洋性冰川泥石流，这是我国西南部一种独特的泥石流类型。

分布在喜马拉雅山中段(北坡)和唐古拉山及西北地区的冰川为大陆性冰川，这种冰川发育在干旱的大陆性气候条件下，具有物质循环缓慢、冰温很低、运动较慢和地质地貌作用微弱等特点，在一些冰川末端发育最新的终碛阻塞湖，当夏季冰川融水过多、冰川突然前进涌入湖泊时，形成强大的溃决水流，导致冰湖溃决泥石流的产生。

冰川积雪消融水量多少与气温高低、辐射强弱、降水多少以及冰面污化程度等因素，有密切的关系，尤以与温度和降水的关系最密切。

青藏高原年均平温度水平分布与年降水量水平分布基本相似，气温是由东南向西北随海拔高度和纬度增高而降低，东南部年均温最高，可达 16℃ 以上；西北部地区年均温最低，可达 -6℃ 以下。本区降雨泥石流主要分布在年均温 0℃ 以上地区。

日均温的升降变化，与降水历时和降水量有关。升温对应着无雨或昼晴夜雨的短历时阵性降水天气，降温对应着连续大量降水天气，将泥石流发生日的日均温减 2 月均温，如其差为正(负)视其为升(降)温条件。统计结果，消融型泥石流升温条件下发生的占该型泥石流 80% 以上，降温条件下不到 20%。因为升温天气条件下，冰川(雪)消融产生的径流，加上一次 5~10 毫米短历时阵性降水，使径流急剧增长，最有利于激发消融型泥石流发生。如西藏古乡沟泥石流观测表明，在强烈增温和降水同步的气候条件下，泥石流最容易发生，以阴雨天气发生的较多，在晴朗的气候条件下反而发生不多。

冰湖溃决水流产生与否，主要取决于温度和降水。以西藏多次发生的冰湖溃决的温度来看，冰湖溃决月的极端最高气温必定高于多年同期月平均气温，其差值约为 2~4℃ 左右。由于冰舌处于高温条件，冰川的消融相当强烈，可以认为，持续高温是产生冰湖溃决水流的重要条件，而大气适当降水也具有重要作用。冰湖溃决前，因大量降水释放潜热，加剧冰川(雪)消融，增大了冰川径流，是形成冰湖溃决水流的物质基础。

由此可见，影响冰川(雪)消融的因素是极其复杂的，这里仅讨论了气温、降水与冰川(雪)消融水、冰湖溃决水之间的密切关系。即冰川类泥石流形成的水文气象条件，总的来说，在高温条件下，有 5~10 毫米左右的日雨量，产生大量的冰川消融水，对冰湖类泥石流激发是很有利的。多数情况，冰湖溃决前一个月的降水偏少而气温偏高，当月降水偏多而气温仍高，临溃前 10 天内有一次较大的降水天气过程，然后降水偏少，气温上升直到溃决，这一过程可以归纳成高温少雨—低温多雨—高温少雨—溃决发生过程，冰湖溃决当天

一般都有少量降水而气温一般不是特别高的现象。

综上所述 我国大部分山区在季风气候影响下 产生的降水和气温的特点 普遍有利于各种类型泥石流发生。但应该指出,日降水量,1小时和10分钟雨强降水及其影响地区,最利于泥石流发生和活动,其频率较高,成为我国泥石流形成的最重要条件和最活跃的激发因素。

§ 1.4 人类经济活动

泥石流的形成不仅有自然因素 而且也有人为因素。由于人类不合理的经济活动 破坏生态平衡,造成环境退化,从而引起泥石流的发生。而泥石流发生和运动,形成荒沟废谷和沙滩石海,又促使生态环境进一步退化,造成恶性循环,给国民经济建设和人民生命财产带来重大损失。

新中国成立以来 随着我国经济建设事业的发展 人类经济活动逐步地向广度和深度发展 尤其是在山区 诸如森林集中过伐 毁林开荒 陡坡垦殖 修路开山炸石 矿山开采乱弃废渣、水利工程建设,过度放牧和索取生物能源以及城镇建设等等,往往由于措施不当和开发过度,违背自然规律,使山地局部生态环境遭受到一定程度的影响和破坏,从而改变地表原有结构 扰动土体造成山坡水土流失 产生崩塌、滑坡。由此可见 不合理经济活动,为泥石流形成创造了有利条件;而人们合理的经济活动,顺应自然规律,维护生态环境 则可以防止泥石流形成。

人类经济活动对泥石流形成的影响程度究竟有多大,目前国内外还少有这方面研究。但有人认为,人类活动导致泥石流等山地灾害数量与自然作用引起的山地灾害各占一半,更有甚者将人为因素造成的估计占 80%。从岷江上游泥石流形成的若干最主要的自然与人为因素综合调查和分析研究,得出人类活动对泥石流形成和综合影响起了 40%的作用。如四川会理炭山沟为一条老泥石流沟,在自然状态下,泥石流暴发频率较低,规模和危害较小,但在人类强烈经济活动作用下,松散碎屑物质剧增,极大地促进了泥石流的形成,使泥石流的形成因素由自然型转化为人为型,泥石流活动随着采煤弃碴等松散碎屑物质的积累而增强,1990年 5月 31 日暴发了灾害性泥石流,造成巨大损失。因此,该沟的自然因素是泥石流形成的基础,人为因素则促进了泥石流的发生发展,扩大了泥石流规模 加重了泥石流危害程度^[6]。可见,人为因素在泥石流发生发展中起到了重要的作用。

据实地调查资料分析,人为泥石流成因主要有以下方面。

1. 森林集中过伐 采育失调 加剧了水土流失 导致泥石流暴发

森林具有多方面效益 有水源涵养 水土保持及防护等作用 可提供国家一定的木材,在少林的山区,森林的防护与保水固土作用更为突出。各种效益的森林都虽然可以采伐,但是采伐不能只为取得木材,在采伐方式上也应因林而宜。历史教训告诉我们:在一般情况下 森林生态系统破坏乃至毁灭 导致灾害 都是由于采伐方式和采伐量不合理 也就是人们常说的“乱砍滥伐”与强制采伐 过量采伐 而引起的。

四川西部亚高山针叶林区与盆地南缘松栎林区是四川省主要用材林生产基地,也是四川主要森林分布区域。其中岷江流域占 16.1% 雅砻江占 15.7% 大渡河占 13.3%,

金沙江占 13.5%。用材林中以针叶林比例最大, 约占 85.3%, 防护林占林地面积的 21.3%。近 50 年以来, 由于更新跟不上采伐, 森林覆盖率日趋下降。例如岷江上游理县、松潘、黑水、汶川、茂县五县在元朝时森林覆盖率为 50%左右, 50 年代初为 30%, 70 年代降至 18.8%。据阿坝州林业部门介绍, 该州森林覆盖率为 14% 可以利用的总蓄积量为 3.2 亿立方米 50 年代初所造的林需 30 年后方可进入采伐年龄, 加之采伐方式不合理, 集材方式落后造成迹地自然更新条件差 人工更新跟不上 木材面临枯竭危险 森林生态系统难以恢复。凉山州雅砻江流域采伐时间虽短, 但采伐强度较大, 安宁河流域飞播的云南松林抚育管理粗放 毁林开荒、刀耕火种严重 泥石流灾害频繁。会理林场采伐区自 60 年开始采伐, 20 多年来将 10 平方公里范围内的林木采伐殆尽, 又不及时更新, 却在迹地种粮食, 1981 年山洪泥石流暴发, 当地农田等遭受严重损失。阿坝州川西林业局的某伐区, 1978 年在 45° 以上的坡地 禁伐区 实行皆伐, 1979 年雨季就暴发了泥石流。据测定, 不同采伐方式使采伐迹地含沙量不同程度地增加, 一般为 0.3~0.8 克/升 其中皆伐迹地可达 0.73 克/升。岷江上游森林资源极为丰富 是四川西北部主要林业区 新中国建立以来 尤其是 50 年代的大规模采伐 使森林覆盖率锐减。由于过度砍伐森林 破坏地面覆盖 使坡面裸露 加强地表风化侵蚀作用 形成冲沟 使山体失稳而导致泥石流发生。据调查 米亚罗林区 50 年代较大泥石流灾害仅发生过一次, 60 至 70 年代已发生 10 次以上, 1981 年四川特大洪灾中杂谷脑河发生泥石流 100 多处 到 90 年代达 380 余处。到目前为止 川西岷江上游森林过伐的结果 出现了新的荒山和未更新迹地 是历史上“过伐”与“乱砍滥伐”的见证 也是这些地区泥石流经常暴发的原因之一。

2. 不合理的集运材方式 破坏地表结构 造成水土流失 加速沟床侵蚀 促进泥石流形成

一般串坡集材或串坡敞洪集材都会严重破坏地表, 使集材道逐渐扩展成冲沟; 而机械化集材的拖拉机、绞盘机同样破坏地表造成土壤侵蚀, 给泥石流形成提供一定固体物质与有利地形。阿坝州理县至米亚罗段杂谷脑河两岸山坡, 串坡集材道密布, 有的寸草不生, 已经发育成为泥石流沟。

四川林区的运材方式有陆运和水运两种。水运方式主要有: 堵水设施抢洪流送, 修建水堰渠道流送, 小河修闸堵水单漂流送, 大河诱导码搓工程单漂流送等。这几种方式都会由于修筑工程质量差和措施不完善而引起流送的木材撞击河岸, 加剧河岸侵蚀; 大洪水冲垮渠道, 造成溃决洪水或泥石流及河岸坍塌与滑坡。例如:

(1) 汉源县大树乡海螺大队邱家河心, 1981 年 6 月 20 日大雨后, 大渡河利用抢洪流送的原木 因诱导设施不完善而冲入农田 致使 550 亩土地全被原木淤埋。

(2) 岷江上游水运的木材 由于诱导设施不完善 大量木材冲击河岸 于 1982 年 6 月造成茂县周仓坪大滑坡活动, 并造成堵江溃决后冲毁公路长达 300 余米 断道达两个多月之久。至今该滑坡活动未止 每年雨季都多次阻断车道 危害极大 迫使公路改走对岸。

(3) 阿坝州马尔康林区 303 林场第 14 与 17 采伐沟, 1981 年 8、9 月份 曾因坡地上森林采伐后清理迹地, 将枝桠堆积于山坡而引起了泥石流, 造成冲走木材的危害。川西林业局伐区内梭罗沟支沟塔子沟 1979 年 7 月也因此而暴发泥石流。

(4) 茂县一北川之间的宝鼎山下神溪沟 因当地群众把山坡上的林木进行了大面积皆

伐 破坏了地面结构和生态环境 于 1981 年雨季发生泥石流,把山坡上的原木汇同泥石流一并冲下 损失原木约 2 万立方米。

3. 毁林开荒,刀耕火种 陡坡垦殖

我国中高山区自然条件有利于泥石流的形成。由于农业挤林业用地和落后的耕作方式,破坏了森林生态系统,加大了泥石流暴发的机率。例如,四川攀西地区随着人口增长带来的粮食问题 曾因向山地要粮而扩大耕地 靠毁林开荒、陡坡垦殖来解决 加上传统落后的刀耕火种耕作方式 毁林、毁灌 从而破坏山地植被。以及发展农田水利 开山挖石,修环山渠道 弃渣不当 防渗措施差或无防渗设施 从而造成水土流失、崩塌、滑坡 为泥石流的形成创造了有利的条件,每遇暴雨,泥石流就会暴发。这不仅使山地农田一扫而光,而且给山下造成巨大危害,有的因在溪沟源头水源涵养林区毁林种田和环山渠道渗漏,致使滑坡活动,为泥石流的发生提供了丰富的固体物质,在暴雨激发下,导致 1974 年 5 月 27 日灾害性泥石流的发生 造成严重损失。

4. 矿山开采与弃渣

我国山区矿产资源极其丰富,国家、地方、群众都进行开采 全国 20 余处露采矿山都发生过泥石流(表 1.5)。

表 1.5 矿山泥石流活动状况^[7]

项 目 省 名		排土场所处沟谷或坡面状况				泥石流活动状况
		沟 名	流域面积 (公里 ²)	沟床比降 (‰)	山坡坡度 (度)	
四川省	泸沽铁矿	盐井沟	13.6	144	35	经常活动
		汉罗沟	13.6	144	35	暂停活动
	太和铁矿	泡石头沟	52	127	30	常有活动
	四川石棉矿	后 沟	7.4	230	30~37	常有活动
	新康石棉矿	大洪沟	61	140	30	有活动
	四川蛇纹矿	胥家沟	2.05	266	30~45	有活动
云南省	东川汤丹矿	小菜园沟				多次暴发
	东川因民矿	大水沟	47	111	30	多次暴发
	东川落雪矿	大水沟	47	111	30	多次暴发
	东川烂泥坪矿	黄水箐	91	50		多次暴发
	易门铜矿	菜园河	42	52		多次暴发
	狮子山分矿					
江西省	德兴铜矿	杨桃坞沟	2.73	40		潜在威胁大
	永平铜矿	大垄沟	0.67	137	约 50	曾发生泥石流
广东省	云浮硫铁矿	三围水沟		145	30~40	曾暴发过
	石录铜矿	废石坡	0.2			已被控制
	海南铁矿	共有七条小沟		约 150	30~40	多次暴发
福建省	潘洛铁矿	暂沟	0.4	340	35	曾暴发过

(1) 矿山建设和开采对森林植被破坏,是引发泥石流的重要原因之一。据云南《东川府志》记载,小江流域从唐代开始就开矿炼铜,历代的“铜政”“商铜”都炼铜烧炭,大量砍伐森林,每炼铜 100 斤,需木炭 1 000 斤,至清乾隆年间炼铜最盛时,年产铜量达 1 600 万斤,则需炭 1.6 亿斤,烧 100 斤炭需要 10 000 斤柴,据此估算每年需砍伐约 10 平方公里森林,可见这种破坏速度是十分惊人的。到新中国成立前夕,这里森林已砍伐殆尽,过去青山绿水的优美环境,已变成荒山秃岭,水土流失愈演愈烈,干旱风沙不断加剧,泥石流频繁发生,昔日富庶的良田坝子,如今已变成一片荒芜的石滩。

(2) 矿山生产中弃渣不作合理处理,甚至有的乱挖乱采破坏山体,一遇暴雨往往产生泥石流,造成灾害。如四川冕宁县泸沽盐井沟因采矿弃渣于沟中,堵塞河道,在暴雨激发下暴发泥石流,造成百余人丧生等重大生命财产损失,就是典型事例之一。虽被迫进行治疗,投资 500 万余元,但仍未控制泥石流的发生,至今泥石流仍很活跃,威胁成昆铁路安全。会理县 1981 年雨季有 15 个采矿区,因山洪泥石流暴发造成停产,损失大量矿石,冲毁数十条公路,造成 110 多万元的经济损失,宁南县的银厂沟,因群众开采锡矿,年年发生泥石流,危害下游公路 800 米,淤埋附近大片农田。

5. 修筑公路与铁路

成昆铁路在修建和运营中,泥石流灾害十分严重,其中人为因素而引起的就占一半多。成昆铁路自通车以来,年年雨季因泥石流灾害而不同程度中断交通,仅 1984 年就有 6 条沟发生泥石流,中断铁路运输 26 天。这些泥石流的发生,多因通车后为交通方便而使森林遭破坏严重,促进泥石流的发生发展。公路因泥石流灾害而中断交通的现象更为严重,尤其是县级公路,在修路养路时,往往只顾开挖取土方便,忽视山坡的稳定,破坏公路的上下边坡山体,造成山坡失稳,引起滑坡和崩塌,导致泥石流发生,影响交通运输,破坏公路的工程设施。

6. 能源过量需求

山区农村能源匮乏是一个相当突出的问题,为此而索取生物能源,破坏山地森林植被,导致泥石流等山地灾害不断发生。

四川攀西地区能源利用,多以生物能源为主,水能利用相对较差。尤其在山区农村,彝族多分散居住于山上,水能的利用更为困难,多半以生物能源为主。普格县威胁县城安全的泥石流,主要是由于能源的需求乱砍滥伐后山的森林植被而造成。此外,条件较好的城镇和山村虽修了小水电用于生活,但由于修水电站挖渠,破坏山体或弃土不当,水渠渗漏,雨季形成亦泥石流。如木里县原博凹公社 1980 年 8 月 5 日的一次泥石流,是因修水电站破坏了山坡稳定性及施工弃土不当,由暴雨引起滑坡堵塞渠道,导致渠水漫流,汇同弃土酿成泥石流,冲入电机房,造成巨大损失。

参 考 文 献

- [1] 朱静.云南滑坡泥石流发育的区域地质环境分析.首届全国泥石流滑坡防治学术会议论文集.昆明:云南科技出版社,1993,313~317.
- [2] 唐邦兴、柳素清主编.四川省阿坝藏族羌族自治州泥石流及其防治研究.成都:成都科技大学出版,1993,18~20.

- [3] 唐邦兴编著,四川省自然灾害及减灾对策,成都:成都科技大学出版社,1995,107~149。
- [4] 张信宝、刘江,云南大盈江流域泥石流,成都:成都地图出版社,1989.9。
- [5] 杜榕桓、章书成,西藏古乡沟 1953 年特大冰川泥石流剖析,中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊,第四号(泥石流研究专辑),北京:科学出版社,1985,36~47。
- [6] 谢洪、游勇、钟敦伦,长江上游一场典型的人为泥石流,山地研究,1994,12(2):125~128。
- [7] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所,泥石流研究与防治,成都:四川科技出版社,1989。

第二章 中国泥石流的形成机理和过程^①

§ 2.1 泥石流发生条件

2.1.1 泥石流危害概况

泥石流具有突发性、短暂性的特点。危害大小与泥石流的规模、山区资源、社会经济发展水平、人口密集以及经济建设现状有关，故泥石流灾害具对象无选择性和重复性特点，如在暴雨、地震等条件激发时，泥石流灾情均可产生。泥石流分布广、类型多、危害大，是一种极为严重而普遍的自然山地灾害。

泥石流危害最大的是山区城镇。1979年四川雅安146人丧生于泥石流；1984年四川南坪县城区关庙沟、叭啦沟暴发泥石流，伤亡25人，毁房930余间，总损失达1500万元；1984年四川得荣县城后山数沟暴发泥石流，使全城近半数的群众受灾，总损失达600万元；1985年四川西昌发生泥石流，冲毁城区和郊区和大片建筑物，总损失近千万元。仅四川攀西地区就有11个县、市城镇受到泥石流危害，占城市总数的52%。近期丧生于泥石流的在2000人以上。甘肃武都市，因泥石流沟穿城而过，长期受到灾害威胁。云南乌蒙山数条泥石流沟俯视东川市。长江上游的山区，泥石流也十分活跃，据不完全统计，其危害和威胁近94个县、市城镇。

对于建设在山区的工矿，同样也遭受到泥石流的严重危害。1970年四川盐井沟铁矿惨遭泥石流危害，104名职工家属丧生，并冲埋大量设备和建筑；1979年攀枝花市501电厂遭泥石流危害，总损失达2000万元；1984年云南因民矿遭泥石流灾害，伤亡120余人，总损失达1100万元。泥石流对山区的经济建设，造成严重影响。

泥石流对于交通危害也十分严重。1981年成昆铁路利子依达沟泥石流冲毁大桥、颠覆列车，造成经济损失达200多万元；成昆铁路罗汉沟泥石流淤埋车站，停运86小时；云南东川铁路支线，1985年多沟暴发泥石流，使小江河床剧烈上涨，铁路被淤埋后报废，损失上亿元；川藏公路培龙沟1983~1985年暴发泥石流，堵江淹没汽车80辆，6人死亡，总损失近500万元；70年代以来，仅长江上游地区的公路交通，泥石流毁坏大小桥梁1850余座，堵塞桥涵2060座，冲毁公路达1300公里左右，断道时间累计达19875天，造成直接经济损失3.31亿元左右^[1]。

泥石流对农业的危害，主要表现为冲毁水利工程设施淤埋农田。仅四川攀西地区，平均每年近上千亩土地遭受泥石流淤埋。

由于频繁的泥石流活动，大量泥沙输于主河，特别是洪水季节，如长江泥沙含量逐年

增涨中 河床快速抬升 这也是造成长江中、下游 1998 年洪水的重要原因之一。

2.1.2 泥石流发生的流域环境分析

从泥石流沟的发育，众多的专家一致认为，它必须具备三个基本条件，一是有利的地形地貌基础；二是丰富的补给物质条件；三是有适当的降雨水源激发。从这三个条件分析，前二者属环境条件，即一条沟谷所具备的自然环境，而决定泥石流形成的激发降雨大小，也是判别一条沟谷在区域性气候控制下是否可能暴发泥石流的条件。

1. 影响泥石流发生的流域条件

根据泥石流形成的二个基本条件，可按其对泥石流形成的直接或间接作用类型，分为两个综合因素：一为势能条件，即动力条件；二为物质条件。对这两个综合条件影响的单因子很多，而且各单因子相互有机的组合或相互制约，都可影响该沟泥石流的活动。对这些单因子以及相互作用，进行定量或半定量的描述，在数学处理上，是以一种模糊数学来完成的。

影响泥石流活动的两个基本综合条件，具体含义为：动力综合条件，包括沟谷的流域面积因素、沟床平均比降因素、流域山坡平均坡度因素、流域形态条件以及流域内植被覆盖因素 物质综合条件 包括流域内单位面积松散物储备方量因素、岩石类型因素、固体物质补给方式因素、补给距离因素、区域构造因素、流域内地质构造因素与区域气候因素等。当然，可影响泥石流活动的因素还很多，为了能直观有效地说明各单因子的相关作用，根据大面积的野外实地考察和丰富的资料分析整理，归纳为上述主要的二个综合条件，即 12 个单因子。

(1)流域内单位面积固体物质方量。系指沟谷流域内滑坡、崩塌、残-坡积、沟床质等不同类型松散固体物质，平均每平方公里内所储备的方量。松散固体物质的储备，是形成泥石流的物质基础。流域内储备方量的多少，直接影响泥石流的暴发频率和性质。如有的学者提出以流域单位面积的储备方量计算泥石流的预测容重和暴发频率，可见该单因子对泥石流活动的重要性。

(2)岩石性质。沟谷流域内所出露的地层岩性，在很大程度上决定了该流域的物质储备量。根据岩石结构的松散程度与气候环境的风化程度，可分泥石流为极强活跃、强活跃、活跃、活动、弱活动与极弱活动等六个岩石类型。

(3)区域地质构造。从地质角度分析 凡是处于深大断裂带、褶皱带与活动带上 或者附近的地层岩石，其结构均遭受极大的损坏，形成宽度大小不一的破碎带，而且极易形成大面积大规模的不良地质体。如安宁河断裂带与小江断裂带，断裂破碎带宽达数公里到数十公里，对产生大量松散物质提供了重要的地质背景。在区域构造上，往往大的活动性构造带，都是地震发育地带。地震作为地球内动力地质作用的一种直观表现形式，它破坏土体的稳定性 以形成滑坡、崩塌等方式 为泥石流提供固体物质 同时 在地震过程中 破坏水利设施，或改变地下水状况，加速滑坡、崩塌的活动或形成。泥石流经常伴随地震以后极为发育，一般认为地震裂度在七度以上就会导至泥石流发生。由于地震的周期性活动，也控制了相应地区的泥石流活动具同步周期性。如四川炉霍地区于 1932 年与 1975

年 先后发生两次 7.5 级以上的地震,同时泥石流也发育两个对应的活跃周期。

(4) 流域地质构造。各个沟谷流域,由于所处的大地构造位置和区域构造环境不同,而形成不同的构造类型,同时也对流域内的地层岩石产生不同的破坏程度。就断层而言,顺坡向张性断层,下盘大块体上升,上盘下降,对岩石的破坏性较小,不可能形成大规模的不良地质体;顺坡向压性断层由于上盘上升的强大推力,使附近发育次一级断层,加之上升盘为坡面,应力不易分散,极易形成一定规模的不良地质体。在云南小江流域,这种现象十分普遍。逆坡向断层下盘岩石基础的外界条件好,有利于应力分散,在运动中对岩体破坏性不大。此外,背斜褶皱轴部的扭性断层及其邻近区,岩石也易破碎,形成泥石流的物质补给地段。在软硬岩石互层的单斜坡面,由于地貌营力的改造,也易为泥石流提供固体物质。

(5) 补给方式。对泥石流活动的固体物质补给方式,可分为滑坡重力补给型、沟床质起动补给型与介于二者之间的重力-动力补给型三种主要补给类型。滑坡重力补给型极利于泥石流活动,暴发频率高,而且多为粘性泥石流,中国著名的泥石流沟都是这种类型;沟床质起动补给型主要靠暴雨产生的洪水起动沟床中残留的碎屑质而形成泥石流,这种类型的泥石流存在一个沟床中的物质积累过程,因此该类型的泥石流暴发频率低,潜在危害大。

(6) 补给距离。对于泥石流形成所需的固体物质来源,是靠流域内所储备的固体松散物补给。补给有不同的类型,也有不同的位置,如沟口、下游、中游、上游、源头或支沟,以及全流域等六个位置类型。不同的补给位置对形成泥石流的影响很大:当滑坡主要分布在流域沟口时,它要受到全流域洪峰的沟谷冲刷,又要受到地表径流的侵蚀,同时毫无缓冲余地,对泥石流形成最有利;当滑坡主要分布于源头或支沟时,由于沟谷洪峰受汇水面积影响相对较小,即使形成泥石流,也要受中下游大面积清水的稀释和沿程运动的缓解,到沟口时已原貌全非了。

(7) 区域气候。区域气候主要是影响岩石风化程度,根据风化作用强弱,可分为干燥(干寒、干热)、半干燥、半湿润、湿润、潮湿等五个气候类型。气候对岩石的风化作用影响与区域性相同。

(8) 沟谷流域面积。流域面积的大小,是确定沟谷水动力条件的主要参数,流域面积越大,水动力条件越好;反之则水动力条件越差。但对于泥石流活动,则是当沟谷流域面积在某一范围内最为有利。根据成昆线泥石流沟的流域面积统计,小于 1 平方公里的占 48.0%,1~10 平方公里的占 36.8%,10~50 平方公里的占 11.4%,50~100 平方公里的占 3.2%,大于 100 平方公里的占 1.6%。全国部分地区的泥石流流域面积统计,也存在这种规律。

从部分地区泥石流沟流域面积的统计资料分析,流域面积小对泥石流活动的影响程度很大,流域面积小于 5 平方公里的占 39.8%,为泥石流极活跃的面积区间;5~50 平方公里的占 50.2%,为泥石流活跃的面积区间;50~100 平方公里分布较小,为泥石流弱活跃的面积区间;大于 100 平方公里的泥石流沟极少,故为泥石流极弱活跃的面积区间。

(9) 沟床平均比降,是直观反应沟床径流的坡度,也是影响沟谷水动力条件的重要参数之一。通过大量泥石流沟平均比降的统计;小于 0.05 的占 0.6%;0.05~0.1 的占 12.4%;0.1~0.2 的占 28.2%;0.2~0.3 的占 17.8%;0.3~0.4 的占 15.5%;0.4~0.5