

# 论泥石流的预测、预报、防治和分类

陈建平 李浣贞

(土木工程学系)

**【摘要】** 论述了泥石流预测、预报和防治的理论基础,并提出了符合泥石流的预测、预报和防治需要的泥石流分类方法,最后阐明了泥石流预测、预报和防治的方法。

**【关键词】** 泥石流灾害, 时空分布规律, 预测, 预报, 防治

**【中图分类号】** P642.23

## 0 引言

泥石流是一种主要以自然作用为主的地质灾害,具有巨大的破坏力。例如对1991年北京市密云县和怀柔县5个乡镇泥石流重灾区的调查,不仅死亡26人,并造成大量牲畜、家禽、房屋、树木、农田、公路、桥梁、电力、电讯及水利等设施的毁坏,直接经济损失达人民币1.5亿元。因此,准确进行泥石流预测和预报,有效开展泥石流防治,把泥石流灾害减轻到最低程度,这对保障人民生命财产安全和国家经济发展与社会进步具有深远意义。同样,对于一个国家在灾害防御上所表现的行为与效能,已成为评价其政府和社会的工作与进步程度的一个重要标准。

我国是多山国家,地质条件十分复杂,因此也是泥石流灾害多发和受害最严重的国家。泥石流的危害迫使人们去研究其规律,以便防御和减轻其危害。我国对泥石流成灾规律及减灾工作的研究有着悠久的历史,特别是自新中国成立以来党和政府十分关心泥石流灾害工作,已建立泥石流灾害研究机构,在国内主要泥石流暴发区,开展了深入系统的研究,取得了许多重要成果,为保障国民经济建设作出了重要贡献。更令人鼓舞的是1989年由政府成立的中国“国际减灾十年”委员会,把减轻泥石流灾害已作为重要任务之一。但是,“灾害与减灾”作为一门十分复杂的综合性科学,目前还处在初级阶段,仍有待向更高层次发展。例如1991年北京泥石流灾害的发生及破坏严重程度,应该说与事前的预测预报不准确,及大多数受灾区对灾害防治上的薄弱有着密切关系。要害是要建立科学的泥石流灾害预测、预报和防治理论,使之发展到更新更高的水平,以便能够指导人们抗御泥石流灾害的斗争。本文结合1991年北京泥石流现场科学考察及有关文献,就此发表如下见解。

## 1 泥石流预测、预报和防治的理论基础

**泥石流的预测:**是指预先推测泥石流发生的地区范围及其类型、规模、运动和破坏规律等。

**泥石流的预报:**是指在泥石流预测的基础上,进一步报告可能发生泥石流的具体地域范

围和时间期限。

**泥石流的防治:**这里主要指对泥石流采取相应的防治工程措施,以制止灾害发生或减轻受灾程度。

在泥石流预测、预报和防治三者中,预测是预报和防治的前提和基础,只有在预测到可能发生泥石流的地区内,才有进一步进行预报和防治的必要。

预测泥石流的凭据是能够反应泥石流是否发生的有关信息,即泥石流形成条件要素组合。

泥石流的形成需要大量的水源、陡峭的坡谷、丰富的固体物质来源(或气象、地形、地质)等3个基本条件。但是,这3个条件不是孤立存在的,而是有机结合形成一个动态临界点。笔者通过1991年北京泥石流现场科学考察,发现泥石流的形成具有鲜明的区域性和周期性规律,这些与地区的山体和沟谷的稳定性有关,主要受当地地质、地形条件的控制,就特定的地区而言,影响山体和沟谷稳定性(或形成泥石流)的地质条件的变化速度较快,地形条件变化速度较慢。因此,气象、地形、地质三因素对泥石流的形成所起的作用是不相等的,其中地质条件是基础,地形加地质才能造成产生泥石流的可能性,气象是激发性因素,使可能发生泥石流的地区激发而形成泥石流。这是地质、地形、气象三因素之间的内在联系,这种内在联系不仅控制了泥石流的形成规律,也控制了泥石流在空间和时间上的分布规律,因而为泥石流的预测、预报和防治提供了重要的理论基础。

例如,1991年北京泥石流的形成条件如表1。

由表1发现如下规律:

1) 当岩体较完整、山体较稳定,或山坡及沟谷中松散堆积物很少时,即使地形陡、降雨量很大,一般不易形成泥石流,如八道河、崎峰茶、琉璃庙等地区。相反,若岩体较破碎、山体稳定性较差,或山坡及沟谷中松散堆物较多时,只要达到一定地形坡变(山坡大于 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 、谷底坡度大于 $13 \sim 15^{\circ}$ )和一定降雨量(最大日降雨量为 $104 \sim 136\text{mm}$ )时,便会产生较大规模的泥石流,如长哨营、汤河口、番字牌等处泥石流。

2) 当地质、地形条件相似时,降雨量越大,泥石流规模越大,如长哨营和汤河口泥石流。番字牌泥石流相反,主要是拦洪工程发挥了巨大作用。

3) 地质条件相似,地形越陡越易形成泥石流。此时,形成泥石流的降雨量与地形坡度成反比,即当地形很陡时很小的降雨量便可发生大规模泥石流,如冯家峪泥石流。

由上述规律可知,地质条件是产生泥石流的先决条件,降雨是产生泥石流的激发因素,降雨加地形决定了产生泥石流的水动力学特征,从而决定了泥石流的运动状态和破坏程度。这样可以得出如下结论:

1) 当不具备形成泥石流的地质条件时,是根本不会产生泥石流的。故可根据形成泥石流的地质条件划分出泥石流可能形成区和不能形成区两大区域范围。显然泥石流形成区是进一步开展泥石流研究的区域范围。

2) 地形与降雨量共同决定了形成泥石流的水动力学特征,但当地形很平坦时,即使雨量很大也难以迅速汇成巨大流速的水流,则也难以发生泥石流。所以,降雨的激发作用是有条件的,一是可能形成泥石流的地质条件,二是地形坡度。只有在符合形成泥石流的地质条件的区域内,当山坡或沟谷达到一定坡度值时,方可在相应(成反比)的降雨条件下发生泥石流。因此,可在按地质条件进行泥石流区划的基础上,进一步按地形条件进行泥石流二

表 1 1991年北京泥石流形成条件的对比

地区	地质条件			地形条件			降雨条件		泥石流特征
	地层岩性	地质构造	山体稳定性或松散土石发育状况	山坡坡度/(°)	谷底坡度/(°)	最大日降雨量/mm	最大时降雨量/mm		
四合堂	以黑云母角闪片麻岩为主, 夹薄层黑云母片岩	片理发育, 片理倾角30~45°两组剪节理纵横交错, 切割片理面。	山体沿片理面易产生大面积顺层崩塌和滑坡	>40	>17	372.8	36.6	产生大规模泥石流, 灾情严重	
冯家峪	以黑云母角闪片麻岩为主, 夹薄层黑云母片岩	片理发育, 片理倾角30~45°两组剪节理纵横交错, 切割片理面。	山体沿片理面易产生大面积顺层崩塌和滑坡	>40	>24	139.1	20.3	产生大规模泥石流, 灾情严重	
长哨营	以黑云母片岩为主, 风化严重	片理极发育	山体稳定性差易形成大面积滑坡, 山坡和沟谷中松散土石发育	30~40	>15	136.0	21.0	产生大规模泥石流, 灾情严重	
汤河口	以黑云母片岩为主, 风化严重	片理极发育	山坡岩体破碎, 沟谷中堆积物发育	>30	13	104.6	13.8	产生大规模泥石流, 灾情严重	
番字牌	以黑云母片岩为主, 风化严重	片理极发育	山坡岩体破碎, 沟谷中堆积物发育	>30	14	186.1	11.3	产生大规模泥石流, 灾情严重	
八道河	坚硬花岗岩	构造不发育	山体稳定, 松散土石不发育	>40	很陡	213		未产生泥石流	
崎峰茶	坚硬花岗岩	构造不发育	山体稳定, 松散土石不发育	>40	很陡	188		未产生泥石流	
琉璃庙	坚硬花岗岩	构造不发育	山体稳定, 松散土石不发育	>40	很陡	168		未产生泥石流	

级区划。显然,在不同的地形分区内,有着不同的降雨量边界条件,只有当超越这一降雨量边界条件时,方可发生泥石流。

由此可知,地质条件和地形条件共同决定了泥石流形成的区域性(或空间)分布规律,并成为进行泥石流形成区划的一、二级划分标准。

3) 在形成泥石流的三大条件中,地形条件随时间的变化一般是很缓慢的,在人类防御泥石流灾害的历史过程中可以认为是不变的,则对特定地区特定地形条件下产生泥石流的相应降雨边界条件也是不变的,而能够变化的只是形成泥石流的地质边界条件。形成泥石流的地质边界条件的变化,主要取决于地层岩性和地质构造。当地层岩性较松软、岩层厚度很薄、或构造作用较强烈、岩体较破碎或产状不利时,则形成泥石流的周期较短;反之,形成泥石流的周期较长。在泥石流的形成周期之内,有一个因素积累、暴发和停歇的时间过程,即有一个暴发期和安全期,只有在暴发期内,才有泥石流的发生。这就是泥石流形成的周期性(或时间)分布规律。因此,可以在按泥石流形成条件空间分布规律进行区划的基础上,进一步按决定泥石流暴发期和安全期的地质边界条件进行泥石流形成时间规律区划,即在泥石流常发地区进一步划分第三级暴发区和安全区的分区。

## 2 制订符合泥石流预测、预报和防治需要的泥石流分类

进行泥石流形成条件时空分布规律研究或区划的根本目的是为对泥石流进行科学预测、预报和防治服务。决定泥石流时空分布规律的边界条件与泥石流的形成机制及其类型有关。因此,为科学进行泥石流时空区划及科学开展泥石流预测、预报和防治,首先必须进行泥石流的科学分类,并使这种泥石流完全适应泥石流时空区划和预测、预报及防治的需要。

现今国内外的泥石流分类方法很多,主要有如下几种:

- 1) 按泥石流的成因分为自然泥石流(包括冰川泥石流和降雨泥石流)及人为泥石流;
- 2) 按泥石流发生的地貌条件分为山坡冲沟泥石流及河谷泥石流;
- 3) 按泥石流物质成分分为泥流、泥石流及水石流;
- 4) 按泥石流流体性质分为粘性(也称结构型)泥石流及稀性(也称紊流型)泥石流;
- 5) 按泥石流动力学特征分为土力类泥石流及水力类泥石流;
- 6) 按泥石流固体物质提供方式分为滑坡泥石流、崩塌泥石流、河床侵蚀泥石流、坡面侵蚀泥石流;
- 7 按泥石流激发、触发和诱发因素分为激发类泥石流、触发类泥石流及诱发类泥石流;
- 8 按泥石流发育阶段分为发展期泥石流、旺盛期泥石流、衰退期泥石流、停歇期泥石流等。

纵观上述各种泥石流分类方法,虽各有目的和用途,但都没有全面确切反映决定泥石流时空分布规律的具体边界条件,因而不能为泥石流的区划和预测、预报及防治提供可靠依据。笔者根据1991年北京泥石流现场科学考察及数10年山区地质工作经验,提出降雨型泥石流可进一步根据其形成机制分为崩塌滑坡(简称崩滑)启动型泥石流和冲刷切割(简称冲切)启动型泥石流两种基本类型及其复合型。

### 2.1 崩滑启动型泥石流

是指主要由斜坡山体,在连续降雨或暴雨条件下,沿层理或片理面产生大范围崩塌和滑

坡,其崩滑产物到达坡脚时,又由于谷底坡度陡,及流水的冲刷、搅拌、悬浮作用而不能停积,顺谷底而下形成的泥石流。

### 2.1.1 形成条件

1) 具有高倾角( $>30^\circ$ )层理或片理发育的中厚层(或巨厚层)层状地层岩性,如石灰岩、白云岩、砂岩、片麻岩、大理岩、石英岩及混合岩等。

2) 具有横切岩层层面、构造深切的沟谷,使之形成顺层单面山。

3) 地形陡峻,山坡坡变大于 $40^\circ$ ,谷底坡度大于 $15^\circ$ 。

4) 降雨量较大,据统计:当谷底坡度为 $15^\circ$ 时,连续降雨量大于540mm,最大日降雨量大于370mm,最大时降雨量大于36.6mm;当谷底坡度为 $24^\circ$ 时,连续降雨量大于268mm,最大日降雨量大于139mm,最大时降雨量大于20.3mm。

### 2.1.2 作用过程

1) 雨水浸泡软化作用; 2) 斜坡重力作用; 3) 地下水的动、静水压力作用; 4) 地表水的冲刷、搅拌、浮托搬运作用; 5) 沉积和掩埋作用等。

## 2.2 冲切启动型泥石流

是指主要由山坡及谷底松散土石,受上游汇水的冲刷、切割坍塌、并搅拌悬浮、顺谷底而下形成的泥石流。

### 2.2.1 形成条件

1) 具有丰富的山坡及谷底松散土石:如软质薄层地层岩性(页岩、片岩、板岩、火山岩等)、破碎带(断层破碎带、强烈挤压破碎带、变质破碎及风化破碎带等)及松散堆积层(崩塌滑坡堆积层、坡积层、洪积层、古代冲积层等)。

2) 地形较陡:山坡坡度大于 $30^\circ$ ,谷底坡度大于 $13^\circ$ 。

3) 较大的降雨量:据调查,连续降雨量大于150mm,最大日降雨量大于104mm,最大时降雨量大于13.8mm。

### 2.2.2 作用过程

1) 雨水浸泡软化作用; 2) 地表流水的冲刷切割作用; 3) 流水搅拌、浮托搬运作用; 4) 沉积掩埋作用等。

由此可知,不同类型的泥石流,具有不同的形成机制、形成条件和作用过程,相应不同的泥石流的形成机制、形成条件和作用过程,不仅为确定泥石流的类型提供了依据,并为泥石流的时空区划及预测、预报和防治提供了依据。

## 3 泥石流的预测、预报和防治

泥石流的预测,实质上就是对泥石流形成危险性的空间和时间区划工作,和确定相应的可能产生的泥石流的类型。预测的方法是应用上述泥石流分类依据(包括不同类型泥石流的形成制和形成条)为理论指导,根据地区的区域地质和地形资料,并结合区域内现场地质调查,进行泥石流条件的空间分布规律的划分从而确定泥石流形成危险性的空间特征区划,并确定相应泥石流的类型。在以上基础上,再按决定泥石流暴发期和安全期的地质边界条件,进行泥石流形成危险性的时间特征区划。从而就可比较准确地预测某些区域某个阶段可能会发生泥石流及其类型、规模、运动和破坏规律等。

泥石流的预报,是在泥石流预测的基础上进行的。即对已经划定的泥石流暴发期的区域范围内,依据相应类型泥石流形成的降雨量边界条件(标准),应用气象预报资料,进行暴发泥石流的准确预报,包括预报可能产生泥石流的时间、类型和地区范围。

泥石流的防治也是在对泥石流预测的基础上进行的。泥石流防治工程规划,应按泥石流形成危险性区划来制订,防治的重点应放在可能发生泥石流的最危险的地区。泥石流防治的具体措施应按泥石流的类型、及其相应的形成机制、形成条件、作用过程等来确定。不同类型的泥石流,有着不同的形成机制、形成条件和作用过程,因此必须采取不同的防治方案。治理要治本,本在启动(发生)。泥石流的防治工程首先要着眼于制止泥石流的启动,即制止山坡的崩塌、滑坡及地表流水对山坡土石洗刷、沟谷松散堆积物的冲刷切割等作用。其次要限制泥石流的发展,阻碍其运动过程,即按不同类型泥石流的作用过程,采取相应的工程措施,促使已发生的泥石流提前停积,或疏导其运动过程,令其在指定的安全区运动和停积,以控制泥石流的破坏范围和破坏程度。

在此对参加考察的全体同志和支持考察的有关单位致以谢意。

#### 参 考 文 献

- 1 北京工业大学泥石流科学考察队. 1991年泥石流科学考察报告, 1991
- 2 陈建平、张钦喜、吴观今. 1991年北京泥石流的规模、灾情及形成背景. 第4届全国工程地质大会论文集, 1992
- 3 陈建平、张钦喜、吴观今. 91年北京泥石流的类型、形成机制及分布规律. 第4届全国工程地质大会论文集, 1992
- 4 周必凡. 泥石流防治指南. 北京: 科学出版社. 1991

## Colculate, Forecast, Prevention and Cure and Classify of Debris Folw

Cheng Jianping Li Wanzhen

( Department of Civil Engineering )

**【Abstract】** There discussed the theoretical basis of colculate, forecast, prevention and cure of debris flow. Put forward a classification of debris flow of accord with the demands colculate, forecast, prevention and cure of debris folw. Expound the method of colculate, forecast, prevention and cure of debris flow.

**【Key words】** disastrous mud-rock flow, space-time distribution, prediction, forecast, prevention and treatment