

# 黄土沟道小流域的泥石流特征和防治

王 万 忠

(中国科学院西北水土保持研究所)

## 提 要

泥石流是我国西北黄土沟道小流域的一种极其严重的水土流失现象。本文根据有关资料,主要从水土保持的角度,分析了这一地区泥石流的形成因素和水土流失特征,探讨了泥石流的危害性及防治措施。

## 一、引 言

泥石流是在特定的地理条件下,由水和重力共同作用所形成的一种含沙量高、侵蚀性强、破坏性大的极为严重的水土流失现象。

人们一般把泥石流划为泥石流的一类。我们认为,泥石流和泥石流有着一定的区别:其一、在固体组成物质上,泥石流含有大量石块,而泥石流主要是由黄土及其细粒物质组成,石块含量甚少;其二、在分布规律上,泥石流主要发生在岩石破碎、地形陡峭的土石山区,而泥石流由于要有一定含量的细粉砂及粘土作骨架,所以一般分布在支离破碎的黄土沟道小流域,它不如泥石流分布那么广泛;其三、在危害方式和程度上,泥石流来势凶猛,具有强大的破坏力,往往给人民生命财产造成严重损失,而泥石流主要是产生极其严重的水土流失,破坏性一般不及泥石流大。所以我们认为,泥石流是水土流失的一种特异现象,属于水土流失的一种形态。

泥石流在形态上与一般水土流失的区别在于,它是液体径流与固体径流两相结合的泥浆体。根据有关研究认为,含黄土的水,当含沙量小于810公斤/立方米时,其水力特性和清水基本上相似,属于浑水;但当含沙量超过810公斤/立方米以后,其水力特性与清水相比,就有了质的变化,属于泥浆。所以泥石流与一般水土流失的形态区别在于,一种是高含沙量的泥浆体,一种是含沙量一般的浑水体。

在侵蚀方式上,泥石流是坡蚀、沟蚀、滑坡等侵蚀现象共同作用的结果,而一般的水土流失有时仅是一种侵蚀现象所形成。

## 二、泥石流的形成因素

### (一) 降雨因素

决定泥石流是否形成,主要取决于洪水水文变化过程,所以降雨是泥石流形成的最主要的因素。降雨与泥石流形成关系最为密切的三个因子是:暴雨强度、前期雨量和暴雨发生时间。这三个因子可以形成两种不同类型的泥石流:一类是在连绵阴雨之后不几天,再遇高强度的暴雨形成的泥石流;另一类是在每年汛期出现的第一、二场高强度暴雨形成的泥石流。前者称为A型,后者称为B型。表1是两类不同形式暴雨泥石流的降雨特性。表1中的P<sub>1</sub>表示泥石流形成的前期性连绵阴雨,亦称湿润性降雨;P<sub>2</sub>表示泥石流形成时的暴雨,亦称触发性降雨。

A型暴雨泥石流的降雨特征是,在泥石流发生的前几天均有一场或几场长历时、低强度、大雨

表1 两类不同形式的暴雨泥流的降雨特性

类型	沟道名称	流域面积 (km <sup>2</sup> )	降雨特性					径流系数 (%)	含沙量 (公斤/立方米)	
			时期	时 间 (年.月.日)	雨 量 (毫米)	历 时 (时:分)	强 度 (毫米/小时)		最 大	平 均
A	天水吕二沟	12.0	Pa	1963.8.14	58.2	17:25	3.4	3.2	214	137
			P	8.19	21.3	0:57	22.4	28.9	1,020	848
			Pa	1959.8.11	51.3	26:28	2.0	6.3	421	173
			P	8.14	17.2	0:46	22.3	42.0	1,220	890
型	榆林李家沟	0.87	Pa	1959.8.3	53.1	20:11	2.6	0.27		636
			P	8.5	40.0	4:37	6.0	31.4		1,140
			Pa	1961.7.21	83.2	11:25	7.3	5.4		
			P	7.30	61.5	4:45	12.9	22.0		1,200
B	子洲 团山沟	0.18	P	1968.7.15	29.0	0:34	51.2	75.5	963	891
			P	1969.5.11	52.4	1:20	39.3	42.7	1,030	882
	型	吕二沟	12.0	P	1961.6.9	15.5	0:41	22.8	25.4	1,220

量的锋面性降水。从表1中可以看出，这类降水的雨量都在50毫米以上，均超过了泥流形成时的暴雨量。历时都在10多小时到20多小时，强度在2.0—7.0毫米/小时，仅为泥流形成时暴雨强度的1/4。由于P<sub>a</sub>的强度小，其雨量大多为土壤所下渗，一般很少产生径流，其径流系数都在5%左右，平均为P的1/10以上。所以我们称P<sub>a</sub>为湿润性或渗透性降水，它对泥流形成了增加土壤含水量，减小土粒间的凝聚力，致使土层趋于不稳定状态，并使沟床中的固体物质趋于饱和状态的作用，并为滑塌、沟谷侵蚀等造成了有利条件。在渗透性降水以后，直接形成泥流的是高强度、短历时的雷暴雨。这类暴雨来势骤猛，瞬时雨率特大，雨量分配异常集中(表2)。我们对11次泥流的降水特征进行了统计分析，其中暴雨历时在1小时以下的占36.3%，在3小时以下的占72.7%；降雨强度平均为28.8毫米/小时，最大值为59.0毫米/小时；10分钟最大降雨量平均为25.2毫米，最大为28.0毫米；最大1小时降雨量占总雨量的94.7% (表3)。

B型暴雨泥流的暴雨特征和A型暴雨相同，也是高强度的雷暴雨。这种高强度的雷暴雨一旦发生，沟谷流量迅速增大，洪水猛涨，坡蚀和沟蚀加剧，暴雨洪水挟带流域表面的风化堆积物，再加上沟头、沟岸坍塌的土方，从而形成了含沙量高达1,000公斤/立方米左右的泥流。

## (二) 沟谷下垫面因素

与泥流形成关系最为密切的下垫面因素是土壤和地形。根据有关研究认为，黄土地区促使泥流形成的主要土壤因素是，黄土质地均一，粉砂含量很高，粘粒含量少，胶结作用差，具有渗透性和湿陷性，抗冲性及抗蚀性很弱。所以黄土在水中极易分散悬浮，土块遇水迅速崩解，其崩解速度为1—3分钟。加之黄土具有多孔性，垂直节理发育，容易形成沟蚀、滑塌等侵蚀现象。所以，土状堆积物在水的作用下迅速分散、崩解、流失，这是泥流现象赖以发生的物质基础。

地形促使泥流形成的主要因素是地面坡度和沟谷形态。有关研究证明，水流侵蚀的强度随坡度增大而增强：当坡度小于15°时，侵蚀量大致与坡度的1.4次方成正比；在大于15°的坡面上，侵蚀量约与坡度的3次方成正比；当坡度超过35°时，重力侵蚀开始活跃。我国陕北绥德、米脂

表 2 黄土沟道典型泥流的瞬时雨率指标

沟道名称	泥流发生时间 (年.月.日)	含 沙 量		瞬 时 雨 率 (毫米/分钟)						
		最 大	平 均	5	10	15	20	30	45	60
团山沟	1968.7.15	963	891	2.8	2.3	1.9	1.4	1.0	0.6	0.45
	1969.5.11	1,030	882	2.8	2.4	2.0	1.9	1.6	1.1	0.8
团圆沟	1961.8.1	1,130	1,060	3.2	2.8	2.6	2.2	1.8	1.4	1.1
辛店沟	1956.8.8		822	2.4	2.3	2.0	1.7	1.4	0.9	0.7
韭园沟	1977.8.4	1,100	896	3.0	2.8	2.4	2.2	1.7	1.5	1.2
平均		1,056	910	2.8	2.5	2.2	1.88	1.5	1.1	0.85

一带的大部分沟谷，其梁峁坡的坡度一般在 $20^{\circ}$ — $35^{\circ}$ 之间，沟谷坡的坡度一般在 $35^{\circ}$ 以上，它们占到流域总面积的60%以上。这种陡峭的坡度，既存在着极其严重的片状侵蚀和细沟侵蚀，又存在着重力侵蚀的危险性，所以这一带常是泥石流最易发生的地方。除坡度外，沟谷形态和密度也和泥石流形成有着密切的关系。沟谷形态反映了沟谷的发育过程和现状。一般来说，地形破碎程度愈高，降水渗入系数愈小，径流强度越大，沟蚀作用愈强；沟道密度愈大，谷坡稳定性愈差，水蚀和重力侵蚀愈激烈。另外，沟床比降愈大，下切作用愈强，沟岸更易崩塌。所以，泥石流大都发生在沟谷深窄、地形破碎、坡度陡峻、沟道密集、植被稀少的黄土沟谷中。

### (三) 人为因素

人为因素对泥石流的形成起了下述两方面的作用：一是乱砍滥伐，破坏植被，增加雨滴对地表的打击作用和冲刷作用，减弱土体的固结能力，对此，我们称“直接性”作用；另一种是兴建水利和水土保持工程不顾质量，梯田、坝库遇高强度暴雨严重毁坏，造成大量水土流失，对此，我们称为“间接性”作用。关于“直接性”的破坏作用已经引起人们重视，而“间接性”的破坏作用尚未引起人们足够重视。实际上，第二种破坏作用有时比第一种破坏作用更严重，危害性更大。例如，韭园沟1977年8月4日发生的最大含沙量为每立方米1,100公斤、平均含沙量896公斤的泥石流，就是由严重垮坝所造成。根据有关资料分析，这次泥石流所产生的土壤流失量为10.9万吨/平方公里，相当于1945—1976年18年间总土壤流失量的86%，工程措施破坏所造成的土壤流失量比正常情况下增加287.5%。

## 三、泥石流的水土流失特征

泥石流是一种特异性的水土流失现象，它既不同于泥石流，也不同于一般的水土流失，有其独特的水土流失特征。根据表3的统计结果，我们认为泥石流的水土流失特征有以下几点：

- 1、同一般暴雨引起的水土流失量相比，泥石流的径流量为一般水土流失径流量的4—13倍，径流系数为其3—10倍，侵蚀量为其5—20倍，含沙量为其2—6倍；
- 2、泥石流的径流量（清水）同侵蚀量之比，按重量一般为1:1.2—2.0，按体积一般为1:0.7—1.2，其固体物质的体积比较一般水土流失高出2—5倍；
- 3、泥石流的山洪特征是历时短、来势猛、暴涨暴落、流量变幅大，图1是三场典型泥石流的径流要素综合过程线。

#### 四、泥流的危害与防治

泥流具有极大的侵蚀性和危害性，其危害程度远大于一般水土流失的几倍到几十倍。泥流的主要危害表现在下述两个方面：

##### (一) 造成极其严重的水土流失

这是泥流的最大危害。根据表4的统计结果可以看出，泥流的水土流失量占一个沟道总流失量的比值相当可观。表4中7个沟道的平均值说明，在8年的土壤流失总量中，泥流就占了近63%，其中最大一次泥流就占了31.4%。另外，由于泥流所含固体物质的比重相当大，致使泥流占土壤流失量的比值比占径流量的比值高40%，其中一次最大泥流的土壤流失量比值比径流量的比值高77.4%。韭园沟1961年8月1日由高强度暴雨造成的泥流更是典型一例。这次泥流造成的水土流失情况如下：王茂沟（5.97平方公里）最大含沙量为1,020公斤/立方米，平均含沙量为513公斤/立方米，土壤流失量为24,520吨/平方公里，占该流域1960—1965年6年总流失量的62.3%；团圆沟（0.491平方公里）最大含沙量为1,130公斤/立方米，平均含沙量为1,060公斤/立方米，土壤流失量为40,000吨/平方公里，占该流域1958—1961年4年总流失量的36.3%；想她沟（0.454平方公里）最大含沙量为1,070公斤/立方米，平均含沙量为991公斤/立方米，土壤流失量为29,120吨/平方公里，占该流域1958—1961年4年总流失量的37.1%。

由于泥流产生了大量的水土流失，所以往往给黄河带来大量泥沙，它是造成黄河高含沙水流的主要原因，也是黄河泥沙的重要输给方式。

表3 黄土沟道典型泥流的水土流失特征值

沟道名称	流域面积 (平方公里)	发生时间 (年.月.日)	降雨			径流量 (m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> )	径流系数 (%)	侵蚀量 (t/ km <sup>2</sup> )	含沙量 (公斤/立方米)	
			雨量 (毫米)	历时 (时:分)	强度 (毫米/小时)				最大	平均
天水 吕二沟	12.0	1959.8.14	17.2	0:46	22.3	4,804	42.0	6,415	1,220	890
		1961.6.9	15.5	0:41	22.8	2,784	25.4	2,892	1,220	779
		1963.8.19	21.3	0:57	22.4	4,201	28.9	5,223	1,020	848
团圆沟	0.491	1961.8.1	63.9	1:05	59.0	22,630	57.8	40,000	1,130	1,060
想她沟	70.1	1961.8.1	57.8	1:05	53.3	18,390	49.1	29,120	1,070	991
韭园沟	0.45	1977.8.4	177.4	24:50	7.1	80,540	83.0	109,000	1,100	896
团山沟	0.18	1968.7.15	29.0	0:34	51.3	14,777	75.5	19,555	963	891
	0.18	1969.5.11	52.4	1:20	39.2	15,111	42.7	19,778	1,030	882
李家沟	0.69	1959.8.5	40.0	6:37	8.7	7,159	31.4	14,360	1,240*	1,140
	0.69	1961.7.30	61.5	4.45	12.9	7,406	22.0	16,280	1,300*	1,210
辛店沟		1956.8.8	45.0	2.30	18.0	30,300	97.6	36,130	1,100*	822
平均			52.8		28.8	18,918	50.5	27,159	1,127	946

\* 为推算值

##### (二) 毁坏农田，阻塞交通，给人民生命财产带来损失

泥流除产生严重的水土流失外，还会因其强烈的爆发作用和冲刷作用毁坏农田和水土保持工程措施，给人民生命财产带来重大损失。例如，韭园沟1961年8月1日的洪水造成的危害，梯田破坏率为5.0%左右，淤地坝破坏率为44%，塄窝地破坏率为52%；受害作物面积达12,556亩，其中减产3成以上的占一半以上；另外还有房屋倒塌，牲口死亡等损失。

如前所述，泥石流是黄土沟道流域水土流失的一种特异现象，是水土流失严重程度的明显标志。所以生物和工程措施相结合的水土保持综合治理乃是防治泥石流的根本途径。解放以来，随着水土保持工作的大力开展，我国黄土地区泥石流的发生频率明显减少。但是，在有些地方，由于人为活动的破坏，致使泥石流发生的

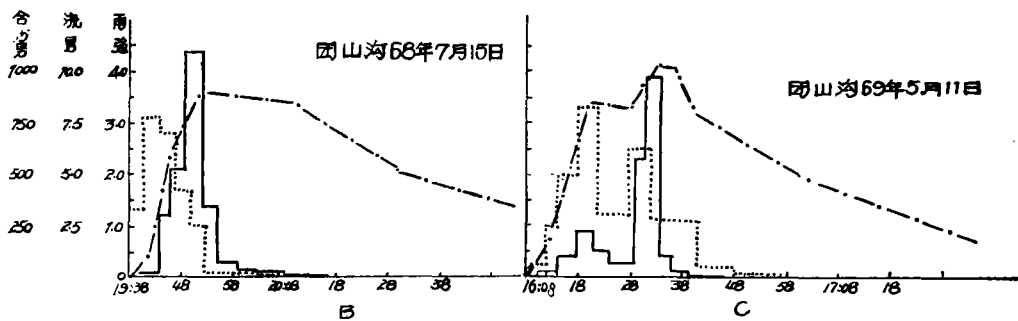
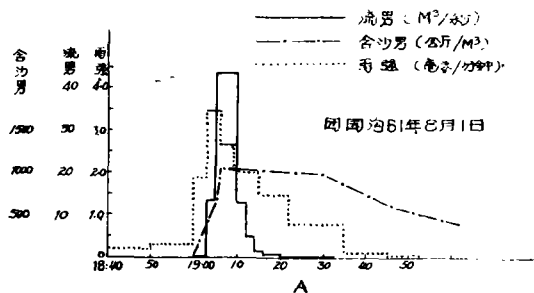


图 1

危害性还很大。为了防止泥石流的发生发展，就必须持续开展水土保持工作。

造林种草是泥石流防治工作中一项带有根本性和长远性的措施。它对泥石流防治所起的主要作用是削弱雨滴的打击作用，减少地表径流和土壤冲刷量，网络和固结土体，稳定山坡，降低水流速度和洪流冲刷力。由于泥石流大都发生在地形支离破碎的黄土沟道，并且是水和重力侵蚀共同作用的结果。若能稳定山坡、防止滑坡和严重沟蚀的发生，就必然会减少或消除泥石流的发生频率和危害程度。在这一方面，护坡林和沟底防冲林的共同配合是特别有效的。

在工程措施的防治方面，目前特别要重视工程措施本身的设计标准和质量，防止由工程措施本身破坏所形成的大量水土流失。根据泥石流发生的暴雨特点，工程措施的设计标准应着重考虑暴雨强度这一指标，要特别重视和研究的应是短历时、高强度的雷暴雨。

表4 泥石流造成的水土流失量占各沟道水土流失总量的比值

沟道名称	观测年限	径流量 (%)			侵蚀量 (%)		
		总流失量	泥流量	最大一次泥流量	总流失量	泥流量	最大一次泥流量
团圆沟	4	100.0	54.7	20.7	100.0	66.9	36.3
想她沟	4	100.0	51.5	21.2	100.0	66.8	37.1
韭园沟	19	100.0	27.8	20.1	100.0	56.9	45.9
吕二沟	10	100.0	15.1	4.0	100.0	38.9	9.2
李家沟	2	100.0	79.1	29.6	100.0	91.9	40.3
团山沟	7	100.0	69.4	11.4	100.0	81.3	13.3
辛店沟	7	100.0	17.0	17.0	100.0	37.6	37.6
平均	8	100.0	45.0	17.7	100.0	62.9	31.4