

# 泥石流沟的临界雨量线分布特征

谭 万 沛

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所)

## 提 要

本文采用聚类分析方法,对35条泥石流沟的临界雨量线进行讨论,找出了它们的分布规律。文中主要依据在泥石流沟观测的雨量资料,加上部分气象站、水文站的雨量资料,计算出雨强和实效雨量后作图。泥石流沟的临界雨量线,呈阶梯状分布。其趋势与泥石流的规模和性质无关,与泥石流沟的流域面积、主沟长度、相对高差和主沟床平均比降等因子关系并不密切,而与泥石流沟形成区的山坡坡度和泥石流发生频率较为密切,特别是它与泥石流提供固体物质的方式最为密切。

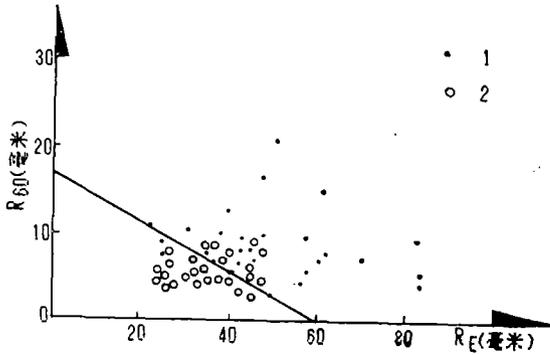
泥石流沟的临界雨量线制定,是利用降雨对泥石流发生进行预报的重要方法之一,因为降雨超过了泥石流沟的临界雨量,便会发生泥石流<sup>[1]</sup>。只要将一条泥石流沟,或者一种类型的泥石流沟的临界雨量线确定之后,就可以利用它来对泥石流的发生进行预报。因此,不少人都在探讨泥石流沟临界雨量线分布的规律<sup>[1-4]</sup>。本文以泥石流沟直接观测的雨量资料为主,加上部分气象站与水文站观测的雨量资料,采用聚类分析方法,制定出不同气候区,不同类型泥石流沟的临界雨量线35条,然后讨论了这35条临界雨量线分布的一些特征及某些原因。这里,定义的临界雨量线,是该沟发生泥石流的雨量最低下限。

## 一、资料来源与临界雨量线的制定

(一)资料来源。本文选用了云南、四川、甘肃、陕西、西藏5省区中23个县(市),共35条泥石流沟。这些泥石流沟所在地的气候,有亚热带、中亚热带、北亚热带、南温带、暖温带、寒温带和高原气候区;气候类型有潮湿型、温湿型、半湿润型、干热河谷型和半干旱型;提供泥石流固体物质方式,有滑坡为主、崩塌为主、坡面为主和沟床为主几种类型;泥石流活动频率有高、有低。在35条泥石流沟中,先后发生泥石流250场,平均每条沟发生泥石流7场。利用的雨量资料有500个,平均每条沟有发生泥石流的雨量资料14个。众所周知,聚类分析是统计分析的方法,供分析的样本容量越大,得出的结果就越符合实际。但在本文资料中,有个别稀遇性泥石流沟,由于发生的泥石流场次甚少,雨量点子亦少,临界雨量线确定有困难。为了弥补样本容量的不足,又用气象站或水文站多年的雨量观测资料,每年选出一个最大雨强和相应的当场暴雨资料(未发生泥石流),用同样方法计算描绘在图上,用来与发生泥石流的雨量点子进行对比分析。

(二)临界雨量线的制定。泥石流沟临界雨量线,一般采用雨强因素与总雨量联合作图制定。多数人认为,激发泥石流的雨量因素中,最关键的因素是10分钟雨强或1小时雨强。例如,日本学者在研究泥石流发生与10分钟雨强和1小时雨强的关系后认为,10分钟雨强比1小时雨强更密切<sup>[2]</sup>,

于是，首先提出了泥石流的激发因素是10分钟雨强的观点<sup>[2]</sup>。但同时也有人提出，泥石流发生与1小时的雨强关系密切的看法<sup>[6]</sup>。孟河清同志指出的“短历时的雨强（指10分钟雨强——笔者注）与泥石流发生与否的关系并不十分密切”的论点<sup>[8]</sup>，是与上述看法一致的。我们曾提出过泥石流激发因素，是10分钟雨强和1小时雨强两个因素共同作用的论点<sup>[7]</sup>。由此可以看出，关于泥石流激发因素的看法，并不都相同；但共同点都着眼于10分钟雨强和1小时雨强方面。为了比较，这里也只分析这两种雨强临界雨量线分布的特征，即在250场泥石流的当场雨量资料（500个）中，各选一个10分钟雨强（ $R_{10}$ ）和1小时雨强（ $R_{60}$ ），同时进行分析。分析研究还发现，无论是10分钟雨强与1小时雨强的单独作用，或者是两者的共同作用，要使泥石流发生，



1—发生泥石流；2—未发生泥石流。  
图1 泥石流沟临界雨量线制定示意图

都必须当场降雨达到一定总量<sup>[9]</sup>。这就是说，研究泥石流发生的雨量因素，要同时考虑雨强和过程雨量的总效应。一般还认为，前期降雨量多少，对泥石流发生的当场降雨大小，是有一定影响的。因此，这里还把前期降雨也作为制定临界雨量线的一个因素加以考虑。前期雨量，按赖氏提出的公式计算<sup>[9]</sup>。前期雨量计算值，与当场雨量之和，称为实效雨量（ $R_E$ ）。用雨强（ $R_{10}$ ， $R_{60}$ ）和实效雨量（ $R_E$ ）作成图1（未发生泥石流的雨量资料，依同样方法选出雨强和计算实效雨量）。根据图1两类点群分布情况，作一条点群的分界外包直线，使发生泥石流的点群基本上在直线的上方区域；而未发生泥石流的点群，大多数在直线的下方区域。这条外包直线，就是制定的该沟泥石流发生的临界雨量线。

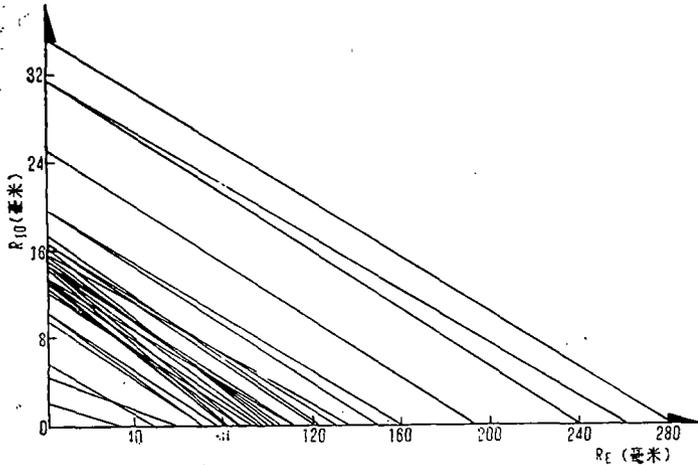


图2 泥石流沟10分钟雨强临界雨量线

## 二、临界雨量线分布特征

### （一）10分钟雨强临界雨量线分布。

它分为以下4个方面：

1、分布形式。10分钟雨强临界雨量线分布的范围相当宽（图2）。实效雨量从30—280毫米，10分钟雨强从2.4—36毫米都有分布（表1）。总的分布趋势呈阶梯状，有明显的分区趋势，可以分成7—8个区段。每个区段的雨量界限值列于表1。在区段实效雨量为75—120毫米，10分钟雨强为12—16毫米的条数，占50%以上；而大于或小于此区段雨量界限的条数，是越来越少。这也许是雨量线呈阶梯状分布的原因之一。临界雨量线的斜率，多数在7°—9°，差别不是很大。

2、线型分布与泥石流沟地形的单因子关系。泥石流沟的地形地貌因子，是泥石流形成的重要条件，并作为泥石流沟严重程度重要判别因子<sup>[10]</sup>。这里，将35条泥石流沟的几个主要地形因子（流域面积S，主沟长度L，主沟床平均纵比降 $\alpha$ ，相对高差H，形成区的山坡坡度 $\phi$ ），各分成5个等级。统计上述因子在每个雨量区段内的泥石流沟数，结果列在表1。由表1看出，前4个地形因子，在雨量区段内的分布次序，规律性较差；后1个地形因子的分布规律性较好。这就表明，泥石流沟临界雨量线分布，与前4个地形因子之间的关系，似乎较差，而与形成区山坡坡度关系较密切。调查资料也表明，在多数情况下，只要某一条沟发生了泥石流，则其相邻的大小支沟，都可能同时发生泥石流。这证明，前4个因子，对临界雨量线分布的作用，不占主导地位，也许还与别的因素有关。

3、线型分布与泥石流规模和性质的关系。对于某一条具体的泥石流沟不同场次的泥石流来看，激发当场泥石流的雨量越大，泥石流的规模就大；反之，泥石流的规模就小。两者之间，在一定条件下有较密切的关系（谭万沛、谭炳炎：“1981年三滩泥石流发生与降雨的关系”），可是，在不同的泥石流沟之间，临界雨量线的分布与泥石流规模之间就不存在关系。这一点，可以从泥石流沟发生泥石流规模（Q）的分级统计结果所证明（见表1）。泥石流沟的临界雨量线分布特征，与泥石流性质之间毫无直接关系，是十分清楚的。

4、线型分布与泥石流沟的泥石流活动频率和固体物质提供方式的关系。泥石流活动频率，是指泥石流沟在某一时间尺度范围内，发生泥石流场次的多少。我们将35条泥石流沟，发生泥石流的频率（P）分为5个等级的统计（表1）结果看出，频率（P）在各级雨量区段内的分布序列，很有规律性。泥石流发生频率，从越高的泥石流沟，其临界雨量线分布越低；反之，泥石流发生频率越低的泥石流沟，其临界雨量线分布就越偏高。两者之间，有很好的关系。所以，临界雨量线分布状况，在一定程度上反应了泥石流沟发生泥石流频率的高低。

我们曾把泥石流沟提供固体物质的方式，分成滑坡型和沟床型两大类。研究过两类泥石流沟的临界雨量线之间的差异性<sup>[3]</sup>。这里，将33条泥石流沟提供固体物质方式（F），做了更详细的分类。分成滑坡类（I）、山坡崩塌（或崩塌型滑坡）类（II）、沟床崩塌（或沟床滑坡）类（III）、沟床坡面（或沟床坍塌）类（IV）和沟床类（V）。分类原则，一是滑坡类，亦称滑坡侵蚀类。这是活动性强的滑坡体，在自重作用下，经常不断地产生崩塌物质，进入沟床堵塞，在山洪作用下，便能形成泥石流的类型；二是山坡崩塌类。这是指在暴雨或久雨作用下，发生山坡崩塌，崩塌物质直接进入沟床，或者使活动性较弱的滑坡体，产生崩塌，物质进入沟床，形成泥石流的类型；三是沟床崩塌类。这是在暴雨洪水作用下，使沟床两岸（一般在流通段）发生沟岸崩塌，或沟岸小型滑坡前缘侧蚀物质，加入洪流形成泥石流的类型；四是沟床坡面类。这是暴雨强度大时，使陡峻的沟床山坡，产生强烈冲刷，侵蚀型物质进入沟床，或者暴雨洪水冲刷沟岸，坍塌物质加入洪流，形成泥石流的类型；五是沟床类，即沟床侵蚀类。这是在强度大的暴雨洪峰冲刷下，沟床侵蚀强烈，往往产生揭底床物质，形成泥石流的类型。这里必须强调指出，一条泥石流沟，可能同时存在上述两种，或者两种以上的类型，但其中总有一种相对为主的提供物质类型。按照上述分类统计结果列于表1。从表1可以看出，分类排序很有规律的变化：I类泥石流沟的临界雨量线分布最低，V类泥石流沟的临界雨量线分布最高，II—IV类泥石流沟的临界雨量线分布在上述两类之间。这就表明，泥石流沟的临界雨量线分布偏高偏低，与提供泥石流固体物质的方式密切相关。我们认为，泥石流沟提供固体物质的不同方式，是泥石流沟临界雨量线分布差异的主要决定因素。因为，泥石流沟的固体物质提供方式，在一定程度上反应了泥石流沟的固体物质的斜坡稳定程度，或松散程度。滑坡类，固体物质最不稳定，松散度最大，在暴雨洪

表1 泥石流特征因子及临界雨量线分级统计表 (雨量单位: 毫米)

区段	条	S	L	H	$\alpha$	$\phi$	Q	P	F	R <sub>E</sub>	R <sub>60</sub>	R <sub>10</sub>	$\bar{R}_E$	$\bar{R}_{60}$	$\bar{R}_{10}$
1	1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	1-1	1-1	<40	<10	<4	32.0	5.5	2.4
2	2	2-1 3-1	2-1 3-1	3-1 4-1	2-1 3-1	1-2	2-1 3-1	1-1 2-1	1-2 2-1	40-60	10-20	4-8	55.0	16.5	5.3
3	3	1-1 2-1 4-1	1-1 2-1 4-1	2-1 3-1 4-1	1-2 3-1	1-3	1-1 2-1 3-1	1-1 2-3	1-1 2-2	60-75	20-30	8-12	69.0	21.2	10.7
4	18	2-8 3-3 4-7	2-9 3-8 4-1	1-2 2-9 3-7	1-3 2-8 3-7	2-2 3-10 4-6	1-3 2-4 3-9 4-2	3-13 4-5	2-3 3-7 4-6 5-2	75-120	30-40	12-16	91.6	32.4	14.5
5	5	2-1 3-1 4-3	2-1 3-3 4-1	1-1 2-2 3-1 5-1	2-2 3-2 5-1	3-1 4-2 5-2	1-1 3-1 3-4	3-3 4-2	4-1 5-4	120-140	40-50	16-20	125.8	44.0	16.8
6	2	2-1 4-1	1-1 4-1	2-1 5-1	3-1 5-1	4-1 5-1	1-1 3-1	4-2	4-1 5-1	140-170	50-60	20-24	155.0	53.8	20.0
7	1	5-1	5-1	2-1	4-1	4-1	4-1	4-1	5-1	170-220	60-75	24-28	190.0	70.0	26.0
8	3	3-3	3-3	2-3	2-2 3-1	4-1 5-2	3-1 4-1 5-1	4-2 5-1	5-3	220-280	75-100	28-36	260.0	91.7	33.3
计	35	5-35	5-35	5-35	5-35	5-35	5-35	5-35	5-35	30-280	5.5-100	2.4-36	32-260	5.5-91.7	2.4-33.3

注: S—小到大, L—小到大, H—大到小,  $\alpha$ —大到小,  $\phi$ —大到小, Q—小到大, P—小到大, F—高到低。

水冲击下，很容易形成泥石流流动，故其临界雨量线偏低；沟床类，因表层细土成分，被常年洪水夹带走，使床面物质粗化，下层土体整体密实性好，只有强大的暴雨洪水揭底沟床，或冲刷沟床才能形成泥石流，故其临界雨量线偏高；Ⅱ—Ⅳ类，固体物质的稳定性和松散程度，介于上述两者之间，故其临界雨量亦在其间。我们认为，能找出表示泥石流沟固体物质稳定性的松散度指标，是制定泥石流沟临界雨量线的较好指标。

资料分析还表明，泥石流沟的临界雨量线分布，似乎还与气候类型密切相关。在气候潮湿多暴雨的地区，或者是气候特别干燥而暴雨又极少出现的地区，在同类提供方式条件下，泥石流沟的临界雨量线分布，要高于上述两种气候类型之间的地区泥石流沟的临界雨量线。不过，这种关系，对于泥石流沟临界雨量线分布特征的作用，不象固体物质提供方式那么显著。

(二) 1小时雨强临界雨量线分布及其与10分钟雨强临界雨量线分布的关系。1小时雨强临界雨量线分布的趋势，与10分钟雨强临界雨量线分布的形式基本相似(图略)。1小时雨强，在5.5—100毫米区间都有分布，其分段范围也基本上与10分钟雨强临界雨量线分段一致。每个区段的雨量界限值列于表1，其中1小时雨强在30—40毫米区段内占50%以上。在各个雨量分段内，分别求出10分钟雨强和1小时雨强的平均值( $\overline{R}_{10}$ ,  $\overline{R}_{60}$ )后，再计算两种雨强的比值。由此可以看出，两种雨强的比值变化范围，在2.0—3.1之间，总平均为2.6倍。由表1还可求出实效雨量平均值( $\overline{R}_E$ )与1小时雨强平均值( $\overline{R}_{60}$ )之间的比值，两者存在3倍左右的倍比关系。也就是说，10分钟雨强和1小时雨强，以及实效雨量之间，对泥石流临界雨量线分布的作用不是孤立存在的，而是相互间有一个倍比值联系的。因此，我们认为，关于泥石流发生的激发因素，不应只看做是某一个因素单独的作用，而应该是各种因素联合作用的总效果。

### 三、临界雨量线适用范围及检验

(一) 适用范围。本文讨论的35条泥石流沟临界雨量线，基本上代表了我国主要泥石流地区在不同气候与自然地理环境条件下，不同类型泥石流沟的临界雨量线分布趋势。因此，它能适合于我国多数地区不同类型泥石流沟在制定泥石流临界雨量线时作参考。

(二) 检验。这里，用了某地区两条中等流域泥石流沟的观测资料进行了检验。A沟属沟床滑坡类，B沟属沟床崩塌类，泥石流频率都是第3级。由观测资料分析出的临界雨量线，分别在雨量区段4和区段5内，符合本文前面讨论的临界雨量线分布。

### 四、结论与问题讨论

(一) 结论。主要有两点：

1、根据35条泥石流沟来看，临界雨量线呈阶梯形式分布。总的来看，这种分布特征与泥石流沟的流域面积、主沟长度、相对高差和主沟床平均比降等地形单因子的关系较差一些；它与泥石流的规模和性质无关，而与泥石流沟形成区的山坡坡度和泥石流发生频率的关系较密切，特别是与沟道提供泥石流固体物质的方式最密切。

2、35条泥石流沟，在地区范围和泥石流类型方面都具有一定的代表性，有参考价值。

(二) 问题讨论。概括为两个方面：

1、本文讨论的泥石流沟的临界雨量线，是可能发生泥石流的雨量下限。雨量超过此临界线时，不一定都发生泥石流。在实际应用时，不应把它看成是一条严格的几何线，而只是代表了一个相当宽的雨量区间的最小边界线。

2、本文用了部分气象站和水文站的雨量资料。由于山区降雨水平和垂直分布不均，不一定

能代表流域内的实际雨量。因此，部分泥石流沟的临界雨量线，可能与实际有些出入，在具体应用时应加分析。此外，临界雨量线分布特征，与岩性、构造、植被等关系未涉及。

#### 参 考 文 献

- [1] 苏联作者，姚德基译：《泥石流》，科学出版社，1986。
- [2] 奥田节夫等：《土石流的研究》，《地学杂志》，Vol. 81 No. 3, 1972。
- [3] 谭万沛：《降雨泥石流的临界雨量研究》，科学出版社（待刊）。
- [4] 姚令侃：“降雨泥石流形成要素的分析”，《水土保持通报》，1987年第2期。
- [5] 池谷浩：《新砂防》，Vol. 27 No. 3, 1974。
- [6] 孟河清：“1981年宝成铁路泥石流灾害与降雨条件分析”，《铁道工程学报》，1983年第4期。
- [7] 谭万沛、杨忠义：“791102雅安泥石流及暴雨成因分析”，《泥石流》（8），1986。
- [8] 谭万沛等：“1981年凉山州南部地区暴雨泥石流”，《泥石流》（3），1986。
- [9] 漱尾克美、万腾英彦：《土木技术资料》，27（5），1985。
- [10] 谭炳炎：“泥石流沟严重程度的数量化综合评判”，《铁道学报》，1986年第2期。

## Distribution characters of critical rainfall line for the debris flow gully

*Tan Wanpei*

*(Chendu Institute of Mountain Disasters and Environment, Academia Sinica)*

#### Abstract

The critical rainfall lines of 35 debris flow gullies are discussed in this paper. Their distribution laws are found out by the cluster analysis. According to the rainfall data observed at the debris flow gullies and partial meteorological observatories or hydrometric stations, the author mounted the rainfall intensity and effective rainfall, then draw the chart.

The critical rainfall lines of debris flow gullies are distributed in ladder. Its tendency has no relation to the scale or the characters of debris flow and it is not either closed with the basin area, the length of the main gully, relative difference of height and average gradient of main gully beds, etc.. However, it has a close relation to the gradient of slope in the formation region of debris flows and their occurrence frequencies. Especially, it has close relation to the forms of supplying solid material for debris flows.