

九寨沟泥石流预测*

崔 鹏

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

提 要 以泥石流起动条件为基础,建立了泥石流的判断预测法和计算预测法。据此对九寨沟泥石流加以预测,预测结果与实际情况基本一致。

关键词 九寨沟 泥石流 预测

九寨沟地处四川省南坪县境内,位于 $103^{\circ}46'$ — $104^{\circ}50'E$ 和 $32^{\circ}55'$ — $33^{\circ}20'N$,是嘉陵江上游白水江的一级支沟,由南向北流。流域面积 651 平方公里。沟口海拔 2000 米,南端分水岭朵尔纳峰海拔 4764 米,两者高差 2764 米,南北长约 46 公里。在地质上,九寨沟地处秦岭东西向构造带、龙门山北东向褶皱带、康滇歹字型构造体系的交汇地带,地质背景复杂,活动断裂、地震等新构造运动强烈;在地貌上,它又位于青藏高原向四川盆地的过渡地带,各种地貌营力交错复合;在气候上,则处于亚热带与南温带的交接地带,山地垂直气候分异明显。

这样独特的自然条件有利于泥石流等山地灾害的形成。流域内发育泥石流沟达 31 条之多。20 世纪 80 年代,由于人类不合理经济活动的增强,加剧了泥石流活动。1981 年暴发泥石流 3 处,1982 年就有 5 处,1984 年增至 10 处,1985 年又添 4 处^[1]。这些活动日趋强烈的泥石流,污染、淤积着湖泊,在破坏景点,阻塞公路,毁坏森林,威胁游客和当地居民的安全,成了九寨沟自然资源保护和旅游开发的严重障碍。1985 年以来,结合流域内的泥石流防治,研究了泥石流的形成、治理和预测预报等理论与方法问题,其中之一便是泥石流预测方法。

一、泥石流预测的理论基础

这就是泥石流起动条件。

对泥石流研究现状^{[2-6],1)},和野外考察观测资料的分析结果表明,在泥石流起动的诸因素中,底床坡度、颗粒级配和水分状况是决定因素,其中底床坡度和颗粒级配是基本因素,水分状况是积极参与和诱发因素。

粒径 < 1 毫米的细粒物质和粒径 > 1 毫米的粗粒物质²⁾的重量含量比,决定着松散

* 蒙中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所九寨沟景观生态综合研究站和九寨沟自然保护区管理处全体同仁的热情帮助和大力支持,谨致谢意。

1) 奥里茨基, H. (王礼先译), 1983, 荒漠治理森林工程体系, 第一册, 北京林学院, 第 1—35 页。

2) 维诺格拉多夫, Ю. Б. (孟河清译), 1980, 泥石流体的基本性质, 地理译文集(4, 泥石流专辑), 中国科学院成都地理研究所, 第 46 页。

本文收稿日期: 1991-01-15.

固体物质的结构特征和连接强度,这可由细粒物质的相对重量含量(以下简称细粒含量)予以较好地反映,故以松散固体物质的细粒含量作为颗粒级配的指标。松散固体物质的水分饱和度(即水体体积与孔隙体积之比值)既表征了水分含量,也反映了结构特征和连接强度的变化,可作为水分状况的指标。

分析泥石流起动的力学过程后,建立了以底床坡度 θ ($^{\circ}$)、细粒含量 C (无量纲参数)和水分饱和度 S_r (无量纲参数)为自变量的应力状态函数

$$y = f(\theta, S_r, C, K), \quad (1)$$

式中 K 为由边界条件所决定的常数。对于给定的泥石流沟, K 值就已确定,从而有

$$f(\theta, S_r, C) \begin{cases} < 0 & \text{松散固体物质暂时保持稳定;} \\ = 0 & \text{松散固体物质处于临界起动状态;} \\ > 0 & \text{松散固体物质已经起动。} \end{cases} \quad (2)$$

据此,定义泥石流起动条件为

$$f(\theta, S_r, C) = 0. \quad (3)$$

九寨沟流域内的树正沟是一条单沟发育的泥石流沟,具有泥石流沟起动段的普遍特征(图1)。因而选树正沟泥石流作为模拟原型,把取自沟内起动段而未起动的松散固体物质用作实验的固体物料,以小型模拟实验装置,作了泥石流起动实验94次。分析实验结果后,求得在实验条件下的泥石流起动条件(起动模型)为

$$\theta - 8.01 S_r - 2.49 S_r^2 - [3.49 / (C - 0.10)] + 7.02 = 0, \quad (4)$$

其复相关系数 $R = 0.89$, 在 $\alpha = 0.001$ 的水平上显著相关。

将式(4)绘于 $\theta-S_r-C$ 坐标系中,构成泥石流临界起动条件曲面 S_c (简称曲面 S_c)¹⁾。山区沟道中任意一种给定的松散固体物质,就是 $\theta-S_r-C$ 坐标系中的一点。该点位于曲面 S_c 以上者,表示这种松散固体物质已经起动,若无大量松散固体物质补充,则不会再起动而形成泥石流;该点位于曲面 S_c 以下者,表示这种松散固体物质暂时保持稳定,若条件变化而起动,则将形成泥石流;该点落于曲面 S_c 上者,表示这种松散固体物质处于临界起动状态,正在或濒于起动。

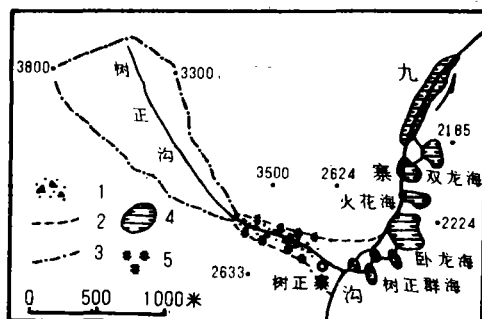


图1 树正沟泥石流及其危害区

Fig. 1 Debris flow and its danger zone in Shuzheng Gully

1. 泥石流堆积物; 2. 危险区界线; 3. 流域界线;
4. 海子(湖泊); 5. 农田

二、泥石流预测方法

以泥石流起动条件为基础,可预测泥石流发生的可能性,即判断泥石流能否发生,以及估计泥石流发生的可能程度。由此泥石流预测方法可相应分出:泥石流判断预测法和

1) 崔鹏, 1990, 泥石流起动机理的研究, 北京林业大学博士论文, 第38页。

泥石流计算预测(距离预测)法。

(一)泥石流判断预测法

判断一条沟谷能否发生泥石流,主要考虑底床坡度 θ 和细粒含量 C 。对泥石流启动来说,同其他泥石流形成因素一样,这两个因素也存在一个上下界限值和适宜范围^[1]。若 θ 值或 C 值小于各自的最小临界值者,则不满足松散固体物质启动的基本条件,不会形成泥石流;若两值分别大于各自的最小临界值者,就会出现上述三种可能状态中的一种。

把曲面 S_c 投影到 θ - C 平面上得图2。

由图2可见,最小临界细粒含量 C_{c0} 、最小临界底床坡度 θ_{c0} 和最大起动条件投影线 S 三者,把 θ - C 坐标系的第一象限分成A, B, M三个区。其中A区不满足松散固体物质启动的基本条件;B区超过松散固体物质启动的基本条件;唯有M区具备松散固体物质启动的基本条件,为泥石流可能发生区。

将任一待测沟谷中松散固体物质的 θ 值、 C 值点绘于图2中,得点 $P(\theta, C)$ 。若点 P 落在M区内,点 P 所代表的沟谷有可能发生泥石流,故属于泥石流沟谷;反之,就不会产生泥石流,属非泥石流沟谷。

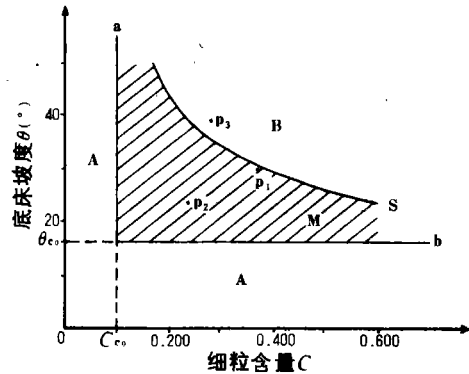


图2 泥石流判断预测

Fig. 2 Debris flow judgement

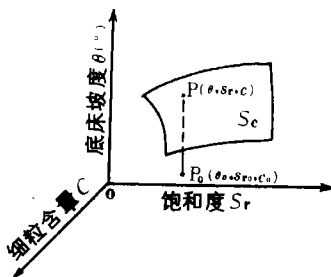


图3 泥石流计算预测

Fig. 3 Calculating the possibility of flow debris occurrence

以泥石流判断预测法判断九寨沟某些支沟的属性,同时也就是用实例资料来验证本法的可行性。树正沟内松散固体物质的 θ 值 30.0° , C 值 0.371 ;熊猫海子沟内松散固体物质的 θ 值 23.5° , C 值 0.234 ,两者在图2中分别是点 P_1 ,点 P_2 ,由此两沟都属泥石流沟。长海小沟内松散固体物质的 θ 值 37.5° , C 值 0.276 ,落于图2中是点 P_3 ,此沟内尽管岩石风化强烈,松散固体物质较丰富,但还没有发育泥石流。

(二)泥石流计算预测(距离预测)法

本法在对某一条沟谷作出了泥石流判断预测后使用。

把松散固体物质的现存状态: θ_0 , S_{r0} , C_0 点绘于 θ - S_r - C 坐标系(图3)中,得点 $P_0(\theta_0, S_{r0}, C_0)$ 。点 P_0 与曲面 S_c 的相对位置就反映出泥石流发生的可能程度。如图3所示,在曲面 S_c 上存在着与点 P_0 对应的一点 $P(\theta, S_r, C)$,使点 P_0 和点 P 的连线是曲面 S_c 的法线。定义点 P_0 到点 P 之间的距离

$$r = \sqrt{(\theta - \theta_0)^2 + (S_r - S_{r0})^2 + (C - C_0)^2}, \quad (5)$$

1)崔鹏,1986,泥石流地貌要素统计分析,第二届全国泥石流学术讨论会论文。

为估计泥石流发生可能程度的指标。 r 越大, 点 P 距曲面 S_0 越远, 泥石流起动条件越难以满足, 发生泥石流的可能性就小, 反之, 发生泥石流的可能性就大。 $r \rightarrow 0$ 者, 松散固体物质接近临界起动条件, 外界条件稍有变化, 就可能触发泥石流; $r = 0$ 者, 点 P_0 与点 P 重合, 已经满足松散固体物质起动条件, 即将(或正在)形成泥石流。

令约束条件为泥石流起动条件, 则在实验条件下有

$$f(\theta, S_r, C) = \theta - 8.01 S_r - 2.49 S_r^2 - [3.49/(C - 0.10)] + 7.02, \quad (6)$$

目标函数是

$$\varphi(\theta, S_r, C) = (\theta - \theta_0)^2 + (S_r - S_{r0})^2 + (C - C_0)^2. \quad (7)$$

由于在其定义域内, 函数 f 和函数 φ 均具有连续偏导数。据拉格朗日数乘法, 令

$$\Phi(\theta, S_r, C) = \varphi(\theta, S_r, C) + \lambda f(\theta, S_r, C). \quad (8)$$

则点 $P_0(\theta_0, S_{r0}, C_0)$ 应满足方程组

$$\begin{cases} \Phi_\theta = 0, \\ \Phi_{S_r} = 0, \\ \Phi_C = 0. \end{cases} \quad (9)$$

联立式(9)和式(6), 可解出 λ 与 θ, S_r 和 C 值。由此就确定了在曲面 S_0 上与点 P_0 对应的点 P 。将 θ 值、 S_r 值、 C 值代入式(5), 即得泥石流发生可能程度指标 r 。于是由 r 可定量预测泥石流发生的可能程度。

用本法处理日则 1 号沟和树正沟的野外实测和实验资料后, 得日则 1 号沟和树正沟的 r 值分别为 2.5 和 0.6。由此表明树正沟松散固体物质起动条件较好, 易于形成泥石流, 其活动强烈, 发生频繁, 而日则 1 号沟仅发生过 1 次泥石流。

由上可见, 前述泥石流预测方法是合理的, 但要加以推广应用, 还须注意以下几点:

1. 进一步完善实验条件, 增加实验系列和类型, 乃至按相似比尺进行模型实验, 以完善泥石流起动模型。
2. 实验是在无水动力冲刷条件下进行的, 所提出的泥石流预测方法也仅适用于如此条件。对冲刷条件下形成的泥石流加以预测, 现有的思路可作借鉴, 但须以相应条件下的泥石流起动实验模型为基础。

参 考 文 献

- [1] 柳寰清等, 1989, 九寨沟泥石流及其治理效益分析, 地理, 2(3), 第 20 页。
- [2] John, L. I., 1983, Debris flow. *Progress in Physical Geography*, 7(4), 469—496.
- [3] Cheng Chenglung, 1987, Comprehensive review of debris flow modeling concepts in Japan. *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, 7, 13—27.
- [4] Johnson, A. M., 1965, A model for debris flow. Ph. D. Dissertation, The Pennsylvania State University, University Park, penna.
- [5] Tang Bangxing et al., 1989, Basis characteristics of mountain disasters(with emphasis on debris flow)in China. *Proceedings of Japan-China Symposium on Landslides & Debris Flows*, Niigata, Tokyo, Japan, 291—294.
- [6] 弗莱施曼, C. M. (姚德基译), 1986, 泥石流, 科学出版社, 第 36—68 页。

CALCULATION OF DEBRIS FLOW IN JIUZHAI GULLY

Cui Peng

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy*)

Abstract

Jiuzhai Gully, with a drainage area of 651km² and a length of 46km from south to north, is located within 103°46'—104°50' E, 32°55'—33°20' N in northwest of Sichuan Province. Its maximum altitude is 4,764m at south peak and the minimum one is 2,000m. It is a join place of three structural systems and between subtropical and south temperate zones, as well as a transition belt from Qinghai-Xizang Plateau to Sichuan Basin. Therefore, debris flow is in activity. There are 31 debris flow gullies in the region. Debris flow directly affects the protection and development of Scenic Spot in Jiuzhai Gully.

For calculating debris flow, the condition of debris flow initiation is regarded as a theoretical basis. Shuzheng Gully, a tributary of Jiuzhai Gully, is selected as simulation prototype. 94 experiments of debris flow initiation have been done with a mini-simulator. By analysing experimental results, the condition of debris flow initiation has been set up as follow:

$$\theta - 8.01 S_r - 2.49 S_r^2 - [3.49 / (C - 0.10)] + 7.02 = 0$$

where, θ is bed slope, S_r is saturation degree, and C is fine-grained content.

Based on the initiation condition, the prejudication way to discriminate between debris flow gully and non-debris flow gully and the calculation way to compute the possibility of debris flow occurrence are discussed. Some gullies in the region have been judged and forecasted with the methods mentioned above and the conclusions conform to reality.

Key words Jiuzhai Gully; debris flow, calculation