

激发坡面泥石流形成的降水因素探讨 ——以重庆北碚地区为例

刘成, 徐刚, 黄彦, 孔圆圆, 程中玲, 杨娟

(西南师范大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 从重庆市北碚区坡面泥石流形成的地质、地貌和气象条件入手, 分析了北碚区 1962—2003 年发生的坡面泥石流数据及降雨资料, 认为在该区域, 降水是发生坡面泥石流的决定性因素, 坡面泥石流的发生与前期降雨量和 1 h 雨强关系密切, 前期降雨对泥石流形成的贡献比较大, 1 h 雨强主要起到激发作用。通过对泥石流的降雨指数分析, 认为在该区当 1 h 降雨量达到 40 mm, 降雨指数达到 160, 综合指数达到 650, 就可能发生坡面泥石流。

关键词: 坡面泥石流; 暴雨; 临界雨量; 北碚区

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)01—0051—04

中图分类号: P642.22

Study of Precipitation Factor Inducing Debris Flow on Slope ——A Case Study of Beibei, Chongqing

LIU Cheng, XU Gang, HUANG Yan, KONG Yuan-yuan, CHENG Zhong-ling, YANG Juan

(School of Resources and Environment Science, Southwest China Normal University,

and Key Laboratory of Ecvironments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China)

Abstract: The effects of precipitation on debris flows on slope in Beibei District, Chongqing City, were investigated after the study of the formation conditions and their relations with the geologic, geographical and climatic conditions. The data for debris flows and precipitation during 1962—2003 were analyzed with a case of debris flows studied specifically. The analyses indicate that precipitation is the critical factor which causes the occurrence of debris flows on slope in Beibei District. The occurrence of debris flows is found to have a close relation with antecedent precipitation and one hour rainfall intensity. It is followed from the analysis of indexes that a debris flow may occur in Beibei District as the amount of one hour rainfall reaches 40 mm, the rainfall index, 160, and the comprehensive index, 650.

Keywords: debris flow on slope; rainstorm; critical rainfall amount; Beibei District

从分水岭到河道的坡地是流域地貌系统中独特而又重要的部分, 该范围是流域系统内物质和能量的重要来源区, 从而形成一个重要的子系统——坡地系统。在山地丘陵地区, 坡地系统十分发育, 在该系统中, 重力地貌和流水地貌灾害甚为发育, 坡面泥石流就是其中重要的表现形式之一。从理论上说, 坡面泥石流的发生条件与沟谷泥石流的发生条件是一致的: 必须具备必要的物质条件、水源条件和地貌条件。但由于坡面泥石流与沟谷泥石流发生源地不同, 坡面泥石流的发生对三大条件的要求更高, 需要更大的降雨量, 更陡峭的地形。对坡面泥石流流域而言, 在一定的时期内, 坡面松散固体物质和地貌条件是相对稳定的, 降雨是多变的因素。坡面泥石流何时暴发, 暴发在何地, 规模大小, 都与该区域的降水密切相关。本

文结合重庆市北碚地区特殊的地质和地貌条件, 探讨该区坡面泥石流形成与降水条件之间的关系。

1 北碚区自然地理条件

北碚区位于重庆市的西北面, 距市中心约 50 km, 全区面积为 755 km², 介于 29°39′10″—30°3′53″N, 106°18′14″—106°56′53″E 之间。在地质构造上, 北碚区为西南地台、川东南拗褶带、华蓥山阻挡式复被斜帚状弧形构造区重庆弧的一部分, 其褶皱形成构造线为北北东—南南西向的 3 个背斜: 牛鼻峡背斜、温塘峡背斜和观音峡背斜, 它们和相间分布的 3 个向斜共同构成北碚区地貌形态的骨架。由于地层产状、岩性及水文地质不同, 形成了 4 种基本地貌类型: 低山(30.49%), 高丘(23.51%), 低丘(36.37%)、沿江

河谷(9.63%)。北碚区最高海拔 1 321 m,最低海拔 175 m,最大高差 1 146 m,嘉陵江切穿三大背斜,穿北碚而过,形成有名的嘉陵江小三峡。该区为亚热带湿润季风气候,多年平均降水量 1 138 mm,最大日降水量 225.4 mm(1953 年),降雨主要集中于 5—9 月(占全年的 75%以上),且多夜雨^[1]。由于特殊的地质构造和地貌条件,北碚区地质灾害多为突发性地质灾害,以滑坡、崩塌、泥石流为主,其中坡面泥石流甚为发育。

2 北碚区坡面泥石流概况

据收集到的资料,从 1962—2003 年,北碚地区共发生了 7 次比较大的坡面泥石流灾害,有记录的坡面泥石流共有 100 多条,主要分布在九峰山、缙云山和中梁山等地区。不少坡面泥石流发育在人口、企业密集的城镇和铁路、公路及江河沿线,对人民生命财产和交通运输形成严重威胁。2003 年 7 月北碚区连降暴雨,引发了大量坡面泥石流,造成巨大经济损失和人员伤亡^[2]。

在本研究区,主要是降水引起岩土体崩塌和滑坡,为坡面泥石流的发生提供松散碎屑物,并与山洪混合形成坡面泥石流。野外调查和统计分析表明,暴雨引发的坡面泥石流大多发生在 25°~35°的顺倾坡,占总坡面泥石流的 85.7%。同时发生的坡面泥石流的流域面积很小,通常只有 0.5~5 km²。这些特征与沟谷泥石流有较大的差异^[3]。

北碚区坡面泥石流发生的时间为 5—8 月,主要集中在 6 月和 7 月。这一时期正是北碚区的雨季,经常出现大暴雨,甚至特大暴雨。

3 北碚区坡面泥石流的临界雨量

暴雨是坡面泥石流发生的激发和动力条件,当降雨量达到一定程度,能够提供足够的激发能量并形成强大的径流,超过土体的抗剪强度时,坡面泥石流在短时间内快速形成,并迅速向坡下运动,以至启动更多的坡面物质混杂其间,扩大坡面泥石流的规模。

本研究中,从重庆市气象局、北碚区气象站以及西南师范大学气象站,收集到北碚区从 1962—2003 年发生坡面泥石流当天及前 3 d 的降水资料(表 1)。

从表 1 中可以得知,北碚地区坡面泥石流发生的时间为 5—8 月,主要集中在 6—7 月,而这段时间正是北碚地区的降水汛期,经常出现大暴雨或特大暴雨,由此可见,泥石流的发生与降雨密切相关。另外从当日降水量来看,泥石流暴发的当日降水量都在 150 mm 以上,最低的都为 156.8 mm,最大的达到

216 mm。由此也可以说明泥石流的发生同降水联系密切。据表 1 还可以得知,泥石流的发生也与短历时雨强密切相关,发生的坡面泥石流 1 h 最大雨强都 > 40.0 mm,最大 1 h 雨强为 51.2 mm,并且据 2003 年 7 月 19 日发生坡面泥石流野外考证,北碚地区坡面泥石流的发生还与暴雨中心地有关,当年发生的坡面泥石流 95%发生在阳坡,主要原因就是暴雨中心位于阳坡。因此,可以认为,在该区域中,降水是发生坡面泥石流的决定性因素^[4]。

表 1 1962—2003 年北碚区坡面泥石流发生时间及当日降水资料

时间	当日降水量/mm	1 h 最大雨强/mm	暴雨中心
19620705	208.1	52.5	柳荫
19720625	216.0	51.2	静观、柳荫
19780529	166.8	40.9	柳荫
19870720	192.2	49.5	醪糟坪
19890710	203.2	40.2	柳荫、静观
19930801	156.8	40.6	醪糟坪
20030719	172.0	44.1	水土、三溪口

3.1 激发坡面泥石流的前期雨量

在坡面泥石流形成暴发过程中,前期雨量极为重要^[5],从泥石流启动过程看,一场降雨开始后,由于土体吸水率很大,降雨全部渗入土壤。随着降雨的继续,表层土体达到饱和,地表产生积水,导致排水不畅,土体内孔隙水无法自由排泄,孔隙水压力剧增,土体的抗剪强度削减。在后续高强度降雨作用下,土体受到短历时雨强激发而形成泥石流。

激发坡面泥石流的前期雨量可以按下式计算:

$$P = P_1 + P_2 \quad (1)$$

式中: P_1 ——前期间接雨量, $P_1 = \sum_{i=1}^n P_i k^i$, P_i ——泥石流发生前 1— n d 中各日降雨量, k ——考虑到蒸发因素的雨量递减系数。由于前期降雨受时空变化、辐射强度、蒸发量、土壤渗透能力、地质地貌状况等多种因素的影响,根据本研究区的自然地理状况和资料情况,同时考虑到该区坡面泥石流暴发时日暴雨多在 150~250 mm(表 1),为大暴雨—特大暴雨型,因此本研究区的 k 取 0.8, i 取 1~3。 P_2 ——前期直接雨量,即 1 h 最大降雨之前的当日雨量。 P ——前期雨量。

按(1)式计算出北碚区激发坡面泥石流的前期雨量(表 2)。分析表明,该地区激发坡面泥石流的前期雨量(暴发日之前三日间接雨量与暴发当日的前期直接雨量之和)常超过 120 mm。

表 2 激发坡面泥石流的前期雨量与暴雨强度 mm

时间	前 3 日 雨量	当日前期 雨量	总前期 雨量	1 h 最大 雨强
19620705	4.2	126.1	130.3	52.5
19720625	82.7	42.4	124.1	51.2
19780529	3.3	140.6	143.9	40.9
19870720	19.3	102.1	121.4	49.5
19890710	100.0	30.2	130.2	40.2
19930801	50.2	91.6	141.8	40.6
20030719	15.2	114.3	119.5	44.1

3.2 激发泥石流的短历时雨强

前期降雨为坡面泥石流的发生创造了有利条件,而短历时的强降雨,为坡面泥石流的发生提供了大量的水源和强大的流水冲击力^[6],是该区坡面泥石流暴发的决定性因素。因此,短历时雨强对该区坡面泥石流有着十分重要的指示和判别意义。

从表 2 中可得出,激发北碚区坡面泥石流的 1 h 强度都在 40 mm 以上,最大的 1 h 雨强为 1972 年 6 月 25 日暴发的坡面泥石流,达到 51.2 mm。通常这一雨强稍后或 1 h 左右即可发生泥石流。因此,可将 1 h 最大降雨量 40 mm 作为激发北碚区坡面泥石流的临界短历时雨强。

3.3 激发坡面泥石流的降雨指数

研究区坡面泥石流的发生与短历时雨强指数关系非常巨大^[7],并且与前期降雨量也有一定的关系。坡面泥石流是在前期雨量和短历时暴雨的共同作用下形成的。前期雨量较少,需要激发泥石流的 1 h 雨强就高,反之相对较低的雨强也可激发泥石流。如 1987 年 7 月 20 日泥石流,前期雨量仅为 121.4 mm,但由于出现 1 h 达 49.5 mm 的高雨强,导致了多条坡面泥石流的发生。

然而 1978 年 5 月 29 日暴发的坡面泥石流,前期雨量达 143.9 mm,但 1 h 雨强相对较小,仅为 40.9 mm,也激发了多条坡面泥石流。因此,本文采用降雨指数来反映激发坡面泥石流的降雨条件及其规律。降雨指数的表达式为:

$$H = H_{60} + P \quad (2)$$

式中: H ——激发坡面泥石流的降雨指数; H_{60} ——激发坡面泥石流发生的 60 min 雨强; P ——激发坡面泥石流的前期雨量。

根据(2)式,利用所取得的降水数据(详见表 2),可以计算出北碚区历次坡面泥石流发生的降雨指数(详见表 3)。

从表 3 中可以看出,最小的降雨指数为 163.6,因此,就四川省北碚区而言,如果只考虑降水这一个

因素时,当降雨指数大于 160 的时候,就可能暴发坡面泥石流。

表 3 北碚区激发坡面泥石流的降雨指数

年份	1962	1972	1978	1987	1989	1993	2003
具体时间	0705	0625	0529	0720	0710	0801	0719
降雨指数	182.8	175.3	184.8	170.9	170.4	182.4	163.6

4 坡面泥石流形成的综合指数

泥石流的暴发不只由降雨这一个因素决定,它还与地质和地貌等其它条件密切相关,因此在考虑坡面泥石流的形成规律时,应该对降雨指数加以修正,即:

$$H = K(H_{60} + P) \quad (3)$$

式中: H ——坡面泥石流形成的综合指数; K ——坡面泥石流形成的背景指数,其余与上相同。 K 值由以下 3 部分组成(表 4—6),即:

$$K = K_1 + K_2 + K_3 \quad (4)$$

式中: K_1 ——泥石流活动系数; K_2 ——沟谷动力系数; K_3 ——区域气候环境指数。影响该区泥石流活动的因素,主要为流域面积、坡度和松散物质储备量及其补给方式等等。该系数(K_1)以泥石流活动强度来表示。

表 4 泥石流活动系数(K_1)

活动强度	极强	强	中	弱	极弱
K_1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

沟谷动力系数 K_2 是该区泥石流形成的势能条件,主要是形成坡面泥石流的坡度条件。这也是影响泥石流形成的一个非常重要的条件,如果坡度太缓,是不可能形成坡面泥石流的。

表 5 斜坡动力系数(K_2)

坡度	动力系数	坡度	动力系数
15°~20°	1.30	30°~35°	0.70
20°~25°	1.10	35°~40°	0.50
25°~30°	0.90	>40°	0.30

区域气候环境指数 K_3 按多年平均年降水量取值。

北碚区发生坡面泥石流的坡地为顺倾坡,残(坡)积物较厚,坡面泥石流较活跃,取 $K_1 = 2.0$;北碚区发生坡面泥石流的平均坡度为 32.2°,取 $K_2 = 0.8$;北碚区多年平均降水量为 1 138 mm,因此该区气候环境指数取值为 1.3。因此,北碚区坡面泥石流的综合指数为: $K = 2.0 + 0.8 + 1.3 = 4.1$

表 6 区域气候环境指数 (K_3)

年降水量/mm	> 1 300	1 300	1 250	1 200	1 150	1 100	1 050	1 000	< 1 000
区域气候环境指数	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

表 7 北碚区坡面泥石流形成的综合指数

年份	1962	1972	1978	1987	1989	1993	2003
具体时间	0705	0625	0529	0720	0710	0801	0709
综合指数	749.5	718.7	757.7	700.7	698.7	747.8	670.8

由(3)式可计算出北碚区历年坡面泥石流形成的综合指数(表 7)。

从表 7 中可以看出,当综合指数大于 650 时,就可能形成坡面泥石流。这一指数可以作为北碚区坡面泥石流的预警指数。

通过对北碚地区坡面泥石流形成的降水条件的分析,可知,在该区域中,暴雨是激发该区域坡面泥石流的决定性因素,且坡面泥石流的发生与前期雨量和短历时雨强密切相关。当 1 h 降雨量达到 40 mm,降雨指数达到 160,综合指数达到 650 时,就可能发生坡面泥石流。

当然,这里所提出的各项预警指标都是初步的方案,下一步还应该通过试验和机理分析,以提高预警指标的精度。

[参 考 文 献]

- [1] 唐文光,王力之,等. 北碚自然地理[M]. 重庆:西南师范大学出版社,1986. 1—3.
- [2] 曾凡伟. 泥石流形成机制[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2005. 1—5.
- [3] 国家防汛抗旱总指挥部办公室,中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 山洪泥石流滑坡灾害与防治[M]. 北京:科学出版社,1998. 92—97.
- [4] 韦京莲,赵波,董桂芝. 北京山区泥石流降雨特征分析及降雨预报初探[J]. 北京地质,1995(1):12—16.
- [5] 崔鹏,杨坤. 前期降雨对泥石流形成的贡献[J]. 中国水土保持科学,2003,3(1):12—14.
- [6] 吴正华. 北京泥石流灾害及其降水触发条件[J]. 水土保持研究,2001,3(1):68—72.
- [7] 程尊兰,朱平一,刘雷激. 泥石流活动与雨强的关系[J]. 自然灾害学报,1998,2(1):118—120.

(上接第 50 页)

对根系直径的模型校准表明,假定参数 k 和 q 的优化在一棵油松根系上进行,能得到较好的根系干重,根系全长和根系直径预测,但连结长度的预测满意度不高,因此连结直径对干重的预测比连结长度重要。连结长度的观测值和预测值之间联系的可靠度没有连结直径高。根系的平均连结长度能被较好地预测。作为植物分析的结果,假定这一模型能得到改进,它可以作为预测根系的连结长度,连结直径和根系干重的工具。分形模型与现代高科技技术结合将便利参数 k 和 q 的非破坏校准。对根系的预测将有利于农林调查。

[参 考 文 献]

- [1] Box J E Jr. Modern methods for root investigations[M]. in: Plant Roots. The Hidden Half. Eds. Y Waisel, A Eshel and U Kafkafi, 2nd ed., rev., and expanded. MDI Dekker, New York. 1996. 193—237.
- [2] Van Noordwijk M, Van de Geijn S C. Root, shoot and soil parameters required for process-oriented models of crop growth limited by water or nutrients[J]. Plant Soil, 1996 (183):1—25.

- [3] Diggle A J. ROOTMAP—a model in three-dimensional coordinates of the growth and structure of fibrous root systems[J]. Plant Soil, 1988(105):169—178.
- [4] Pagès L, Jordan M O, Picard D. A Simulation model of the three-dimensional architecture of the maize root system[J]. Plant Soil, 1989(119):147—154.
- [5] Nielsen K L, Lynch J P, Jablonsky A G, et al. Carbon cost of root systems: an architectural approach[J]. Plant Soil, 1994(165):161—169.
- [6] Clausnitzer V, Hopmans J W. Simultaneous modeling of transient three-dimensional root growth and soil water flow[J]. Plant Soil, 1994(164):299—314.
- [7] Mandelbrot B. The fractal geometry of nature[M]. New York. W. H Freeman and company, Freeman, 1982.
- [8] Berntson G M. Fractal geometry, scaling, and the description of plant root architecture[M]. in: Waisel. Y. Eshel A, Kafkafi u (eds), plant Roots the hidden half, 2d. ed., chapt. 13 marcel dekker, New York, 1996:259—272.
- [9] Fitter A H, Stickland T R. Fractal characterization of root architecture[J]. Funct Ecol, 1992(6):632—635.

(部分参考文献略)