

泥石流与降雨历时关系研究

唐小明¹⁾, 冯杭建^{1,2)}, 游省易¹⁾

1) 浙江省地质矿产研究所, 浙江杭州, 310007; 2) 中国地质大学(武汉), 湖北武汉, 430074

1 研究现状与地质灾害背景

国外对泥石流灾害的预报以基于降雨的预报较为成熟且应用最多, 其技术方法一般都是根据监测降雨量和土体含水量进行危险性预测。国内泥石流的预警预报研究方法主要有统计预报, 即通过对大量泥石流样本事件进行统计分析, 建立起在一定程度上可行的泥石流预报模型, 预报以基于降雨的临界雨量预报为主。最近 20 年来, 基于传统的斜坡稳定性模型和水文学模型, 通过拟合的降雨强度-累积降雨(有效降雨)曲线确定滑坡泥石流发生的临界降雨量作为实时降雨参照值, 一直是传统方法中建立滑坡时间预报系统的基础。无论是采取何种方式进行地质灾害的预警预报, 灾害与降雨关系的研究都是其中的核心内容, 如与降雨强度、过程降雨量、累计降雨量、前期累计降雨量等关系的研究, 但是, 对于前期有效降雨历时(时段)的确定上, 有分别取 3d、14d、15d、20d、30d 等降雨时段进行计算, 存在较大的随意性和主观性, 计算结果未能反映引发灾害的前期降雨量的实际情况。鉴于此, 本研究将重点开展泥石流发生与引发灾害的降雨历时关系的研究, 为计算前期有效降雨量等参数提供降雨时段值, 使计算结果科学合理。

浙江省泥石流多发的省份, 2004 年 8 月 13 日“云娜”致使使乐清市北部山区群发泥石流灾害, 泥石流直接造成 37 人死亡, 据不完全统计, 至 2007 年底, 浙江省由于泥石流灾害所造成的人员死亡达 350 多人, 直接经济损失近 2 个亿。由泥石流灾害导致死亡的人数约占浙江省地质灾害总死亡人数的 30%, 已成为浙江省引发群死群伤的主要地质灾害。2005 年~2008 年, 浙江省完成了全省 48 个山区县市区小流域泥石流调查与评价工作, 本研究选

择其中的 193 条泥石流进行泥石流发生与降雨之间关系的研究。本研究应用的雨量监测数据来自浙江省水文局 1257 个雨量站组成的监测网, 采用距离泥石流沟位置最近的雨量观测站的雨量数据作为引发该泥石流的相关降雨数据。

2 基本定义

本研究降雨历时开始计算时间的有以下三种定义: (1) 定义 1: 泥石流发生前日降雨量不大于 4mm 后出现日降雨量大于 4mm 的时间, 中间不允许有无雨日; (2) 定义 2: 泥石流发生前日降雨量不大于 1mm 后出现日降雨量大于 1mm 的时间, 中间不允许有无雨日; (3) 定义 3: 泥石流发生前连续 2 日降雨量不大于 4mm 后出现日降雨量大于 4mm 的时间。降雨历时结束时间: 为泥石流灾害发生时间。举例来说, 如果开始时间确定为泥石流发生前 nd , 加上泥石流发生当日, 则引发泥石流的降雨事件的降雨历时为 $nd+1$ 。

3 泥石流与降雨历时关系

从 1990 年至 2007 年间已发的 193 处沟谷型泥石流的降雨历时, 统计时间范围为 15d, 即泥石流发生当天至发生前 14 日。按照 3 个降雨历时始算时间的 3 个不同定义进行统计分析, 可以得出以下基本结论: (1) 三种降雨历时的统计结果中, 分别有 58.8%、51.3%和 45.5%的泥石流由 2d 降雨所引发, 因此, 无论基于何种降雨历时始算时间的定义, 泥石流的发生主要由 2d 降雨所引发; (2) 泥石流与当天降雨即 1d 相关性较低, 即直接由当天降雨引发的泥石流较少, 分别仅占 10.7%、8.6%和 8.6%; (3) 由 1d、2d、3d 降雨所引发的泥石流分别为 85.6%、77.5%和 67.9%, 占有绝对优势; (4) 与超

过 10d 降雨有关的泥石流很少, 分别只有 0.5%、2.1%和 15.5%的泥石流与 10d 降雨有关, 虽然按照定义 3 统计的超过 10d 降雨相关的泥石流较多, 主要集中在 15d, 但此次泥石流时间全部为 1999 年 9 月 4 日持续强降雨所引发, 属于特例。由此可见, 无论基于何种降雨历时的定义, 浙江省发生的泥石流主要由 2d 即当天与前 1d 的短历时强降雨引发, 由 1d、2d 和 3d 降雨所引发的泥石流数量占绝大多数。

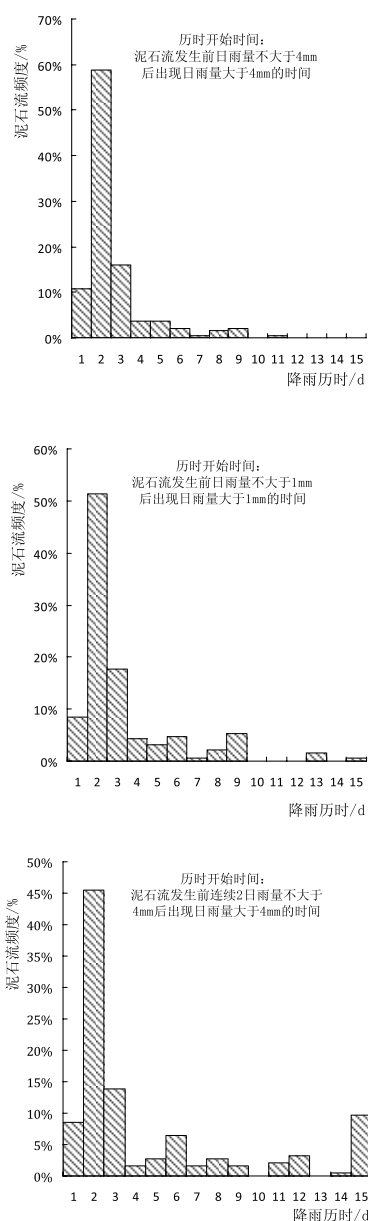


图 1 泥石流与降雨历时历时关系图

(自左至右分别为定义 1、2、3)

4 临界降雨量

前期有效降雨量概念, 即指泥石流灾害发生前的降雨过程中对斜坡岩土体稳定性产生作用的雨量。自 Crozier 和 Eyler 以来, 许多研究者主要采用公式 1 或者对其略作修改后作为计算前期有效降雨量的方法,

$$R_c = aR_1 + a^2R_2 + \dots + a^nR_n \quad (0 < a < 1.0)$$

R_c 为前期有效降雨量; R_n 为泥石流发生前第 n 天的降雨量; a 为衰减系数 ($0 < a < 1.0$)。

对于 a 的取值, 根据前人研究成果, 浙江省台风期 a 取 0.7, 而梅雨期 a 取 0.8。对于 n 的取值, 由于前期降雨量随着时间的推移, 其影响程度逐渐衰减, 研究可知, 台风期泥石流主要由 10d 以内降雨引发, 梅雨期泥石流由 15d 以内引发, 因此, 除去灾害发生当天外, 台风期取前 9d 即 n 取 9 计算前期有效降雨量, 梅雨期取前 14d 即 n 取 14 计算前期有效降雨量。

分析结果见图 2, 直线 F1 和 F2 为两条降雨阈值线。由图可见, 在台风期, 引发泥石流的最小日降雨阈值线为“ $R_{\text{当日}} = 100 - R_{\text{有效}}$ ”, 即图中的直线 F1, 日降雨低于该阈值时, 几乎不发生泥石流; 而当“ $R_{\text{当日}} > 100 - R_{\text{有效}}$ ”和“ $R_{\text{当日}} < 200 - R_{\text{有效}}$ ”, 即位于直线 F1 和 F2 之间时, 泥石流发生可能性逐渐增大; 而当日降雨量大于“ $R_{\text{当日}} > 200 - R_{\text{有效}}$ ”时, 则发生大量泥石流。上面是从前期有效降雨量和当日降雨量两个参数组合的方式来考虑降雨阈值, 如果考虑单个参数的临界雨量, 则认为, 在前期有效降雨量大于 100mm 或当日降雨量大于 100mm 的情况下, 泥石流发生的可能较大; 而在前期有效降雨量大于 200mm 或当日降雨量大于 200mm 的情况下, 泥石流发生的可能性很大。

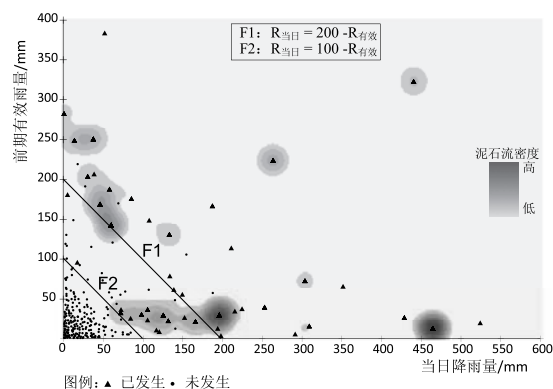


图 2 台风期泥石流前期有效降雨量和当日降雨量关系图

($n=9d$) (背景颜色深浅表示泥石流频度的高低, 颜色越深表示频度越高)

5 结果检验

选取在 2004 年“云娜”台风期间发生的 18 处沟谷泥石流作为检验样本, 预报对象为浙江省全部 1571 条泥石流沟。结合降雨综合指标和泥石流沟的易发程度, 确定泥石流灾害预报预警的等级, 得出预报结果如图 3 所示。从预报图可以看出, 预报等级在Ⅲ以上的泥石流沟, 集中分布在降雨强度较大的温州一带, 而在“云娜”台风期间实际发生的沟谷泥石流中, 也主要集中乐清、永嘉一带。

针对预测结果, 被预测为不稳定(Ⅲ级以上)的泥石流沟仅占总沟谷的 11%, 而在这一范围内实际发生的泥石流数量占总发生泥石流数量的 77.8%, 在较小范围内预测准确了较大数量的灾害。如按照可能性很大(V)→可能性大(Ⅳ)→可能性较大(Ⅲ)→可能性较小(Ⅱ)→可能性很小(I)的顺序, 泥石流强度(B/A)依次减小, 说明预测的效果是理想的, 实际预测情况为“ $23.86>15.86>2.23>0.65>0$ ”, 与这一规定相符。因此, 对“云娜”台风期间泥石流预测结果还是较为理想的。

6 结论

本文在降雨历时始算时间的三种定义下, 分析了泥石流发生与降雨历时的关系, 基于此进行了台风期泥石流临界雨量的计算, 并进行了有效性检验, 得出结论如下:

(1) 从总体上看, 无论基于何种降雨历时的定义, 浙江省发生的泥石流主要与 2d 即当天与前 1d 的短历时强降雨关系密切。三种降雨历时的统计结果中, 分别有 58.8%、51.3%和 45.5%的泥石流由 2d 降雨所引发, 由 1d、2d、3d 降雨所引发的泥石

流分别为 85.6%、77.5%和 67.9%, 而与超过 10d 降雨有关的泥石流很少, 分别只有 0.5%、2.1%和 15.5%。

(2) 按照降雨类型的不同分类统计, 台风期台风降雨泥石流与 2d 降雨关系最密切, 达到 78.6%, 与 4 天之内降雨有关的泥石流达到 100%; 台风期局地暴雨泥石流也是与 2d 降雨最相关, 占 48.2%, 但与其与 3d-9d 降雨有关的泥石流占到 48.2%, 说明与台风降雨泥石流相比, 台风期局地暴雨泥石流有更长的前期降雨。梅雨期泥石流主要与 10d 之内降雨有关, 占 94.1%, 有与 14d 和 15d 降雨相关的泥石流。

(3) 基于泥石流与降雨历时关系的分析结论, 确定台风期和梅雨期的前期有效降雨统计时段分别为 9d 和 14d, 其中, 台风期临界降雨量计算结果为: 在前期有效降雨量大于 100mm 或当日降雨量大于 100mm 的情况下, 泥石流发生的可能较大; 而在前期有效降雨量大于 200mm 或当日降雨量大于 200mm 的情况下, 泥石流发生的可能性很大。

(4) 选择 2004 年“云娜”台风期间发生的 18 处沟谷泥石流作为检验样本, 对计算的临界雨量进行有效性检验, 被预测为泥石流危险性较大的泥石流沟仅占总泥石流沟的 11%, 而在这一范围内实际发生的泥石流数量占总发生泥石流数量的 77.8%, 在较小的范围预测准确了较多数量的泥石流灾害, 证明计算的临界雨量应用效果较为理想。

(5) 本研究采用日雨量研究泥石流发生与降雨的关系, 其时间尺度较大, 可能影响预测准确性。因此, 在今后的泥石流防治管理工作中, 应加强收集具有小时雨量和具体发生时间记录的泥石流样本, 以进一步提高预测的准确性。

参考文献 / References

略