

马边彝族自治县地质灾害降雨阈值研究

娜子布林¹ 李波²

1 乐山市地质环境监测站, 四川乐山, 614000;

2 四川省第七地质大队, 四川乐山, 614000;

摘要: 通过对研究区内地质灾害发生时的降雨特征值分析, 通过拟合这些数据获得阈值拟合曲线及阈值拟合方程。将 1h、3h、6h 和 24h 降雨历时值代入方程, 即可计算获得相应降雨历时条件下引发地质灾害的降雨量阈值。依据地质环境条件将研究区分为东区、西区, 并提出地质灾害降雨预警等级分区建议值。

关键词: 地质灾害; 预警; 阈值

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 05. 054

1 分析方法

降雨是地质灾害的主要诱发因素之一, 它在一定程度上决定和影响地质灾害发生的时间, 是地质灾害监测预警的重要影响因子。国内外学者根据历史上观测直接得到的降雨所诱发的滑坡、崩塌灾害, 使用统计的方法建立降雨与滑坡、崩塌灾害之间的经验性降雨阈值或建立概率预报模型来反映降雨强度和持续时间对滑坡、崩塌灾害发生的影响。本次气象风险预警降雨阈值研究采用基于过程降雨的统计学方法。

根据已收集的县内详细地质灾害发生记录以来的逐时过程降雨量资料和地质灾害编录信息, 分析提取引发地质灾害的一个降雨事件的特征, 降雨特征包含但不限于降雨强度(I)、降雨历时(D)、过程累积雨量(E)等。选取两类降雨特征值, 通过 IBM SPSS、Minitab 或 excel 等软件拟合这些数据获得阈值拟合曲线及阈值拟合方程, 如降雨强度(I)一历时(D)阈值, 过程累积雨量(E)一降雨历时(D)阈值, 过程累积雨量(E)一降雨强度(I)等, 以预测在不同时段累计雨量下发生灾害的可能性, 检查并评价拟合精度。将引发地质灾害的降雨事件历时(单位: h)和降雨强度(单位: mm/h)分别展布至双对数坐标纸上。其中历时为横坐标, 降雨强度为纵坐标, 坐标区域内的点表示发生一次地质灾害的样本。对坐标区域内的样本点进行拟合, 拟合方程为: $I=CD-a$ 。公式中: I 为平均降雨强度(mm/h); D 是降雨历时(h); C 是比例常数, 其物理意义是降雨历时 D=1 时引发地质灾害的降雨量; a 是双对数坐标图上对降雨强度(I)一历时(D)进行拟合得到的直线的斜率, 也称标度指数。

拟合方程即为地质灾害降雨强度(I)一历时(D)阈值曲线方程, 表示一个降雨事件在某降雨历时条件下可能引发地质灾害的平均降雨强度。将 1h、3h、6h 和 24h 降雨历时值代入方程, 即可计算获得相应降雨历时条

件下引发地质灾害的降雨量阈值。

2 样本数据分析

2.1 雨量站基本信息

马边彝族自治县的气象台站雨量监测站布设于 2013~2023 年, 共布设 35 处雨量站。因此, 自 2013 年 1 月 1 日起开始对马边彝族自治县境内的降雨情况进行监测, 具有近 10 年来比较详细的降雨量监测数据。

2.2 前期小时降雨量

四川省地质环境管理系统中马边彝族自治县地质灾害的记录显示, 1972 年 8 月 8 日以来, 马边彝族自治县境内有时间记录的灾害隐患点共计 333 个, 纯降雨诱发因素灾害隐患点共计 118 个, 其中含 95 个滑坡、18 个崩塌、5 个泥石流。根据收集到的气象记录数据显示, 仅 29 个灾害隐患点(23 个滑坡、6 个崩塌)的发生时间在气象记录中有体现。本次阈值研究以纯降雨诱发因素的滑坡和崩塌为主。

首先根据省库所记录的滑坡和崩塌灾害发生的空间位置确定雨量站, 再根据灾害发生的时间确定降雨量数据。由于记录数据的精度有限, 隐患点确认时间只精确到日, 且可能存在记录不准确的情况。因此, 以地质灾害发生当天的 12 点为起点, 向前推移 72 小时, 获得 1~72h 历时内的降雨量定。经排查, 在降雨诱发因素的 118 个隐患点中, 有 93 个无对应的降雨记录数据, 所以最终只列出了有降雨记录的 23 个滑坡和 2 个崩塌降雨样本数据。滑坡和崩塌前 72 小时内的降雨量样本数据。

2.3 前期日降雨量

统计了马边彝族自治县 23 处滑坡和 6 处崩塌灾害发生当天及前 12 天的日降雨量, 如表 7.2-4 所示。整理分析数据发现, 个别地灾点对应的前期降雨量数据非常小, 分析其原因, 可能因为灾害点不是由降雨诱发,

或者灾害点发生时间记录不准确等,这类数据在气象风险预警中没有研究意义。因此,对样本进行筛选,结合降雨量等级划分标准,剔除前期日降雨量为0的样本数据,剩余163组样本进行马边彝族自治县前期降雨量和气象风险预警的研究。

将地灾点发生的前期日降雨量与对应的时间天数做散点图,图7.2-2显示,灾害发生的当天或前12天内出现了降雨或强降雨,雨水对坡体的冲刷、渗透等作用可能诱发/引发了灾害的发生。

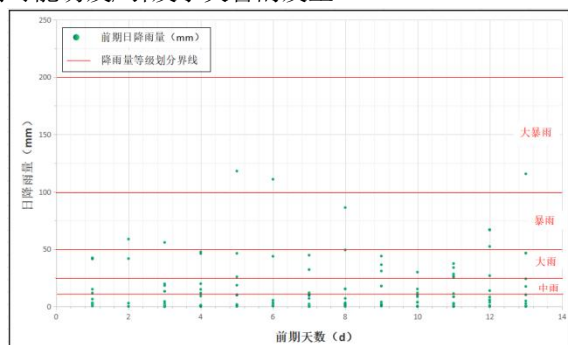


图 7.2-2 前期日降雨量-时间散点图

对于降雨诱发的地质灾害,在发生前一般经历了中雨及以上等级的降雨。进一步对样本数据进行研究分析可知,大多数的地质灾害发生在连续降雨之后,由于前期降雨对岩土体的持续作用,岩土体内的含水量逐渐达到饱和状态,此时少量的降雨就能使岩土体失稳破坏。但是在日降雨量大于50mm时,地质灾害在当天或第二天就可能发生。降雨型滑坡和崩塌灾害的发生取决于前期有效降雨量,即前期累积降雨量与一个有效降雨系数的乘积,有效降雨系数与前期降雨过程、岩土体类型、地形地貌、植被条件等外界因素有密切关系,不同地区之间的有效降雨系数具有一定差异。

3 降雨阈值确定

本次降雨阈值研究采用基于过程降雨的统计学方法,根据收集到的地质灾害编录信息和逐时过程降雨量资料,分析提取引发地质灾害的一个降雨事件的特征,主要提取降雨强度(I)、降雨历时(D)和过程累计雨量(E)等,选取降雨强度/历时进行拟合,获得阈值拟合曲线及阈值拟合方程,从而确定降雨阈值。

3.1 滑坡降雨阈值确定

在西区内收集2处滑坡样本前3天内的小时降雨量,统计计算72小时内降雨历时与平均雨强的关系,共得到144组数据,剔除平均雨强为0的样本,最终获得130组降雨强度(I)/降雨历时(D)样本。将其分别展布至双对数坐标纸上,横坐标为降雨历时(单位:h),纵坐标为降雨强度(单位:mm/h),坐标区域内的点表

示发生一次滑坡灾害的样本,如图1(西区)。

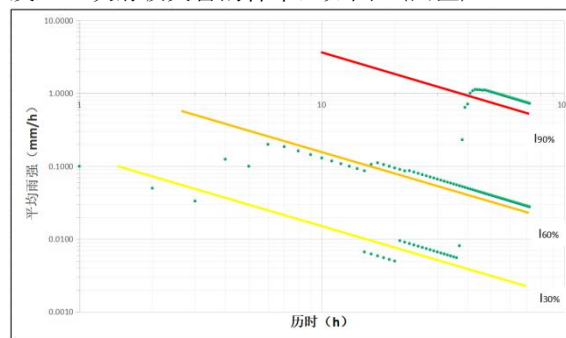


图 1 滑坡灾害事件降雨强度(I)与降雨历时(D)散点图(西区)

在东区收集14组滑坡样本前3天内的小时降雨量,统计计算72小时内降雨历时与平均雨强的关系,共得到1008组数据,剔除平均雨强为0的样本,最终获得726组降雨强度(I)/降雨历时(D)样本。将其分别展布至双对数坐标纸上,横坐标为降雨历时(单位:h),纵坐标为降雨强度(单位:mm/h),坐标区域内的点表示发生一次滑坡灾害的样本,如图2(东区)。

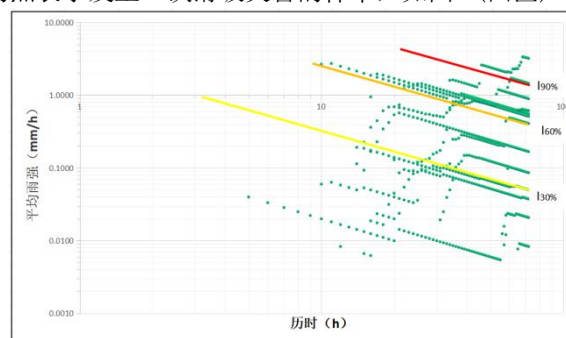


图 2 滑坡灾害事件降雨强度(I)与降雨历时(D)散点图(东区)

由上图(东区、西区)可知,不同概率所对应的隐患点阈值曲线是不同的,小概率、大概率 and 极大概率的隐患点阈值曲线,东区分别为 $I_{30\%} = 12.68 * D^{-0.36}$ 、 $I_{60\%} = 20.73 * D^{-0.36}$ 、 $I_{90\%} = 29.45 * D^{-0.36}$;西区分别为 $I_{30\%} = 12.52 * D^{-0.40}$ 、 $I_{60\%} = 20.43 * D^{-0.40}$ 、 $I_{90\%} = 28.62 * D^{-0.40}$,表示一个降雨事件在某降雨历时条件下可能引发灾害的平均降雨强度。公式中:I为平均降雨强度(单位:mm/h);D是降雨历时(单位:h);C是比例常数,其物理意义是降雨历时D=1引发地质灾害的降雨量;a是双对数坐标图上对降雨强度(I)/历时(D)进行拟合得到的直线的斜率,也称标度指数。

采用极大概率作为红色预警阈值,大概率作为橙色预警阈值,小概率作为黄色预警阈值。将1h、3h、6h和24h降雨历时值代入阈值拟合方程,计算相应降雨历时条件下引发滑坡灾害的降雨量阈值,如表1、2

表 1 不同降雨历时条件下灾害降雨量阈值（P=90%）（东区）

阈值模型	$I=29.45 \cdot D^{(-0.36)} \quad (1 \leq D \leq 24, h)$			
降雨历时（h）	1	3	6	24
平均降雨强度（mm/h）	29.45	19.83	15.45	9.38
降雨阈值（mm）	29.45	59.49	92.70	225.12

表 2 不同降雨历时条件下灾害降雨量阈值（P=90%）（西区）

阈值模型	$I=28.62 \cdot D^{(-0.40)} \quad (1 \leq D \leq 24, h)$			
降雨历时（h）	1	3	6	24
平均降雨强度（mm/h）	28.62	18.44	13.98	8.08
降雨阈值（mm）	28.62	55.33	83.86	193.66

3.2 崩塌降雨阈值确定

由于此次收集的灾害隐患点中与降雨有关的样本数据仅为 2 个，无法进行有效果分析。

3.3 地灾点阈值确定

将灾害点在各种预警等级下的阈值模型进行汇总，分别计算各模型在 1h、3h、6h 和 24h 的降雨阈值，计算结果如表 3、4。

表 3 滑坡、崩塌地质灾害降雨阈值模型及计算值统计表（东区）

预警等级	阈值模型（ $1 \leq D \leq 24, h$ ）		1h	3h	6h	24h
红	滑坡	$I_{90\%}=29.45D-0.36$	29.45	59.49	92.70	225.12
	崩塌	0	0	0	0	0
橙	滑坡	$I_{60\%}=20.73D-0.36$	20.73	41.88	65.26	158.47
	崩塌	0	0	0	0	0
黄	滑坡	$I_{30\%}=12.68D-0.36$	12.68	25.61	39.91	96.93
	崩塌	0	0	0	0	0

表 4 滑坡、崩塌地质灾害降雨阈值模型及计算值统计表（西区）

预警等级	阈值模型（ $1 \leq D \leq 24, h$ ）		1h	3h	6h	24h
红	滑坡	$I_{90\%}=28.62D-0.40$	28.62	55.33	83.86	193.66
	崩塌	0	0	0	0	0
橙	滑坡	$I_{60\%}=20.43D-0.40$	20.43	39.49	59.86	137.53
	崩塌	0	0	0	0	0
黄	滑坡	$I_{30\%}=12.52D-0.40$	12.52	24.20	36.69	84.28
	崩塌	0	0	0	0	0

3.4 马边彝族自治县阈值分区

马边彝族自治县整个县域内的降雨阈值是基于 201

3 年以来的所有地灾点数据统计分析得到，但是相同的降雨条件下，不同的孕灾地质条件使得边坡对降雨的响应情况不同，分区的阈值如下表所示。

表 5 马边彝族自治县地质灾害降雨预警等级分区建议值

分区 \ 预警等级	1h 降雨量（mm）			3h 降雨量（mm）			24h 降雨量（mm）		
	红色	橙色	黄色	红色	橙色	黄色	红色	橙色	黄色
西部中山峡谷区	29.45	20.73	12.68	59.49	41.88	25.61	225.12	158.47	96.93
东部低中山红层区	28.62	20.43	12.52	55.33	39.49	24.20	193.66	137.53	84.28

参考文献

[1] 田述军, 孔纪名. 基于区域降雨分布的震后地质灾害降雨阈值研究——以绵竹市清平乡为例[J]. 水土保持研究, 代建企业 2013, 代建企业 20(5): 4.

[2] 马煜, 余斌, 何元勋, 等. 降雨激发滑坡型泥石流转

化特征和阈值研究——以江西大吉山 2019. 6. 10 灾害为例[J]. 新疆地质, 代建企业 2023, 代建企业 41(3): 39 6-402.

[3] 范远芳, 黄俊宝, 王国民, 等. 降雨型地质灾害风险动态评价方法探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 代建企业 2015, 代建企业 26(3): 7.