

曾欣,黄梦妮,胡毓灵,等.株洲市地质灾害特征与降雨量的关系[J].气象研究与应用,2024,45(1):83–89.  
ZENG Xin, HUANG Mengni, HU Yuling, et al. The relationship between geological hazard characteristics and rainfall in Zhuzhou [J].  
Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(1): 83–89.

## 株洲市地质灾害特征与降雨量的关系

曾欣, 黄梦妮, 胡毓灵, 邓新林, 谢倩雯

(株洲市气象局, 湖南 株洲 412000)

**摘要:** 利用2011—2021年株洲市地质灾害灾情调查资料,统计分析株洲市地质灾害特征,以2019年7月6—14日发生在湖南省株洲市的一次极端强降雨过程为例,分析株洲市地质灾害特征与降雨量的关系。结果表明:(1)株洲市地质灾害具有点多面广,规模小,突发性强等特征,地质灾害类型以滑坡为主,其次为崩塌。(2)日降雨量在[50,150) mm,最大小时雨强在[20,30) mm·h<sup>-1</sup>,72 h降雨量在[200,300) mm,有效降雨量在400 mm以上时,对地质灾害数量贡献率最大。(3)有效雨量作为地质灾害预警主要因子确定的地质灾害分级预警雨量阈值,经检验科学合理,可在应用中推广。

**关键词:** 极端强降雨;地质灾害;有效雨量;预警阈值

**中图分类号:** P426.616

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.1.14

地质灾害的形成受地质条件、气象条件、人类活动等因素的影响。许多研究表明,降雨是诱发地质灾害的主要激发因素,滑坡、泥石流的发生与降雨量及降雨强度密切相关,基于不同区域、不同地形地貌条件,地质灾害致灾的降水等级和参数阈值并不相同<sup>[1-2]</sup>。用于预警地质灾害的降水参数包括前期累计降水量、触发日降雨量、暴雨日的最大小时雨强等。刘海知等<sup>[3]</sup>考虑前期降雨对滑坡发生的重要影响,将前期有效雨量作为阈值模型的前端输入标准,建立动态降雨致灾临界阈值模型;沈玲玲等<sup>[4]</sup>应用主成分分析法,得出前期降水量对滑坡、泥石流的影响作用相当大;马秀梅等<sup>[5]</sup>根据降雨强度、灾害持续时间和平均降雨量等指标设立临界组合判别运算雨量阈值,得出强降雨诱发的地质灾害具有滞后性、群发性与同时性特征。谢敏等<sup>[6]</sup>采用统计方法,确定广西泥石流和滑坡地质灾害临界雨量阈值,得出前期降雨对广西泥石流和滑坡起主导作用。

地质灾害是湖南暴雨诱发的主要灾害之一,湖南省株洲市地处罗霄山脉与南山岭山脉交界的倾

斜地带,地形地貌复杂,地质条件脆弱,连续性降雨与暴雨天气常常诱发山洪地质灾害发生。据株洲市地质环境监测站灾情调查,2011—2021年株洲市因强降水诱发的地质灾害占92%。强降水诱发地质灾害致灾性强,往往造成巨大财产损失,对人民生命造成重大威胁。2019年7月6—14日株洲市出现极端强降雨过程(简称“2019·7”极端强降雨过程),此过程诱发295起不同规模的山洪地质灾害。本文以此次极端强降雨过程为例,分析研究株洲市地质灾害特征及成因,以及不同时段降雨量与地质灾害的关系,并对地质灾害预警雨量阈值进行检验分析,其结果对提高地质灾害气象风险预警技术水平及防灾减灾能力提供参考。

### 1 资料与方法

#### 1.1 资料来源

降雨资料来源于“天擎·湖南”;地质灾害灾情调查资料来源于株洲市地质环境监测站,地质灾害记录中包含地质灾害发生日期、发生时间、发生地

收稿日期: 2024-01-28

基金项目: 湖南省气象局研究型业务项目(20213)

第一作者简介: 曾欣(1968-),女,高级工程师,从事应用气象与气象服务研究工作。E-mail: zengxin68@163.com

点及经纬度坐标、引发因素、灾害类型、灾害规模等信息。

## 1.2 数据处理方法

### 1.2.1 有效雨量计算方法

用有效降雨量综合表示地质灾害前期降雨特征<sup>[7]</sup>。有效降雨量计算式为:

$$R_z = R_0 + \sum_{i=1}^{10} K_i R_i \quad (1)$$

式(1)中, $R_z$ —某日有效降雨量; $R_0$ —当日雨量; $R_i$ —前*i*日雨量; $K_i$ —前*i*日的影响系数,*i*取1~10。通过优化方法求得*K*值为0.8。

采用相邻最小间距自动站雨量数据作为历史地质灾害发生点的雨量数据,利用自动站雨量监测数据计算历史地质灾害发生时的有效雨量。

### 1.2.2 贡献率分析方法

贡献率分析法其原理是通过统计方法分析各影响因子对因变量结果的贡献程度。贡献率分析法可定量评价不同时间尺度的降雨量区间因子对地质灾害发生次数的贡献程度,且一定程度上反映不同时间尺度的降雨量与地质灾害数量之间的内在联系<sup>[8-9]</sup>。

2019年7月6—14日株洲市共发生295起地质灾害,我们假定所有地质灾害均是由强降雨诱发产生的。选取地灾发生时不同时间尺度的降雨量(日降雨量、日最大小时雨强、72 h累计降雨量、有效雨量)作为强降雨特征因子。每个因子不同区间对地质灾害发生数量贡献率的计算公式为:

$$P_i(m) = Q_i(m) / N_k \quad (2)$$

式(2)中, $m$ 为诱发地质灾害数量不同时间尺度强降雨因子集, $m \in (a, b, c, d)$ , $a$ 为不同日降雨量区

间, $b$ 为不同最大小时雨强区间, $c$ 为不同累计降雨量区间, $d$ 为不同有效降雨量区间; $Q_i(m)$ 为各影响因子分区间的地质灾害数量, $P_i(m)$ 为各影响因子区间(类)的地质灾害数量贡献率; $N_k$ 为地质灾害总数。

## 2 结果与分析

### 2.1 株洲市地质灾害特征

根据地质灾害易发区划评价成果<sup>[10]</sup>,受地形地貌、地质环境、降水分布、人类活动等因素影响,株洲市各县(市、区)均存在地质灾害高、中易发区。根据地形划分标准,株洲市境内山地多为中低山区,中低山区是突发地质灾害高易发区,岗地、丘陵为突发性地质灾害中易发区,山间盆地和平原是突发性地质灾害的不易发区<sup>[11-12]</sup>。株洲市地质勘探设计院在大量的地质灾害调研的基础上,对株洲市地质灾害进行科学区划,较好揭示株洲市地质灾害发生的地质环境条件特征。

统计分析株洲市地质灾害灾情调查结果,2011—2021年,株洲市共发生地质灾害620起,滑坡占总次数的77.8%,崩塌占总次数的16.9%,泥石流与塌陷及不稳定斜坡等占总次数的5.3%,小型规模地质灾害占总数的98%,另外有10起中型滑坡、2起中型泥石流、1起大型滑坡地质灾害。

#### 2.1.1 时间分布特征

株洲市地质灾害发生时段与雨季比较吻合,与强降雨过程密切相关,高发期主要集中在3—7月,7月尤其突出,占总次数的52.7%,其次是6月发生地质灾害次数较多,占总次数24.4%,每年10月至次年2月为地质灾害少发时段(表1)。

表1 株洲市2011—2021年各月地质灾害次数统计

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
地质灾害次数/次	1	2	17	19	95	151	327	2	4	0	1	1

#### 2.1.2 空间分布特征

2011—2021年期间,株洲市地质灾害主要分布在罗霄山脉西侧的攸县与茶陵县,分别有189起、158起,其次渌口区与芦淞区分别有73起、72起,炎陵县41起,醴陵市及荷塘区、天元区、石峰区地质灾害次数较少。滑坡灾害主要分布在攸县与茶陵县,崩塌灾害主要分布在芦淞区、荷塘区,泥石流与其他类型的地质灾害总次数较少,各县市(区)泥石流

次数均不超过2次,其中荷塘区、天元区无泥石流灾害记录(图1)。

### 2.2 株洲市“2019·7”极端强降雨过程致灾特征

#### 2.2.1 极端强降雨特征

2019年7月6—14日,湖南省株洲市出现一次极端强降水过程,降雨持续时间长,强度大,影响范围广,致灾严重。从强降雨过程逐小时雨量分析,极端强降雨具有对流性降水与稳定性降水混合特

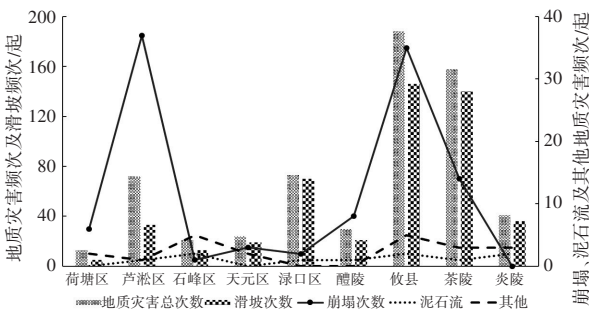


图1 株洲市2011—2021年地质灾害空间分布

征。强降雨过程分为两段(表2)。

第一阶段为7月6日20:00至9日20:00,全市出现连续暴雨和大暴雨,平均累计降雨量250 mm,茶陵县、攸县国家气象观测站累计降雨量分别为374.8 mm,362.7 mm,为建站以来任意三天累计降雨量历史极值,最大降雨量510.0 mm,出现在渌口区龙潭村。最大日降雨量258.6 mm,最大小时雨强

72.7 mm·h<sup>-1</sup>,均出现在茶陵县马江镇,大暴雨主要集中在茶陵县及攸县,渌口区和醴陵市南部。7日大暴雨主要集中在茶陵县,渌口区、醴陵市、攸县局地出现大暴雨,8日大暴雨主要集中在茶陵县及攸县,渌口区、醴陵市局地出现大暴雨,9日大暴雨区较前两日分散,攸县境内,渌口区、醴陵市、炎陵县局地均出现大暴雨。此阶段大暴雨在攸县与茶陵县境内高度重叠。

第二阶段为7月12日20:00至14日20:00,强降雨减弱南压,攸县、茶陵县出现暴雨和大暴雨,炎陵县普降大到暴雨,此阶段最大累计降雨量208.8 mm(醴陵市,东富),最大日降雨量129.8 mm(茶陵县,洮水水库),最大小时雨强50 mm·h<sup>-1</sup>(茶陵县,东坑水库),强降雨落区与第一阶段重叠范围大。13日,暴雨及大暴雨主要出现在茶陵县与攸县,14日最大降雨量仅40.6 mm,除炎陵出现大雨外,其余为中雨以下降雨。

表2 株洲市2019年7月6—14日极端强降雨过程雨量特征统计(注:统计时段以20:00为界)

时间		统计时段	最大累计降雨量 (mm)	出现 乡镇	最大小时雨强 (mm·h <sup>-1</sup> )	出现 站点	50 ~ 100 mm (站)	100 ~ 250 mm (站)	≥250 mm (站)
第一阶段	7 日	24h	258.6	茶陵县马江镇	72.7	茶陵县马江镇	38	32	1
	8 日	24h	177.5	茶陵县腰潞镇	38.6	茶陵县枣市镇	33	46	0
	9 日	24h	193.6	渌口区龙潭镇	37.1	渌口区龙潭镇	62	22	0
	7—9 日	72h	510.0	渌口区龙潭村	72.7	茶陵县马江镇	16	47	51
第二阶段	13 日	24h	129.8	茶陵洮水水库	50.0	茶陵东坑水库	54	8	0
	14 日	24h	40.6	醴陵市东富镇	22.6	炎陵县桃源洞	0	0	0
	13—14 日	48h	208.8	醴陵市东富镇	50.0	茶陵东坑水库	74	15	0

2.2.2 地质灾害特征

“2019·7”极端强降雨过程致灾性明显,株洲市中小河流全线超警戒水位,出现大范围城乡积涝,特别是突发性地质灾害群发,隐患点迅速增加。7—14日,共发生地质灾害295起,占近10 a来全市地质灾害次数的一半以上,其中7日38起,8日91起,9日122起,分别占总数的14.7%、35.1%、47.1%;10—14日5 d内,共出现地质灾害44起,占总数的17%;根据文献[13]《地质灾害分类分级标准(T/CAGHP001-2018)》,292起为小型地质灾害,3起为中型灾害。259起地质灾害为滑坡类型,44起崩塌,2起泥石流。此次极端强降雨集中的攸县、茶陵县出现地质灾害次数分别为126起、116起,渌口区15起,炎陵县14起,醴陵市13起,芦淞区8起,天元区、石峰区分别为2起与1起(图2);据地质勘探部

门按照国家《地质灾害防治规划》标准认定,此次过程前,株洲市境内隐患点仅458处,此次强降雨后,全市地质灾害隐患点增加至1 372处,其中1 312处为小型隐患,占全部隐患的95.6%,中等规模56处,大型规模2处。由此可见“2019·7”极端强降雨过程诱发的地质灾害具有点多面广、规模小、突发性强、大多为首次发生等特点。

2.3 不同时间尺度的降雨量与地质灾害关系

2.3.1 日降雨量与地质灾害关系

依据2019年7月6—14日的日降雨量(20:00为日界)区间因子与地质灾害数量统计结果(表3),得到日降雨量区间因子与地质灾害数量贡献率关系曲线,如图3(a)所示。由此可见,日降雨量在50~100 mm(a<sub>2</sub>)及100~150 mm(a<sub>3</sub>)两个区间对地质灾害次数的贡献率较大,易发生地质灾害。

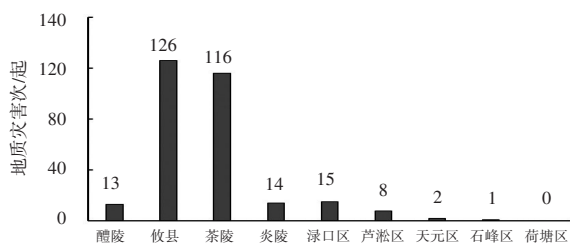


图2 株洲市2019年7月6—14日极端强降雨过程诱发地质灾害分布

表3 日降雨量区间对应地质灾害次数

日降雨量 区间因子	日降雨量 范围/mm	地质灾害 数量/起	不同规模地质灾害 数量/起
$a_1$	$[0,50)$	39	小型 39
$a_2$	$[50,100)$	109	小型 109
$a_3$	$[100,150)$	105	小型 102, 中型 3
$a_4$	$[150,200)$	32	小型 32
$a_5$	$[200,300)$	10	小型 10

### 2.3.2 最大小时雨强与地质灾害关系

依据2019年7月6—14日期间最大小时雨强区间因子与地质灾害数量统计结果(表4),得到最大小

时雨强区间因子与地质灾害数量贡献率关系曲线,见图3(b),由此可见,最大小时雨强在 $20\sim 30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ( $b_3$ )区间时对地质灾害数量贡献率最大。

表4 最大小时雨强区间对应地质灾害次数

最大小时雨强区间因子	最大小时雨强范围/ $(\text{mm}\cdot\text{h}^{-1})$	地质灾害数量/起	不同规模地质灾害数量/起
$b_1$	$[0,10)$	62	小型 62
$b_2$	$[10,20)$	64	小型 63, 中型 1
$b_3$	$[20,30)$	109	小型 107, 中型 2
$b_4$	$[30,40)$	51	小型 51
$b_5$	$(\geq 40)$	9	小型 9

### 2.3.3 72h 累计降雨量与地质灾害关系

依据2019年7月6—14日期间地质灾害发生前72 h 累计降雨量区间因子与地质灾害数量的统计结果(表5),得到72 h 累计降雨量区间因子与地质灾

害数量贡献率关系曲线,见图3(c),由此可得到:当72 h 累计降雨量在 $200\sim 300\text{mm}$ ( $c_3$ )区间时,对地质灾害数量的贡献率最大,其次是在 $100\sim 200\text{mm}$ ( $c_2$ )区间贡献率大。

表5 72 h 累计降雨量区间对应地质灾害次数

累计降雨量区间因子	累计降雨量范围/mm	地质灾害数量/起	不同规模地质灾害数量/起
$c_1$	$[0,100)$	22	小型 22
$c_2$	$[100,200)$	72	小型 72, 中型 3
$c_3$	$[200,300)$	151	小型 151
$c_4$	$[300,400)$	43	小型 43
$c_5$	$[400,500)$	7	小型 7

### 2.3.4 有效降雨量与地质灾害关系

计算所有地质灾害的有效雨量,统计有效雨量区间因子与地质灾害数量的统计结果(表6),得到有效雨

量区间因子与地质灾害数量贡献率关系曲线,见图3(d),由此可见:地质灾害数量随有效雨量递增趋势变化,有效降雨量越大,对地质灾害数量的贡献率越大。

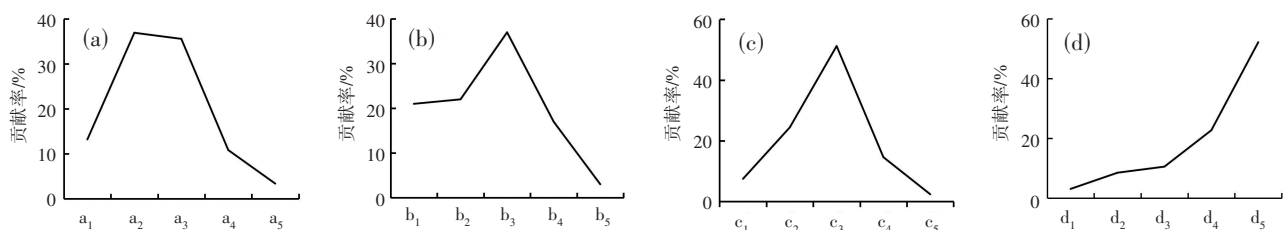


图3 强降雨特征影响因子对地质灾害数量贡献率曲线

(a) 日降雨量区间因子;(b) 最大小时雨强区间因子;(c) 累计降雨量区间因子;(d) 有效降雨量区间因子



表6 地质灾害有效降雨量与地质灾害次数

有效降雨量区间因子	有效降雨量范围/mm	地质灾害数量/起	不同规模地质灾害数量/起
d <sub>1</sub>	[0,100)	9	小型 9
d <sub>2</sub>	[100,200)	25	小型 24, 中型 1
d <sub>3</sub>	[200,300)	31	小型 31
d <sub>4</sub>	[300,400)	67	小型 66, 中型 1
d <sub>5</sub>	(≥400)	153	小型 152, 中型 1

根据地质灾害孕灾成灾机理,日降雨量及累计降雨量越大,小时雨强越大,越容易诱发突发地质灾害<sup>[14]</sup>。图3中却发现它们区间因子等级越高,触发地质灾害的次数反而减少。分析原因,除有效雨量影响因子外,其他影响因子与地质灾害数量的关系并非线性,每个影响因子触发地质灾害存在阈值或阈值区间<sup>[15]</sup>,当达到某一个阈值时,在特定的地质环境条件下,极易触发地质灾害发生,当影响因子区间等级越高时,此时该发生的地质灾害已经成灾,加上影响因子高等级区间本身出现的频率较少,因此这个区间出现的地质灾害数量反而较少;另外最大小时雨强 $b_1$ 区间等级低,出现的地质灾害次数比 $b_4$ 还多,究其原因这次强降雨过程前期有效降雨量渗透与积累更容易触发地质灾害的发生。

由此可见,本次极端强降雨过程中,不同时间尺度的强降雨特征参数对地质灾害的致灾性贡献率有所不同,每个强降雨特征参数均能找到相应地质灾害风险较大的阈值区间。当达到其中一个标准,发生地质灾害的风险较大或大;当其中两个或以上参数均达到上述标准,发生地质灾害的风险大或很大。降雨参数阈值区间贡献率大小可以定性分析得到地质灾害风险预警雨量阈值。

## 2.4 地质灾害风险预警雨量阈值及检验

#### 2.4.1 株洲市地质灾害预警雨量阈值

通过以上不同时间尺度的强降雨量特征参数对地质灾害致灾影响关系分析,从图3(d)可以看到地质灾害有效降雨量对地质灾害数量影响基本上呈线性关系。因此,此次强降雨过程中,可以拟合有效雨量与地质灾害的关系,来确定地质灾害预警雨量阈值。

根据株洲市地质灾害风险普查提取的482个滑坡型地质灾害案例及株洲市地质灾害易发区划评价成果,结合区域内降雨量分布特征,各乡镇地质灾害发生频次,地质灾害有效雨量致灾概率进行半定性半定量调整,确定株洲市地质灾害气象预警分区,选取有效降雨量作为致灾因子,根据箱形图统计分析方法,确定各乡镇预警单元的滑坡型地质灾害预警雨量阈值(表7—表9)。根据预警雨量阈值及智能网格24 h降雨量预报,可以开展乡镇精细化地质灾害气象风险预警。

### 2.4.2 地质灾害风险预警雨量阈值检验

选取株洲市“2019·7”极端强降雨过程中259起滑坡地质灾害实例,对监测到的地质灾害有效雨量与滑坡型地质灾害各级预警雨量阈值进行诊断分

表7 重点预警A区地质灾害(滑坡)预警雨量阈值(单位:mm)

雨量阈值	荷塘区	芦淞区	天元区	石峰区	渌口区	醴陵	攸县	茶陵县	炎陵县
蓝色预警	59	37	45	43	33	61	41	37	48
黄色预警	64	90	65	80	88	75	115	98	112
橙色预警	87	120	104	140	105	107	150	135	160
红色预警	170	176	150	209	207	180	214	218	216

表8 重点预警B区地质灾害(滑坡)预警雨量阈值(单位:mm)

雨量阈值	荷塘区	芦淞区	天元区	石峰区	渌口区	醴陵	攸县	茶陵县	炎陵县
蓝色预警	70	50	45	43	80	61	55	48	53
黄色预警	120	100	80	90	120	90	105	130	120
橙色预警	150	150	120	150	150	157	150	180	180
红色预警	200	200	200	200	200	200	250	250	250

表9 一般预警C区地质灾害(滑坡)预警雨量阈值(单位:mm)

雨量阈值	荷塘区	芦淞区	天元区	石峰区	渌口区	醴陵	攸县	茶陵县	炎陵县
蓝色预警	80	80	80	80	80	80	80	80	80
黄色预警	150	150	150	150	150	150	150	150	150
橙色预警	200	200	200	200	200	200	200	200	200
红色预警	300	300	300	300	300	300	300	300	300

析,计算偏差值

$$\Delta RZ = \text{实测有效雨量} - \text{预警雨量阈值} \quad (1)$$

分析计算结果,本次过程中所有地质灾害发生时有效雨量实测值均超过蓝色预警雨量阈值,其中超过黄色预警雨量阈值的有98%,超过橙色预警雨量阈值的有90%,超过红色预警雨量阈值的有81%,以有效雨量作为影响因子确定的地质灾害风险预警雨量阈值有着较好的预警效果。

### 3 结论与讨论

综合以上分析得出以下主要结论。

(1)株洲市地质灾害以小规模滑坡为主,其次是崩塌。滑坡中高易发区主要分布在攸县、茶陵与炎陵。株洲市地质灾害主要是由强降雨诱发产生的,时间分布上与雨季及强降雨过程具有较好一致性。

(2)株洲市“2019·7”极端强降雨致灾性强,诱发的地质灾害突发性、群发性特征显著,与强降雨有较好一致性。利用此次强降雨过程中不同时间尺度的降雨量作为致灾因子,采用贡献率分析法研究各个致灾因子不同区间与地质灾害数量的关系,得出日降雨量在[50, 150) mm,最大小时雨强在[20, 30) mm·h<sup>-1</sup>, 72 h降雨量在[200, 300) mm,有效降雨量在400mm以上时,对地质灾害数量贡献率最大。根据每个致灾因子不同区间对地质灾害数量贡献率大小,可以定性分析得到地质灾害风险预警阈值。

(3)地质灾害有效降雨量对地质灾害数量影响基本上呈线性关系。利用此次极端强降雨过程实测雨量数据,对预警雨量阈值进行检验。有效雨量作为致灾因子确定的气象灾害预警雨量阈值具有较好的预警效果,对地质灾害风险预警服务具有较好的应用价值与参考意义。

分析强降雨与地质灾害关系时,部分分析结果与地质灾害孕灾成灾规律不一致,说明仅用一次强降雨的特征因子进行分析有一定的局限性。但因为这次过程降雨极端,诱发接近300起的地质灾

害,且发生在不同时间不同地点,分析结果对揭示强降雨与地质灾害的关系仍具有较好的代表性。

### 参考文献

- [1] 戴丛蕊,黄玮,李蒙,等.云南降雨型滑坡县级预警雨量阈值分析[J].气象科技,2015,43(4): 675-680.
- [2] 刘云,康卉君.2002-2019年江西省省级地质灾害气象预警分析[J].华东地质,2020,41(4): 416-424.
- [3] 刘海知,徐辉,包红军,等.区域降雨诱发滑坡阈值特征分析[J].自然灾害学报,2021,30(4): 181-190.
- [4] 沈玲玲,刘连友,杨文涛,等.基于TRMM降雨数据的四川省地质灾害降雨阈值分析[J].灾害学,2015,30(2):220-227.
- [5] 马秀梅,刘晓燕,代青措,等.局部高强度降雨的地质灾害特征分析[J].灾害学,2019,34(1): 38-41.
- [6] 谢敏,陆甲,李艳兰,等.广西泥石流和滑坡地质灾害临界雨量界定方法[J].气象研究与应用,2018,39(1):15-17.
- [7] 陈春利,温铭生,李同录,等.适用于地质灾害气象预警的有效降雨系数计算方法:CN111553090B[P].2021-2-12.
- [8] 王章琼,晏鄂川,王鲁男,等.地形坡度对鄂渝地区水库型堆积层滑坡贡献率研究[J].工程地质学报,2014,22(6):1204-1210.
- [9] 张明,王章琼,范尧.地质背景对倾倒变形体发育的贡献率[J].武汉工程大学学报,2019,41(2): 155-161.
- [10] 张慧,黄栋良,彭钊,等.株洲市地质灾害危险性区域[J].低碳世界,2016(3):81-83.
- [11] 罗守敬,王珊珊,付德荃.北京山区突发性地质灾害易发性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(4):126-133.

- [12] 李学敏, 邓玲. 张家界武陵源区降雨诱发地质灾害风险区划[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(4): 68–71.
- [13] 中国地质灾害防治工业行业协会. 地质灾害分类分级标准(试行): T/ CAGHP001–2018 [S]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2018.
- [14] 邹浩, 何霏, 白俊龙. 黄冈地区降雨型滑坡影响因素及与雨量的关系研究[J]. 长江科学院院报, 2023, 40(2): 124–130.
- [15] 刘世业, 梁仁全, 李灿, 等. 强降雨诱发地质灾害气象预警指标及应用研究[J]. 气象研究与应用, 2015, 36(4): 28–33, 130.

## The relationship between geological hazard characteristics and rainfall in Zhuzhou

ZENG Xin, HUANG Mengni, HU Yuling, DENG Xinlin, XIE Qianwen  
(Zhuzhou Meteorological Bureau, Hunan Zhuzhou 412000, China)

**Abstract:** Based on the survey data of geological disasters in Zhuzhou City from 2011 to 2021, the characteristics of geological disasters in Zhuzhou City are analyzed statistically, and the relationship between the characteristics of geological disasters and rainfall in Zhuzhou City is analyzed by taking an example of an extreme rainfall process that occurred in Zhuzhou City, Hunan Province, from 6—14 July 2019 as an example. The results show that: (1) the geological disasters in Zhuzhou City are characterized by a wide range of points, small scale and strong sudden occurrence. The types of geological disasters are dominated by landslides, followed by collapses; (2) when the daily rainfall is [50, 150) mm, the maximum rainfall intensity is [20, 30)  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , the rainfall in 72 h is [200, 300) mm, and the effective rainfall is above 400 mm, the contribution rate to the number of geological disasters is the largest; (3) effective rainfall as the main factor of geological disaster warning is determined as the rainfall threshold for geological hazard classification and warning, which has been tested scientifically and reasonably. It is worth popularizing in practical application.

**Key word:** extreme rainfall; geological hazard; effective rainfall; warning threshold