

陈静静, 姚蓉, 文强, 等. 湖南省降雨型地质灾害致灾雨量阈值分析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 42–47. [Chen Jingjing, Yao Rong, Wen Qiang, et al. Hazard Rainfall Threshold Analysis of Rainfall-induced Geological Disasters in Hunan Province[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(2): 42–47.]

## 湖南省降雨型地质灾害致灾雨量阈值分析<sup>\*</sup>

陈静静<sup>1</sup>, 姚 蓉<sup>1</sup>, 文 强<sup>2</sup>, 唐 杰<sup>1</sup>, 何正阳<sup>1,3</sup>, 曹恒娅<sup>4</sup>

(1. 湖南省气象台, 湖南 长沙 410118; 2. 常德市气象局, 湖南 常德 415000;  
3. 道县气象局, 湖南 道县 425300; 4. 湖南省气象台, 湖南 长沙 410118)

**摘 要:** 湖南省是全国地质灾害最严重的省份之一。基于1980–2007年湖南97个常规观测站逐12 h、逐日降雨量资料和同期发生的地质灾害及湖南灾害大典记录的地质灾害信息, 在计算地质灾害发生前1~9 d的有效雨量的基础上, 判别和筛选了由降雨引发的地质灾害, 并引入合理的判别系数判定了致灾的不同降雨类型, 从而得出了不同降雨型地质灾害的阈值。研究发现2 142条有效地质灾害信息中, 64.6%属于降雨型地质灾害(共1 384例), 其中又有91.4%由短期降雨造成, 8.6%由长历时降雨造成; 结合致灾雨量阈值给出的不同类型降雨对地质灾害发生的贡献率、雨量阈值和灾害发生频次的分布图, 直观显示了全省分县致灾临界雨量及不同降雨型地质灾害的高发区域。

**关键词:** 地质灾害; 有效雨量; 判别系数; 致灾阈值; 湖南省

**中图分类号:** P642; X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–811X(2014)02–0042–06

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.02.010

地质灾害发生是一个多因素共同作用的复杂物理过程, 是内因和外因共同影响的结果。内因包括地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质、植被覆盖等; 外因包括自然因素和人为因素。气象条件是地质灾害突然暴发的重要自然诱因, 其中持续降雨或短时强降雨是导致潜在地质灾害发生的最关键因素。自1980年代末起, 随着联合国“国际减轻灾害十年(INDR)”计划的启动, 滑坡、泥石流等地质灾害引起了国际社会的广泛重视, 极大地推动了全球范围内对降雨引发的地质灾害的预测预报研究。在该计划的推动下, 我国开展了大规模的地质灾害整治计划: 如长江上游滑坡泥石流防治计划, 国家计委和国土资源部制定的地质灾害专项防治计划等。这些工作为建立全国范围的地质灾害气象预警系统打下了坚实的基础。我国学者从1990年代开始对地质灾害与降雨的关系进行了大量深入细致的研究, 分析了触发滑坡、泥石流的降雨特征, 主要包括临界降雨强度、降雨持续时间、降雨类型、降雨量或累计降雨量

等<sup>[1–5]</sup>, 进而建立了基于降雨的临界雨量模型<sup>[6–9]</sup>, 开展了地质灾害预警预报方法研究<sup>[10–12]</sup>, 并进一步开展了地质灾害风险评价和区划方法的研究<sup>[13–14]</sup>。此外, 还有学者对伴随地质灾害预警研究而发展起来的地质灾害风险评价研究进行了系统的总结和梳理, 旨在对存在的问题提出建设性的议案, 并展望该领域的发展方向<sup>[15]</sup>。

湖南省国土面积21.18万km<sup>2</sup>, 山地、丘陵和岗地占到80.6%, 地质灾害高中易发区面积, 占全省总面积的77%, 是全国地质灾害最严重的省份之一。截至2012年底, 全省已查明各类地质灾害隐患12 229处, 包括滑坡、崩塌、泥石流、岩溶地面塌陷、采空地地面塌陷等。地质灾害隐患直接威胁人口数量达91.5万, 潜在经济损失超过150亿元。我国目前开展的国家级地质灾害气象预警业务所采用的预测模型大多基于临界雨量, 故研究全省降雨型地质灾害的致灾雨量阈值, 对湖南省气象部门和国土部门联合建立由面到点的地质灾害风险预警预报方法具有重要的指导意义。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013–09–10      修回日期: 2013–11–18

基金项目: 国家财政部/科技部公益类行业专项(GYHY201306016); 湖南省气象局2010年短平快科研课题

作者简介: 陈静静(1983–), 女, 河南周口人, 硕士, 工程师, 主要从事灾害性天气机理研究. E-mail: jingjing.chan@qq.com

## 1 资料和处理方法

本文所用 1980—2007 年共 28 年的地质灾害信息来源于湖南省地质环境监测总站和湖南灾害大典,同期逐 12 h 和逐日降雨资料为湖南省 97 个常规气象站观测资料。资料处理方法如下:

(1)结合湖南灾害大典,将未在湖南省地质环境监测总站提供的 1980—2007 年地质灾情汇总表中登记的灾害信息分站点、时间补充到汇总表中,共形成 2 142 条有效地质灾害信息(包括灾害类型、发生时间、发生地点、经纬度、底层岩性、灾害等级等信息)。

(2)将湖南省 1980—2007 年 97 个常规地面观测站逐 12 h 和逐日的累计雨量资料进行均一化处理,形成以站号为标识的、格式统一的雨量文件库。

(3)降雨型地质灾害发生的地点一般无常规雨量观测站,临近中小尺度区域站的资料年限较短,故用距离最近的观测站降雨资料代表灾害发生点的雨量。

## 2 降雨型地质灾害的判定

普查分析发现,经处理核对的 2 142 条有效地质灾害信息,不完全是由降雨造成的,还有人为和环境等因素造成的坍塌等地质灾害。故需建立合理的判据,进一步明确由降雨造成的地质灾害信息。

### 2.1 有效雨量的计算

有研究表明对地质灾害有影响的降雨一般在地质灾害发生前 10 d 之内<sup>[16-18]</sup>,因此本文在分析地质灾害与前期降雨的关系时,只考虑灾害发生前 9 d(包括灾害发生当天,下同)的降雨量及累积雨量。同时结合实际工作经验和预警预报时效,规定短期降雨为 1~3 d、中期为 4~6 d、长期为 7~9 d。根据出现地质灾害的时间,分别提取灾害发生临近 12 h 雨量及前 9 d 雨量。前期降雨的有效雨量,由以下经验公式计算得到:

$$R_{i\text{有效}} = \text{前第 } i \text{ 天降雨量} \times 0.8^{i-1}, (i = 1, 2, \dots, 9). \quad (1)$$

即地质灾害发生前期的有效雨量,在实际雨量的基础上由以上公式进行衰减,衰减系数如表 1 所示。

表 1 有效雨量衰减系数表

前 $i$ 天	1	2	3	4	5	6	7	8	9
衰减系数	1.0	0.8	0.64	0.512	0.410	0.328	0.262	0.210	0.168

$$\text{短期}(1 \sim 3 \text{ d}) \text{ 有效雨量: } R_{13} = \sum_{i=1}^3 R_{i\text{有效}}. \quad (2)$$

$$\text{中期}(4 \sim 6 \text{ d}) \text{ 有效雨量: } R_{46} = \sum_{i=4}^6 R_{i\text{有效}}. \quad (3)$$

$$\text{长期}(7 \sim 9 \text{ d}) \text{ 有效雨量: } R_{79} = \sum_{i=7}^9 R_{i\text{有效}}. \quad (4)$$

$$\text{前期}(1 \sim 9 \text{ d}) \text{ 总有效雨量: } R_{19} = \sum_{i=1}^9 R_{i\text{有效}}. \quad (5)$$

当  $R_{19} \geq 50.0 \text{ mm}$ ,则判定该条地质灾害信息为降雨型地质灾害;当  $R_{19} < 50.0 \text{ mm}$ ,但  $R_{13}, R_{46}, R_{79}$  中任一项  $> 25.0 \text{ mm}$ ,则也判定该条记录为降雨型地质灾害;除上述情况以外,都判定为非降雨型地质灾害。基于上述方法从 2 142 条有效地质灾害信息中,筛选得到 1 384 条(约占 64.6%)降雨型地质灾害信息和 758 条非降雨型地质灾害信息。

### 2.2 造成地质灾害的降雨型判别

地质灾害的发生不但跟总有效雨量有关,与降雨类型也有较大的关系。在对造成 1 384 例降雨型地质灾害进行分析时,引入判别系数  $D$  来确定各例降雨型地质灾害的致灾降雨类型:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^3 \text{第 } i \text{ 个衰减系数}}{\sum_{i=1}^9 \text{第 } i \text{ 个衰减系数}}. \quad (6)$$

由式(6)结合表 1 得到  $D \approx 0.52$ ,定义  $P_0$  为短期降雨量对造成地质灾害的贡献率,当  $P_0 = \frac{R_{13}}{R_{19}} > D$  时,认为该次地质灾害主要由短期降雨造成;当  $P_0 \leq D$  时,认为该次地质灾害由长历时降雨造成。由此得出 1 384 条降雨型地质灾害中,1 265 次降雨型地质灾害由短期降雨造成,占 91.4%;119 次降雨型地质灾害由长历时降雨造成,仅占 8.6%。

在由短期降雨造成的地质灾害中,部分地质灾害是由短时强降雨引发的灾害。灾害发生当天逐 12 h 降雨与  $R_{13}$  的比值  $> 0.8$  时(注:0.8 由经验统计方法得到,并经回归分析方法验证),则认为该次降雨型地质灾害是由短时强降雨造成,共 161 条灾害信息,占短期降雨造成地质灾害的 12.7%,说明湖南省内降雨型地质灾害多为短时和短期强降雨综合作用的结果。

## 3 降雨型地质灾害致灾雨量阈值的计算方法

### 3.1 短时强降雨的致灾阈值确定

分别定义地质灾害发生当日 20—08 时、08—20

时短时降雨量对短期降雨量的贡献率为  $P1$ 、 $P2$ ，其中  $P1 = R_{20-08}/R_{13}$ ， $P2 = R_{08-20}/R_{13}$ 。对于用上节方法挑选出的 161 条短时降雨型地质灾害信息，根据  $P1$  和  $P2$  的大小关系确定出贡献率较大的降雨时段以及该时段对应的有效雨量。用最小临界雨量法确定出各站点短时降雨造成地质灾害的降雨量阈值，如下式：

$$R_{\text{临界}} = \min(R_i) (i = 1, 2, \dots, \text{同一站点出现灾害的次数})。 \quad (7)$$

式中： $R_{\text{临界}}$  为短时降雨造成地质灾害的阈值， $R_i$  为灾害发生前 24 h 逐 12 h 降雨量中贡献率较大时段的雨量值。

### 3.2 短期和中长期降雨的致灾阈值确定

已定义  $P0$  为短期降雨量对造成地质灾害的贡献率，定义  $P3$  为中长期降雨量对造成地质灾害的贡献率， $P3 = (R_{46} + R_{79})/R_{19}$ 。因  $R_{13}$  和  $R_{46} + R_{79}$  分别为灾害发生前 1 ~ 3 d、4 ~ 9 d 的有效雨量，对于业务中预报预警降雨型地质灾害的指导作用不够直观，故根据各站  $P0$  和  $P3$  的最小值所对应的发生降雨型地质灾害的日期，反查未经衰减的真实累计雨量，以便业务中判断造成地质灾害的中长期降雨累计雨量阈值（表略）。

## 4 不同时段降雨引发地质灾害的致灾有效雨量阈值分析

湖南西北部和西部的山原山地均为以崩塌、滑坡、泥石流为主的地质灾害中高易发区；南部和东部的山地丘陵及山丘区也为崩塌、滑坡、泥石流为主地质灾害的高易发区；中部和南部的部分丘陵区为以地面塌陷为主的地质灾害高易发区；湘水流域为地质灾害的低易发区；北部洞庭湖平原区则为地质灾害的不易发区。基于该地质灾害易发分区的情况，通过 Kriging 插值法绘制全省各县市降雨引发地质灾害的致灾阈值，并进行初步定量分析。

### 4.1 短时降雨引发地质灾害的阈值分析

从图 1 可以看出，20 - 08 时的夜间短时降雨对短期降雨引发地质灾害的贡献率  $P1$  在湘北的张家界、常德和益阳的部分地区，湘西南的永州、郴州西部及衡阳的部分地区较小（图 1），但在这些地区，短时降雨（12 h）在 30 ~ 60 mm 之间就可能引发地质灾害（图 2），说明这些地区极易由夜间强降雨引发地质灾害。湘东北洞庭湖平原区及以怀化为中心的湘西部分地区  $P1$  均较大，相反这些地

区存在几个降雨阈值大值区域，短时降雨超过 100 mm 才可能引发地质灾害，说明这些区域不易由夜间短时强降雨造成地质灾害。

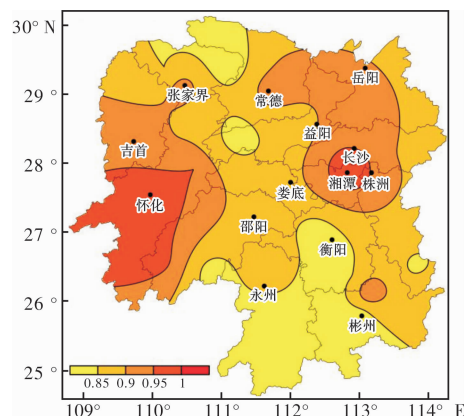


图 1 短时降雨量(20 - 08 时)对短期降雨的贡献率  $P1$

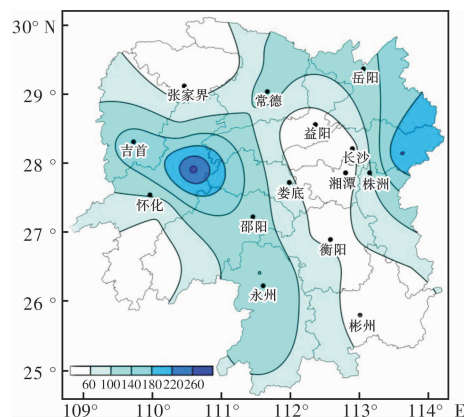


图 2 夜间短时降水(20 - 08 时)引发地质灾害的雨量阈值(单位: mm)

从图 3 可以看出，08 - 20 时的白天短时降雨对短期降雨引发地质灾害的贡献率  $P2$  在湘中地区有一个以娄底为中心的大值区，与此对应在图 4 中存在几个降雨阈值的大值中心，在这些区域出现 60 mm 以上的短时降雨可能造成地质灾害。

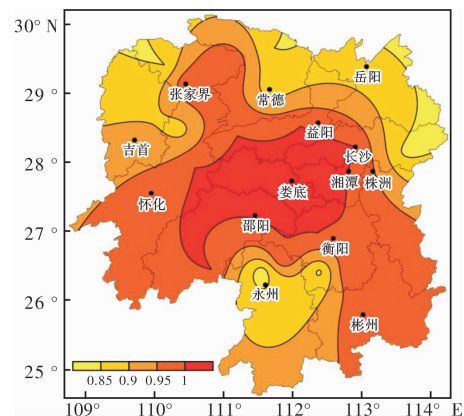


图 3 短时降雨量(20 - 08 时)对短期降雨的贡献率  $P2$

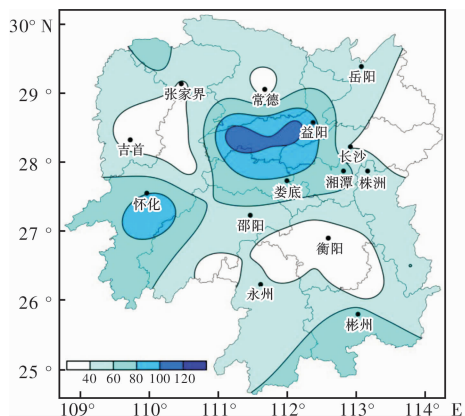


图4 白天短时降水(08-20时)引发地质灾害的雨量阈值(单位: mm)

#### 4.2 短期降雨引发地质灾害的阈值分析

从图5可以看出, 短期有效降雨(前1~3 d)对前9 d有效雨量的贡献率  $P_0$  在湘东及湘西边缘的部分地区较大, 对应图6中短期有效降雨阈值在湘东大部 and 湘西部分地区均超过60 mm, 其中岳阳东南部、郴州中北部及永州南部局部地区短期有效降雨超过100 mm才可能引发地质灾害。

由短期降雨引发地质灾害的频次分布图(图7)可以看出, 以张家界为中心湘西北地区在28年间出现地质灾害的频率最高, 达90次以上, 其次为湘西南和湘东南, 这与湖南省的地质环境特征较吻合。

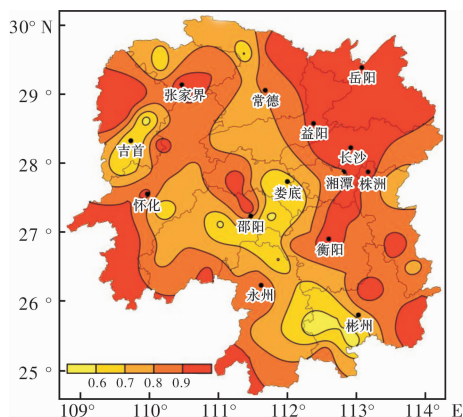


图5 短期降雨对地质灾害的贡献率  $P_0$

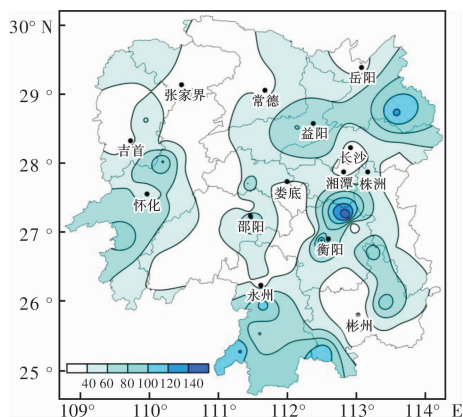


图6 短期降雨引发地质灾害的有效雨量阈值(单位: mm)

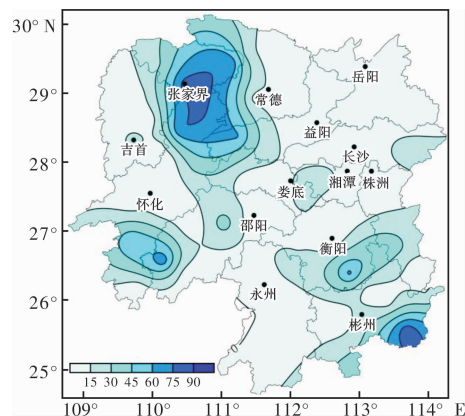


图7 短期降雨引发地质灾害的频次分布图

#### 4.3 中长期降雨引发地质灾害的阈值分析

从图8可以看出, 中长期有效降雨(前4~9 d)对前9 d有效雨量的贡献率  $P_3$  形成包括怀化、湘西自治州西部、益阳和常德南部在内的T型大值区, 以及包括永州、郴州和衡阳的湘南大值区 ( $\geq 40$  mm), 与此对应的中长期有效雨量阈值分布图上(图9)上也存在两个大值区, 说明这一带不易因中长期降雨造成地质灾害。

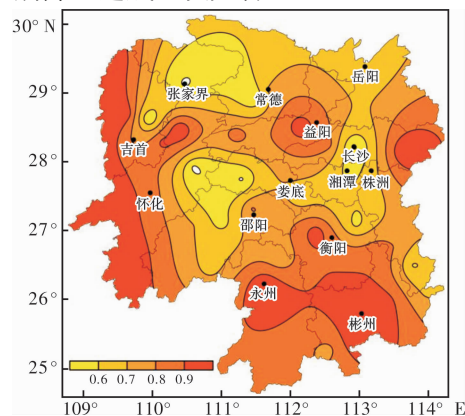


图8 中长期降雨对地质灾害的贡献率  $P_3$

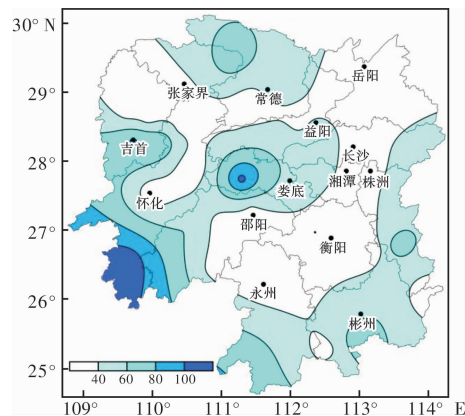


图9 中长期降雨引发地质灾害的有效雨量阈值(单位: mm)

由中长期降雨引发地质灾害的频次分布图(图10)可以看出, 这类地质灾害主要集中在湘东南的局部地区, 该区域也是短期降雨引发地质灾害的高发区。湘东南地区由于其复杂的地质结构和丰

富的岩石类别，成为湖南省崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的高易发区。

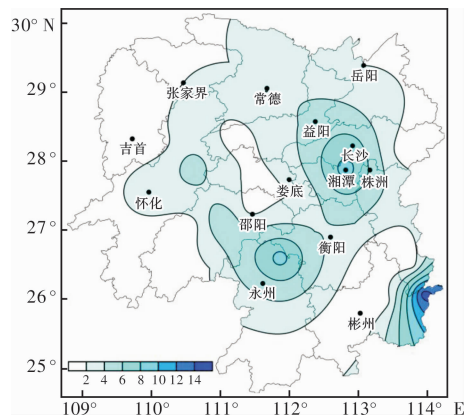


图 10 中长期降雨引发地质灾害的频次分布图

4.4 1980 - 2007 年湖南省各站点日降雨量极值

从 1980 - 2007 年湖南省各站点日降雨量极大值分布(图 11)，从图上可以看出，以张家界为最大值中心和娄底、南岳、永兴为其他几个大值中心的连线区域，与短期降雨引发地质灾害的易发区分布有较好的对应关系。

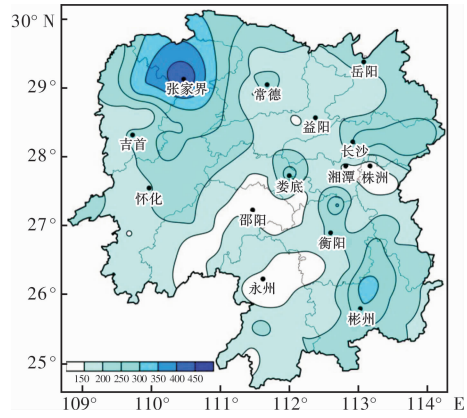


图 11 1980 - 2007 年湖南省各站点日降雨量极值分布图

4.5 2009 - 2010 年降雨型地质灾害雨量阈值检验

2009 年 6 月 28 日 - 7 月 3 日的暴雨过程中，发生地质灾害最严重的地区为张家界的桑植县，瑞塔铺镇、刘家坪乡、凉水口镇、四方溪乡通乡公路滑坡 50 余处，29 日 04 时，省道张桑公路小溪桥段因泥石流导致公路中断，垮塌三千多方。

表 2 桑植县 6 月 20 - 28 日常规气象观测站 24 h 雨量(08 - 08 时)

时间	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日	25 日	26 日	27 日	28 日
雨量/mm	10.7	无降雨	0.0	无降雨	无降雨	无降雨	19.0	无降雨	183.6

表 3 桂东县 6 月 12 - 20 日常规气象观测站 24 h 雨量(08 - 08 时)

时间	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日	17 日	18 日	19 日	20 日	总有效雨量
雨量/mm	4.9	20.5	6.6	10.4	101.9	61.3	48.2	107.2	11.5	211.5

反查地质灾害发生前 9 d 的雨量可以看出：灾害发生前的 4 ~ 9 d，桑植地区无明显降雨(表 2)，过程从湘西北开始后，24 h 降雨量(28 日 08 时 - 29 日 08 时)张家界桑植细砂坪 321.6 mm、天平山 265.9 mm、五道水 203.4 mm、瑞塔铺 247.3 mm、刘家坪 215.4 mm，桑植刘家坪 1 h 降雨量最大为 80.6 mm(28 日 18 - 19 时)。由此可以看出，桑植的泥石流是由夜间短时强降雨造成的。桑植地区是以崩塌、滑坡、泥石流为主的地质灾害高易发区，20 mm 以上的夜间短时强降雨就可能造成局部地区的地质灾害。灾害发生前，湖南省气象台和湖南省地质环境总站加强了对该地区的地质灾害预警，当地政府部门及时组织了群众转移，避免了人员伤亡。

2009 年 7 月 23 - 28 日的暴雨过程中，暴雨中心怀化市洪江区、洪江市、会同县受灾最为严重。24 h 降雨量(24 日 08 时 - 25 日 08 时)洪江区幸福路小学自动气象站 296.5 mm、洪江区深渡站(水文站)399.5 mm、洪江区洪江站(水文站)302 mm。小时降雨最强的自动站记录为怀化洪江市幸福路小学自动站 76 mm(24 日 04 - 05 时)。由湖南省地质灾害易发分区图可以看出(图略)，怀化市洪江区、洪江市和会同县是以崩塌、滑坡、泥石流为主的地质灾害中高易发区。该区域降雨从 7 月 24 日开始至 28 日趋于结束，24 日前的 4 ~ 6 d 内均无有效降雨，说明此次山体滑坡地质灾害是由短期和短时强降雨共同作用造成的。由短期降雨引发地质灾害的雨量阈值分布图(图 8)和频次分布图(图 9)来看，位于湘西南的洪江区、洪江市和会同县正好为短期降雨引发地质灾害的高频中心，短期有效降雨在 60 ~ 80 mm 之间就可能引发崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害。

2010 年 6 月 20 日上午，地处湘东南山地丘陵区的桂东县黄洞乡发生山体崩塌，该地区为崩塌、滑坡、泥石流为主地质灾害的高易发区，且为中长期降雨引发地质灾害的高频中心(图 10)，反查桂东县此次地质灾害发生前 9 d(包括地质灾害发生当天)的降雨量发现，该地区存在持续有效降雨，且有效降雨量超过了该地区发生地质灾害的阈值(115 mm)，说明此次降雨型地质灾害由短期和中长期降雨共同作用造成。

## 5 结论

本文基于由衰减系数计算的有效雨量, 对 1980–2007 年湖南省内发生的降雨型地质灾害进行了判别和筛选, 对不同致灾降雨类型进行了判定, 并分析了不同类型降雨的贡献率和分县临界致灾雨量等研究工作, 主要得出以下结论:

(1) 基于有效雨量判据进行筛选, 2 142 条有效地质灾害信息中, 64.6% 是由降雨造成。

(2) 引入判别系数确定引发各例降雨型地质灾害的降雨类型, 并分析了各类型降雨对地质灾害发生的贡献率, 发现湖南绝大多数的降雨型地质灾害(占 91.4%)由短期降雨造成, 仅有小部分(占 8.6%)降雨型地质灾害是由长历时降雨造成的。其中短时强降雨引发的地质灾害占短期降雨造成地质灾害的 12.7%, 说明湖南省内降雨型地质灾害多为短时和短期强降雨综合作用的结果。

(3) 结合致灾雨量阈值的计算结果, 给出了湖南省不同类型降雨对地质灾害发生的贡献率、雨量阈值和灾害发生频次的分布图, 直观显示了全省分县致灾临界雨量及不同降雨型地质灾害的高发区域。

(4) 本文提炼的降雨型地质灾害雨量阈值在 2009–2012 年汛期气象服务和地质灾害气象风险预报预警中都得到了较好的验证和应用。但本文未对致灾雨量阈值进行分级, 且未结合区域自动站资料对灾害点降雨量进行订正, 故在以后的研究工作中将依托山洪地质灾害精细化预报预警系统研究项目, 进行致灾雨量阈值分级和预警发布分级的研究工作。

## 参考文献:

[1] 钟荫乾. 滑坡与降雨关系及其预报[J]. 中国地质灾害与防

- 治学报, 1998, 9(4): 81–86.
- [2] 林孝松, 郭跃. 滑坡与降雨的耦合关系研究[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 87–92.
- [3] 李德心, 何思明, 朱兴华, 等. 前期有效降雨对滑坡启动影响分析[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 41–45.
- [4] 马超, 胡凯衡, 赵晋恒, 等. 震后泥石流的激发雨量特征——以汶川地震和集集地震后泥石流为例[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 89–94.
- [5] 铁永波, 周洪福, 倪化勇. 西南山区短时强降雨诱发型低频泥石流成因机制分析——以四川省宝兴县冷木沟泥石流为例[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 110–113.
- [6] 文科军, 王礼先, 谢宝元. 暴雨泥石流实时预报的研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 59–64.
- [7] 谭万沛. 泥石流扇的类型与土地利用模式[J]. 地理学与国土研究, 2000, 16(1): 71–74.
- [8] 吴树仁, 金逸民, 石菊松, 等. 滑坡预警判据初步研究——以三峡库区为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004, 34(4): 596–600.
- [9] 高华喜, 殷坤龙. 降雨与滑坡灾害相关性分析及预警预报阈值之探讨[J]. 岩土力学, 2007, 28(5): 1055–1060.
- [10] 吴跃东, 向钊, 马玲. 安徽省地质灾害气象预警预报研究[J]. 灾害学, 2008, 23(4): 26–29.
- [11] 张雅斌, 杜继稳, 蔡蕊, 等. 陕西省精细化地质灾害气象预报预警研究[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 28–34.
- [12] 闵颖, 胡娟, 李超, 等. 云南省滑坡泥石流灾害预报预警模型研究[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 216–220.
- [13] 潘建华, 彭贵芬, 彭俊, 等. 基于模糊综合评判的汶川 8.0 级地震重灾区滑坡泥石流气候风险评估[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 10–15.
- [14] 万石云, 李华宏, 胡娟. 云南省滑坡泥石流灾害危险区划[J]. 灾害学, 2013, 28(2): 60–64.
- [15] 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 地质灾害风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 33–40.
- [16] GONG Qinghua, HUANG Guangqing, GUO Min, et al. Present status of research and its developmental tendency on prediction and early warning of geologic hazards[J]. World Geology, 2006, 25(3): 296–302.
- [17] 蒋宗孝, 江彩英, 王加义. 闽北地质灾害与降水关系分析[J]. 世界地质, 2009, 28(1): 127–133.
- [18] 李明, 杜继稳, 高维英. 陕北黄土高原区地质灾害与降水关系[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 599–606.

## Hazard Rainfall Threshold Analysis of Rainfall-induced Geological Disasters in Hunan Province

Chen Jingjing<sup>1</sup>, Yao Rong<sup>1</sup>, Wen Qiang<sup>2</sup>, Tang Jie<sup>1</sup>, He Zhengyang<sup>1, 3</sup> and Cao Hengya<sup>4</sup>

(1. Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118, China; 2. Changde Meteorological Service, Changde 415000, China; 3. Daoxian Meteorological Service, Daoxian 425300, China; 4. Hunan Meteorological Service, Changsha 410118, China)

**Abstract:** Hunan province is one of the provinces that are mostly affected by geological disasters. The 12 h and daily rainfall data of 97 conventional stations in Hunan from 1980 to 2007, geological disasters information occurred in the same period in Hunan and disaster ceremony records information are used. The 9 d effective rainfall before geological disasters occurrence is calculated (including the same day of disaster occurrence, the same below), and the geological disasters events caused by rainfall are distinguished. The different types of rainfall caused geological disasters are determined by introducing a reasonable coefficient, and the thresholds of different types of rainfall that could cause geological disasters are calculated. It is found that there are 64.6% rainfall-induced geological disasters (a total of 1384 cases) in 2142 effective geological hazard information, of which there are 91.4% caused by the short-term rainfall, 8.6% caused by the long duration rainfall; It is the figure of contribution rate of different types of rainfall to geological disasters, the rainfall threshold and disaster frequency distribution in Hunan which are combined with the hazard threshold, displayed the hazard critical rainfall and geological disasters high incidence area of Hunan.

**Key words:** geological disaster; effective rainfall; coefficient of determination; hazard threshold; Hunan province