

基于当日临界雨量的国家级地质灾害风险预警方法

李宇梅¹ 狄靖月¹ 许凤雯¹ 张国平² 王志²

(1 国家气象中心, 中国气象局, 北京100081; 2 中国气象局公共气象服务中心, 北京100081)

摘要: 降水是引发滑坡、崩塌、泥石流的主要诱因。通过全国地质灾害易发程度区划研究, 初步将全国划分为西北、东北、青藏高原、黄土高原、秦岭大巴山区、华北、云贵高原、中南和东南地区共9大预警分区。应用1950—2014年地质灾害历史灾情数据, 选取灾害当天降水量作为建模因子, 对其进行正态化处理后对地质灾害发生概率密度进行多项式、傅里叶和高斯拟合, 发现高斯拟合方法最优, 选取高斯拟合方法分区建立地质灾害概率预报方程, 并结合业务地质灾害风险预警等级划分, 制定地质灾害风险预警当日临界雨量阈值指标, 应用2015年4—10月172个地质灾害样本以及江西兴国和于都2015年5月17—21日降水诱发地质灾害过程对当日临界雨量指标进行预报检验, 结果表明当日临界雨量指标判别简单可行, 判定效果较好, 具有实际应用价值。

关键词: 当日临界雨量, 地质灾害, 高斯拟合, 风险区划, 个例检验

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.03.007

A Risk Warning Method Based on the Intraday Critical Precipitation for National Geological Disaster

Li Yumei¹, Di Jingyue¹, Xu Fengwen¹, Zhang Guoping², Wang Zhi²

(1 National Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 China Meteorological Administration Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081)

Abstract: Landslides, debris-flows and collapses are caused by heavy precipitation frequently. A zonation for national geological disaster was carried out, and the 9 regions were divided so called as: the Northwestern China, Northeastern China, Tibetan Plateau, Loess Plateau, Qinba Mountain, Northern China, Yunnan-Guizhou Plateau, Central and South China and Southeastern China. The critically intraday precipitation for geological disaster in China was investigated based on the information of geological disasters in 1950-2014. Based on the Gaussian fitting method, the probability forecast model was adopted to describe probabilistic relation between precipitation and geological disaster. The intraday critical precipitation and forecast indexes of geological disaster were established with the geological disaster risk grades in business. And then this indexes were tested for 172 samples of geological disaster during April to October 2015 in China and samples of Xingguo and Yudu counties in Jiangxi Province during 17 May to 21 May 2015. The practical application has shown that the model has a good effect, the discriminant method of intraday critical precipitation indexes is effective and feasible.

Keywords: intraday critical precipitation, geological disaster, Gaussian fitting, risk division, sample inspection.

0 引言

我国是世界上地质灾害最为严重的国家之一, 每年因滑坡、崩塌和泥石流造成的死亡人数约占各类自然灾害死亡人数的四分之一。滑坡、崩塌和泥石

流分布范围广、灾害重, 在地质灾害高发区因灾损失已成为制约和威胁当地经济社会发展和人民生命财产安全的重要因素。据中国地质环境监测院统计, 2001—2014年滑坡、崩塌和泥石流发生数量年均约2.5万起, 约95%由自然因素引起, 主要为降水、地震、冰雪冻融, 每年造成死亡失踪人数约为900人、直接经济损失46亿元左右。降水是引发滑坡、崩塌和泥石流的最重要触发因素^[1-5], 在全球变暖的大背景下, 极端天气事件呈现增多的趋势^[6-7], 短时强降水、台风、暴雨等气象灾害引发的滑坡、崩塌和泥石流的危害性也有所加强^[8], 仅2013年造成的经济损失达101亿元。

一般来说, 在地质灾害易发地区前期降水较为充沛条件下, 下垫面含水量已明显增加, 如果当前再

收稿日期: 2016年12月22日; 修回日期: 2017年5月15日

第一作者: 李宇梅(1976—), Email: liyum@cma.gov.cn

通信作者: 狄靖月(1982—), Email: Dijy@cma.gov.cn

资助信息: 中国气象局气象标准预研项目(Y-2016-05);

国家气象中心预报员专项(Y201604); 中国气象

局预报员专项(CMAYBY2017-087); 国家自然

科学基金项目(41775111, 51509043); 国家气象

中心水文气象预报团队项目(2016—2017); 国家

重点研发计划(2016YFC0402702)

有暴雨，则爆发滑坡泥石流概率大大增加。美国学者对Cleveland Corral区域同一滑坡体的2次滑坡研究表明^[9]：深层缓慢下移变形的滑坡由持续降水（月降水）深层入渗引发，滑坡发生在降水时间几周或几个月后；浅层突发滑坡发生在2周明显降水期间，滑坡发生在降水后期，很少滞后，另外研究表明^[10]强降水（1或2 d内降水达到50~70 mm）是西雅图地区大部分滑坡发生的直接诱因。意大利学者^[11]对Ruinon区域滑坡研究发现：该区域年均降水为750 mm，其中低强度和短持续时间的降水事件（8~10 mm/d、持续几天），滑坡的加速不是很明显；短持续时间但是强度高的降水事件（10~15 mm/d、持续2~3 d）能引起滑坡的加速位移。韩国台风极端降水诱发密集山体滑坡事件^[12]，如2002年Rusa台风诱发1500次滑坡，12 h雨量超过895 mm；2003年Maemi台风诱发1200次山体滑坡，日雨量最大为410 mm，小时雨强最大为89.5 mm。由于降水与地质灾害关系密切，通常将地质灾害预报简化为降水和地质灾害发生的简单判别关系，滑坡和泥石流的发生往往存在一个临界雨量值^[13]，当达到临界雨量时，滑坡和泥石流存在多发和集中爆发的现象，普遍认为当前降水、前期降水、雨强及降水持续时间等都是主要建立地质灾害临界雨量方法的指标（因子）^[14-18]，暴雨是90%滑坡、81%崩塌和全部泥石流的主要诱发因素^[19]，其中当日强降水（≥50 mm）是最重要的因子，当日降水量阈值已成为预报泥石流、滑坡的主要指标^[20-22]。前期研究中2010—2012年136个地质灾害事件进行分析，发现其中有102个地质灾害事件做到提前预警，降水主要发生在当天，能够引起人们足够的重视来采取临灾避让措施，避免了人员伤亡^[23]。同时，在气象部门降水预报业务中逐日降水预报是主要业务内容，目前地质灾害气象风险预警业务是发布当日未来24 h地质灾害气象风险预报，需要建立当日雨量阈值判断指标。目前有些省（市）已建立了本地当日雨量阈值判断指标，但是对全国区域的当日雨量指标阈值划分还没有系统化开展，且前期研究的24 h雨量阈值划分由于拟合方法的原因较为粗略。另外，我国地域辽阔，西部地区地形地质条件复杂，地形起伏巨大，加上南北气候差别大，区域性差异明显^[24]，各地区降水触发地质灾害的雨量差异大^[25]，需要进行地质灾害风险区划划分，分区开展降水诱发地质灾害阈值研究。本文从实际预警服务需求出发，取当日降水量为因子分区建立基于当日降水量的地质灾害气象风险预报模型，建立与预警等级结合的当日降水雨量阈值指标，并对模型预报能力进行检验分析。

1 地质灾害气象风险分区

地质灾害发生需要有一定的重力下滑和物质条件，陡峭的地形为构成地质灾害的物质提供下滑能量条件，风化、破碎的岩石和植被碎屑，松散的土体构成地质灾害固体物质来源。山地高程高、高差明显、坡度大、地质构造复杂、断裂褶皱发育、岩层结构松散、易风化、节理发育的地质环境都是容易产生滑坡、崩塌和泥石流的有利内在条件^[26]，降水、气温等气象因素是引发地质灾害的有利外在条件。在建立地质灾害与降水阈值研究中需要综合考量区域内不同地理地质内在条件下地质灾害发生的易发程度评价。目前较为普遍的地质灾害易发区区划方法是采用下垫面环境信息量模型方法，提取研究区域的地理地质特征因子作为评价因子，来对地质灾害易发程度进行综合评价^[27-28]，将大区域划分为若干个子区域，并认为子区域内的地质、地理和气候环境背景相似，在子区域建立地质灾害与降水阈值关系时可不考虑环境背景的差异。本文参考信息量方法来进行地质灾害易发程度综合评价，提取全国高程、高差、坡度、岩石类型、断层密度和植被类型6个地理地质环境因子，综合计算和分析全国区域的地质灾害潜在危险度，将地理地质特性用地质灾害潜在危险度来统一衡量。信息量法本质上属于统计分析方法，使用该方法进行地质灾害易发程度评价的具体研究过程可分为五个步骤：第一，建立适合的评价指标体系；第二，依据评价指标体系，分别计算各影响因子对地质灾害发生所提供的信息量值；第三，划分地质灾害易发程度评价单元；第四，计算每个评价单元内各影响因子对地质灾害发生提供的信息量总和；第五，根据各评价单元的信息量取值范围确定地质灾害易发程度等级。其中对于各影响因子对地质灾害发生所提供的信息量值主要是根据式（1）计算得出，具体如下：

$$I(X_i, H) = \ln \frac{N_i / N}{S_i / S}, \quad (1)$$

式中， S 为研究区总面积； N 为研究区所含有的地质灾害总面积； S_i 为研究区内含有评价因素 X_i 的面积数； N_i 为分布在因素 X_i 内特定类别内的地质灾害面积数。

对于单个评价单元内的总信息量值则是根据式（2）计算得到。

$$I_i = \sum_i^n I(X_i, H) = \sum_i^n \ln \frac{N_i / N}{S_i / S}, \quad (2)$$

式中， I_i 为评价单元总的信息量值； n 为参评因子数；其他参数同前。

将总的信息量值作为衡量单元网格影响地质灾害形成的综合指标，值越大说明所在区域背景条件孕育

地质灾害发生的易发程度就越大。根据得到的各个单元网格的总信息量值进行地质灾害易发程度的等级划分。 $I_i > 0, = 0, < 0$ 分别说明该网格单元灾害发生概率大于、等于、小于区域平均灾害发生概率。

在地质灾害易发程度评价的基础上,依据中国地貌格局、地质环境特征和气候背景特征,将全国划分为9大环境相异的风险预警一级分区,分别为西北地区、东北地区、青藏高原区、黄土高原区、秦巴山区、华北地区、云贵高原区、中南地区、东南地区(图1)。

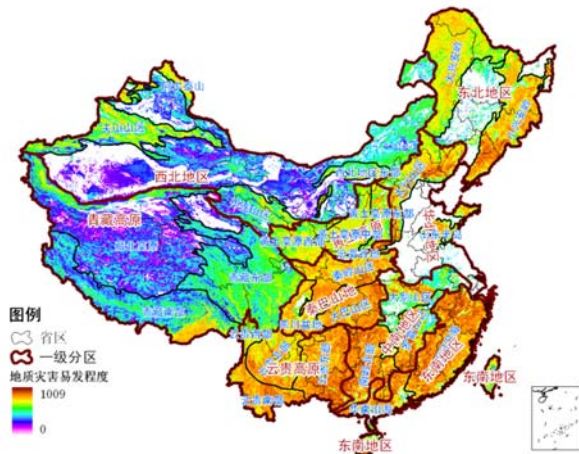


图1 全国地质灾害危险性评价和分区

Fig. 1 Assessment and zonation of geological disaster risk in China

2 基于当日降水量地质灾害预报模型建模

在降水诱发西南地区公路损毁预测技术研究中^[29],采取前15 d有效降水因子、当日降水因子和综合降水因子应用高斯拟合方法建立了三个降水因子与公路地质灾害损毁发生频次的预报模型,其中综合降水因子是前15 d有效降水因子和当日降水因子按拟合确定性系数进行不等权平均的计算结果,并进行个例检验,其验证表明加入当日降水量的综合降水因子的公路损毁模型效果好于基于前期有效降水和当日降水模型,但前期有效降水和当日降水的预报模型也具有预报能力。本文不局限于研究西南地区的降水导致公路地质灾害,而是关注全国整体区域受降水诱发的滑坡、崩塌和泥石流灾害,研究范围和灾害样本数大大增加,选取当日降水量作为因子,分区开展拟合研究,择优建立拟合方程。

2.1 资料

本文研究的灾害资料提取1950年1月至2015年10月全国地质灾害灾情信息。降水资料提取1950年1月至2015年10月逐日降水量资料。

在建立模型的资料统计中,以选择距离地质灾

害发生地点最近的气象站点为原则,基于泰森多边形法,将2487个国家气象站点分割成2487个泰森多边形,根据地质灾害点的经纬度信息,灾害点发生的位置处于哪个泰森多边形内,则以该多边形内的气象站点雨量作为该灾害点的降水量,选取对应发生日期日降水量信息,作为参与建模的降水因子。研究中使用1950—2014年历史地质灾害(来源于中国地质环境监测院)和降水数据资料用于建立预报模型,应用2015年地质灾害(其中全国检验的灾情来源于中国气象局灾情直报信息,个例检验灾情来源于中国地质环境监测院)和降水数据来进行预报模型效果检验。

2.2 地质灾害发生频次拟合

基于全国地质灾害风险分区区划信息,列出各分区的地质灾害的当日降水量,为了提高当日降水量数据的正态性,对当日降水量值进行开立方处理,形成分布较为集中的降水因子序列,取序列的最大值 $R_{x_{max}}$,将序列分成50等份,根据降水因子及地质灾害发生的频次分布散点信息,采用高斯拟合、多项式拟合、傅里叶拟合对降水因子数据点集进行函数逼近拟合(图2)。

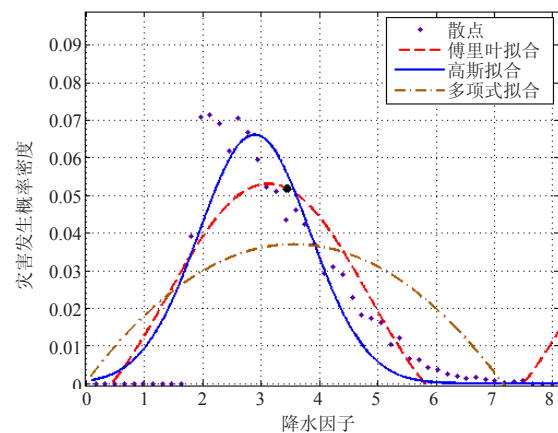


图2 降水因子与地质灾害发生频次的关系

Fig. 2 Frequency distribution of geological disaster with precipitation factor

从三组拟合曲线形态和拟合的各项指标上(表1)看,高斯拟合方法的确定系数最大,误差评价也均为最小,优于多项式拟合和傅里叶拟合。

表1 三种拟合曲线评价

Table 1 Comparison of curve-fitting among three fitting methods

拟合类型	误差平方和	确定系数 (R^2)	调节确定系数	均方根误差
高斯拟合	0.00483	0.8403	0.8335	0.01014
傅里叶拟合	0.00770	0.7455	0.7289	0.01294
多项式拟合	0.01680	0.4449	0.4213	0.01891

因此选用高斯函数构建地质灾害发生概率密度分布函数,按式(3)对其进行积分可以得到地质灾害

发生概率预报方程:

$$Y = \int_0^x a e^{[-c^2(x-b)^2]}, \quad (3)$$

式中, Y 为地质灾害发生概率, x 为当日降水量的开立方值, a 、 b 、 c 均为参数, $a = \sigma^{-1}(2\pi)^{-0.5}$, b 为统计样本平均值, $c = 2^{0.5}\sigma$, σ 为样本序列的标准差(RMSE), 具体数值根据降水因子与地质灾害发生频次的散点分布情况而定。

2.3 分区建立地质灾害概率预报模型

假设在同一区域内, 发生地质灾害的其他潜在条

件都相似, 降水量成为唯一的决定因素, 这样只需统计降水因子与地质灾害的关系, 建立地质灾害概率预报方程。

对降水因子序列按西北地区、东北地区、青藏高原区、黄土高原区、秦岭大巴山区、华北地区、云贵高原区、中南地区、东南地区分为9个序列组, 通过高斯拟合构建概率密度函数, 计算出各区高斯概率密度拟合曲线(图3), 积分后得到各区地质灾害发生概率预报方程, 具体参数值详见表2。

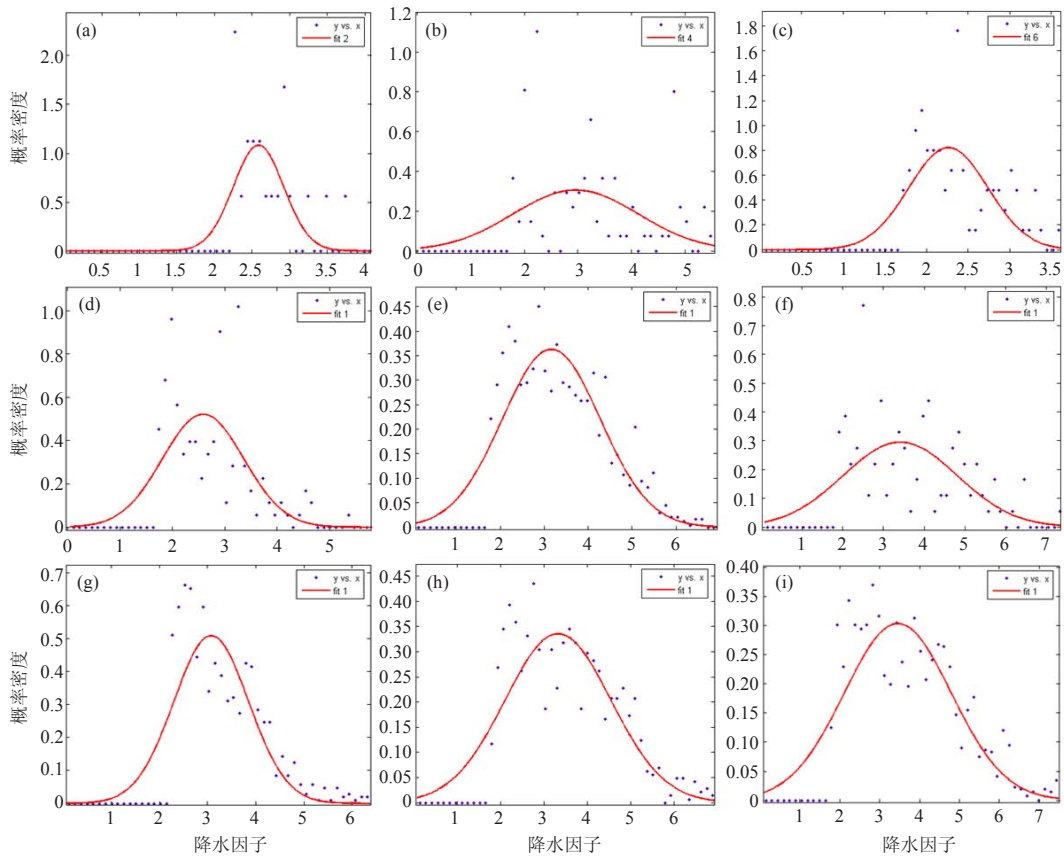


图3 分区地质灾害概率密度高斯拟合曲线图

(a) 西北地区, (b) 东北地区, (c) 青藏高原区, (d) 黄土高原区, (e) 秦岭大巴山区, (f) 华北地区, (g) 云贵高原区, (h) 中南地区, (i) 东南地区

Fig. 3 Fitting curves of probability density of geological disaster and precipitation factor in 9 regions: (a) Northwestern China, (b) Northeastern China, (c) Qinghai-Tibet Plateau, (d) Loess Plateau, (e) Qinling-Daba Mountains, (f) Northern China, (g) Yunnan-Guizhou Plateau, (h) Central and Southern China, (i) Southeastern China

目前国家级地质灾害气象风险预警分级为蓝、黄、橙、红四个等级, 根据拟合结果, 以25%、50%、75%、90%地质灾害发生概率对应的当日降水值作为地质灾害气象风险预警蓝、黄、橙、红临界当日雨量阈值, 详见表3。南方各区以及东北地区的橙色预警起报临界雨量为47.3~80.3 mm/d(大雨到暴雨); 东南地区的临界雨量达80.3 mm/d; 西北、黄土高原地区橙色预警临界雨量为24.3~29.5 mm/d(中雨

到大雨); 青藏高原地区橙色预警临界雨量最低, 只有17.8 mm/d(中雨)。在实际预警业务中, 通常对公众发布未来24 h的地质灾害气象风险预警, 因此, 结合最新24 h降水预报, 按表3临界雨量就可以判定某地的地质灾害气象风险预警等级, 预报员只需重点关注当日雨量预报来修正地质灾害气象风险预警级别, 操作简单快捷, 订正相对容易。并且, 当日发生降水时发布地质灾害气象风险预警, 容易引起足够的重视开

展群测群防、临灾避让等措施，因此该方法具有较高实际应用价值。

表2 概率拟合方程参数表

Table 2 Parameters of probability fitting equation for each of 9 regions

参数	西北	东北	青藏	黄土高原	秦岭大巴	华北	云贵	中南	东南
<i>a</i>	1.0810	0.3052	0.8207	0.5211	0.3626	0.2945	0.5079	0.3354	0.3032
<i>b</i>	2.5840	2.9590	2.2640	2.5850	3.1620	3.4090	3.0760	3.3200	3.4520
<i>c</i>	0.4766	1.6500	0.6741	1.0940	1.5820	1.9760	1.1030	1.7280	1.9000

3 风险预报方法检验

选取2015年收集全国4—10月共172个地质灾害案例作为检验样本，由于灾情案例没有具体发生经纬度及发生时刻，只有灾害发生日期和发生地所在县、市名，只能提取灾害所在地国家气象站当日降水量，分区按表3逐个判别预警级别来分析模型预报性能（表4）。在172个检验样本中发现有13个当日无雨、6个当日有微量降水（0.01 mm），约占样本数11%，在预警级别中判定为没有预报。分析表明模型在蓝色及其以上级别累计预报114次，占总发生次数的66.3%，黄、橙、红色预警占总发生次数的49.4%，检验结果表明模型预报在全国范围具有一定参考性，但这可能与国家站布设相对少，不能很好地代表地质灾害灾点降水以及模型没有考虑前期降水有关。

表3 地质灾害气象风险预警当日临界雨量（单位：mm）

Table 3 The intraday critical precipitation of early warning for various geological disaster risks (unit: mm)

名称	西北	东北	青藏	黄土高原	秦巴	华北	云贵	中南	东南
蓝色	13.5	12.2	7.4	7.2	13.9	15.0	16.7	15.3	16.5
黄色	18.1	31.6	11.8	17.2	31.3	39.0	29.3	35.3	40.7
橙色	24.3	71.5	17.8	29.5	58.6	78.7	47.3	68.0	80.3
红色	37.0	79.0	25.4	44.4	92.7	129.2	69.2	107.9	131.1

表4 地质灾害气象风险预警模型不同预警级别预报次数和比例

Table 4 Times and proportions of warning for 4 grades of geological disaster risks

名称	蓝色	黄色	橙色	红色
预报次数	29	31	24	30
比例/%	16.9	18.0	14.0	17.4

同时，为了更好验证模型应用效果，选取具有详细灾点经纬度和发生时间的地质灾害案例进行检验，选取的是东南预警分区2015年5月18—20日江西兴国和于都县降水诱发地质灾害过程对模型进行个例检验。

3.1 天气过程和地质灾害灾情

2015年5月17日20时—21日08时，江西中南部出现大到暴雨，局地大暴雨，江西兴国县、于都县过程累计雨量普遍在100 mm以上，兴国县中北部地区

降雨量达200~497 mm（图4），强降水主要集中在18—20日，其中18日夜间至19日白天降水最强，兴国县大部、于都北部出现大暴雨，于都葛坳乡降水量达198.7 mm，19日夜间至20日白天，兴国县大部、于都中北部出现暴雨，兴国县北部局地有大暴雨。受此次降水过程影响，江西兴国、于都县出现群发性崩塌、滑坡、泥石流灾害，通过实地灾害勘察和调研，共整理获取955条含经纬度信息和具体发生时间精确到小时的详细地质灾情，由于灾点很密，在同一自动站区域临近有多个地质灾害发生，因此按发生时刻提取距离灾点最近的自动站雨量数据作为灾点降水实况，对相同降水实况除重（只保留一个样本），最后整理形成过程共85站次当日雨量实况样本数据进行检验分析，其中17—21日逐日20时—次日20时出灾站数分别为12、29、28和16次（在图5中用点标出，表示该站点当天发生过地质灾害）。



图4 2015年5月17日20时—21日08时累计雨量（单位：mm）
Fig. 4 Accumulative rainfall for 20 BT on 17 May to 08 BT on 21 May 2015 (unit: mm)

3.2 地质灾害概率模型预报检验

以欧洲中心细网格EC预报降水（20时—次日20时）作为模型降水输入因子，根据基于当日雨量地质灾害概率预报模型，计算得出江西兴国、于都5月18日—21日各自动加密站地质灾害发生概率。

江西兴国和于都位于东南预警分区中，从表3可知，地质灾害发生概率25%、50%、75%和90%对应的当日雨量阈值为16.5、40.7、80.3和131.1 mm。从图5a可知，2015年5月17日夜间至18日白天，兴国县中东部、于都县北部地区地质灾害气象风险达到蓝色预警（发生概率25%），EC预报兴国县东南部、于都县北部有大雨，该区域地质灾害发生概率在35%~38%；

18日夜间至19日白天(图5b), EC降水预报增大, 兴国县、于都县北部有大雨, 该区域地质灾害发生概率在40%~52%, 局地达到黄色预警; 19日夜间至20日白天(图5c), EC降水预报出现暴雨区, 为过程最强, 暴雨区南压至于都县中南部, 兴国县南部也有大雨, 地质灾害发生概率为50%~75%高值区, 对应黄色和橙色预警; 20日夜间至21日白天(图5d), EC降水明显减弱, 普遍预报10~20 mm的中雨, 地质灾害发生概率也随之下降, 兴国县中东部、于都县北部地质灾害发生概率为25%~30%, 只预报蓝色预警。从

出灾站点的地质灾害发生概率预报来看, 17—21日逐日发生过地质灾害的自动站大部分预报地质灾害发生概率>25%, 18和19日能预报出>50%发生概率, 基于EC降水预报的地质灾害概率模型基本能提前做出客观预警指示。

3.3 地质灾害概率模型实况检验

实际上, 江西兴国和于都县的实况降水普遍比EC预报降水大一个量级, 甚至两个量级, EC过程预报降水普遍为中到大雨, 仅19日20时预报出于都有暴雨, 但与实况相比, 预报的暴雨区偏南, 且兴国实际

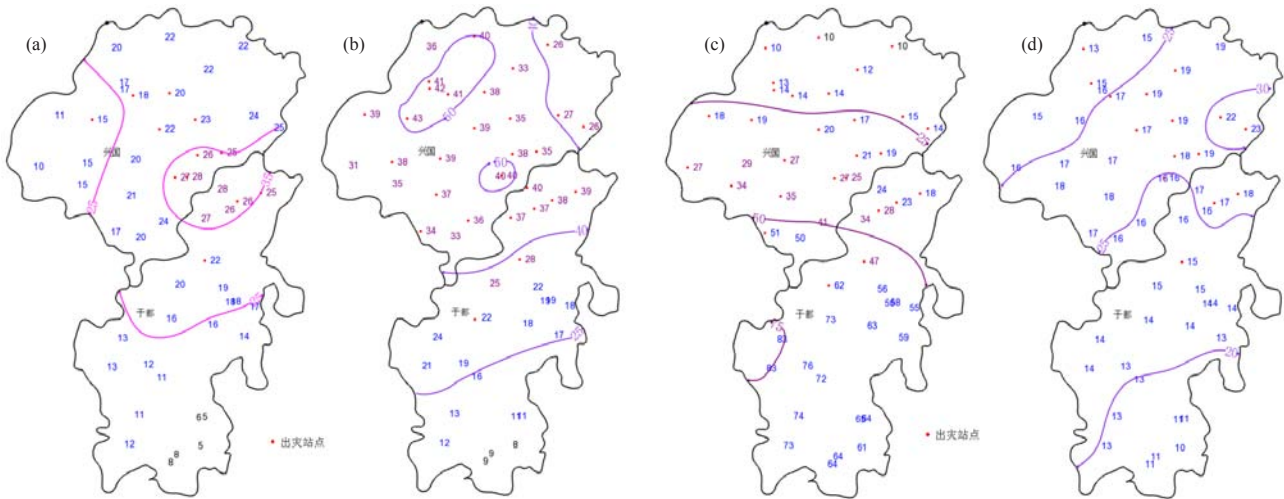


图5 自动站站点EC降水预报值(单位: mm)和地质灾害发生概率(单位: %)落区(线条)

(a) 5月17日20时—18日20时, (b) 5月18日20时—19日20时, (c) 5月19日20时—20日20时, (d) 5月20日20时—21日20时

Fig. 5 The EC model rainfall forecast for automatic stations (unit: mm) and probability distribution (unit: %) of geological disaster by the geological disaster model

(a) For 20 BT on 17 May to 20 BT on 18 May, (b) For 20 BT on 18 May to 20 BT on 19 May, (c) For 20 BT on 19 May to 20 BT on 20 May, (d) For 20 BT on 20 May to 20 BT on 21 May

的暴雨和大暴雨区仅预报出中到大雨。针对EC降水预报偏小, 模型概率预报值偏低, 需要进一步用实况降水来验证模型性能。选取5月17—21日逐日出灾站点的20日一次日20时降水实况输入模型计算发生概率, 统计不同预警级别的站数和比例(表5), 18日20时—20日20时降水最强, 出现灾害的站数最多。17日20时—18日20时, 兴国中北部出现大到暴雨, 于都北部局地暴雨, 其他地区小雨, 地质灾害集中在兴国中部和于都北部地区(图5a), 出灾站点黄色和橙色预警占总站数66.7%, 但降水量没有达到红色预警阈值, 没有红色预警, 且有2站次漏报; 18日20时—19日20时, 两地出现过程最强降水, 兴国大部、于都北部出现大暴雨, 降雨量一般有100~156 mm, 最大达234 mm, 兴国西南部、于都中南部有中到大雨, 地质灾害集中在兴国和于都北部地区(图5b), 计算的

地质灾害概率也集中在高值区, 出灾站点黄、橙、红三种预警比例达96.5%, 红色预警就占58.6%, 仅有1站次为蓝色预警, 没有漏报; 19日20时—20日20时, 兴国、于都中北部有大到暴雨, 兴国北部局地有大暴雨, 地质灾害集中在兴国和于都北部地区(图5c), 出灾站点黄、橙、红三种预警比例为71.4%, 橙色和红色预警比例有21.4%, 没有漏报; 20日20时—21日20时, 两地降水强度减弱, 兴国大部地区为小到中雨, 兴国东南部、于都北部有大雨, 于都中南部有暴雨, 地质灾害集中在兴国中东部和于都北部地区(图5d), 有8站次没有达到蓝色预警标准, 出现漏报。

此次过程降水实况模型检验效果较好, 有88.2%站次成功预报, 模型对暴雨、大暴雨较为敏感, 能够捕捉作24 h内所有暴雨诱发的地质灾害事件, 给予高等级地质灾害预警提示, 但对低于40.7 mm的日雨

表5 出灾站点实况降水地质灾害气象风险不同级别预警站数和比例
Table 5 Disastrous stations and proportions of warning for 4 grades of geological disaster risks

日期	无预警		蓝色		黄色		橙色		红色	
	站数	比例/%	站数	比例/%	站数	比例/%	站数	比例/%	站数	比例/%
5月17日20时—18日20时	2	16.7	2	16.7	7	58.3	1	8.3	0	0
5月18日20时—19日20时	0	0	1	3.5	3	10.3	8	27.6	17	58.6
5月19日20时—20日20时	0	0	8	28.6	14	50.0	3	10.7	3	10.7
5月20日20时—21日20时	8	50.0	8	50.0	0	0	0	0	0	0

量,尤其是小到中雨不敏感,容易漏掉这些当日降水较弱,但近期有强降水的灾害事件,21日漏报的8站次位于兴国县中北部,前3天都持续较强降水,18日漏报的2站次,经查也发现灾前2~3 d也出现明显降水。

4 结论和讨论

当日降水量经开立方处理后作为建模因子与地质灾害发生概率密度进行高斯拟合、傅里叶拟合和多项式拟合,结果表明高斯拟合效果最优,可选用高斯拟合方法建立地质灾害概率预报模型,分区构建当日临界雨量判据,通过预报检验,表明该方法指标易于判别,能捕捉南方地区暴雨、西北和黄土高原地区大雨引发的地质灾害事件,预报效果较好,具有实际应用价值。

但由于预报模型建模仅采用当日降水一个因子,没有考虑前期降水的影响,在检验中也发现大约有11%地质灾害样本是由前期降水引发。为了减少漏报率,后期预报研究中还应将考虑前期降水,建立有效降水和综合降水因子模型,对比分析当日降水、有效降水和综合降水因子模型,采用验证效果最好的模型。当日降水量是建立地质灾害气象预报方法最重要的因子,降雨型滑坡崩塌绝大多数由暴雨引发,降雨型泥石流的发生更是离不开当日发生强降水,当日降水因子与有效降水和综合降水因子相比,当日临界雨量判定方法具有无需计算因子值、判定更直观和简便,普适度高,有利于根据当日降水量快速判定地质灾害风险预警级别,特别适用于地方局地突发短时强降水而可能导致地质灾害的快速地质灾害气象风险预警服务,当地部门和民众可根据当前降水实况和当日临界雨量指标快速估计当前地质灾害气象风险高低,及时调整和采取临灾避让等措施。另外,全国地质灾害气象风险分区只划分为9大分区,还需要进一步细化分区,增加二级、三级乃至四级分区,探讨地质灾害易发度级别,将预报区域的内在地质灾害易发度与降水因子结合起来,共同判定地质灾害气象风险预警级别更为合理和全面。

参考文献

[1] 张友谊,胡卸文,朱海勇.滑坡与降雨关系研究展望.自然灾害学报,2007,16(1): 104-107.

- [2] 谭万沛,王城华.暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报——以攀西地区为例.成都:四川科技出版社,1994.
- [3] 崔鹏,刘世建,谭万沛,等.中国泥石流监测预报现状与展望.自然灾害学报,2000,9(2): 10-15.
- [4] 魏永明,谢又予.降雨型泥石流(水石流)预报模型研究.自然灾害学报,1997,6(4): 48-54.
- [5] 高速,周平根,董颖,等.泥石流预测、预报技术方法的研究现状浅析.工程地质学报,2002,10(3): 279-283.
- [6] 杜予罡.影响中国极端天气气候事件变化的初探.南京:南京大学,2013: 39-48.
- [7] 杨小波,陈丽娟,刘芸芸.我国降水和气温的分级概率时空分布特征.应用气象学报,2011,22(5): 513-523.
- [8] Yun T, Chuan T. The influence of human activity and precipitation change on mid-long term evolution of landslide and debris flow disasters. Sciences in Cold and Arid Regions, 2013, 5(6): 715-721.
- [9] Jibson R W. The 2005 La Conchita, California, landslide. Landslides, 2006, 3: 73-78.
- [10] Chleborad A F. Preliminary evaluation of a precipitation threshold for anticipating the occurrence of landslides in the Seattle, Washington, Area. US Geological Survey Open-File Report, 2003.
- [11] Del Ventisette C, Casagli N, Fortuny-Guasch J, et al. Ruinon landslide (Valfurva, Italy) activity in relation to rainfall by means of GBInSAR monitoring. Landslides, 2012, 9: 497-509.
- [12] Chae B G, Kim M I. Suggestion of a method for landslide early warning using the change in the volumetric water content gradient due to rainfall infiltration. Environmental Earth Sciences, 2012, 66: 1973-1986.
- [13] 章国材.自然灾害风险评估与区划原理和方法.北京:气象出版社,2014.
- [14] 高速,周平根,董颖,等.泥石流预测、预报技术方法的研究现状浅析.工程地质学报,2002,10(3): 279-283.
- [15] 周明浪,邵新民,罗美芳.浙江温州滑坡地质灾害预警方法及应用.中国地质灾害与防治学报,2014,25(2): 90-96.
- [16] 薛群威,刘艳辉,唐灿.突发地质灾害气象预警统计模型与应用.吉林大学学报(地球科学版),2013,43(5): 1614-1621.
- [17] 谭万沛,韩庆玉.四川省泥石流预报的区域临界雨量指标研究.灾害学,1992,7(2): 37-42.
- [18] 姚令侃.用泥石流发生频率及暴雨频率推求临界雨量的探讨.水土保持学报,1988,2(4): 72-77.
- [19] 李媛,孟晖,董颖,等.中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析.中国地质灾害与防治学报,2004,15(2): 29-32.
- [20] 李慧琳,官焕盛,韩卫东.丹东地区地质灾害气象预警系统.气象与环境学报,2007,23(1): 12-16.
- [21] 李安泰,何宏让,张云.WRF模式对舟曲“0808”特大泥石流暴雨的数值模拟.气象与环境学报,2012,28(2): 54-59.
- [22] 伍宇明,兰恒星,高星,等.台风暴雨型滑坡降雨阈值曲线研究——以福建地区为例.工程地质学报,2014,22(2): 255-262.
- [23] 张国平,宋建洋,邵小路,等.近期我国大型地质灾害预报与避险案例分析.自然灾害学报,2015,24(3): 20-26.
- [24] 虞海燕,刘树华,赵娜,等.1951—2009年中国不同区域气温和降水量变化特征.气象与环境学报,2011,27(45): 1-2.
- [25] 张国平,徐晶,毕宝贵.滑坡和泥石流灾害与环境因子的关系.应用生态学报,2009,20(3): 653-658.
- [26] 马力,崔鹏,周国兵,等.地质灾害气象.北京:气象出版社,2009: 29-40.
- [27] 朱良峰,吴信才,殷坤龙,等.基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究.地球科学与环境学报,2004,26(3): 52-56.
- [28] 张国平.有效雨量和滑坡泥石流灾害概率模型.气象,2014,40(7): 886-889.
- [29] 狄靖月,王志,田华,等.降水引发的西南地区公路损毁风险预报方法.应用气象学报,2015,26(3): 268-277.