

周雨, 刘志萍, 张国平. 鹰厦铁路降水诱发地质灾害概率预报模型及应用. 应用气象学报, 2015, 26(6): 743-749.

doi:10.11898/1001-7313.20150611

# 鹰厦铁路降水诱发地质灾害概率预报模型及应用

周雨<sup>1)</sup> 刘志萍<sup>1)</sup> 张国平<sup>2)</sup>\*

<sup>1)</sup>(江西省气象服务中心, 南昌 330046) <sup>2)</sup>(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

## 摘 要

降水是铁路地质灾害的重要触发因子, 由于降水引发的地质灾害对铁路运输安全造成重大的经济损失。鹰厦铁路由于其特殊的地形及气候条件, 使该线成为全国地质灾害发生较频繁、较严重的铁路之一。利用南昌铁路局 2007—2012 年辖区内的地质灾害资料, 统计鹰厦铁路地质灾害的时空分布特征。根据不同降水类型造成的铁路地质灾害特点不同, 进一步研究铁路地质灾害与降水的关系。引入 10 min 最大降水量、当日最大小时降水量、连续降水量和前 20 d 累积降水量等降水量因子, 运用因子相关性分析和逻辑回归方法筛选对灾害发生贡献率较大的降水量因子, 分区段建立鹰厦铁路地质灾害概率预报模型。运用该模型对 2013 年 5 月 20—22 日一次大暴雨过程诱发的地质灾害进行预报, 预报准确率达 86%, 模型应用效果较理想, 可为铁路安全气象服务工作提供技术支持。

**关键词:** 铁路地质灾害; 降水; 逻辑回归; 概率预报模型

## 引 言

降水是触发地质灾害的重要因素, 降水诱发地质灾害是可预报的<sup>[1-3]</sup>。目前国内外对于降水诱发地质灾害的研究已取得长足进展, 概括起来有两种类型: 第 1 类是致灾机理模型研究, 此类研究将地质灾害过程视为链式过程<sup>[4]</sup>, 从地质力学角度研究地质构造、激发因子(降水、融冰等)、岩土性质等耦合作用下发生地质灾害的原理<sup>[5-7]</sup>。上述机理模型对减少地质灾害和提高理论研究水平意义重大, 但难以快速应用。第 2 类是基于降水的地质灾害气象预报统计模型, 此类模型通过提取灾害频数和降水量信息, 着眼于探讨地质灾害与降水的关系, 建立模型为地质灾害的发生提供一种实时预报。刘艳辉等<sup>[8]</sup>对不同类型降水引发地质灾害的特征和规律进行深入研究, 改进了地质灾害预报模式。李媛等<sup>[9]</sup>将逻辑回归模型引入灾害预报, 研究提出区域降水型滑坡预警预报指标。徐晶等<sup>[10-11]</sup>对台风强降水诱发地质灾害的降水量特征进行分析, 并实现降水引发地

质灾害概率的动态预报。张国平<sup>[12]</sup>计算发现降水和滑坡泥石流灾害频次之间服从高斯分布, 利用该模型可以定量计算地质灾害发生的概率。统计模型较机理模型在实际应用时更简单、快速, 因而被广泛应用<sup>[13-14]</sup>, 与之相关的研究也纷纷展开。魏庆朝等<sup>[15]</sup>对降水致灾的发生频数与断道时间之间的关系进行探讨。张清等<sup>[16]</sup>分析我国铁路地质灾害的特点, 采用多种拟合方法建立全国铁路地质灾害统计模型, 模型根据月平均降水判定断道次数, 为铁路地质灾害模型研究奠定基础。周华国等<sup>[17]</sup>将灰色拓扑概率预报模型应用到地质灾害的动态变化趋势研究中, 预报断道时间序列的状态变化。刘秀英等<sup>[18]</sup>对铁路灾害临界降水量进行初步探讨。不难发现, 因铁路地理位置的特殊性, 仅凭断道时间、断道次数和气象站点观测数据建立统计模型缺少一定的科学性。对于铁路沿线预报统计模型的建立, 详细的铁路沿线降水观测资料以及地质灾情数据不可或缺。

本文在前人研究的基础上, 采用鹰厦铁路地质灾情资料和沿线站点详细的降水数据, 基于逻辑回

2015-03-05 收到, 2015-06-19 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(40971016)

\* 通信作者, email: zhanggp@cma.gov.cn

归方法,以地质灾害发生概率为预报对象建立预报模型,更精细化、有针对性地分区段建立铁路沿线地质灾害概率预报模型<sup>[19]</sup>。同时发展地质灾害预报方法,以期为铁路安全气象服务工作提供一些技术支持。

## 1 资料和方法

鹰厦铁路起自江西鹰潭,终至福建厦门,全长697.7 km,其途经地区山多雨频,地质灾害频繁发生。选取2007—2012年鹰厦铁路地质灾害的灾情信息,结合铁路工务段降水量日报表进行灾害研究。日报表涵盖了2007—2012年鹰厦铁路工务段91个站逐日降水量、当日10 min最大降水量、当日小时最大降水量。降水量检测仪放置于铁路工务段工区降水量观测点附近,检测仪通过拨号方式传输至工务段计算机系统中,由于铁路沿线降水量数据呈点线状等间距分布,因而铁路降水量日报表的降水较一般气象站更能反映铁路沿线的降水情况。鉴于地质灾害类型有多种,为准确分析降水和铁路地质灾害的关系,在研究前先对灾情数据进行筛选,选取灾害发生当日及前3 d降水量之和大于10 mm的灾害事件作为分析样本。统计结果表明2007—2012年鹰厦线共发生大小地质灾害1691处,有1083个灾害事件由降水引发。通过运用泰森多边形法和图层叠加技术建立不规则三角网,将铁路沿线降水观测站点和灾害点数据进行空间匹配获取灾害点降水量,所选的观测站点与灾害点的距离平均为1.5 km,最近为500 m,最远不超过3 km。采用GIS(地理信息系统)技术实现灾害点里程坐标向经纬度坐标的转换,空间匹配后灾害点的各降水量因子由C#(语言)编程读取。

对于铁路地质灾害概率预报模型而言,所要回归的随机变量为地质灾害发生的概率 $P_i$ , $P_i$ 取值范围为 $[0,1]$ ,地质灾害发生与否不是一个连续的变量(地质灾害发生时, $P_i=1$ ;不发生时, $P_i=0$ ),因此,普通的线性回归方法并不适用。本文采用逻辑回归方法,该方法只需引进一个连接函数,将 $P_i$ 取值范围映射到 $(-\infty,+\infty)$ ,则逻辑回归函数可表示为

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j x_{i,j}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

式(1)中, $x_{i,j}$  ( $j=1, \dots, m$ )为 $m$ 个预报因子对应于

第 $i$ 个观测样本的灾害发生概率, $\beta_j$  ( $j=0, \dots, m$ )为需要拟合的模型参数,模型观测样本为触发或未触发地质灾害的降水量数据。

由式(1),得

$$P_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_{i,1} + \beta_2 x_{i,2} + \dots + \beta_k x_{i,k})}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_{i,1} + \beta_2 x_{i,2} + \dots + \beta_k x_{i,k})}. \quad (2)$$

利用式(2)可预报铁路地质灾害发生概率,其难点是引入逻辑回归模型中降水量因子。

## 2 鹰厦铁路地质灾害的时空分布特征

### 2.1 干线区段划分

根据南昌铁路局辖区内路段的气候特征和地理环境,将干线细化为8个区段(图1):鹰潭—资溪、资溪—邵武、邵武—吉舟、吉舟—青州、青州—卓宅、卓宅—梅水坑、梅水坑—龙海、龙海—厦门。其中,鹰潭—资溪、龙海—厦门区段地势平坦,其他区段受武夷山脉地形影响,地形陡峻,地表坡度大。

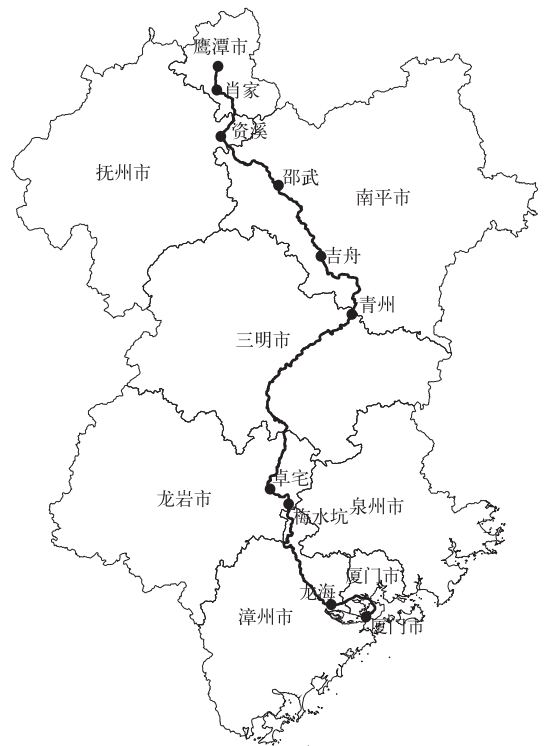


图1 鹰厦铁路沿线区段划分示意图

Fig.1 Sections along Yingxia Railway

### 2.2 地质灾害类型及时空分布

2007—2012年鹰厦铁路降水诱发地质灾害事

件 1083 例, 灾害类型 20 余种, 包括边坡溜坍 (占 49%)、崩塌落石 (占 10%)、涵洞淤塞 (占 7%)、泥石流 (占 5%)、滑坡 (占 4%)、水浸路基 (占 3%)、陷穴 (占 2%)、风化剥落 (占 2%) 等, 上述地质灾害类型约占灾害总数的 82%。从时间分布上看, 2007—2012 年鹰厦铁路地质灾害主要发生在 4—8 月, 占全年的 81.4%, 其中, 6 月铁路地质灾害发生的最多, 累计 602 起, 占总数的一半以上。从年际变化上来看, 2007—2012 年平均地质灾害次数是 216 次, 2008 年和 2010 年是铁路地质灾害比较严重的两年, 分别为 332 次和 370 次。图 2 表明, 2007—2012

年鹰厦铁路 8 个区段内均有地质灾害发生, 且分布不均匀, 以青州—卓宅区段发生地质灾害次数最多, 约占总数的 28%, 其次是梅水坑—龙海区段 (占 22%) 和吉舟—青州区段 (占 15%), 其他区段地质灾害较少。这种分布格局与两区段的地形和防护有很大关系, 如梅水坑坡率较陡且为土质堑坡, 在遭遇强降水过程时雨水冲刷坡面, 坡面未做任何防护加固, 极易发生地质灾害。总体而言, 由降水引发的鹰厦铁路地质灾害类型复杂, 时间集中、灾害分布不均, 且局地性强。

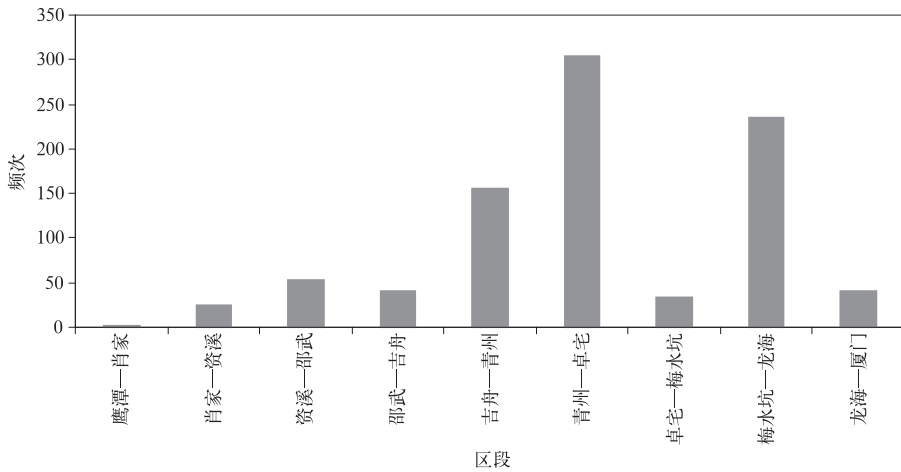


图 2 2007—2012 年鹰厦铁路各路段地质灾害发生频次分布

Fig. 2 Frequency distribution of geological disasters for Yingxia Railway

### 3 诱发铁路地质灾害的主要降水类型

根据站点降水数据和灾情资料, 分析诱发铁路地质灾害的降水量与空间分布情况, 发现诱发铁路地质灾害的降水类型主要有 4 种: 台风降水、连续性

降水、局地暴雨、强对流天气。2007—2012 年由台风降水造成的地质灾害 58 次, 连续性降水 417 次, 局地暴雨 223 次, 强对流天气 212 次 (表 1)。需要说明的是, 有的地质灾害并不是由单一类型降水引发, 有时是一种或两种类型降水共同作用的结果。

造成铁路地质灾害的局地暴雨, 即范围较小的

表 1 2007—2012 年鹰厦铁路降水类型及致灾情况

Table 1 Rainfall patterns and hazard situations along Yingxia Railway from 2007 to 2012

降水类型	致灾时间	灾害次数	灾害类型	主要受灾区段	雨情
台风降水	8—9 月	58	溜坍、崩塌、滑坡、倒树侵限、 栅栏倒塌、坡面风化	梅水坑—厦门	取决于台风强度和路径
连续性降水	4—6 月	417	溜坍、坍塌、水漫道床、滑坡	资溪—邵武, 青州—卓宅	24 h 降水量小于 50 mm, 且连续降水量超过 50 mm
局地暴雨	4—6 月	223	风化剥落、倒树侵限、溜坍、泥石流	各区段均有	24 h 降水量超过 50 mm
强对流天气 (短时强降雨、雷雨大风)	4—7 月	212	溜坍、坍塌、水漫道床	青州—卓宅, 梅水坑—厦门	1 h 降水量超过 20 mm 或 10 min 降水量超过 7 mm

短时暴雨过程,致灾降水量超过 50 mm。造成铁路地质灾害的强对流天气,主要指短时强降水(这里定义 1 h 降水量超过 20 mm 或 10 min 降水量超过 7 mm)和雷雨大风,其致灾降水量虽达不到暴雨量级,但雨强和风力较大,土体较薄弱地区因强降水冲刷和大风侵蚀,造成堑坡表层土体风化剥落,岩土松动极易造成倒树倾限、汇水冲刷发生泥石流。台风降水突发性强、波及范围广,破坏性严重。统计发现,2002—2007 年因台风降水致灾降水量均在

45 mm 以上,强台风中心致灾连续降水量最大达到 153.7 mm(强台风苏拉)。台风降水灾害范围相对集中,受灾主体区段为梅水坑—龙海—厦门段。从灾害发生时间看(表 2),灾害发生时间与台风入境时间基本同步。灾害点分布与台风路径有关,造成鹰厦铁路地质灾害的台风路径大多为西北路,只有极少数为西路(台风凡亚比)。值得注意的是,由台风降水造成的地质灾害类型除了一般的溜坍、崩塌、滑坡外,还有倒树倾限、栅栏倒塌、坡面风化破碎等。

表 2 2007—2012 年造成鹰厦铁路地质灾害的台风及致灾情况

Table 2 Yingxia Railway geological disasters caused by typhoons and its hazard situations from 2007 to 2012

序号	台风	登陆时间	受灾时间	次数	台风路径
1	韦帕	2007-08-20	2007-08-20	6	西北路
2	浣熊	2008-04-20	2008-04-20	4	北路
3	凤凰	2008-07-30	2008-07-30	2	西北路
4	鹦鹉	2008-08-23	2008-08-23	13	西路
5	狮子山	2010-09-01	2010-09-02	4	北路
6	莫兰蒂	2010-09-10	2010-09-10	7	北路
7	凡亚比	2010-09-21	2010-09-21	10	西北路
8	米蕾	2011-06-25	2011-06-25	5	北路
9	南玛都	2011-08-31	2011-08-31	2	西北路
10	苏拉	2012-08-03	2012-08-03	5	西北路

连续性降水导致铁路路基长期受雨水冲刷、浸泡,使得土质松软,土体含水饱和失衡,抗滑力下降,发生溜坍或坍塌。此外,受连日降水影响,江水暴涨,造成河水倒灌入沟谷、河床冲毁。强对流天气使得土体被雨水冲空流去、路肩坍塌,周边高地雨水汇集于地势较低的路基,且汇水速度远大于排水速度,造成水淹道床。

## 4 气象概率预报模型及应用

### 4.1 模型建立

采用逻辑回归模型,选取对灾害发生贡献率较大的降水量因子,纳入模型进行预报,而贡献率很小的降水量因子则被剔除。研究中不考虑地质状况,仅分析降水因子对地质灾害的影响。考虑到 4 种灾害类型造成的地质灾害特点不同,局地暴雨和强对流是即发型,台风降水和连续性降水具有一定的滞后效应,故在考虑降水因子时,除了 10 min 最大降水量( $R_{10 \text{ min}}$ )、当日最大小时降水量( $R_h$ )等因子外,还考虑连续降水量( $R_c$ )和灾害前 20 d 累积降水量( $R_{20}$ )。将降水量资料输入 SPSS(statistical product and service solutions,统计产品服务方案)软件处

理,运用逻辑回归方法,获得回归方程中相关统计量,方程中的回归系数为当自变量改变一个单位时,因变量发生与不发生事件的概率之比的对数变化值,它能在很大程度上表示自变量对因变量的影响大小。

以青州—卓宅区段为例,表 3 中回归系数按照大小,表明对于青州—卓宅区段,灾害发生当日降水对灾害发生的影响最大,即同样大小的降水发生在灾害当日比在灾害发生前几日对地质灾害发生的影响更为显著。对于鹰厦线青州—卓宅区段(表 3),地质灾害发生与当日降水、灾害发生前 1 d 降水量( $R_1$ )、前 2 d 降水量( $R_2$ )、前 3 d 降水量( $R_3$ )的回归系数均超过 0.01,对灾害发生作用显著,且因子方差均通过显著性检验,选为预报因子在统计意义上是合理的。上述降水因子代入逻辑回归模型,预报评估结果显示,模型的总判对概率为 76.9%。实际发生地质灾害 264 例中,有 218 例通过概率预报模型判断成功,发生地质灾害的判对率为 82.6%,模型总判对率为 76.9%。

通过对降水因子进行逻辑回归,得到相关统计量(表 3)。将表 3 中回归系数及常数项数据代入式(2),得基于逻辑回归的地质灾害概率预报模型:

表 3 青州—卓宅区段逻辑回归方程相关统计量  
Table 3 Related statistics based on logistic regression equation along Qingzhou—Zhuozhai

降水量因子	回归系数	标准差	Wald 检验值	自由度	显著性水平	期望值
$R_{20}$	0.003	0.002	5.057	1	0.025	1.003
$R_0$	0.022	0.005	17.390	1	0.005	1.023
$R_1$	0.019	0.005	18.588	1	0.001	1.019
$R_2$	0.016	0.007	5.379	1	0.005	1.016
$R_3$	0.012	0.007	7.609	1	0.001	1.013

$$P = \frac{\exp(0.022R_0 + 0.019R_1 + 0.016R_2 + 0.012R_3 - 1.952)}{1 + \exp(0.022R_0 + 0.019R_1 + 0.016R_2 + 0.012R_3 - 1.952)} \quad (3)$$

利用上述方法, 分别对其他区段进行回归分析, 区段地质灾害概率预报模型。得到各区段的概率预报模型参数。表 4 为鹰厦线各

表 4 鹰厦线各区段地质灾害概率预报模型  
Table 4 Sectional probabilistic models of geological disasters along Yingxia Railway

区段	判对率/%	概率模型
鹰潭—资溪	80.2	$P = \frac{\exp(0.03R_1 + 0.031R_2 + 0.069R_b - 2.595)}{1 + \exp(0.03R_1 + 0.031R_2 + 0.069R_b - 2.595)}$
资溪—邵武	73.0	$P = \frac{\exp(0.075R_1 + 0.022R_2 - 3.169)}{1 + \exp(0.075R_1 + 0.022R_2 - 3.169)}$
邵武—吉舟	82.6	$P = \frac{\exp(0.04R_1 + 0.012R_c - 1.368)}{1 + \exp(0.04R_1 + 0.012R_c - 1.368)}$
吉舟—青州	78.3	$P = \frac{\exp(0.051R_0 + 0.005R_c - 1.182)}{1 + \exp(0.051R_0 + 0.005R_c - 1.182)}$
青州—卓宅	76.9	$P = \frac{\exp(0.022R_0 + 0.019R_1 + 0.016R_2 + 0.012R_3 - 1.952)}{1 + \exp(0.022R_0 + 0.019R_1 + 0.016R_2 + 0.012R_3 - 1.952)}$
卓宅—梅水坑	74.0	$P = \frac{\exp(0.06R_1 - 0.894)}{1 + \exp(0.06R_1 - 0.894)}$
梅水坑—龙海	83.8	$P = \frac{\exp(0.023R_1 - 0.014R_2 + 0.245R_{10 \min} - 2.223)}{1 + \exp(0.023R_1 - 0.014R_2 + 0.245R_{10 \min} - 2.223)}$
龙海—厦门	82.4	$P = \frac{\exp(0.06R_1 + 0.012R_{20} + 0.444R_{10 \min} - 2.881)}{1 + \exp(0.06R_1 + 0.012R_{20} + 0.444R_{10 \min} - 2.881)}$

### 4.2 实例应用

为验证表 4 中概率预报模型实用性和预报准确性, 选取 2013 年 5 月 20—22 日 1 次大暴雨过程诱发的 38 例铁路地质灾害事件, 以及同等数目的未发

生地质灾害的降水事件加以验证。将各降水因子分别代入表 4 中各式, 得到预报的地质灾害发生概率, 将概率值 50% 作为地质灾害发生与否的临界值。由表 5 可以看到, 38 例地质灾害中有 5 例未预报出

表 5 2013 年 5 月 20—22 日暴雨过程降水量因子及地质灾害预报  
Table 5 Rainstorm factors and predictive value of geological disasters from 20 May to 22 May in 2013

区段	灾害次数	降水量因子/mm							$P_{实际}$	$P_{预报}$
		$R_0$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_c$	$R_{20}$	$R_{10 \min}$		
鹰潭—资溪	0	4	10.2	6.0	0	20.2	114	2.1	0	0.14
资溪—邵武	0	4.2	8.5	6.2	0	18.9	109	0.5	0	0.12
邵武—吉舟	0	3.7	32	31.4	0	65.1	170	0.3	0	0.32
吉舟—青州	2	24.1	17.6	0	0	88.9	39	4.7	1	0.56
青州—卓宅	5	3.4	24.1	7.7	0.2	35.2	104.6	1.3	1	0.37
卓宅—梅水坑	4	0.1	4.3	73.5	5.1	127	121.9	0.1	1	0.76
梅水坑—龙海	22	45.3	0	0.1	5.2	45.3	83.8	13.1	1	0.96
龙海—厦门	5	39.6	121	0	1	160	201	8.5	1	0.92

来,概率预报模型的准确率达到86%。预报失败的5例发生均发生在青州—卓宅区段,观察其降水数据,发现虽然灾害发生前20d累积降水量达到104.6mm,但当日降水为3.4mm,且前1d和前2d降水量分别为3.4mm和24.1mm,模型中降水因子根本不足以诱发地质灾害。可能是雨量站距离灾害点有一定距离,致使雨量站监测值无代表性,亦或灾害点地理位置较为偏僻,发现时间较晚造成。总体而言,该模型预报验证结果较好,可供实际铁路地质灾害预报参考,为铁路安全气象服务工作提供一些技术支持。

## 5 结论和讨论

1) 由降水引发的鹰厦铁路地质灾害类型复杂,时间集中、灾害分布不均,且局地性强。鹰厦铁路地质灾害主要发生在4—8月。2007—2012年鹰厦铁路青州—卓宅区段发生地质灾害次数最多,这种分布格局与该区段的地形和防护有很大关系。

2) 造成铁路地质灾害的降水类型包括台风降水、连续性降水、局地暴雨和强对流天气。台风降水灾害相对集中在梅水坑—龙海—厦门区段。连续性降水造成铁路路基土体含水饱和和失衡发生溜坍或坍塌。强对流天气造成土体被雨水冲空流去,造成路肩坍塌。

3) 取2013年5月20—22日大暴雨过程诱发的38例铁路地质灾害事件进行预报检验,结果表明:该模型预报效果较为理想(准确率能够达到80%以上),可供实际铁路地质灾害预报参考,为铁路安全气象服务工作提供一些技术支持。

4) 尽管铁路沿线各区段地质灾害概率预报模型的致灾降水因子有差异,但当日降水量基本上是各区段地质灾害模型共有的预报因子,灾害发生前1d降水量和前2d降水量也是各区段地质灾害模型中出现较多的预报因子。

## 参考文献

- [1] 刘传正,温铭生,刘艳辉. 基于气象因素的区域地质灾害预报原理与应用//第二届全国岩土与工程学术大会论文集(上册),2006:696-703.
- [2] 贾小龙,陈丽娟,高辉,等. 我国短期气候预报技术进展. 应用气象学报,2013,24(6):641-655.
- [3] 张亚杰,吴慧,吴胜安,等. 南渡江流域暴雨洪涝致灾临界面雨量的确定. 应用气象学报,2014,25(6):731-740.
- [4] 李明,唐红梅,叶四桥. 典型地质灾害链式机理研究. 灾害学,2008,23(1):1-5.
- [5] 刘传正. 中国崩塌滑坡泥石流灾害成因类型. 地质评论,2014,60(4):858-868.
- [6] 崔鹏. 中国山地灾害研究进展与未来应关注的科学问题. 地理科学进展,2014,33(2):145-152.
- [7] Wei F Q, Yang H J. Measuring internal velocity of debris flows by temporally correlated shear forces. *Journal of Earth Science*, 2012,3(3):373-380.
- [8] 刘艳辉,唐灿,李铁锋,等. 地质灾害与降水雨型的关系研究. 工程地质学报,2009,17(5):656-661.
- [9] 李媛,杨旭东. 降雨诱发区域性滑坡预报预警方法研究. 水文地质工程地质,2006(2):101-103;107.
- [10] 徐晶,张国平,张芳华,等. 基于 Logistic 回归的区域地质灾害综合气象概率预报模型. 气象,2007,22(12):3-8.
- [11] 徐晶,李伟华. 台风强降水诱发地质灾害的降水量特征分析. 气象,2009,35(8):42-48.
- [12] 张国平. 有效降水量和泥石流滑坡灾害概率模型. 气象,2014,40(7):886-890.
- [13] 温华洋,田红,唐为安,等. 安徽省电线积冰标准冰厚的气象估算模型. 应用气象学报,2011,22(6):747-752.
- [14] 张自银,马京津,雷杨娜. 北京市夏季电力负荷逐日变率与气象因子关系. 应用气象学报,2011,22(6):760-765.
- [15] 魏庆朝,杨永平,张大炜. 中国铁路水害环境致灾因子分析. 自然灾害学报,2002,11(1):123-127.
- [16] 张清,黄朝迎. 我国铁路水害及其评估模型研究. 应用气象学报,1999,10(4):498-502.
- [17] 周华国,魏庆朝,曾学贵,等. 近十几年来中国铁路水害的时空统计特征. 自然灾害学报,1995,4(4):76-81.
- [18] 刘秀英,范永玲,张喜娃,等. 铁路水害临界降水量值的初步探讨. 山西农业科学,2007,35(10):56-57.
- [19] 许力,王锦贵,陈桂英. 优选概率集成预报研究初步. 应用气象学报,2005,16(增刊 I):133-135.

# Probability Forecasting Model of Geological Disaster Along the Yingxia Railway Induced by Precipitation and Its Application

Zhou Yu<sup>1)</sup> Liu Zhiping<sup>1)</sup> Zhang Guoping<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (*Jiangxi Provincial Weather Service Center, Nanchang 330046*)

<sup>2)</sup> (*Public Weather Service Center, CMA, Beijing 100081*)

## Abstract

Precipitation is an important triggering factor of railway geological disasters. Every year significant economic losses are caused by railway geological disasters because of rainfall. To solve the problem of geological disaster forecasting in operational weather forecast service, a probability forecasting model is needed. Due to its special terrain and weather conditions, Yingxia Railway suffers from geological disasters more frequently and more severely. The disaster data from 2007 to 2012, as well as the temporal and spatial distribution features along Yingxia Railway are analyzed. Geological disasters happen most frequently at Qingzhou—Zhuozhai segment, especially from April to August.

4 types of precipitation are the major trigger for the railway geological disasters: Local heavy precipitation, precipitation caused by typhoon, persistent precipitation and convectional weather. Geological disasters caused by typhoon are all relatively concentrated in Meishuikeng—Longhai—Xiamen segment. Persistent rainfall makes railway roadbed soil water saturation imbalance and thus slough or collapse may happen. Strong convective weather caused by rain could lead the soil flow to the air and thus causes the collapse of the shoulder. According to characteristics of different railway geological disasters caused by different types of precipitation, further study of the relationship between railway geological disasters and precipitation are carried out.

10-min maximum precipitation, maximum hourly rainfall of a day, continuous rainfall and the cumulated rainfall of past 20 days are introduced as forecasting factors. Based on factor correlation analysis and logistic regression methods, the probabilistic forecasting models are established for each railway segment along Yingxia Railway. Although there are differences in precipitation hazard factor of each segment of geological disasters, the intraday precipitation is influencing for all segments. The precipitation one or two days before geological disasters plays an important role in probabilistic forecasting model. In order to verify the accuracy of this model, a test is applied on a heavy rainstorm happened from 20 May to 22 May in 2013 to forecast geological disasters of Yingxia Railway. The outcome indicates that the forecasting accuracy rates have reached above 80%. Effects of the probabilistic forecasting models are tested well. In the future, it can be used to conduct geological disaster forecasts to provide some technical support for railway safety meteorological services.

**Key words:** geological disasters of railway; rainfall; logistic regression; probabilistic prediction model