

文章编号:1673-8411 (2015) 04-0028-06

# 强降雨诱发地质灾害气象预警指标及应用研究

刘世业<sup>1</sup>, 梁仁全<sup>2</sup>, 李灿<sup>1</sup>, 杨品兴<sup>1</sup>, 苏春梅<sup>1</sup>, 苏有东<sup>2</sup>, 黎时迪<sup>1</sup>

(1.浦北县气象局, 广西 浦北 535300; 2.浦北县国土资源局, 广西 浦北 535300)

**摘要:**通过对浦北县境内 2006—2013 年期间不同强降水天气过程有效降雨量累计与地质灾害发生情况分析,结合县域地形、地貌等地质环境,分区域建立了强降雨诱发地质灾害的预警指标体系,经过 2014—2015 年强降雨诱发地质灾害气象预警服务检验,结果与实况基本相符。这一结果对今后开展地质灾害气象监测预警服务有重要意义。

**关键词:**强降雨;地质灾害;指标;服务

中图分类号:S422

文献标识码:A

## The meteorological early warning index for geological disaster caused by heavy rain and its application

Liu shiye<sup>1</sup>, Liang renquan<sup>2</sup>, Li chan<sup>1</sup>, Yang pinxing<sup>1</sup>, Su chunmei<sup>1</sup>, Su youdong<sup>2</sup>, Li shidi<sup>1</sup>

(1.Guangxi Pubei County Meteorological Service, 535300; 2.Guangxi Pubei County Land and Resources Bureau, 535300)

**Abstract:** Based on the analysis of geological disaster and accumulating effective rainfall of different strong precipitation weather processes during 2006 to 2013 in Pubei county of Guangxi and combined with the geological conditions, the early warning indexes of heavy rainfall causing geological disaster were established. After the test of weather warning service condition during 2014 to 2015, the results were consistent with the fact. This result has significant meaning to the future development of geological disaster weather monitoring and warning services.

**Key word:** geological disaster; heavy rain; index; service

广西浦北县位于桂东南,地处六万山余脉,群山环抱,山地、丘陵占国土面积 80%以上,斜坡陡峭,地质环境脆弱。据国土部门调查<sup>[1]</sup>,至 2012 年底止,全县境内存在崩塌、滑坡、不稳定斜坡、泥石流等地质灾害隐患点多达 1065 处,是广西境内地质隐患点最多的县(区、市)之一。进入二十一世纪以来,随着农村人口的增加及农村经济的快速发展,依山而建或挖山建房的农村住宅日益增多,加上山区道路的修建或拓宽等人类工程活动频繁,致使浦北县地质灾害隐患点潜在危害呈加重的趋势。如 2006 年 7 月

17 日的强降水天气过程诱发全县境内多处地质灾害发生和房屋大面积倒塌,曾造成 19 人死亡的特大事件。为了避免群死、群伤事件的再次发生,每年汛期一旦出现暴雨天气过程或者预报未来 24—48 小时出现持续性暴雨天气过程时,县委、县政府立即要求县、乡、村、屯四级干部深入各村、屯,动员和协助隐患点及其临近群众的撤离,最大限度地避免或减少人员伤亡。由于县境内地质灾害具有群发、突发、规模小、分布区域广等特点,每次暴雨天气过程的组织撤离,尤其是夜间的组织撤离,不仅极大地增加了

收稿日期:2015-06-05

基金项目:钦州市科学研究与技术开发项目"浦北县地质灾害气象条件监测预警业务系统"资助,合同编号:2015270303

作者简介:刘世业(1966-),男,广西浦北县人,工程师,研究方向:应用气象与服务。E-mail: pblsy@163.com

各级干部的工作量和工作难度,也给各地群众生产、生活、休息、安全等带来极大不便,各级干部精神压力倍增。因此,能否构建由强降雨引发的地质灾害气象预警指标,以便针对性地开展撤离,已成为各级领导、干部十分关注和期待解决的重大问题。目前,关于暴雨诱发地质灾害的研究国内已有不少报道<sup>[2-12]</sup>,但地质灾害的发生与否,除与降水强度、累积量等有关外,还在很大程度上取决于隐患点的地

质、地貌、植被覆盖度、人为干预程度等,即强降雨引发的地质灾害气象预警指标具有很强的地域性特点。因此,本文拟通过对广西浦北县历年地质灾害与境内强降雨过程的关系分析,找出相符当地环境的强降雨引发的地质灾害气象预警指标,以便为今后开展突发性地质灾害气象预报预警服务提供科学依据具有十分重要意义。

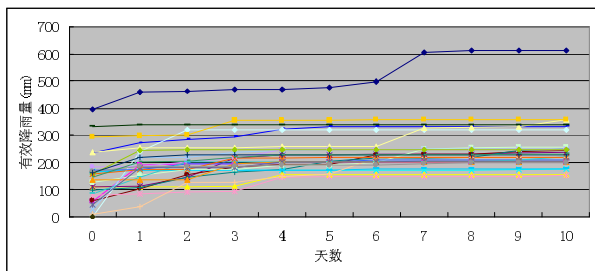


图 1  $\lambda=0.9$  前 10 日有效降水变化曲线

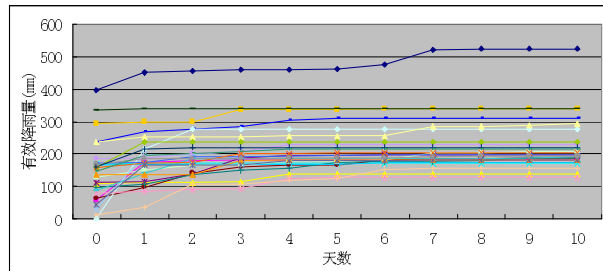


图 2  $\lambda=0.8$  前 10 日有效降水变化曲线

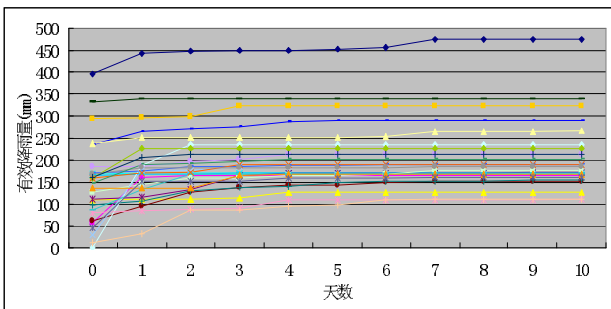


图 3  $\lambda=0.7$  前 10 日有效降水变化曲线

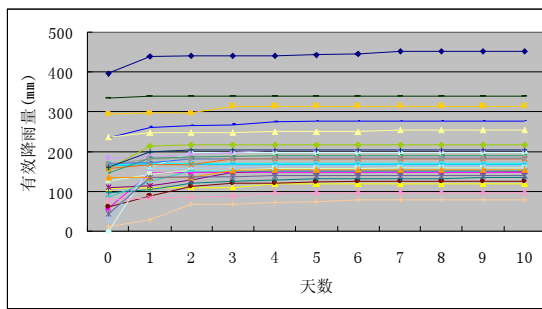


图 4  $\lambda=0.6$  前 10 日有效降水变化曲线

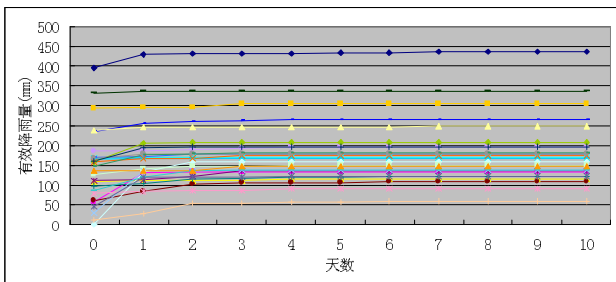


图 5  $\lambda=0.5$  前 10 日有效降水变化曲线

## 1 资料来源及处理

### 1.1 地质灾害灾情调查资料

采用 2006 年至 2015 年气象灾害灾情资料,地质灾害的灾情资料来源于浦北县国土资源局,人员伤亡、房屋倒塌等资料来源于浦北县民政局和浦北县气象局气象资料年报表备注栏的灾情纪要。

### 1.2 地质灾害信息资料

地质灾害隐患点信息,地质灾害易发区的区划资料均来源于浦北县国土资源局。

### 1.3 气象资料

2006 年至 2015 年浦北县境内逐日降雨量资料来源于浦北县气象局、广西气候档案馆。

### 1.4 资料处理

由于一次降雨并不一定会导致地质灾害的发生,单凭一天或一次的降雨量来判定地质灾害是否发生是不科学的,历史上也出现过当天降雨量很小,但也出现地质灾害,因为前几天出现连续强降雨。同时也出现过某一段时间的累计降雨量很大,但也不出现地质灾害,原因是每次降雨中只有部分降雨量对地质灾害的发生起作用,时间间隔越长作用越小,累计降雨量显然不能作为临界降雨量,因此,应采用一段时间的当天降雨量分别乘以当天有效降雨系数来得到有效降雨量,根据有效降雨量来判定地质灾害发生的可能性才是最科学的。鉴于地质灾害发生

前的降水,距离灾害发生时的时间间距越长,降水量对灾害贡献呈越小,为了客观地反映前期降水对地质灾害发生的作用,有效降雨量计算拟采用幂指数形式,具体计算模型如下:

$$R_c=R_0+\lambda R_1+\lambda^2R_2+\Lambda+\lambda^nR_n$$

(1)

式中: $R_c$  为有效降雨量; $R_0$  为地质灾害发生日降雨量; $R_1$  为地质灾害发生前一日降雨量; $R_n$  为地质灾害发生前  $n$  日降雨量, $n$  为有效降雨日数, $n$  取 7、8、9、10; $\lambda$  为有效降雨系数,取 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9。

2 结果分析

2.1 确定与地质灾害发生密切关系的有效降雨量指标

国内外众多文献资料<sup>[2-10]</sup>,以及本县历年地质灾害灾情证实,除地壳运动或人为因素干扰可诱发地质灾害外,强降水过程是诱发地质灾害的最主要因素。因此,对特定或固定区域的地质环境而言,一旦强降水过程有效雨量累计到某一阈值,即可能发生不同程度的地质灾害。由此可见,预测特定区域地质灾害发生与否,关键是能否确定临界的有效降雨量,而临界有效降雨量的确定,则取决于有效降雨日数  $n$  和有效降雨系数  $\lambda$  的确定。

2.1.1 有效降雨日数  $n$  值的确定

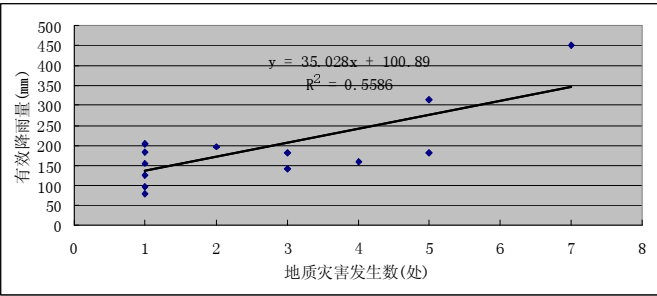


图 6 地质灾害发生数与有效降雨量线性关系图

选取 2006–2013 年以来重要降雨过程当天和前 10 天降水实况与人员伤亡、山体滑坡发生数进行统计分析,从历年地质灾害发生时的降水天气过程看,降水天气过程连续 7 天以上有 2006 年 7 月 11 日至 7 月 17 日,2008 年 6 月 3 日至 6 月 9 日,2008 年 6 月 12 日至 6 月 18 日,2010 年 6 月 21 日至 6 月 27 日,2011 年 6 月 24 日至 6 月 30 日,2013 年 4 月 23 日至 4 月 29 日等 6 次,降水天气过程连续 8 天以上有 2006 年 7 月 10 日至 7 月 17 日,2008 年 6 月 2 日至 6 月 9 日,2010 年 6 月 20 日至 6 月 27 日,2011 年 6 月 24 日至 6 月 30 日,2013 年 4 月 23 日至 4 月 29 日等 5 次;降水天气过程连续 9 天以上有 2006 年 7 月 9 日至 7 月 17 日,2008 年 6 月 1 日至 6 月 9 日共 2 次;降水天气过程连续 10 天以上有 2006 年 7 月 8 日至 7 月 17 日,2008 年 5 月 30 日至 6 月 9 日共 2 次。事实上,从影响浦北县历年汛期的

表 1 地质灾害发生数关系与有效降雨量关系表

地质灾害发生数(处)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
有效降雨量	100.89	135.92	170.95	205.97	241.00	276.03	311.06	346.09	381.11	416.14	451.17

表 2 雨量等级划分表

雨量等级	24 小时降雨量(mm)	雨量等级	24 小时降雨量(mm)	雨量等级	24 小时降雨量(mm)
小雨	0.1-9.9	大雨	25.0-49.9	大暴雨	100-250
小到中雨	5.0-16.9	大到暴雨	38.0-74.9	大暴雨到特大暴雨	175.0-300
中雨	10.0-24.9	暴雨	50.0-99.9	特大暴雨	>250
中到大雨	17.0-37.9	暴雨到大暴雨	75.0-174.9		

降水天气系统看,降水天气系统的维持天数极少超过 8 天。

根据公式(1),取不同的  $\lambda$  值,分别统计 2006 年 7 月 17 日——2013 年 11 月 11 日 27 次降水天气过程当天、前 1 天、前 2 天、前 3 天、前 4 天、前 5 天、前 6 天、前 7 天、前 8 天、前 9 天、前 10 天的累积

有效降雨量,并绘制累积有效降雨量变化曲线(图 1-5),结果发现:强降雨天气过程的有效降雨量累计值随时间的变化幅度与值大小有关,但当  $n \geq 7$  时,27 次强降雨天气过程的有效降雨量累计值变化极少,大部分过程接近某一常数值。

不同年份地质灾害发生前 7 天( $n=7$ )、前 8 天

( $n=8$ )、前 9 天( $n=9$ )、前 10 天( $n=10$ )的不同有效降雨系数的有效降雨量累计值也可以看出:有效降雨量累计值差异极小。

由此可见,对浦北县地质灾害造成影响的降雨量是当天及前 7 天的降雨量,再往前的降雨量对地质灾害的作用非常小,可忽略不计。因此,采用  $n=7$  来计算有效降雨量。

2.1.2 有效降雨量系数  $\lambda$  值的确定

仍采用 2006 年 7 月 17 日——2013 年 11 月 11 日 27 次降水天气过程年当日降雨量及前 7 天不同  $\lambda$  值的有效降雨量与其对应的地质灾害数进行分析,得各点在不同入值的相关关系值。

由表 3 可知,当  $\lambda=0.6$  时,有效降雨量与地质灾害发生的相关性最大,为 0.7473。故采用  $\lambda=0.6$  作为浦北县强降雨诱发地质灾害的有效降雨系数。

2.2 强降雨诱发地质灾害有效降雨量预警指标等级划分

2.2.1 强降雨诱发地质灾害有效降雨量预警临界阈值的确定

根据以上分析,采用有效降雨量作为诱发地质灾害的降雨量指标,根据样本数据及公式(1), $\lambda$  取 0.6、 $n$  取 7,计算的有效降雨量与地质灾害数量进行线性分析,见图 6。

根据地质灾害发生数与有效降雨量线性关系公式: $y=35.028x+100.89$ , $x$  为地质灾害发生数, $y$  为有效降雨量,计算的有效降雨量与累计地质灾害数量的关系,见表 1。

根据以上分析结果,有效降雨量大于 100mm 时出现地质灾害,有效降雨量达到 346.1mm 时最严重,为了便于预报预警,结合气象预报降雨等级划分(表 2),将有效降雨量 100mm 作为低度危险的阈值,将有效降雨量 175 mm 作为中度危险的阈值,将有效降雨量 250 mm 作为高度危险阈值,将有效降雨量大于 350 mm 作为极度危险的阈值,分为四级进行预警预报。

2.2.2 强降雨诱发地质灾害有效降雨量预警指标等级划分

根据有效降雨量的临界阈值,将浦北县地质灾

害气象预警等级分为 4 个等级。红色预警:地质灾害发生的可能性很大,极度危险;橙色预警:地质灾害发生的可能性大,高度危险;黄色预警:地质灾害发生的可能性较大,中度危险;蓝色预警:地质灾害发生的可能性小或较小,低度危险(表 3)。

2.2.3 基于地质环境的强降雨诱发地质灾害有效降雨量预警指标等级划分

浦北县地处六万山余脉,地势北高南低,从东北向西南倾斜,东北部以山岭为主,中部丘陵居多,南部属小平原地带,最高处为葵扇顶,海拔 1118m。浦北县为丘陵地带,地质主要是花岗岩,少部分为石灰岩。全县土壤主要有水稻土、红壤土、黄壤土、沙壤土,土质疏松。

根据浦北县地质灾害隐患点的分布和历史上发生灾害的有关资料分析,浦北县地质灾害的分布有明显的区域性,东北部的六万山区和中部的五黄山区地质灾害隐患点比较集中,也容易出现地质灾害,为地质灾害中、高易发区,南部泉水、石埭、安石、大成等镇一带地势平坦,地质灾害隐患点很少,不容易发生地质灾害,为地质灾害低易发区和不易发区。根据浦北县国土部门对地质灾害的区划,浦北县地质灾害易发区划分为高易发区,中易发区,低易发区,不易发区等四个区域(图 7,见彩页)。

由于浦北县不同易发区发生地质灾害的程度不同,同一有效雨量指标在不同的易发区发生地质灾害的易发程度和危害程度不同,为了更好地反映不同易发区的预警等级,针对不同区域的地质灾害易发程度,定性判断在一定降雨强度下发生地质灾害的可能性大小,将浦北县地质灾害气象预警等级每个易发区分为 4 个等级,4 个易发区共 16 个等级(表 4)。

2.3 强降雨诱发地质灾害有效降雨量预警指标的检验与应用

2.3.1 预警指标的检验

通过对 2014–2015 年出现的重大天气过程进行检验,出现预警共 12 次,其中蓝色 7 次,黄色 5 次。蓝色预警 7 次,出现山体滑坡 8 处,房屋倒塌 8 间,紧急转移避让 201 人,成功避让给 22 人,直接损失

表 3 浦北县地质灾害预警等级划分表1

有效降雨量	$\leq 100 \sim 174.9\text{mm}$	$\leq 175 \sim 249.9\text{mm}$	$\leq 250 \sim 349.9\text{mm}$	$\geq 350\text{mm}$
预警等级	蓝色预警	黄色预警	橙色预警	红色预警



表 4 浦北县地质灾害预警等级划分表

有效雨量	≤100 ~ 174.9mm	≤175 ~ 249.9mm	≤250 ~ 349.9mm	≥350mm
高易发区	蓝色预警	黄色预警	橙色预警	红色预警
中易发区	蓝色预警	黄色预警	橙色预警	红色预警
低易发区	蓝色预警	蓝色预警	黄色预警	橙色预警
不易发区	蓝色预警	蓝色预警	蓝色预警	黄色预警

247 万元,避免财产损失 135 万元;黄色预警 5 次,出现山体滑坡 10 处,房屋倒塌 18 间,紧急转移避让 2731 人,成功避让给 72 人,直接损失 273.8 万元,避免财产损失 127.8 万元。从预报的效果来看是非常显著的(表 5)。

2.3.2 预警指标的应用

根据前期实际降雨数据和气象部门未来 24 小时降雨预报数据,计算出有效降雨量,结合各地质灾

害区域的易发等级,分析判断降雨诱发地质灾害的空间范围及其可能性大小,确定地质灾害预报预警等级,该项任务可以通过开发地质灾害监测预警系统软件来快速完成,目前,浦北县气象局和浦北县国土局已联合开发了浦北县地质灾害监测预警系统,通过 1 年的试运行,取得了较好的效果。地质灾害预报预警可以通过一定程序报送政府统一向预报范围内发布或者直接通过气象预警大喇叭有针对性的向

表 5 2014–2015 年重大降雨过程地质灾害发生情况验证统计表

序号	时间	地点	有效雨量	易发区域	预警等级	灾情统计	效果
1	2014.7.20	大成镇	211	低	蓝色	出现房屋倒塌	无人伤亡
2	2014.9.18	寨圩镇	142	高	蓝色	出现房屋倒塌	无人伤亡
3	2015.7.5	福旺万垌村	148	高	蓝色	山体滑坡 3 处	无房屋倒塌,无人伤亡
4	2015.7.23	官垌东叶景村、文明村	232	高	黄色	山体滑坡 2 处,房屋倒塌 4 间,全镇紧急转移人口 1336 人,直接损失 86 万元	成功避让给 41 人,避免财产损失 42 万元,无人伤亡
5	2015.7.24	张黄镇马屋村委下平田村	148	中	蓝色	山体滑坡 1 处,房屋倒塌 1 间,紧急转移人口 4 人	成功避让 4 人,避免财产损失 10 万元,无人伤亡
6	2015.7.25	龙门镇王坡村	124	高	蓝色	山体滑坡 1 处,紧急转移人口 3 人	成功避让给 3 人,避免财产损失 10 万元,无人伤亡
7	2015.7.26	龙门镇、高明村	178	高	黄色	山体滑坡 2 处,房屋倒塌 2 间,全镇紧急转移人口 956 人,直接损失 64 万元	成功避让给 8 人,避免财产损失 30 万元,无人伤亡
8	2015.7.26	大成镇联城村、村板铺	246	低	蓝色	山体滑坡 2 处,房屋倒塌 3 间,全镇紧急转移人口 185 人,直接损失 245 万元	成功避让给 6 人,避免财产损失 15 万元,无人伤亡
9	2015.7.26	寨圩容草桥纸厂	121	高	蓝色	山体滑坡 1 处,房屋倒塌 4 间,紧急转移人口 9 人,直接损失 2 万元	成功避让给 9 人,避免财产损失 100 万元,无人伤亡
10	2015.7.27	张黄镇马屋村委饺子塘村	243	中	黄色	山体滑坡 1 处,房屋倒塌 2 间,全镇紧急转移人口 372 人,直接损失 88 万元	成功避让给 4 人,避免财产损失 10 万元,无人伤亡
11	2015.7.27	县城	177	高	黄色	山体滑坡 3 处,房屋倒塌 2 间,紧急转移人口 12 人,直接损失 1.8 万元	成功避让 12 人,避免财产损失 42 万元,无人伤亡
12	2015.7.27	小江镇黄牛岭、塘胜村	183	高	黄色	山体滑坡 2 处,房屋倒塌 8 间,全镇紧急转移人口 55 人,直接损失 34 万元	成功避让 7 人,避免财产损失 3.8 万元,无人伤亡

预警区域发布,政府和国土等相关部门在接到警报后,应立即组织地质灾害隐患点所在的乡(镇)、村、社的防灾责任人与监测责任人以及应急小分队成员进入地质灾害隐患点现场,发现险情立即报警并组织群众避险,变被动救灾为主动防灾,减少因地质灾害带来的人员伤亡和财产损失。2015年7月下旬的强降雨过程,通过预报预警,组织人员撤离,紧急撤离2932人,成功避让94人,避免人员伤亡94人,避免经济损失262.8万元。

### 3 问题与思考

由于浦北县地质灾害隐患点多面广,隐患点所处的地形地貌变化大,隐患点信息和灾情信息收集统计还不够全面,部分灾情资料没有收集,个别灾情出现的时间也不够准确;雨量点分布不够密,降雨量变化较大,本文采用的雨量资料是灾害点附近区域自动气象站的资料,与灾害点的真实雨量有一定的出入,甚至相差比较大。由于以上的不足,使得本文统计的有效降雨量也存在一定的偏差,局部降雨量相差较大的地段甚至可能偏差也较大,因此本文主要目的是研究有效降雨量与地质灾害发生的气象预警指标的原理与方法,并初步对不同易发区的地质灾害气象预警等级进行划分。建议下一步在地质灾害隐患点加密建设气象观测站,安装雨量观测和土壤湿度观测设备,同时及时收集灾情资料。随着降雨量、土壤含水量及地质灾害资料不断丰富,再继续深入研究有效降雨量、土壤含水量与地质灾害发生的相关关系,并逐步修正预报预警指标,不断提高地质灾害预报预警的准确性。

#### 参考文献:

[1] 刘小明.广西浦北县地质灾害气象预警研究专题报告.广西浦北县地质灾害详查,2012:1-15

- [2] 陈正洪,孟斌.湖北省降雨型滑坡泥石流及其降雨因子的时空分布、相关性浅析[J].岩土力学,1995,16(3):62-69.
- [3] 罗昌谟.福建省地质灾害与过程降雨量影响关系探讨[J].福建地质,2008,(4):414-419.
- [4] 徐玉琳,孙国曦,陆美兰,等.江苏省突发性地质灾害气象预警研究[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(1):46-50.
- [5] 谢剑明,刘礼领,殷坤龙,等.浙江省滑坡灾害预警预报的降雨阈值研究[J].地质科技情报,2003,(4):101-105.
- [6] 李晓.重庆地区的强降雨过程与地质灾害的相关分析[J].中国地质灾害与防治学报,1995,(3):39-42.
- [7] 林孝松.滑坡与降雨研究[J].地质灾害与环境保护,2001,12(3):1-7.
- [8] 谢洪波,尹振羽,钱壮志.降雨型突发性地质灾害县级气象预警研究—以云南新平县为例[J].安全与环境学报,2008,16(8):72-75.
- [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,(5):1055-1060.
- [10] 韦亚芬,赵亮,何松云,等.浅谈降雨与深圳斜坡类地质灾害的关系[J].人民珠江,2007,(3):54-56.
- [11] 张廷治,李守智.诱发山洪泥石流特强暴雨的特征[J].气象,1996,22(5):43-47.
- [12] 魏丽,郑有飞,单九生,等.暴雨型滑坡灾害预报预警方法研究评述[J].气象,2005,31(10):3-6.
- [13] 米浦强.2005年6月20日柳州市大暴雨渍涝灾害模拟分析[J].广西气象,2006,37(2):5-7.
- [14] 黄明策.广西暴雨时空分布特征[J].广西气象,2006,37(3):9-13.
- [15] 高安宁.“碧利斯”引发广西异常暴雨的成因分析[J].气象研究与应用,2007,38(2):7-10.
- [16] 李菁,卢伟萍,姚才,等.广西特大暴雨的特征分析[J].广西气象,2002,33(4):9-12.
- [17] 郑传新.柳州市暴雨渍涝气象预警系统[J].广西气象,2005,36(2):21-23.