

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.01.025

广东省突发性地质灾害气象预警实践

魏平新, 李秀娟

(广东省地质环境监测总站, 广东 广州 510510)

摘要: 本文基于十年来的地质灾害气象预警工作实践, 统计分析了广东省历年来降雨及突发性地质灾害的特点, 揭示了广东省突发性地质灾害在不同降雨量、降雨强度及降雨类型下的成灾规律; 并在总结地质灾害气象预警工作实践成果的基础上, 分析存在问题, 提出进一步完善地质灾害预警的技术与方法, 为地质灾害气象预警精细化和实时临灾预警提供科学依据。

关键词: 突发性地质灾害; 降雨类型; 气象预警; 广东省

中图分类号: P694; P66

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)01-0138-07

The meteorologic early warning research of sudden geo-hazard in Guangdong province

WEI Pingxin, LI Xiujuan

(Institute of Geo-Environment Monitoring of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510510, China)

Abstract: In this paper, based on 10 years of geo-hazard meteorological early warning work practice, we statistical analyzed the characteristics of rainfall and sudden geo-hazard in Guangdong province over the years, well revealed the law of sudden geo-hazard occurrence in Guangdong province under different amount, intensity and patterns of the rainfall; and by summarizing the achievements of geo-hazard meteorological early warning work practice, analyzed the existing problems, put forward the techniques and methods to further improve geo-hazard early warning, provide a scientific basis for the refinement of geo-hazard meteorological early warning and disaster early warning in the real-time.

Keywords: sudden geo-hazards; rainfall pattern; meteorologic early warning; Guangdong province

0 引言

广东省突发性地质灾害主要集中分布在粤东、粤西和粤北等广大中低山区和丘陵区以及经济发达人类工程活动强烈的局部地区, 灾害类型以崩塌、滑坡、泥石流为主, 具点多面广、活动频繁、危害严重、以中小型规模为主等特点。据统计, 2003 - 2013 年十年间共发生各类突发性地质灾害 3183 起, 死亡 346 人(含失踪 42 人), 受伤 107 人, 直接经济损失约 14.5×10^8 元,

截止 2013 年底, 广东省共有地质灾害隐患点 9817 处, 威胁人口达 37.39 万人。

从 2004 年开始, 广东省国土资源厅联合省气象局从降雨这一诱发地质灾害的主要和关键自然因素入手, 在确定的地质环境背景下, 研究气象和地质灾害发生的耦合关系, 基于气象监测预报资料的共享, 对降雨引发的崩塌、滑坡、泥石流突发性地质灾害进行提前预报预警^[1-4], 取得较好的防灾减灾效果。本文基于 10 年来的地质灾害气象预警工作实践, 分析历年来降雨

收稿日期: 2014-10-11; 修订日期: 2014-12-26

基金项目: 广东省科技项目(GDGTKJ2012002)

第一作者: 魏平新(1974-)男, 高级工程师, 主要从事水工环地质调查研究与地质灾害监测预警工作。E-mail:gdjcwei@126.com

通讯作者: 李秀娟(1984-)女, 助理工程师, 主要从事水工环地质调查研究与地质灾害监测预警工作。E-mail:277830464@qq.com

及降雨对突发地质灾害的影响规律,总结地质灾害预警工作的成功经验及失败教训,提出进一步完善地质灾害预警的技术与方法。

2 地质灾害与降雨

2.1 地质灾害与降雨量的季节性变化

广东省内旱季、雨季比较明显,雨季较长,一般 4~9 月为雨季,10 月至次年 3 月雨量较少。全年雨季分为两段:4~6 月为前汛期“龙舟水”持续强降雨;7~9 月为后汛期台风带来的强降雨;年内降雨分布不均,4~9 月的降雨量占年降雨量的 80.3%,10~3 月的降雨量占年降雨量的 19.7%,而 12~1 月各地多年月降雨量不足 50 mm。

从广东省 2006~2013 年地质灾害灾情和雨情综合分析结果来看,广东省突发性地质灾害的发生时间与降雨集中期一致,时间上具有很好的一致性,月均降雨量曲线与月均突发性地质灾害数量曲线呈现出基本一致的波峰及波谷与走向趋势(图 1)。广东省的突发性地质灾害主要发生在 4~9 月,占全年地质灾害总数的 87.13%。4~6 月,受前汛期“龙舟水”持续强降雨的影响,地质灾害总体呈现逐步增多,然后减少的趋势,以 5 月份发生的地质灾害数量最多;7~9 月,受后汛期台风带来的强降雨影响,地质灾害总体呈现不均匀分布、部分月份特别突出的现象,以 8 月份发生的地质灾害数量最多。总体而言,广东省突发性地质灾害的发生与降雨量的季节性变化关系密切。

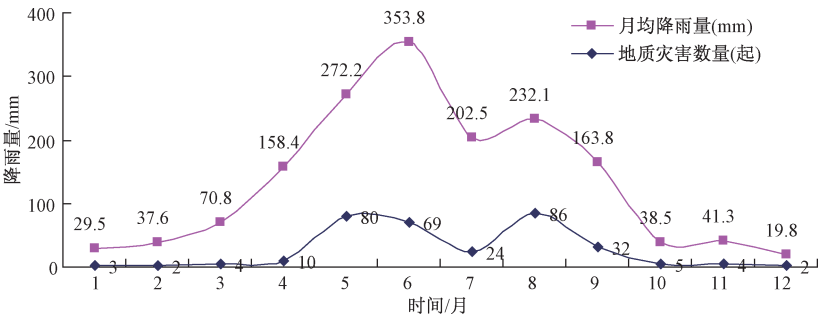


图 1 广东省突发性地质灾害时间分布与降雨量曲线对比图
Fig.1 Comparison chart of unexpected geo-hazards and precipitation time distribution curve of Guangdong province

2.2 地质灾害与降雨强度

广东省崩塌、滑坡活动不仅同降雨季节性变化密切相关,而且受崩塌、滑坡活动期间降雨量的集中程度和降雨强度的影响。一般而言,连阴雨加暴雨、暴雨过程及台风期大面积降雨过程是崩塌、滑坡活动的主要时间段。从表 1 与表 2 中可以看出,当日最大降雨量达到 50~150 mm 或时最大降雨量达到 20~50 mm 时,雨水入渗就可以使岩土体达到饱和,土体一旦饱和,自重增加到极限,在重力作用下,发生崩塌、滑坡的几率比较大。

降雨强度同样对于暴雨型泥石流的发生有着决定性意义,在各种地质环境下,降雨强度都要达到相应的临界才会导致泥石流暴发。广东省最大日暴雨量一般可达 300~400 mm 以上,暴雨尤其是特大暴雨的出现经常与台风天气有关,暴雨时间一般 2~4 日。从表 1 与表 2 中可以看出,日暴雨量是影响泥石流发育的重要因素,但实际情况,1 h,乃至十几分钟、数分钟的瞬时强降雨往往与暴发泥石流有着更直接的联系。另外,降雨分配相对其他地区较为均匀,泥石流并不很发育。

表 1 地质灾害与日最大降水量关系统计表

Table 1 The statistical table of relationship between geo-hazards and the maximum daily precipitation							
日最大降水量/mm	≤20	20~50	50~100	100~150	150~200	200~250	>250
崩塌数目(个)	65	90	166	210	104	24	15
百分比(%)	9.64	13.35	24.63	31.16	15.43	3.56	2.23
滑坡数目(个)	63	90	208	189	126	90	84
百分比(%)	7.42	10.59	24.47	22.23	14.82	10.59	9.88
泥石流数目(个)	0	0	10	3	5	43	46
百分比(%)	0.00	0.00	9.35	2.80	4.67	40.19	42.99

表 2 地质灾害与时最大降雨量关系统计表

Table 2 The statistics table of relationship between geo-hazards and maximum rainfall

时最大降水量/mm	≤20	20~50	50~100	>100
崩塌数目(个)	60	180	178	7
百分比(%)	14.12	42.35	41.88	1.65
滑坡数目(个)	116	210	128	0
百分比(%)	25.55	46.26	28.19	0
泥石流数目(个)	4	9	9	1
百分比(%)	17.39	39.13	39.13	4.35

2.3 地质灾害与降雨类型

根据历史降雨实况资料 and 对应地质灾害实际发生情况,分析诱发地质灾害的降雨雨量大小与空间分布情况,通常广东省境内的降雨类型分为 3 种类型:台风降雨型、持续降雨型和局地强对流暴雨型。以下分别分析地质灾害发生的时间空间分布与不同降雨类型的相关关系,总结了不同降雨类型诱发地质灾害的特点和规律。

2.3.1 台风雨与地质灾害

台风雨一般具有如下特点:降雨过程持续时间不长,通常为 2~4 d,而降雨强度较大,最大日降雨量一般达 100 mm 以上。以影响广东省的两次台风过程

“凡亚比”(影响时间为 2010 年 9 月 20~22 日)、“尤特”(影响时间为 2013 年 8 月 14 日~8 月 16 日)为例,研究台风型降雨与地质灾害发生之间的关系。

2010 年 9 月 21 日,受台风“凡亚比”残留降水云团影响,从 21 日 0 时开始到 22 日 08 时,广东多地出现暴雨到大暴雨,其中,粤西的高州市、信宜市、阳春市遭遇超 200 年一遇特大暴雨,最大累计降水超过 800 mm(图 2 左下)。降雨引发地质灾害 255 起,造成 33 人死亡和失踪、3 人受伤,灾害数和伤亡人数分别占全年的 42.5% 和 72%,直接经济损失 22732.08 万元。

2013 年 8 月 14 日,强台风“尤特”于 15 时 50 分在阳江市阳西县溪头镇沿海地区登陆,受其影响,14 日~16 日,广东省中西部普降暴雨到大暴雨,局地特大暴雨(图 2 右下),全省平均雨量 116.1 mm,在茂名和湛江市多数地区降雨量达 250 mm 以上,其中信宜市大田顶录得全省最大雨量 704.9 mm。在 8 月 14 日到 8 月 17 日,共引发地质灾害 786 起,造成 14 人死亡,7 人受伤,直接经济损失达 5856.1 万元。同样具有灾害点多、面广的特点,同时地质灾害发生的时间与集中强降雨时间一致,空间分布上沿台风登陆后运移路径一致。

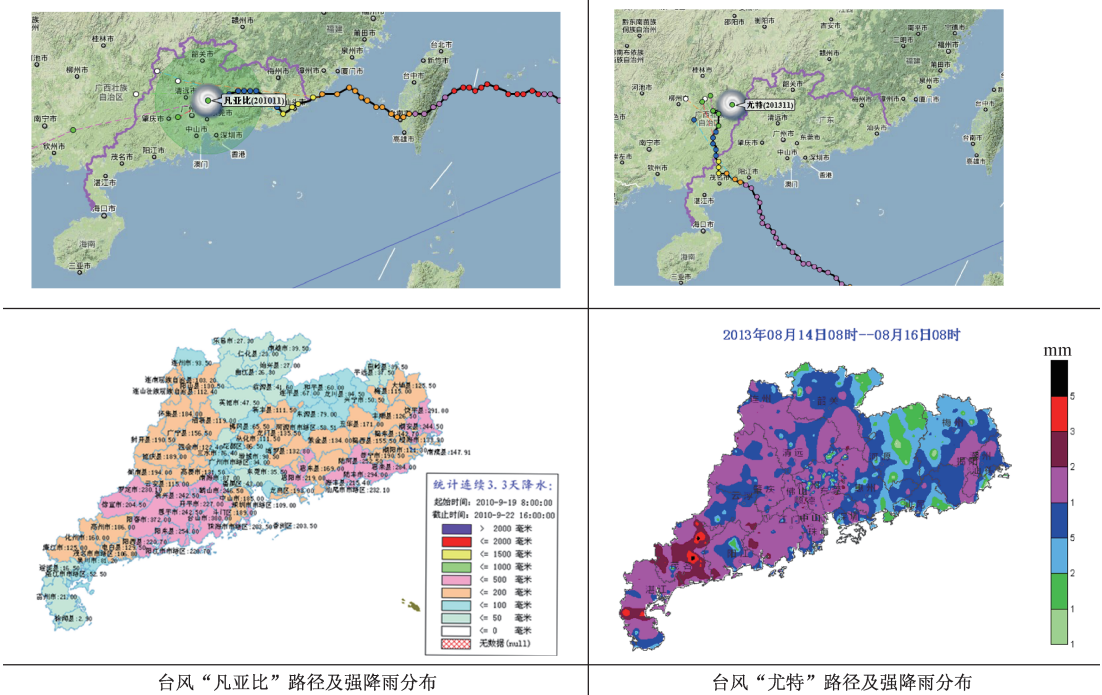


图 2 台风路径及降雨分布示意图
Fig. 2 Typhoon and rainfall distribution map

统计多年历次台风降雨过程诱发地质灾害特点可归纳为:多为群发型地质灾害,灾害规模较小,一般为

表层或浅层滑坡、崩塌。时间与空间分布上来看,属“即雨即滑”型,即地质灾害与降雨在时间上具有较好

的对应关系,地质灾害的发生滞后时间短(滞后时间不超过 12 h),基本随着降雨过程的发生而同步发生;地质灾害发生地点与台风雨移轨迹也基本一致。

2.3.2 持续降雨与地质灾害

持续降雨是诱发地质灾害最常见的一种方式,历年前汛期的“龙舟水”(一般为 5 月中旬到 6 月中旬)期间都是地质灾害的高发期,具有如下特点:过程降雨持续时间较长,一般达 10d 以上,降雨强度不均,日雨

量 10 ~ 100 mm 不等。以 2013 年 5 月“龙舟水”降雨为例。

2013 年 5 月总降雨量为 363.324 mm,日平均降雨量为 11.72 mm,其中,5 月 14 日~16 日及 5 月 18 日~22 日两次强降雨过程,持续时间长、覆盖范围广、降雨强度大,并且最强降水出现在夜间、降水位置位于山区,引发多处山体崩塌、滑坡、泥石流地质灾害,灾害主要分布在持续降雨 200 mm 以上地质灾害易发区内(图 3)。

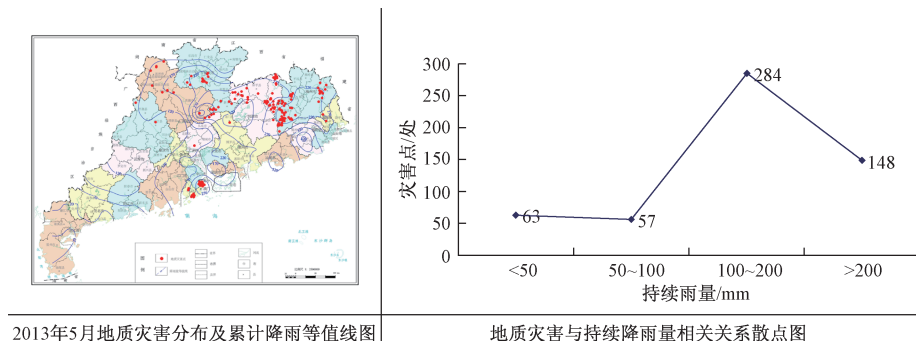


图3 地质灾害与持续降雨量相关关系

Fig.3 The relationship between geo-hazards and sustained rainfall

统计发生在龙舟水期间持续降雨引发的 563 处地质灾害点灾前过程降雨量与地质灾害关系,从图 3 中看出,当持续降雨量为 50 ~ 100 mm 时,开始出现一定数量地质灾害;当持续降雨量达到 100 ~ 200 mm 时,区内出现大量地质灾害(出现 284 处地质灾害,占总数的 51%);当持续降雨量大于 200 mm,区内地质灾害减少(出现 148 处地质灾害,占总数的 27%)。分析认为:当持续降雨量达到 50 mm 时,土体含水量增加并达到基本饱和,重量增加,边坡稳定性变差,出现一定量地质灾害;当持续降雨量 100 ~ 200 mm 时,土体含水量出现完全饱和状态,边坡易失稳,出现大量地质灾害;当连续降雨量大于 200 mm 时,由于前期土体已完全饱和,后续降雨直接对边坡岩土体的渗入已不明显,易发生灾害的边坡多数已在前期发生了,出现地质灾害反而减少。因此,当连续降雨量达 100 ~ 200 mm 时,最容易出现崩塌、滑坡、泥石流地质灾害。

一般而言,持续强降雨诱发地质灾害具有以下规律:(1)持续降雨过程中出现强降雨(如日雨量大于 100 mm),地质灾害具有瞬时发灾的特点;(2)在降雨强度不大的连续降雨过程中,地质灾害具有一定的滞后效应,即此时降雨诱发地质灾害需要一定的雨量积累,这种降雨条件下,往往可以看到深层的、相对较大的滑坡出现;(3)在同一区域地质灾害大规模发生后,即使在同样强度连续降雨的条件下,再发新的地质

灾害仍然需要一定的孕育过程。

2.3.3 局地暴雨与地质灾害的关系

在广东省,受海洋气候影响局地暴雨诱发地质灾害的情况也比较普遍,其降雨具有如下特点:影响范围小,很难预测和监控到,降雨持续时间短,一般为 1 d,甚至几个小时,降雨强度比较大,日降雨量一般达到大暴雨级别(100 mm)。以肇庆市封开县罗董镇五星村委桥塘村局地暴雨诱发崩塌地质灾害和韶关市曲江区樟市镇南约村委上杨村局地暴雨引发泥石流灾害为例进行分析。

2009 年 4 月 24 日晚 19 时起封开县罗董镇五星村委桥塘村一带局地突降特大暴雨,24 h 累计降雨 150.6 mm,前 8 d 的累计降雨量值为 156.8 mm,前期无雨,暴雨集中在 24 日 19 ~ 23 时,4 小时降雨达 136.8 mm,23 时左右,降雨导致该镇五星村一带发生 10 余处崩塌、滑坡,其中五星村委桥塘村一处滑坡造成 3 人死亡的中型地质灾害,与强降雨同步(图 4)。

2010 年 5 月 6 日,韶关市曲江区樟市镇南约村委上杨村一带突降暴雨至大暴雨,短短几小时降雨量达 330 mm,导致山洪暴发,引发泥石流,冲毁房屋 12 间,直接经济损失达 200 多万元。由于及时预警(该地区预警级别为橙色),在当日 17 时组织村民转移,19 时 30 分左右房屋倒塌,村内人员得以安全脱险。

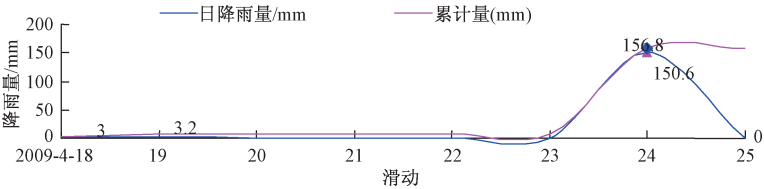


图 4 地质灾害时间与降雨量对应关系图

Fig. 4 Relationship between the occurrence of geological hazards and rainfall time

局地暴雨型降雨诱发地质灾害的规律可以归结为:地质灾害集中发生在出现局地暴雨的当日当地。但由于局地暴雨型降雨影响范围小,监测或预报难度大,且诱发地质灾害突发性强,往往躲避不及,成为地质灾害预报预警工作中的难点和重点。

可见地质灾害与降雨的关系较为复杂,不同的降雨类型引发地质灾害的规律各有不同。针对不同降雨类型,对其诱发地质灾害的特点和规律进行深入研究,对于地质灾害降雨诱发机制与预报预警模型的改进与完善具有重要借鉴意义。

3 广东省地质灾害气象预警工作实践

3.1 预警工作现状

2005~2013 年,广东省汛期地质灾害气象预报预警工作共发布 3 级以上预警 620 次,通过预报预警、群

测群防有组织地成功避险地质灾害 660 起,避免人员伤亡 52529 人,取得了较好的防灾减灾效果。但同时,广东省地质灾害气象预警工作还处于起步发展阶段,理论方法、基础信息的有效利用和业务运行能力还有待提高。如地质环境基础信息和气象共享信息精度不够;地质灾害气象预警分析模型相对还较单一,有效灵活应对可调性仍有不足;预警信息发布渠道、应急响应及宣传普及有待进一步完善等。

通过近 8 年的灾情与当时预警结果对照(表 3),发现每年汛期发生的地质灾害有 64.3%~88.4% 处在 3 级以上预警时空范围内,同时也有 55.6%~92% 的存在人员伤亡的地质灾害发生在 3 级以上预警时空范围内。因此如何提高预警信息发布受众面和响应程度,做出及时有效的应急响应,减免预警时空范围内人员伤亡很值得探讨。

表 3 历年地质灾害预警发布基本情况统计表

Table 3 The basic situation statistics of geological disaster warning issue of the years

年度	发布 3 级以上预警/次	成功避灾/起	避免人员伤亡/人	汛期地质灾害数/处		导致人员伤亡灾害点数/处	
				总数	3 级以上预警时空范围灾害数/%	总数	3 级以上预警时空范围灾害数/%
2005	45	27	27521		/		/
2006	53	332	7903	173	123/(71%)	61	54/(88.5%)
2007	44	55	2706	112	99/(88.4%)	12	8/(66.7%)
2008	64	29	2969	150	126/(84%)	25	23/(92%)
2009	53	5	2283	194	160/(82.5%)	10	8/(80%)
2010	68	27	784	552	462/(83.7%)	22	19/(86.4%)
2011	56	13	381	82	56/(68.3%)	1	0(0%)
2012	102	12	1671	171	110/(64.3%)	9	5(55.6%)
2013	135	160	6311	1479	1298(87.8%)	31	22(71.0%)
总计	620	660	52529	2913	2434/(83.6%)	171	139(81.3%)

3.2 完善途径

(1)在空间上完善地质灾害预警区划区,进一步合理细化预警分析单元,解决预警精细化问题。

一是加强全省地质灾害基础调查成果的及时有效应用,进一步细化完善地质灾害预警区划图,将全省地质灾害预警分析单元由原来的 64 个细化到 691 个,使各预警分析单元的地质环境背景值更具类聚性,计算面雨量与雨量观测站点分布更加吻合,数据更真

实^[5]。二是利用最新区域地质成果及各种地质灾害野外工作成果整合完善每个分析单元各控制点有关的地质环境因素。

(2)深化气象、水文监测预报新成果共享及运用,在提升地质灾害预警工作精度的同时在时间上实现实时临灾预警,解决预警时效问题。

目前通过信息深化合作,系统已完成全省 8 个多普勒雷达站可覆盖全省范围的陆地及近海岛屿的多普

勒雷达拼图每 30 min 更新一次的共享,同时基于广东省气象台“灾害天气短时临近预报预警业务系统 SWAN”,实现了 1~3 h 定量降水预报,该项成果为即雨即发型地质灾害的提前预警提供了科学依据。同时在日雨量(24 h 实况降雨)数据共享的基础上,通过省水文局、气象局布设在全省各中小流域共 1589 个自动雨量站的降雨监测数据实现 1 h 1 次实时同步共享,在空间上通过增加监测站点数量,使每个预警分析单元的实况雨量分析数据尽可能接近真实值,在时间上通过增加实况降雨监测数据共享频次,使地质灾害气象预警工作在分析频率上实现了由原来的一天 2 次到实时同步临灾滚动预警的长足进步。

(3) 进一步改进预警技术方法,建立适宜不同降雨条件下的预警分析模型,提高预警准确率。

在原有单一的雨量统计分析基础上,根据地质灾害发生的历史降雨量、降雨强度、降雨持续的时间和其内在地质环境因素建立耦合模型^[6-7]。新预警分析模型可抽象为:

$$T = G + R - L > T_i \quad (1)$$

式中: T 为预警分析单元内区域斜坡系统发灾指数; G 为地质背景环境条件贡献的指数; R 为降雨贡献的指数, $R = R_p + R_f$; R_p 为前期过程雨量, R_f 为预报雨量; L 为灾害发生损耗的指数; T_i 为预警等级。

新的预警模型将整个预警分析过程分成两步:

第一步是基础分析,即在每次阶段性预警工作结束(比如一次强降雨过程后)的总结验算,针对具体预警区域(分析单元)通过统计历年不同降雨条件下强降雨诱发的地质灾害事件前期过程雨量、24 h、12 h 和灾前 1~3 h 的时段雨量和区内类似降雨强度的发灾频次,结合地质环境背景、人类活动背景、地质灾害易损性评价和发灾后势能释放程度等要素的变化进行校核计算,修正后得出不同发灾概率结果下的新的临界雨量,新的预警分析模型针对每个预警分析单元计算了包括:3 h、6 h、24 h、持续降雨量(有效降雨)等即不同预警等级不同时间尺度预警临界雨量值(动态值)。

第二步是实时预警分析,在实际分析工作中,可先研判降雨类型,分析其引发地质灾害的规律(是受短历时强降雨影响还是主要受持续降雨影响),然后选用不同的时间尺度分析模型进行。实时预警分析基于基础分析结果简化为本次过程降雨监测数据(或有效降雨)和未来数 h 临近预报数据之和($R_p + R_f$)与最新设定临界雨量值(R_i)的简单大小比较,保证整个预警分析在 3~5 min 内完成,提高运算的时效性。

4 小结

(1) 广东省突发性地质灾害的发生与降雨季节性变化密切相关,主要发生在每年汛期的 4~9 月。

(2) 广东省崩塌、滑坡的发生还受降雨强度的影响,一般而言,日最大降雨量达到 50~150 mm 或时最大降雨量达到 20~50 mm 时,其发生几率比较大;降雨强度同样对于暴雨型泥石流的发生有着决定性意义。

(3) 不同降雨类型诱发地质灾害的特点和规律也不同。广东省内台风降雨型诱发地质灾害的发生滞后,时间短,属“即雨即滑”型,地质灾害发生地点与台风雨运移轨迹也基本一致;持续强降雨过程中,当持续降雨量为 50~100 mm 时,开始出现一定数量地质灾害,当持续降雨量 100~200 mm 时,出现大量地质灾害,当连续降雨量大于 200 mm 时,出现地质灾害反而减少;局地暴雨型降雨诱发地质灾害一般出现在暴雨的当日当地,突发性强。

(4) 广东省地质灾害气象预警工作运行十年来取得了较好的防灾减灾效果,但仍存在一些不足。在实际工作中还需不断完善地质灾害预警区划区,进一步合理细化预警分析单元;不断深化气象、水文监测预报新成果共享及运用;进一步改进预警技术方法,完善不同降雨条件下的预警分析模型等途径实现地质灾害精细化和实时临灾预警,提高预警准确率。

参考文献:

- [1] 刘艳辉,唐灿,吴剑波,等. 地质灾害与不同尺度降雨时空分布关系[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(3): 74~83.
LIU Yanhui, TANG Can, WU Jianbo, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of geo-hazards and rainfall in different scales [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(3): 74~83.
- [2] 刘传正,温铭生,唐灿. 中国地质灾害气象预警初步研究[J]. 地质通报, 2004, 23(4): 303~309.
LIU Chuazheng, WEN Mingsheng, TANG Can. Meteorological early warning of geo-hazards in China based on raining forecast [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(4): 303~309.
- [3] 刘传正,刘艳辉,温铭生,等. 中国地质灾害区域预警方法与应用[M]. 北京:地质出版社, 2009.
LIU Chuazheng, LIU Yanhui, WEN Mingsheng, et al.

- Area early warning method and application of geo-hazard of China[M]. Beijing: Geological Publisher, 2009.
- [4] 刘艳辉,唐灿,李铁锋,等. 地质灾害与降雨雨型的关系研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(5): 656-661.
- LIU Yanhui, TANG Can, LI Tiefeng, et al. Statistical relations between geo-hazards and rain-type [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(5): 656-661.
- [5] 魏平新,汤连生,张建国,等. 基于 GIS 的广东省滑坡灾害区划研究[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(4): 6-9.
- WEI Pingxin, TANG Liansheng, ZHANG Jianguo, et al. Study on regionalization of landslides based on GIS in Guangdong province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005, 32(4): 6-9.
- [6] 魏平新,杨森林. 广东省短时气象地质在预警的实现及意义[J]. 地质灾害与环境保护, 2011(2): 54-59.
- WEI Pingxin, YANG Senlin. Realization and significance of early-warning of geo-hazard in short-time meteorology in Guangdong province [J]. Journal of Geological Hazard and Environment Preservation, 2011(2): 54-59.
- [7] 刘传正. 突发性地质灾害的监测预警问题[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(2): 1-4.
- LIU Chuazheng. The problem of early warning of the abrupt geo-hazards based on the monitoring [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2001, 28(2): 1-4.
-
- (上接第 137 页)
- [6] 周玉才. 江西省地质灾害-气象预警预报系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 67-75.
- ZHOU Yucai. Early-warning system of geo-hazard in Jiangxi province based on weather forecast [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(2): 67-75.
- [7] 殷坤龙,张桂荣,等. 基于 WebGIS 的浙江省地质灾害实时预警预报系统设计[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(3): 19-23.
- YIN Kunlong, ZHANG Guirong, et al. A real time warning system design of geo-hazards supported by WebGIS in Zhejiang province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2003, 30(3): 19-23.
- [8] 周明浪. 浙江温州滑坡地质灾害预警方法及应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 67-70.
- ZHOU Minglang. Method and application of landslide geological hazard early-warning in Wenzhou city [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(2): 67-70.
- [9] 苗爱梅,郝寿昌,武捷,等. 基于 GIS 的地质灾害气象预警系统研究[J]. 山西气象, 2007, 81(4): 24-26.
- MIAO Aimei, HAO Shouchang, Wu Jie, et al. Study of meteorological forecasting and warning system of geological Hazards [J]. Shanxi Meteorological Quarterly, 2007, 81(4): 24-26.
- [10] 朱良峰,吴信才等. 基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 53-54.
- ZHU Liangfeng, WU Xincan, et al. Risk zonation of landslide in China based on information content model [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004, 26(3): 53-54.