

文章编号: 1008-2786-(2006)4-416-08

山地地质灾害气象等级预报(预警)模型应用

薛根元¹, 诸晓明², 王镇铭¹

(1. 浙江省气象局, 浙江 杭州 310002 2 浙江省绍兴市气象局, 浙江 绍兴 310002)

摘要: 浙江省是一个山地地质灾害多发地区, 这些灾害包括泥石流、滑坡、崩塌等, 它们的发生大多与降水有关。在分析浙江省地质灾害发生规律的基础上, 探讨了地质灾害气象等级预报(预警)模型的主要结构、功能和特点, 重点讨论了该模型在台风强降水引发的地质灾害预报(预警)中的应用情况。该模型应用于0414号台风“云娜”、0418号台风“艾利”影响期间浙江省地质灾害的预报(预警), 取得了较好的效果。

关键词: 数值预报; 地质灾害; 预报预警; 应用研究

中图分类号: P45, P694

文献标识码: A

浙江省素有“七山一水二分田”之称, 是自然灾害多发、重发地区, 其中气象灾害或其衍生占90%以上。特殊的地理、地质和气候环境使全省山体滑坡、崩塌、泥石流等山地地质灾害频繁发生, 特别是强降雨或长时间持续降雨易引发滑坡、泥石流等地质灾害^[1,2]。近年来, 地质灾害事件频繁发生, 据省国土部门统计, 1999~2003年因灾死亡167人, 直接经济损失超过5.6亿元, 其中2002年、2003年就分别发生201起和62起, 因此地质灾害已成为浙江省的重要自然灾害之一。

近年来, 许多学者研究了山地地质灾害的发生规律和评价方法^[3-6]。刘传正讨论滑坡稳定性评价问题^[7], 唐川等对泥石流堆积扇形危险度分区评价进行了数值模拟^[8], 王协康等提出关于山区流域坡面流的一种近似解^[9], 徐进军等通过建立岩崩滑坡运动模型, 提出岩崩位移、速度和加速度的模拟方法^[10], 周必凡把泥石流视为固体颗粒散体重力流, 通过对粘性泥石流阻力和运动方程验证分析^[11], 构造出粘性泥石流模型, 提出相应的运动方程^[12]。一些国外学者对降水引发地质灾害进行了研究^[13], 这些均为地质灾害的预报奠定了基础。

引发地质灾害的因素很多, 包括地质构造、水源

条件和激发因素等, 由于其因果关系多数为非线性, 故它的预报是个复杂问题。鲁小兵等提出基于神经网络的泥石流预测方法^[14], 日本学者也提出泥石流的预报方法^[15]。刘传正认为, 由于地质灾害与降水关系密切, 故降水强度、持续时间等可用于地质灾害预报^[16]。孙广忠认为将变形监测与气象因素结合起来可提高预报准确率^[17]。郁淑华认为大暴雨是诱发泥石流灾害的重要原因, 进而提出用大暴雨预报作地质灾害预报的思路, 并利用ETA预报产品释用制作四川盆地地质灾害预报^[18], 傅昊等则通过遥感得到的云顶亮温TBB预测降水来作地质灾害预报^[19]。上述模型多数是针对某一特定泥石流或山体滑坡点进行。浙江省气象、国土部门联合开展全省(区域)地质灾害等级预报, 就是建立基于MM5数值预报的地质灾害等级预报(预警)模型, 利用多种载体发布信息, 在0414号“云娜”台风和0418号“艾利”台风强降水引发的地质灾害预报(预警)中发挥了显著作用。本文在探讨浙江省地质灾害发生特点、分布和成因的基础上, 分析了该预报(预警)模型结构、功能和特点, 并讨论了在台风暴雨引发的地质灾害预报(预警)中的应用情况。

收稿日期(Received date): 2005-12-17; 改回日期(Accepted): 2006-03-25.

基金项目(Foundation item): 浙江省重点科研项目(编号2003C23021)和浙江省科研项目(2004C33082)。[Zhejiang Province pivot science and technology item (No. 2003C23021) and general item (No. 2004C33082)]

作者简介(Biography): 薛根元(1961-), 男, 浙江湖州人, 高级工程师, 研究方向为天气分析与预报。Email: xgy0129@yahoo.com.cn [Xue Genyuan (1961-), male born in Zhejiang Province. Senior engineer. Professor research interests include when weather analysis and forecast.]

1 浙江省地质灾害发生的基本特点

1.1 浙江省地质灾害的等级划分

浙江省地质灾害等级的划分按照两种方式进行^[20](表 1)。第一种方式根据已经出现的地质灾

害所造成的影响来划分,分别划分为较小、中等、较强和特大四级;第二种方式按照临灾险情划分,主要依据受威胁人数,或者可能造成的人员伤亡划分,与第一种划分方法相比,这种划分突出事先对可能出现的地质灾害影响程度的预估。

表 1 浙江省地质灾害强度划分表
Table 1 The sorts of geological disasters intensity in Zhejiang Province

第一种划分			第二种划分		
类型	规模	造成的经济损失与人员伤亡	类型	规模	受威胁人数或可能造成的损失
型	较小	死亡 ≤ 3人或直接经济损失 < 100万元	型	一般	受威胁人数 < 100人或可能直接经济损失 < 500万元
型	中等	死亡 4~ 10人或直接经济损失 100~ 500万元	型	较大	受威胁人数 100~ 500人,或可能直接经济损失 500~ 5 000万元
型	较强	死亡 11~ 30人或直接经济损失 500~ 1 000万元	型	重大	受威胁人数 501~ 1 000人,或可能直接经济损失 5 000万元~ 1亿元
型	特大	死亡 ≥ 31人或者直接经济损失 > 1 000万元	型	特大	受威胁人数 > 1 000人,可能造成的直接经济损失 > 1亿元

1.2 主要地质灾害及分布

浙江省大部分地区都有潜在地质灾害存在^[21]。据调查¹⁾,全省共有地质灾害点 5 480处,其中滑坡 3 513处、崩塌 1 511处、泥石流 242处、地面塌陷 214处,威胁人口 13 44万人,潜在财产损失 20 3亿元。丽、台、温、衢、甬、杭和绍等 7市以山体滑坡为主,尤以丽水市为典型多发区,其中滑坡、崩塌和泥石流分别占全市地质灾害总数的 75 3%、12 5%和 8 2%,1980年代以来该市共发生危害较大的地质灾害百余起,死亡超过 180人。杭嘉湖地区地面沉降严重,累计沉降量 > 100 mm的面积达 2 500 km²,最大累计沉降量为 860 0 mm。

1.3 地质灾害发生的主要成因

浙江省地质灾害频发的根本原因在于特定的地质条件,如丽水市^[22]位于武夷山系腹地,属山地地貌,除山间盆地和河谷外,海拔高度一般都 > 500 m。地势呈西南高,东北低,地形起伏差异大。坡陡谷深,形成众多的三面群山环抱一面开阔的“V”字型沟谷,利于山坡物质势能释放与能量转换,当降水强度较大时,易形成滑坡、泥石流等地质灾害。

气象条件是地质灾害突然暴发的重要因素^[23 24],其中持续降水或短时强降水是导致潜在地

质灾害发生的最关键因素。据调查统计,浙江省发生的滑坡、泥石流和崩塌等地质灾害中,90%以上是由降水直接诱发的。浙南较早进入雨季,温州、丽水 and 衢州市南部常在 4~ 5月就频繁出现地质灾害;6月浙江中北部地区进入梅汛,地质灾害多发区域也移至该地区;7~ 8月主要出现在浙西地区,因为该地区易出现局地强降水而诱发地质灾害,如 2002– 08– 15发生于衢州山区的大型山体滑坡就是这种情况;8~ 9月东部沿海地区易发生地质灾害,主要是由台风、东风波等热带系统带来的强降水所引发。

2 地质灾害气象预报(预警)模型

2.1 地质灾害气象预报(预警)等级

突发性地质灾害的气象等级预报是根据地质灾害发生的基本规律,通过对某一区域未来一个时段(通常为 24 h或 48 h)降水预报,结合该区域地质灾害的潜在变化,应用统计学、动力学和统计– 动力或数值模式方法,对该时段内地质灾害发生机率作出的一种预报^[25]。浙江省突发性地质灾害气象等级预报(预警)分为五个等级,详见表 2。

1)浙江省国土厅《2003年浙江省地质环境公报》。
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表 2 浙江省突发性地质灾害发生概率预报(预警)表

Table 2 Forecast on probabilities of paroxysmal geological disasters in Zhejiang Province

地质灾害预报(预警)级别	一级	二级	三级	四级	五级
预报概率	0.0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0
发生的可能性	小	较小	较大	大	很大
表示颜色	—	—	黄色	橙色(预警)	红色(警报)
防御措施	—	—	启动应急预案,提醒灾害点附近人员密切关注天气变化,以防强降水发生	启动应急预案,停止灾害隐患点附近的户外作业,准备灾害隐患点附近人员转移	启动应急预案,紧急疏散灾害隐患点附近人员,关闭有关道路,组织人员准备抢险

2.2 地质灾害气象预报(预警)模型

建立浙江省地质灾害概率预报模型所用资料包括: (1) 1990~2003年地质灾害资料; (2) 地质灾害点密度分布; (3) 土壤类型及利用状况; (4) 数字高程模型(DEM); (5) 断裂构造及地层岩性; (6) 1990~2001年降雨量分布; (7) 植被覆盖状况。模型的核心是一个基于SPV-ANN/GIS的突发性地质灾害预报(预警)系统LAPS(图1),它是基于GIS的人工神经网络型的地质灾害预报(预警)系统^[26](图1)。LAPS系统启动后,根据前期降水实况和未来降水预报,通过本模型对全省(或某一特定区域)滑坡、泥石流和崩塌等地质灾害发生概率进行计算,输出地质灾害发生概率的空间分布,其空间分辨率为1 km×1 km。

2.3 中尺度数值预报模式MM5的基本特点

对于中尺度数值预报,运动方程中的静力平衡不适用,须用非静力平衡假设。浙江省气象台的MM5V3.5模式是一个中尺度数值预报模式,除采用非静力平衡外,还在物理过程参数方案、网格嵌套、资料四维同化等作了改进。模式考虑了高分辨的地形和陆面状况等局地强迫动力因子,以及复杂的物理参数化方案。该模式垂直方向分23层,水平方向用三重嵌套,5'地形资料,内层格距15 km×15 km,覆盖范围包括华东大部分周边地区和西太平洋西部;中层格距45 km×45 km,覆盖范围包括华东、华南、华中、华北和西太平洋西部;外层格距135 km×135 km,覆盖欧亚大陆和西北太平洋。积云对流参数化采用Beths-Miller方案。边界用NCEP预报场资料;初值用其再分析资料,并与高空、地面资料作同化处理;时间步长90 s,预报时效72 h,为配合作地质灾害预报,故按6 h间隔输出结果。

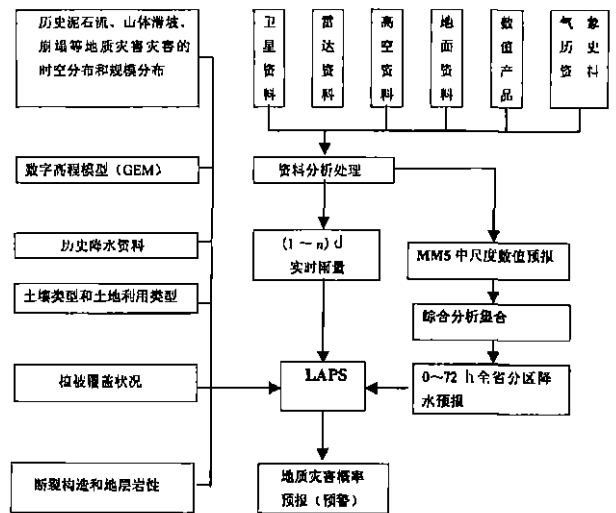


图 1 浙江省突发性地质灾害气象预报(预警)模型

Fig. 1 The meteorological forecast model on paroxysmal geological disasters in Zhejiang Province

2.4 LAPS与MM5的耦合

根据汛期降水特点和地质灾害易发生季节,该系统运行日期为每年04-20~10-31。同时,考虑到春季会有短时强降水出现,主汛期过后东南沿海也会受秋季台风或东风波等“东向”系统产生的强降水影响,故除上述时段外,凡预报“局部地区降雨强度≥50 mm/h或降雨持续7 d以上、累计雨量≥300 mm”时,也启动该地质灾害气象预报(预警)。

省气象台与省国土信息中心建立了一条2M带宽的宽带。预报(预警)流程为:省气象台作出未来24 h全省降水量预报,当预计有暴雨、台风暴雨等强降水时,给出未来24 h、48 h降水量和台风路径、强度预报。省国土信息中心通过LAPS系统作出未来72 h发生地质灾害的区域和强度预报。气象、国土专家会商预报结果,确定预报意见。通过多种载体传递预报信息。预报有≥3级的高危险灾害时,及

时启动应急预案, 做好人员转移准备。

2 5 2004年浙江省地质灾害的预报情况

2004年是浙江省地质灾害多发、重发的一年。

按照预案, 从 04- 20开始, 省国土资源厅和气象
联合发布地质灾害预报 (预警), 至 10- 31结束, 总
发布情况见表 3。

表 3 2004年发布的突发性地质灾害情况总表
Table 3 The paroxysmal geological disasters promulgated in 2004

时间	地质灾害预报等级			降水天气过程类型描述
	3级区域 (县次)	4级区域 (县次)	5级区域 (县次)	
5月	45	23		雨季、前汛期区域性大到暴雨、局部大暴雨过程
6月	168	70		梅汛期区域性或全省性大到暴雨、局部大暴雨过程
7月	115	36		梅汛期暴雨、局部大暴雨; 台风“蒲公英”带来强降水
8月	63	26	10	台风“云娜”、“艾利”带来全省性暴雨、局部特大暴雨
9月	34	96		台风“海马”影响、近海低压云团、局地性雷雨

3 诱发地质灾害的气象条件预报预警

3 1 在“云娜”台风暴雨诱发的地质灾害预报预警中的应用

0414号台风“云娜”生成于 08- 08T20 00时西太平洋洋面上, 10T05 00发展成强热带风暴 (985 hPa 11级), 11T02 00加强为台风 (970 hPa 12级以上), 12T12 00在温岭石塘登陆时中心气压降至 950 hPa 最大风速达到 45 m /s。台风登陆后穿越浙南, 先后进入赣北、鄂东南部, 并消失在湘东北 (图 2)。受其影响, 11T08 00~ 14T08 00浙江省出现大范围强降水, 台州、温州等地普降特大暴雨, 其中台州市平均过程雨量达到 306 mm (图 3), 台州黄岩为 458 mm, 乐清礅头水文站则高达 916. 7 mm, 其中日最大雨量 874. 7 mm (12T08 00~ 13T08 00)。

MM 5V3. 5模式对该台风的路径、风力和降水等都作出准确预报。图 4a和图 4b分别为以 11T20 00为起点的 24 h和 48 h地面气压和降水预报场, 其主要特点是: (1)对台风中心的移动和登陆点预报准确, 这对预测强降水区至关重要; (2)预报 24 h内有强降水, 其中台、温、丽 24 h降水强度分别达到暴雨至大暴雨, 而北雁荡山区、括苍山区和丽水市东部山区有特大暴雨, 这与实况一致; (3)随着台风登陆, 24~ 48小时降水进一步加大, 与前 24 h相比, 主要降水区移至浙江沿海, 特别是一些地质灾害潜在危险区。

根据 MM 5预报结果, LASP模式给出全省 12 T 14

00~ 13 T 14 00和 13 T 14 00~ 14 T 14 00时地质灾害气象等级预报 (图 5a b)。受强降水影响, 全省地质灾害等级普遍较高, 温州、台州和丽水地区一般都在 3~ 4级, 个别地方达到了 5级, 已处于高发状态。省国土部门组织 551个组对高等级地区 5 480个地质隐患点进行监测与检查, 对 3级以上的 731处地质灾害隐患点采取撤离人员措施, 成功避险 302人。

比较重大的地质灾害事件及预报 (预警) 情况主要有: (1) 13日强降水导致台州市黄岩区富山乡双坑村出现 10 000 m³滑坡 (非隐患点突发性滑坡), 13间房屋被压埋, 28间受损。根据 4级危险区的预报, 当地政府及时转移村民 78人, 仅有 1人失踪。(2) 台州市黄岩区富山乡李家山村 13日出现 20 000 m³滑坡, 造成 23间房屋倒塌, 当地政府根据危险等级 4级的预报, 迅速组织转移人员 11人, 确保了无一人伤亡; (3) 12日晚, 永嘉县张溪乡张溪村桥头发发生 250 m³的滑坡, 根据 4级预报, 及时组织转移人员 10人, 无人员伤亡; (4) 12日晚, 永嘉县黄南乡西山村出现 1 500 m³的崩塌, 由于在 4级预报区内, 及时转移人员 33人, 确保无一人伤亡; (5) 12日晚, 乐清市智仁乡赵家疔村发生 1 200 m³的滑坡, 根据 4级的等级预报, 组织 45人转移, 确保无人伤亡^[27]。另外, 乐清市龙西乡 (礅头站所在乡) 12日上午起出现强降水, 特别是台风登陆后 6 h出现极强降水, 造成山体滑坡, 由于地质灾害调查中未查出这一隐患点, 故尽管预报等级较高 (5级), 但仍因未及时撤离人员而出现人员伤亡或失踪, 这是一起由于极强降水

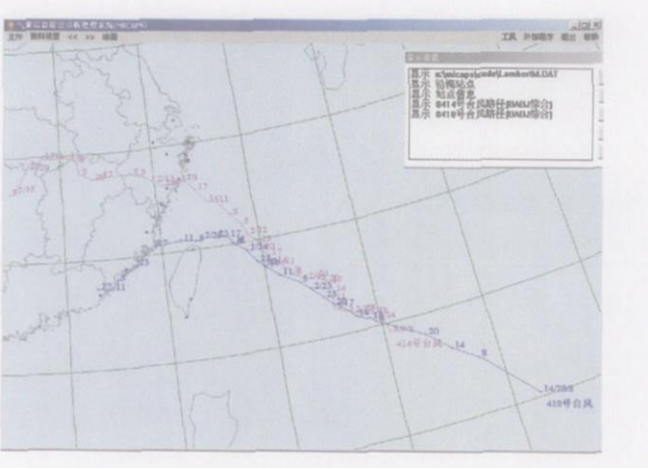


图 2 0414号台风“云娜”与 0418号台风“艾利”路径图

Fig 2 The traces of 0414th typhoon Rananim and 0418th typhoon area

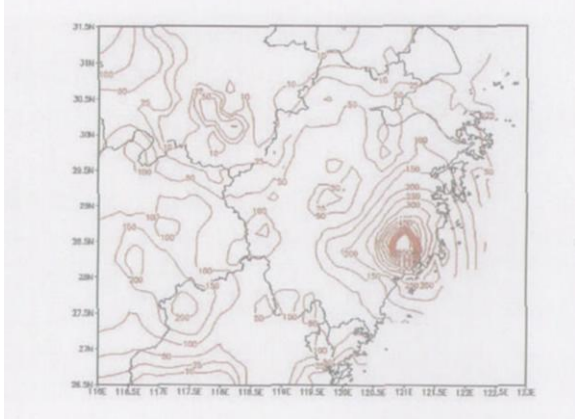
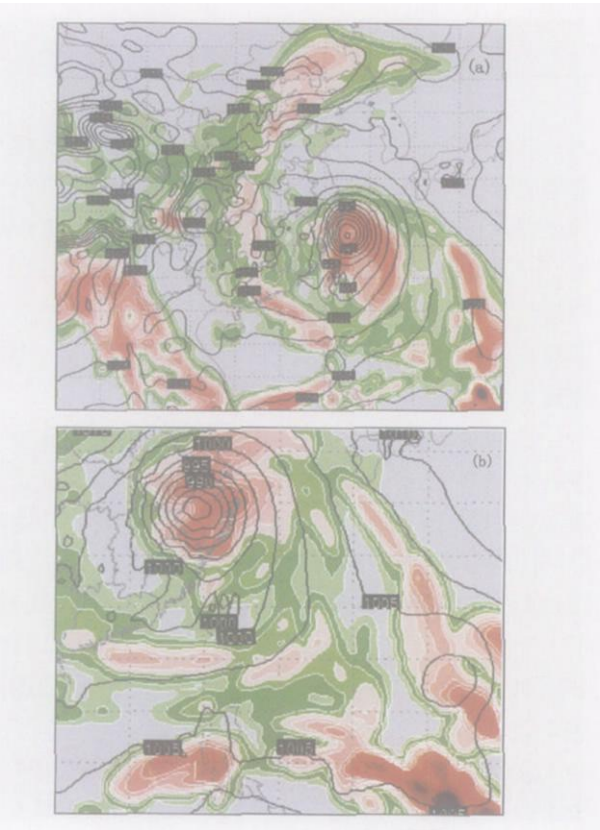


图 3 华东地区受“云娜”台风影响的过程降水量分布 (08- 11T08 00~ 14T08 00)

Fig 3 The rainfall distribution engendered by Ran in an (August 1 1 08 00~ 14 08 00)



(a 预报时段: 08- 11T20 00~ 12T20 00

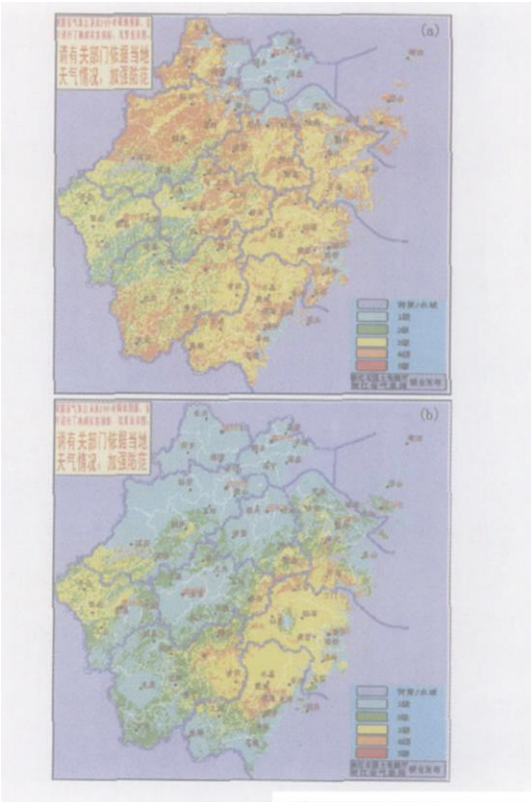
h 预报时段: 08- 12T20 00~ 13T20 00)

图 4 MM 5的地面气压场和降水量预报图
(单位: mm. 起报期: 08- 11T20 00)

(a forecast period of time August 11 20 00~ 12 20 00
h August 12 20 00~ 13 20 00)

Fig 4 The surface press field and rainfall distribution predicted by means of MM 5

(unit mm. Begin time: 11 Augus20 00)



(a 08- 12 T14 00~ 13 T14 00

b 08- 13 T14 00~ 14 T14 00)

图 5 08- 11由 LAPS系统作出的浙江省
地质灾害气象等级预报图

(a August 12 14 00~ 13 14 00

b. August 13 14 00~ 14 14 00)

ig 5 The meteorological grades on paroxysmal geological disasters in Zhejiang Province forecasted by LAPS system in 11 August

而引发地质灾害的典型事例。

3 2 在“艾利”台风暴雨诱发的地质灾害中的应用

0418号台风“艾利”08-20 T08 00生成于菲律宾以东洋面, 21 T08 00加强成强热带风暴, 20 00发展成台风, 穿过台湾北部后于 25 T16 30登陆福建省福清(965 hPa 36 m/s), 以后折向西南方向移动(见图 2), 26 T02 00减弱为强热带风暴, 8 00成为热带风暴, 14 00变为热带低压。“艾利”台风虽登陆于闽中沿海, 但对浙东南有较严重影响, 23 T08 00~26 T08 00该地区出现强降水, 其中温州和台州大部、丽水局部出现大暴雨, 单站最大为瑞安林溪水水库水文站 323 mm(图 6), 导致 24起地质灾害事件的发生。

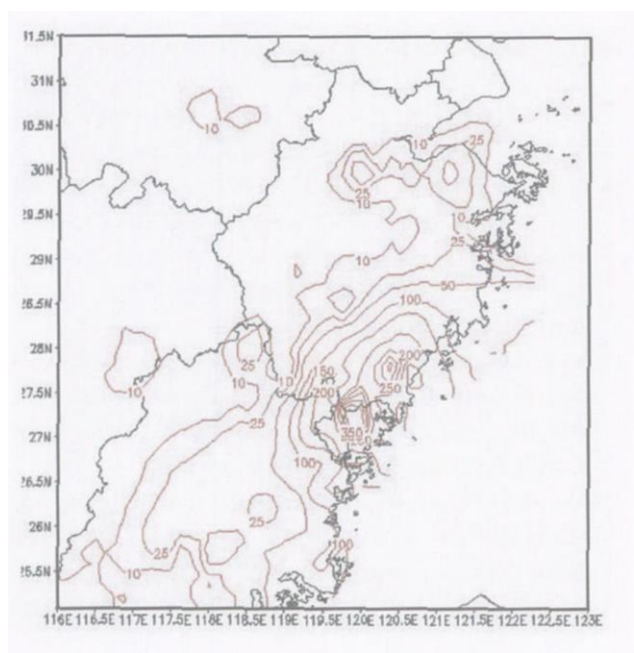
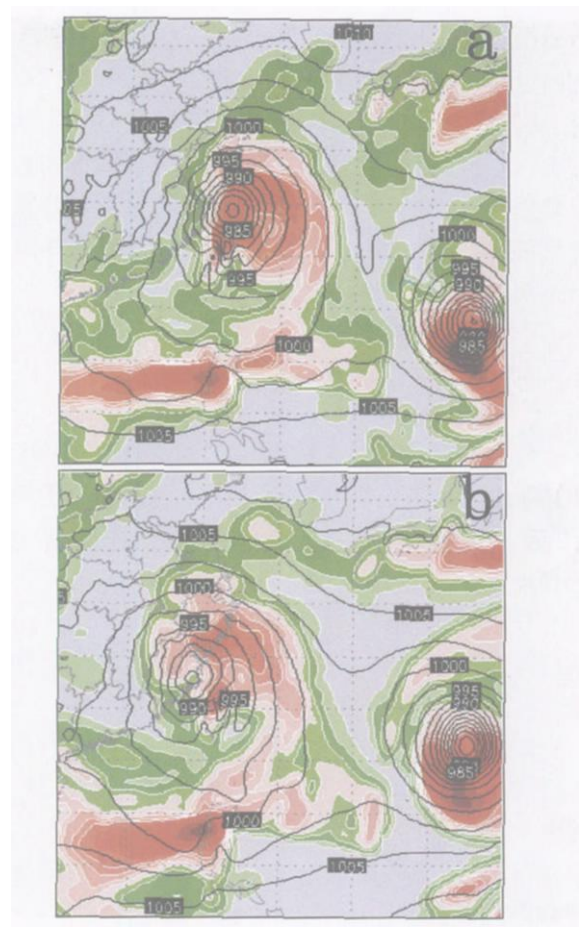


图 6 0418号台风“艾利”影响期间浙闽地区雨量分布(08-23 T08 00~26 T08 00)

Fig 6 Rainfall distribution in Zhejiang and Fujian Provinces during 0418th typhoon Aere happening

图 7给出对这种潜势预报影响最大的两个时刻MM5预报结果。本模型作出的地质灾害气象等级预报结果为: 预报 24日 4 5级区域分别为 22个和 7个; 预报 25日 3 4 5级区域分别达到 4个、22个和 9个, 实况当日受“艾利”台风影响, 降水最为明显, 出现地质灾害的机率也最大; 预报 26日 3 4级分别为 5个和 13个, 但无 5级出现; 27日 3 4级分别为 6个和 10个, 表明地质灾害出现的机率较前两天有所下降。



(a 24 T08 00~25 T08 00 h 24 T20 00~25 T20 00)

图 7 MM5的 24 h气象和降水量预报

(a forecast period of time 24 August 08 00~25 08 00 h 24 August 20 00~25 20 00)

Fig 7 The surface press field and rainfall distribution in future 24 hours predicted by means of MM5 (unit mm. Begin time: 11 August20 00)

“艾利”台风影响期间, 浙江省共检查地质灾害隐患点 2 843处、对 834处地质灾害隐患点的居民组织撤离和疏散(撤离人员 32 216人), 虽受强降水影响全省出现 24起地质灾害, 但未发生因地质灾害引起的人员伤亡。重大地质灾害事件有: (1) 25T05 00发生“艾利”影响下的第一次地质灾害, 苍南县巴曹镇北岭村乡村公路边发生 1 000 m³的山体崩塌, 由于在 4级预报区内, 事先撤离可能影响范围内所有的 30人, 灾害发生时无一人伤亡; (2) 25日下午, 温州市瓯海区泽雅镇的鹤岙村、呈岸村、龙头村、垟坑村、大川村和坑源村先后有 5起地质灾害发生, 其中坑源村是由于残坡积层覆盖与基岩斜坡陡峭且不稳定, 在强降水的作用下产生了滑坡, 且滑坡量有 4 000 m³, 但由于都落在 3 4级预报区中, 当地

政府组织人员撤离,结果无一人伤亡;(3)25日瑞安市西龙村、枫岭—桂峰公路、凤凰山、壳菜岙村、小岭村、吴源村、元底村和枫树头村等8处先后发生地质灾害,由于根据等级预报事先组织了撤离,也未造成人员伤亡;此外,25日泰顺县先后还有8起地质灾害事件,由于均落在3~4级发生潜势区,当地采取人员撤离措施,故未出现人员伤亡。

4 结语

本文在分析浙江省地质灾害发生规律的基础上,阐述了突发地质灾害气象预报系统,该系统用于2004年“云娜”、“艾利”台风影响期间浙江省内地质发生的预报预警,取得了较好的效果。主要结论有:

1 浙江省地质灾害等级有两种划分方式,分别按已经出现的地质灾害所造成的影响或危险情划分,各分为四个等级。

2 浙江省大部分地区都有潜在地质灾害存在。地质灾害频发的根本原因在于特定的地质条件,同时气象条件是地质灾害突发的重要因素。泥石流、山体滑坡、崩塌等山地地质灾害大多与降水强度和持续时间有关。

3 浙江省地质灾害气象等级预报系统是根据地质灾害发生的基本规律,通过对某一区域未来一个时期降水预报,结合该区域地质灾害的潜在变化,应用数理方法建立的一个对未来一定时间内地质灾害发生机率进行预报的预报预警系统。

4 在MM5对未来时段内降水作出准确预报的基础上,地质灾害气象等级预报系统对0414号台风“云娜”和0418号台风“艾利”所引发的地质灾害作出了准确的预报,当地采取了多种应急措施,有效地防御了地质灾害可能带来的损失和伤亡。

参考文献 (References)

- [1] Du huiliang, Niu Xuexing, Yin Kunlong. Meteorological degree forecast for geological disaster [A]. In: The Corpus on Geological Disaster Meteorological Forecast and Alarm [C]. Beijing: Meteorological Press, 2004. 125~126 [杜惠良, 钮学新, 殷坤龙. 地质灾害的气象等级预报 [A]. 见: 地质灾害气象预报预警技术文集 [C]. 北京: 气象出版社, 2004. 125~126]
- [2] Liu Tingjie, Shi Neng, Gu Junqiang. A statistical analysis of typhoon disasters [J]. *Journal of Catastrophology*, 2002, 17(4): 64~71 [刘庭杰, 施能, 顾骏强. 浙江省台风灾害的统计分析 [J]. 灾害学, 2002, 17(4): 64~71]
- [3] Zhou Jinxing. Review about forecast technology on mud-rock flow dis-

- aster made by mountain flood [J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(6): 527~532 [周金星. 山洪泥石流灾害预报预警技术评述 [J]. 山地学报, 2001, 19(6): 527~532]
- [4] Wang Chenghua, Tan Wanpei, Luo Xiaomei. Research on regionalization of the mountain landslide fatality in valley—A case study in Sunshui river [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(1): 31~36 [王成华, 谭万沛, 罗晓梅. 小流域滑坡危险性区划研究——以孙水河为例 [J]. 山地学报, 2000, 18(1): 31~36]
- [5] Jia Tiefei, He Yu, Li Rongquan. 4th century environment of mountain mud-rock flow growth in east China and damping countermeasures [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(2): 104~109 [贾铁飞, 何雨, 李容全. 中国东部山地泥石流发育的第四纪环境背景及减灾对策 [J]. 山地学报, 2000, 18(2): 104~109]
- [6] Ma Li, Zong Xiangping, Xiang Bo. Analysis on meteorological conditions with mountain landslide in Chongqing City [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(2): 246~249 [马力, 曾祥平, 向波. 重庆市山体滑坡发生降水条件分析 [J]. 山地学报, 2002, 20(2): 246~249]
- [7] Liu Chuazheng. On some basic problems in evaluation of slope stability [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1996, 7(3): 55~59 [刘传正. 论滑坡稳定性评价的几个关键问题 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(3): 55~59]
- [8] Tang Chuan, Zhou Juqian, Zhu Jing, et al. A study on the risk zoning of debris flow on alluvial fans by applying technology of numerical simulation [J]. *Journal of Catastrophology*, 1994, 9(4): 7~13 [唐川, 周钜乾, 朱静, 等. 泥石流堆积扇危险度分区评价的数值模拟研究 [J]. 灾害学, 1994, 9(4): 7~13]
- [9] Wang Xiekang, Fang Duq, Cao Shuyou. An approximate analytical solution for overland flow in mountain watershed. *Mountain Research*, 1998, 16(4): 263~267 [王协康, 方铎, 曹叔尤. 山区流域坡面流的一种近似解 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1998, 16(4): 263~267]
- [10] Xu Jinjun, Ding Jiongwan. Establishment of the kinematic model of the rock falls and landslides [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1996, 7 (suppl): 42~48 [徐进军, 丁窘田. 岩崩滑坡运动模型的建立 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(增刊): 42~48]
- [11] Zhou Bifan. Experiment and verification on equations of resistance and movement of viscous debris flows [J]. *Journal of Mountain Research*, 1999, 17(1): 55~58 [周必凡. 粘性泥石流阻力和运动方程验证分析 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1999, 17(1): 55~58]
- [12] Zhou Bifan. Experiment and verification on model and movement equations of viscous debris flows [J]. *Chinese Science (B Series)*, 1995, 25(2): 196~203 [周必凡. 粘性泥石流模型与运动方程及验证 [J]. 中国科学 (B辑), 1995, 25(2): 196~203]
- [13] Burell E, Montz Eve, Guntrest F. Flash flood mitigation: Recommendations for research and applications [J]. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 2002, 4(1): 15~22
- [14] Lu Xiaobing, Li Deji. Debris flow forecast based on neural net [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1996, 5(3): 47~50 [鲁小兵, 李德基. 基于神经网络的泥石流预测 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 47~50]
- [15] Gao Qiaobao. Forecast for danger zone with debris flow cumuli [A]. In: The 17th natural disasters corpus [C]. 1988: 133~148 [高桥堡. 土石流的堆积危险范围的预测 [A]. 第17回自然灾害总会

- ンボシラム [C]. 1988. 133~ 148]
- [16] Liu Chuanzheng Review on meteorological forecast about geological disasters in China[J]. *Geological Exploration For Non-ferrous Metals* 2004 7(7): 17~ 18[刘传正. 中国地质灾害气象预警与应用 [J]. 岩土工程界, 2004, 7(7): 17~ 18]
- [17] Sun Guangzhong Succeeding signification in forecasting Xintan Landslip and distortion surveillance[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control* 1996 7(Suppl): 1~ 4[孙广忠. 新滩滑坡预报成功的意义及变形监测 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996 7(增刊): 1~ 4]
- [18] Yu Shuhua Xu Huiming He Guangbi Forecast system for mud-rock flow and landslip in Siduan basin interpreting ETA numerical forecast products[A]. In *The Corpus on Geological Disaster Meteorological Forecast and Alarm* [C]. Beijing Meteorological Press 2004 50~ 52[郁淑华, 徐会明, 何光碧. ETA 数值预报产品释用四川盆地泥石流滑坡预报系统 [A]. 见: 地质灾害气象预报预警技术文集 [C]. 北京: 气象出版社, 2004 50~ 52]
- [19] Fu Hui Li Guocui Yue Yexia TBB cloud top temperature data process and its application[A]. In *The Corpus on Geological Disaster Meteorological Forecast and Alarm* [C]. Beijing Meteorological Press 2004 78~ 84[傅昊, 李国翠, 岳艳霞. TBB 亮温资料的处理及应用 [A]. 见: 地质灾害气象预报预警技术文集 [C]. 北京: 气象出版社, 2004 78~ 84]
- [20] Zhong Dunlun Wei Pangqiang Xie Hong Principles and index of the regionalization of debris flow danger degree in the upper reaches of Changjiang River[J]. *Mountain Research*, 1994, 12(2): 78~ 83 [钟敦伦, 韦方强, 谢洪. 长江上游泥石流流危险度区划的原则与指标 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1994 12(2): 78~ 83]
- [21] Wang Shenfa Wang Yuanga Hu Zhenzhen The actuality of mountain landslips in Zhejiang Province and their formation reasons[J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 373~ 376[王深法, 王援高, 胡珍珍. 浙江山地滑坡现状及成因 [J]. 山地学报, 2000 18(4): 373~ 376]
- [22] Pan Yaying Wu Jianxi Sun Lili Analysis on geological disasters in Lishui City and their forecast and prevention[A]. In *The Corpus on Geological Disaster Meteorological Forecast and Alarm* [C]. Beijing Meteorological Press 2004 180~ 183[潘娅英, 吴建锡, 孙莉莉. 丽水市地质灾害分析及预测防御 [A]. 见: 地质灾害气象预报预警技术文集 [C]. 北京: 气象出版社, 2004 180~ 183]
- [23] Hong Yi Liao Liangqing Cai Zhenqun Analysis on the meteorological reasons causing geological disasters[A]. In *The Corpus on Geological Disaster Meteorological Forecast and Alarm* [C]. Beijing Meteorological Press 2004 71~ 73[洪毅, 廖良清, 蔡振群. 地质灾害气象因素成因分析 [A]. 见: 地质灾害气象预报预警技术文集 [C]. 北京: 气象出版社, 2004 71~ 73]
- [24] Chen Haiyan Pan Xiaofan Wu Lihong *et al* Analysis on the meteorological characteristics about mud-rock flow in Zhejiang Province [A]. In *The Corpus on Geological Disaster Meteorological Forecast and Alarm* [C]. Beijing Meteorological Press 2004 120~ 121[陈海燕, 潘小凡, 吴利红, 等. 浙江泥石流气象特征分析 [A]. 见: 地质灾害气象预报预警技术文集 [C]. 北京: 气象出版社, 2004 120~ 121]
- [25] Xu Qiang Huang Runqiu Xiang Xiqiong The time and area of geological disaster appearance forecasted[J]. *Journal of Mountain Science*, 2000 18(Suppl): 112~ 116[许强, 黄润秋, 向喜琼. 地质灾害发生时间和空间的预测预报. 山地学报, 2000 18(增刊): 112~ 116]
- [26] Ma Shihua The principle introduction on breaking-out landslide hazard probability prediction (early-warning) system [J]. *Zhejiang Land & Resources* 2004 (10): 50~ 51[麻士华. 突发性地质灾害概率预报(警)系统 (LAPS)原理简介 [J]. 浙江国土资源, 2004 (10): 50~ 51]
- [27] Gong xinfu The actuality and characteristics of the northern mountain mud-rock flow in Yueqing City and its formation reasons[J]. *Zhejiang Land & Resources* 2004 (10): 36~ 40[龚新法. 乐清市北部山区泥石流现状特征及成因 [J]. 浙江国土资源, 2004 (10): 36~ 40]

The Research on the Application of the Model of Geological Disasters Meteorological Degree Forecast (Early-warning)

XUE Genyuan, ZHU Xiaoming WANG Zhenming

(1 Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310002 China)

2 Shaoxing City Meteorological Bureau in Zhejiang Province, Shaoxing, Zhejiang 313000 China)

Abstract There are frequently geological disasters occurring in Zhejiang Province, and they are mud-rock flow, landslip of the mountains falling and the downthrow of the earth et al., most of which are correlative with the precipitation. On the base of analysing the regularity of the geological disasters occurring in Zhejiang Province, it is interpreted that the system of the weather forecast about the breaking-out geological disasters, which including medium-scale numerical weather forecast model MM5 and the levels forecast of the geological disaster. The system applied for the early-warning of geological disaster in the Province during the time when the 0414 Rannim and the 0418 Aere typhoon happening in 2004, which operated effectively. The paper chiefly discusses the primary structure of the LAPS and the characters of MM5, especially the application of the early-warning and defense of the geological disaster caused by the typhon.

Key words numerical weather forecast; geological disaster; forecast (early-warning); research