

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.01.022

江苏省突发地质灾害气象风险预警模型优化与应用

单玉香,鄂建,黄敬军,高立

(国土资源部地裂缝地质灾害重点实验室(江苏省地质调查研究院),江苏南京 210018)

摘要:本文紧抓影响滑坡、崩塌地质灾害的主要影响因素——地质环境条件和人类工程活动特征,通过调整易发度判别因子及其权重,建立基于有效降雨量和预报雨量的临界降雨量判据,实现江苏省突发地质灾害气象风险预警模型的优化。2013 年汛期实践结果表明,效果良好,预警精度有较大程度提高。

关键词:江苏省;滑坡;地质灾害;气象风险预警;临界降雨量判据

中图分类号: P694;P66

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)01-0122-05

The optimization and application about the weather risk early-warning model of abrupt geological hazards in Jiangsu province

SHAN Yuxiang, E Jian, HUANG Jingjun, GAO Li

(Key Laboratory of Earth Fissures Geological Disaster, Ministry of Land and Resources

(Geological Survey of Jiangsu Province), Nanjing, Jiangsu 210018, China)

Abstract: Clutching the main influencing factors (geo-environmental conditions and human engineering activity characteristics) of landslide, this paper adjust discriminat factor and the weight of the susceptibility classes. The criterion of precipitation is established based on valid and forecasting rainfall. The optimization about early warning weather risk model of abrupt geological disasters in Jiangsu province is realized. The practice during 2013 raining periods shows that model above is applicable and the accuracy is greatly improved.

Keywords: Jiangsu province; landslide; geological hazard; meteorological risk and early warning of geological hazards; criterion of precipitation

0 引言

2004 年江苏省国土资源厅与江苏省气象局联合开展“江苏省突发地质灾害气象预警预报”工作,初步建立了预警预报模型和预警平台,并发挥了重要作用。但在实际预警工作中发现,由于受地质环境研究精度以及一些历史突发地质灾害发生时间、规模不清等方面的限制,最初建立的预警模型还比较粗浅,经常出现空报、漏报现象,因此根据气象预警工作中累计的相关资料,对预警模型进行了优化。

模型的优化根据斜坡岩土体的含水量必须达到某一限值才可能在一次降雨过程中产生滑坡、崩塌地质

灾害的基本规律^[1],进一步研究地质环境背景、滑坡崩塌灾害发育特征、人类经济活动特征以及滑坡、崩塌灾害与降雨量关系,调整判别因子,建立滑坡、崩塌灾害“易发度”地质灾害空间和时间预警判据,采用 GIS 技术与数学模型整合的空间分析方法,实现滑坡、崩塌灾害时空预警。

1 细化预警区

江苏省地质格局以平原为主,低山丘陵、岗地为辅,省内滑坡、崩塌地质灾害均发生在人类活动活跃的低山丘陵、岗地地带^[2]。为提高预警模型精度,根据低山丘陵、岗地的分布及地质环境特点,将低山丘陵、

收稿日期: 2014-10-11; 修订日期: 2015-01-06

第一作者: 单玉香(1979-),女,高级工程师,硕士,主要从事江苏省地质环境监测与预警工作。E-mail:172210208@qq.com

岗地划分为 7 个预警区(表 1),地形地貌、地层岩性等相近的地区划分为同一预警区,对每个预警区内的滑坡、崩塌地质灾害进行统计分析,并结合该预警区的地

质环境、生态环境和人类活动分别建立每个预警区的预警判据指标体系。

表 1 预警区及其地质环境特征

Table 1 Warning region and characteristics of geogical environment

预警区名称	分布范围	地貌单元	岩土体特征	气象特征	灾害特征
徐州剥蚀构造低山丘陵区	分布在徐州铜山一带	低山丘陵、残丘	主要为层状软弱砂页岩、坚硬的层状灰岩及坚硬的整块侵入岩,砂、页岩风化程度较高,表层风化呈黏土状,灰岩裂隙发育	湿润至半湿润季风气候区,年平均降水量为 868.6 mm	区内采矿活动严重,形成大量高而陡的人工采坡面,易发生崩塌地质灾害
东海、赣榆构造剥蚀低山丘陵	分布在新沂以东,东海、赣榆一线以西	古老的变质台地,低山丘陵	岩性分为坚硬块片状片麻岩,风化壳厚度较大	暖温带湿润季风气候,年平均降水量 906 mm	区内人类工程活动强烈,斜坡岩体风化严重,易发生滑坡、崩塌地质灾害
连云港	分布在连云港市区	低山丘陵、残丘	连云港山地主要由元古—太古代变质岩组成,岩石硬度大岩性以含砾亚黏土或粉砂质黏土与亚黏土互层为主	暖温带南缘,属向亚热带过度的季风海洋性气候地带,年平均降水量 898.4 mm	多为变质岩,岩质滑坡为主,多为顺层坡
南通	分布在南通的狼山	低山丘陵	基岩出露,上覆全新统亚黏土	北亚热带季风气候	由于切坡建房、修路,形成陡坡,容易发生滑坡地质灾害
盱眙、江浦	分布在长江以北的盱眙—仪征—六合—江浦一线	低山丘陵、岗地,地形起伏,冲沟发育	下伏基岩多为玄武岩、砂岩,上部一般由较厚第四系松散沉积物覆盖,岩性由黏土或砂质黏土、砂土、砂砾层等组成,结构松散	北亚热带季风湿润气候区,年平均降水量 1023 mm	露天采矿形成,主要开采砂和玄武岩,大多采用斜坡式无台阶露天开采,边坡较陡,滑坡、崩塌现象严重
宁镇、宜溧低山丘陵区	分布在宁镇山脉和宜溧山区	低山丘陵	低山丘陵区岩性分为坚硬侵入岩、火山岩、砂岩和砂砾岩、砂和砾岩,风化现象严重,上覆第四系下蜀组粉质黏土	亚热带季风湿润气候区,雨量充沛,年平均降水量 1085.8 mm	下蜀组粉质黏土广泛分布,加之切坡建房导致滑坡、崩塌地质灾害频发
苏州—无锡—常州低山丘陵区	主要分布在常州—无锡—苏州一线沿太湖地带的低山丘陵区	低山丘陵	主要为层状砂砾岩、片麻岩,软弱薄层泥页岩,更新统亚黏土岩石风化严重,上覆松散层较厚	亚热带季风湿润气候区,雨量充沛,年平均降雨量 1084.6 mm	人类工程活动强烈,引起的滑坡、崩塌地质灾害较多

2 预警判据影响因子的筛选

2.1 预警指标影响因子^[3]

从地形条件看,在地形坡度大于 10°的地区,只要有切坡、削坡等工程活动,且没有进行合理护坡的地区,都有滑坡、崩塌地质灾害的现象发生。其中 10°~45°斜坡地段发生滑坡、崩塌地质灾害最多,占总数的 82%。

地层条件、斜坡类型的不同,滑坡、崩塌地质灾害的分布差异较大。江苏省以土质滑坡、崩塌为主,土质滑坡、崩塌占 84%。

统计结果表明,在主要构造带附近无大量滑坡、崩塌地质灾害发生,说明构造对江苏省滑坡、崩塌地质灾害的发生影响微弱。

控滑结构面对滑坡地质灾害的发生影响较大,全省 84% 的土质滑坡发生在岩土接触的边坡体,近 53% 的岩质滑坡为顺层滑坡。

江苏省低山丘陵、岗地地区植被总体较好,对滑坡、崩塌地质灾害影响差异不明显。

人类工程活动对地质灾害的影响明显,全省范围内的滑坡、崩塌地质灾害均与人类工程活动有关,坡体在自然状态下发生滑坡、崩塌地质灾害的现象极为罕见。

根据以上统计,说明江苏省滑坡、崩塌地质灾害的分布主要与地形地貌、地层岩性斜坡类型、控滑面结构及人类活动等有关。初期的预警模型考虑了地面高程因素,但本次研究认为:虽然滑坡、崩塌灾害集中发生在 15~150 m 的高程范围,但只能说明该地面高程范围区域内的人类工程活动比较强烈,并不能证明滑坡、崩塌灾害的发生与地面高程有密切关系,故优化后预警模型剔除了地面高程影响因子。

2.2 滑坡、崩塌地质灾害“潜势度”影响因子筛选

滑坡、崩塌地质灾害“潜势度”是指孕育滑坡、崩塌发生的条件组合,包括地质环境条件和人类工程活动特

征^[4]。根据 2004 年以来的地质灾害资料统计结果,优化后的预警模型选取地形坡度、地层岩性及斜坡结构类型、覆盖层厚度作为地质环境条件主要影响因子。

由于江苏省滑坡、崩塌灾害均为小型,规模较小,

本次模型优化不再考虑潜在滑坡、崩塌灾害的面积系数和体积系数,因此人类工程活动因子考虑由人类工程活动引发的失稳斜坡的分布概率及年新增隐患点分布概率两个因子。“潜势度”影响因子赋值表见表 2。

表 2 “潜势度”影响因子、权重及赋值

Table 2 Factors of landslide hazards and their assigned values and weight

预警区	山体坡度(d_1)		地层岩性(d_2)		斜坡结构类型(d_3)		松散覆盖层厚度(d_4)		人类活动特征			
	°	赋值		赋值		赋值	m	赋值	隐患点密度(d_5)	处/km ²	新增隐患点密度(d_6)	处/km ²
徐州低山丘陵区	<10	1	亚黏土	3	土质	3	>2.0	3	>0.05	3	>0.0002	3
	10~45	2	页岩	2	碎屑岩、变质岩	2	1.0~2.0	2	0.02~0.05	2	0.0001~0.0015	2
	>45	3	灰岩	1	其它	1	<1.0	1	<0.02	1	<0.0001	1
东海—赣榆低山丘陵区	<10	1	亚黏土	3	土质	3	>2.0	3	>0.05	3	>0.0002	3
	10~45	2	破碎的岩浆岩	2	变质岩	2	1.0~2.0	2	0.02~0.05	2	0.0001~0.0015	2
	>45	3	其它	1	其它	1	<1.0	1	<0.02	1	<0.0001	1
连云港低山丘陵区	<10	1	土质	3	土质	3	>2.0	3	>0.05	3	>0.0003	3
	10~45	2	破碎的岩浆岩	2	变质岩	2	1.0~2.0	2	0.02~0.05	2	0.0002~0.0003	2
	>45	3	其它	1	其它	1	<1.0	1	<0.02	1	<0.0002	1
盱眙—江浦低山丘陵、岗地区	<10	1	黏土或沙土	3	土质	3	>2.0	3	>0.05	3	>0.0002	3
	10~45	2	碎屑岩	2	碎屑岩、变质岩	2	1.0~2.0	2	0.02~0.05	2	0.0001~0.0015	2
	>45	3	较为破碎的岩浆岩	1	其它	1	<1.0	1	<0.02	1	<0.0001	1
宁镇低山丘陵区	<10	1	黏土或粉质黏土	3	土质	3	>1.0	3	>0.05	3	>0.0005	3
	10~45	2	黏土夹砾石	2	岩质	2	0.5~1.0	2	0.02~0.05	2	0.0003~0.0005	2
	>45	3	碎石风化层	1	其它	1	<0.5	1	<0.02	1	<0.0003	1
宜溧低山丘陵区	<10	1	黏土或粉质黏土	3	土质	3	>1.0	3	>0.05	3	>0.0004	3
	10~45	2	黏土夹砾石	2	岩质	2	0.5~1.0	2	0.02~0.05	2	0.0002~0.0004	2
	>45	3	碎石风化层	1	其它	1	<0.5	1	<0.02	1	<0.0002	1
常州—无锡—苏州低山丘陵区	<10	1	黏土或粉质黏土	3	土质	3	>1.0	3	>0.05	3	>0.0002	3
	10~45	2	黏土夹砾石	2	岩质	2	0.5~1.0	2	0.02~0.05	2	0.0001~0.0015	2
	>45	3	碎石风化层	1	其它	1	<0.5	1	<0.02	1	<0.0001	1
权重	α_1 (0.10)		α_2 (0.15)		α_3 (0.10)		α_4 (0.15)		α_5 (0.40)		α_6 (0.10)	

“潜势度”计算模型为:

$$Q = \sum_{i=1}^6 d_i \alpha_i \quad (1)$$

式中: Q ——某评价单元“潜势度”;

d_i ——第 i 个影响因子赋值。

根据计算结果,江苏省滑坡、崩塌灾害“潜势度”分为 3 级,即 $Q > 2.0$,潜势度大; $1.3 \leq Q \leq 2.0$,潜势度中等; $Q < 1.3$,潜势度小。

2.3 滑坡、崩塌地质灾害“发育度”影响因子筛选

滑坡、崩塌地质灾害“发育度”(F)是指地质环境和人文环境共同作用下滑坡、崩塌地质灾害的发育程度,主要取决于单位面积内滑坡、崩塌灾害发生的密度,面积系数和体积系数^[5]。根据 2003 年以来地质灾害,全省近 90% 的滑坡、崩塌为小型,且规模很小,因此,本次模型优化不再考虑滑坡、崩塌灾害发生的面积系数和体积系数,只采用了滑坡、崩塌灾害发生的密度。

根据计算结果,江苏省滑坡、崩塌地质灾害“发育度”分为 3 级,即 $F \geq 0.1$ 为高发育; $0.05 \leq F < 0.1$ 为中发育; $F < 0.05$ 为低发育。

3 划分易发区

根据滑坡、崩塌地质灾害“易发度”划分易发区。滑坡、崩塌地质灾害“易发度”是对“潜势度”和“发育度”的叠加组合,反映不同预警区滑坡、崩塌地质灾害发生的相对程度。

计算模型为:

$$Y = Q\beta_1 + F\beta_2 \quad (2)$$

式中: Q ——“潜势度”权重,取 0.6;

β_2 ——“发育度”权重,取 0.4。

根据计算结果,江苏省滑坡、崩塌灾害“易发度”分为 3 级:即 $Y \geq 1.2$ 为高易发; $0.8 < Y < 1.2$ 为中易发; $Y \leq 0.8$ 为低易发。图 1 为江苏省滑坡、崩塌地质灾害易发度区划图。



图 1 江苏省滑坡、崩塌地质灾害易发度区划图
Fig.1 Zoning map of paroxysmal geological hazards susceptibility parameter in Jiangsu province

4 预警判据研究

预警判据是指某一易发区内诱发发生滑坡、崩塌灾害的临界降雨量。预警判据研究是研究滑坡、崩塌灾害的发生与降雨关系的基础上,拟定不同的易发区内可能诱发地质灾害风险的降雨量和预报雨量。

4.1 预警等级划分

江苏省滑坡、崩塌地质灾害气象风险预警等级划分为有一定风险(四级)、风险较高(三级)、高(二级)和很高(一级),当预警级别达到三级以上时,向社会发布。

4.2 有效降雨量

前期预警模型采用了预报雨量与累计降雨量 2 个

指标,累计降雨量为前 5 日降雨量之和。由于前期降雨只有部分入渗到岩、土体中,其余部分则通过蒸发或地表径流等途径流失,因此,本次模型优化采用了有效降雨量、预报雨量 2 个指标。有效降雨量综合表示前期降雨特征。有效降雨量计算模型为:

$$P_z = P_0 + \sum_{i=1}^5 \lambda_i P_i \tag{3}$$

式中: P_z ——某日有效降雨量;

P_0 ——当日降雨量;

P_i ——前 i 日降雨量;

λ_i ——前 i 日降雨影响系数。

根据各预警区域地质环境、生态环境特点,通过优化方法得到前 5 日 λ 值如表 3。

表 3 各预警区有效降雨量影响系数

Table 3 Influence coefficient of valid rainfall in warning region

	徐州	东海、 赣榆	连云港	盱眙— 江浦	宁镇	宜溧阳	苏锡常
λ_1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
λ_2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
λ_3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
λ_4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
λ_5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9

4.3 临界降雨量预警判据

以滑坡、崩塌地质灾害“易发度”为基础,与触发滑坡、崩塌地质灾害的有效降雨量以及未来 24 h 预报雨量进行叠加分析,实现滑坡、崩塌地质灾害气象风险预警。临界降雨量在突发地质灾害气象风险预警中起着至关重要的作用。根据 2004 年以来的滑坡、崩塌地质灾害发生与有效降雨量和预报雨量关系的综合研究结果,对已建立的预警判据进行修正,建立各预警区滑坡、崩塌地质灾害临界降雨量预警判据(表 4)。

表 4 临界降雨量预警判据表

Table 4 Criterion for early-warning insuuing

地区	滑坡	预报雨量/mm			有效降雨量/mm		
徐州、东海—赣榆低山丘陵	高易发区	60 ~ 80	80 ~ 120	> 120	60 ~ 80	80 ~ 120	> 120
	中易发区	80 ~ 100	100 ~ 150	> 150	80 ~ 100	100 ~ 150	> 150
	低易发区	120 ~ 150	150 ~ 200	> 200	120 ~ 150	150 ~ 200	> 200
连云港低山丘陵	高易发区	40 ~ 60	60 ~ 100	> 100	40 ~ 60	60 ~ 100	> 100
	中易发区	60 ~ 100	100 ~ 150	> 150	60 ~ 100	100 ~ 150	> 150
	低易发区	100 ~ 150	150 ~ 200	> 200	100 ~ 150	150 ~ 200	> 200
盱眙—江浦低山丘陵、岗地	高易发区	50 ~ 80	80 ~ 120	> 120	50 ~ 80	80 ~ 120	> 120
	中易发区	80 ~ 100	100 ~ 150	> 150	80 ~ 100	100 ~ 150	> 150
	低易发区	80 ~ 150	150 ~ 200	> 200	80 ~ 150	150 ~ 200	> 200
宁镇、宜溧低山丘陵	高易发区	30 ~ 50	50 ~ 80	> 80	30 ~ 50	50 ~ 80	> 80
	中易发区	50 ~ 80	80 ~ 120	> 120	50 ~ 80	80 ~ 120	> 120
	低易发区	80 ~ 100	100 ~ 150	> 150	80 ~ 100	100 ~ 150	> 150
苏锡常低山丘陵	高易发区	30 ~ 80	80 ~ 120	> 120	30 ~ 80	80 ~ 120	> 120
	中易发区	50 ~ 100	100 ~ 150	> 150	50 ~ 100	100 ~ 150	> 150
	低易发区	80 ~ 150	150 ~ 200	> 200	80 ~ 150	150 ~ 200	> 200
预警等级		3	2	1	3	2	1

5 预警效果分析

2013 年汛期,江苏省突发地质灾害气象风险预警系统正式启用修订后的预警判据。2013 年 6 月 1 日~9 月 30 日,全省共发布三级预警 5 次,成功预报地质灾害 5 起,占汛期滑坡、崩塌地质灾害总数的 83.3%,地质灾害发生时间、区域与预报地质灾害发生的时间、区域基本一致。由于预报准确、及时,2013 年汛期避免人员伤亡 310 人,避免直接经济损失 5410 万元,取得了良好的防灾减灾效果。

6 设想与建议

江苏省滑坡、崩塌灾害发生的数量较少,可用于验证和优化预警模型的样本数据不多。建议在各预警区分别建立典型的地质灾害专业监测点,对斜坡的岩、土体的湿度、应力、地表位移、降雨量等进行实时监测,当降雨量达到临界降雨时,系统及时向该隐患点的相关责任人发出预警信息。同时对监测数据进行分析统计,进一步研究滑坡、崩塌地质灾害的影响因子及权重,不断优化预警模型,提高预警精度。

7 结论

本次预警模型的优化紧紧抓住滑坡、崩塌地质灾害发生发展的地质环境和降雨特征两个关键因素,一是根据地质环境条件将全省低山丘陵、岗地地区划分为 7 个预警区;二是重新筛选空间评价因子,并对每个预警区进行 3 度分析,分别进行易发区划分;三是建立基于有效降雨量和预报雨量的临界降雨量预警判据。优化后的预警模型,应用效果良好,但预警模型仍需要在今后的预警工作中根据监测数据或滑坡、崩塌灾害样本数据不断地修正,逐步提高预警精度。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陆美兰,单玉香,徐玉琳,等. 江苏省县(市)地质灾害调查与区划综合研究报告[R]. 江苏省地质调查研究院,2010.
- LU Meilan, SHAN Yuxiang, XU Yulin, et al. The report of comprehensive study about geological hazard investigation and regionalization in Jiangsu province county (city) [R]. Geological Survey of Jiangsu Province,2010.
- [3] 徐玉琳,孙国曦,陆美兰,等. 江苏省突发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.
- XU Yulin, SUN Guoxi, LU Meilan, et al. The weather early-warning research of abrupt geological hazard in Jiangsu province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(1): 46-50.
- [4] 刘传正,唐灿,温铭生,等. 全国地质灾害气象预报预警实施方案[R]. 中国地质环境监测院,2003.
- LIU Chuazheng, TANG Can, WEN Mingsheng, et al. The implementation plan of meteorological early-warning of geo-hazards in China based on raining forecast [R]. Website of China Geological Environmental Monitoring Institute, 2003.
- [5] 李媛,曲雪妍,房浩,等. 地质灾害综合评价指标体系和评价方法研究[J]. 水文地质工程地质,2013,40(5):129-132.
- LI Yuan, QU Xueyan, FANG Hao, et al. A study of comprehensive evaluation index system and methods for geo-hazard [J]. Hydrogeology & Engineering geology, 2013,40(5):129-132.

[1] 刘传正,温铭生,唐灿. 中国地质灾害气象预警初步