

杭州市乡镇地质灾害风险预报体系建设

张凡 谢伟 黄良武

浙江省地矿勘察院有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v4i3.5764

[摘要] 杭州市地质灾害气象风险预警结果存在区域不一致、等级偏差明显的状况,急需以更精细、合理的空间尺度构建地质灾害气象风险预警模型,提高预警结果的可信度。本文以杭州市历史地质灾害为研究对象,以第二代显式统计预警模型为基础,针对杭州市地质条件及降雨情况,构建了满足该地区需求的统计预警模型并检验了所建模型的适宜性,结果表明预测结果与地质灾害发生的实际情况相符合,所建立的杭州市地质灾害气象风险预警模型显著提升了气象风险预警的精度与可信度,可为区域性公众防灾自救和政府防灾管理提供科学依据。

[关键词] 地质灾害; 潜势度; 显式统计预警模型; 预警预报

Construction of the township geological disaster risk forecast system in Hangzhou

Zhang Fan, Xie Wei, Huang Liangwu

Zhejiang Geology and Mineral Survey Institute Co., LTD., Hangzhou, Zhejiang 310012

[Abstract] There are some regional inconsistency and obvious grade deviation in the early warning results of geological disasters in Hangzhou. It is urgent to construct the early warning model of geological disasters at a more detailed and reasonable spatial scale to improve the credibility of the early warning results. The model improves the accuracy and the reliability of the geological risk warning, which can support the regional public disaster prevention self-help and government disaster prevention management.

[Key words] geological disaster; potential; explicit statistical early warning model; early warning forecast

自古以来,地质灾害一直是严重威胁人民生命与财产不可忽视的自然因素。杭州地形地貌和天气气候复杂,地质灾害隐患多,是地质灾害重灾区。据杭州市规划和自然资源局统计,截至2022年,杭州已知历史地质灾害3263处,已造成353人伤亡,现存地质灾害隐患点达117处,仍对1900多人构成直接威胁,地质灾害类型主要为滑坡、崩塌和泥石流,占总地质灾害99%以上。如何对这类分布面广、规模小、多点突发的地质灾害及时进行高精度预警,采取措施积极避免或减轻灾害所造成的损失,维护人民生命财产安全,保障经济建设顺利进行,已成为当前杭州社会和政府关注的一个焦点。

目前杭州市依托的省级地质灾害预警预报系统以“面状”单元预警,其范围过大,无法适应杭州市以行政村为预警单元实施群测群防的工作要求。因此,结合杭州市地质灾害的实际情况,急需以更小的区域和适宜的气象风险预警模型深入开展地质灾害精细化气象风险预警攻关,提高气象风险预警产品质量,构建适用于杭州市的地质灾害精细化气象风险预警模型。

本文以《杭州市地质灾害防治“十四五”规划》低易发以上区域(以下简称研究区)历史地质灾害为研究对象,综合地质环境等因素分析,选取了地形坡度、地形高差、人口密度、地形坡向、地形坡形、与构造距离、工程岩组、植被指数(NDVI)

8个影响因子作为研究区地质灾害的评价指标,采用信息量法对各评价指标进行分级赋值,将研究区划分为500m×500m的栅格单元,据近十年杭州市地质灾害与气象雨量数据,采用第二代显式统计预警模型构建了杭州市地质灾害气象风险预警模型并通过实例应用进行预警效果检验,以验证模型的适宜性和准确性。

1 研究区概况

研究区位于浙江省西北部,介于北纬29°12′~30°35′,东经118°20′~120°43′之间,属亚热带季风性气候,2010~2021年年降水量变化范围在1396~2018.56mm,年降雨量平均值为1690.11mm。研究区地势总体由西南向东北倾斜,西部、中部和南部属浙西中低山丘陵,西北部和西部为天目山系余脉,南部为龙门山系余脉。研究区属于扬子地层区,区内出露地层较齐全,自元古界至新生界地层均有分布,并以古生代碎屑岩类、碳酸盐岩和中生代的火山岩为主,分布在区内西南部低山丘陵区等地。在大地构造上杭州地处扬子古板块东南缘,位于江山~绍兴断裂带北西侧,余杭~嘉兴台拗西南段。根据各县市农村山区、地质灾害风险普查数据库等,截至2022年10月,研究区范围已发生的突发性地质灾害共计3121处,

其中滑坡 1270 处; 崩塌 1523 处; 泥石流 298 处; 地面塌陷 30 处。其点密度为 22.56 处/100km²。

2 显示统计预警模型构建

2.1 CF 的因子量化

地质灾害的影响因素多种多样, 且每种因素有其特定的量纲, 数值也有各自的区间; 再者, 有些影响因素是连续型, 而有些是离散型, 这些导致了在数学公式中不能直接进行计算, 需要对其进行统一的定量表达。

CF 模型是一个概率函数, 用来分析影响某一事件发生的各因子敏感性。模型具体表示为:

$$CF = \begin{cases} \frac{P_a - P_s}{P_a(1 - P_s)}, & P_a \geq P_s \\ \frac{P_a - P_s}{P_s(1 - P_a)}, & P_a < P_s \end{cases} \quad (1)$$

(1)式中, P_a为事件在数据类 a 中发生的条件概率, 理论上可看作数据类 a 中存在的地质灾害面积与数据类 a 面积的比值; P_s为整个研究区域事件发生的先验概率, 理论上可看作整个研究区域地质灾害面积与整个研究区域面积的比值。

根据 CF 模型计算公式得出的 CF 值结果介于-1 和 1 之间。其中, CF 值越靠近-1, 说明相应因子对地质灾害发生的贡献越小; 相反, CF 值越靠近 1, 则贡献越大; CF 值趋于 0, 说明影响不确定。

2.2 影响因素的筛选与分级

影响因素的选取与评价体系的建立是否科学、合理且符合逻辑将直接影响最终评价结果的准确性。因此在对选取因子进行评价时, 要以评价的切入点选取合适的评价因子, 避免主观因素给评价结果带来的偏差。通过合适的评价方法和评价指标能够客观反映潜势度特征, 使得其评价更加科学。但影响因子数量并非多越好, 而是要立足于影响地质灾害发生的原则作为评价的切入点, 在结合调查研究的基础上综合考虑, 选择具有代表性的评价因子进行评价构建评价体系。本文选取了地形坡度、地形高差、人口密度、地形坡向、地形坡形、与构造距离、工程岩组、植被指数 (NDVI) 8 个影响因子数据参与计算, 具体分类规则见表 1。

表 1 地质灾害影响因子分类

影响因子	分类
坡度/(°)	0~15, 15~25, 25~35, 35~45, >45
坡向/(°)	337.5~22.5, 22.5~67.5, 67.5~112.5, 112.5~157.5, 157.5~202.5, 202.5~247.5, 247.5~292.5, 292.5~337.5
高差/(m)	<20, 20~50, 50~100, 100~300, >300
坡形	凹形, 直线形, 凸形
工程地质岩组类型	坚硬岩组(Ht、Qd、Qg、Qj、Sc、Tcc、Tc), 较坚硬岩组(Qj、Bs、Sf、SRc), 松散岩类(ST、NT)
与构造间距离 / (m)	<50, 50~100, 200~300, 300~500, >500
植被指数	<0, 0~0.18, 0.18~0.25, 0.25~0.35, >0.35
人口密度/(人)	0~50, 50-100, >100

2.3 因子权重确定

确定性系数 (CF) 实现了地质灾害各影响因子的量化表达, 从确定性系数 (CF) 函数公式 (1) 可见, 某单元格的每个因子的 CF 值直接代表了该因子对地质灾害多发与否的贡献值。通过各因子之间的 CF 值数学统计计算, 运用 CF 的多因子叠加确定权重法确定各因子之间相对权重的大小。

2.3.1 某因子 CF 值贡献计算

研究区划分的所有单元针对每一个影响因素都有一个 CF 值与其对应。根据式 (2) 对每个单元将每个影响因素的 CF 值依次两两合并。

$$CF_{xy} = \begin{cases} CF_x + CF_y - CF_x \cdot CF_y & CF_x, CF_y \geq 0 \\ \frac{CF_x + CF_y}{1 - \min(|CF_x|, |CF_y|)} & CF_x \cdot CF_y < 0 \\ CF_x + CF_y + CF_x \cdot CF_y & CF_x, CF_y < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, CF_x 为影响因素 x 的 CF 值; CF_y 为影响因素 y 的 CF 值; CF_{xy} 为影响因素 x 和影响因素 y 合并后的综合 CF 值。

为使合并结果易于解释, 将合并后的 CF 值进行分类, 分为 5 个级别, 分别表示对地质灾害发生的贡献为贡献小 (-1~-0.6)、贡献较小 (-0.6~-0.2)、贡献不定 (-0.2~0.2)、贡献较大 (0.2~0.6) 和贡献大 (0.6~1)。

根据上式 (2) 逐步迭加合并所有影响因素, 合并结果用 Z_{a11} 表示, 合并后各级别的分段百分比用 Z_{a11-i} (i=1, 2, ..., 5) 表示。

2.3.2 各因子权重计算

影响因素 i 在该区间内的影响百分比即为 P_i = |P_{a11} - P_{a11-i}|。将 5 个区间内影响因素 i 的影响百分比累加得到影响因素 i 的总体影响百分比 P_i。同理计算所有影响因素的总体影响百分比, 之后按照式 (3) 进行归一化处理, 得到影响因素 i 的影响权重 W_i。

$$W_i = \frac{P_i}{\sum_{k=1}^m P_k} \quad (3)$$

式中, m 为影响因素的总个数。

根据上述方法, 计算出研究区各个因子所占权重 (表 2), 人口密度、地形坡度、地形坡向及坡形相加所占权重为 0.9, 说明研究区人类工程活动、斜坡地形地貌影响地质灾害程度高。

表 2 研究区各因子权重计算结果表

因子	CF 值贡献值	权重计算结果
坡度 (°)	0.29	0.27
坡向 (°)	0.14	0.13
高差 (m)	0.06	0.06
坡形	0.16	0.15
工程地质岩组	0.01	0.01
与构造间距离 (m)	0.03	0.03
植被指数	0.002	0
人口密度	0.38	0.35

2.4 潜势度计算

地质灾害潜势度是指某一地区在没有任何降雨、地震和人类活动等诱发因素影响下地质环境孕育地质灾害的潜在能力。其计算公式:

$$G = \sum_{j=1}^n a_j b_j \quad (j = 1, 2, 3 \cdots n) \quad (4)$$

式中, G 为地质灾害潜势度; a_j 为单因子的定量化取值(即 CF 值); b_j 为单因子的权重; n 为评价因子个数。以 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 的网格进行分割, 将网格量化的各因子及其权重带入式(4), 计算出各个单元格地质灾害潜势度。

将研究区各单元格潜势度值以 0.1 区间划分为 10 个等级, 并根据单元格地质灾害点与面积计算出灾害点密度, 将各区潜势度的计算结果, 与历史灾害点的分布情况进行对比分析, 校验潜势度是否能够体现地质环境的优劣程度(见图 1), 其中横坐标为每平方千米的潜势度值, 纵坐标为每平方千米的平均灾害点密度。



图1 研究区地质灾害“潜势度”检验图

检验结果显示, 随着潜势度值的逐步降低, 地质灾害发生的密度逐步减少, 反映了在潜势度大的区域地质灾害点分布频率大, 地质灾害潜势度值小的区域, 地质灾害点分布频率少, 即地质灾害潜势度值的大小能够反映历史地质灾害的多少, 能够反映地质背景环境条件的优劣。

2.5 显示统计预警模型

第二代显式统计预警模型重点考虑地质灾害易发区本身的地质环境条件, 将其归结为地质灾害潜势度, 并考虑地质灾害诱发因子—降雨量, 综合形成地质灾害预警公式:

$$T = f(G, R_d, R_p)$$

式中, T 为预警指数; R_d 为当日雨量; R_p 为前连续降雨过程的累计雨量, G 为地质灾害潜势度。

降雨资料来源于 2012~2021 年气象局匹配的逐日降雨数据。地质灾害点利用 arcgis 雨量站与历史地质灾害点之间的空间关系, 从历史灾害点中筛选距离雨量站 1km 范围内的历史地质灾害样本, 再结合地质灾害发生时雨量数据筛选统计出 94 个地质灾害点。

将统计样本导入 SPSS 统计软件进行线性回归分析, 主要结果如下:

复相关系数: $R=0.539$,

判定系数: $R^2=0.290$,

得到回归方程为: $T=0.706+1.1511G+0.496R_d+0.433R_p$ (5)

根据括号内的 t 统计量的值可知: G 、 R_d 、 R_p 均对地质灾害的发生情况有显著影响。

根据统计结果可见, 地质灾害的发生与地质环境基础因素 (G)、降雨激发因素 (R_d 、 R_p) 存在一定程度的线性关系。由式 (5) 可知, 地质灾害预警指数与潜势度 G 、当日雨量 R_d 、前期雨量 R_p 成线性关系, 三者的影响比例约为 3: 1: 1 的关系。可

见, 在研究区范围内, 地质环境基础因素是地质灾害发生的主要控制因素, 降雨激发因素中, 当日雨量的作用约与前期雨量的作用相近。

该模型可以用于当日 20:00 点到次日 20:00 点的地质灾害气象预报预警。实际应用中, G 为地质灾害潜势度; R_d 为预报日雨量; R_p 为一个降雨过程的前期累计雨量。

3 预警模型结果与检验

地质灾害预警分为红色预警、橙色预警、黄色预警以及蓝色预警四个级别, 除蓝色预警不发布预警信息外, 其他预警级别均发布预警信号。一般来说, 当有区域性暴雨(24 小时大于 50 毫米)出现, 则预报结果应出现黄色预警, 当有区域性大暴雨(24 小时大于 100 毫米)出现, 则预报结果应出现橙色预警; 当有区域性特大暴雨(24 小时大于 250 毫米)出现, 则预报结果应出现红色预警。结合预警模型及以上标准, 通过试运算确定研究区地质灾害预警等级对应 T 值分段值, 黄色、橙色以及红色预警底值分别取 1.50、1.75 和 2.05。

2019 年 8 月 10 日, 9 号超强台风“利奇马”在浙江省温州市城南镇沿海登陆, 并在杭州市临安区造成严重人员财产损失, 根据 8 月 10 日气象部门的降雨预报数据和前期实况雨量数据, 将 T 分别按 $[1.50, 1.75]$ 、 $[1.75, 2.05]$ 、 $[\geq 2.05]$ 分为 3 个级别, 得到最终的地质灾害预报预警图(图 2)。同时, 根据 8 月 10 日反馈的具有一定损失地质灾害的实际发生情况对比, 绝大多数地质灾害点落在了红色预警区范围内, 新的统计预警模型较好地预测了地质灾害的发生情况。

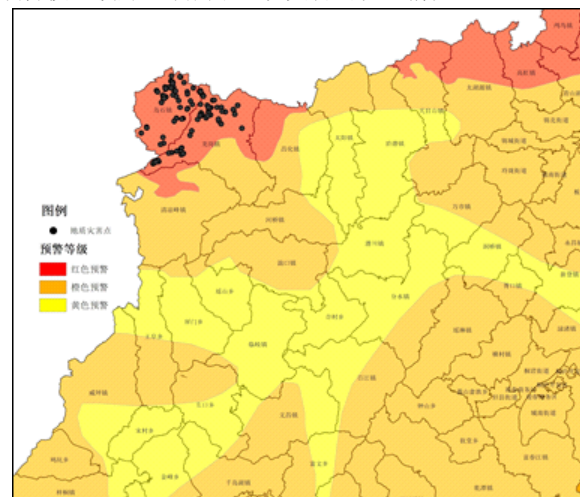


图2 新统计模型临安利奇马预警区

通过图 2, 本次预警结果具有如下特点: (1) 预警结果更加精细化。通过 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 网格分割(网格尺寸)的方式进行计算, 预警结果是以网格尺寸为最小单元, 从而使得预警结果更加的精细。(2) 预警结果更加准确。预警结果中, 较高预警等级的区域可能是由于以下几种情况导致的: 较高的地质灾害潜势度或较大的预报雨量或较大的前期累计雨量, 或者三者同时较高。

4 结论

(1) 在归纳总结杭州市地质灾害特征的基础上, 结合研究区地形地貌、地质构造、气候等环境特征及地质灾害的分布

基坑支护技术一般采用复合型的土钉墙支护技术, 别的部分可以选用降低整体标高的自然放坡形式, 这样一来, 院校厂区内基坑施工时就可以去除降水这一流程。

3.3 施工技术要点

首先, 深基坑的挖掘工作。开展深基坑支护施工, 第一步就是进行深坑的挖掘, 深度和面积要视工程量而定。对于开挖量较大的工程, 通常是采用分段开挖的形式, 整个阶段需要围护桩具有 1.5MPa 的强度。挖掘过程中, 施工人员还要对深基坑的周围做好结构防护工作, 支撑梁上面的土层最少需要达到 30 厘米, 支撑梁钢板的厚度必须大于等于 2 米, 确保挖掘过程中深基坑结构足够安全和为你的难过, 这样才能顺利地开展后续的深基坑挖掘工作。

其次, 深基坑的内支撑作业。对深基坑内部进行支撑作业是整个支护施工的重点。施工人员对将要用到的支撑钢筋进行封膜绝缘处理, 一般是在钢筋表面均匀地缠绕绝缘胶带, 尽可能地减少钢筋的距离。对钢筋进行缠绕时, 需要预留合适的位置便于后续焊接工作开展。施工人员将缠绕好的钢筋笼结构放置于深基坑中, 必须确保与基坑内的支柱桩高度持平。接下来就是焊接工作, 目前采用高密度焊接方式, 焊接的位置强度一般比其他位置强度略高。在焊接过程中, 需要有专门的人员对钢筋计以及周边的电缆进行冷处理和安全防护, 避免因为高温作业而导致设备损坏。

最后, 对深基坑进行降水施工。这是深基坑支护施工的最后一步, 也是极为重要的一步。利用集水井和截水沟的方法收集水源, 并将水源排入路面管道中去, 确保基坑内部不会存水。

对于深基坑内存水问题, 需要有专人的人员在施工期间对其进行检查, 并及时地开展排水工作, 避免因积水问题而影响深基坑支护的施工质量。

3.4 针对施工现场选择合理的支护方式

由于深基坑支护技术种类较多, 选择合适的支护施工技术就至关重要。施工团队需要结合实际施工地的具体情况, 做好预设讨论, 选择最恰当的深基坑支护技术。比如, 施工人员在施工地进行考察阶段, 发现施工区域的地下水位很高, 这时一般就需要选择泥浆护壁成孔灌注桩技术。如果施工地是山区, 一般选用悬臂式深基坑支护施工技术, 其主要目的是最大程度地提升地基岩石层稳定性。如果施工地是平原地区, 没有其他因素的影响, 一般是采用排桩式支护结构。

结束语

总之, 施工团队以及相关的施工管理部门必须重视建筑工程中深基坑支护施工, 解决施工中常见问题, 结合现代科学技术创新并优化深基坑支护技术, 提高深基坑支护施工质量, 为后续的施工提供安全保障, 也为国内建筑工程行业的发展提供助力。

[参考文献]

- [1] 方杨. 建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用分析[J]. 建筑与装饰, 2021, 000(004): P.159-159.
- [2] 赵娟. 深基坑支护技术在建筑工程施工中的应用分析[J]. 道路与桥梁, 2022, 1(1): 31-33.
- [3] 王哲植. 深基坑支护技术在建筑工程施工中的应用分析[J]. 中国建筑金属结构, 2021(7): 2.

上接第 187 页

规律, 从而确定研究区坡度、高差、人口密度、坡向、坡形、与构造距离、工程岩组、植被指数 (NDVI) 8 个地质灾害的重要孕育因子。

(2) 系统采用多因子叠加权重确定性分析法, 得到地质灾害潜势度, 作为评价区域地质环境条件脆弱性的客观标准, 并采用多元线性回归法对潜势度、前期降雨及预报降雨进行计算, 生成预警指数, 最后按照预警指数分布状况划分出不同区域的预警等级, 从而达到预警预报的目的。

(3) 通过 2019 年 8 月“利奇马”历史降雨及其地质灾害事件检验了本文建立的预警模型的合理性和适宜性, 结果表明预测结果与地质灾害发生的实际情况相符合, 所建立的研究区地质灾害气象风险预警模型显著提升了气象风险预警的精度与可信度, 可为区域性公众防灾自救和政府防灾管理提供科学依据。

(4) 地质灾害发生具有宏观上的统计规律可以遵循, 根据统计原理开展地质灾害气象风险预警是可行的, 影响地质灾害地质环境因子客观反映了地质灾害的基本规律, 能够在一定时间和空间区域内进行预报。局限性主要表现为: 一是规律的研究中严重依赖样本数据质量, 二是灾害发生与降水主要还是由微观作用决定, 目前技术方法还难以把控, 因此要做到精准

预报, 仍存在诸多困难。

[参考文献]

- [1] 刘艳辉等, 基于显示统计原理的地质灾害区域预警方法初步研究, 中国地质, 2008;
- [2] 刘艳辉等. 基于确定性系数模型的地质灾害多因子权重计算方法, 中国地质灾害与防治学报, 2015;
- [3] 刘艳辉等, 中国地质灾害气象预警模型研究, 工程地质学报, 2015;
- [4] 李莎等, 基于多因素叠加计算权重法的苏锡常地裂缝危险性预测, 工程地质学报, 2018;
- [5] 李朝奎等, 显示统计预警模型下地质灾害预警方法及应用, 武汉大学学报, 2019;
- [6] 陈悦丽等, 降雨型地质灾害预报方法研究进展, 应用气象学报, 2019;
- [7] 张广成等, 地质灾害监测预警系统研究与应用, 合肥工业大学学报, 2019;
- [8] 梁润娥等, 区域地质灾害气象预警模型研究现状与展望, 安全与环境工程, 2013;
- [9] 李益敏等, 基于确定性系数模型的泸水市泥石流易发性评价, 水土保持研究, 2019.