

基于 BP 神经网络的地质灾害细网格预报模型

蔡 敏 黄 艳 朱宵峰 沈锦栋 金 培 吴惠娟

(浙江省金华市气象局, 321000)

提 要: 地质灾害成因复杂,其中以气象因素、地质地貌因素引发的地质灾害最为常见。以金华地区为例,通过对金华市地质地貌条件及其对地质灾害点的调查,将全区划分为4个地质灾害隐患风险等级的网格区域。在此基础上利用金华中尺度气象资料,采用BP神经网络模型,建立地质灾害细网格预报模型,对该模型进行模拟和预报试验。结果表明,合理的隐患风险等级分区能使预报模型更符合科学规律,而采用分布较细的中尺度资料作为预报因子能进一步提高预报精度。模型的预报结果达到一定的可信度,为防灾减灾工作提供了科学依据。

关键词: BP神经网络 地质灾害 降水指数 隐患风险等级

Fine-Grid Forecast Model of Geological Hazards Based on BP Neural Network

Cai Min Huang Yan Zhu Xiaofeng Shen Jindong Jin Pei Wu Huijuan

(Jinhua Meteorological Office of Zhejiang Province, Jinhua 321000)

Abstract: The causes of geological hazards are rather complex due to many influence factors, but they are mainly triggered by the change of weather conditions and affected by geological and geomorphic conditions. Taking Jinhua area as an example, on the basis of investigation about the geological and geomorphic conditions especially in the disaster zone, four grid-regions with different geological hazards hidden-risk level are plotted out. The fine-grid forecast model of geological hazards is tested to be reliable, which is based on BP neural network and rainfall data from mesoscale observation system. The method is proved to fit in with scientific rule and can contribute to increase the forecast precision. The forecast model will provide a tool for reducing the damage of hazards in this area.

Key Words: BP neural network geological hazards precipitation index hidden-risk level

引 言

我国地质灾害发生频繁,种类繁多,危害严重,特别是近十几年社会经济快速发展,对自然环境的影响也愈来愈强烈。据统计,每年因地质灾害造成的经济损失占自然灾害总损失的 20% 以上。为有效减小地质灾害造成的损失,满足防灾减灾的迫切需要,开展地质灾害气象预警技术的研究,特别是建立精细化预报模型更是当务之急。

目前,各级部门都非常重视地质灾害预警方法的技术研究,中央气象台和中国地质环境监测总院合作建立了国家级地质灾害气象预警业务。将全国划分为 74 个预警区域,通过考虑降雨量的综合判据图方法,制作国家层面上的地质灾害预警指导产品^[1];四川省通过对影响地质灾害的地质环境因素进行概率量化处理^[2],结合气象因子建立了综合预警模型;福建、重庆、贵州等省按粗略的地质条件分类,从气象角度开发研究了考虑降雨特征量的预警指标和方法;浙江省研究开发了基于 GIS 的地质灾害预警系统并投入业务试验^[3]。而对地质灾害预警、预报理论方法的探讨也在不断深入,韩娟等^[4]采用地质灾害综合危险性指数法划分地质灾害易发区;涂国强等^[5]通过主成分分析和判别分析,建立多因素影响地质灾害预测数学模型,并应用于岩溶塌陷的预测评价;薛建军等^[6]通过概率分析确定预报因子的临界值,从而建立区域气象潜势预报模型;张延治根据辽东半岛泥石流灾害及有关水文气象资料,研究了泥石流形成与暴雨的定量关系^[7]。考虑到地质灾害具有局地性和突发性的特点,而当前针对小区域的细网格预报模型还较少,文中在国土部门对地质地貌条件及地质灾害点勘察规划的基础上,将预报区域划分为不同的地质灾害风险等级的网格区域,利用中尺

度气象资料演算成与地质灾害相关性较好的降水指数作为预报指标,针对不同的风险等级区域分别构建 BP 神经网络权重矩,并对预报模型进行仿真和预报试验。

1 原理和方法

1.1 隐患风险等级划分

地质灾害的发生是一个多因素共同作用的复杂的物理过程,受内因和外因控制。内因包括地质地貌、水文地质、植被覆盖等;外因包括自然因素和人为因素。而降雨则是导致地质灾害发生的主要的自然诱因。据统计,90% 以上的泥石流滑坡等地质灾害是由局地暴雨引发的^[8]。然而同样的降水过程产生的地质灾害在不同区域可能会有不同程度的影响,因此,有必要先对全区进行地质灾害隐患风险等级划分。

金华属浙中丘陵盆地地区,地势南北高、中部低,以金衢盆地为主体,小盆地错落分布,大小盆地之间,丘陵低山阻隔;盆地内分布和缓起伏的波状岗地,盆地中部为河谷冲击平原。盆地南北两侧为丘陵山地。在梅汛期和台汛期期间,降水集中,常出现暴雨,易发生地质灾害。根据国土部门勘察规划,目前共发现地质灾害及隐患点 935 处。地质灾害类型主要有滑坡、坍塌、塌陷和泥石流等。参考《金华市地质灾害防治规划》,经过汇总归并,全境有 8 个地质灾害高易发区、13 个中易发区、2 个低易发区以及 4 个不易发区。区域分布如图 1 所示。高易发区主要分布在丘陵山地地貌区,次为盆地岗丘地貌区;低易发区占居金华市全境;不易发区位于河谷平原及河谷平原与盆地岗丘之间。

1.2 BP 神经网络

人工神经网络具有非线性映射、容错性、自组织性、自适应性和联想等能力。BP 神经

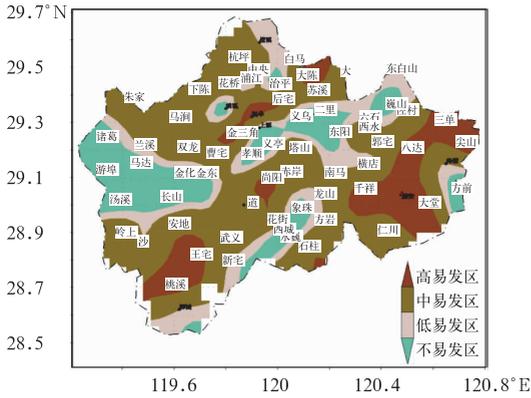


图 1 地质灾害风险等级区域分布

网络模型各神经元是分层排列的,每个神经元只与前一层的神经元相连接,网络中有输入层单元、输出层单元以及不与外层直接联系的中间层单元,称为隐层单元。网络中每一层单元只接收来自前一层单元的输入信号,并对后一层单元输入,形成前馈式特点。它主要利用均方差和梯度下降法来实现网络连接权值的修正,使得网络误差平方和减小,直到总偏差小于某规定的值或前后两轮周期训练网络总偏差的变化小于某允许的值时,中止训练。也即是求解如下函数的最优解:

$$\min E(\tilde{\omega}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (y_k - \tilde{y}_k)^2 \quad (1)$$

$$\tilde{y}_k = f \left[\sum_{i=1}^n (x_i \tilde{\omega}_i + \theta_i) \right] \quad (2)$$

f 为传递函数,其中 n 为样本数, $\tilde{\omega}$ 为 BP 网络阈值, θ 为网络阈值, x_i 为训练样本的输入, \tilde{y}_k 为实际输出, y_k 为期望输出。

最后找某个对训练都比较相符的权矩阵,预报时保持权值不变,每输入一组预报因子就可计算得到一组网络输出值,输出值最大的节点即为预报值^[9]。

2 资料处理

2.1 地质灾害个案整理

首先,根据全市地质灾害隐患风险等级分布,将全区划分为高易发区、中易发区、低

易发区和不易发区 4 个级别的隐患风险等级区域。将国土部门提供的金华全市 2000—2006 年地质灾害历史个案,剔除一些人为因素造成的个案后,得到共计 115 个有效个案,根据地质灾害个案发生地,分别归纳到这 4 个区域中。其次,根据样本个案中造成的灾害大小程度和同时间发生的空间频数又划分为 3 种规模类,这里滑坡、崩塌和泥石流等样本个案对规模有描述的按描述规模,无则按表 1 中规模划分标准,分为大、中、小 3 个等级。最终根据空间分布频数及灾害规模,综合定义样本个案的地质灾害等级。

表 1 地质灾害等级划分标准

规模/m ³	空间频数		
	≥5	2~4	1
大 (≥50000)	5 级	5 级	5 级
中 (10000~49999)	5 级	4 级	4 级
小 (<10000)	4 级	3 级	3 级

根据上述标准,最终得到 115 个个例分布。从等级分布来看,地质灾害主要以 3 级为主,并且频数到 4 级、5 级呈指数型减少,一年中从 2 月份开始地质灾害发生概率开始增加,到 10 月份后趋于减少,6 月份是地质灾害的高发时段,5 级地质灾害也主要集中在一个月(见图 2)。将个案划分到各个隐患风险等级区域,不易发区发生个案占 27%,易发区内占 73%,高易发区则占易发区个案的 30%。整体分布较符合自然规律特征。在上述 115 个起报个案的基础上,再由 2000—2006 年中随机提取 100 个没有发生地质灾害的个案作为 1、2 级样本。

2.2 降水资料处理

地质灾害的发生与降水的强度、持续时间以及降水量的大小显著相关。为了更好地反映这些特性,根据已有研究较为一致的意见,将逐日降水演算成以下 10 类降水指数作

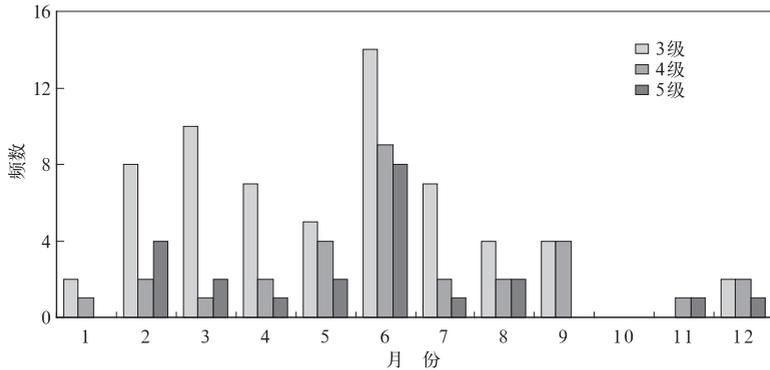


图 2 地质灾害样本逐月的等级-频数分布

为预报因子:①地质灾害当日降水量,实际预报中采用预报值;②前第 1 日降水量;③前第 2 日降水量;④前第 3 日的 3 日累积降水量;⑤前第 4 日的 4 日累积降水量;⑥前第 5 日的 5 日累积降水量;⑦前第 6 日的 6 日累积降水量;⑧日降水量 $\geq 5\text{mm}$ 的降水累积量;⑨ 12 天中最长连续降水天数;⑩前第 3 日至第 11 日的有效降水量。

有效降水量利用经验公式^[6]:

$$r_e = \sum_3^{11} 0.8^{k-1} \times r_k \quad (3)$$

其中, r_e 表示有效降水量, r_k 为从灾害发生当天算起前第 k 日的雨量,因为当天和前 2 天的降水已另有因子表示,故 k 从第 3 天算起。

由于金华中尺度站是从 2005 年开始建设并在不断完善,因此个例对应降水数据以灾害点临近中尺度站资料为主,如尚未有中尺度站资料或缺测,则以所属县站资料代替。

在 4 个隐患风险等级区域中,地质灾害等级对各预报要素有不同程度的响应,从其相关性来看,4 个区域中地质灾害等级对地质灾害发生当日降水量均有较高等度的响应,其次前一日降水、前期累积降水、降水的持续天数以及前期有效降水量的大小也对地质灾害的等级影响较大。高易发区出人意料的对 4 日以前的降水累积量和降水持续时间

响应程度比对前 1 到 3 日的降水量高。不同隐患风险等级区域对不同要素的不同程度的相关性,也进一步证实对其进行划分的必要性。

将上述 10 项降水指数作为输入层,对应的地质灾害等级作为输出层,对神经网络模型进行训练及仿真。

3 模型建立及仿真试验

通过多次调试,确定 BP 神经网络模型的参数配置。网络层数采用 4 层,即输入层、输出层及两层中间层,各层间的传递函数分别采用 logsig (S 型对数函数)、logsig 和 purelin(纯线性函数)。学习函数、训练函数以及性能函数分别采用梯度下降动量学习函数(learnngdm)、Levenberg-Marquardt BP 训练函数(trainlm)和均方误差函数(mse)。且当隐层神经元个数分别取 15 和 8,网络的收敛较快,网络误差也较小。

依据上述模型,在 4 个不同隐患风险等级区域的个例中各抽取 3 个个例作为预报试验样本,其余个例作为训练样本进行训练、仿真。以高易发区为例,在设定的目标误差 0.001 的基础上,网络在训练了 36 次后就已达到要求停止训练,表示此时的网络输出值已经达到一定精度。训练模拟误差曲线(图

略)也证实了我们的判断,可见自变量与应变量之间的非线性映射关系的拟合是非常精确的,该神经网络模型具有很好的模拟能力。

进而对各个风险等级区域的 12 个个例进行预报试验,从预报情况来看(见表 2),对有无地质灾害发生的预报上(3 级起报)漏报 1 例处中易发区,无空报。对 3 级以上具体的等级预报有 2 例预报偏高,1 例预报偏低,预报结果达到较高信度。

表 2 BP 神经网络模型模拟预报结果

	预测等级			实际等级		
	4	5	1	4	3	1
高易发区	4	5	1	4	3	1
中易发区	3	2	1	4	3	1
低易发区	2	3	1	2	3	1
不易发区	4	1	5	4	1	4

4 业务预报试验

4.1 预报平台建设

平台界面通过 vb 函数编译,其具有自动调用中尺度站降水资料,并处理成降水指数的功能,在未来 24 小时降水预报输入框中,输入预报日的当日降水量,金华全区划分为 4 个预报输入区,输入值以数值预报为基础以人工经验订正为辅,输入后降水值自动分配到所属的站点上。平台融合了 matlab 的神经网络算法和 grads 绘图功能,最终以阴影图的形式显示。

4.2 预报个例分析

该预报模型于 2007 年初投入业务试用,效果可喜,模型的预报结果具有较好的概括性,无论是对集中强降水或持续性降水造成的地质灾害均能有较好的灵敏度。2007 年 10 月 7 日、8 日,金华全区连续出现区域性暴雨,且降水量分布不均,东部、南部县市雨量达到 80~100mm,局部地区出现 100mm 以上降水,而前期金华全区无明显降水过程,这次地质灾害是由集中强降水引发的。从预报

的地质分布来看,磐安的大部,永康的北部至武义一带均预报有地质灾害 5 级,金华的西南部和兰溪中部以及义乌北部至浦江东北部也预报有地质灾害 5 级,地质灾害发生可能性很大。而从国土部门了解的实际情况来看,这次过程造成磐安的新渥镇、尚湖镇和安文镇均发生了较为严重的滑坡现象,武义的新宅也出现多次不同程度的滑坡,如图 3 所示,预报高发区对应良好。而 2008 年 6 月 14 日的地质灾害,由于从 8 日起就一直维持阴雨天气,尽管当日降水强度不大,但累计雨量较大,因此在地质灾害预报图上,仍在一些区域预报有地质灾害发生的可能。

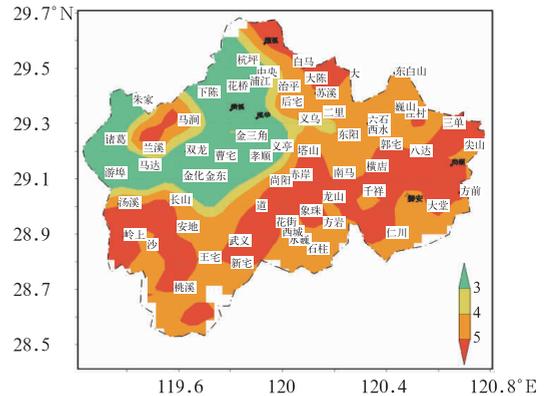


图 3 2007 年 10 月 8 日的地质灾害等级预报图

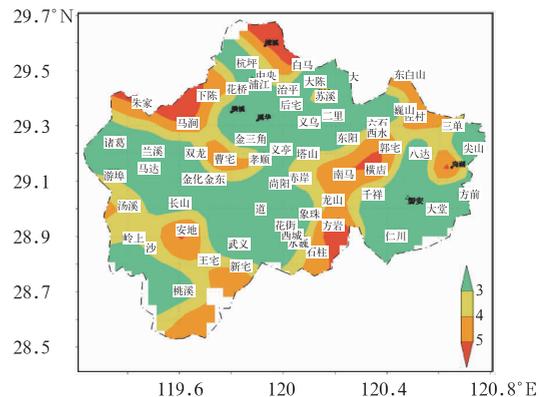


图 4 2008 年 6 月 14 日地质灾害等级预报图

通过 2007 年以来有资料记载的地质灾害点的地质灾害实况(剔除人为造成的)与单

点预报结果的对比(见表3),可见15个灾害点中80%有地质灾害预警提示,3级以上的则达到83%;等级准确预报的为8例,3级以

上等级准确预报的达到67%。结果进一步表明模型能有较好的概括性,特别是对中级规模及以上的地质灾害有较好的预报效果。

表3 地质灾害实况等级与预报等级对比

序号	地点	时间	实况等级	预报等级
1	磐安县玉山镇黄里村	2007年5月1日	3	3
2	武义县西联乡殿下畈村	2007年6月24日	3	2
3	武义县桃溪镇潘村萤石矿采空区	2007年8月15日	3	1
4	磐安县玉山镇岭口村	2007年9月1日	4	4
5	磐安县深泽乡深三村	2007年9月19日	4	4
6	磐安县新渥镇麻车下村	2007年10月7日	5	5
7	磐安县尚湖镇大塘后山	2007年10月7日	5	5
8	磐安县安文镇白云山村	2007年10月7日	5	4
9	婺城区箬阳雪山南坑村	2007年10月8日	3	4
10	武义县新宅镇桃树坑村	2007年10月8日	3	2
11	兰溪市横溪镇虞界村	2008年5月28日	3	4
12	义乌市城关镇时代广场北侧	2008年6月10日	3	3
13	金东区源东乡长塘徐村	2008年6月11日	4	3
14	婺城区罗店镇洞前村	2008年6月11日	3	3
15	义乌市刺岸镇丫溪村	2008年6月14日	3	3

5 结语

(1) 在国土部门勘察规划的基础上,将全区划分为不同等级的隐患风险区域,其物理意义明确,对由地质地貌条件造成的隐患风险描述能力较强,进而根据不同的隐患风险区域分别建立预报权重矩,从而使地质灾害等级预报模型更具客观性和实用性。在此基础上采用分布较细的中尺度资料,进一步提高了地质灾害的预报精度。

(2) BP神经网络以其独特的优势得到广泛的应用,试验证明它有较高的拟合能力,将其应用到地质灾害的预报中来,有较好的应用前景。

(3) 由于目前收集的地质灾害个例尚少,且中尺度站资料长度不够,对预报模型的建立带来较大的负面影响。随着样本及资料的累积,这一现状将得以改善,应会更进一步

提高模型的预报能力。

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.
- [2] 宋光齐,李云贵,钟沛林. 地质灾害气象预报预警方法探讨[J]. 水文地质工程地质, 2004, (2): 33-36.
- [3] 朱龙彪,何彩芬,陈有利,等. 宁波市突发性地质灾害气象预报预警方法[J]. 气象, 2007, 33(11): 112-117.
- [4] 韩娟,张永伟,祁娟,等. 综合危险性指数法在苍山县地质灾害易发区划分中的应用[J]. 山东国土资源, 2007, 23(6): 36-40.
- [5] 涂国强,杨立中,贺玉龙,等. 地质灾害预测数学模型研究[J]. 四川师范大学学报, 2001, 24(6): 637-639.
- [6] 薛建军,徐晶,张芳华,等. 区域性地质灾害气象预报方法研究[J]. 气象, 2005, 31(10): 24-26.
- [7] 张延治. 辽东半岛山洪泥石流与诱发暴雨[J]. 气象, 1993, 17(1): 43-47.
- [8] 罗元华. 我国滑坡泥石流崩塌灾害分布与经济损失评估[J]. 国土开发与整治, 1994, 4(1): 49-55.
- [9] 孙照渤,谭桂容,赵振国. 人工神经网络方法在夏季降水预报中的应用[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(1): 47-52.