

文章编号:1004-4574(2013)02-0136-08

基于 GIS 的精细化暴雨致灾预警指标研究

陈海燕,杨诗芳,许浩恩,孔照林,黄娟,张玮玮

(浙江省气象台,浙江杭州 310017)

摘要:根据浙江省 62 个县气象站 1971~2008 年降水资料、各县 1983~2008 年灾情资料、地理地貌和社会经济背景资料,利用优势分析、两纬图论聚类、数据包络分析、聚类分析、层次分析等方法,分析了各地地理地貌、社会经济背景等情况,将浙江划分为五个区域;继而分析各区暴雨致灾因子、地理地貌、社会经济条件与暴雨成灾的关系,建立精细化的暴雨致灾预警模型,分区域划分 1~5 级暴雨致灾预警等级。研究表明,“1 级”暴雨可能带来人员伤亡和严重财产损失,造成特重灾情,“2 级”暴雨可能带来严重危害,“3 级”暴雨则有可能发生较重灾害,“4 级”暴雨可带来轻度损失,“5 级”暴雨基本不成灾。通过检验,暴雨致灾预警等级与实际灾情较吻合,可以在暴雨灾害等级预报和灾后评价中应用。

关键词:暴雨灾害;暴雨致灾预警等级;评估;优势分析;两纬图论聚类;浙江省
中图分类号:X43;P49 **文献标志码:**A

GIS-based high-resolution early warning index of rainstorm disaster

CHEN Haiyan, YANG Shifang, XU Haoen, KONG Zhaolin, HUANG Juan, ZHANG Weiwei

(Zhejiang Meteorological Observatory, Hangzhou 310017, China)

Abstract: With data of precipitation from 1971 to 2008 in local weather stations, and disaster data, geographical landscape and socio-economic background from 1983 to 2008 of 62 counties in Zhejiang Province, we performed dominance analysis methods, two weft graphics cluster, data envelop analysis, cluster analysis and hierarchy analysis, etc, to divide Zhejiang Province into five geographical districts based on these data, and then analyzed the relationship between the rainstorm disaster and hazard factors, geographical landscape, socio-economic background. The high-resolution assessment model of rainstorm-causing disaster intensity was established on the basis of the analyses, and the early warning index was calculated through the model. The early warning index of rainstorm-causing disaster of each geographical district is divided into 5 grades, with Grade 1 the highest. It is defined that Grade 1 are those that cause casualties and serious property losses which may lead to ultra-serious disaster; Grade 2 are those that cause very serious disasters; Grade 3 are those that likely cause severe damage; Grade 4 are for minor damage, and Grade 5 corresponds to no disasters. Tests show that the early warning index of rainstorm-causing disaster can reflect the actual disaster situations, and it can be applied to rainstorm disaster grade forecasting and disaster assessment.

Key words: rainstorm disaster; early warning grade of rainstorm-causing disaster; assessment; dominance analysis; two weft graphics cluster; Zhejiang Province

收稿日期:2012-05-25; 修回日期:2012-08-15

基金项目:浙江省气象局重点科技专项(2008ZD12)

作者简介:陈海燕(1967-),女,高级工程师,主要从事气象应用和灾害评估研究. E-mail:chy_ly1994@sina.com

暴雨及其引发的洪涝、泥石流、滑坡等衍生灾害,对人民生命财产构成严重危害。区域灾害系统理论认为灾情是致灾因子、孕灾环境与承灾体综合作用的结果^[1-2]。也就是说,一次暴雨成灾,不仅与暴雨强度有关,还与当地的地理环境、社会经济等有关,同样强度的暴雨降落在不同区域,引发的灾情不同。准确、及时的暴雨灾害评估可以有效减轻灾害损失^[3],一直以来气象部门在暴雨预报、预警方面做了大量工作,但主要是降水要素的预报,而对灾害的形成研究不深入,评估工作则主要侧重于暴雨事件(强度、持续时间、范围等)的评价^[4],由于没有考虑孕灾环境与承灾体,不能完全与灾害(损失)建立关系。其他部门的暴雨灾害评估则侧重于监测评估与灾后评估^[5-7],不能满足灾前防御的需求;另一方面,由于灾情统计标准不完善、人为因素较多等情况,导致以灾情统计项目为基础建立的灾后评估存在不全面、主观性等特点。

在特定的区域(承灾体和孕灾环境相对稳定),致灾因子是灾害(损失)形成的主因^[8]。本文旨通过分析浙江暴雨强度(强度、持续时间等)与灾情之间的关系,并结合考虑区域脆弱性、地理地貌对暴雨成灾的作用等,建立精细化(格点)的暴雨致灾等级预警方法与指标。在降水预报的基础上,根据此指标发布暴雨灾害等级预警,将要素预报转化为灾害预报;同时在降水监测的基础上,根据此指标做灾后评定的参考,弥补灾情统计不完善、人为性较强等不足,使灾后评估更具客观与科学性。本研究将大大提高灾害评估的空间分辨率,改善以往灾害评估针对性不够的局面,提高防灾救灾效率。

1 资料

1.1 暴雨过程及挑选

浙江暴雨可分为台风暴雨与非台风暴雨两类,台风是“多灾种叠加致灾^[9]”,是暴雨、大风、风暴潮共同作用而成,台风暴雨致灾与其他暴雨的单因子致灾机理有所不同,笔者曾另文著述^[10],因此本文挑选的暴雨过程主要是除台风暴雨外的区域性暴雨个例。

区域暴雨过程定义:一次降水过程中,研究区域内至少有1天有10%的陆域出现日雨量 ≥ 50 mm的暴雨(台风暴雨除外)。

挑选方法:检索研究区域内10%的陆域同时出现暴雨的日期,围绕此暴雨日,查看前后日子的降水记录情况,确定暴雨起止日期,一般原则是,当研究区域30%的气象站观测到降水的日期定为暴雨过程起始日,70%的气象站降水结束的日期定为暴雨过程结束日。

以浙江省62个县气象站1971-2008年的降水资料为基础,用上述指标和方法挑选出除台风暴雨外的257场暴雨过程作为本文研究资料。

1.2 其他数据来源

社会经济数据来自1999-2009年的《浙江省统计年鉴》,地理地貌数据来自浙江测绘局的1:25万的浙江地理信息系统。

另外,本文分析还利用了由浙江省各县气象局整理的1983-2008年的206例暴雨灾情资料,统计检验用的2010年和2011年灾情资料来自浙江省民政厅。

2 地理环境、社会经济条件分区

挑选出与暴雨成灾息息相关的地理环境与社会经济条件因子,将浙江以县(市)为单位分成若干区域,目的是为了更细致的研究暴雨成灾机理。

2.1 分区因子挑选

同样强度同样持续时间的暴雨,如果作用在地势低洼、江河水网交错的平原地区,则引发水灾、渍害的概率会很大;如果作用在层岚叠嶂、沟壑纵横的山地丘陵地区,发生渍、涝的概率就小,但却极易引起山洪和造成山体滑坡、泥石流等次生灾害。我们选择海拔高度、地形起伏情况、江河水网密度以及地质条件等作为与暴雨成灾相关较密切的地理地貌因子。一般而言,海拔越高的地区相对不易出现大范围积水,而海拔较低的地区发生渍涝的概率较大。如果地形起伏较大,说明局地地势有高有低,不容易形成大面积水淹现象;反之则容易发生积水和洪涝。江河、水网密度越大,发生涝灾的概率越大。暴雨是否引发泥石流、滑坡等地质灾害与地质条件息息相关。

承灾体是致灾因子作用的对象,是蒙受灾害的实体。根据已有的研究成果^[11-12],确立以人口密度(人口/土地面积)、地均 GDP(GDP/土地面积)、农业密集程度(耕地面积/土地面积)代表暴雨灾害承灾体的暴露性因子,承灾体暴露性越大,成灾的可能性越大。

2.2 资料处理

地理地貌因子的具体数据用 ArcInfo 软件从 1:250000 的地理信息中提取。特别说明,我们用地形标准差来代表地形起伏特征,也就是对 100 m × 100 m 的地形栅格网进行邻域 25 个网格计算标准差得到,标准差越小越容易成灾。浙江的地质灾害条件已做过调查评估(浙江省国土厅,2006 年),本文应用其相应成果。具体资料处理如下:

用自然断点法将浙江省的海拔高度、地形标准差、水网密度的格点资料分成 10 等级(赋予 1 ~ 10 的值),海拔越高值越小,地形标准差越小值越大,水网密度越大值越大。然后以县(市)为单位计算域内各等级范围所占的比例。地质灾害按照 4 个等级(即不易发、低易发、中易发、高易发)也以县(市)为单位计算域内各等级的比例。最后用加权平均法计算各因子系数,公式如下:

$$p = \sum_{i=1}^n w_i \cdot d_i \tag{1}$$

式中: p 为某县(市)的某地理环境因子系数, w_i 为第 i 等级的权重, d_i 为 i 等级的比例(范围), n 为等级数。权重由层次分析法(AHP)确定,见表 1。AHP 是由美国运筹学家 Saaty 教授于 20 世纪 70 年代初期提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法,特别适用于那些难以完全定量分析的问题。其计算步骤大体可分为:(1)建立递阶层次结构,即把问题条理化、层次化,构造出一个有层次的结构模型;(2)构造判断矩阵,层次结构反映了因子之间的关系,可对因子进行两两比较建立成对比较矩阵;(3)层次单排序及一致性检验;(4)层次总排序及一致性检验。当一致性检验指标 $CR < 0.10$ 时,认为层次单(总)排序结果具有较满意一致性并接受该分析结果,否则应对判断矩阵再作适当修正。

社会经济条件数据从浙江省统计年鉴中获取。为了数据的稳定性,以县(市)为单位取 1999 - 2009 年的平均值。

为了消除量纲,将地理环境因子和社会经济条件因子的数据标准化到[0.1 ~ 1.1]区间中。

表 1 地理环境因子等级权重
Table 1 Weights of grades of geographical environment factors

因子	等 级									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
海拔高度	0.015	0.019	0.027	0.038	0.053	0.076	0.108	0.154	0.215	0.296
地形标准差	0.015	0.019	0.027	0.038	0.053	0.076	0.108	0.154	0.215	0.296
河网密度	0.015	0.019	0.027	0.038	0.053	0.076	0.108	0.154	0.215	0.296
地质灾害	0	0.117	0.268	0.615	地质灾害的 1,2,3,4 级分别代表不易发、低易发、中易发、高易发					

2.3 分区方法及结果

空间划分不仅要求各分区内部的地理、经济条件具有相对一致性,又要保持空间上的联通性和行政区界的完整,两纬图论聚类方法能很好的满足以上要求,其数学表达为:设 U 代表要划分的区域,由 n 个分区单元组成($V_i \subseteq U, i = 1, 2, \dots, n$),要对 U 进行区划,就是求一割集 $\{U_i, i = 1, 2, \dots, m\}$,其中 m 为分区数,该割集需满足 $V_i \subseteq V_j, \xi(V_i, V_j) = 1$,也就是要满足连通性, $d(V_i, V_j)$ 定义为一个 V_i 和 V_j 之间的关联度量, $\max\{d(V_i, V_j) | V_i, V_j \in V_i\} < A, A$ 为一常数,其确定原则为区内分异小,区与区之间分异大。两纬图论聚类就是利用空间分析与图论算法,同时结合聚类思想的一种分析方法。

表 2 浙江自然、经济条件分区
Table 2 Zoning of natural and economic condition in Zhejiang Province

区名	包含的县、市、区
浙北平原	杭州、绍兴、海宁、桐乡、湖州、德清、长兴、萧山、宁波、余姚、慈溪、海盐、嘉兴、嘉善、平湖、上虞
沿海海岛	象山、舟山、岱山、嵊泗、洞头、玉环、温岭、台州、乐清、瑞安、平阳、苍南、温州、临海、三门、宁海
浙中北丘陵	义乌、东阳、永康、诸暨、奉化、嵊州、新昌、天台、仙居、磐安、武义、金华、兰溪、浦江
浙南山区	丽水、缙云、青田、文成、泰顺、景宁、庆元、龙泉、松阳、云和、遂昌、永嘉
浙西山区	安吉、临安、桐庐、富阳、江山、常山、开化、衢州、龙游、建德、淳安

以浙江各县(市)的地理、社会经济因子为样本数据,用文献[13]介绍的两纬图论聚类方法进行分区。分区结果见表2。“浙北平原区”主要由平原组成,即杭嘉湖平原和宁绍平原,区内人口密集,经济发达。“沿海海岛”区由海岛、丘陵、平原等组成,经济总体发达但分布不均。“浙中北丘陵”区以丘陵、山地、盆地为主,区内人口较密集,经济较发达。“浙南山区”和“浙西山区”多为中低山区,区内经济相对其他区欠发达。

3 暴雨致灾模型与预警指标

暴雨成灾取决于暴雨强度、承灾体脆弱性、自然环境等多方面,其中致灾因子代表自然变异的强度,是灾害发生的主要动力,孕灾环境对灾害形成起扩大或缩小作用,而区域脆弱性越大,灾害成灾“效率”越大,灾情越重。以下以浙江为例,从以上三方面构建精细化的暴雨致灾模型。

3.1 暴雨强度指数

就暴雨过程的致灾因子而言,暴雨成灾不仅跟暴雨过程的总雨量有关,还与暴雨的日暴雨量、强降水持续时间有关,而这三者之间又具有相关关系,因此要确定三者对暴雨成灾的相对重要性(即权重)就会相当复杂。Budescu^[14]提出的优势分析(dominance analysis)方法能解决这样的问题,其思路是:首先将各个预测指标以及这些指标的不同组合形式对因变量进行回归分析,分析含有这些预测指标及各种不同指标组合的所有回归方程的决定系数 R^2 ,比较这些回归方程中每一指标(组合)的决定系数,看某一指标(或组合)加入到回归方程后 R^2 的提高情况,继而确定预测因子的贡献率,我们就把这个贡献率作为相关因子的权重系数。

方法与步骤:

(1)评估因子及数据处理。暴雨强度评估因子为:暴雨过程总雨量(R_{all})、暴雨过程最大日雨量(R_{max})、暴雨日(R_d)。

为了使每场暴雨的上述因子具有可比性,将数据做相应处理。对浙江257场62个县气象站记录的7892个暴雨样本的 R_{all} , R_{max} , R_d 做平均,得到平均值分别为 \bar{R}_{all} , \bar{R}_{max} , \bar{R}_d ,将样本数据除以样本资料平均值,作为研究样本数据。

(2)贡献率分析及强度指数模型。由于灾情资料的局限性,我们只整理了1983-2008年以县(市)为单位的因暴雨造成的死亡人数、直接经济损失、成灾农田、倒塌房屋等灾情资料,以及相应的暴雨过程资料(R_{all} , R_{max} , R_d),样本共206个。将各样本的 R_{all} , R_{max} , R_d 做上述所述的资料处理,与灾情各因子进行优势(主导)分析,结果见表3。

表3 暴雨各因子成灾贡献率

Table 3 Contribution percentage of rainstorm disaster-causing factors

灾情项目	暴雨因子		
	总雨量	暴雨强度	暴雨日数
经济损失	0.50	0.21	0.29
成灾农田	0.43	0.18	0.39
倒塌房屋	0.40	0.19	0.42
伤亡人口	0.20	0.61	0.19
平均贡献率	0.38	0.30	0.32

由表3可知,在财产损失(经济损失、农田受灾、房屋倒塌)中,总雨量成灾贡献率最大,而在人员伤亡中,暴雨强度的成灾贡献率最大。取暴雨各因子的成灾贡献率平均值,作为暴雨强度综合评估因子的权重系数,建立暴雨强度指数评估模型,即:

$$I_r = 0.38 \frac{R_{all}}{\bar{R}_{all}} + 0.30 \frac{R_{max}}{\bar{R}_{max}} + 0.32 \frac{R_d}{\bar{R}_d} \quad (2)$$

式中: I_r 为暴雨强度指数; R_{all} 为一场暴雨过程县气象站总雨量,单位:mm; R_{max} 为一场暴雨过程县气象站最大日雨量,单位:mm; R_d 为一场暴雨过程县气象站的暴雨日,单位d。 \bar{R}_{all} , \bar{R}_{max} , \bar{R}_d 为常数,这里为257场暴雨7892个样本资料的平均值。

3.2 区域脆弱性分析

上文述及相同强度的暴雨作用于不同地理地貌和社会经济条件下,成灾的效率不同,本节用数据包络分

析(DEA)方法对浙江省 5 个区域的暴雨灾害脆弱性进行研究。DEA 是一个“投入-产出”运行效率的评价模型,应用于暴雨脆弱性研究可以这样认为,暴雨致灾因子(强度、持续时间等)是“投入”因子,灾情是“产出”因子,脆弱性就是“效率”水平,“效率”越高,越容易成灾,脆弱性愈大。由于文章篇幅有限,这里对 DEA 模型不做具体展开介绍,本研究选用 DEA 模型中的 CCR 模型进行分析。

挑选出 1983 年以来浙江各县(市)因暴雨灾害造成直接经济损失占上年 GDP 的 0.5% 以下的个例共 82 例,分区域计算暴雨强度指数(I_f)和经济损失的平均值,用文献[13]介绍的 DEA 模型软件计算出各区域的暴雨灾害相对脆弱性(见表 4)。由表可知,浙西山区暴雨灾害脆弱性相对最大,最容易成灾,沿海最小,最不容易成灾。

表 4 区域脆弱性评价
Table 4 Assessment of regional vulnerability

区 域	平均 I_f	直接经济损失占上年 GDP 比值的平均值/%	成灾效率(脆弱性)
浙西山区	1.173 3	0.210 9	1.000
浙南山区	1.687 3	0.285 9	0.942 9
浙中北丘陵	1.129 3	0.181 5	0.894 2
浙北平原	1.266 3	0.187 4	0.823 4
沿海海岛	1.631 5	0.219 5	0.748 6

3.3 地理环境影响修正系数

上节分析的是区域间的成灾效率,本节主要分析相同区域内地理环境对成灾的影响。评价公式如下:

$$I_e = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_i \tag{3}$$

式中: I_e 为某地孕灾环境综合评价指数, W_i 为第 i 指标的权重, D_i 为某地 i 指标值, n 为指标数。 I_e 越大越容易成灾。

由于无法对各因子的相对重要性进行样本统计和检验,因此经过专家咨询各区各因子对暴雨成灾的重要性后,采用层次分析法(AHP)确定权重系数。各区由于孕灾环境不同,灾害的表现方式也有所侧重,如山区暴雨最大危害是引发地质灾害,平原主要表现为洪涝,沿海由于雨水可以迅速排入海中,地势因子作用相对较弱,等等。浙江各区的孕灾环境因子指标权重值见表 5,因子的具体两两比较这里省略。

表 5 各区孕灾环境因子权重
Table 5 Weights of disaster-causing environmental factors in each region

分区环境因子	浙北平原	浙中北丘陵	浙西山区	浙南山区	沿海海岛
海拔高度	0.095 4	0.1	0.095 4	0.095 4	0.1
地形标准差	0.160 1	0.3	0.160 1	0.160 1	0.1
河网密度	0.467 3	0.3	0.277 2	0.277 2	0.4
地质条件	0.277 2	0.3	0.467 3	0.467 3	0.4

为了得到孕灾环境对成灾的作用效率,5 个区域挑选出平均孕灾环境系数相对最大的 5 个县(市):海盐市、常山县、温州城区、诸暨市、永嘉市,相对最小的 5 个县(市):上虞市、衢州城区、洞头县、天台县、松阳县。计算 10 个县(市)因暴雨灾害造成直接经济损失占上年 GDP 为 0.5% 以下的暴雨个例的 I_f 值,计算得知, I_e 值小的 5 个县(市)的平均 I_f 值约为 I_e 值大的 5 个县(市)的 I_f 值的 1.4 倍,因此构建的孕灾环境修正系数在 $[-0.2, 0.2]$ 区间内,负值表示孕灾环境对成灾起削减作用,正值表示加重成灾可能,计算公式如下:

$$I'_e = -0.2 + 0.4 \times (I_e - I_{emin}) / (I_{emax} - I_{emin}) \tag{4}$$

式中: I'_e 为某地孕灾环境修正系数, I_e 为某地孕灾环境综合评价指数, I_{emax} 为某区域最大孕灾环境系数, I_{emin} 为某区域最小孕灾环境系数。

因而考虑了孕灾环境的暴雨致灾指数为:

$$I = (1 + I'_e)I_r \tag{5}$$

式中: I 为致灾指数, I'_e 为孕灾环境修正系数, I_r 为暴雨强度指数。

3.4 预警指标

3.4.1 灾情等级划分

根据浙江 206 例以县(市)为单位的灾情样本划分灾情等级,本文着重探讨暴雨的综合预警等级,因此灾情等级划分因子尽量简单化并抓住事物本质,损失指标主要由死亡人数和直接经济损失确定,直接经济损失取相对值(即占上一年 GDP 的比值),等级划分以样本资料为基础,采用“有序样本最优分割法”划分,死亡人数等级通过咨询专家确定,具体指标见表 6。灾情等级按照双指标的就高原则划定。

3.4.2 暴雨致灾预警等级指标

将 206 例灾情样本根据表 6 指标按照就高原则划分为 4 个等级,即“轻灾”、“较重灾”、“严重灾”、“特重灾”。利用公式(2)、(5)计算有灾情的 206 个样本的以县(市)为单位的致灾指数(I),其中孕灾环境修正系数值以县(市)为单位取域内的格点平均值。然后用灾情等级资料和致灾指数资料做聚类分析(最优分割法),得出 1~5 级的最低预警指标(I)为:1 级, >2.9 (含);2 级, 1.9 (含)~ 2.9 ;3 级, 1.3 (含)~ 1.9 ;4 级, 0.8 (含)~ 1.3 ;5 级, <0.8 。将最低预警指标除以各区的成灾效率(脆弱性),得到各区预警等级指标(见表 7)。

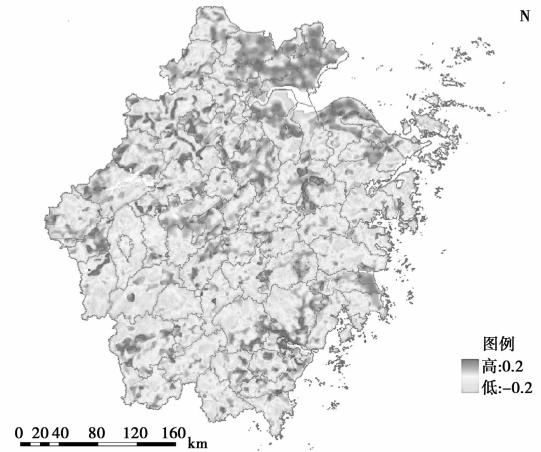


图 1 浙江地理环境对暴雨成灾影响的修正系数
Fig. 1 The correction coefficient of Zhejiang geographical environment factor to rainstorm disaster

表 6 以县为单位的灾情等级评估指标

Table 6 Assessment indices of disaster situation grades under taking county as unit

灾情等级	死亡人数/人	直接经济损失占上年 GDP 比值/%
轻灾	0	<0.5
较重灾	1(含)~3	0.5(含)~2
严重灾	3(含)~10	2(含)~5
特重灾	>10(含)	>5(含)

表 7 暴雨致灾预警指标 I

Table 7 Early warning index I of rainstorm-caused disaster

致灾预警等级	浙西山区	浙南山区	浙中北丘陵	浙北平原	沿海海岛	对应灾情等级
5	<0.8	<0.85	<0.9	<1.0	<1.1	基本无灾
4	0.8(含)~1.3	0.85(含)~1.35	0.9(含)~1.4	1.0(含)~1.5	1.1(含)~1.6	轻灾
3	1.3(含)~1.9	1.35(含)~1.95	1.4(含)~2.0	1.5(含)~2.1	1.6(含)~2.2	较重灾
2	1.9(含)~2.9	1.95(含)~2.95	2.0(含)~3.0	2.1(含)~3.1	2.2(含)~3.2	严重灾
1	>2.9(含)	>2.95(含)	>3.0(含)	>3.1(含)	>3.2(含)	特重灾

4 暴雨致灾预警等级指标检验

本节用 2010 年和 2011 年的浙江省两场暴雨实例来验证暴雨致灾等级预警指标的合理性。

4.1 2010 年浙江暴雨灾害评估实例

2010 年 6 月 16-23 日浙江出现一场梅雨期间的强降水过程。根据浙江 1 000 余个自动雨量站资料,用式(2)、(5)计算格点致灾指数,根据分区致灾等级指标绘制全省“6.16-6.23”暴雨致灾预警等级图(图 2(a)),根据表 6 的灾情等级指标绘制以县为单位的“6.16-6.23”暴雨灾情等级图(图 2(b))。将两者对比

分析可知,暴雨致灾阈值也就是 4 级及以上预警等级跟灾情实况分布相当吻合,1 级和 2 级预警等级对应特重灾与严重灾也较吻合,其中淳安县整体暴雨致灾等级并不高,但南部局部达到 2 级预警指标,引发了泥石流,造成 6 人死亡,灾情等级相应较高,但经济损失并没达到严重标准;3 级和 4 级预警等级与灾情程度对应性略差,一般都是预警等级高于灾情等级。

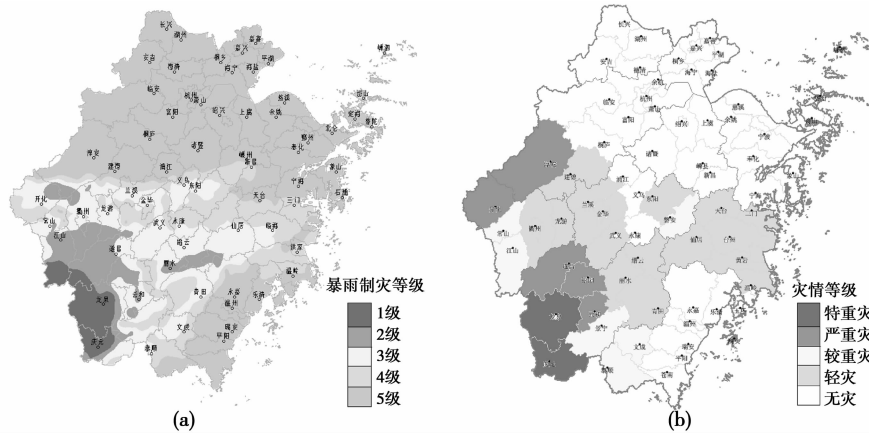


图 2 浙江 2010 年“6.16 - 6.23”暴雨致灾预警等级 (a) 与灾情等级 (b)

Fig. 2 Disaster-causing early warning grades (a) and disaster situation grades (b) of Zhejiang“6.16 - 6.23”rainstorm in 2010

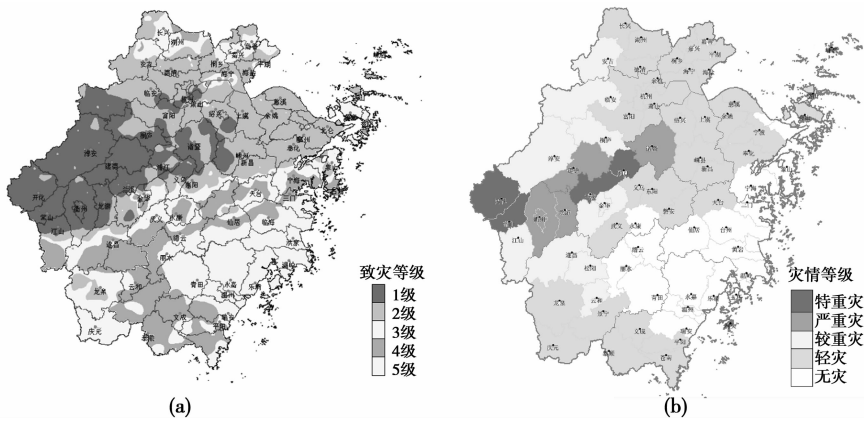


图 3 浙江 2011 年“6.04 - 6.19”暴雨致灾预警等级 (a)、与灾情等级 (b)

Fig. 3 Disaster-causing early warning grades (a) and disaster situation grades (b) of Zhejiang“6.04 - 6.19”rainstorm in 2011

4.2 2011 年浙江暴雨灾害评估实例

2011 年 6 月 4 日至 19 日浙江省暴雨不断,半月全省平均雨量 332 mm,钱塘江流域平均雨量 534 mm,发生 50 a 一遇的大洪水,全省 441.3 万人受灾,死亡 3 人,直接经济损失 108 亿元。从致灾预警等级(图 3(a))与灾后灾情等级(图 3(b))来看,暴雨致灾阈值也就是 4 级及以上预警等级跟灾情实况分布相当吻合,其他级别的预警等级一般都高于灾情等级,误差可能来源两方面,一方面是本文的灾情等级涉及的灾情项目相对简单,不能体现灾害对经济社会各方面的影响,另一方面由于浙江北部经济发达,GDP 相对较高,采用受灾率(直接经济损失与 GDP 的比例)削弱了实际的受灾程度。

5 结论与讨论

本文根据暴雨灾害系统理论,分析了暴雨致灾因子、孕灾环境、承灾体等在暴雨成灾过程中的作用,建立了由总雨量、最大日雨量、暴雨日组成的暴雨强度评估模型,同时还分析了区域脆弱性以及孕灾环境因子对暴雨成灾的影响等,继而构建了精细化(格点)的暴雨致灾预警模型和指标。

通过对 2010 年和 2011 年梅汛期期间影响浙江的两场暴雨进行试预警评估,发现暴雨致灾预警等级与实际灾情较一致。通过检验,格点化的浙江暴雨致灾预警等级指标可以在成灾等级预报和灾后评估中应用。

本文建立的是格点化的预警模型和指标,而研究过程中使用的灾情资料是以县(市)为单位,建模过程中时常要把不同空间分辨率的资料进行转换,平滑了一些有用信息;由于格点化的承灾体资料获取困难,本文只进行了区域脆弱性分析,在模型中起半定性半定量的作用;另外,评估模型没有考虑前期降水对暴雨成灾的作用,但在实时监测应用中,对前期降水做了一些经验的衰减处理,正在业务运行中不断修正。

参考文献:

- [1] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6-17.
SHI Peijun. Second discussion of theory and practice for systematic studies on disasters [J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5(4): 6-17. (in Chinese)
- [2] 仪垂祥, 史培军. 自然灾害系统模型——I: 理论部分[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(3): 6-8.
YI Chuixiang, SHI Peijun. Natural disaster system model [J]. Journal of Natural Disasters, 1995, 4(3): 6-8. (in Chinese)
- [3] 刘俊, 徐向阳. 江苏省洪涝灾害评估系统设计[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(4): 80-84.
LIU Jun, XU Xiangyang. Flood disaster evaluation system of Jiangsu Province [J]. Journal of Natural Disasters, 1999, 8(4): 80-84. (in Chinese)
- [4] 陈艳秋, 袁子鹏, 盛永, 等. 辽宁暴雨事件影响的预评估和灾后速评估[J]. 气象科学, 2007, 12(6): 626-632.
CHEN Yanqiu, YUAN Zipeng, SHENG Yong, et al. An assessment method of torrential rain event in Liaoning Province [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2007, 12(6): 626-632. (in Chinese)
- [5] 陆敏, 刘敏, 权瑞松, 等. 上海暴雨灾害的系统特征与脆弱性分析[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2010, 2(3): 9-15.
LU Ming, LIU Ming, QUAN Ruisong, et al. Analysis of system characteristics and vulnerability of rainstorm hazards in Shanghai [J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2010, 2(3): 9-15. (in Chinese)
- [6] 陈香, 王静爱, 陈静. 福建暴雨洪灾时空变化与区域划分的初步研究[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(6): 1-7.
CHEN Xiang, WANG Jingai, CHEN Jing. Primary study on spatiotemporal change and regionalization of storm-flood in Fujian Province [J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(6): 1-7. (in Chinese)
- [7] 袁艺, 张磊. 中国自然灾害灾情统计现状及展望[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 89-94.
YUAN Yi, ZHANG Lei. Present situation on natural disaster statistics in China and the prospect [J]. Journal of Catastrophology, 2006, 21(4): 89-94. (in Chinese)
- [8] 黄崇福. 自然灾害基本定义的探讨[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 41-50.
HUANG Chongfu. A discussion on basic definition of natural disaster [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(5): 41-50. (in Chinese)
- [9] 史培军. 五论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 1-9.
SHI Peijun. Theory and practice on disaster system research in a fifth time [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(5): 1-9. (in Chinese)
- [10] 陈海燕, 严冽娜, 娄伟平. 热带气旋致灾因子综合影响强度评估指标研究[J]. 热带气象学报, 2011, 27(1): 139-144.
CHEN Haiyan, YAN Liena, LOU Weiping. On assessment indexes of the strength of comprehensive impacts of tropical cyclone disaster-causing factors [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2011, 27(1): 139-144. (in Chinese)
- [11] 姜彤, 许朋柱. 自然灾害研究中的社会易损性评价[J]. 中国科学院院刊, 1996, 3(3): 186-191.
JIANG Tong, XU Pengzhu. The assessment of societal vulnerability in natural disaster research [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 1996, 3(3): 186-191. (in Chinese)
- [12] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性评价指标体系研究[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 113-116.
FANG Yunxiao, LUO Yun, CHEN Qingshou. Research on indexes system about regional vulnerability assessment [J]. Geoscience, 2001, 15(1): 113-116. (in Chinese)
- [13] 唐启义. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 2版·北京: 科学出版社, 2010: 321-1069.
TANG Qiyi. DPS Data Processing System—Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining: Second edition [M]. 2nd ed. Bei Jing: Science Press, 2010: 321-1069. (in Chinese)
- [14] Budeacu D V. Dominance analysis: a new approach to the problem of relative importance of predictors in multiple regression [J]. Psychological Bulletin, 1993, 114: 542-551. (in Chinese)
- [15] 刘毅, 黄建毅, 马力. 基于 DEA 模型的我国自然灾害区域脆弱性评价[J]. 地理研究, 2010, 29(7): 1153-1158.
LIU Yi, HUANG Jianyi, MA Li. The assessment of regional vulnerability to natural disasters in China based on DEA model [J]. Geographical Research, 2010, 29(7): 1153-1158. (in Chinese)