

文章编号:1004-4574(2012)05-0152-07

台风灾害风险区划模型

胡波¹, 严甲真², 丁焯毅¹, 黄鹤楼¹, 赵伍杰¹

(1. 宁波市气象局, 浙江 宁波 315012; 2. 浙江省淳安中学, 浙江 杭州 311700)

摘要:台风灾害发生频率高,影响严重,是人类面临的全球性重大问题之一。对台风灾害进行科学、合理的风险评估显得尤为重要。以宁波市为研究对象,在隶属函数和自然灾害风险理论的基础上,综合考虑形成台风灾害风险危险性、暴露性和脆弱性,结合GIS技术建立了台风灾害风险区划模型,绘制了宁波市台风灾害风险区划图;并利用灾级指数对模型结果进行了验证。结果表明:宁波市各区、县的台风灾害风险指数中,宁海、鄞州、余姚、奉化、象山和慈溪台风灾害的总风险指数较大,老城区(海曙区、江东区、江北区)、镇海和北仑较小;宁波市东南沿海、城镇和部分山区台风灾害风险等级较高;灾级指数与台风风险指数的相关性较好,决定系数达到0.7181,且通过了0.01的置信区间。

关键词:隶属函数;自然灾害风险;台风;风险区划模型;宁波市

中图分类号:P447

文献标志码:A

Risk zoning model of typhoon disasters

HU Bo¹, YAN Jiazhen², DING Yeyi¹, HUANG Helou¹, ZHAO Wujie¹

(1. Ningbo Meteorological Bureau Ningbo 315012, China; 2. Zhejiang Provincial Chunan Middle School, Hangzhou 311700, China)

Abstract: Typhoons happen frequently with serious consequences, so it is important to assess their risk. This paper takes Ningbo city as the example, draws the zoning map of typhoon disaster for the city using a risk zoning model, which was built on the basis of the membership function and natural disaster risk theory, while considering the hazard, exposure and vulnerability of typhoons, and applying the GIS technology. The effectiveness of the model was verified by disaster levels. The results show that, the overall risk indices of Ninghai, Yinzhou, Yuyao, Fenghua, Xiangshan and Cixi are relatively higher in counties and urban districts in Ningbo, while the indices of the old city (Haishu, Jiangdong, Jiangbei districts), Zhenhai and Beilun are lower; the risk levels of typhoon disasters in the southeast coastal cities and towns and some mountain areas are high; disaster level and risk index has a good correlation, with the coefficient of determination reaching 0.7181 and the confidence interval passed 0.01.

Key words: membership function; natural disaster risk; typhoon; risk zoning model; Ningbo City

台风灾害发生频率高,影响严重,是人类面临的全球性重大问题之一^[1]。对台风灾害进行科学、合理风险评估显得尤为重要。目前,国内外许多学者对此进行了相关研究。在国外,美国20世纪80年代建立了完整的飓风灾害风险评估模式,并对加勒比海沿岸地区飓风灾害进行了风险评估工作^[2]。Blaikie等^[3]通过致灾因子、孕灾环境和承灾体综合作用的角度,总结了台风灾害与资源开发的关系。Watson^[4]通过建立承灾体数据库和致灾因子与承灾体之间的机理模型,来构建综合飓风损失评估模型。在国内,张永恒等^[5]对

收稿日期:2011-11-20; 修回日期:2012-03-02

基金项目:国家科技支撑计划项目(2008BAK50B02);科技部农转项目(2008GB24160442)

作者简介:胡波(1983-),男,工程师,主要从事气象灾害与应用气象研究。E-mail:hbhuta@gmail.com

2000-2006年影响浙江的20个台风所造成的灾害,利用模糊数学原理和方法进行了分析。丁燕等^[6]在考虑致灾因子危险性和承灾体脆弱性情况下,提出了台风综合评估模型。樊琦等^[7]利用采用模糊数学方法,计算了1990-1996年登陆广东省的21个热带气旋的综合灾情指数。这些研究都是以单个台风或者行政区为对象,较少考虑受灾地区社会经济水平和土地利用类型。为此,本文选取宁波市为研究对象,在隶属函数和自然灾害风险理论的基础上,综合考虑形成台风灾害风险危险性、暴露性和脆弱性,结合GIS技术建立台风灾害风险区划模型,绘制宁波市台风灾害风险区划图;并利用灾级指数对模型结果进行验证。为宁波市台风灾前预评估、灾中应急评估和灾后综合评价提供科学依据。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

宁波地处我国东部沿海,位于 $120^{\circ}55'E \sim 122^{\circ}16'E, 28^{\circ}51'N \sim 30^{\circ}33'N$ 之间,是长三角南翼和浙江省的经济中心。宁波是我国经济最发达的城市之一,也是台风灾害频发地区。1956-2009年,对宁波市有严重影响的台风共计68个,年均1.26个。这些台风给宁波市生命财产带来了很大的危害^[8]。

1.2 数据来源

2009年宁波市11个县、市、区的总人口数、GDP等社会经济数据来自宁波市统计局,2009年宁波市土地利用类型图(1:25万)矢量数据来自宁波市国土局,宁波市90m分辨率DEM数据来自中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站,宁波市河网分布、宁波市2009年7月28号250m分辨率MODIS NDVI产品、宁波市县级行政区划图、2005年-2009年热带气旋影响宁波期间的风速、雨量等气象数据和宁波市139个气象站点(包括自动站)的地理位置(经度和纬度)数据来自宁波市气象局,1997年-2009年热带气旋影响宁波期间的灾情数据来自宁波市民政局。

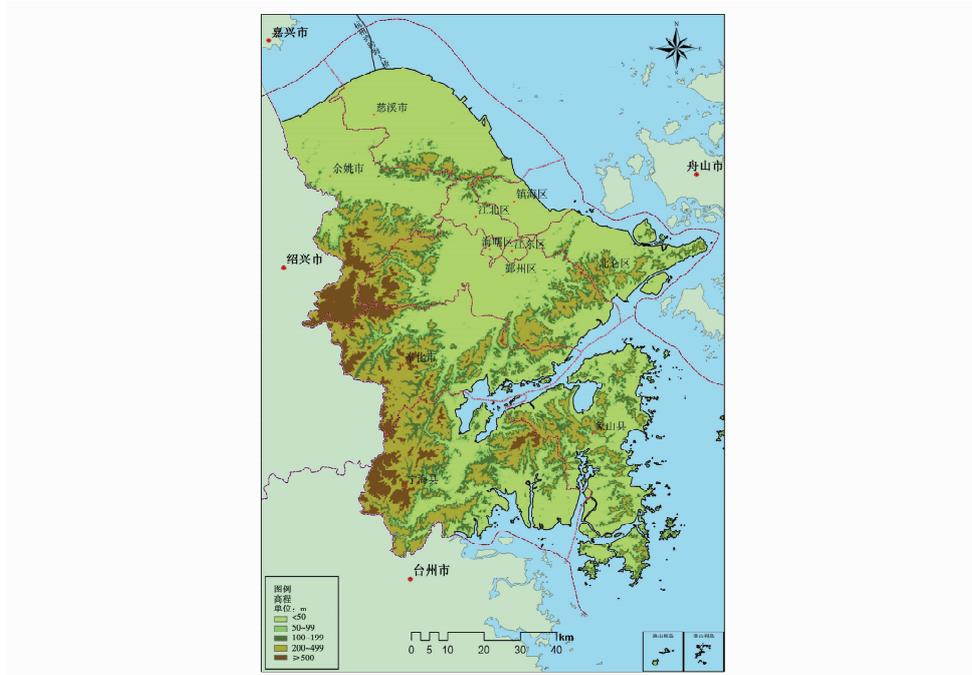


图1 宁波市地形图

Fig. 1 A topographic map of Ningbo City

2 因子选取与区划模型建立

2.1 台风灾害风险区划的因子选取

本文综合考虑致灾因子、孕灾环境、承灾体等3个方面确立台风灾害风险评价指标。

2.1.1 致灾因子

主要指台风期间的大风、降雨以及影响程度和范围等,是台风灾害产生的原动力和先决条件。主要考虑台风期间最大的过程极大风速 A_1 (m/s) 与过程降水极值 A_2 (mm) 等因子。

2.1.2 孕灾环境

主要指台风影响地区的地形状况、植被覆盖、河网密度等自然条件,它们在一定程度上能减弱或加强台风致灾因子及其衍生灾害。主要考虑地形起伏(地形标准差) A_3 、坡度 A_4 、植被覆盖度 A_5 与河网密度 A_6 等因子。其中地形起伏和坡度通过 DEM 在 ENVI 中计算得到,植被覆盖度 LC 的计算公式为:

$$LC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \tag{1}$$

其中:LC 表示植被覆盖度,NDVI 表示栅格图像的归一化植被指数,NDVI_{max} 表示区域内的最大归一化植被指数,NDVI_{min} 表示区域内的最小归一化植被指数。用 $LV_{\max} - LC$ 表示植被对孕灾环境暴露性的影响, $LC_{\max} - LC$ 越大,暴露性程度越高,其中 LC_{\max} 表示区域内的最大植被覆盖度。

2.1.3 承灾体

承灾体主要指台风灾害作用的对象。主要考虑人口密度 A_7 、地均产值 A_8 、台风灾害对土地利用类型的潜在易损性 A_9 等因子。

2.2 灾级指数的因子选取

台风灾害造成的损失最终归结为人员伤亡和财产损失两个方面^[9]。本文将死亡人数、受灾人数、直接经济损失和农作物受灾面积 4 个因子作为灾级指数评价因子。

2.3 台风灾害风险区划因子的网格化

在 GIS 平台上,将所有风险区划因子落实到 100 m × 100 m 的网格上进行处理。对于过程极大风速与过程降水极值利用 Kriging 方法进行插值,获取像元大小为 100 m × 100 m 的气象要素栅格数据;对于地形起伏(地形标准差)、坡度与植被覆盖度等栅格数据因子,如果像元大小不是 100m × 100m,将其重采样为 100 m × 100 m;对于河网密度,利用河网分布面状矢量图计算每个网格(100 m × 100 m)的河网面积。对于承灾体的网格化,应用基于精细网格的承灾体综合脆弱性量化计算模型进行网格化^[10]。

2.4 台风灾害风险区划模型的建立

2.4.1 隶属函数的建立

隶属函数一般用来刻画模糊集,以实现定量描述模糊性事物^[11]。本文采用典型函数法的戒下型函数刻画隶属函数^[12],隶属函数的计算公式为:

$$f(u) = \begin{cases} 0, & u \leq c; \\ \frac{1}{1 + [a(u - c)]^b} & u > c. \end{cases} \tag{2}$$

戒下型函数的分布表示某因子对形成台风灾害是否有影响。如果它超过某一界值 c (本文中取 c 为因子网格 u 的最小值),则有影响,否则没影响。式(2)中, $f(u)$ 为因子 u 的隶属函数, $b = -2, c = u_{\min}; u_{\max}$ 为因子网格 u 的最大值,所对应的隶属函数的值为 0.99,得到 a 的计算公式为:

$$a = \frac{\sqrt{99}}{u_{\max} - u_{\min}} \tag{3}$$

2.4.2 评价矩阵的确定

假设需要评价 m 个风险因子, n 个网格,则每个风险因子的评价集为 $T_i(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}), | i = 1, 2, \dots, m$ 。因此得到 m 个风险因子的评价矩阵 T (见公式(4)),利用隶属度公式(公式(2))计算矩阵 T 的每个元素。

$$T = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.4.3 风险评价因子权重的确定

依据李登峰等^[13] 加权平均规划法计算风险评价因子权重下列公式(5) 为建立的多目标决策模型:

$$\max \{ b(w) = (b_1(w), b_2(w), K, b_b w) \mid \sum_{i=1}^p w_i^2 = e \} \tag{5}$$

其中: $e = 1 - \sum_{i=p+1}^m w_i^2$, 记 $d = 1 - \sum_{i=p+1}^m w_i$ 。

由于本文中风险评价因子权重均未知,所以 $p = m, d = 1$ (待定因子的权重之和等于 1)。此外,因为每个风险评价因子不存在任何偏好,可将公式(5)中多目标决策问题等权重集结为等价非线性规划问题,最终得到风险评价因子权重计算公式为:

$$w_i = d \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n r_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, p. \quad (6)$$

利用公式(6)计算得到各风险评价因子的权重,见表 1。

表 1 各风险评价因子权重

Table 1 Weighting of various risk assessment factors

因子	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
权重	0.178 25	0.178 157	0.177 953	0.088 221	0.164 338	0.006 694	0.028 202	0.017 11	0.161 075

2.4.4 台风灾害风险指数的计算方法

根据标准自然灾害风险数学公式^[14-16],建立台风灾害风险区划模型:

$$DRI = H^{W_H} E^{W_E} V^{W_V} [0.1(1-t)R + t]; \quad (7)$$

$$H = \sum W_{Hk} X_{Hk},$$

$$E = \sum W_{Ek} X_{Ek},$$

$$V = \sum W_{Vk} X_{Vk},$$

$$R = \sum W_{Rk} X_{Rk}.$$

其中,DRI 是台风灾害风险指数,值越大,台风灾害风险程度越大。 H, E, V, R 分别表示致灾因子危险性指数、孕灾环境暴露性指数、承灾体脆弱性指数和防灾减灾能力; W_H, W_E 和 W_V 表示 H, E, V 的权重; X_k 是指标 k 量化后的值,即公式(4)中的 f_m ; W_k 为指标 k 的权重。由于 R 作为可能的减少因子,因此并未对其赋予权重值。变量 t 是常数($0 \leq t \leq 1$),本文取 $t = 0.8$ 。由表 1 得到台风灾害风险区划模型中各因子权重见表 2:

表 2 台风灾害风险区划模型各风险评价因子权重

Table 2 Risk assessment factors' weights of typhoon disaster risk zoning model

因子	W_H			W_E				W_V	
权重	0.356 407			0.437 206				0.206 387	
因子	W_{HA1}	W_{HA2}	W_{HA3}	W_{HA4}	W_{HA5}	W_{HA6}	W_{HA7}	W_{HA8}	W_{HA9}
权重	0.500 13	0.499 87	0.407 023	0.201 784	0.375 882	0.015 311	0.136 646	0.082 903	0.780 451

3 灾级指数的计算

依据冯利华^[9]提出的灾害等级概念,把死亡人数 I_d 、受灾人数 I_h 、直接经济损失 I_j 和农作物受灾面积 I_q 转换成对应的规范化指数。各因子的规范化指数之和为灾害等级。

$$G = I_d + I_h + I_j + I_q. \quad (8)$$

灾情等级 G 反映灾情的大小,简称灾级。本文选取近年来对宁波各县市区影响较大台风(9711、“麦莎”、“卡努”、“罗莎”、“莫拉克”)的总灾级评估台风灾害风险区划模型效果。

4 台风灾害风险区划的评价

4.1 风险因子和风险指数分析

宁波市县市区风险因子(包括危险性、暴露性、脆弱性)和风险指数的基本评价单元总值,分别根据式

(7)进行计算。其中,致灾因子、孕灾环境、承灾体、风险指数的计算公式分别对应公式(7)中的 H, E, V, DRI 。宁波市风险因子(包括危险性、暴露性、脆弱性)及风险指数分析结果图如图 2 所示。在宁波市各县市区中,由于影响宁海、象山、奉化、鄞州和余姚的台风最多,且极大风速和降水极值相对较大,导致总危险性最高;而老城区(海曙区、江东区、江北区)和镇海受台风影响较小,在台风期间极大风速和降水极值也相对较小,其总危险性最小。宁海山地较多、坡度较大,总暴露性最大;镇海和城区地形起伏小,土地面积也小,导致总暴露性最小。虽然城区、镇海和北仑单位面积人口密度、地均产值和台风灾害对土地利用类型的潜在易损性较大,但由于土地面积较小,所以总脆弱性最小;而宁海虽然单位面积人口密度、地均产值和台风灾害对土地利用类型的潜在易损性较小,但土地面积较大,总脆弱性仍然较大。从最终宁波市各县市区台风灾害风险指数分析得到,宁海、鄞州、余姚、奉化、象山和慈溪台风灾害的总风险较大,老城区、镇海和北仑台风灾害的总风险较小。

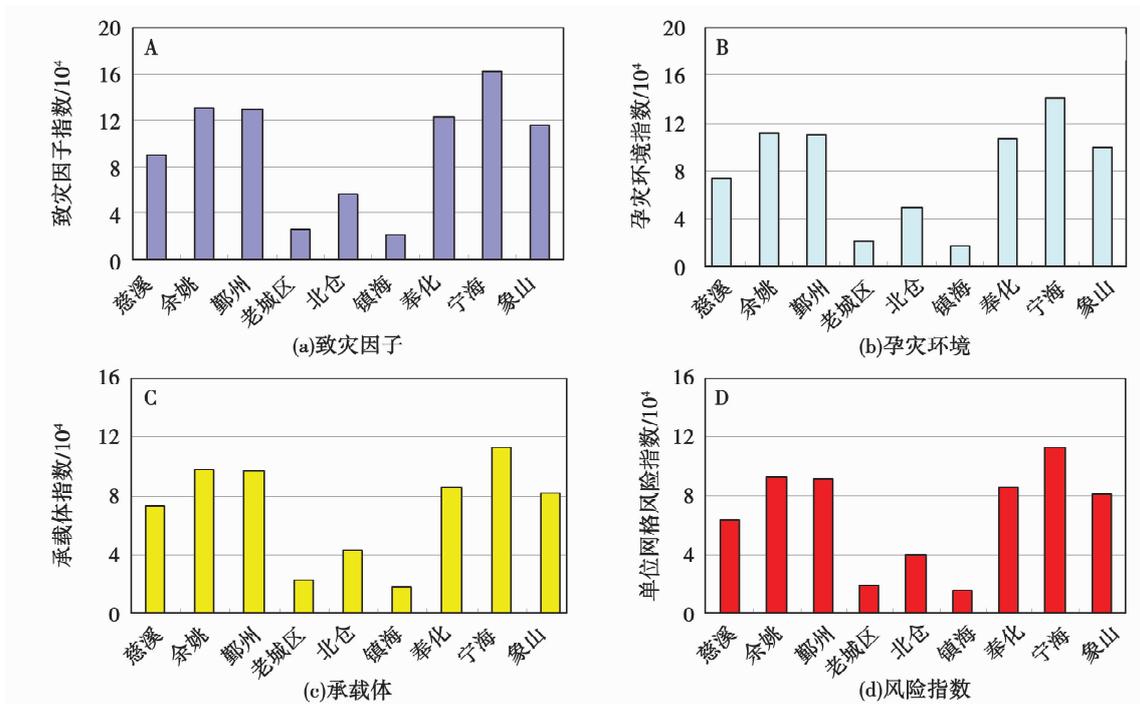


图 2 宁波市风险因子及风险指数分析结果图

Fig. 2 Analytical results of risk factor and risk index for Ningbo City

4.2 台风灾害风险区划空间分析

由于宁波市台风大风与暴雨具有地域性、孕灾环境复杂,同时人口密度、地均产值、台风灾害对土地利用类型的潜在易损性等具有一定差异。综合考虑台风灾害致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性,将宁波市台风灾害风险指数划分为 5 个等级(表 3),最终得到宁波市台风灾害风险区划等级分布图(图 3)。

从风险区划图来看,东南沿海、城镇和部分山区台风灾害风险等级较高。象山沿海、宁海西南部和北部、奉化南部地区由于台风期间最大过程降水极值和最大过程极大风速较大,致灾因子危险性较高,导致这些地区台风灾害风险指数较高。其中奉化南部的南溪口、董家和宁海北部的雷虎站最大过程降水极值分别为 510.4 mm、497.6 mm、476.8 mm,象山沿海的檀头山、杨柳坑和石浦站最大过程极大风速分别为 50.9 m/s、49.7 m/s 和 47.2 m/s。奉化东部、鄞州西部和东部、北仑南部、余姚和慈溪北部绝大部分是山区,坡度较大,孕灾环境敏感性较高,台风灾害风险指数也较高。此外,在城镇分布较密集的地区,如各县市区的城区、较大乡镇、工业密集区,台风灾害风险指数较高。一方面是由于植被覆盖度低,地形起伏较小,孕灾环境敏感性较高;另一方面这些地区经济较发达,人口密集大、地均产值高、台风灾害对城镇用地和居民用地的潜在易损性较高,承灾体脆弱性较大。因此台风灾害风险指数较高。而在慈溪、余姚北部、鄞州中部和南部、镇海由于台风期间最大过程降水极值和最大过程极大风速小,致灾因子危险性小;这些地区大部分植被覆盖度较高,孕灾环境敏感性较小;且该地区多以农林业为主,人口密集小、地均产值低,承灾体脆弱性较小;因此台风灾害风险指数低。

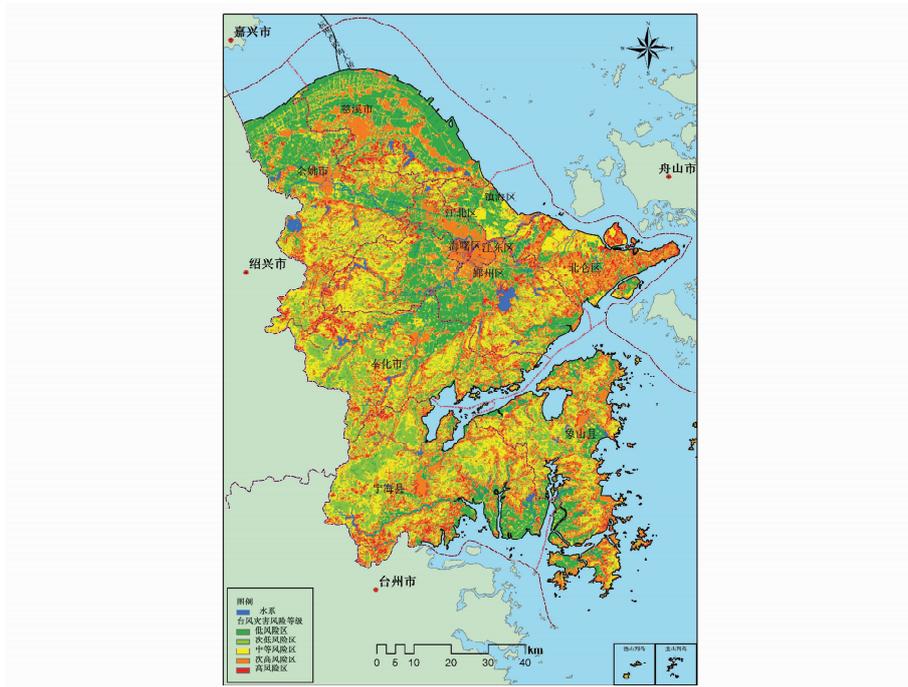


图 3 宁波市台风灾害风险区划等级分布图

Fig. 3 Zoning map of typhoon disaster in Ningbo City

选取近年来对宁波各县市区影响较大的台风(9711、“麦莎”、“卡努”、“罗莎”、“莫拉克”)总灾级与台风灾害风险指数进行分析(图 4),对台风灾害风险区划模型结果进行验证。结果表明灾级与风险指数相关性较好,决定系数达到 0.718 1,且通过了 0.01 的置信区间。

表 3 台风灾害风险等级划分标准

Table 3 Classification standard of typhoon disaster risk

风险等级	低风险区	次低风险区	中等风险区	次高风险区	高风险区
DRI	<0.67	0.67 ~ 0.685	0.685 ~ 0.695	0.695 ~ 0.715	>0.715

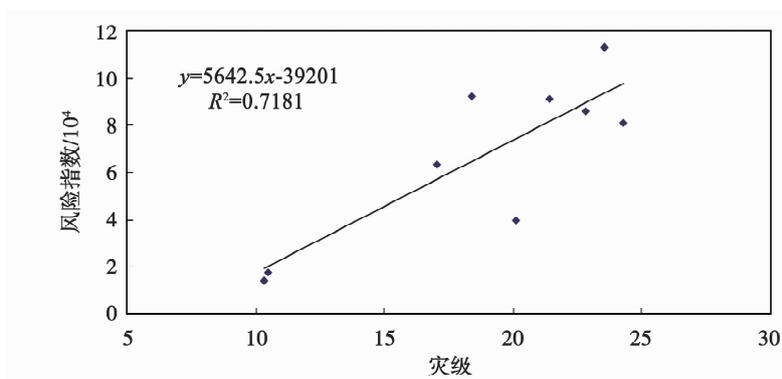


图 4 宁波市风险指数与灾级散点图

Fig. 4 Scatter diagram of risk index vs Disaster level in Ningbo City

5 结论

本文在隶属函数和自然灾害风险理论的基础上,选取宁波市为研究对象,综合考虑形成台风灾害风险致灾因子危险性、孕灾环境暴露性和承灾体脆弱性,结合 GIS 技术建立台风灾害风险区划模型,绘制宁波市台风灾害风险区划图。结果表明:

(1) 宁波市县市区台风灾害风险指数中, 宁海、鄞州、余姚、奉化、象山和慈溪台风灾害的总风险指数较大, 城区(海曙区、江东区、江北区)、镇海和北仑台风灾害的总风险指数较小。

(2) 宁波市东南沿海、城镇和部分山区台风灾害风险等级较高。象山沿海、宁海西南部和北部、奉化东部和南部、鄞州西部和东部、北仑南部、余姚和慈溪北部、城镇分布较密集的地区, 台风灾害风险指数较高。而在慈溪和余姚北部、鄞州中部和南部、镇海台风灾害风险指数低。

(3) 灾级指数与台风风险指数的相关性较好, 决定系数达到 0.7181, 且通过了 0.01 的置信区间。

由于影响台风灾害风险因子众多, 非常复杂, 要完全客观定量地分析台风灾害风险有一定的难度。本文建立的台风灾害风险区划模型只是在这方面进行初步探索。在做台风灾害风险区划时, 还应该考虑更多的因素, 例如人们的防灾减灾意识和防灾减灾设施等, 这将在以后做进一步深入的研究。

参考文献:

- [1] 马宗晋. 中国减灾重大问题研究[M]. 北京:地震出版社,1993.
- [2] Howard Kunreuther, Roth R J. Paying the Price, the Status and Role of Insurance Against Natural Disaster in the United States [M]. Washington: Joseph Henry Press, 1998.
- [3] Blaikie P, Cannon T, Davis I, et al. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters [M]. London: Routledge, 1994.
- [4] Watson C C, Johnson M E. Hurricane loss estimation models: opportunities for improving the state of the art [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2004, 85: 1713 - 1726.
- [5] 张永恒, 范广洲, 马清云, 等. 浙江省台风灾害影响评估模型[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 772 - 776.
Zhang Yongheng, Fan Guangzhou, Ma Qingyun, et al. The evaluation model of typhoon disaster influence on Zhejiang Province [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2009, 20(6): 772 - 776. (in Chinese)
- [6] 丁燕, 史培军. 台风灾害的模糊风险评估模型[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 34 - 43.
Ding Yan, Shi Peijun. Fuzzy risk assessment model of typhoon hazard [J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(1): 34 - 43. (in Chinese)
- [7] 樊琦, 梁必骐. 热带气旋灾情的预测及评估[J]. 地理学报, 2000, 55(增刊): 52 - 55.
FAN Qi, LIANG Biqu. The evaluation of disastrous losses caused by tropical cyclones [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(S): 52 - 55. (in Chinese)
- [8] 刘爱民, 涂小萍, 胡春蕾, 等. 宁波气候和气候变化[M]. 北京:气象出版社, 2009.
- [9] 冯利华. 灾害损失的定量计算[J]. 灾害学, 1993, 8(2): 17 - 19.
FENG Lihua. Quantitative calculation of disaster loss [J]. Journal of Catastrophology, 1993, 8(2): 17 - 19. (in Chinese)
- [10] 张斌, 赵前胜, 姜瑜君. 区域承灾体脆弱性指标体系与精细量化模型研究[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 36 - 40.
ZHANG Bin, ZHAO Qiansheng, JIANG Yujun. Research on indexes system about regional vulnerability of hazard - affected bodies and fine spatial quantitative model [J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(2): 36 - 40. (in Chinese)
- [11] 彭祖赠, 孙毓玉. 模糊数学及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2002.
- [12] 梁必骐, 樊琦, 杨洁, 等. 热带气旋灾害的模糊数学评价[J]. 热带气象报, 1999, 15(4): 305 - 311.
LIANG Biqu, FAN Qi, YANG Jie, et al. A fuzzy mathematic evaluation of the disaster by tropical cyclones [J]. Journal of Tropical Meteorology, 1999, 15(4): 305 - 311. (in Chinese)
- [13] 李登峰, 程春田, 陈守煜. 部分信息不完全的多目标决策方法[J]. 控制与决策, 1998, 13(1): 83 - 86.
LI Dengfeng, CHENG Chuntian, CHEN Shouyu. Multiattribute decision making method with incomplete information [J]. Control and Decision, 1998, 13(1): 83 - 86. (in Chinese)
- [14] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2007.
ZHANG Qiquan, LI Ning. Quantitative Methods and Applications of Risk Assessment and Management on Main Meteorological Disasters [M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 2007. (in Chinese)
- [15] Gary S. An assessment of disaster risk and its management in Thai land [J]. Disaster, 1997, 2(11): 77 - 88.
- [16] Davidson R A, Lamber K B. Comparing the hurricane disaster risk of U. S. coastal counties [J]. Natural Hazards Review, 2001, 8: 132 - 142.