

文章编号: 1004-4574(2011)04-0077-07

长三角地区台风灾害风险评估

陈文方^{1 2}, 徐伟^{1 2}, 史培军^{1 2 3}

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 民政部-教育部 减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 3. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 中国长三角地区由于濒临西北太平洋, 成为受台风灾害影响最严重的地区之一。结合灾害风险理论, 将该地区 16 个地级市的 140 个县(包括一般县、县级市和市辖区)作为研究单元, 对台风灾害风险进行了评估。选用台风大风和台风降雨等 10 个指标, 采用主成分分析法计算了各县的台风致灾因子强度指数; 选用各县 2006 年底人口密度、地区生产总值和第一产业产值占总产值的比例等 3 个指标, 采用主成分分析法计算了其承灾体脆弱性指数; 将致灾因子指数与脆弱性指数相乘, 得到了各县的台风灾害风险指数, 从而得到了风险等级图。该风险等级图揭示了台风灾害风险在长三角地区的等级分布状况, 可以为长三角地区台风灾害防范策略的制定提供参考。

关键词: 台风灾害; 风险; 主成分分析; 长三角

中图分类号: P425. 6⁺ 文献标志码: A

Risk assessment of typhoon disaster at county level in the Yangtze River Delta of China

CHEN Wen-fang^{1 2}, XU Wei^{1 2}, SHI Pei-jun^{1 2 3}

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China;
3. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The Yangtze River Delta, located in the eastern coastal area of China, is one of the most prone areas to typhoon hazard in China. Typhoon disaster risk of this region was assessed at county level based on disaster risk theory. The typhoon hazard magnitude was calculated with a principal component analysis (PCA) method by selecting 10 indices, including annual average precipitation caused by typhoon, annual average ground wind speed caused by typhoon, number of days with total precipitations more than 50mm, 100mm, and 200mm respectively, and number of days with ground wind speeds higher than 10.8m/s, 13.9m/s, 17.2m/s, 20.8m/s, and 24.5m/s respectively, based on meteorological records from the year 1957 to 2005. Similarly the counties' vulnerability index was also obtained with PCA from 3 indices, including GDP, population density and the ratio of gross product of primary industry to GDP in 2006. Then, the typhoon risk index which indicates the relative scales of the possible losses due to typhoon hazard was calculated by multiplying the magnitude index by the vulnerability index. Risk map based on the county-level risk assessment could help local governments to make typhoon disaster risk reduction plan.

收稿日期: 2010-03-22; 修回日期: 2011-04-26

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目“长三角地区自然灾害风险等级评估技术研究”(2008BAK50B07); “高等学校学科创新引智计划”(B08008)

作者简介: 陈文方(1987-)女, 博士研究生, 主要从事自然灾害风险管理研究. E-mail: wenfang_bnu_2009@gmail.com

通讯作者: 徐伟, 男, 副教授. E-mail: xuwei@bnu.edu.cn

Key words: typhoon disaster; risk; principle component analysis; Yangtze River Delta

台风是全球发生最为频繁、影响最为广泛的一种气象灾害，中国是世界上少数几个受台风危害严重的国家之一。台风带来的大风、降水和风暴潮等对沿海城市的基础设施、财产和人身安全均造成严重的影响；尤其是靠天吃饭的农业，大风、强降水等造成农作物减产或绝收，极大地影响了农民正常的生活^[1]。

国际减灾战略(ISDR) 将自然灾害风险评价或分析定义为对可能造成人员伤亡、财产损失、环境破坏的潜在致灾因子进行分析，并评估承灾体的脆弱性，然后判断风险性质和范围的方法^[2]，并提出自然灾害风险的概念公式(式(1)) 概括了构成风险的两个因素为致灾因子的危险度以及承灾体本身对致灾因子的脆弱性。

$$\text{Risk(风险) } = \text{Hazard(危险度) } \times \text{Vulnerability(脆弱性) }. \quad (1)$$

围绕灾害风险的定义，众多学者针对不同尺度，不同灾种和不同用途的灾害风险评估方法做了尝试性的探索^[3-5]。在台风灾害的风险评估上，总体来看，台风灾害风险评估研究可以分为两类。一类以服务于保险公司的风险模型为主，需要在较长时间序列上台风灾害记录的支撑下建立各地区台风强度与损失概率的关系，为保费制定提供依据^[6-7]；另一类是以政府管理部门服务为主的半定量模型，以指标评价的形式来评估不同地区的相对风险度大小，这类模型不涉及具体的损失量大小，但在指标选取完整与合理上有一定的难度^[8-10]。第二类模型又可以分为省级尺度、县级尺度、乡镇尺度和社区尺度等，按承灾体的不同又可以分为灾害的人口风险、基础设施的风险、经济系统的风险，以及宏观尺度的社会经济系统的综合风险等^[8,11-14]。在台风致灾因子评估上，主要的难点在于对台风大风和台风降水对承灾体的危险性进行综合评估；在承灾体脆弱性的评估上，难点在于评价指标的选取以及权重的确定。

中国长江三角洲地区(以下简称长三角地区) 是指包括上海市、江苏省的南京、苏州、无锡、常州、镇江、南通、扬州和泰州，以及浙江省的杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、舟山和台州市 16 个地级市的区域(图 1)。长三角地区被认为是中国经济中最具有活力的三大区域之一^[15]，是中国经济实力最强的综合经济区^[16]。由于靠近西北太平洋，台风灾害发生频繁，而研究该区域整体台风灾害风险的文献极少。本文选取长三角地区 16 个城市的共 140 个县区作为评价单元，综合致灾因子强度(台风大风和台风降雨) 和各县区的社会经济脆弱性指标，采用主成分分析方法确定指标权重来评估各区域台风灾害的相对风险等级。评估结果反映了目前情景下，台风灾害风险在整个长三角地区县级行政单元尺度上的分布情况，为政府制定相应的台风灾害防范措施提供参考。

1 数据和方法

1.1 数据来源及预处理

研究中用到的数据有：(1) 基础地理信息数据外，主要有日本气象厅发布的 1951 – 2007 年西北太平洋及南海上的台风中心数据；(2) 中国气象局提供的 1951 年 1 月至 2005 年 12 月全国 749 个站点的日降水、日平均风速等数据；(3) 统计年鉴中长三角地区各市(县、区) 2006 年底的人口、面积、地区生产总值、第一产业生产总值等数据。

综合考虑台风记录和气象数据的一致性和完整性，本文选取 1957 – 2005 年的数据作为台风致灾因子强度的分析基础，以 2006 年底各县市的社会经济数据作为脆弱性评价的指标，对于年鉴中缺失的数据，采用平

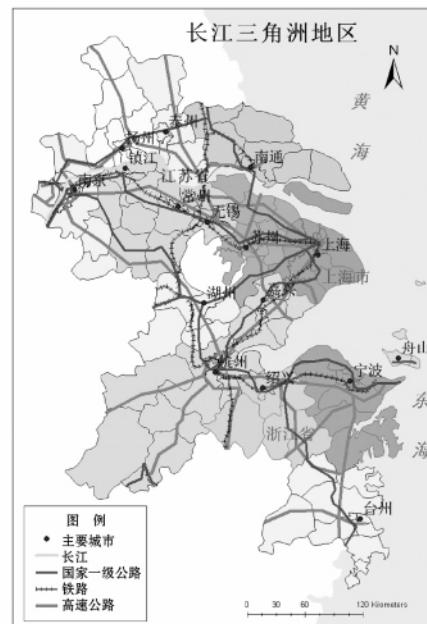


图 1 长三角地区示意图

Fig. 1 Sketch map of the Yangtze River Delta Region

均值、面积权重、人口权重等方法补充完整。

1.2 方法

1.2.1 提取台风大风和台风降雨数据

根据日本气象厅的台风中心数据,选取七级风风圈的平均半径 190.8 n mile 即 353.378 km 作为台风影响半径,将缓冲区与各县级行政区域相交的台风次数作为各单元的受台风影响次数,如图 2 所示,1957–2005 年共有 165 场台风影响了长三角地区,受影响次数由东南至西北呈现减少的趋势。受影响次数最多的是浙江台州市玉环县,共 121 次,最少的是江苏南京市六合区、玄武区、鼓楼区和下关区,均为 27 次。

在 ArcGIS 中用选取的气象站点构建泰森多边形并与长三角县级行政矢量图叠合,选取覆盖长三角区域的 23 个站点的气象数据,采用面积权重法^[17],计算出各县 1957–2005 年的日降水及日平均风速数据。

利用台风路径数据及县域气象数据,使用 IDL 编程计算每个县每场台风影响时段内的过程降水量、最大降水量及最大风速值。

气象上一般将 24 h 降雨量大于等于 50 mm 的降水称为暴雨,暴雨又可分为 3 个等级,暴雨、大暴雨。

雨、特大暴雨,其分类标准各地有所不同。气象上一般以 24 h 降雨量大于等于 50 mm,100 mm,250 mm 为标准划分降雨等级。根据对降水数据的分析,本文采用 50 mm,100 mm 和 200 mm 为划分标准。

以此计算 1957–2005 年,各县年平均台风降雨量、暴雨天数(日降雨量 $\geq 50.00 \text{ mm}$)、大暴雨天数(日降雨量 $\geq 100.00 \text{ mm}$)以及特大暴雨(日降雨量 $\geq 200.00 \text{ mm}$)天数,图 3 显示了台风降雨年平均值的分布情况。同时计算 1957–2005 年间长三角各县台风大风最大风速年平均值、台风大风大于 6 级、7 级、8 级、9 级、和 10 级天数,图 4 显示了台风大风年最大风速年平均值的分布情况。

1.2.2 计算台风致灾因子强度指数

在多指标评价中,主成分分析法通过恰当的数学变换,将原指标转换为互不相关的新变量,并通过选取少数几个在变差总信息量中比例较大的主成分来分析事物^[18]。这种方法的优点在于能够避免指标之间的信息重叠,较之于专家打分法等主观赋权法,它排除了人的主观因素的影响,因而使评价结果更为客观可信。

在统计软件中对上述 10 项指标做主成分分析,得到前两个特征根的方差贡献率分别为 0.63、0.24,两者所占总方差的比例为 86%,表明可以用第 1 主成分和第 2 主成分来代替原信息。

第 1、2 主成分分别为:

$$\begin{aligned} F_1 = & 0.377X_1 + 0.359X_2 + 0.359X_3 + 0.343X_4 + 0.340X_5 + \\ & 0.313X_6 + 0.299X_7 + 0.295X_8 + 0.265X_9 + 0.149X_{10}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} F_2 = & -0.157X_1 + 0.159X_2 - 0.253X_3 - 0.272X_4 - 0.305X_5 - \\ & 0.342X_6 + 0.386X_7 + 0.398X_8 + 0.435X_9 + 0.324X_{10}. \end{aligned} \quad (3)$$

其中 X_1 : 台风大风大于 6 级天数; X_2 : 台风大风最大风速年平均值; X_3 : 台风大风大于 7 级天数; X_4 : 台风大风大于 8 级天数; X_5 : 台风大风大于 9 级天数; X_6 : 台风大风大于 10 级天数; X_7 : 暴雨天数; X_8 : 年平均台风降雨量; X_9 : 大暴雨天数; X_{10} : 特大暴雨天数。则台风致灾因子综合强度指数表示为

$$H_{\text{typ}} = 0.63F_1 + 0.24F_2. \quad (4)$$

将指数值归一化后,得到各县的台风致灾因子强度指数。

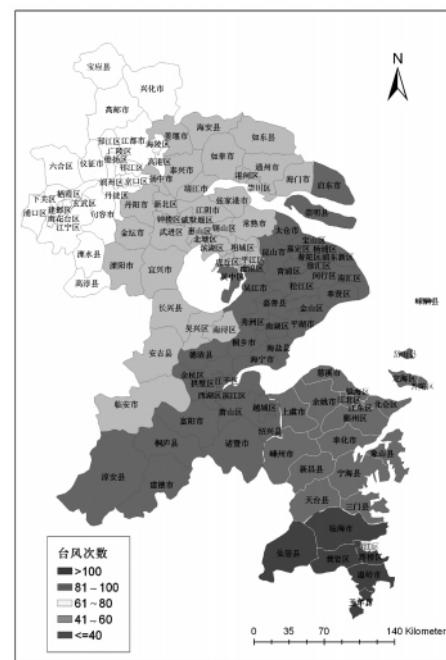


图 2 长三角地区各县区受台风影响次数
(1957–2005)

Fig. 2 Number of typhoons impacting counties and districts in the YRD Region(1957–2005)



图3 长三角各县区台风降水年平均值分布(1957–2005年)

Fig.3 Distribution of annual average precipitation caused by typhoon in counties and districts of the YRD Region(1957 – 2005)

1.2.3 计算承灾体脆弱性指数

脆弱性包括来自自然、社会、经济和环境等因素的综合状态或过程，并决定了在给定致灾因子的作用下遭受破坏的可能性和大小^[19]。在构建研究区各县(区、市)台风脆弱性指数时，选取2006年人口密度、地区生产总值(GDP)、第一产业生产总值占地区生产总值比例(以下简称“一产比重”)等3个指标来表征一个地区宏观层面的台风暴露度以及易损性水平，选取指标时考虑的因素有：

(1) 人口密度越大、GDP越高，同等致灾因子强度下可能遭受的损失越大，这里之所以选用GDP而非地均GDP，考虑的是经济规模对损失大小的影响；

(2) 相对于其他产业来说，农业受自然灾害的影响更显著^[20]，因此应考虑当地农业占经济结构的比率；

由于设防水平、防灾减灾教育水平等指标数据难以获取，因此在选取脆弱性指标时，仅考虑了当地的经济水平、人口密度及第一产业产值占地区生产总值的比例等因素，不考虑当地防灾减灾能力及人们的防灾意识等因素。

选取各县区人口密度、GDP、和一产比重做主成分分析，得到前两个特征根分别为0.476、0.371，累积方差贡献率大于80%，因此选用前2个主成分来代表全部信息，以此为基础计算各县区的脆弱性指数。第1、2主成分为

$$F'_1 = (-0.734) X'_1 + 0.665 X'_2 + 0.181 X'_3, \quad (5)$$

$$F'_2 = 0.174 X'_1 + 0.438 X'_2 + (-0.882) X'_3. \quad (6)$$

其中 X'_1 为一产比重， X'_2 为人口密度， X'_3 为GDP，则各县(区、市)的脆弱性指数可表示为

$$V_{\text{typh}} = 0.476 F'_1 + 0.371 F'_2, \quad (7)$$

即

$$V_{\text{typh}} = (-0.284) X'_1 + 0.479 X'_2 - 0.241 X'_3. \quad (8)$$

计算得到长三角各县(区、市)归一化后的脆弱性指数。

1.2.4 计算台风灾害风险指数

结合致灾因子强度和各县区台风脆弱性，运用风险的一般公式(公式(1))，将致灾因子强度指数值和脆弱性指数值相乘，进行最大最小值归一化后得到各县区的相对风险值大小。



图4 长三角各县区台风大风最大风速年平均值分布(1957–2005年)

Fig.4 Distribution of annual average maximum wind speed caused by typhoon in counties and districts of the YRD Region(1957 – 2005)

2 结果及分析

2.1 致灾因子强度指数值分布

按致灾因子强度指数值将140个县分为4个等级,结果如图5,其相应的致灾因子强度指数范围如表1所示。致灾因子指数值分布具有以下特征:

(1) 玉环县、象山县、温岭市、黄岩区、路桥区、临海市等长三角东南部沿海县区构成了1级灾强区。这些区域距离西北太平洋上台风的发源地(主要是菲律宾群岛以东、琉球群岛、关岛等附近海面)最近,受到台风影响最为强烈。

(2) 各级灾强区分界明显,有明显的带状特征,灾强由东南向西北递减,南京市、镇江市、常州市受到台风的影响强度最小。

(3) 致灾因子强度的分布趋势说明了距离台风发源地越近,其受台风灾害的频率和强度愈高的普遍规律。各地区所受的致灾因子强度在人为无法改变与控制的情况下,提高承灾体抵御灾害的能力成为降低台风灾害损失的关键。

表1 长三角地区致灾因子强度等级划分

Table 1 Classification hazard factor intensity in the YRD Region

分类等级	致灾强度指数(H) 范围	县区个数	典型县(市、区)
1 级灾强区	$0.31 \leq H \leq 1.00$	13	玉环县、象山县、温岭市、黄岩区等
2 级灾强区	$0.14 \leq H \leq 0.30$	28	仙居县、北仑区、鄞州区、奉化市等
3 级灾强区	$0.07 \leq H \leq 0.13$	46	崇明县、慈溪市、宝山、上虞市等
4 级灾强区	$H \leq 0.06$	53	长兴县、滨湖区、海安县、锡山区等

2.2 脆弱性指数值分布

按脆弱性指数大小将各县(区、市)分为4个等级,其空间分布情况如图6所示,对应的脆弱性指数范围表2所示。

脆弱性指数的分布有以下特征:

(1) 1级脆弱区仅有6个县区,分别是上海市黄浦区、卢湾区、静安区、虹口区、闸北区和南京市鼓楼区等市辖区。这些市辖区人口密度位居前列,而人口密度的负荷最大且为正值,使得脆弱性指数远高于其他县区。

(2) 2级脆弱区域内包括南京市白下区、无锡市崇安区、南长区,上海市闸北区、杨浦区、徐汇区、普陀区、长宁区,杭州市上城区等。在3个指标的共同作用下,其脆弱性指数值集中分布在0.42和0.62之间。

(3) 约60%的县区脆弱性指数分布在0.28和0.41之间,构成第3级脆弱区。

(4) 高淳县、临安市、泰兴市、张家港市等24个县区分布在第4级脆弱区内。这些县区经济水平相对较低,人口密度不高,因而脆弱性指数相对较低。

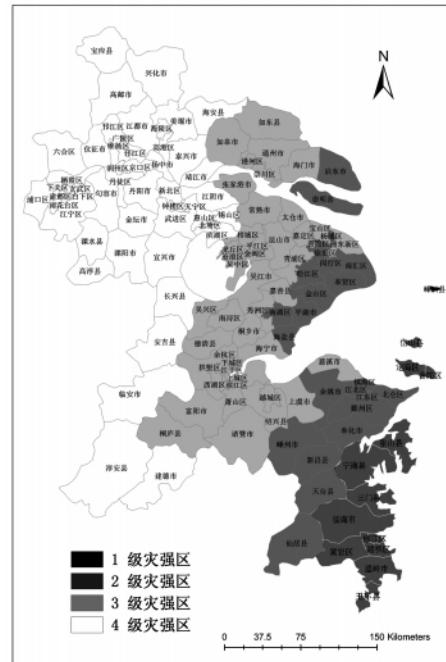


图5 长三角地区各县区台风致灾因子强度指数值分布

Fig. 5 Zoning map of typhoon hazard intensity index in counties and districts of the YRD Region

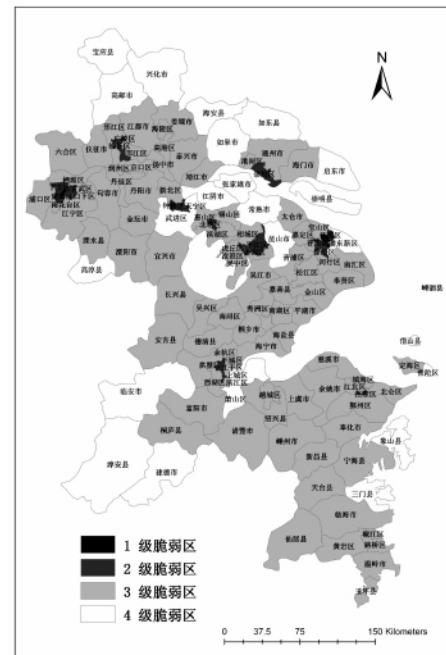


图6 长三角地区各县区台风灾害脆弱性指数值分布

Fig. 6 Vulnerability index zoning map of typhoon disaster in counties and districts of the YRD Region

表 2 长三角地区台风灾害承灾体脆弱性等级划分

Table 2 Classification of vulnerability of typhoon hazard-affected body in counties and districts of the YRD Region

分类等级	脆弱性指数(V) 范围	县区个数	典型县(市、区)
1 级脆弱区	$0.63 \leq V \leq 1.00$	6	黄浦区、卢湾区、静安区、虹口区等
2 级脆弱区	$0.42 \leq V \leq 0.62$	25	杨浦区、上城区、普陀区(上海)、徐汇区等
3 级脆弱区	$0.28 \leq V \leq 0.41$	85	雨花台区、润州区、海陵区、港闸区等
4 级脆弱区	$V \leq 0.27$	24	高淳县、临安市、泰兴市、张家港市等

2.3 台风灾害风险等级分布

将整个区域按风险值大小划分为 4 个风险程度区,如图 7 所示,其对应的风险指数范围如表 3 所示。从结果来看:

(1) 台州市玉环县、路桥区、椒江区、黄岩区,舟山市定海区、上海市黄浦区和宁波市象山县等 7 个县区构成了第 1 级风险区。其中玉环县的风险值最大,这与它的致灾因子强度指数远高于其它县区有关;路桥区、椒江区等 5 个沿海县区主要是由较高的致灾因子强度指数起主导作用,而上海市黄浦区则是因为极高的脆弱性指数所致。

(2) 第 2 级风险区主要分布在东南沿海台风致灾因子强度较高的宁海、三门县、温岭市等地区,以及脆弱性较高的上海市普陀区、徐汇区等。

(3) 第 3 级风险区主要分布在第 3 级灾强区和第 3 级脆弱区,在两者共同作用下形成风险的第 3 级区域。

(4) 第 4 级风险区覆盖了长三角的大半范围,表明这一片区域的台风风险处于相似的水平。这是因为这部分县区的致灾因子强度相对较低,而脆弱性指数也不高,因而总体风险水平相对较低。

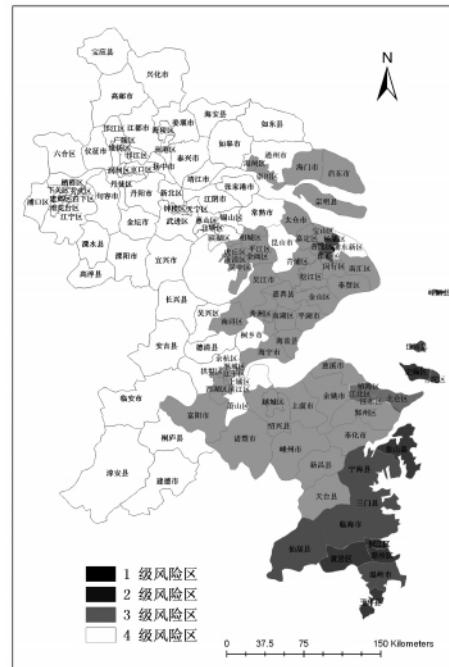


图 7 长三角地区各县区台风灾害风险等级分布

Fig. 7 Typhoon disaster risk index zoning map in counties and districts of the YRD Region

表 3 长三角地区台风风险等级划分

Table 3 Classification of typhoon risk in the YRD Region

分类等级	风险指数(R) 范围	县区个数	典型县(市、区)
1 级风险区	$0.40 \leq R \leq 1.00$	7	玉环县、路桥区、椒江区、黄岩区等
2 级风险区	$0.21 \leq R \leq 0.39$	21	临海市、温岭市、卢湾区、静安区等
3 级风险区	$0.09 \leq R \leq 0.20$	46	鄞州区、奉化区、奉贤区、南汇区等
4 级风险区	$R \leq 0.08$	66	崇安区、德清县、昆山市、通州市等

3 结论与讨论

根据以上分析,本文得出以下结论:

- (1) 长三角地区台风致灾因子强度从东南向西北呈现降低的趋势,靠近西北太平洋上台风发源地的台州市、宁波市、舟山市等县区受台风影响强度最大;
- (2) 对于用人口密度、GDP、一产比重来表征的县区台风脆弱性,脆弱性高值区主要分布在上海、南京、苏州市中心辖区等人口密度高的区域,经济水平相对较低,人口密度不高的县区脆弱性较低;
- (3) 综合台风致灾因子强度和县区台风脆弱性得到的台风风险指数值,反映了两者的综合作用。针对风险值较高的几个县区,通过加强防台设施建设,提高设防标准,提高人们防灾减灾意识和技能,从各个层面降低台风脆弱性,有利于从整体上降低长三角地区的台风灾害风险,确保多数人的生命安全和社会经济的正常运转。

本文通过多指标综合评价方法结合主成分分析法,对长三角地区县级行政单元台风致灾因子强度和脆弱性等级进行了综合评估,最终得到台风灾害风险等级分布图。所得到的风险是在不考虑个体防灾能力差异、具体设防水平、防灾减灾能力前提下基于当前情景下的风险相对等级,实际上在一定程度上是反映了在一定致灾因子强度下的人员、财产的暴露度,是评估单元可能遭受的综合损失相对大小的表征。评估结果对于长三角地区更有效地防御台风灾害,尤其是经济发达、人口密集的区域防御特大台风灾害提供参考。在本文评估工作的基础上,针对某一特定的承灾体实现以损失(或伤亡人数)超越概率曲线表征的台风灾害风险评估是进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 陈颤,史培军.自然灾害[M].北京:北京师范大学出版社 2008: 206 – 207.
- [2] ISDR, U N. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives[M]. Geneva, Switzerland, United Nations. 2004.
- [3] 刘新立.区域水灾风险评估的理论和实践[D].北京:北京师范大学 2000.
- [4] 葛怡.洪水灾害的社会脆弱性评估研究——以湖南省长沙地区为例[D].北京:北京师范大学 2006.
- [5] 王志强.基于自然脆弱性评价的中国小麦旱灾风险研究[D].北京:北京师范大学 2008.
- [6] PartnerRe. CAT Reinsurance Pricing: Modeling Tropical Cyclone Hazard with CatFocusTM. 2002.
- [7] 周俊华.中国台风灾害综合风险评估研究[D].北京:北京师范大学 2005.
- [8] 陈香.福建省台风灾害风险评估与区划[J].生态学杂志,2007,26(6): 961 – 966.
- [9] 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.
- [10] Brower, D. USAID/OAS Caribbean Disaster Mitigation Project[M]. Organization of American States Unit of sustainable development and environment general secretariat. 1997.
- [11] 陈舜华,吕纯濂,李吉顺.福建省台风灾害评估试验[J].中国减灾,1994,4(3): 31 – 34.
- [12] 林继生,罗金玲.登陆广东的热带气旋灾害评估和预测模式[J].自然灾害学报,1995,4(1): 92 – 97.
- [13] 孟菲,康建成,李卫江,吴涛,王甜甜,安琰.50年来上海市台风灾害分析及预评估[J].灾害学,2007,22(4): 71 – 76.
- [14] 马清云,李佳英,王秀荣,王维国,高兰英.基于模糊综合评价法的登陆台风灾害影响评估模型[J].气象,2008,34(5): 20 – 25.
- [15] 周诗.《珠三角规划纲要》与《长三角指导意见》的对比分析[J].南方理论 2009.
- [16] 余之祥,骆永明.长江三角洲水土资源环境与可持续性[M].北京:科学出版社 2007.
- [17] 李宁,刘珍,顾卫.渤海与环渤海地区年降水量的统计分析[J].地理研究,2006,25(6): 1022 – 1030.
- [18] 李艳双,曾珍香,张闽,于树江.主成分分析法在多指标综合评价方法中的应用[J].河北工业大学学报,1999,28(1): 94 – 97.
- [19] UNDP. Reducing Disaster Risk: A challenge for development[M]. New York, United Nations Development Programme. 2004.
- [20] 吴定富.中国风险管理报告(2009)[M]//浙江省台风损失补偿机制研究[M].北京,中国财政经济出版社 2009. 81 – 136.