

# 基于主成分神经网络的台风灾害 经济损失评估

娄伟平<sup>1</sup>, 陈海燕<sup>2</sup>, 郑 峰<sup>3</sup>, 吴 睿<sup>1</sup>

(1. 新昌县气象局, 浙江 新昌 312500; 2 浙江省气象台, 杭州 310000; 3 温州市气象局, 温州 325027)

**摘要:** 本研究建立了浙江省台风灾害直接经济损失评估模型。把浙江省台风灾害直接经济损失资料换算成直接经济损失指数, 运用主成分分析法对表示致灾因子、孕灾环境与承灾体的评估因子进行数据处理, 提取主成分作为 BP 神经网络模型的输入, 从而建立评估模型。模型历史拟合结果和实际一致。在 2007 年和 2008 年影响浙江省的 5 个台风的实际评估中, 强台风“Vipa”灾后评估值比实际值偏大 2 16, 其余 4 个台风灾后评估值比实况偏大 0 2~ 0 7, 反映了人们对影响大的台风防灾减灾工作的重视和防灾减灾效果。根据台风开始影响时过程风雨预报值进行预评估, 过程风雨预报值较准确的台风, 预评估结果和灾后评估值一致; 过程风雨预报值误差较大的台风, 预评估效果较差。因此, 该模型可用于实际台风灾害直接经济损失评估, 提高台风影响前风雨预报准确率是提高预评估准确率的关键。

**关键词:** 台风; 直接经济损失; 主成分分析; BP 神经网络; 评估

文章编号: 1000-0585(2009)05-1243-12

## 1 引言

台风灾害是浙江省最主要的自然灾害, 其伴随的暴雨、狂风及引发的风暴潮、洪涝、滑坡、泥石流等次生灾害, 对人民生命财产造成巨大危害<sup>[1]</sup>。如 5612 号台风给浙江省造成 4925 人死亡, 直接经济损失达 1.5 亿元, 占当年 GDP 的 4.47%。随着社会经济发展和防灾能力提高, 台风造成的人员伤亡比过去大大减少了, 但台风灾害造成的直接经济损失却呈明显上升趋势<sup>[2]</sup>, 如 0505 号、0509 号台风给浙江省造成的人员伤亡虽然分别只有 3 人、4 人, 但给浙江省造成的直接经济损失分别达 54.6 亿元和 65.6 亿元。尤其是随着全球气候变暖带来的温度升幅加大, 台风强度增强, 台风灾害的危害将更为严重<sup>[3~5]</sup>。

灾害评估是防灾减灾的重要环节, 是防灾、抗灾、救灾资金发放和保险理赔的重要依据。目前我国台风灾害影响前的灾情预评估工作还处于起步阶段, 灾害发生过程中和灾害刚结束时的灾情收集主要是靠行政渠道逐级上报, 这些灾情数字基本上都是粗略估计出来的, 由于缺乏统一的灾情统计标准和规范化的计算方法, 在统计灾情时存在较大的人为性, 同时灾害造成的一些经济损失要通过一段时间才能反映出来, 造成不同部门评估出来的数字相差几倍甚至十几倍, 既费时费力又不够准确, 已成为钳制灾情和救灾工作及时开展的桎梏<sup>[6,7]</sup>。20 世纪 90 年代以来, 我国学者采用致灾因子和灾情相结合的方法开展了

收稿日期: 2008-10-21; 修订日期: 2009-05-15

基金项目: 国家气象局新技术推广项目 (CMAT G2008M40)

作者简介: 娄伟平 (1970-), 男, 浙江新昌人, 高级工程师。研究方向为气象灾害风险评估。

E-mail: xclwp@163.com

台风灾情评估研究, 卢文芳<sup>[8]</sup>、钱燕珍等<sup>[9]</sup>采用数理统计方法、孟菲等<sup>[10]</sup>采用 SAS 系统、梁必骥等<sup>[11]</sup>采用模糊数学方法、李春梅等<sup>[12]</sup>采用层次分析法、叶雯等<sup>[13]</sup>采用感知器算法分别建立台风灾情等级评估模型。上述模型由于没有考虑孕灾环境和承灾体的变化, 用于台风灾情实际评估时误差较大<sup>[14]</sup>。因此综合考虑台风灾情与致灾因子、孕灾环境和承灾体的相关关系, 开展和实际相符的台风灾害灾情的预评估和灾后评估, 对做好防灾减灾工作具有重要意义。为此本文从致灾因子、孕灾环境和承灾体三个方面选取评估因子, 用主成分分析方法对评估因子进行预处理, 并针对评估因子和台风灾情之间具有高度不确定的非线性关系, 应用 BP 神经网络模型进行浙江省台风灾害经济损失评估, 取得了较好的效果。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源

民政部门给出的最终灾情数据是灾害发生后会同农业、粮食、水利、统计等部门进行综合分析核定得出的, 有较高的可靠性。本文使用的 1949~ 2006 年台风灾情资料来自浙江省民政厅, 台风资料和气象资料分别来自上海台风研究所和浙江省气象台, 1949~ 2006 年浙江省人口数量、城镇和农村人口比例、耕地面积、GDP 总量、人均 GDP 资料来自浙江省统计年鉴资料 (1949~ 2006 年)。浙江省近 1/3 的气象台站在 1970~ 1971 年才建成, 为了保证气象资料的完整性、连续性, 本文把 1971 年后登陆或影响浙江省的 64 个台风作为研究对象。同时, 由于昌化、天目山、嵊山、北麂、岱山、括苍山、南麂、象山 8 个气象站在上世纪 90 年代初期已停止观测, 统计气象资料时剔除这几个站的数据。台风灾害主要由暴雨、大风、风暴潮三类灾害因子造成, 统计时, 考虑不同台风对浙江省造成的灾害不同, 把在福建省宁德地区和浙江省沿海登陆的 30 个台风划为登陆台风一类, 其余 34 个台风划为影响一类<sup>[15~ 17]</sup>。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 评估因子的选取** 灾情是致灾因子、孕灾环境与承灾体综合作用的结果<sup>[18]</sup>。台风灾害致灾因子主要指台风本身携带的大风、暴雨和风暴潮等因子, 它们的强度和影响范围是台风灾害产生的先决条件和原动力<sup>[19]</sup>。风暴潮是沿海地区台风影响过程中和结束后能根据气象观测网络及时获得各级台风灾害的主要致灾因子之一。如 9417 号台风于 1994 年 8 月 21 日 22 时 30 分在温州市瑞安登陆, 时值农历七月十五日大潮汛, 风、雨、潮三者叠加, 引发了百年不遇的风暴潮特高潮位, 仅温州的直接经济损失就高达 105 亿元。台风风暴潮的资料难于收集, 台风激发的风暴潮与台风中心气压和近中心最大风速有关<sup>[20]</sup>, 在台风登陆前后几个小时内, 沿海地区风力达到最大, 此时的风暴潮也最高。目前气象观测系统能及时对台风中心气压和近中心最大风速进行监测, 并提前 24~ 48h 对台风登陆位置和登陆时的中心气压和近中心最大风速作出较准确预测, 因此本文把台风登陆时的中心气压和近中心最大风速作为风暴潮影响因子。

台风孕灾环境主要受台风产生和登陆地区的气候条件、移动路径和登陆地区地理条件、台风登陆地区水文条件、土壤条件和植被条件等共同影响, 这些环境条件与台风配合, 在一定程度上能加强或减弱台风致灾因子及次生灾害, 直接影响灾情。孕灾环境随时间而变化, 因此可以通过该地区致灾因子和时间来反映。台风灾害承灾体主要包括台风影响地区人口、房屋结构、农作物、工矿企业、水利设施系统、海滩养殖、交通通讯生命线

系统等，这些指标的数量与质量组合（脆弱性强度）是台风成灾的主要原因和重要因素<sup>[21]</sup>。但这些指标在不断变化中，不能及时准确获得。对于一个研究区域，这些指标由区域的社会经济发展水平决定，如农民经济收入增加后，改善住房条件，增加了防台风灾害能力。20 世纪 80 年代以来，沿海滩涂养殖开发、工业发展，使经济 GDP 大幅增长，同时台风灾害直接经济损失也大幅增长。因此对于一个地区来说，台风灾害承灾体随时间而变化，是时间的非线性函数<sup>[22]</sup>。

台风灾情还与人民的防灾意识、地区的抵御能力、政府的应急能力等有关。近年来有关台风路径、登陆时间、登陆地点以及降水、大风等要素的预报精确度提高为防灾减灾提供了更为科学的决策依据，公众对台风的认识和防灾减灾意识的提高，各种水利、防台设施及房屋建设，有效地降低台风灾情，特别是近几年来，浙江省政府在台风影响前采取水库提前放水并及时组织可能受灾区域人员的安全大转移，使人员伤亡、直接经济损失降低到最低程度。

综上所述，一个地区的孕灾环境、承灾体、防灾能力可以通过该地区的致灾因子、时间来反映。本文以登陆或影响浙江省的台风影响期间的浙江省各地区过程降水量  $\geq 100.0\text{mm}$ 、 $\geq 150.0\text{mm}$ 、 $\geq 200.0\text{mm}$ 、 $\geq 250.0\text{mm}$ 、 $\geq 300.0\text{mm}$  站数，过程极大风速  $\geq 17.2\text{m/s}$ 、 $\geq 20.8\text{m/s}$ 、 $\geq 24.5\text{m/s}$  站数（ $X_1 \sim X_{88}$ ，见表 1）、登陆类台风登陆时的中心气压（ $X_{89}$ ）和最大风速（ $X_{90}$ ）、台风影响年份（ $X_{91}$ ）共 91 个因子作为评估因子。

表 1 评估因子  $X_1 \sim X_{88}$

Tab 1  $X_1 \sim X_{88}$  of assessment factors

地区	各级过程降水量出现站数					各级过程最大风速出现站数		
	$\geq 100\text{mm}$	$\geq 150\text{mm}$	$\geq 200\text{mm}$	$\geq 250\text{mm}$	$\geq 300\text{mm}$	$\geq 17.2\text{m/s}$	$\geq 20.8\text{m/s}$	$\geq 24.5\text{m/s}$
温州	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
丽水	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$
台州	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$	$X_{20}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$
宁波	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$	$X_{28}$	$X_{29}$	$X_{30}$	$X_{31}$	$X_{32}$
舟山	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$	$X_{38}$	$X_{39}$	$X_{40}$
绍兴	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$	$X_{46}$	$X_{47}$	$X_{48}$
金华	$X_{49}$	$X_{50}$	$X_{51}$	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$	$X_{56}$
衢州	$X_{57}$	$X_{58}$	$X_{59}$	$X_{60}$	$X_{61}$	$X_{62}$	$X_{63}$	$X_{64}$
杭州	$X_{65}$	$X_{66}$	$X_{67}$	$X_{68}$	$X_{69}$	$X_{70}$	$X_{71}$	$X_{72}$
嘉兴	$X_{73}$	$X_{74}$	$X_{75}$	$X_{76}$	$X_{77}$	$X_{78}$	$X_{79}$	$X_{80}$
湖州	$X_{81}$	$X_{82}$	$X_{83}$	$X_{84}$	$X_{85}$	$X_{86}$	$X_{87}$	$X_{88}$

2.2.2 主成分分析方法 台风灾情各评估因子，由于单位的不同，不能直接相加和综合，同时因子之间存在较高的相关性；主成分分析法在减少因子相关性、避免信息重叠和克服确定权重的主观片面性等方面有其独特的作用，它能很好地抓住事物的主要矛盾<sup>[23, 24]</sup>。主成分分析的基本原理是：设有  $n$  个相关变量  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 组合成  $n$  个独立变量  $Y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )，使得独立变量  $y_i$  的方差之和等于原来  $n$  个相关变量  $X_i$  的方差之和，并按方差大小由小到大排列。把  $n$  个相关变量的作用看作由几个独立变量  $Y_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) ( $m < n$ ) 所决定，于是  $n$  个相关变量就缩减成  $m$  个独立变量  $Y_i$ ， $Y_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 也就是主成分。具体计算时通过数据标准化，由标准化后的数据求协方差矩阵，

计算特征方程中所有特征值并根据特征值累计比例确定主成分的数量, 计算主成分载荷值和主成分得分, 以及进行主成分评分等。通过降维产生的新变量能够在不损失原有信息的情况下, 使原有变量所代表的信息更集中、更典型地体现出来。

本文采用 DPS 软件的主成分分析模块对评估因子进行处理, 具体步骤参见文献 [25]。

**2.2.3 神经网络预测方法** 台风灾情与评估因子之间存在强耦合和非线性关系, 但灾情与评估因子资料信息不全、变化大, 难以用常规数学方法描述二者关系, 采取线性统计模型评估结果和实际情况之间往往存在较大误差。人工神经网络 ANN (Artificial Neural Network) 技术综合了数理统计、神经计算、符号逻辑等人工智能理论技术<sup>[26]</sup>, 是一种非线性的动力学系统, 不要求对事物机制有明确的了解, 不需建立复杂的数学模型以及非线性映射能力强等优点, 系统的输出只取决于系统输入和输出之间的连接权, 而这些连接权的数值则是通过训练样本学习获得, 这种方式对解决具有一定的内在规律、机理尚不明确, 有一定模糊性的问题特别有效。

本文采用 DPS 软件的 BP 神经网络模块建立台风灾害经济损失的预测模型, 具体步骤参见文献 [25]。

### 3 台风灾害经济损失指数

评估灾害的直接经济损失常用两种数据处理方法: 一种是直接用当年的直接经济损失值; 另一种用当年的直接经济损失值除以当年的国内生产总值 (GDP)。表 2 列出了 1971 年以来登陆浙江省的台风灾害造成的直接经济损失, 随年份增长, 国内生产总值增加, 登陆时强度相同或接近的台风造成的直接经济损失增加, 因此直接用当年的直接经济损失值来表示台风灾害灾情会造成七八十年代的灾情偏小; 进入 90 年代, 浙江省的 GDP 随时间呈指数增长, 但登陆时强度相同或接近的台风造成的直接经济损失并不随时间明显增长, 因此用当年的直接经济损失值除以当年的国内生产总值, 不能反映 90 年代以来尤其是 2004 年后的台风灾情。灾害直接经济损失不仅与灾害发生时的 GDP 有关, 还与当时的物价指数有关。本文首先对直接经济损失进行归一化。考虑到 GDP 和物价指数在数量级别上存在明显的差异, 二者分别乘以一系数:

$$Y = Z \times (\frac{1}{GDP \times 10} + \frac{1}{W \times 500}) \div 2$$

式中:  $Y$  为直接经济损失指数,  $Z$  为直接经济损失 (单位级别为万元),  $GDP$  为上一年度的国内生产总值 (单位级别为亿元),  $W$  为上一年度的物价指数。物价指数的计算: 以 1970 年为基数 100, 由各年与 1970 年的关系计算出该年度的物价指数。可根据  $Y$  从上式还原出直接经济损失。

## 4 结果和分析

### 4.1 主成分识别

登陆类台风以评估因子  $X_{1} \sim X_{90}$ 、影响类台风以评估因子  $X_{1} \sim X_{88}$  作为原变量, 通过对数据标准化, 计算变量方差和协方差矩阵的特征量, 将多个变量通过降维转化为少数几个综合变量。当前几个主成分的累计方差贡献率达到 85% 以上时, 主成分基本概括评估因子的大部分信息。表 3、4 分别是登陆类、影响类台风评估因子的总方差分解表, 登陆类

表 2 1971 年以来登陆浙江省的台风灾害造成的浙江省经济损失  
Tab 2 Economic losses caused by landing typhoons since 1971 in Zhejiang Province

年份	台风编号	直接经济损失/ 当年 价 (10 <sup>4</sup> 元)	国内生产总值 (GDP) (10 <sup>8</sup> 元)	登陆时中心气 压 (hpa)	登陆时最大 风速 (m/s)
1972	7207	10000	84 39	990	30
1972	7209	21000	84 39	965	35
1974	7413	26500	86 57	974	33
1975	7504	17510	84 23	970	33
1979	7910	18275	157 64	967	25
1981	8108	548	204 45	993	20
1984	8403	130	322 07	988	25
1985	8506	31400	427 5	965	40
1987	8707	56400	603 71	978	30
1988	8807	113000	765 76	970	35
1989	8909	128000	843 72	975	40
1989	8921	500	843 72	980	30
1989	8923	136000	843 72	980	30
1990	9015	270000	897 99	970	35
1990	9017	91600	897 99	1000	23
1994	9417	1776000	2666 86	960	40
1995	9507	8300	3524 79	980	30
1997	9711	1860000	4638 24	960	40
1998	9806	78346	4987 5	985	25
2000	0004	5000	6036 3	980	30
2000	0008	8500	6036 3	975	35
2002	0216	460000	7796	965	37
2003	0311	1100	9395	990	23
2004	0414	1812800	11649	950	45
2004	0414	1812800	11649	950	45
2004	0421	30000	11649	998	18
2005	0509	656000	13365	950	45
2005	0515	795000	13365	945	50
2006	0604	69300	15648 93	975	30
2006	0608	1273700	15648 93	920	60

台风的前 11 个主成分因子、影响类台风的前 10 个主成分因子的累计方差贡献率达到 85% 以上，因此分别以它们作为主成分，代表主要的风雨评估因子指标。

4 2 BP 神经网络模型拟合和预测检验

以主成分分析识别出的主成分和台风影响年份作为 BP 神经网络输入层神经元矩阵，台风灾害直接经济损失指数 Y 作为其输出层神经元。BP 网络结构为三层，隐含层节点设为输入层节点数的 75%，在系统训练时再增减 1 到 2 个节点数进行比较，确定出最合理的网络结构。经过训练和检验，登陆类台风直接经济损失评估模型的 BP 结构为 12- 8- 1，

表 3 登陆类台风评估因子方差分解表

Tab 3 Total variance explained of assessment factors of landing typhoons

主成分	初始特征值及贡献率		
	特征值	贡献率%	累计贡献率%
1	21.7755	31.1078	31.1078
2	9.8593	14.0847	45.1925
3	7.7861	11.1229	56.3155
4	3.7660	5.3800	61.6955
5	3.4762	4.9660	66.6615
6	3.2112	4.5874	71.2490
7	2.9377	4.1967	75.4456
8	2.3637	3.3767	78.8223
9	2.0624	2.9462	81.7686
10	1.7682	2.5260	84.2945
11	1.5724	2.2463	86.5409
12	1.3201	1.8859	88.4267
13	1.1863	1.6947	90.1215
14	1.0951	1.5644	91.6859
15	0.8609	1.2298	92.9156
16	0.7835	1.1193	94.0350
17	0.7309	1.0441	95.0791
18	0.6358	0.9083	95.9873
19	0.5825	0.8321	96.8194
20	0.4767	0.6810	97.5004
21	0.4136	0.5909	98.0913
22	0.3045	0.4350	98.5264
23	0.2764	0.3948	98.9212
24	0.2109	0.3012	99.2224
25	0.1519	0.2170	99.4394
26	0.1301	0.1859	99.6253
27	0.0822	0.1174	99.7427
28	0.0768	0.1097	99.8524
29	0.0511	0.0731	99.9255
30	0.0277	0.0395	99.9650

表 4 影响类台风评估因子方差分解表

Tab 4 Total variance explained of assessment factors of influential typhoons

主成分	初始特征值及贡献率		
	特征值	贡献率%	累计贡献率%
1	17.2169	29.1812	29.1812
2	10.4359	17.6880	46.8692
3	7.4805	12.6788	59.5480
4	3.8203	6.4751	66.0231
5	2.9673	5.0294	71.0525
6	2.7850	4.7204	75.7729
7	1.9700	3.3390	79.1119
8	1.9000	3.2204	82.3323
9	1.5367	2.6046	84.9370
10	1.4779	2.5049	87.4418
11	1.2827	2.1740	89.6159
12	1.0200	1.7288	91.3447
13	0.8388	1.4216	92.7663
14	0.7337	1.2436	94.0099
15	0.6512	1.1037	95.1136
16	0.4722	0.8003	95.9138
17	0.4348	0.7369	96.6508
18	0.3699	0.6270	97.2777
19	0.2962	0.5020	97.7797
20	0.2734	0.4634	98.2432
21	0.2089	0.3541	98.5973
22	0.1752	0.2969	98.8942
23	0.1473	0.2496	99.1438
24	0.1196	0.2027	99.3465
25	0.0997	0.1690	99.5156
26	0.0841	0.1426	99.6582
27	0.0704	0.1194	99.7775
28	0.0492	0.0834	99.8609
29	0.0291	0.0493	99.9102
30	0.0241	0.0409	99.9511

影响类台风直接经济损失评估模型的 BP 结构为 11- 8- 1。模型的输入和输出结果见表 5 和表 6。登陆类台风和影响类台风直接经济损失指数拟合值和实际值的相关系数分别为 0.9913、0.9569，均达到 0.01 显著水平，平均绝对误差分别为 0.66、0.95；我们同时建立了线性回归模型，登陆类台风和影响类台风直接经济损失指数拟合值和实际值的相关系数分别为 0.7784、0.6988，平均绝对误差分别为 5.15、2.38，效果差于主成分神经网络模型。从表 5 和表 6 可知，登陆类台风模型拟合效果优于影响类台风，登陆类台风除

9017、0216 号台风拟合效果较差，其余和实际值相接近，影响类台风有 5 个台风拟合效果较差，这和气象部门对台风的预报能力以及人们的防台措施有关。浙江省地处我国东南沿海，平均每年受 1~ 2 个台风登陆影响，上世纪 70 年代以来，气象部门加强了对登陆类台风的影响预报，能提前 1 天作出较准确预报，人们及时采取相应的防台措施，因此登陆类台风灾情和评估因子间相关关系较好；影响类台风由于是外围影响，影响台风降水的不确定性因素多，台风外围和冷空气结合会产生强降水，气象预报难度较大，影响人们的防台措施，造成了台风灾情的不确定性。

表 5 登陆类台风模型拟合结果  
Tab 5 Simulation of landing typhoons

台风 影响		主 成 分											Y	
编号	年份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	拟合值	实际值
7207	1972	- 104 6	42 5	- 111 2	191 2	- 69 2	9 9	24 3	234 9	7 6	226 3	- 27 5	6 7	7 2
7209	1972	- 95 7	40 0	- 106 1	183 6	- 63 8	11 8	20 4	229 6	8 3	217 6	- 29 4	15 0	15 1
7413	1974	- 90 9	38 1	- 109 8	187 3	- 66 0	10 7	24 2	238 3	7 1	218 0	- 26 8	15 7	15 5
7504	1975	- 94 6	34 7	- 102 9	189 4	- 69 0	10 4	21 1	231 7	6 4	219 8	- 30 3	10 4	10 3
7910	1979	- 95 9	32 1	- 112 6	190 2	- 66 0	11 2	19 3	233 2	- 0 8	217 9	- 30 9	7 0	7 6
8108	1981	- 106 3	41 0	- 114 3	193 1	- 67 5	10 0	22 2	239 7	3 7	229 7	- 31 8	1 5	0 2
8403	1984	- 109 5	40 3	- 114 4	190 5	- 68 2	8 2	23 3	234 9	4 1	227 5	- 30 8	2 4	0 1
8506	1985	- 90 7	38 1	- 105 9	182 2	- 70 5	13 0	23 5	228 2	3 0	218 0	- 28 1	7 5	7 4
8707	1987	- 96 7	38 7	- 107 7	187 6	- 66 9	16 3	17 5	232 9	7 5	223 6	- 30 4	6 1	6 0
8807	1988	- 97 5	30 4	- 114 8	187 2	- 61 3	11 3	26 3	232 9	4 7	220 6	- 30 0	10 1	10 1
8909	1989	- 98 5	44 3	- 106 0	185 5	- 61 3	10 9	22 4	237 0	9 0	220 5	- 26 1	9 4	9 0
8921	1989	- 105 1	38 8	- 113 0	187 9	- 67 4	9 8	22 6	233 9	2 8	224 5	- 31 5	1 5	0 4
8923	1989	- 101 0	36 7	- 113 6	189 3	- 71 2	10 9	22 5	235 8	3 2	225 6	- 26 9	19 7	19 4
9015	1990	- 85 0	35 2	- 110 8	185 1	- 72 4	13 9	27 0	231 4	6 4	218 8	- 30 0	17 5	17 2
9017	1990	- 108 5	44 1	- 114 7	191 5	- 68 1	7 3	23 8	240 1	6 2	231 0	- 30 6	2 0	5 8
9417	1994	- 89 8	38 1	- 98 8	183 7	- 64 3	13 3	22 1	226 4	7 9	217 0	- 27 9	51 3	52 6
9507	1995	- 105 3	40 2	- 113 0	186 3	- 67 0	9 0	23 6	234 1	3 5	224 6	- 30 7	0 7	0 2
9711	1997	- 83 4	31 9	- 107 4	181 9	- 65 0	8 7	22 4	230 4	6 5	215 7	- 27 5	40 0	39 9
9806	1998	- 106 6	37 3	- 115 6	190 7	- 65 4	10 4	23 2	237 4	1 4	225 5	- 32 6	1 0	1 1
0004	2000	- 105 1	39 0	- 112 6	188 1	- 66 0	9 3	22 8	235 5	4 1	223 6	- 30 0	0 8	0 9
0008	2000	- 105 3	37 5	- 113 0	186 3	- 64 6	9 3	23 5	232 7	3 4	221 1	- 30 3	0 6	0 4
0216	2002	- 104 8	42 3	- 109 0	182 2	- 64 1	7 6	23 6	228 2	7 8	220 0	- 28 3	0 2	4 6
0311	2003	- 111 2	41 2	- 115 7	191 0	- 67 6	7 4	24 1	235 5	4 2	228 5	- 30 9	0 5	0 1
0407	2004	- 105 7	38 0	- 114 1	191 7	- 68 4	9 5	22 1	235 1	2 3	227 3	- 30 7	0 7	0 1
0414	2004	- 88 3	40 0	- 97 6	176 3	- 65 6	7 7	22 6	228 6	5 1	214 6	- 24 4	15 4	15 4
0421	2004	- 109 8	40 9	- 117 1	193 7	- 69 2	8 9	22 9	239 4	2 4	231 4	- 33 2	0 3	0 2
0509	2005	- 80 8	36 3	- 105 5	175 4	- 64 5	10 5	21 1	227 0	8 1	215 9	- 28 2	7 8	7 8
0515	2005	- 82 8	29 1	- 108 0	174 8	- 64 5	10 8	22 5	225 9	8 0	211 2	- 31 5	11 0	11 0
0604	2006	- 97 6	38 5	- 104 8	189 4	- 66 1	14 1	19 8	231 9	6 4	221 8	- 30 0	1 1	0 4
0608	2006	- 94 5	37 8	- 96 6	169 0	- 61 5	10 7	21 6	207 0	10 5	202 5	- 24 9	7 9	7 9

表 6 影响类台风模型拟合结果  
Tab 6 Simulation of influential typhoons

台风 编号	影响 年份	主 成 分										Y	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	拟合值	实际值
7123	1971	8 35	8 34	- 1 95	1 33	- 5 29	- 1 30	- 0 50	2 65	2. 75	0 05	3 87	3 93
7707	1977	3 80	1 88	6 77	3 36	- 1 04	0 39	- 2 11	- 1 53	0. 17	2 87	8 85	8 86
7708	1977	3 04	9 67	7 87	- 1 59	- 1 19	1 14	1 81	3 51	0. 26	0 71	0 05	0 06
8012	1980	1 54	3 36	0 50	0 57	- 3 01	- 0 39	- 0 14	0 25	0. 41	1 12	0 39	0 02
8114	1981	4 65	13 78	7 27	- 0 93	- 4 59	0 30	1 56	1 55	- 0 86	1 23	0 02	6 38
8116	1981	1 30	1 19	- 0 54	0 34	- 0 72	- 0 56	- 0 62	0 75	0. 83	0 01	24 00	24 57
8209	1982	13 97	14 09	0 39	5 08	- 5 35	- 1 14	- 2 42	0 56	3. 74	- 0 64	7 99	8 06
8310	1983	3 53	10 43	4 97	0 39	- 6 21	- 0 36	0 30	0 09	- 0 53	0 88	0 02	1 12
8406	1984	0 56	1 69	1 12	- 0 09	- 1 42	- 0 29	0 22	0 24	- 0 62	0 63	0 79	0 03
8407	1984	6 73	8 96	0 69	1 21	- 5 23	- 2 35	- 1 27	1 45	1. 51	0 08	0 10	0 34
8510	1985	7 78	5 39	- 2 69	0 97	- 2 99	- 4 29	0 18	3 14	2. 28	2 14	2 36	1 60
8519	1985	3 25	7 65	3 69	2 21	- 5 45	- 0 49	1 10	- 0 61	0. 41	2 00	0 02	0 11
8615	1986	4 02	12 36	6 58	- 0 05	- 6 50	0 45	1 15	1 63	- 0 61	- 0 57	0 02	1 54
8617	1986	1 42	3 76	1 81	0 33	- 3 97	- 0 74	0 03	0 07	- 0 49	0 53	0 03	0 25
8712	1987	19 46	- 2 38	0 96	0 40	- 1 97	- 4 61	- 0 97	1 29	3. 22	0 42	7 01	6 47
8913	1989	1 19	3 54	2 76	- 0 07	- 2 33	- 0 55	0 42	0 05	- 1 14	1 55	0 03	0 58
9005	1990	5 95	9 82	2 00	1 24	- 6 36	- 1 73	0 30	2 05	0. 52	1 04	0 02	2 93
9012	1990	9 90	3 55	- 3 19	0 80	- 2 22	- 4 53	0 67	3 55	2. 08	0 84	4 76	4 70
9018	1990	9 92	6 08	- 2 40	0 91	- 2 00	- 6 04	- 0 84	2 03	2. 79	5 56	9 62	9 05
9216	1992	17 31	7 22	2 77	6 33	- 1 65	- 6 21	- 0 42	3 07	1. 14	- 0 77	16 28	15 90
9219	1992	10 30	9 74	6 19	- 3 03	- 0 75	- 2 41	- 4 84	2 07	1. 87	- 0 11	14 33	14 10
9414	1994	3 67	6 73	0 28	0 84	- 5 37	- 0 99	- 0 29	0 17	0. 61	1 42	0 02	1 13
9418	1994	0 63	1 29	0 46	0 45	- 0 56	0 02	0 06	0 34	0. 29	0 18	1 92	1 78
9430	1994	3 66	5 84	4 76	2 76	- 3 82	- 1 70	0 82	- 1 05	0. 78	1 35	0 02	0 30
9608	1996	7 26	10 90	0 03	0 57	- 3 96	1 78	1 11	2 67	- 1 04	1 86	0 03	5 58
9714	1997	2 08	2 39	- 1 30	0 89	- 1 38	- 0 13	- 0 03	0 08	0. 94	0 80	0 89	0 40
0012	2000	0 97	3 66	2 93	0 70	- 2 43	0 28	0 63	- 0 37	- 0 71	- 0 36	0 02	1 12
0014	2000	2 87	3 90	5 15	4 14	- 1 52	0 29	0 67	- 0 85	2. 43	1 01	0 08	2 79
0205	2002	0 01	0 02	0 30	0 16	0 13	0 01	0 09	0 06	0. 05	0 04	0 82	1 51
0418	2004	4 92	3 72	- 3 04	1 45	- 2 26	- 1 96	- 1 00	3 23	3. 06	0 89	1 55	0 49
0505	2005	20 76	12 51	- 4 66	0 76	0 14	- 5 81	1 69	- 2 24	3. 60	- 0 69	6 88	6 80
0513	2005	4 61	4 44	- 2 80	2 53	- 1 53	0 80	- 0 15	2 55	1. 96	1 93	2 49	3 30
0519	2005	2 87	1 66	- 0 20	0 39	- 0 75	- 1 76	- 0 93	0 54	0. 44	- 1 00	0 89	0 08
0601	2006	2 45	1 52	- 0 09	0 24	- 1 59	- 2 05	- 0 83	1 22	0. 13	0 35	0 09	0 03

在 2007 年和 2008 年，利用建立的主成分 BP 神经网络模型对登陆或影响浙江省的 5 个台风灾害的直接经济损失进行了评估，评估结果和拟合结果见表 7。灾后根据实际的降水量、大风、登陆时中心气压、近中心最大风速作出的评估值比实际收集的直接经济损失指数偏大，台风灾情与政府的防灾减灾能力密切相关，二者差值反映了防灾减灾效果。其



中二个影响类台风“Sepat”、“Fung-wong”和登陆时强度较弱的台风“Kalmaegi”，实际收集的直接经济损失指数较小，灾后评估值和实际值比较相符。“Vipa”登陆时强度级别为强台风，直接经济损失指数灾后评估值比实际值偏大 2.16，“Krosa”登陆时强度级别为台风，直接经济损失指数灾后评估值比实际值偏大 0.49，反映了台风强度越大，影响越严重，防灾减灾越重视，防灾减灾效果越明显，这在实际工作中是一致的。登陆类台风以登陆前 24h、影响类台风以开始影响浙江省时作出的登陆时中心气压、近中心最大力、过程降水量和大风预报值，作为台风灾害的评估因子得到直接经济损失灾前预评估指数（表 7）。除“Vipa”外，4 个台风根据开始影响时的风雨预报值作出的预评估值和实际值相差较大，其中 2 个影响类台风异常偏大，这和气象部门对台风特别是影响类台风带来的降水和大风预报能力有关。“Vipa”号台风过程风雨预报值和实况相符（图 1），灾前预评

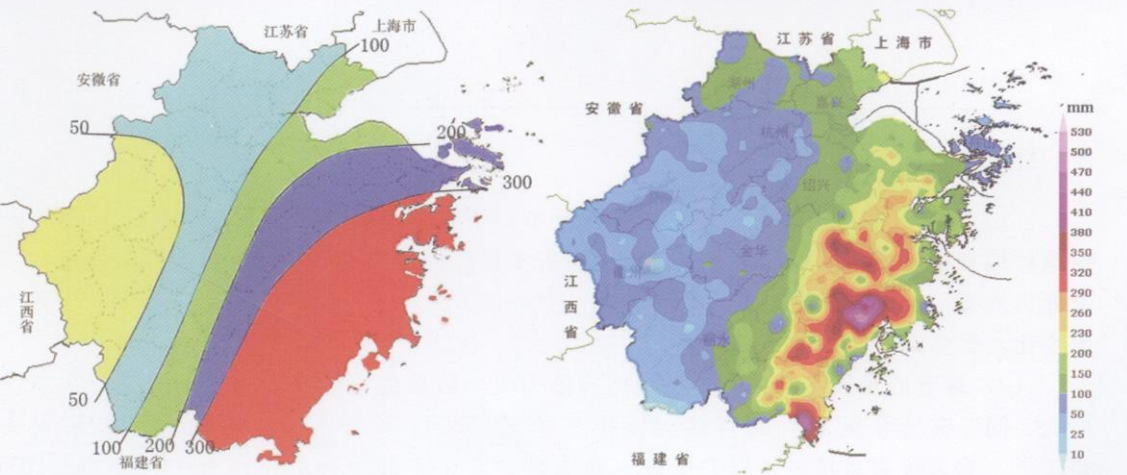


图 1a “Vipa”过程雨量在登陆前 24h 预报值  
Fig. 1a Rainfall event forecasted in the 24 hours before Vipa landing

图 1b “Vipa”过程实况雨量  
Fig. 1b Vipa real rainfall event

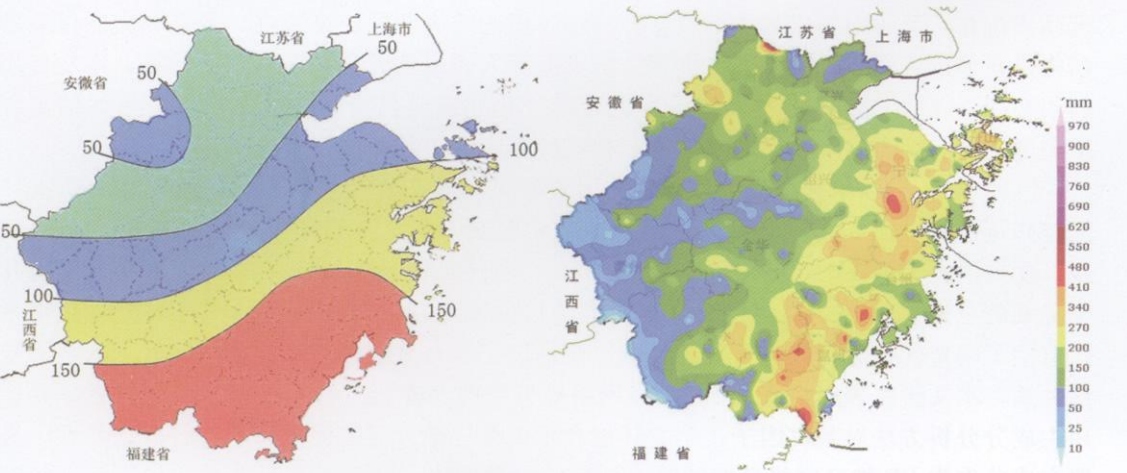


图 2a “Krosa”过程雨量在登陆前 24h 预报值  
Fig. 2a Rainfall event forecasted in the 24 hours before Krosa landing

图 2b “Krosa”过程实况雨量  
Fig. 2b Krosa real rainfall event

估和灾后评估一致; Krosa 等 4 个台风影响时的过程风雨预报值比实况偏大, 其中 2 个影响类台风异常偏大 (图 2), 使灾前预评估值偏大。因此, 准确的台风影响前过程降水量、大风预报是提高灾后预评估准确率的关键。

表 7 2007、2008 年台风灾害直接经济损失评估结果

Tab 7 Assessment results of direct economic losses from typhoons in 2007 and 2008

台风名称	台风类别	登陆类台风登陆时的参数		直接经济损失指数		
		中心气压	近中心最大风速	灾前评估值	灾后评估值	实际值
Sepat	影响			24.03	1.33	0.67
Vipa	登陆	950	45	6.92	6.18	4.02
Krosa	登陆	975	33	7.51	5.47	4.98
Kalm aegi	登陆	988	25	4.44	0.23	0.03
Fung-wong	影响			21.00	0.96	0.73

5 结论和讨论

(1) 灾情评估是做好防灾减灾的重要环节, 根据气象资料开展台风灾害影响前的灾情预评估和灾后评估, 可以为开展防灾、救灾工作提供客观依据。随着社会经济发展和防灾能力提高, 台风灾情随时间呈动态变化, 在评估台风灾情时必须考虑孕灾环境和承灾体的变化, 提高灾情评估的准确性。

(2) 现有的台风灾害评估方法采用灾情等级来表示受灾程度, 灾情等级划分主观性较大, 同一灾情等级对应的直接经济损失值范围大, 不能提供准确的直接经济损失值<sup>[8~13]</sup>。台风灾害直接经济损失值既与致灾因子、孕灾环境和承灾体有关, 又与 GDP、物价指数有关。本文先把台风灾害直接经济损失值用 GDP、物价指数进行归一化处理成直接经济损失指数, 消除年际间 GDP、物价指数对直接经济损失值的影响。采取直接经济损失指数方便政府部门把台风灾害直接经济损失转化成等级向外发布, 指导人们开展防灾减灾工作, 又可以提供具体的直接经济损失值为政府开展防灾减灾、救灾和灾后保险理赔提供具体的灾情数据。随着灾害评估的不断深入, 定性评估向定量评估转换, 本文提出的用 GDP、物价指数对直接经济损失进行归一化处理成直接经济损失指数, 是评估灾害损失的一个有效方法, 也可用于洪涝、地震等灾害的直接经济损失评估。

(3) 影响台风灾害损失的不确定性因素较多, 准确的气象预报、采取有效的防灾减灾措施可以减轻损失。但受目前气象预报技术限制, 气象部门还不能做到完全准确的预报, 使台风灾害损失的不确定性较大, 如 9615 号热带气旋影响广东期间造成几架飞机几十亿元的意外损失<sup>[12]</sup>, 使台风灾害直接经济损失增大。因此分析台风灾害损失时必须考虑这些不确定性损失对灾害评估的影响。评估因子和台风灾情之间的存在高度不确定非线性关系, 本文研究表明, 应用 BP 神经网络模型处理二者之间的不确定非线性关系, 并运用主成分分析方法对致灾因子、孕灾环境和承灾体三个方面的评估因子进行数据处理, 提取主成分作为 BP 神经网络模型的输入, 降低数据维数, 消除样本间存在的相关性, 能获得和实况相符的灾情拟合和预报结果, 因此该方法也可用于洪涝、地震等灾害损失评估。

(4) 准确的台风路径、过程降水量和大风预报是提高台风灾情预评估准确性的关键。随着全球气候变暖, 台风强度、影响频次也在发生变化, 气象部门要加强台风预测研究,

提高预测准确性。

(5) 文从浙江省全省角度出发, 建立了台风灾害直接经济损失评估模型。台风灾害损失空间分布有一定的差异性, 因此利用地理信息技术, 收集精细化经济地理环境数据, 结合气象部门提供的定点定量气象预报, 开展台风灾害精细化定点定量损失评估是今后的评估研究方向。

## 参考文献:

- [1] 周子康, 刘为伦. 浙江台风(热带风暴)灾害的若干特点. 地理研究, 1995, 14(2): 56~ 63
- [2] Liang B Q, Wen Z P, Liang J. The typhoon disasters and related effects in China. The Journal of Chinese Geography, 1996, 6(1): 61~ 71
- [3] Kerry Emanuel, Ragoth Sundararajan, John Williams. Hurricanes and global warming: Results from Downscaling IPCC AR4 Simulations. Bull Amer Meteor Soc, 2008, 89(3): 347~ 367
- [4] Wang Xiaoling, Wu Liguang, Ren Fumin, *et al*. Influences of tropical cyclones on China during 1965~ 2004. Adv Atmos Sci, 2008, 25(3): 417~ 426
- [5] 蒋卫国, 盛绍学, 朱晓华, 等. 区域洪水灾害风险格局演变分析——以马来西亚吉兰丹州为例. 地理研究, 2008, 27(3): 502~ 508
- [6] 袁艺, 张磊. 中国自然灾害灾情统计现状及展望. 灾害学, 2006, 21(4): 89~ 93
- [7] 徐娜. 解析灾害信息管理—灾害信息管理现状. 中国减灾, 2006, 16(10): 24~ 25
- [8] 卢文芳. 上海地区热带气旋灾情的评估和灾年预测. 自然灾害学报, 1995, 4(3): 40~ 45
- [9] 钱燕珍, 杨元琴. 热带气旋灾害指数的估算与应用方法. 气象, 2001, 27(1): 14~ 18, 24
- [10] 孟菲, 康建成, 李卫江. 50年来上海市台风灾害分析及预评估. 灾害学, 2007, 22(4): 71~ 76
- [11] 梁必骥, 樊琦. 热带气旋灾害的模糊数学评价. 热带气象学报, 1999, 15(4): 305~ 311
- [12] 李春梅, 罗晓玲, 刘锦奎, 等. 层次分析法在热带气旋灾害影响评估模式中的应用. 热带气象学报, 2006, 22(3): 223~ 228
- [13] 叶雯, 刘美南, 陈晓宏. 感知器算法在台风风暴潮灾情等级评估中的应用. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(2): 117~ 120
- [14] 何彩芬, 钱燕珍. 2000年浙江省热带气旋灾情评估. 浙江气象, 2002, 23(2): 4~ 6, 19
- [15] 周子康, 刘为伦. 浙江省台风灾害的成因因子与危害分析. 科技通报, 1994, 10(3): 156~ 160
- [16] 瞿光中, 蔡志林. 浙江乐清湾台风风暴潮灾害及防御对策. 灾害学, 1999, 14(3): 64~ 69
- [17] 刘庭杰, 顾骏强. 浙江省台风灾害的统计分析. 灾害学, 2000, 17(4): 64~ 71
- [18] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6~ 17
- [19] 吕振平, 姚月伟. 浙江省台风灾害及应急机制建设. 灾害学, 2006, 21(3): 69~ 71
- [20] 端义宏, 朱建荣, 秦曾灏, 等. 一个高分辨率的长江口台风风暴潮数值预报模式及其应用. 海洋学报, 2005, 27(3): 11~ 19
- [21] 史培军, 杜鹃, 冀朝新, 等. 中国城市主要自然灾害风险评价研究. 地球科学进展, 2006, 21(2): 170~ 177
- [22] 李克让, 张豪禧, 尹思明. 中国沿海地区灾害发生的环境和社会经济背景. 地理研究, 1995, 14(4): 23~ 31
- [23] 高吉喜, 段飞舟, 香宝. 主成分分析在农田土壤环境评价中的应用. 地理研究, 2006, 25(5): 836~ 842
- [24] 丛明珠, 欧向军, 赵清, 等. 基于主成分分析法的江苏省土地利用综合分区研究. 地理研究, 2008, 27(3): 574~ 582
- [25] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2007
- [26] 赵清, 郑国强, 黄巧华. 基于神经网络模型技术的南京市主城区城市森林遥感调查. 地理研究, 2006, 25(3): 468~ 476

# Economic loss assessment of typhoon based on principal component analysis and neural network

LOU Weiping<sup>1</sup>, CHEN Hai-yan<sup>2</sup>, ZHENG Feng<sup>3</sup>, WU Rui<sup>1</sup>

(1 Xinchang County Meteorological Bureau, Xinchang 312500, Zhejiang, China;

2 Zhejiang Provincial Meteorological Office, Hangzhou 310017, China;

3 Wenzhou City Meteorological Bureau, Wenzhou 312500, Zhejiang, China)

**Abstract:** The assessment model of direct economic losses from typhoon disaster in Zhejiang Province is established in this research. The data of direct economic losses in the study region are converted into direct economic losses indexes. Using principal component analysis method, the assessment factors representing disaster inducing factor, disaster-formative environment and disaster-affected body are processed, and the principal component is abstracted as the input of the BP neural network model, thus the assessment model is established. Historical fitting results are consistent with the reality. It is found in the actual assessments of five typhoons affecting Zhejiang in 2007 and 2008 that the post-disaster assessment values of typhoons are higher than the actual situations, and the severer impacts the storms have, the narrower the gap between the assessment values and the actual situation is, which reflects the impact of the disaster prevention and alleviation efforts against typhoons of great influence. According to the forecast values of wind and precipitation when the typhoon began to exert some affect, pre-assessments are conducted and the consequence shows that the pre-assessment results with relatively accurate forecast values are in accordance with the post-disaster assessment values, while the ones with less accurate forecast values are unsatisfactory. Therefore, this model can be applied in the actual assessment of direct economic loss from typhoon damage, and the accurate forecast of wind and precipitation before the typhoons have effect is crucial to the improvement of the accuracy of pre-assessments.

**Key words:** typhoon; direct economic losses; principal component analysis; BP neural networks; assessment