

# 洪涝灾害承灾体易损性的时空变异<sup>\*</sup>

——以南京市为例

葛 鹏<sup>1,2</sup>, 岳贤平<sup>1,2</sup>

(1. 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044;

2. 南京信息工程大学 经济管理学院, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 在分析洪涝灾害承灾体易损性影响因素的基础上, 构建了评估指标体系; 运用模糊综合评价模型, 结合层次分析法, 分别用 2000 年和 2010 年的指标数据, 对南京市进行了洪涝灾害承灾体易损性评估。结果显示: ①南京市洪涝灾害承灾体易损性水平最高的是城区, 最低的是高淳县; ②10 年间南京市各县区的洪涝灾害承灾体易损性水平普遍上升, 但各自上升的幅度不同; ③人口密度、经济密度是决定南京市洪涝灾害承灾体易损性水平高低的主要因素。

**关键词:** 承灾体易损性; 模糊综合评价; 层次分析法; 南京市; 时空变异

**中图分类号:** S761.1; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)01-0107-05

## 0 引言

在洪水灾害系统中, 灾情是致灾因子、孕灾环境的危险性与承灾体的易损性共同作用的结果<sup>[1]</sup>。洪水风险管理的观点认为, 承灾体易损性分析在洪灾风险分析系统中起着系统转换的作用<sup>[2]</sup>。承灾体是致灾因子作用的对象, 是人类及其活动所在的社会与各种资源的集合<sup>[3]</sup>; 脆弱性指一定社会政治、经济、文化背景下, 某孕灾环境区域内特定承灾体对某种自然灾害表现出的易于受到伤害和损失的性质<sup>[4]</sup>。因此, 洪涝灾害承灾体易损性是指在特定的时空范围内, 因洪涝灾害而导致的该区域内潜在的一切可能损失。

承灾体易损性研究以国际减灾十年为契机, 获得重大进展。国际上, Blaikie 等著书立说, 关注了社会对灾害的防御、恢复能力, 强调社会结构的易损性<sup>[5]</sup>。Susan L Cutter 等基于社会经济和人口统计数据, 开发了自然灾害社会易损性指数 (SoVI), 得到广泛应用<sup>[6]</sup>。Whittle 等认为易损性与业已存在的社会特征有关, 他更强调特殊人群的易损性<sup>[7]</sup>。国内学者吸收借鉴了外国研究成果, 在理论<sup>[3-4,8]</sup>和实践<sup>[9-12]</sup>两个方面的研究都取得较大进展。总体来说, 国内学者对易损性的研究主要集中在对致灾因子和孕灾环境危险性的分析, 对承灾体的易损性缺乏深入研究, 并且所做的探

讨也多是相对静态的分析评估。

随着时间的发展, 某区域内的人口、经济、社会以及环境等状况也会发生变化, 则该区域作为洪涝灾害承灾体, 其易损性也会随之改变。也就是说, 区域洪涝灾害承灾体易损性有时空变异的情形存在。本文针对上述状况, 运用模糊综合评价模型, 并结合层次分析法, 对南京市进行了洪涝灾害承灾体易损性时空变异的研究。

## 1 洪涝灾害承灾体易损性指标体系

洪涝灾害对承灾体的影响是多方面的, 因此可将影响承灾体易损性的因素归纳为人口状况、经济财产状况、环境资源状况以及社会承灾能力等四个方面, 简要分析如下。

(1) 人口状况。洪涝灾害对人类社会的损害首先是造成人员伤亡。区域人口结构、分布等情况决定了该区域洪涝灾害发生时的人口易损性。具体包括人口密度 (人/km<sup>2</sup>)、文盲率 (%) 以及老幼人口比重 (%)。人口密度越大、文盲率越高、老幼人口比重越大的区域人口易损性越大。

(2) 经济财产状况。经济财产是洪涝灾害直接破坏的对象。区域洪涝灾害经济财产易损性影响因素主要有: 区域地均 GDP (元/km<sup>2</sup>)、重要企业数 (个) 以及交通设施密度 (%) 等。地均 GDP 越大、重要企业数越多、交通设施密度越大的区域

\* 收稿日期: 2012-05-30

修回日期: 2012-07-20

基金项目: 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室开放式课题“旱涝灾害的防御、评估与对策研究”(KLME0701)

作者简介: 葛鹏(1987-), 男, 江苏邳州人, 硕士研究生, 主要从事旱涝灾害评估、气象经济与管理的研究。

E-mail: gepeng\_2006@163.com.

经济财产易损性也越大。

(3)资源环境状况。洪涝灾害对资源环境的破坏是深层次的长远的影响。区域资源环境易损性可通过以下指标衡量：耕地面积比(%)、植被覆盖率(%)以及自然景观所占面积比(%)。耕地面积比重越大、植被覆盖率越低、自然景观所占面积比重越大，该区域的资源环境易损性就越大。

(4)社会承灾能力。社会承灾能力是指人类在洪涝灾害发生前后所采取的减轻其损害的措施，社会承载能力越强，遭受洪涝灾害可能的损失就越低。社会承灾能力可以体现在以下几个指标上：每千人医院床位数(个)、水利设施密度(%)以及社会保险投保率(%)。

以上各分层指标构成指标体系如表1所示。

表1 洪涝灾害承灾体易损性指标体系

目标层	一级指标	二级指标
洪涝灾害承灾体易损性指标体系 $U$	人口状况 $U_1$	人口密度 $u_{11}$
		文盲率 $u_{12}$
		老幼人口比重 $u_{13}$
	经济财产状况 $U_2$	地均 GDP $u_{21}$
		重要企业数 $u_{22}$
		交通设施密度 $u_{23}$
	资源环境状况 $U_3$	耕地面积比 $u_{31}$
		植被覆盖率 $u_{32}$
		自然景观面积比 $u_{33}$
	社会承灾能力 $U_4$	每千人医院床位数 $u_{41}$
		水利设施密度 $u_{42}$
		社会保险投保率 $u_{43}$

## 2 洪涝灾害承灾体易损性模糊综合评价原理

基于以上分析，本文拟采用二级模糊综合评价法，即先对二级指标进行一级综合评价，再对一级指标进行二级综合评价。具体步骤如下。

### 2.1 确定因子集并分类

将因子集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  按某种属性分为  $s$  类，即  $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ini}\}$ ， $i = 1, 2, \dots, s$ 。满足  $n_1 + n_2 + \dots + n_s = n$  且  $U_1 \cup U_2 \cup \dots \cup U_s = U$ 。

本文将洪涝灾害承灾体易损性影响因子分为以下4类：人口状况  $U_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}\}$ ，经济财产状况  $U_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}\}$ ，资源环境状况  $U_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\}$ ，社会承灾能力  $U_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}\}$ 。

### 2.2 给出评价集

将洪涝灾害承灾体易损性评价标准划分为5个等级，即Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级，分别表示承灾

体易损性等级为高、较高、中、较低和低，故评价集为  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ ，其中  $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$  分别与上述5个等级相对应。

### 2.3 建立单因素评价矩阵

首先要根据隶属函数来确定各因子的隶属度。本文选用降(升)半梯形分布建立各因子的隶属函数，数学模型如下：

$$R_1(u_i) = \begin{cases} 1, & u_i \geq u_{i1}; \\ \left| \frac{u_i - u_{i2}}{u_{i2} - u_{i1}} \right|, & u_{i2} < u_i < u_{i1}; \\ 0, & u_i \leq u_{i2}. \end{cases} \quad (1)$$

$$R_j(u_i) = \begin{cases} \left| \frac{u_i - u_{ij-1}}{u_{ij} - u_{ij-1}} \right|, & u_{ij} < u_i < u_{ij-1}; \\ 0, & u_i \leq u_{i,j+1}, u_i \geq u_{i,j-1}; \\ \left| \frac{u_i - u_{i,j+1}}{u_{ij} - u_{i,j+1}} \right|, & u_{i,j+1} < u_i < u_{ij}. \end{cases} \quad (2)$$

$$R_5(u_i) = \begin{cases} 1, & u_i \leq u_{i5}; \\ \left| \frac{u_i - u_{i4}}{u_{i5} - u_{i4}} \right|, & u_{i5} < u_i < u_{i4}; \\ 0, & u_i \geq u_{i4}. \end{cases} \quad (3)$$

其中  $u_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, 3, 4, 5$ ) 表示第  $i$  个因子对应于洪涝灾害承灾体易损性为  $j$  级的评价标准； $u_i$  为第  $i$  个因子评价特征值，即  $u_i$  的值， $R_j(u_i)$  表示  $u_i$  特征值对  $j$  级评价标准的隶属度，取值范围为  $[0, 1]$ 。

根据上式可得各类因子集所对应的单因素评判矩阵为：

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{ij} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{ni1} & r_{ni2} & \cdots & r_{nij} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

### 2.4 建立权重集

多层次模糊综合评价需要建立各层级因子的权重集。对于二级模糊综合评价，需建立因子权重集  $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ini})$ ， $i = 1, 2, \dots, s$ ； $a_{ij}$  表示第  $i$  类中的第  $j$  个因子的权重；还需建立因子类权重集  $A = (a_1, a_2, \dots, a_s)$ ， $a_i$  表示第  $i$  类因子  $U_i$  的权重。

本文使用层次分析法来确定各指标间的相对重要性次序，从而确定其权重。分为4个步骤：①建立因子递阶层次结构。参考2.1，将因子集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  按某种属性分为  $s$  类，形成两级层次结构，并且每一级都有  $n_i$  个评价指标。②构造两两判断矩阵。判断矩阵反映了各因子的相对重要性，一般采用 T L Satty 1~9 及其倒数标度法即可得到判断矩阵  $P$ 。③计算判断矩阵  $P$  的最大特征根  $\lambda_{\max}$  及特征向量  $W$ ，并做归一化处理，该结果就是各评价因子的重要性排序，也即是权重的分配。④在确定权重之前要进行判断矩阵  $P$  的一致性检验。分别计算一致性指标  $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$  和平均随机一致性指标  $RI$ ；当随机一致性

比率  $CR = CI/RI < 0.10$  时, 认为层次分析排序的结果有满意的一致性, 即权重分配是合理的, 否则要调整判断矩阵, 重新分配权重。

### 2.5 多层次模糊综合评判

首先是进行一级综合评判, 即对每一类的各因子进行综合评价。如 2.3 所述, 各类因子集所对应的单因素评判矩阵分别为  $R_i$ , 则第  $i$  类因子的模糊综合评价为:

$$B_i = A_i \circ R_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ini}) \circ \begin{bmatrix} r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{ini1} & r_{ini2} & \dots & r_{inij} \end{bmatrix}$$

$$= (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ij})。 \quad (5)$$

二级模糊综合评价中的单因子判断矩阵, 应为一级模糊综合评价判断矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ A_s \circ R_s \end{bmatrix}, \quad (6)$$

于是, 二级综合评判为:

$$B = A \circ R = A \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ A_s \circ R_s \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_j)。 \quad (7)$$

## 3 南京市洪涝灾害承灾体易损性时空变异分析

南京市位于江苏省西南部, 地处长江中下游平原东部苏皖两省交界处, 下辖 11 区 2 县。长江自西向东横贯全境, 市内河湖众多, 江南有秦淮河, 江北有滁河。全市总面积 6 600 km<sup>2</sup>, 其中水面占总面积的 11.4%, 平原、洼地占 24.08%, 是洪涝灾害易发区、多发区。2000—2010 年, 南京城建变化巨大, 国民经济和社会发展成果显著。相应地, 洪涝灾害承灾体易损性也出现了变化和差异。现以该地区为例, 以各县区为评价单元, 进行洪涝灾害承灾体易损性时空变异的模糊综合评价。

将南京市划分为城区 ( $D_1$ )、栖霞区 ( $D_2$ )、雨花台区 ( $D_3$ )、江宁区 ( $D_4$ )、浦口区 ( $D_5$ )、六合区 ( $D_6$ )、溧水县 ( $D_7$ ) 和高淳县 ( $D_8$ ) 8 个评价单元 ( $D$ ), 逐一进行评价。

以城区为例, 评价其 2000 年洪涝灾害人口易损性。相关指标数据如表 2 所示。

表 2 南京各县区洪涝灾害易损性指标数据

评价单元	人口密度 $u_{11}/(\text{人}/\text{km}^2)$		文盲率 $u_{12}/\%$		老幼人口比重 $u_{13}/\%$		地均 GDP $u_{21}/(\text{元}/\text{km}^2)$		重要企业数 $u_{22}/\text{个}$		交通设施 密度 $u_{23}/\%$	
城区 $D_1$	9 916	16 753	4	2	24	20	2 820	38 814	18	15	3.0	3.4
栖霞区 $D_2$	896	1 697	6	2	25	21	409	7 197	20	25	4.1	4.9
雨花台区 $D_3$	1 076	2 004	8	3	23	22	1 524	9 800	8	6	3.8	4.5
江宁区 $D_4$	471	728	7	5	24	24	644	5 367	14	16	1.7	2.3
浦口区 $D_5$	513	778	7	5	26	23	425	2 167	15	11	1.3	1.9
六合区 $D_6$	593	625	9	6	27	24	339	1 741	18	19	1.1	1.5
溧水县 $D_7$	378	395	12	9	30	26	359	1 401	4	5	0.7	1.3
高淳县 $D_8$	534	521	11	7	31	28	466	1 857	3	3	0.6	1.0
年份	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
评价单元	耕地面积比 $u_{31}/\%$		植被覆盖率 $u_{32}/\%$		自然景观面积 比 $u_{33}/\%$		每千人医院 床位数 $u_{21}/\text{个}$		水利设施 密度 $u_{22}/\%$		社会保险投 保率 $u_{23}/\%$	
城区 $D_1$	5.3	4.2	10.2	9.5	2.87	2.20	2.5	2.3	0.78	0.71	58.2	68.6
栖霞区 $D_2$	27.7	23.1	45.3	41.1	10.88	9.86	2.3	2.1	1.43	1.38	52.4	64.4
雨花台区 $D_3$	18.8	15.0	39.9	35.3	12.79	11.32	2.7	2.3	1.69	1.64	50.8	55.4
江宁区 $D_4$	39.1	36.8	71.5	70.0	17.01	17.09	2.4	2.7	2.41	2.35	46.8	49.8
浦口区 $D_5$	32.3	29.8	68.4	65.8	20.85	20.65	1.6	1.9	1.53	1.51	46.0	48.6
六合区 $D_6$	44.3	42.7	71.3	69.4	7.15	7.27	1.5	1.8	4.14	4.14	40.9	44.9
溧水县 $D_7$	41.9	40.0	72.2	69.8	15.40	15.67	1.8	2.2	4.00	4.00	35.6	38.6
高淳县 $D_8$	48.0	46.8	76.4	74.2	5.72	5.94	2.1	2.3	2.16	2.13	35.4	37.8
年份	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010

数据来源: 依据《南京统计年鉴》和南京各县区地方志整理计算所得

依据表 3 数据及隶属函数, 可得 2000 年南京市城区洪涝灾害人口易损性单因素评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.67 & 0.33 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \end{bmatrix}, \text{同理可得 } R_2, R_3, R_4.$$

表 3 各评价因子等级划分标准

因子名称	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
人口密度 $u_{11}$	1 900	1 500	1 100	700	300
文盲率 $u_{12}$	14	11	8	5	2
老幼人口比重 $u_{13}$	32	29	26	23	20
地均 GDP $u_{21}$	3 000	2 325	1 650	975	300
重要企业数 $u_{22}$	26	20	14	8	2
交通设施密度 $u_{23}$	5.0	3.9	2.8	1.7	0.6
耕地面积比 $u_{31}$	48	37	26	15	4
植被覆盖率 $u_{32}$	8	26	44	62	80
自然景观面积比 $u_{33}$	22	17	12	7	2
每千人医院床位 $u_{41}$	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0
水利设施密度 $u_{42}$	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
社会保险投保率 $u_{43}$	30	40	50	60	70

以人口状况  $U_1$  为例, 利用层次分析法确定各因子的权重。

对  $u_{11}$ ,  $u_{12}$ ,  $u_{13}$  这三个评价因子, 运用 Satty 1~9 标度两两比较得到判断矩阵为:

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

求出  $P_1$  的最大特征根所对应的特征向量, 该特征向量即  $u_{11}$ ,  $u_{12}$ ,  $u_{13}$  的权重。求解过程略去, 得  $P_1$  的特征向量  $W_1 = (0.63, 0.11, 0.26)$  即在人口状况  $U_1$  指标中, 人口密度  $u_{11}$  的权重为 0.63, 文盲率  $u_{12}$  的权重为 0.11, 老幼人口所占比例  $u_{13}$  的权重为 0.26。

根据所求特征向量和已知判断矩阵求得其最大特征根为  $\lambda_{\max} = 3.038 6$ , 查表得  $RI = 0.58$ 。一致性检验得:  $CI = 0.019 3$  则  $CR = CI/RI = 0.019 3/0.58 = 0.033 3 < 0.10$ 。

由此可以认为判断矩阵具有满意的一致性, 说明权重的分配是合理的。

同理可得:

$$W_2 = (0.43, 0.14, 0.43);$$

$$W_3 = (0.63, 0.26, 0.11);$$

$$W_4 = (0.16, 0.54, 0.30)。$$

将  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$  作为评价因子, 可得:

$$W = (0.30, 0.30, 0.30, 0.10)。 \quad (10)$$

根据以上结果进行一级综合评判, 可得南京市城区 2000 年洪涝灾害人口易损性的子系统评价结果:

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = (0.63, 0.11, 0.26) \circ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.67 & 0.33 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= (0.63, 0, 0.08, 0.25, 0.04)。 \quad (11)$$

同理可得:

$$B_2 = (0.31, 0.29, 0.40, 0, 0);$$

$$B_3 = (0.23, 0.03, 0, 0.09, 0.65);$$

$$B_4 = (0.39, 0.15, 0.09, 0.37, 0)。$$

然后进行二级综合评判, 得:

$$B_{D1} = A \circ R = (a_1, a_2, a_3, a_4) \circ \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} \\ = (0.39, 0.11, 0.15, 0.14, 0.21)。 \quad (13)$$

同理, 对其余 7 个评价单元 2000 年洪涝灾害承灾体易损性做二级模糊综合评判。所得结果如下:

$$B_{D1} = (0.39, 0.11, 0.15, 0.14, 0.21);$$

$$B_{D2} = (0.03, 0.22, 0.43, 0.21, 0.11);$$

$$B_{D3} = (0.00, 0.18, 0.58, 0.24, 0.00);$$

$$B_{D4} = (0.04, 0.20, 0.17, 0.38, 0.21);$$

$$B_{D5} = (0.03, 0.19, 0.24, 0.27, 0.27);$$

$$B_{D6} = (0.14, 0.16, 0.09, 0.29, 0.32);$$

$$B_{D7} = (0.13, 0.23, 0.01, 0.14, 0.49);$$

$$B_{D8} = (0.25, 0.10, 0.05, 0.20, 0.40)。$$

用 2010 年各因子指标数据做同样的评判, 结果如下:

$$B'_{D1} = (0.43, 0.10, 0.11, 0.01, 0.35);$$

$$B'_{D2} = (0.38, 0.18, 0.24, 0.10, 0.10);$$

$$B'_{D3} = (0.39, 0.14, 0.10, 0.31, 0.06);$$

$$B'_{D4} = (0.13, 0.24, 0.22, 0.37, 0.04); \quad (15)$$

$$B'_{D5} = (0.02, 0.26, 0.25, 0.45, 0.02);$$

$$B'_{D6} = (0.10, 0.16, 0.20, 0.41, 0.13);$$

$$B'_{D7} = (0.06, 0.20, 0.20, 0.27, 0.27);$$

$$B'_{D8} = (0.18, 0.16, 0.18, 0.22, 0.26)。$$

根据最大化隶属原则, 将以上评价结果对照评价标准划分等级, 结果列于表 4。

表 4 各县区等级划分结果

区域	年份	等级	区域	年份	等级
城区	2000	I	浦口区	2000	V
	2010	I		2010	IV
栖霞区	2000	III	六合区	2000	IV
	2010	I		2010	IV
雨花台区	2000	III	溧水县	2000	V
	2010	I		2010	IV
江宁区	2000	IV	高淳县	2000	V
	2010	IV		2010	IV

## 4 结论

通过以上评价结果和等级划分对比可以得出以下结论。

(1) 2000 年, 南京市洪涝灾害承灾体易损性水

平为 I 级的只有城区; 浦口区、六合区、溧水县、高淳县的程度均为 V 级。2010 年, 洪涝灾害承灾体易损性水平为 I 级的县区增加了栖霞区和雨花台区, 但其易损性水平仍低于城区水平; 浦口区和六合区的等级从 V 级升为 IV 级, 易损性水平有所上升。其余各区县洪涝灾害承灾体易损性水平虽然在等级上没有发生变化, 但是都有上升的趋势。

(2) 南京市 10 年的经济发展使全市洪涝灾害承灾体易损性水平普遍上升, 但各县区易损性水平上升的驱动因素各不相同。人口易损性高、社会承灾能力低是城区洪涝灾害承灾体易损性水平居高不下的主要原因, 同时也是栖霞区和雨花台区易损性水平升级的原因。相反, 溧水县和高淳县因其人口易损性低、经济密度低但水利设施密度高、植被覆盖率高等原因, 一直保持着低易损性水平。

(3) 鉴于以上评判结论, 南京市各县区防治洪涝灾害的重点也应该因地制宜。对于人口和经济密度较大的县区(如城区), 其防洪减灾措施重点应放在人民生命和财产的保护方面; 对于重要企业分布较多的区域(如栖霞区), 可以在该区域的社会承灾和灾后恢复生产能力的加强上下功夫; 而对于农业比重较大的县区(如高淳县), 要加强该区域的农田水利设施建设, 增强对洪涝灾害的减缓和适应能力。

## 参考文献:

- [1] 万庆. 洪水灾害系统分析与评估[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [2] 高吉喜, 中村武洋, 潘英姿, 等. 洪水灾害易损性评价—洞庭湖地区案例研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [3] 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): 6-14.
- [4] 商彦蕊. 自然灾害综合研究的新进展——脆弱性研究[J]. 地域研究与开发, 2006, 19(2): 73-77.
- [5] P Blaikie, T Cannon, B Wisner. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters[M]. London: Routledge, 1994.
- [6] Susan L Cutter, Jerry T Mitchell, Michael S Scott. Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2000, 90(4): 713-737.
- [7] Whittle R, Medd W, Deeming H, et al. After the Rain—learning the lessons from flood recovery in Hull[R]. Lancaster University, Lancaster UK. 2010.
- [8] 郭跃. 自然灾害的社会易损性及其影响因素研究[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 84-88.
- [9] 陈磊, 徐伟, 周忻, 等. 自然灾害社会脆弱性评估研究—以上海市为例[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 98-110.
- [10] 张海玉, 程先富, 马武. 洪涝灾害经济易损性模糊评价—以安徽沿江地区为例[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 30-34.
- [11] 王根芳. 农业洪灾易损性的多层次模糊综合评估模型[J]. 统计与决策, 2010(8): 67-69.
- [12] 田玉刚, 覃东华, 杜渊会. 洞庭湖地区洪水灾害风险评估[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 56-60.
- [13] 南京市统计局. 南京统计年鉴 2001[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [14] 南京市统计局. 南京统计年鉴 2011[M]. 南京: 凤凰出版社, 2011.

## A Study of the Variation in Time and Area of the Vulnerability of Floods Bearing Bodies ——A Case Study of Nanjing

Ge Peng<sup>1,2</sup> and Yue Xianping<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. School of Economics and Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on analysis on impact factors of the vulnerability of floods bearing bodies, an evaluation index system is established. An approach combining with the Fuzzy Comprehensive Evaluation Model and Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to evaluate the vulnerability of floods bearing bodies in Nanjing based on the data from 2000 and 2010. The results show that (1) the vulnerability of floods bearing bodies of the urban area is the highest while Gaochun County is the lowest; (2) a general increase in the level of the vulnerability of floods bearing bodies in Nanjing occurred in the past decade, but different counties share different ranges; (3) two main factors affect the level of the vulnerability of floods bearing bodies are population density and economic density.

**Key words:** bearing body vulnerability; Fuzzy Comprehensive Evaluation; Analytic Hierarchy Process; Nanjing; variation in time and area