

文章编号 : 1004-4574 (2005) 06-0054-05

# 中国水灾社会脆弱性评估方法的改进与应用 ——以长沙地区为例

葛 怡<sup>1,2</sup>, 史培军<sup>1,2</sup>, 刘 婧<sup>1,2</sup>, 叶 涛<sup>1,2</sup>

(1. 北京师范大学 资源学院灾害与公共安全研究所, 北京 100875; 2 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:** 中国是洪水灾害发生频繁的国家之一, 研究水灾脆弱性对中国的灾害风险管理有重要的意义。但是, 合理评估脆弱性尤其是社会脆弱性却面临着极大的挑战。论文对评估社会脆弱性指数的研究现状进行了分析, 指出了传统评估方法存在的问题, 并尝试改进 Hoovering 评估模式。选择湘江流域的长沙地区为研究区, 应用改进模型对研究区进行了社会脆弱性指数的评估。结果表明, 长沙地区社会脆弱性从 1980 年至 2000 年基本处于下降趋势, 但是在 2002 年和 2003 年增长迅速。2003 年, 长沙 5 区 4 县中社会脆弱性指数最大的是开福区, 其次是长沙县, 而宁乡县的社会脆弱性指数最低。

**关键词:** 水灾; 长沙; 社会脆弱性指数; 多元回归分析; 主成分分析

中图分类号: P426 616

文献标识码: A

## Improvement and application of vulnerability assessment methodology for flood hazards in China: using Changsha Prefecture as a case study

GE Yi<sup>1,2</sup>, SHI Pei-jun<sup>1,2</sup>, LIU Jing<sup>1,2</sup>, YE Tao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Disaster and Public Security, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** China is exposed to a wide range of natural hazards, including earthquake, flood, drought, and so on. The occurrence of hazards is not a phenomenon of recent time; however, understanding vulnerability, especially social vulnerability, is a relatively recent trend. In order to prevent disasters from happening, more attention should be paid on this changeful literature. This paper focuses on social vulnerability assessment, especially on constructing a social vulnerability index  $I_{soV}$ . Based on Hoovering approach, a methodology with factor analysis and multiple regression analysis is proposed. By this novel methodology, a set of socioeconomic variables are reduced to a few independent factors, and a quantitative model of social vulnerability has been constructed. This model can assist decision-makers in better finding out the real driving factors and dynamic changes of  $I_{soV}$ . There is a trial application to Changsha. All data are from 1980 - 2003. With this methodology, a dynamic process of  $I_{soV}$  in Changsha region is predicted, and  $I_{soV}$  of five districts and four counties in Changsha are compared.

**Key words:** flood; Changsha; social vulnerability index; multivariate regression analysis; primary factor analysis

收稿日期: 2005 - 10 - 12; 修订日期: 2005 - 11 - 24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“中国洞庭湖区水灾综合评估模型与减灾对策研究”

作者简介: 葛怡 (1978 - ), 女, 江苏吴江人, 博士研究生, 主要从事自然灾害风险研究。

承灾体脆弱性研究对区域减灾、减灾投资以及灾害风险管理等有着极为重要的意义,所以,国内外学者对脆弱性评估进行了大量研究<sup>[1,2]</sup>。灾害领域的脆弱性研究主要有 3 个方向:(1)自然脆弱性:研究造成人类或地区对极端事件脆弱的外部环境;(2)社会脆弱性:研究造成人类或地区对极端事件响应及抵御的社会经济状况;(3)综合脆弱性:同时研究外部环境和内部状态。其中,社会脆弱性评估因其固有的复杂性而进展缓慢。因此,本文对已有的社会脆弱性评估方法进行了分析,指出传统方法中存在的一些缺陷,并尝试对已有模式进行改进。选择长沙地区作为研究区,依据改进模型对研究区进行社会脆弱性指数的评估。

## 1 社会脆弱性评估的研究现状及存在问题

社会脆弱性的一般评估模式是“Hoovering 法”<sup>[3,4]</sup>,其基本步骤为:(1)构建评估指标体系;(2)指标量化、权重赋值;(3)建立评估准则;(4)计算评估体系的脆弱性指数。其中,评估的关键是指标选择和权重赋值。评价指标体系通常根据研究者对脆弱性的认识、评估目的、研究区的时空特征来构建,当然,也有人追求指标体系的完备性而提倡选择所有可能的指标<sup>[5]</sup>。权重赋值的方法主要有主成分分析法、聚类分析、层次分析法、模糊综合评判法等。Hoovering 评估模式存在的问题:(1)评价指标体系的构建工作过分追求完备性,使指标种类和数目庞杂、指标获取的难度增加,并导致实际评价工作困难<sup>[6,7]</sup>;(2)缺乏科学有效的定量筛选方法,指标选取往往依靠评价者的经验,没有统一的评估准则。评价指标体系普遍存在指标间信息覆盖不全和信息重叠的问题<sup>[7]</sup>;(3)各指标权重的赋值要么较主观,要么完全按数学方法计算,灵活性差,使研究结果偏离实际<sup>[6,8,9]</sup>。(4)研究地域有局限,环境条件太特殊,因此评估结果可比性差,推广价值低<sup>[8,10]</sup>。

## 2 Hoovering 评估模式的改进

根据以上分析,笔者认为 Hoovering 评估模式的缺陷是指标选择和权重赋值缺乏客观评估准则的指导,因此对 Hoovering 评估模式作如下修正:

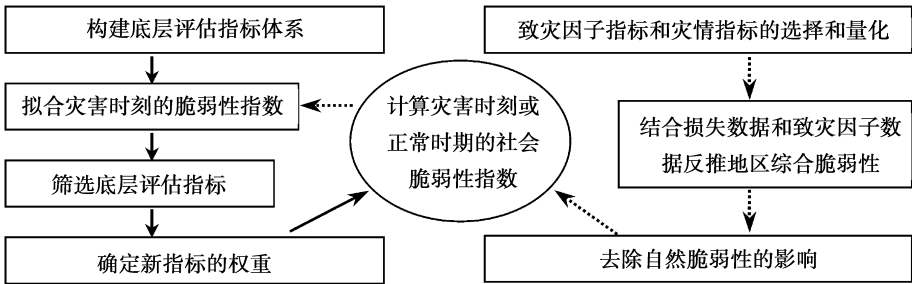


图 1 Hoovering 评估模式的改进  
Fig 1 A modified model of Hoovering approach

### 2.1 改进模型的说明

本文将地区综合脆弱性类比为弹簧弹性系数的倒数,借鉴弹性系数的测定方法来构建客观评估准则并将其指导指标选择和权重赋值:(1)客观评估准则的构建(如图 1 右侧所示):根据胡克定律的思想( $K = F/X$ ),首先构建灾害发生时刻的综合脆弱性指数: $X$  对应于系统受打击后发生的变化,实际表现形式是灾情; $F$  在灾害中的表现形式是致灾因子的作用力; $K$  对应于综合脆弱性指数的倒数,再去除自然脆弱性的影响即得到社会脆弱性指数。本文把灾害发生时刻的社会脆弱性指数作为评估准则。(2)指标选择、权重赋值和正常时期  $I_{so}$  的估算(如图 1 左侧所示):利用线性多元回归方法,将底层评估指标拟合灾害发生时刻的社会脆弱性指数,从而实现评估指标的筛选和权重的赋值。同时,建立的拟合函数可用于预测正常时期的社会脆弱性指数。

### 2.2 数学模型建立

(1) 灾害发生时刻的社会脆弱性  $I_{sov}$  计算 ( $I_{sov} = \{ I_{sov1}, I_{sov2}, \dots, I_{sovn} \}$ ):

$$I_{sovj} = \frac{X_j}{(F_j \times I_{sovj})} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(1)

式中： $X_j$ 为灾害损失数据（本文采用经济损失的损失率）； $F_j$ 为致灾因子相关属性值； $I_{sovj}$ 为自然脆弱性指数（由地形数据、高程数据、与危险源远近程度等计算得到）。

(2)指标选择、权重赋值和正常时期社会脆弱性估算：

构造研究区底层评估指标体系  $X_0, X_0 = \{x_1, x_2, \dots, x\}$ ；

将指标体系中相关性强且刻画研究区同类属性的指标归为一类，并用主成分分析法提取每类的代表因子，从而生成代表因子集  $Y_0, Y_0 = \{y_1, y_2, \dots, y_m\} (m < )$ ：

$$y_i = \sum_{j=u_1}^{u_2} a_{ij} \times x_j \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m; 1 \leq \mu_1 < \mu_2)$$

(2)

用  $Y_0$ 对式 (1)中的  $I_{sovj}$ 进行线性多元回归分析（筛选法拟合），得

$$I_{sovj} = \sum_{k=1}^p a_k \times y_k \quad (p < m)$$

(3)

式中： $Y_1 = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ 即筛选得到的新代表因子集， $A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 即  $Y_1$ 中各指标类对应的权重。按照  $Y_1$ ，筛选  $X_0$ ，得真正影响社会脆弱性的指标集  $X_1, X_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_q\} (q < )$ 。并计算其指标权重  $B, B = \{b_1, b_2, \dots, b_q\}$ ：

$$\begin{cases} b_j = \sum_{i=1}^2 a_{ij} \times a_i \quad (1 < 2, 1 \leq i \leq p; j = 1, 2, \dots, q) \\ b_j = \sum_{i=1}^2 a_{ij} \times a_i \quad (1 = 2, 1 \leq i \leq p; j = 1, 2, \dots, q) \end{cases}$$

(4)

说明：设  $y_{i-1}$ 和  $y_i$ 都是  $X_i = \{x_{i1}, x_{i1+1}, \dots, x_{i2}\}$ 的代表因子，如果出现  $y_{i-1}$ 保留，而  $y_i$ 被筛选的情况，那么比较  $X$ 集合中各指标在  $y_{i-1}$ 和  $y_i$ 上的因子载荷大小，对于在  $y_{i-1}$ 上的因子载荷小于  $y_i$ 上因子载荷的相应指标进行删除，反之，保留。

3 案例分析

3.1 研究区与研究方法

本文选择长沙地区作为水灾社会脆弱性指数评估的研究区。本研究收集了长沙全区的多年水灾经济损失数据和长沙站的年最高水位数据。按照 Cutter提出的社会脆弱性评估指标，结合长沙实际情况，从《湖南统计年鉴》(1990 - 2004年)和《长沙统计年鉴》(1995 - 2004年)中收集了长沙全区 41个底层评估指标共 23a的社会经济数据（1980 - 2003年），并分为人口、经济、就业、土地利用和综合防灾状况五类（表 1）<sup>[11]</sup>。

表 1 长沙地区社会脆弱性指数的底层评估指标

Table 1 Lowest level's assessment index of social vulnerability in Changsha Prefecture

人 口	经 济	就业情况	土地利用	综合防灾状况
人口增长率；城市人口率；女性比例；出生率；5岁下人口比例；平均每一就业者负担人数；每户家庭人口数；农业人口比例	地均 GDP；地均工业产值；地均第一产业总产值；地均固定资产；农业产值比例；财政收支比；城乡消费水平差异；城乡收入水平差异；人均收入；城乡储蓄存款	就业率；农林牧渔从业率；地质勘察和水利管理从业率；交通运输及其他公用事业从业率；金融保险业从业率；服务业从业率	农田比例；水旱田比例；每一农业人口占有耕地；每 km <sup>2</sup> 竣工房屋面积；城市绿地率	排灌效率；水库库容量；塘坝库容量；堤防长度；城市道路通达度；城市下水道通达度；每百万人中的医生率；医院床位数；千户电话拥有率；高等学校在校生比例；中等学校在校生比例

需要特别指出的是，本文缺乏直接计算自然脆弱性的数据，但考虑到在致灾因子属性相同的前提下，受灾面积的变化能一定程度地反映地区自然脆弱性（如地形因素）的变化，所以本文用水灾经济损失的损失率与年最高水位、受灾面积平方根的比值代表社会脆弱性值。另外，为排除各变量定义域量级不同的影响，本文都用标准化数据（Z - score标准化）进行 Hoovering改进模型的计算。

3.2 计算结果

首先，本文使用 Hoovering改进模型估算得到新的指标体系及其权重（如表 2所示）。

相应的正常时期社会脆弱性函数关系式为：

$$I_{soy} = -0.1X_1 + 0.11X_2 + 0.1X_3 - 0.1X_4 - 0.1X_5 - 0.1X_6 - 0.11X_7 + 0.74X_8 + 0.17X_9 + 0.21X_{10} - 0.22X_{11} - 0.22X_{12} - 0.13X_{13} - 0.14X_{14} - 0.04X_{15} - 0.13X_{16} - 0.13X_{17} - 0.13X_{18} \quad (R^2 = 0.801)$$

利用改进模型还估算得到长沙全区从 1980 - 2003 年的社会脆弱性指数变化 (图 2)和 2003 年长沙 5 区 4 县的社会脆弱性指数示意图 (图 3)。

表 2 长沙地区社会脆弱性估算指标及其权重

Table 2 Assessment indices of social vulnerability for Changsha Prefecture and their weights								
人 口	权 重	土地利用	权 重	就 业	权 重	综合防灾状况	权 重	
$X_1$ :人口增长率	- 0.10	$X_8$ :水旱田比例	0.74	$X_9$ :地质勘察和水利管理从业率	0.17	$X_{13}$ :水库库容量	- 0.13	
$X_2$ :城市人口率	0.11			$X_{10}$ :交通运输及其他公用事业从业率	0.21	$X_{14}$ :堤防长度	- 0.14	
$X_3$ :女性比例	0.10			$X_{11}$ :金融保险业从业率	- 0.22	$X_{15}$ :医院床位数	- 0.04	
$X_4$ :出生率	- 0.10			$X_{12}$ :服务业从业率	- 0.22	$X_{16}$ :千户电话拥有率	- 0.13	
$X_5$ :5岁以下人口比例	- 0.10					$X_{17}$ :高等学校在校生比例	- 0.13	
$X_6$ :每户家庭人口数	- 0.10					$X_{18}$ :中等学校在校生比例	- 0.13	
$X_7$ :农业人口比例	- 0.11							

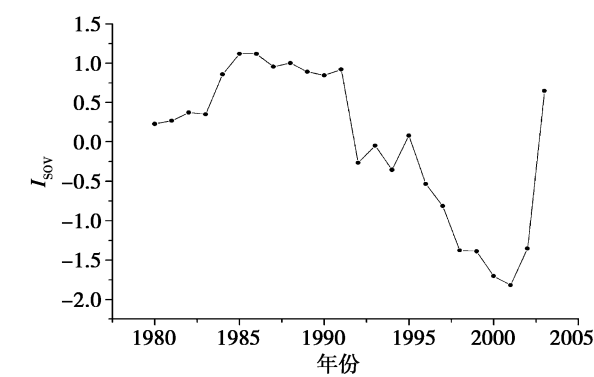


图 2 长沙地区的社会脆弱性变化 (1980 - 2003 年)  
Fig 2 Change of social vulnerability in Changsha Prefecture (1980 - 2003)



图 3 长沙 5 区 4 县社会脆弱性示意图 (2003 年)  
Fig 3 Sketch of social vulnerability for five districts and four counties in Changsha Prefecture (2003)

3.3 结果分析

由以上结果可以看出,长沙地区社会脆弱性的变化与“人口”、“土地利用”、“就业”、“综合防灾状况”四个方面相关,原有的 41 个指标缩减到 18 个独立变量。这有效解决了原来“指标种类和数目庞杂”的问题,减小了指标获取的难度,有利于实际评价工作的开展。同时,因为有评价指标的指导以及回归分析时自变量的进一步筛选,各指标间信息缺失或重合的状况也得到有效改善。在这 18 个社会经济指标中,金融保险业从业率、服务业从业率、堤防长度、水库库容量、千户电话拥有率、高等在校生比例、中等在校生比例、农业人口比例、五岁以下人口比例、每户家庭人口数、人口增长率、出生率与社会脆弱性呈负相关,且相关性依次减弱;水旱田比例、每 km<sup>2</sup> 竣工房屋面积、交通运输及其他公用事业从业率、地质勘察和水利管理从业率、城市人口率、女性比例与社会脆弱性呈正相关,且相关性依次减弱。另外,1980 - 1985 年,长沙全区的社会脆弱性缓慢上升;1986 - 2000 年,  $I_{soy}$  基本处于下降趋势,但是在 2002 年和 2003 年  $I_{soy}$  增长迅速。同时,2003 年,在长沙 5 区 4 县中,社会脆弱性最大的是开福区,其次是长沙县,而芙蓉区的社会脆弱性最低,这与笔者近两年在长沙地区的野外调查结果是基本符合的。

4 结语

评估脆弱性对区域减灾、减灾投资以及灾害风险管理等有着极为重要的意义,但是,社会脆弱性的评估到目前为止,还缺乏统一且合理的方法。本文尝试从灾害损失角度反推社会脆弱性指数,既直接解决了灾害时期的社会脆弱性指数评估,又为传统的 Hoovering 方法提供了客观的评估准则。运用 Hoovering 改进模型,

本文预测了长沙地区近 20 多年的社会脆弱性变化,并对比了 2003 年长沙 5 区 4 县的社会脆弱性。当然,本文的方法还有待完善:样本不够多的缺陷和自然脆弱性的替代影响了评估的精确性。我们将在以后的研究中进一步改进。

## 参考文献:

- [1] 姜彤,许鹏柱,许刚,等. 洪灾易损性概念模式 [J]. 中国减灾, 1997, 7(2): 24 - 29.
- [2] 蒋勇军,况明生,匡鸿海,等. 区域易损性分析、评估及易损度区划——以重庆市为例 [J]. 灾害学, 2001, 16(3): 59 - 64.
- [3] Downing T. Lessons from famine early warning and food security for understanding adaptation to climate change: towards a vulnerability/adaptation science [A]. Klein R T J. Enhancing the Capacity of Developing Nations to Adapt to Climate Change [C], London: Imperial College Press, 2002.
- [4] 樊运晓,罗云,陈庆寿. 承灾体脆弱性评价指标中的量化方法探讨 [J]. 灾害学, 2000, 15(2): 78 - 81.
- [5] Ford J. Integrated approaches to vulnerability assessment in the climate change literature [R]. University of Guelph, 2003.
- [6] 刘燕华. 中国脆弱环境划分与指标 [A]. 生态环境综合整治与恢复技术研究 [C]. 北京 北京科学技术出版社, 1995. 8 - 17.
- [7] 蔡海生,陈美球,赵小敏. 脆弱生态环境脆弱度评价研究进展 [J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(2): 270 - 275.
- [8] 赵名茶. 脆弱生境与贫困 [A]. 生态环境综合整治与恢复技术研究 [C]. 北京 北京科学技术出版社, 1995. 120 - 134.
- [9] 薛纪渝. 脆弱环境敏感性评价方法探讨 [A]. 生态环境综合整治与恢复技术研究 [C]. 北京 北京科学技术出版社, 1995. 19 - 24.
- [10] 赵跃龙,张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究 [J]. 地理科学进展, 1998, 17(1): 67 - 72.
- [11] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazard [J]. Social Science Quarterly, 2003, 84(2): 242 - 261.