

郭腾蛟, 李国胜. 风暴潮灾害经济损失灾前预评估研究进展[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 164–168. [GUO Tengjiao, LI Guosheng. Research progress on economic loss preevaluation of storm surge disaster[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 164–168. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.027.]

# 风暴潮灾害经济损失灾前预评估研究进展\*

郭腾蛟<sup>1,2,3</sup>, 李国胜<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;  
3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**从灾害损失构成、灾害损失分离、损失评估方法、损失结果检验四个方面着手, 指出灾害经济损失评估中存在的问题, 并总结出灾害经济损失评估的研究方法, 分析各个方法的优缺点以及存在的问题。总体来看, 目前关于风暴潮灾害经济损失估算还存在一定的缺陷。随着沿海地区经济发展迅速, 以及气旋活动的增强, 精准的估算风暴潮灾害经济损失显得尤为重要。从灾害理论出发, 建立科学合理的风暴潮灾害损失评估模型, 是目前研究的重点议题, 对于人民的生命财产安全和防灾减灾工作的实施都有重大的意义。

**关键词:** 风暴潮; 灾害; 经济损失; 灾前预评估; 估算方法; 研究进展

**中图分类号:** X43; P731 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)04-0164-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.027

风暴潮灾害是世界上最严重的自然灾害之一, 全球每年都会因为风暴潮灾害造成巨大的人员伤亡和经济损失<sup>[1]</sup>。2005年“卡特里娜”飓风及引发的风暴潮造成新奥尔良地区被海水淹没, 100多万户家庭断电, 1 417人在灾中遇难, 经济损失巨大<sup>[2]</sup>。2017年“ Harvey”飓风引发的狂风、暴雨、风暴潮灾害造成德克萨斯州房屋倒塌, 多人被困<sup>[3]</sup>。据《中国海洋灾害公报》统计, 1989–2016年间, 中国沿海共发生台风风暴潮灾害246次, 年均发生8.78次。其中, 2013年发生台风风暴潮多达14次, 全年风暴潮灾害损失超过150亿元, 占全部海洋灾害损失的90%以上。近年来, 风暴潮灾害损失呈逐年增加趋势, 成为威胁沿海地区社会经济发展最严重的自然灾害之一<sup>[4–7]</sup>。实现对风暴潮灾害经济损失的评估, 对于保障沿海地区的经济发展具有重要的支撑作用。因此, 合理估算风暴潮灾害的经济损失既是灾害领域的科学问题又具有重要的现实意义。

灾害损失评估一般包含灾后评估和灾前评估两个过程<sup>[8]</sup>。灾后评估主要有两种方法, 一种是灾情的统计调查, 通过民政部门逐级上报, 获得灾后详细的损失数据, 另一种是通过遥感影像分析结合现场调查等其他方法, 实现对受灾地区的快速评估。灾前预评估则是利用灾害模型通过计量方法估算未来可能的损失。灾后评估虽然对于现场数据和灾害发生情况有趋向于比较真实的结

果, 但是由于是在灾害发生后进行评估, 对于挽回灾害损失来说比较滞后, 无法在灾害发生前对可能的损失进行防范。随着社会经济快速发展, 人们更趋向于发展灾前预评估, 使各个部门能够未雨绸缪, 减少社会经济损失。因此本文主要是针对灾前预评估, 对损失评估过程中存在的一系列问题进行回顾。

## 1 风暴潮灾害经济损失构成

从致灾因素来看, 风暴潮是一种灾害链形式的灾害现象, 灾害在发生过程伴随大风、暴雨, 形成风灾、雨灾等<sup>[9–12]</sup>直接灾害, 例如2006年台风桑美中心风速达到60 m/s, 浙江省多个地区降雨量超过100 mm, 最高达到466 mm。暴雨在海拔低的地区会形成洪涝灾害<sup>[13–16]</sup>, 在山区地带还会造成滑坡、泥石流等次生灾害。台风引起海水暴涨, 又会间接引发风暴潮灾害等, 2005年卡特里娜飓风造成新奥尔良等滨海沿岸形成高达9 m的风暴潮, 防洪堤坝溃决<sup>[17]</sup>, 造成城市洪涝灾害, 经济损失高达数千亿美元。因此大风、暴雨、风暴潮是灾害损失形成的主要致灾因素。

从承灾对象来看, 不同的灾害类型存在着不同的承灾对象。对于风暴潮而言, 潮灾是造成损

\* 收稿日期: 2018-04-28 修回日期: 2018-06-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571041; 41871026); 中国科学院特色研究所培育建设服务项目(TSYJS04)

第一作者简介: 郭腾蛟(1988–), 女, 山东寿光人, 博士研究生, 主要从事自然灾害损失评估研究. E-mail: guotengjiao@126.com

通讯作者: 李国胜(1963–), 男, 江苏常州人, 研究员, 主要从事海陆相互作用过程遥感与GIS数值模式研究.

E-mail: ligs@igsnrr.ac.cn

失的主要致灾因素。通过各类文献以及灾情资料统计结果看出, 潮灾主要会造成农业损失<sup>[18]</sup> (农田淹没、土地盐碱化等)、渔业损失<sup>[19]</sup> (吞噬码头、渔船毁坏、水产养殖基地受灾等)、工业交通业损失<sup>[1]</sup> (近海企业受损、沿江马路浸水等)、水利设施损失<sup>[20]</sup> (防波堤、海堤、护岸损毁等) 以及生态环境损失<sup>[21]</sup> (海岛农村被摧毁 低洼地区浸水等)。然而气旋活动特别是台风过程引起的大风、暴雨、风暴潮都极具破坏性。不同灾害对同类型承灾体都会造成损失破: 以土地利用为例, 大风灾害会造成农作物倒伏, 对耕地造成损失; 暴雨灾害会淹没鱼塘, 对水产养殖用地造成损失; 风暴潮灾害会造成耕地盐碱化, 对耕地形成持续的影响。由此说明灾害损失的形成由大风、暴雨、风暴潮三类灾害因子与区域承灾体共同作用造成的<sup>[22-27]</sup>。

在经济损失评估中, 由于损失估算还没有统一认定的方法, 损失数据的获取主要依赖相关部门的统计数据, 而灾害损失不仅仅是风暴潮灾害本身造成的, 还跟大风、暴雨等灾害有直接的联系, 在实际的统计中很难将不同灾害区分统计。在过去的研究中, 学者们在进行相关的损失预估时, 通常利用灾害整体的经济损失值与单一灾害的致灾要素进行模拟, 得到的结果必然存在很大的误差。由此可见, 实现经济损失数据的分离是风暴潮研究的重点问题, 不仅可以推进风暴潮灾害经济损失评估方法的研究, 还可以对风暴潮本身的研究有重要意义。

## 2 风暴潮灾害经济损失分离

风暴潮灾害是由气旋活动引发的海水异常变化的灾害事件<sup>[28]</sup>。风暴潮灾害过程中通常夹杂着大风、暴雨等其他致灾因素<sup>[29]</sup>。风暴潮灾害损失中除了含有潮灾损失外, 还包含了大风、暴雨灾害的损失<sup>[30]</sup>。目前在评估风暴潮灾害损失时, 对于损失数据的处理一般分为两种, ①用综合的致灾指标评估灾害事件整体损失<sup>[31-34]</sup>, 即利用风、雨、潮等致灾要素结合承灾体指标, 完成对于气旋活动灾害链的损失评估; ②利用单一致灾要素评估整体灾害损失, 即单纯利用风暴潮增水等建立与经济损失的相关关系评估<sup>[35]</sup>。利用综合指标对于灾害损失进行评估, 能够很好的预防评估结果与真实结果出现较大的误差, 然而不利于发展单一灾害的损失评估。利用单一要素进行评估损失, 由于损失值相较于单一灾害的损失会偏大, 评估结果并不精确。由此可见现有的评估方法不能很好的实现损失数据的分离。

风、雨、潮三者对于灾害损失的作用相互联系又各有特点, 针对不同灾害的致灾特点合理选择承灾要素, 对于单灾种损失的剥离至关重要。由于目前的研究没有将不同的致灾因素区分开, 导致在指标选择过程中存在一定的问题。目前而言, 将风暴潮灾害与其他大风、暴雨等灾害的损失剥离开<sup>[29]</sup>, 是目前研究的重点问题。我们需要总结现有的方法, 依据方法的特点, 在原有方法

的基础上进行适当改进, 从而将经济损失中不同致灾要素的贡献值进行区分, 实现单灾种损失分离。

## 3 风暴潮灾害经济损失评估

从灾前评估的角度出发, 灾害经济损失分为间接损失和直接经济损失。由于两者的侧重点不同, 损失评估的方法也存在一定的差异。本文从不同损失类型着手, 总结损失评估的方法以及存在的优缺点。

### 3.1 间接损失评估方法进展

目前关于自然灾害间接经济损失的评估主要是基于灾害经济学理论, 利用生产函数模型、投入产出模型、社会核算矩阵等方法<sup>[36-40]</sup>, 通过一系列的社会经济数据, 建立灾害与资源社会之间复杂的耦合关系。灾害经济学理论方法对于灾害间接经济损失的估算有非常重要的作用。该方法能够有效的反应社会生产环节各个部门对于灾害事件的响应, 对于灾害带来的长期的影响进行科学的估算。其中, 投入产出模型被广泛应用于风暴潮灾害损失评估。

然而灾害经济学模型虽然可以估算灾害对社会的间接影响, 但是仍然存在一些不足: ①模型的可靠程度不能进行统计检验, 无法评价模型的精确程度。②模型对于数据的要求非常严格, 现有的研究中普遍存在数据获取问题, 数据的缺失会造成严重的误差, 从而对灾害结果产生一定的影响。③灾害经济学方法需要大量的经济学理论作为基础, 是纯粹的数学模型, 并不能真实的反应出灾害系统内部的相关关系。

对于风暴潮灾害而言, 投入产出模型<sup>[41-42]</sup>的预设条件过多(包括某部门只生产一种产品、投入产出成正比、直接耗散系数在编制投入产出表间隔期内稳定不变等), 而我国风暴潮灾害多发区域属于沿海发达地区, 经济发展迅速, 假定条件会使间接损失评估结果存在较大的误差。而且由于风暴潮事件在一年内发生频繁, 并不像地震等自然灾害灾害发生概率低, 因此投入产出模型仅仅能够分析出某一年内灾害的间接经济损失, 对于单次事件的经济损失很难进行评估, 不利于分析单次风暴潮事件对于某个特定区域的经济影响。

除灾害经济学理论方法外, 灾害间接评估的方法还有比例系数法、GDP 对比法等<sup>[43]</sup>方法, 一般适用于灾害的初步评估, 对于精准的间接损失评估, 这些方法会稍显粗糙, 主观性太强造成评估结果有所偏差, 因此并没有广泛适用于风暴潮灾害的间接损失评估中。

### 3.2 直接经济损失评估进展

灾害直接经济损失的估算方法从灾害理论上主要分为两大类, 一类是利用统计学模型进行区域某时间段内的经济损失估算, 另一类是基于风险关联的计算方式, 结合了区域社会经济条件、历史灾害资料等, 利用风险要素(危险性、脆弱性、指标体系等)估算灾害损失。目前, 评估风暴

潮灾害直接经济损失所采用的研究方法主要包括以下几个方面。

(1) 基于统计模型的损失评估: 主要依据已经发生的灾害损失和人员伤亡资料, 采用合理的数学统计模型, 对未来的经济损失进行预测。该方法在地震、火灾等自然灾害<sup>[44]</sup>中比较常见, 也有学者用于风暴潮灾害损失评估行预测<sup>[45]</sup>。该方法适用于预测未来某时间段内灾害的经济损失。然而该方法抛开灾害学的理论基础, 单纯利用数据模型和损失数据进行经济损失估算, 并没有考虑到灾害的成因和受灾过程, 不能有效的实现不同灾害对损失的贡献度分析。

(2) 单危险要素法: 建立风暴潮致灾因子与经济损失之间的相关关系。已有的研究大多利用风暴潮灾害本身携带的因子(最大风速、降雨量、风暴增水/减水等)建立起灾害强度<sup>[8, 46-49]</sup>指数, 通过该指数建立与直接经济损失(或者灾损率)的拟合方程, 推测在未来某次灾害过程中造成的直接经济损失。目前采用较多的拟合方法主要有线性回归分析法、多项式曲线法、对数法和指数法<sup>[8]</sup>等。单危险要素评估方法只考虑了损失与危险性的关系, 致灾因素并不是构成直接经济损失的唯一因素, 造成经济损失的过程是非常复杂的交互过程, 不单单与危险性因素有关, 更与受灾地区的社会经济、地理条件以及防灾抗灾能力有关<sup>[50-51]</sup>。由于经济损失数据无法剥离, 构建单一灾害强度指数与所造成的直接经济损失之间的数学关系, 通过简单的模拟方程预测未来不同灾害强度下的直接经济损失, 得到的结果误差必然很大。

(3) 通过危险概率估算: 构建未来可能发生的各种灾害情景(概率条件)并计算出对承灾体的损失值, 再用损失-超越概率统计、数值模拟等手段分别计算出可能的灾害概率情景下的直接损失<sup>[27]</sup>。该方法可以很好的估算出多年一遇风暴潮事件的经济损失, 对于实现风暴潮单灾种的评估有一定的作用, 然而危险概率估算方法对于数据资料的要求也是最高的, 不仅需要长期的统计资料和验潮站监测数据, 还需要对未来承灾体的发展趋势有一定的了解, 必要时还可能借助高分辨率遥感数据作为支撑, 且模拟与计算过程复杂, 计算的结果不能得到很好的验证, 有很大的不稳定性<sup>[27]</sup>。

(4) 利用脆弱性估算法: 根据不同强度的灾害与各类承灾体损失率之间的关系, 绘制出不同承灾体的脆弱性曲线<sup>[52-53]</sup>。脆弱性曲线的方法适用于大多数灾害的精准损失估计, 对于风暴潮灾害而言, 需要绘制不同增水条件下对于渔业、农业等承灾体的损失曲线。利用脆弱性曲线对灾害经济损失进行估算的方法比较成熟, 各个国家对于不同的灾种的脆弱性曲线都有一定的研究, 并且有了大量的数据积累, 然而该方法在实践过程中仍然存在这一问题: 风暴潮灾害是链式灾害, 雨灾、潮灾对于同一承灾体都会有损失, 由于无法分离雨灾的损失, 因此在计算过程中会存在潮灾损失率过大的情况。随着经济社会的发展、人口的增加、城市化规模的加大, 承灾体的价值不断的发生着变化, 同一类承

灾体在不同年内所用的脆弱性曲线会有很大的差异, 因此该方法有一定的时间局限性。

(5) 指标体系法: 通过构建指标体系, 建立风暴潮灾害致灾因素、承灾因素、抗灾能力等要素与经济损失之间的关系。一般而言, 该方法主要是结合研究区特点, 依据危险性、脆弱性、抗灾能力等要素, 构建该地区的指标体系, 利用各类回归模型, 例如神经网络<sup>[33]</sup>、向量机<sup>[34, 54]</sup>等, 通过反复的模拟训练, 建立综合指标与直接经济损失的关系。指标体系法在指标遴选过程中存在的问题: 研究者通常主观臆断的选择指标, 从而忽略指标的综合性 and 全面性, 并且筛选的指标无法检验其合理性, 因此构建的指标体系不能科学、真实、客观的反应出直接经济损失。由于指标体系构建的是综合指标, 利用模型对经济损失进行模拟, 无法有效的剥离出单一灾害的经济损失。

(6) 案例推理方法: 由历史资料案例推断未来的经济损失, 其主要的理论依据是搜集已经发生的风暴潮灾害历史事件, 建立影响区域的致灾因素、承灾因素、抗灾能力等数据库, 选择合适的仿真模型, 模拟出历史时期各类影响因素之间的相互作用, 由此不断修正拟合, 推断出三类要素与经济损失之间相对稳定的数学关系, 以此对未来特定社会条件下特定规模的台风风暴潮灾害进行损失估计。案例推理的方法同样需要建立科学合理的指标体系, 指标需要与经济损失结合密切, 通过有效的指标, 配合仿真模型, 可以获得不同灾害类型与不同承灾体之间的相互关系, 从而可以估算出单一灾害的经济损失, 有效的实现损失数据的剥离。案例推理方法目前尚在发展阶段, 各类的方法技术还不成熟, 尤其是对于三类因素之间的相互关系的模拟方面, 技术稍显不足, 需要大量的研究成果来支撑此种理论。但是相较于其他方法的缺陷, 案例推断的方法可以极大的减小损失估算的误差, 且可以清晰明了的看到各因素对损失的作用程度, 对精准的防灾减灾工作也可以起到一定的推动作用。

## 4 风暴潮灾害损失结果检验

通过灾害损失评估模型得到的结果需要通过检验才能验证其模型的可靠程度和准确度。风暴潮灾害损失模拟结果跟真实结果必然存在一定的差异, 正确分析差异存在的原因, 对于重新修正模型参数有重要的作用。通过研究表明, 差异的存在主要有两方面的原因: ①损失模型本身的不确定性: 模型构建过程中存在大量的不确定性因素<sup>[55]</sup>, 因此在构建损失模型过程中, 需要正确分析方法理论、模型构建、参数选择、数据整理中的不确定性, 尽量减少整体不确定性的概率<sup>[56-58]</sup>。②真实结果存在误差: 目前统计部门上报的灾害损失不仅仅是风暴潮灾害损失, 更有大风、暴雨等的损失, 因此针对风暴潮灾害的损失模型得到的结果就会与真实结果有一定的偏差。

目前的检验方法大多是从灾害数据库中随机

选择样本数据, 进行模型反复训练, 输出样本结果, 而后与数据库中其他数据结果进行比对, 验证其准确度<sup>[59-60]</sup>。真正实现从数据收集、建模过程等分析结果误差的研究比较少见, 需要在今后的研究中重点分析。实现对灾害损失评估模型的精准的修订, 可以得到比真实损失更具可信度的数据, 进而利用模型结果对真实损失结果进行比对, 从综合损失结果中剥离出风暴潮灾害的损失。

## 5 结论和讨论

本文以风暴潮灾害为例, 总结出自然灾害经济损失的不同估算方法和存在的问题, 分析认为灾害经济学理论方法对于灾害间接经济损失的估算有重要的作用, 而在直接经济损失估算中, 基于风险的损失估算方法更符合灾害理论, 估算过程和结果能够合理的反应灾害过程, 因此在今后的灾害经济损失估算中, 利用区域的风险来估算灾害损失是一种合理的趋势。

目前关于风暴潮灾害经济损失估算存在以下几个问题: ①灾害损失数据无法有效的进行分离; ②风险要素指标体系没有科学的统一的构建方法; ③损失估算的结果没有进行系统的检验。因此在以后的工作中需要提高风险要素指标遴选的客观性、减少损失评估过程中模型存在的不确定性解析以及评估结果的误差分析, 从而实现损失数据的分离。在综合风险评估的过程中, 指标体系的遴选尤为重要。如何减少在指标筛选中的主观臆断, 是风险评估中面临的重要问题。在研究过程中适时引入新的方法, 以减少指标遴选过程中的主观性。本文结合其他领域相关文献, 认为可以采用结构方程模型的方法, 引入潜在变量, 对致灾因子、承灾体、抗灾能力等不可观测的要素通过一系列可观测的指标表现出来, 相对减少人为筛选指标的弊端, 推进风险要素评估的准确性, 减少损失模型建立过程中的不确定性, 提高模型精确度, 为经济损失的评估打好基础。

随着社会经济发展, 人口和财产的暴露度不断增加, 导致过去几十年间灾害造成的经济损失不断增加。尽管如今人们的风险意识以及防灾减灾意识不断增强, 但是灾害经济损失一直在不断增长, 甚至在某些地区损失的增长率要超过地区发展水平。全面的了解不同地区、不同经济发展阶段的风险水平以及灾害损失之间的关系, 对于未来不同风险水平下的损失进行科学、准确、可靠的估算, 有利于地区精准的防灾措施实施, 对于国民财产和人口安全都有重要的意义。

## 参考文献:

- [1] 周亚飞. 台风风暴潮风险评价及应急交通疏散研究[D]. 天津: 南开大学, 2012.
- [2] Bankston III C L, Barnshaw J, Bevc C, et al. The sociology of Katrina: Perspectives on a modern catastrophe[M]. Rowman & Littlefield Publishers, 2010.
- [3] Bayard K, Decker R, Gilbert C. Natural Disasters and the Measurement of Industrial Production: Hurricane Harvey, a Case Study[R]. Board of Governors of the Federal Reserve System (US), 2017.
- [4] Hatzikyriakou A, LIN N. Impact of performance interdependencies on structural vulnerability: A systems perspective of storm surge risk to coastal residential communities[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2017, 158: 106–116.
- [5] GU Jiayue, CHU Ao, ZHU Yuliang, et al. Warning Water Level Determination for Luchaogang of Shanghai[C]//DEStech Transactions on Materials Science and Engineering, 2017.
- [6] 赵庆良, 许世远, 王军, 等. 沿海城市风暴潮灾害风险评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 32–40.
- [7] 谭丽荣, 陈珂, 王军, 等. 近 20 年来沿海地区风暴潮灾害脆弱性评价[J]. 地理科学, 2011, 29(9): 1111–1117.
- [8] 许启望, 谭树东. 风暴潮灾害经济损失评估方法研究[J]. 海洋通报, 1998, 17(1): 1–12.
- [9] YIN Jie, YIN Zhane, YU Dapeng, et al. Vulnerability analysis for storm induced flood: A case study of huangpu river basin[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(9): 1155–1160.
- [10] Murnane R J, Elsner J B. Maximum wind speeds and US hurricane losses[J]. Geophysical Research Letters, 2012, 39(39): 16707–16711.
- [11] LI Kuo, LI Guosheng. A storm surge vulnerability assessment for coastal Guangdong[J]. Tropical Geography, 2011, 31(2): 153–158.
- [12] Chittibabu P, Dube S K, Macnabb J B, et al. Mitigation of flooding and cyclone hazard in Orissa, India[J]. Natural Hazards, 2004, 31(2): 455–485.
- [13] FANG Yan, YIN Jie, WU Bihu. Flooding risk assessment of coastal tourist attractions affected by sea level rise and storm surge: a case study in Zhejiang Province, China[J]. Natural Hazards, 2016, 84(1): 1–14.
- [14] Gambolati G, Teatini P, Gonella M. GIS simulations of the inundation risk in the coastal lowlands of the Northern Adriatic Sea[J]. Mathematical & Computer Modelling, 2002, 35(9/10): 963–972.
- [15] Fritz H M, Blount C, Sokoloski R. Hurricane Katrina storm surge distribution and field observations on the Mississippi Barrier Islands[J]. Estuarine Coastal & Shelf Science, 2007, 74(1): 12–20.
- [16] Demirkessen A C, Evrendilek F, Berberoglu S. Quantifying coastal inundation vulnerability of Turkey to sea-level rise[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2008, 138(1/3): 101–106.
- [17] Murakami T, Shimokawa S, Yoshino J, et al. A new index for evaluation of risk of complex disaster due to typhoons[J]. Natural Hazards, 2015, 79(1): 1–16.
- [18] 康蕾, 马丽, 刘毅. 珠江三角洲地区未来海平面上升及风暴潮增水的耕地损失预测[J]. 地理学报, 2015, 70(9): 1375–1389.
- [19] 任林军. 我国风暴潮灾害造成的渔民收入损失评估研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [20] 段晓峰, 许学工. 沿海防潮堤坝对风暴潮危害的减灾效益研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2006, 26(3): 279–283.
- [21] LI Kuo, LI Guosheng. Vulnerability assessment of storm surges in the coastal area of Guangdong Province[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2011, 11(7): 2003–2010.
- [22] LIN N, Emanuel K A, Smith J A, et al. Risk assessment of hurricane storm surge for New York City[J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115(115): 311–319.
- [23] HUANG W K, WANG J J. Typhoon damage assessment model and analysis in Taiwan[J]. Natural Hazards, 2015, 79(1): 497–510.
- [24] 陈香, 陈静, 王静爱. 福建台风灾害链分析——以 2005 年“龙王”台风为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2007, 43(2): 203–208.
- [25] 潘安定, 唐晓春, 刘会平. 广东沿海台风灾害链现象与防治途径的设想[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2002, 1(3): 55–61.
- [26] 史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1–9.
- [27] 殷杰. 中国沿海台风风暴潮灾害风险评估研究[D]. 上海:

- 华东师范大学, 2011.
- [28] 冯士筴. 风暴潮导论[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [29] 于福江, 董剑然, 叶琳. 中国风暴潮灾害史料集(1949 – 2009)[M]. 北京: 海洋出版社, 2015.
- [30] 陈文方, 端义宏, 陆逸, 等. 热带气旋灾害风险评估现状综述[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 146 – 152.
- [31] CHEN Shuchang, CHEN Min, ZHAO Na, et al. Florida public hurricane loss model: Research in multi – disciplinary system integration assisting government policy making[J]. Government Information Quarterly, 2009, 26(2): 285 – 294.
- [32] Pita G, Pinelli J P, Cocke S, et al. Assessment of hurricane – induced internal damage to low – rise buildings in the Florida Public Hurricane Loss Model[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2012, 104: 76 – 87.
- [33] 叶小岭, 梁伟, 邓华. 基于主成分分析及 RBF 神经网络的浙江省台风灾害损失预测[J]. 科技通报, 2014, 30(9): 13 – 19.
- [34] 赵昕, 王保颂, 郑慧. 基于 RS – SVM 模型的风暴潮灾害损失测度[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(4): 596 – 600.
- [35] 何蕾. 珠江三角洲地区海平面上升及其社会经济影响与适应[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.
- [36] Fujimi T, Tatano H. Estimation of indirect economic loss caused by house destruction in a natural disaster[J]. Natural hazards, 2012, 61(3): 1367 – 1388.
- [37] Brouwer R, Hofkes M, Linderhof V. General equilibrium modelling of the direct and indirect economic impacts of water quality improvements in the Netherlands at national and river basin scale[J]. Ecological Economics, 2008, 66(1): 127 – 140.
- [38] 张鹏, 李宁, 吴吉东, 等. 基于投入产出模型的区域洪涝灾害间接经济损失评估[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 773 – 779.
- [39] 胡爱军, 李宁, 史培军, 等. 极端天气事件导致基础设施破坏间接经济损失评估[J]. 经济地理, 2009, 29(4): 529 – 534.
- [40] 吴吉东, 李宁, 温玉婷, 等. 自然灾害的影响及间接经济损失评估方法[J]. 地理科学进展, 2009, 28(6): 877 – 885.
- [41] 郑慧, 高梦莎. 基于投入产出模型的海洋灾害间接经济损失评估[C]//海洋强国战略论坛, 2016.
- [42] 赵昕, 王晓霞, 李莉. 风暴潮灾害经济损失评估分析——以山东省为例[J]. 中国渔业经济, 2011, 29(3): 91 – 97.
- [43] 孙慧娜. 重大自然灾害统计及间接经济损失评估[D]. 成都: 西南财经大学, 2011.
- [44] 周长锋, 龚日朝, 肖国安. 基于傅里叶级数的自然灾害损失预测模型研究——以湖南省自然灾害经济损失预测为例[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(8): 5 – 9.
- [45] 高强, 谷文凯, 林亚琼, 等. 山东省风暴潮灾害经济损失预测——基于灰色—周期外延组合模型[J]. 海洋经济, 2016, 6(1): 46 – 51.
- [46] 王志强, 陈思宇, 吕雪锋, 等. 风暴潮灾害受灾人口与直接经济损失评估方法研究进展[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(3): 274 – 279.
- [47] 于小龙, 潘伟然, 张国荣, 等. 福建省台风灾害直接经济损失评估模型[J]. 厦门大学学报(自然版), 2011, 50(6): 1047 – 1052.
- [48] HUANG Z, Rosowsky D V, Sparks P R. Long – term hurricane risk assessment and expected damage to residential structures[J]. Reliability engineering & system safety, 2001, 74(3): 239 – 249.
- [49] Dorland C, Tol R, Olsthoorn A, et al. Impacts of windstorms in the Netherlands: present risk and prospects for climate change[J]. Chapter, 1999, 10: 245 – 278.
- [50] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1 – 9.
- [51] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 11(4): 6 – 17.
- [52] Smith D. Flood damage estimation – A review of urban stage – damage curves and loss functions[J]. Water S. A., 1994, 20(3): 231 – 238.
- [53] Penning – Rowsell E C, Chatterton J B. The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques[J]. Geographical Journal, 1977, 145(3).
- [54] 李远远. 基于粗糙集的指标体系构建及综合评价方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [55] 庞西磊, 黄崇福, 张英菊. 自然灾害动态风险评估的一种基本模式[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 1 – 6.
- [56] Apel H, Thieken A H, Merz B, et al. Flood risk assessment and associated uncertainty[J]. Natural Hazards & Earth System Sciences, 2004, 4(2): 295 – 308.
- [57] Bommer J J. Uncertainty about the uncertainty in seismic hazard analysis[J]. Engineering Geology, 2003, 70(1/2): 165 – 168.
- [58] 张海玲, 刘昌新, 王铮, 等. 气候变化综合评估模型的损失函数研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(1): 40 – 49.
- [59] 叶小岭, 刘程波, 张颖超, 等. 基于 BP 神经网络的浙江台风损失预测[J]. 信息技术, 2011(10): 59 – 61.
- [60] 张颖超, 仲丽君. 基于支持向量回归机的台风灾害损失分析[J]. 信息技术, 2012(7): 49 – 54.

## Research Progress on Pre-assessment of Economic Losses before Storm Surge Disasters

GUO Tengjiao<sup>1, 2, 3</sup> and LI Guosheng<sup>1, 2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Beijing 100101, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** From the four aspects of disaster loss composition, disaster loss separation, loss assessment method, loss result test, we point out the problems existing in disaster economic loss assessment, summarize the research methods of disaster economic loss assessment, and analyze the advantages and disadvantages of each method and the existing problems. Generally speaking, there are still some defects in estimating the economic losses of storm surge disasters. With the rapid economic development in coastal areas and the enhancement of cyclone activity, it is particularly important to accurately estimate the economic losses caused by storm surge disasters. Based on disaster theory, the establishment of a scientific and reasonable storm surge disaster loss assessment model is the focus of current research, which is of great significance to the safety of people's lives and property and the implementation of disaster prevention and mitigation.

**Key words:** storm surge; disaster; economic loss; pre disaster pre assessment; estimation method; research progress