

文章编号: 1004 - 4574(2011)06 - 0104 - 08

风暴潮风险研究进展

李 阔¹ 李国胜²

(1. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 中国沿海是全球少数几个风暴潮风险最大的区域之一。受全球气候变暖和海平面上升的影响, 沿海地区风暴潮灾害风险水平呈显著上升的趋势。从灾害风险理论出发, 在对风暴潮风险的认识、风暴潮危险性评估、风暴潮易损性评估, 以及风暴潮综合风险评估等四个方面, 系统地总结了目前风暴潮风险研究的最新成果、研究进展和存在的主要问题。总体来看, 现阶段风暴潮风险评估研究还比较薄弱, 未来的风暴潮风险研究应该由单要素评估走向综合评估, 加强风暴潮风险评估的综合性和系统性。随着沿海地区社会经济的发展, 应充分考虑全球变化和海平面上升对未来风暴潮风险的影响, 完善风暴潮综合风险评估体系, 提升风暴潮预报预警能力, 为风暴潮灾害的防灾减灾工作提供科学依据。

关键词: 风暴潮; 风险评估; 危险性; 易损性; 研究进展

中图分类号: P732.5

文献标志码: A

Progress in research on risk of storm surge

LI Kuo¹, LI Guo-sheng²

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The coastal area of China is one of a few regions in the world which are seriously threatened by storm surge and at most risk. Affected by global warming and sea-level rise, the risk of storm surge in coastal areas is obviously rising. Based on the theory of disaster risk, the article systematically summarizes the new research results, research progress and problems of the risk of storm surge from four aspects, such as the awareness of risk, hazard assessment, vulnerability assessment and the comprehensive risk assessment of storm surge. Overall, the study of risk assessment of storm surge is relatively weak at the present stage. In the future the risk study for single factor should turn to comprehensive assessment. It is important to strengthen the comprehensive and systematic study of risk assessment of storm surge. With the development of the economy and society in the coastal areas, we should fully consider the effect of global warming and sea-level rise, perfect the comprehensive risk assessment system of storm surge and promote capacity of forecasting and early warning of storm surge. It would provide scientific advices to the government for the prevention and mitigation of storm surge disaster.

Key words: storm surge; risk assessment; hazard; vulnerability; research progress

风暴潮是一种来自海上的自然界现象, 是指由于强烈的大气扰动——如热带气旋、温带气旋或爆发性气

收稿日期: 2010 - 04 - 21; 修回日期: 2010 - 11 - 22

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAD20B05); 国家重点基础研究发展计划“973”资助项目(2012CB95570001)

作者简介: 李阔(1982 -), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事自然灾害风险评估和风险管理研究. E-mail: hqk2000@163.com

通讯作者: 李国胜(1963 -), 男, 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@igsnr.ac.cn

旋等天气系统所伴随的强风和气压骤变所导致的海面异常升降的现象^[1-2]。众所周知,西北太平洋沿岸国家中,中国是风暴潮灾发生次数最多、损失最严重的国家,也是世界上少数几个遭受风暴潮灾影响最为严重的国家之一。近年来我国因风暴潮灾而造成的损失呈逐年上升的趋势,每年都在百亿元左右^[3-5]。

由于受全球气候变暖和海平面上升的影响,沿海城市风暴潮灾害风险水平显著增加。IPCC指出人类活动排放的温室气体导致越来越严重的全球气候变化问题,中国海岸带已经受到气候变化和海平面上升的影响,风暴潮、强气旋活动、洪水等极端天气事件和干旱等气候事件对沿海地区造成的灾害越来越明显,其中对黄河三角洲、长江三角洲和珠江三角洲的社会经济产生的影响最为严重^[6]。因此国家有关部门以及沿海地区对风暴潮的防灾减灾要求也进一步提高,不仅希望有短时效的预报、警报,还希望获得长期风暴潮灾的预测意见,为制定生产计划和安排防潮减灾工作提供决策依据^[7]。

目前风暴潮的研究主要集中在数值模拟、重现期计算和灾情损失评估几个方面,虽然各个方向的研究越来越走向量化、细致化,但目前这些研究大多是从一个方面深化我们对风暴潮的认识和判断,对风暴潮灾害的影响和发展趋势的综合认知有待进一步提高,因此风暴潮风险评估研究越来越受到研究者的重视。它强调对风暴潮进行系统性和综合性的研究,将风暴潮灾害的自然属性和社会属性结合起来,使人类能够实现对风暴潮发生前、发生过程中和发生后的整体性认知和系统性把握,由原来对风暴潮灾害的目标性管理逐步转向过程管理。目前风暴潮综合风险评估研究还刚刚起步,通过总结分析风暴潮风险研究的进展,提出现阶段存在的问题,建立和完善风暴潮风险评估体系。

1 对风暴潮风险的认识

风暴潮是我国面临的最严重的自然灾害之一,风暴潮风险既有自然灾害风险的共性,也具有由其自身特点决定的特殊性。对于我国沿海某一特定地区而言,当风暴潮的增水超过警戒水位后,就有可能发生风暴潮灾害。关于风险的定义,不同行业或学科的研究者有着不同的认识,至今尚未统一,有人认为风险是在给定情况下和特定时间内,那些可能发生的结果间的差异^[8],也有人认为风险是指某种损失的不确定性^[9]。韦伯字典将风险定义为面临的伤害或损失的可能性。国际风险理事会认为风险是一次事件或活动的不确定性后果,而这一事件或活动是人类所看重的,许多风险都是复杂的、不确定的,甚至是模糊的。

正是由于对风险的认识的不同,对于风暴潮风险的研究也呈现出两种趋势。一种观点认为,风暴潮风险是指风暴潮灾害所导致的可能的损失;这类研究一般把风暴潮重现期作为研究基础,再结合海岸带的地形数据评估风暴潮灾害的可能淹没范围,最终以风暴潮淹没损失来划分不同的风险区^[10-11];确定风暴潮灾害风险的办法通常是进行设计水位的重现期分析,在对水位资料进行统计分析的基础上计算它们的年极值频率,以确定防潮标准。另一种观点认为风暴潮风险是指面对风暴潮灾害一个区域遭受损失的可能性大小;这类研究认为灾害的风险包含有3方面的内涵,即灾害造成的损失^[12]、事件发生的概率^[13]和可能产生的后果^[14]。最终确定的自然灾害风险表达式为^[15]: 风险(risk) = 危险(hazard) × 易损性(vulnerability)。这一表达式揭示了灾害风险研究的内容,其中危险度是前提,易损度是基础,风险则是结果,风险评价包括了危险性评价和易损性评价的全部内容。

2 风暴潮危险性评估

2.1 风暴潮危险性评估方法

风暴潮灾害危险性研究包括对风暴潮强度和频率的预报预测以及不同重现期风暴潮潮位的研究。由于切入角度的不同,可以划分为实时风暴潮危险性研究和长期风暴潮危险性研究两种类型。这两种危险性研究的侧重点不同,其核心内容分别是风暴潮的预报预测研究和风暴潮的重现期研究。

风暴潮危险性研究起步很早,一部分研究者从风暴潮的控制因子和发生机理入手,研究建立风暴潮数值模拟模型^[16-17],以风暴潮发生前的海面风场和气压场值作为判断依据,预测即将发生的风暴潮的强度和范围,评估风暴潮造成的危险;风暴潮数值模拟研究可以预测每次将要发生的风暴潮随时间变化最大增水和风速等因素,实现对风暴潮灾害的实时预报预警,但同时受制于预报模型的精度和准确度,并且只对具体风暴潮个例进行预测,不能对风暴潮危险性的长期趋势做出预测。另一部分研究者认为一个区域内的风暴潮灾

害的危险程度主要取决于未来发生不同规模风暴潮的可能性大小,以风暴潮重现期作为判断标准,评价长时段下区域内面临风暴潮灾害的强度大小^[18]。风暴潮重现期是评价风暴潮灾害危险性的最重要因素,它可以实现对长期风暴潮灾害危险程度的预测分析,这对于一个区域的防灾减灾规划有十分重要的意义,但其并不涉及具体的风暴潮过程,因此也无法预测风暴潮个例的危险性。这两种风暴潮危险性评估方法各有利弊,并且能够互补,因此未来的风暴潮危险性评价应该是二者的有效结合,才能对实际的防灾减灾工作起到显著作用。

2.2 风暴潮数值模式技术

对于实时风暴潮危险性评价,其主要集中于对风暴潮数值模拟技术的研究。现阶段风暴潮数值模拟研究面临着这样的困境:即为了最大限度地减轻风暴潮灾害损失,必需尽可能地延长风暴潮预报的时效,但风暴潮预报时效的延长与预报的准确度相互制衡,就是说延长时效须以损失准确度为代价,反过来要提高准确度又要求缩短时效。之所以如此,原因在于风暴潮预报准确度的提高依赖于气象预报水准的提高,而目前气象预报模式所给出的风场、气压场资料尚远远不能满足延长风暴潮预报时效的要求,期望短时间内取得长足进展看来也是不切实际的。所以,为尽快地、最大限度地减轻风暴潮灾害损失,我们可取的一个选择是退而求其次,开展风暴潮综合风险评估方面的研究。

世界上主要沿海国家都发展出了适合本国海岸带特点的风暴潮数值模拟技术^[19-23]。其中最突出的是美国 Jelesnianshi 博士^[24-26]建立的 SPLASH 模式以及在其基础上发展出的 SLOSH 模式,成为美国最新一代的国家风暴潮预报模式。该模式是一个二维流体动力学数值模式,其计算域采用扇形的极坐标网格来描述,覆盖大部分大陆架和部分内陆地形及水域,因此可以预报海上、陆上以及湖上的台风风暴潮^[27],以它为基础的模式在世界上得到了最广泛的应用。我国风暴潮研究者在研究国外数值模式的基础上,也逐步建立了适合我国地形地貌特征和台风特点的预报模式^[28-31]。

风暴潮数值模拟方法不会受到历史资料长度的限制,但必须获得海面风场和气压场的预报值,结合海区的边界和海底的形态,通过对风暴潮基本方程组的数值积分,可推测出风暴潮在此海区的时间和空间分布以及一些重要的海洋动力学信息。根据风暴潮数值模拟结果,可以预测即将发生的或虚拟的风暴潮灾害的强度、影响范围和发展过程,这对预防和减轻风暴潮灾害有十分大的帮助。另一方面,对于一个受风暴潮威胁的区域而言,如何预测该区域未来所面临的风暴潮强度和频次也是十分重要的,这种情况下风暴潮数值模拟技术就无能为力了,因此风暴潮的综合危险性研究就显得十分必要。我们认为应当将风暴潮数值模拟与风暴潮重现期研究结合起来,以风暴潮数值模拟结果作为风暴潮重现期研究的基础数据,解决研究资料时间序列不足的问题,发展风暴潮的实时危险性和长期危险性相结合的综合危险性研究。

2.3 风暴潮重现期计算

风暴潮数值模拟研究越来越走向成熟,与此同时风暴潮重现期研究也在不断的发展。风暴潮重现期研究主要是预测一个区域在未来 10~1000 a 间面对风暴潮灾害的可能性的的大小,它是一种长时间尺度的趋势预测研究,需要依托长时间段的历史风暴潮增水记录资料。该方法属于长期统计分析法,一般用于海岸工程当中,其得出的风暴潮增水重现值可以为政府规划设计部门决策提供参考。国内外许多研究者对不同地区的风暴潮重现期进行了研究^[32-36],因此研究方法日趋成熟,并逐渐应用于海岸工程设计当中。总结国内外的风暴潮重现期研究方法,主要有 3 种计算方法,分别是耿贝尔方法、皮尔逊 III 型曲线法和三点适线法。这 3 种方法是风暴潮重现期的理论分布计算方法,在此基础上不同研究者又运用年极值法、过阈法或组合分布法对风暴潮重现期进行统计分析,最终得到适宜区域情况的预测结果。年极值法是对年极值水文要素序列选配 1 条理论分布曲线,在一定适线准则下确定线型,外延推算多年一遇设计参数;过阈法则首先确定一个观测值的下界即阈值,凡是超过此值的均列入统计序列,然后通过某种理论分布进行适线;组合分布法提出的按照天气形势分别进行统计抽样,每种天气形势下的极值增水再用复合型分布进行描述。这 3 种方法侧重点不同,各有利弊,在实际应用中应结合实际情况选择最佳模式。

受全球气候变暖和海平面上升的影响,不同重现期的风暴潮极值水位将发生很大变化。一方面,由于相对海平面上升,将不同重现期风暴潮高潮位叠加相对海平面上升预测值,得到未来不同重现期风暴潮极值水位,那么珠江三角洲地区目前 50 a 一遇的高潮位可能缩短为 10 a 一遇^[7],因此即使登陆的热带气旋不增加大于某一值的风暴潮增水出现的频次,未来相对海平面上升也将可能增加风暴潮成灾的机率和风暴潮强度,导致风暴潮灾加剧;另一方面,相对海平面的持续上升,无疑将导致潮位、设计水位和设防标高标准的不殆抬

高,会造成已建滨线工程等建筑基础和设防标高的不断相对沉降,并影响到其功能、效益和寿命,这将加剧风暴潮灾害。因此今后风暴潮重现期的研究重点应该是,在全球气候变暖背景下相对海平面上升对风暴潮重现期所产生的影响。

目前,风暴潮危险性研究所取得的进展以及存在的问题:

(1) 随着计算机技术的广泛应用,风暴潮数值模型都在朝着台风云图——风暴增水一体化数值预报模式发展,形成防治风暴潮灾害的预警系统,并逐步进入沿海城市风暴潮防灾减灾的实际决策过程中。

(2) 另一方面现阶段的数值天气预报精度还不能完全达到风暴潮模式尺度所需的风场和气压场预报精度,这严重妨碍了数值预报的实施和应用。

(3) 现阶段风暴潮危险性研究普遍可以划分为数值模拟技术和统计分析两个方面,应当将二者结合起来,发展风暴潮的综合危险性研究,兼顾风暴潮的长期危险和短期危险,制作沿海不同区域的风暴潮危险区划图,这对风暴潮的长期防治有十分重要的意义。

3 风暴潮易损性评估

风暴潮灾害风险不仅与风暴潮的强度和频率有关,而且与风暴潮承灾体的易损性密切相关。风暴潮的承灾体主要分布在海岸带地区,因此风暴潮承灾体的易损性研究与海岸带易损性研究十分相近。IPCC^[37-38]把海岸易损性评估作为一项重要内容,敦促沿海各国应优先开展研究,部分国家进行了区域易损性初步评估,在此基础上形成了全球海岸易损初步轮廓。随着对全球变化海岸易损性认识的加深,以实现海岸带可持续管理为目标,各国就此正通过建立易损性评估模型对海岸易损性进行深入细致的定量研究。

Gornitz^[39]于1991年提出了海岸易损性指数和风险等级(risk class)概念。Frihy^[40]提出了海岸易损性评估判别标准。LisaR等^[41]对美国弗吉尼亚州东南部的大都市群区域面临飓风风暴潮洪水和海平面上升的易损性进行了实证研究,并绘制了暴露性和易损性风险图。Ken Granger等^[42]研究了城市社区对风暴潮灾害的暴露水平和易损性的度量方法,做出了风暴灾害易损性区划图^[43]。我国杨桂山等^[44]针对面积广阔、地貌条件复杂且有海堤保护的大河三角洲和滨海平原,提出易损性范围应由海平面上升直接淹没范围与抬高浅层地下水位对土地利用潜在影响范围以及风暴潮加剧可能的危害范围三者综合确定,发展了海岸环境变化易损范围确定和易损性评估方法。黄镇国^[45]在评估海平面上升对广东的影响时,增加了抗灾能力指数,使易损性评估中增加了对人类采取海岸管理减轻海岸易损性的度量。其他的易损性评估方法还有指数法、决策矩阵法、数值模型法^[46]、模糊决策分析法^[47]等。

研究发现风暴潮易损性与全球变化海岸易损性常被混为一谈,而且普遍认为风暴潮易损性的研究已经很成熟。其实不然,虽然各国对全球变化海岸易损性进行了深入细致的定量研究,但风暴潮易损性研究则非常的少。二者既有相通之处,又有很大不同。首先两者的承灾体是相同的,都是对海岸带的易损程度的研究;其次两者所采用的易损性评估方法大同小异,一般都采用加权的方法建立易损性评价模型。两者最大的不同是致灾因子的不同,这决定了易损性评价的核心—易损指标体系的建立存在着根本的差别;全球变化海岸易损性主要研究海平面上升导致的海岸带暴露性和脆弱性,它涉及到海岸侵蚀、海水入侵、风暴潮淹没、湿地损失等方面;风暴潮易损性研究主要针对风暴潮导致的海岸带可能损失进行研究,其指标包括人口、土地利用、工农业产值等因子。因此应当加强风暴潮易损性指标体系的研究,这是现阶段风暴潮风险评估研究的薄弱环节。

目前,风暴潮易损性研究所存在的问题:

(1) 现阶段由全球变化引起的海岸易损性研究是各个国家研究的热点,但对风暴潮易损性研究则相对较少,二者的致灾因子不同,但研究方法有共通之处,需要研究者更多的关注和重视,并可以丰富和深化全球变化研究。

(2) 易损性研究由于本身的特点决定了其带有很大的主观性,尤其在易损因子的选择和赋重方面,不同研究者会得出不一样的指标体系;同时易损性研究带有很强的区域性,不同地域的风暴潮易损性评价需要不同的评价指标,这对于易损性的判断和衡量带来很大困扰,只能通过在实际中的应用并加以检验。

4 风暴潮综合风险评估

风暴潮风险评估是风暴潮灾害风险管理研究中非常重要的内容。由于对风暴潮风险认识的不同,目前存在两种不同的风暴潮风险评估模式。一种观点认为风暴潮风险评估就是对风暴潮灾情损失的评估,主要内容是对风暴潮灾害损失进行预评估和实时评估,利用高分辨率的多源遥感影像提取准确及时的重要信息,运用地理信息系统的强大的空间分析功能进行风险区划,以提高风暴潮灾害风险评估和灾情损失评估的准确度,也可以根据灾害强度、频率与不同风险要素损失率的相关关系,进行风暴潮灾情损失的初步估算;另一种观点则认为风暴潮风险是一个区域未来时间尺度内发生风暴潮灾害所面临损失的概率,是由风暴潮的危险性评价和承灾体易损性评估共同构成的^[48],不仅是从风暴潮发生频率和强度的自然属性角度利用准确的数值预报和设计不同概率水平下极端事件的场景模拟对风暴潮灾害的危险性进行评估,而且还要从社会、经济、工程等不同角度综合考虑沿海城市对风暴潮灾害的承载能力(易损性),建立灾害综合风险评估指标体系和动态风险评估模型,最终得到风暴潮灾害风险区划图。

4.1 风暴潮灾情损失评估

风暴潮灾情损失评估研究一直是风暴潮研究的重点,国内外许多研究者研究和开发了风暴潮灾情损失评估的定量化方法。风暴潮灾情损失评估可以分为 3 类:一是灾害的预评估,也就是在灾害发生之前的预测性评估;二是灾害发生过程中的监测性评估,即灾害发生时迅速估算其可能的损失;三是灾后对损失进行现场实际调查测算,三者评估的准确性不同,但具有不同的意义和用途。

Williams^[49]对美国风暴潮灾害风险区划及评估方法作了较详细阐述,并对风暴潮灾害造成的损失进行了估算。郭洪寿^[50]提出了我国风暴潮灾害的灾度评估问题。甘雨鸣^[51]认为应按不同规模增水值出现的频率作为划分风暴潮等级的标准。叶雯等^[52-53]运用感知器算法对广东省湛江地区的台风风暴潮的灾情等级进行判别评估。孙峥等运用模糊聚类分析方法对风暴潮灾情等级进行了评估,并对广东省湛江地区的风暴潮灾害进行了实例验证^[55]。许启望等^[54]根据风暴潮灾害直接经济损失和灾度两个指标通过建立不同的数学模型间接地对风暴潮灾情评估进行了初步探讨。史建辉等^[55]提出了风暴潮灾害等级的划分标准,建议风暴潮等级可以按照不同目的和依据,根据灾度和轻度的规定来划分。梁海燕等^[18]基于现有的风暴潮风险评估研究方法,针对小面积区域建立了适用于海口湾沿岸风暴潮风险区的损失评估模型,为区域的防潮部署和规划提供了科学的依据。

4.2 风暴潮灾害风险评价

风暴潮风险评价是由风暴潮危险性评估研究与风暴潮承灾体易损性研究以及两者相互作用的结果共同构成的。风暴潮灾害风险评估能迅速确定易受风暴潮灾害袭击的区域以及该区域遭受风暴潮危害的可能性大小,并能用于制定防潮减灾总体规划,还可以将风暴潮风险评估结果换算为可能的灾情损失估值,为防潮减灾提供参考^[56],因此风暴潮灾害风险评估研究越来越得到重视。

Benavente^[57]对西班牙西南加第斯湾沿海地区风暴潮洪水风险进行研究,绘制了风险区划图。Zerger 等^[58]对澳大利亚风暴潮灾害风险进行了评估,就不确定因素对风暴潮灾害风险管理的影响进行比较研究,并对基于 GIS 的风暴潮灾害风险决策模型的有效性进行检验^[59]。国内任鲁川^[60]提出了风暴潮灾害风险分析的基本程序框架,介绍了区域自然灾害风险分析的可能性风险模型。高庆华等^[61]对自然灾害风险的结构层次、分析方法以及基本步骤进行了探讨。乐肯堂^[62]提出了风暴潮灾害损失的界定问题,探讨了风暴潮风险的定义及内涵,并对风暴潮风险评估方法进行了总结。随着风险研究的不断深入^[63],现在国际上对于灾害风险的研究越来越侧重于多学科的综合,除了强调自然灾害系统内在机制、风险评估模型、GIS 在自然灾害风险模型中的应用研究外,越来越关注从社会经济和人文行为等角度对人类自身接受风险水平开展综合研究^[64],重点逐渐转向重视人类经济社会相对应的安全建设研究,把风险分析与相对应风险管理体系形成相联系,高度重视人类社会经济和文化系统对各种灾害的易损性响应水平与风险适应能力研究。因此,在风暴潮灾害风险研究中,应从自然、社会、经济、文化和政策等多角度对沿海城市面临风暴潮灾害的影响进行综合风险评估。

风暴潮风险研究存在的一些问题:

(1) 国内在风暴潮灾害风险评估中,对于风暴潮准确预报、不同重现期的风暴潮潮高的估算和灾情损失

的评估研究较多,近年来对风暴潮灾害综合风险评估的研究越来越受到重视,但风暴潮综合风险评估方法和风险制图研究需要进一步完善。

(2) 国内风暴潮灾害风险图的绘制大多依据灾害的危害程度的大小,但值得注意的是并不是风暴潮灾害的危险程度越大灾害的风险就越大,承灾体的易损程度也是决定灾害风险水平高低的关键因素。

(3) 如何量化评估全球变暖和海平面上升对风暴潮产生的影响,这对风暴潮风险评估研究至关重要,也是现在风暴潮风险研究的难点以及未来的研究热点。

5 结论和讨论

本文从灾害风险理论出发,系统的评述了风暴潮数值模拟、重现期计算、易损性评估和风险评估等方面的研究进展,认为未来风暴潮风险评估的发展方向应该是趋向于系统性和综合性,更加注重研究全球变暖和海平面上升对未来风暴潮所产生的影响。现阶段风暴潮风险评估研究相对比较薄弱,一方面,虽然风暴潮数值模拟研究和重现期研究已经趋向成熟,但风暴潮的易损性研究还很欠缺,导致风暴潮风险评估整体性研究存在一定差距,因此风暴潮易损性研究将成为风暴潮风险评估的重要突破口;另一方面,现阶段风暴潮风险评估侧重于实时风暴潮预测和预报研究,对长期风暴潮风险评估则相对薄弱,很多研究者开展了风暴潮重现期研究,但并未更进一步对风暴潮危险性和风险进行预测,这应该成为今后风暴潮危险性研究的重点。

风暴潮风险研究应该由单要素评估走向综合评估。在风暴潮数值模拟、重现期计算和灾情评估等方面的单风险因素研究已经取得了大量的成果,但对风暴潮综合风险评估研究才刚刚起步,其中的关键是如何将对风暴潮的单风险因素研究融合进综合风险评估中,实现风暴潮风险评估由单一走向综合。加强风暴潮风险评估研究的综合性和系统性,不但要兼顾风暴潮的短期危险和长期危险研究,开展综合危险性研究,还要更多的注重风暴潮承灾体的易损性指标体系的建立和易损性评价研究,建立完整的风暴潮风险评估体系,为风暴潮灾害的防灾减灾工作提供科学依据。

风暴潮风险研究应当充分考虑到全球变化和海平面上升所带来的影响,许多研究一致认为全球变暖和海平面上升给风暴潮风险评估的研究带来了很大的不确定性。一方面全球变暖将引发全球气候系统的变化,导致台风路径、强度和频次也随之产生变化,而由台风造成的风暴潮灾害也将在时空、强度和频次等方面发生变化;另一方面海平面上升则将直接影响风暴潮过程的潮位值,因此风暴潮的重现期将产生很大变化。许多全球变化研究者探讨了全球变暖和海平面上升对风暴潮产生的影响和风暴潮未来的发展趋势,但如何将这种影响量化是现阶段风暴潮风险研究的难点,也是今后很长一段时间内风暴潮风险研究的热点。

针对我国目前的风暴潮灾害情况,我们认为加强风暴潮风险研究是十分必要和迫切的,这对我国沿海城市的防灾减灾工作意义重大。在加强风暴潮防灾工程建设的同时,强化非工程措施的实施。结合我国海岸带的地貌特征和气候特点,提升风暴潮预报预警系统能力^[65-66],并根据实时观测数据资料开展风暴潮动态实时预警预报;根据不同海域特点,制定和完善防灾减灾规划以及应急预案;开展风暴潮灾害防治基本知识的普及教育,在一些风暴潮灾害多发地区还应根据实际情况开展必要的抗灾救灾演习;建立风暴潮减灾保险机制。

参考文献:

- [1] 沙文钮,杨支中,冯芒,等. 风暴潮、浪数值预报[M]. 北京:海洋出版社,2004:1-8.
- [2] 冯士筴. 风暴潮导论[M]. 北京:科学出版社,1982:2-7.
- [3] 陆人驥. 中国历代灾害性海潮史料[M]. 北京:海洋出版社,1984:15-19.
- [4] 杨华庭,田素珍,叶琳,黄光庆. 中国海洋灾害四十年资料汇编[M]. 北京:海洋出版社,1994:1-7.
- [5] 张俊香,李平日,黄光庆. 新奥尔良飓风灾难与华南沿海台风暴潮[J]. 热带地理,2006,26(3):218-222.
- [6] 林而达,许吟隆,蒋金荷,等. 气候变化国家评估报告(II):气候变化的影响与适应[J]. 气候变化研究进展,2006,2(2):51-56.
- [7] 杨桂山. 中国沿海风暴潮灾害的历史变化及未来趋向[J]. 自然灾害学报,2000,9(3):23-30.
- [8] Williams, C A Jr. 风险分析与管理[M]. 北京:中国商业出版社,1990:4-8.
- [9] 罗祖德,徐长乐. 灾害论[M]. 杭州:浙江教育出版社,1990:201-203.
- [10] 张行南,张文婷,刘永志,等. 风暴潮洪水淹没计算模型研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(增刊2):20-23.
- [11] 张文婷,张行南,刘永志,等. 风暴潮洪水风险图制作研究[J]. 灾害学,2007,22(2):114-118.
- [12] 唐川,朱大奎. 基于GIS技术的泥石流风险评价研究[J]. 地理科学,2002,22(3):300-304.

- [13] Smith K. Environment hazards: assessing risk and reducing disaster[M]. London: Routledge, 1996: 1 – 32.
- [14] IUGS, Working Group on Landslide, Committee on Risk Assessment. Quantitative risk assessment for slope and landslides—the state of the art [C]//Cruden D M, Fell R Landslide Risk assessment. Rotterdam: A. A. Balkema Publishers. 1997: 3 – 12.
- [15] United Nations, Department of Humanitarian Affairs. Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options—A annual for policy makers and planners[M]. New York: United Nations, 1991: 1 – 164.
- [16] 马进荣 张金善 宋志尧. 渤、黄、东海海域 9711 号风暴潮数值模拟[J]. 海洋通报, 2008, 27(6): 15 – 19.
- [17] 吴少华 王喜年 戴明瑞. 渤海风暴潮概况及温带风暴潮数值模拟[J]. 海洋学报, 2002, 24(3): 28 – 34.
- [18] 梁海燕 邹欣庆. 海口湾沿岸风暴潮风险评估[J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 22 – 29.
- [19] Heaps N S. Storm surge: 1967 – 1982[J]. Geophy. J. R. Stron. Soc, 1983, 74(2): 331 – 367.
- [20] Hubbert G D, Mc Innes K L. A storm surge inundation model for coastal planning and impact studies[J]. Coastal Research, 1999a, 15(1): 168 – 185.
- [21] Hubbert G D, Mc Innes K L. Modeling storm surges and coastal ocean flooding[J]. Noye B J. Modeling Coastal Sea Processes, World Scientific Publishing Co., 1999b, 15(2): 159 – 187.
- [22] Mc Innes K L, Walsh K J E, Hubbert G D, et al. Impact of sea-level rise and storm surges on a coastal community[J]. Natural Hazards, 2003, 30(2): 187 – 207.
- [23] Watson C, Johnson E. Design, Implementation and operation of a modular integrated tropical cyclone hazard model: caribbean disaster mitigation project[C]//Proceedings of the 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Dallas: TX by the AMS, Boston MA, 1999: 1 – 6.
- [24] Jelesnianski C P. A numerical calculation of storm tides induced by a tropical storm impinging on a continental shelf[J]. Mon Wea Rev, 1965, 93(6): 343 – 358.
- [25] Jelesnianski C P. SPLASH, Part 1, Landfall storms[M]. United States: NOAA National Weather Service, 1972: 52 – 53.
- [26] Jelesnianski C P. SPLASH, Part 2, General track and variant storm conditions[M]. United States: NOAA National Weather Service, 1974: 54 – 55.
- [27] Jelesnianski C P, Chen J, Wilson A. SLOSH: sea, Lake and overland surges from hurricanes (NOAA Technical Report NWS) [R]. United States: NOAA National Weather Service, 1992.
- [28] 王喜年. 风暴潮监测、预报系统与预报准确度[J]. 海洋预报, 2001, 18(3): 60 – 64.
- [29] 王喜年. 风暴潮预报技术(1) [J]. 海洋预报, 2001, 18(4): 63 – 69.
- [30] 王喜年. 风暴潮预报技术(2) [J]. 海洋预报, 2002, 19(2): 64 – 70.
- [31] 王喜年. 风暴潮预报技术(3) [J]. 海洋预报, 2002, 19(3): 65 – 72.
- [32] McInnes K L, Walsh K J E, Hubbert G D, et al. Impact of sea-level rise and storm surges on a coastal community[J]. Natural Hazards, 2003, (30): 187 – 207.
- [33] 董胜 于亚群, 徐斌. 日照地区风暴潮增水重现值计算[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(4): 655 – 660.
- [34] 王喜年 陈祥福. 我国部分测站台风潮重现期的计算[J]. 海洋预报, 1984, 1(1): 18 – 25.
- [35] 王超. 随机组合概率分析及设计水位的推算[J]. 海洋学报, 1986, 8(3): 12 – 15.
- [36] 郭娜 李世光 林建全, 等. 汕尾风暴潮频率与海堤改造初探[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(1): 1 – 5.
- [37] IPCC. Climate Change 1992: the supplementary report to the IPCC Impacts Assessment[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [38] IPCC Working Group II. Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 267 – 324.
- [39] Gornitz V. Global coastal hazards from future sea level rise [J]. Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section), 1991, 3(4): 379 – 398.
- [40] Frihy O E. The Nile Delta – Alexandria coast: vulnerability to sea – level rise, consequences and adaptation [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2003, 8: 115 – 138.
- [41] Lisa R. Kleinosky, Brent Yarnal, Ann Fisher, et al. Vulnerability of hampton roads, virginia to storm-surge flooding and sea – level rise [J]. Natural Hazards, 2006.
- [42] Ken Granger. Quantifying storm tide risk in Cairns [J]. Natural Hazards, 2003, 30(2): 165 – 185.
- [43] Rao A D, Chittibabu P, Murty T S, et al. Vulnerability from storm surges and cyclone wind fields on the coast of Andhra Pradesh, India [J]. Natural Hazards, 2006, 41(3): 515 – 529.
- [44] 杨桂山 施雅风 张琛, 等. 未来海岸环境变化的易损范围及评估——江苏滨海平原个案研究[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 385 – 394.
- [45] 黄镇国. 广东海平面变化及其影响与对策[M]. 广州: 广东科技出版社, 2000: 62 – 77.
- [46] Liu S K. Using coastal models to estimate effects of sea level rise [J]. Ocean & Coastal Management, 1997, 37(1): 85 – 94.
- [47] Tran L T, Knight C G, O'Neill R V, et al. Fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the mid-atlantic region [J]. Environmental Management, 2002, 29(6): 845 – 859.
- [48] UN/ISDR. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives [R]. United Nations, 2004.
- [49] William J P. 自然灾害风险评价与减灾政策[M]. 北京: 地震出版社, 1993: 28 – 166.
- [50] 郭洪寿. 我国潮灾灾度评估初探[J]. 南京大学学报, 1991(5): 18 – 22.
- [51] 甘雨鸣. 台风暴潮危害度的识别与判断: 论沿海地区减灾与发展[M]. 北京: 地震出版社, 1991: 322 – 327.

- [52] 叶雯,刘美南,陈晓宏,等. 基于模式识别的台风风暴潮灾情等级评估模型研究[J]. 海洋通报,2004,23(4): 65-70.
- [53] 叶雯,刘美南,陈晓宏,等. 感知器算法在台风风暴潮灾情等级评估中的应用[J]. 中山大学学报:自然科学版,2004,43(2): 117-120.
- [54] 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.
- [55] 史建辉,王名文,王永信,等. 风暴潮和风暴灾害分级问题的探讨[J]. 海洋预报,2000,17(2): 12-15.
- [56] 王喜年. 风暴潮预报知识讲座——风暴潮风险分析与计算[J]. 海洋预报,2002,19(4): 73-76.
- [57] J Benavente, Rio L D, Gracia F J et al. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain) [J]. Continental Shelf Research, 2006, 26(9): 1061-1076.
- [58] Zerger A. Examining GIS decision utility for natural hazard risk modeling[J]. Environmental Modeling & Software, 2002, 17(3): 287-294.
- [59] Zerger A, Smith D I, Hunter G J, et al. Riding the storm: a comparison of uncertainty modeling techniques for storm surge risk management[J]. Applied Geography, 2002, 22(3): 307-330.
- [60] 任鲁川. 区域自然灾害风险分析研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(3): 242-246.
- [61] 高庆华,张业成,苏桂武. 自然灾害风险初议[J]. 地球学报, 1999, 20(1): 82-86.
- [62] 乐肯堂. 我国风暴潮灾害风险评估方法的基本问题[J]. 海洋预报, 1998, 15(3): 38-44.
- [63] 马宗晋. 中国重大自然灾害及减灾对策(分论) [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 351-461.
- [64] 黄崇福,史培军,张远明,等. 城市自然灾害风险评价的一级模型[J]. 自然灾害学报, 1994, 3(1): 3-8.
- [65] 王喜年. 中国海台风风暴潮模式的研究与应用[J]. 海洋学报, 2000, 22(增刊): 331-343.
- [66] 王喜年. 关于温带风暴潮[J]. 海洋预报, 2005, 22(增刊): 15-23.