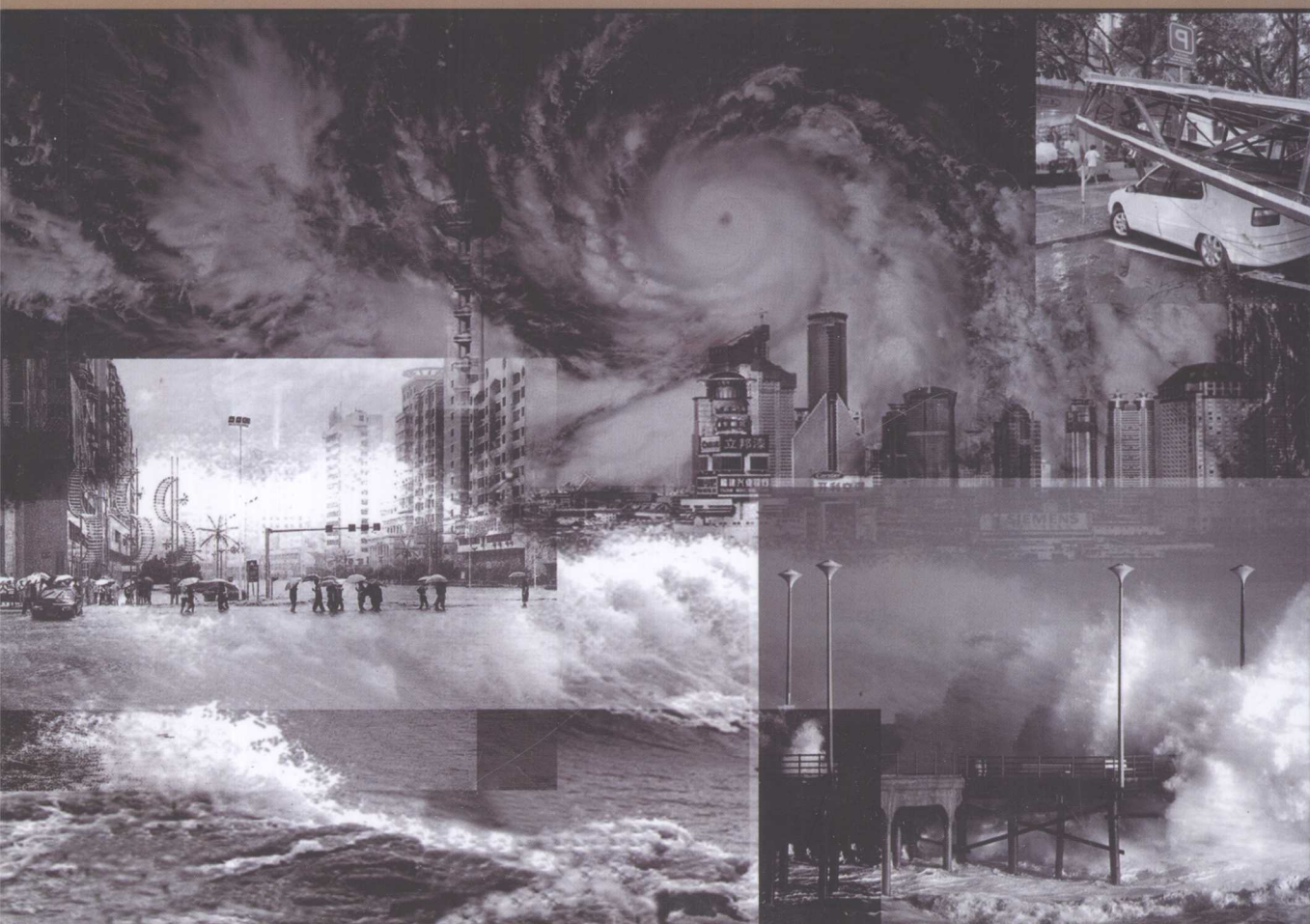


王军 叶明武 李响 许世远 著

城市自然灾害 风险评估与应急响应方法研究



Study on the Methods of
Risk Assessment and Emergency Response
of Urban Natural Hazards



科学出版社

城市自然灾害风险评估 与应急响应方法研究

王 军 叶明武 李 响 许世远 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

自然灾害风险是当代国际社会、学术界普遍关注的热点问题之一。城市作为社会、经济发展的重要区域和集聚中心,灾害所带来的潜在影响巨大。在国家自然科学基金重点项目“沿海城市自然灾害风险应急预案情景分析”等的资助下,本书以地球系统科学思想和自然灾害风险理论为指导,对自然灾害风险评估的主要环节——孕灾环境演变分析、灾害危险性情景分析、灾害脆弱性评估、灾害损失评估和灾害风险区划等的研究方法进行系统阐述,并对城市灾害应急响应方法、城市防灾应急避难系统构建方法等进行了探讨。

本书理论与应用相结合,着重灾害风险评估与应急响应方法研究,可供从事城市自然灾害风险评估与应急管理研究的高校师生、科研院所研究人员、政府相关部门管理者以及地理、生态、环境、海洋和水利等相关专业的科研教学人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

城市自然灾害风险评估与应急响应方法研究/王军等著. —北京:科学出版社,2013.12
ISBN 978-7-03-039271-8

I. ①城… II. ①王… III. ①城市-自然灾害-风险评估-研究 ②城市-自然灾害-突发事件-处理-研究
IV. ①X43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 292938 号

责任编辑:许 健 谭宏宇
责任印制:刘 学/封面设计:殷 靓

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

上海叶大印务发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 12 月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:324 000

定价:90.00 元

前 言

自然灾害风险研究旨在探究致灾根源,发现御灾薄弱环节,推动降险战略实施,避免或减轻社会和经济损失,已成为当代国际社会、学术界普遍关注的热点方向之一。随着全社会灾害管理理念逐步由“减轻灾害”转变为“降低灾害风险”,灾害风险研究已成为科学制订减灾对策的必要步骤和重要环节。国际减灾战略的实践证明,在灾害预防、防备和减灾工作中,预防工作最为重要,而灾害风险评估作为灾害风险管理和控制的核心内容,是人类社会预防灾害,降低灾害风险的重要基础性工作。重视自然灾害风险评估,加强灾害风险预警,尤其是早期预警能力建设,已在国际社会和世界各国形成共识。系统开展城市自然灾害风险评估与应急响应方法研究,是提高城市自然灾害风险防范科学性、精度与工作效率的关键环节之一,意义重大。

十余年来,我们在国家自然科学基金重点项目“沿海城市自然灾害风险应急预案情景分析(编号:40730526)”,国家重大科技专项“城市黑臭河道外源阻断、工程修复与原位多级生态净化关键技术研究与示范(编号:2009ZX07317-006)”,国家高技术研究发展计划项目“城市复杂时空数据集成分析与空间决策模拟(编号:2013AA122302)”,国家自然科学基金面上项目“暴雨灾害在城市基础设施网络中的扩散与防范策略研究(编号:71373084)”、“沿海三角洲地区洪灾的气候变化响应与风险评估——以黄浦江流域为例(编号:41201550)”、“城市多灾种自然灾害综合风险评估——以上海为例(编号:41071324)”、“城市暴雨洪涝灾害的气候变化响应与风险评估研究(编号:41371493)”、“中国沿海城市自然灾害风险评估体系研究(编号:40571006),教育部人文社科项目“全球变化背景下沿海地区极端灾害风险管理——上海案例研究(编号:12YJCZH257)”,上海市科学技术委员会启明星人才计划项目“基于情景分析的上海市自然灾害风险评估与区划研究(编号:09QA1401800)”,上海市浦江人才计划项目“地理信息系统在城市大型突发事件应用管理中应用的关键技术研究(编号:07PJ14035)”,上海市教育委员会科研创新重点项目“上海地区台风-风暴潮-暴雨灾害链综合风险防范研究(编号:13ZZ035)”,华东师范大学创新基金重点项目“不同时空尺度灾害链综合风险评估研究——以上海为例”和面上项目“面向复杂建筑群的环境监控与应急疏散关键技术研究”等的联合资助下,在综合考虑我国沿海地区自然地理环境和社会经济特征的基础上,以上海(三角洲河网城市)、天津(沿海平原城市)和温州(山地丘陵城市)为实证区,系统开展了台风、风暴潮、暴雨内涝等自然灾害风险研究工作,出版了专著《城市自然灾害风险评估研究》、《城市暴雨内涝灾害风险评估:理论、方法与实践》。在此基础上,本书着重于对城市自然灾害风险评估、应急响应等方法进行探索性研究,试图为构建以“风险防范”为核心的灾害风险管理和区域安全预警体系、规范灾害风险与应急响应等的研究方法提供范例,以促进沿海城市可持续发展战略的实施。

在上述国家和省部级项目等的联合资助下,本书以地球系统科学思想和自然灾害风

险理论为指导,对自然灾害风险评估主要环节的研究方法进行系统阐述,并对城市灾害应急响应方法进行研究。本书共分八章:第一章为绪论,主要阐述城市自然灾害风险研究背景、灾害风险评估与应急响应的意义以及自然灾害风险评估基本方法;第二章为城市自然灾害孕灾环境演变信息获取方法,主要对陆域和海域孕灾环境演变研究的方法进行总结;第三章为城市自然灾害危险性情景分析方法,主要包括基于极值频率的灾害危险性情景生成方法,台风、风暴潮、暴雨危险性情景模拟方法等;第四章为城市自然灾害脆弱性评估方法,主要包括基于指标体系、历史灾情、灾损曲线以及以用地类型为承灾体的灾害脆弱性评估方法;第五章为城市自然灾害损失评估方法,主要包括自然灾害损失类型、基于分类统计的灾害经济损失评估方法和基于土地利用类型的灾害潜在损失评估方法;第六章为城市自然灾害风险区划方法,主要包括自然灾害风险表征方法、自然灾害风险空间展布方法、自然灾害风险分级方法以及自然灾害风险区划图编制;第七章为城市灾害应急响应方法,主要包括避难所服务范围划分方法、避难所选址方法、有组织分阶段疏散方法;第八章对城市防灾应急避难体系构建方法进行研究。

本书是华东师范大学自然灾害风险研究团队集体劳动的成果。全书由王军和许世远负责策划、构思、整理、统稿和审定完成,叶明武参与了本书部分组织撰写工作。全书第一至第六章由王军执笔,第七章由李响执笔,第八章由叶明武执笔。石勇、刘耀龙、殷杰、胡蓓蓓、黄静、谢翠娜、董军刚、王虎、徐先瑞、胡于杰、孙阿丽、张庆伟、陈晶晶、孙靖、将益娟、赵旻玥等提供了本书相关章节的原始素材。在著作酝酿、撰写过程中,得到了俞立中教授、陈振楼教授、刘敏教授、石纯教授、虞志英教授、周乃晟教授、袁雯教授、温家洪教授、尹占娥教授、张卫国教授、黄余明教授、唐曦副教授、王初副教授、孙小静高级工程师、张昆副教授,以及课题组全体研究生的大力支持与帮助,在此深表谢意。胡子梅、宋城城、吴绽蕾、郑璐、李梦雅参与了本书部分图件制作等工作。另外,特别感谢联合国开发计划署(UNDP)灾害风险评估专家颜建平教授,正是他过去近10年的无私指导,才使华东师范大学灾害风险研究团队不断成长。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2013年11月10日

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 研究背景	1
第二节 研究意义	5
第三节 自然灾害风险评估基本方法	6
参考文献	10
第二章 城市自然灾害孕灾环境演变信息获取方法	13
第一节 土地利用变化	13
一、基于土地规划的土地利用变化信息提取	13
二、基于 GeoCA - Urban 的土地利用变化信息提取	16
第二节 地面沉降演化	18
一、基于年均沉降速率的地形演变信息提取	19
二、基于地下水-地面沉降数值模型的地形演变信息提取	21
第三节 近岸水下地形演变	23
一、基于聚类指数增长模型的水下地形信息提取	24
二、基于改进幂函数模型的水下地形信息提取	28
参考文献	33
第三章 城市自然灾害危险性情景分析方法	34
第一节 自然灾害危险性情景构建方法	34
一、常用极值分布模型	34
二、中国东部大风危险性情景分析	35
第二节 台风危险性模拟方法与工具	43
一、台风灾害危险性情景设置	43
二、台风危险性情景模拟工具设计及功能	45
三、台风危险性情景生成与分析	47
第三节 风暴潮危险性模拟方法与工具	48
一、MIKE 21 风暴潮模拟工具	48
二、长江口 MIKE 21 FM 模型搭建	49
三、上海台风风暴潮综合危险性情景构建	53
第四节 基于 GIS 的城市暴雨内涝危险性模拟方法与工具	58
一、基于 GIS 的暴雨内涝模拟工具开发	59
二、天津滨海新区暴雨内涝危险性模拟	62
参考文献	79
第四章 城市自然灾害脆弱性评估方法	81
第一节 基于指标体系的脆弱性评估方法	81

一、基于指标体系的脆弱性评估步骤	81
二、上海浦东新区灾害脆弱性评估	82
第二节 基于历史灾情的脆弱性评估方法	85
一、基于历史灾情脆弱性评估步骤	86
二、我国沿海地区灾害脆弱性分析	87
第三节 基于灾损曲线的灾害脆弱性评估方法	91
一、基于灾损曲线的灾害脆弱性评估方法原理	92
二、灾损曲线构建方法	93
三、温州暴雨洪灾脆弱性研究	97
第四节 以用地类型为承灾体的灾害脆弱性定性评估方法	102
一、基于土地利用类型的脆弱性评估方法	102
二、我国东部台风风暴潮灾害脆弱性评估	105
参考文献	108
第五章 城市自然灾害损失评估方法	110
第一节 自然灾害损失类型	110
一、灾害损失评估类型	110
二、灾害损失类型	111
第二节 基于分类统计的自然灾害经济损失评估方法	112
一、直接经济损失评估方法	112
二、间接经济损失评估方法	114
三、天津滨海新区地面沉降经济损失评估	114
第三节 基于土地利用类型的灾害潜在损失评估方法	120
一、基于土地利用类型的灾害潜在损失评估程序	120
二、上海滨海地区风暴潮灾害潜在经济损失评估	121
参考文献	128
第六章 城市自然灾害风险区划方法	129
第一节 自然灾害风险表征方法	129
第二节 自然灾害风险空间展布方法	131
一、灾害危险性空间展布	131
二、灾害脆弱性空间展布	132
三、灾害损失空间展布	133
四、情景风险的空间展布方法	136
第三节 自然灾害风险分级方法	138
第四节 自然灾害风险区划图编制	140
第五节 温州市平阳县灾害风险区划	141
一、台风暴雨-洪涝危险性分析	142
二、洪灾脆弱性分析	142
三、洪涝灾害损失分析	144
四、洪涝灾害风险分级	146
五、洪涝灾害风险区划	147

参考文献	149
第七章 城市灾害应急响应方法	151
第一节 避难所服务范围划分	151
一、服务范围划分方法原理	151
二、应用案例	156
第二节 避难所选址方法	167
一、选址原理	167
二、应用案例	172
第三节 有组织分阶段疏散方法	173
一、疏散方法原理	174
二、应用案例	177
参考文献	182
第八章 城市防灾应急避难体系构建方法	186
第一节 城市防洪应急避难体系	186
一、城市防洪应急避难系统构建	187
二、上海金山区防洪应急避难系统研究	191
第二节 城市防震应急避难系统	202
一、城市防灾公园体系	203
二、上海中心城区防灾公园体系	207
三、城市防灾公园体系构建	220
参考文献	224

第一章 绪 论

第一节 研究背景

自然灾害风险是当代国际社会、学术界普遍关注的热点问题之一(许世远等, 2006)。1981年,国际风险协会(SRA)成立,系统开展灾害风险分析、风险管理与政策研究(Goldstein, 2003)。1987年,第42届联合国大会确定在全世界范围内开展“国际减轻灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction)活动,其宗旨是把人类的消极救灾活动转变为积极的防灾、抗灾和救灾活动(United Nation, 1989)。1994年,联合国第一届国际减灾大会通过《横滨声明》和《减灾行动计划》,提出建立更安全世界的预防、防备和减轻自然灾害的指导方针。1999年,国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)设立全球环境变化与人类安全综合研究计划(GECHS)办公室,开始重视城市脆弱性等的研究(孙成权等, 2003)。2005年1月,联合国第二届全球减灾会议提出《兵庫宣言》,强调将自然灾害风险识别、评价、灾害风险监测与预警列为未来10年减灾的五个优先领域(United Nation, 2005a)。2005年11月,第60届联合国大会通过的国际减少灾害战略决议(International Strategy for Disaster Reduction),进一步推动灾害风险研究和管理理念的转变,即更加强调和高度重视降低综合灾害风险(United Nation, 2005b)。2006年,CNC-IHDP-RG(全球环境变化人文因素计划中国国家委员会风险工作组)提出IHDP-IRG(Integrated Risk Governance)核心科学计划,主要开展巨灾风险形成的机制、过程与动力学,巨灾风险“进入与转出”的转型机制,巨灾风险评价模型与模拟,巨灾应对的案例比较和巨灾应对的国家政策和范式的研究(Jaeger et al., 2008; 史培军等, 2009)。2008年,国际科学理事会(ICSU)提出关于灾害风险综合研究的科学计划(Integrated Research on Disaster Risk, IRDR),关注自然和人为的环境灾害风险(ICSU, 2008)。另外,近年来,瑞士达沃斯论坛举行了一系列国际灾害与风险大会(International Disaster and Risk Conference),并使其成为国际灾害风险评估与管理领域最重要的国际会议之一(GRF, 2012)。上述项目、会议不断推进和宣传灾害风险的理念,使全社会不断清晰认识到:人类社会与灾害风险共存,做到忧患在心、准备在前、居安思危、防患未然,是灾害风险研究的基本出发点。

沿海地区是人口、经济和社会发展的重要区域和集聚中心。全球约有12亿人口生活在近岸100 km的沿海地区(Small et al., 2003)。到2030年,将有近50%的人口生活在沿海地区(Adger et al., 2005)。沿海地区是陆地与海洋的过渡地带,海陆交互作用强烈,同时受到大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和智慧圈的相互作用、相互渗透、相互影响。该区域自然灾害频发,给社会经济造成严重损失。2004年12月的印度洋海啸,导致

29.2 万人死亡,200 万人失去家园,直接经济损失超过 1 000 亿美元;2005 年 8 月,发生在美国新奥尔良的“卡特里娜”飓风带来的特大风暴潮导致 1 836 人死亡,直接经济损失达 840 亿美元;2011 年 3 月日本宫城县东北外海地震引发海啸,并导致核泄漏,造成约 1.5 万人死亡,经济损失达 1 220 亿~2 350 亿美元,并令全球经济(除日本外)损失逾 1 000 亿美元;美国东部时间 2012 年 10 月 29 日,超级风暴“桑迪”在新泽西州登陆,造成美国 17 个州受影响,截至 11 月 4 日上午,飓风“桑迪”导致美国 113 人死亡,财产损失约 200 亿美元,联合国总部亦受损,这是美国历史上最“昂贵”的自然灾害之一。另外,全球变暖诱发的海平面上升也会对沿海地区造成潜在威胁。据估计,如果西南极冰盖在 2030 年左右发生崩塌,则在此后数个世纪内,海平面将快速上升 5~6 m (Tol et al., 2004; Kaspersen et al., 2005; Dawson et al., 2005)。在最初二十年(2030~2050 年),海平面将可能突然发生 1 m 上升,而后将以 1~5 m/ha 的速度持续上升。即便不考虑未来沿海地区居住人口和台风频率的变化,在全球变暖背景下,当海平面上升 0.5 m,将有约 9 000 万人口受到影响;当海平面上升 1 m,受影响人口将达到 1.2 亿。随着全球进一步变暖,在西北太平洋将会出现更多强台风(Webster et al., 2005; Hoyos et al., 2006)。增强的台风叠加快速上升的海平面,将导致风暴潮、洪水等灾害在强度与频率上进一步变大,持续时间上进一步加长。

我国是世界上受自然灾害影响最严重的国家之一。我国 70% 以上的大城市、50% 以上的人口和 75% 以上的工农业产值分布在气象灾害、海洋灾害、洪水灾害和地震灾害都十分严重的沿海及东部平原、丘陵地区(王绍玉等, 2005)。根据中华人民共和国民政部《社会服务发展统计公报(1990—2012 年)》、《中国统计年鉴(1992—2013 年)》、《中国海洋灾害公报(1991—2012 年)》中相关灾害统计信息,在不考虑货币价值变化的前提下,我国自然灾害影响的变化规律为:① 自然灾害直接经济损失总体呈现不断上升的趋势。1990~1999 年,年均损失 1 847 亿元,2000~2009 年,年均损失 3 039 亿元,而 2010~2012 年,年均损失则达 4 207 亿元。② 农作物受灾面积和绝收面积变化较小。农作物受灾面积多年平均为 4 603 万 hm^2 ,绝收面积多年平均为 517 万 hm^2 。③ 除了受 2008 年汶川大地震和 2010 年舟曲泥石流灾害影响造成严重房屋倒塌和人员死亡外,其余年份倒塌房屋和死亡人数呈现不断下降的趋势。④ 我国自然灾害损失占 GDP 比重总体呈现出不断下降的趋势。1990~1999 年,约占 3.4%,2000~2009 年,约占 1.5%,而 2010~2012 年,则降至 0.9%。⑤ 我国民政部门的救灾支出不断攀升。1990~1999 年,年均均为 28.9 亿元,2000~2009 年,年均均为 64.3 亿元,而 2010~2012 年,年均均为 104 亿元(表 1-1)。在这些结论中,“自然灾害损失占 GDP 比重”具有更重要的意义,该指标消除了货币升值(贬值)带来的不可比问题,能够较为客观地反映自然灾害对我国经济的影响。由此看出,自然灾害对我国经济的影响总体呈现不断下降的趋势,反映出我国长期防灾减灾努力取得了较明显的成效。但需要特别关注的是,近年来一系列极端自然灾害对我国的影响十分严重,社会经济损失巨大,尤以 2008 年 1 月冰冻雨雪灾害、2008 年汶川大地震以及 2010 年 8 月舟曲泥石流灾害最为显著,体现了自然灾害对我国影响的新特点。

表 1-1 近 20 余年我国自然灾害社会经济损失情况统计

年度	灾害直接 经济损失 (亿元)	海洋灾害 (亿元)	农作物受 灾面积 (万 hm ²)	绝收面积 (万 hm ²)	倒塌房屋 (万间)	死亡人数	救灾支出 (亿元)	灾害损失占 GDP 比重 (%)
1991	1 215	/	5 530	560	/	/	22.51	5.58
1992	854	92.6	5 133	433	/	/	15.89	3.17
1993	993	84.1	4 867	/	271	6 125	15.40	2.81
1994	1 876	193.0	5 504	/	512	8 549	19.42	3.89
1995	1 863	87.0	4 533	560	439	5 561	27.27	3.06
1996	2 882	290.3	4 698	535	809	7 273	39.06	4.05
1997	1 975	308.0	5 343	642	287	3 212	34.51	2.50
1998	3 007	20.0	5 015	761	821	5 511	52.32	3.56
1999	1 962	50.0	4 998	680	175	2 966	34.05	2.19
2000	2 031	120.8	5 469	1 015	147	3 014	28.73	2.06
2001	1 942	100.1	5 215	822	92	2 538	35.17	1.77
2002	1 717	65.9	4 712	656	176	2 840	32.93	1.43
2003	1 884	80.5	5 439	855	343	2 259	55.71	1.39
2004	1 602	54.2	3 711	436	155	2 250	49.40	1.00
2005	2 042	332.4	3 882	460	226	2 475	62.97	1.10
2006	2 528	218.5	4 109	541	193	3 186	59.30	1.17
2007	2 363	88.0	4 899	575	147	2 325	79.80	0.89
2008	11 752	206.0	3 999	403	1 098	88 928	/	3.74
2009	2 524	100.0	4 721	492	84	1 528	174.50	0.74
2010	5 340	133.0	3 743	486	273	7 844	113.44	1.33
2011	3 096	62.1	3 247	289	94	1 126	86.40	0.65
2012	4 186	155.3	2 496	183	91	1 530	112.70	0.81

注：“/”表示暂未收集到数据。

沿海地区占我国陆地面积的 13.4%，承载着 44.5% 的人口，创造着 54.9% 的 GDP (王伟, 2012)。该区地处太平洋风暴盆地的西北缘，台风、风暴潮、暴雨和洪水等自然灾害频繁发生，造成的损失严重。尤其是近年来，自然灾害给我国东部沿海地区带来了重大影响：2004 年 8 月，台风“云娜”肆虐浙江 15 小时，导致浙江全省 164 人死亡，24 人失踪，直接经济损失高达 181.28 亿元。2006 年 7 月，登陆的“碧利斯”共造成 2 540.5 万人受灾，190 人死亡，155 人失踪，直接经济损失高达 250.9 亿元。2009 年 8 月 7 日，“莫拉克”台风在台湾花莲登陆，并于 8 月 9 日在福建霞浦沿海再次登陆，8 月 10 日又穿过温州，据国家防总办公室统计，“莫拉克”台风共造成浙江、福建、江西、安徽、江苏和上海等省市，共 133 个县(市、区)934.4 万人受灾，因灾死亡 7 人、失踪 3 人，倒塌房屋 6 743 间，直接经济损失 92.7 亿元。另据台湾统计，截至 8 月 25 日 18 时，“莫拉克”台风造成全台 461 人死亡、192 人失踪、46 人受伤，农业损失累计 164.7 亿新台币(吴元峰, 2011)。2012 年，第 9 号台风“苏拉”和第 10 号台风“达维”所引发的风

雹、洪涝、泥石流等灾害造成江苏、浙江、福建、江西、山东5省8人死亡,1 166.5万人受灾(其中江苏省80.1万人受灾,浙江省87.5万人受灾,福建省78.9万人受灾,江西省21.6万人受灾,山东省510.6万人受灾,河北省241.9万人受灾,辽宁省145.9万人受灾)(民政部,2012)。

我国东部沿海地区地处生态环境敏感区,加之人类活动密集、各种社会经济要素集聚,因此成为全球变化响应最为强烈的区域之一。突出表现为全球气候变暖、海平面上升和快速城市化导致的气候异常和灾害事件频发,以及过度开采地下水与大规模人工建筑和工程带来的地面沉降等综合影响。随着城市化进程加速,人口、经济快速增长,相伴而生的灾害隐患不断增多,原有的致灾因素和致灾源不断外延和激化,新的灾种和致灾源不断产生,人为因素的致灾、成灾频率呈非线性提高,灾害的“放大效应”更为显著;而海平面上升、海陆、水气交互作用以及海洋与河流交互作用可能产生的复合型、多变性、突发性灾害,进一步加剧了沿海地区的灾害强度与频度,变异型和群发性灾害类型繁多,脆弱性和风险日趋增强,直接威胁沿海地区人民生命财产安全。在我国东部沿海地区,随着区域防灾标准的不断提高,常规程度的自然灾害已经难以产生严重影响,而极端灾害和多种灾害叠加影响成为当前灾害风险研究的重要方向。系统开展沿海地区自然灾害风险研究可为中央及地方各级政府提高综合减灾能力、应对灾害风险提供科学依据。

目前,日益严重的自然灾害问题已引起我国政府和学术界的高度关注,在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》“公共安全”重点领域6个优先主题之一的“重大自然灾害监测与防御”中,国家要求“重点研究开发地震、台风、暴雨、洪水、地质灾害等监测、预警和应急处置关键技术,森林火灾、溃坝、决堤险情等重大灾害的监测预警技术以及重大自然灾害综合风险分析评估技术”。2007年,国务院颁布的《国家综合减灾“十一五”规划》也指出,“十一五”期间要完成的八大任务之首是加强自然灾害风险隐患和信息管理能力建设。全面调查我国重点区域各类自然灾害风险和减灾能力,对我国重点区域各类自然灾害风险进行评估,编制全国灾害高风险区及重点区域灾害风险图,以此为基础,开展对重大项目的灾害综合风险评价试点工作。2011年12月发布的《国家综合防灾减灾规划(2011—2015年)》提出,“十二五”将完成的10项任务中“(七)加强防灾减灾科技支撑能力建设”明确关注“重特大自然灾害链综合风险”研究,而在7项重大研究项目中,有2项明确开展“多灾种和灾害链综合风险评价”(国务院办公厅,2011)。

十余年来,我们在国家自然科学基金项目、国家重大水专项、省部级科研项目等的共同资助下,在综合考虑我国沿海地区自然地理环境和社会经济特征基础上,以上海(三角洲河网地区)、天津(沿海平原地区)和温州(山地丘陵地区)为实证区,系统开展了台风、风暴潮、暴雨内涝等自然灾害风险研究工作,出版专著《城市自然灾害风险评估研究》(尹占娥等,2012)、《城市暴雨内涝灾害风险评估:理论、方法与实践》(刘敏等,2012)。在此基础上,对自然灾害风险评估、应急响应等方法进行探索性研究,试图为构建以“风险防范”为核心的灾害风险管理和区域安全预警体系、规范灾害风险与应急响应等研究方法提供范例,以促进沿海城市可持续发展战略的实施。

第二节 研究意义

国际减灾战略的实践证明,在自然灾害预防、防备和减灾三项工作中,灾害预防工作最为重要,而自然灾害风险评估作为灾害风险管理和控制的核心内容,是人类社会预防自然灾害,降低和减轻自然灾害风险的重要的基础性研究(尹占娥等,2010)。重视灾害风险评估和管理,加强灾害风险预警,尤其是早期预警能力建设,已在国际社会和世界各国达成共识(范一大,2008)。10余年来防灾减灾工作实践表明,系统开展沿海城市自然灾害风险评估与应急响应方法研究是提高灾害风险评估科学性、精度与工作效率的关键措施之一,意义重大。

(一) 自然灾害风险评估是落实区域降险减灾战略的重要环节

自然灾害严重威胁着人类生存和发展,制约着社会进步,降险减灾是人类长久奋斗的目标。从1994年联合国第一届国际减灾大会通过《横滨战略》,到2005年联合国第二届全球减灾会议通过《兵库宣言》(United Nation,2005a);从联合国发展计划署(UNDP)、联合国环境规划署(UNEP)合作开展“Disaster Risk Index”计划(UNDP,2004),到近年ProVention联盟、UNDP合作开展“Global Risk Identification Program”计划(GRIP,2006),均推动了自然灾害研究的不断深入,关注和探讨灾害风险已成为重要趋势。全社会灾害管理理念也逐步由“减轻灾害”转变为“降低灾害风险”,风险评估成为了科学制订减灾政策、措施的必要步骤和基础环节(葛全胜等,2008)。全面认识和正确评估自然灾害给人类社会造成的风险,既是防灾减灾工作的基础环节和有效途径,也是人类社会经济可持续发展的迫切需要(苏桂武等,2003),对不断提高全社会的风险意识具有重要意义。因此,依托科学的自然灾害风险评估方法得出的研究结果,可为防灾减灾三大对策体系——监测预报体系、防御体系和紧急救援体系在时间域与空间域上的优化配置、有序建设提供重要支撑。

(二) 自然灾害风险评估可为区域可持续发展战略的实施提供科学依据

自然灾害风险评估是采取恰当、成功的减灾政策与措施的重要步骤(ICTP,2007)。沿海地区是人类社会和经济发展的重点区域,是全球大部分财富的产生和聚集地(Turner et al.,1995),在全球经济发展和进步中发挥着举足轻重的作用,一直是开展自然灾害风险评估的热点区域。不断发生的自然灾害表明,准确预报和阻止自然灾害的发生并不现实,但若采用有效的灾害风险评估与管理战略,则可避免或减轻其带来的巨大损失。通过自然灾害风险评估,找出沿海地区自然灾害高风险区域、环节,采取有效的风险管控方法,可以全面提高沿海地区灾害风险防范的能力和水平,从而保证了沿海地区社会的健康、高效发展,具有重要的意义。

(三) 开展自然灾害风险评估方法研究可为规范灾害风险研究提供重要参考

自然灾害风险研究是一个复杂的系统工程,涉及风险系统中各个子系统的研究。为

高效开展风险研究工作,需要梳理和构建一整套完善的研究思路和方法。另外,灾害类型不同,研究方法也有所差异。近年来,国内外已开展了大量自然灾害风险评估的实证性研究,这些研究采用的方法因人而异,从而使目前自然灾害风险评估方法体系不完善,不利于自然灾害风险评估的全面推广和技术普及。另外,常规程度的自然灾害对我国社会经济的影响越来越小,而在极端自然灾害影响不断增强的背景下,情景分析的方法成为开展极端灾害风险评估的重要途径。近年来,我们基于情景分析的方法,对我国沿海地区台风、风暴潮和暴雨等灾害开展风险评估研究,初步梳理并形成了一套可行的自然灾害风险评估方法,对我国沿海城市灾害风险评估具有一定的借鉴意义。

(四) 开展自然灾害应急响应方法的研究是自然灾害风险防范体系构建的重要内容

当突发事件发生后,人员的疏散与避险是救灾工作最紧迫的任务之一,大量疏散人员要有相应的空间进行就近避灾、安置。应急避难场所作为应对灾害的重要空间,其设置得当与否,对人员安全避难、灾后有效救援以及城市恢复重建都有重要意义(蒲德群等,2007)。我国很多灾害造成了严重的人员伤亡,究其原因除了灾害本身强度大、影响广外,应急避难场所设置的不合理以及灾民应急响应的不及时等,导致灾民选择了不正确的避难场所或者错过了最佳的避灾时机。当前我国在自然灾害应急响应方面存在两方面问题:① 应急响应方法研究仍较落后。例如,应急避难场所筛选、新建避难场所选址、避难服务范围确定、逃跑路径优选等方面,科学的技术或方法支撑不够。② 城市应急响应管理的实践与应急响应方法的研究脱节。我国很多城市的用地十分紧张,在优选应急避难场所或新建场所时,更多地从土地资源的可利用性出发,对应急避难场所设定的合理性方面考虑不足,导致已有的应急响应方法推广与应用滞后。近年来,我们在城市应急避难场所优选、新建应急避难场所选址、应急避难路径选择等方法和实证方面开展了研究,初步形成了可用于城市灾害风险防范的方法,对我国沿海城市应急响应水平的提高具有一定参考价值。

第三节 自然灾害风险评估基本方法

自然灾害风险评估是一项复杂的系统工程,主要涉及孕灾环境演变、致灾因子危险性与承灾体脆弱性分析、灾害潜在损失评估以及灾害风险区划等众多研究领域。自然灾害风险评估方法随着自然灾害类型、空间尺度和研究内容等的不同而存在差异。但其基本方法主要包括下列4类。实施中的各种自然灾害风险评估方法大多都是这些基本方法的具体化。

(一) 基于“3S”技术方法

运用遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)方法开展自然灾害风险评估已成为国内外灾害风险评估的最基本方式。遥感(RS)可为灾害风险评估提供实时、

大范围的数据;地理信息系统(GIS)则利用其强大的数据库管理功能、空间分析功能和建模能力为灾害风险评估提供了便利;全球定位系统(GPS)则为灾害信息获取、野外调查以及灾害救援等方面提供了实时准确的位置信息。1999年,欧洲空间局与法国空间局发起创建了“空间与重大灾害”国际公约组织,旨在利用空间对地观测技术进行灾害监测、评估与危险性分析,其中利用气象和海洋卫星进行台风风暴潮全过程监测、预报、预警、危险性评估已经成为目前世界各国防灾减灾的重要手段之一。国内外大量的灾害风险评估是采用“3S”技术开展的,如:Zerger(2002)利用GIS分析了澳大利亚风暴潮洪涝淹没情景及其危险性;Demirkesen等(2007)利用SRTM-DEM数据开展了土耳其海平面上升及其风暴增水淹没风险分析;Syvitski等(2009)利用SRTM数据与历史地形数据对比分析了世界上33个主要三角洲地区的台风风暴潮以及洪涝灾害的危险性;Yin等(2011)基于SRTM和多社会经济的GIS图层,分析了中国沿海地区海平面上升及不同重现期潮位淹没的潜在影响。近年来,随着我国“3S”技术的不断普及,国家对灾害信息的实时获取给予了高度关注。2011年12月,我国发布的《国家综合防灾减灾规划(2011—2015年)》,其首要任务为“加强自然灾害监测预警能力建设”,重点内容包括加强国家防灾减灾空间信息基础设施建设,逐步完善环境与灾害监测预报小卫星星座、气象卫星、海洋卫星、资源卫星和航空遥感等系统,提高自然灾害综合观测能力、高分辨率观测能力和应急观测能力,提高自然灾害的大范围、全天候、全天时、多要素、高密度、集成化的立体监测能力和业务运行水平(国务院办公厅,2011)。国内外开展的自然灾害风险评估,在数据获取上离不开遥感(RS)和全球定位系统(GPS),在空间数据分析上离不开地理信息系统(GIS),这已经成为一种必然趋势。

目前,“3S”技术在我国自然灾害风险评估中的使用已较为成熟,并推动了近年来自然灾害风险评估的快速发展。但还存在两方面问题:①灾情信息获取的时效性还需提高。利用遥感信息对历史灾情评估方面取得了实效,但突发灾害发生后,如何第一时间获得高精度灾情信息,仍需科技攻关。②地理信息系统(GIS)功能存在明显局限性。国内多数自然灾害风险评估多是采用商业GIS软件开展分析,仅具有常规的空间分析功能,没有专门用于灾害风险分析的功能,从而使得利用GIS软件开展灾害风险研究的便捷性受到影响。如何建立如美国FEMA(美国联邦应急管理署)开发的国家尺度自然灾害风险评估的标准方法或工具(HAZUS-MH),将是我们应该重视的内容之一。

(二) 定量化数值模拟方法

近年来,自然灾害风险评估已逐步从传统的基于指标体系的自然灾害风险评估方法走向定量化的数值模拟方法。定量化数值模拟方法是基于灾害演变的机制,采用计算机技术开发和建立专业模型、软件,利用其进行灾害危险性分析的方法。其最大优势是提高危险性评估结果的精度,且直观可见。以台风风暴潮危险性研究为例,研究方法逐步由定性、半定量分析转向数值模拟与情景分析的定量化研究。20世纪80年代,美国国家气象局(NMS)和国家大气海洋管理局(NOAA)联合开发了SLOSH(Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes)模型(Jelesnianski et al., 1992),这是目前世界上应用最为广泛的台风风暴潮数值模拟系统,该模型在综合考虑台风风场、气压场、运移轨迹、潮流等要素基

础上,对飓风所带来的风暴潮过程进行情景模拟和预报。英国自动化温带风暴潮预报模型——海模型(Sea Model),其气压场和风应力场采用10层大气模式提供的预报结果,可进行温带风暴潮预报。荷兰的DELFT数值模拟系统中也引入了风暴潮计算模式,通过与其他水流运动计算模型结合,形成了一套著名的数值模拟计算系统——DELFT3D,根据台风资料和相应土地利用信息,模拟风暴潮增水发生的位置和可能淹没范围、台风登陆可能的致灾范围。该模型还配有一套决策支持系统,通过不同工程调度,选择不同方案,提出减灾措施(黄金池,2002)。澳大利亚和美国部分研究机构联合开发了GCOM2D/3D系统(Hubbert et al.,1999a,1999b;McInnes et al.,2003),该系统通过二维或三维的方式直观地再现台风发生场景;中美洲与加勒比地区的TAOS是一套风暴潮综合风险分析与模拟系统,该系统不但能提供与SLOSH模型相同的分析功能,而且对风暴潮波高、最大风速、内涝以及整个区域因风暴潮造成的损坏作出快速分析(Watson et al.,1998,1999)。美国联邦应急管理局(FEMA)开发的HAZUS-MH的灾害模拟与评估系统中也集成了飓风评估模型,可以模拟与分析飓风过程及其对承灾体的危害(HAZUS,2012)。丹麦水利环境技术有限公司(DHI Water&Environment)的MIKE 21风暴潮预警预报模拟系统,基于风暴潮发生的潮流场、台风场和波浪场等二维场景模拟,对于潮灾发生场景的动态再现和预警模拟效果极佳(DHI,2008)。

目前,国内外大多数风暴潮灾害的研究都是基于上述模型在开展研究,研究成果有效地指导了防灾减灾战略的实施。基于“量化数值模拟方法”的自然灾害风险评估已成为提高灾害风险评估成果精度和可靠性的重要途径,国外的诸多成熟商业(免费)软件与模型发挥了重要作用。我国也出现了不少专门的灾害研究数值模型,但这些模型的推广使用往往受到局限,因此,我国在针对专门灾种的本土成熟数值模型研究方面急需加强。

(三)“关联性”方法

近年来,各致灾因子间的“关联性”和综合作用受到广泛关注。即在灾害危险性研究中,十分强调各致灾因子间的内在联系。以台风风暴潮灾害为例,它由不可控制或未加控制的多个因素造成,主要包括台风大风、风暴增水、暴雨洪涝、天文大潮等众多因素。在全球变暖背景下,海平面的快速上升使得沿海地区台风风暴潮灾害的强度和频率明显加剧,在一些特定地区或时段(如汛期),通常出现多种致灾因子群发或链发的现象,如何分析和模拟各致灾因子之间的关系是开展台风风暴潮综合风险评估的关键。例如,Albeverio等(2005)系统分析了地震、电力故障、飓风、暴雨、洪灾以及恐怖袭击和传染病等灾害之间及其与承灾体之间的综合关系;Fabbrocino等(2005)提出应当关注灾害对工业设施的破坏,尤其是化工产业及石油加工业的摧毁造成的人员伤亡、损失加重等连锁效应;史培军(1991,1996,2002,2005)基于灾害系统理论,提出了台风灾害链和灾害群的理论模型和框架;高庆华等(2007)提出了台风灾害链模型及其评估方法;还有学者探讨了台风灾害链的区域影响(陈香,2007;潘安定等,2002);Phan等(2008)研究了风速与风暴潮的联合概率分布与危险性;刘德辅等(2008)针对台风特征、致灾因素、相应后果和防灾需求,使用多维复合极值分布理论,构造了一个双层嵌套、多目标的联合概率预测模式,进而建立台风灾害区划及相应防灾标准体系。欧盟开展了“DRR(disaster risk reduction)”战略计

划,主要面向发展中国家的灾害高发区和脆弱性区域,强调开展包括台风风暴潮在内的多致灾因子的综合危险性研究(European Commission,2008)。近几年,国外通过一系列项目的研究在不断探索解决这一难点问题,以欧盟资助的 MATRIX 项目(New Multi-hazard and Multirisk Assessment Methods for Europe,2010~2013年)为例,该研究通过建立灾害理论框架,从风险的相似性、传递性等方面对灾害发生和扩散机制进行研究,探究灾害的触发因子及其内在关联性,从而深入研究灾害耦合风险这一难点问题(MATRIX,2010)。

应当指出,“关联性”方法不是一套具体的方法,强调的是一种思想,一种开展灾害风险评估的理念。如何把多种存在内在关联的灾害进行综合研究是其内在核心。目前,国内外在灾害“关联性”研究方法的构建方面仍处于探索阶段,对灾害之间关联的复杂机制认识不足。它不仅涉及灾害与灾害间、灾害与次生灾害间的耦合性,还体现了自然系统和社会系统的交互影响,如何定量反映或者准确模拟这种内在耦合关系是当前研究的瓶颈所在。

(四)“情景分析”方法

情景(scenario)是对未来情形以及事态由初始状态向未来状态发展过程的描述(赵思健等,2012)。“情景分析”(scenario analysis)是在对经济、产业或技术的重大演变提出各种关键假设的基础上,通过对未来详细地、严密地推理和描述来构想未来各种可能的方案(McBurney et al.,2003;Kapur,2005;Marshall et al.,2005;Lopez-Baldovin et al.,2006;Wei et al.,2006)。情景分析方法是继1973年能源危机后兴起的一种有效预测方法,预测各种态势的产生并比较分析可能产生影响的整个过程,主要包括:对发展态势的确认,各态势的特性、发生的可能性描述,并对其发展路径进行分析(叶明武等,2007)。近年来,全球气候异常导致极端灾害事件频繁发生,用传统的趋势外推等方式来开展灾害研究已无法有效防范灾害风险,因此,情景分析思想被引入到灾害风险评估中。自然灾害风险情景分析是将地理信息系统(GIS)、虚拟现实、多智能体、神经网络、元胞自动机等技术相结合,建立可能发生灾害的危险性情景,模拟其演化趋势,实现灾害风险可视化的方法。它有明显优点:①紧扣风险的情景定义,实现从未来情景的角度进行风险分析;②克服了传统方法仅从灾害因子角度进行评估的不足,利用情景发展连接所有参与要素;③实现了灾害过程与破坏过程的验证,使风险评估结果相对可靠;④易于空间网格化分析,能发现真正高风险区域(赵思健等,2012)。因此,灾害风险情景分析对开展灾害风险评估和风险防范具有重要意义(王军等,2011)。

情景分析方法已成为自然灾害风险评估的重要手段,是揭示灾害成因、影响程度和范围、辅助抢险救援的重要方法,其基本方法之一是对已发生的灾害、影响程度与范围、灾后救援、恢复和重建进行全面调查;二是对可能发生的自然灾害极端危害场景进行模拟,以评估和预测未来灾害造成的损失和受灾范围,并验证或辅助制订控制预案。它拓展了灾害风险评估的思路,为揭示灾害成因、辅助抢险救援、模拟和制订应急控制预案等提供了重要依据。但目前还存在两个问题:①情景设定的合理性。该方法往往考虑的是极端情景,这类情景有较大的不确定性,故在情景设定时,必须基于合理的假设,小心求证。②情景分析工具或模型的可靠性。在沿海城市台风、风暴潮、暴雨内涝灾害风险情景分