

“十二五”国家科技支撑计划项目

重点领域气候变化影响与风险丛书

气候变化影响与风险

气候变化对海岸带影响 与风险研究

凌铁军 祖子清 等 编著

非
外
借



科学出版社

重点领域气候变化影响与风险丛书

气候变化影响与风险

气候变化对海岸带影响与风险研究

凌铁军 祖子清 等 编著

“十二五”国家科技支撑计划项目

科学出版社

内 容 简 介

本书为“十二五”国家科技支撑计划“重点领域气候变化影响与风险评估技术研究与应用”的系列研究报告之一。本书回顾了我国海岸带海洋灾害的概况及研究进展；基于历史观测和业务化数值模式的模拟数据，系统分析了气候变化背景下我国海冰、风暴潮、海浪、珊瑚礁和湿地的变化规律，以及海岸带海洋灾害与经济损失之间的关系；基于耦合模式间比较计划第五阶段的未来情景预估数据，通过降尺度技术，系统预估了未来三十年我国海岸带海冰、风暴潮、海浪和湿地的变化趋势。本书可供物理海洋学、灾害科学、全球变化、风险管理、海洋生态等相关领域的科研工作者、高等院校师生以及国家和地方有关决策部门等参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

气候变化影响与风险：气候变化对海岸带影响与风险研究/凌铁军，祖子清等编著. —北京：科学出版社，2017.10

(重点领域气候变化影响与风险丛书)

ISBN 978-7-03-054329-5

I. ①气… II. ①凌… ②祖… III. ①气候变化—影响—海岸带—研究
IV. ①P467 ②P737.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 216961 号

责任编辑：万 峰 朱海燕 / 责任校对：张小霞

责任印制：肖 兴 / 封面设计：北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

中国科学院

科学出版社发行



2017年10月第一版 开本：187mm×109mm 1/16

2017年10月第一次印刷 印张：10 3/4

字数：234 000

定价：89.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

《重点领域气候变化影响与风险丛书》编委会

主 编 吴绍洪

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

丁文广 凌铁军 刘时银 吕宪国

马 欣 潘 韬 潘根兴 吴建国

吴绍洪 辛晓平 严登华 杨志勇

尹云鹤 张九天

总 序

气候变化是当今人类社会面临的最严重的环境问题之一。自工业革命以来，人类活动不断加剧，大量消耗化石燃料，过度开垦森林、草地和湿地土地资源等，导致全球大气中 CO₂ 等温室气体浓度持续增加，全球正经历着以变暖为主要特征的气候变化。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告显示，1880~2012 年，全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势，升高了 0.85℃；2003~2012 年平均温度比 1850~1900 年平均温度上升了 0.78℃。全球已有气候变化影响研究显示，气候变化对自然环境和生态系统的影响广泛而又深远，如冰冻圈的退缩及其相伴而生的冰川湖泊的扩张；冰雪补给河流径流增加、许多河湖由于水温增加而影响水系统改变；陆地生态系统中春季植物返青、树木发芽、鸟类迁徙和产卵提前，动植物物种向两极和高海拔地区推移等。研究还表明，如果未来气温升高 1.5~2.5℃，全球目前所评估的 20%~30% 的生物物种灭绝的风险将增大，生态系统结构、功能、物种的地理分布范围等可能出现重大变化。由于海平面上升，海岸带环境会有较大风险，盐沼和红树林等海岸湿地受海平面上升的不利影响，珊瑚受气温上升影响更加脆弱。

中国是受气候变化影响最严重的国家之一，生态环境与社会经济的各个方面，特别是农业生产、生态系统、生物多样性、水资源、冰川、海岸带、沙漠化等领域受到的影响显著，对国家粮食安全、水资源安全、生态安全保障构成重大威胁。因此，我国《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》中指出，在生产布局、基础设施、重大项目规划设计和建设中，需要充分考虑气候变化因素。自然环境和生态系统是整个国民经济持续、快速、健康发展的基础，在国家经济建设和可持续发展中具有不可替代的地位。伴随着气候变化对自然环境和生态系统重点领域产生的直接或间接不利影响，我国社会经济可持续发展面临着越来越紧迫的挑战。中国正处于经济快速发展的关键阶段，气候变化和极端气候事件增加，与气候变化相关的生态环境问题越来越突出，自然灾害发生频率和强度加剧，给中国经济社会发展带来诸多挑战，对人民生活质量乃至民族的生存构成严重威胁。

应对气候变化行动，需要对气候变化影响、风险及其时空格局有全面、系统、综合的认识。2014 年 3 月政府间气候变化专门委员会正式发布的第五次评估第二工作组报告《气候变化 2014：影响、适应和脆弱性》基于大量的最新科学研究成果，以气候风险管理为切入点，系统评估了气候变化对全球和区域水资源、生态系统、粮食生产和人类健康等自然系统和人类社会的影响，分析了未来气候变化的可能影响和风险，进而从风险管理的角度出发，强调了通过适应和减缓气候变化，推动建立具有恢复力的可持续发展社会的重要性。需要特别指出的是，在此之前，由 IPCC 第一工作组和第二工作组联合发布的《管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应》特别报告也重点强调了风险管理

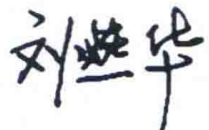
对气候变化的重要性。然而,我国以往研究由于资料、模型方法、时空尺度缺乏可比性,导致目前尚未形成对气候变化对我国重点领域影响与风险的整体认识。《气候变化国家评估报告》、《气候变化国家科学报告》和《气候变化国家信息通报》的评估结果显示,目前我国气候变化影响与风险研究比较分散,对过去影响评估较少,未来风险评估薄弱,气候变化影响、脆弱性和风险的综合评估技术方法落后,更缺乏全国尺度多领域的系统综合评估。

气候变化影响和风险评估的另外一个重要难点是如何定量分离气候与非气候因素的影响,这个问题也是制约适应行动有效开展的重要瓶颈。由于气候变化影响的复杂性,同时受认识水平和分析工具的限制,目前的研究结果并未有效分离出气候变化的影响,导致我国对气候变化影响的评价存在较大的不确定性,难以形成对气候变化影响的统一认识,给适应气候变化技术研发与政策措施制定带来巨大的障碍,严重制约着应对气候变化行动的实施与效果,迫切需要开展气候与非气候影响因素的分离研究,客观认识气候变化的影响与风险。

鉴于此,科技部接受国内相关科研和高校单位的专家建议,酝酿确立了“十二五”应对气候变化主题的国家科技支撑计划项目。中国科学院作为全国气候变化研究的重要力量,组织了由地理科学与资源研究所作为牵头单位,中国环境科学研究院、中国林业科学研究院、中国农业科学院、国家海洋环境预报中心、兰州大学等 16 家全国高校、研究所参加的一支长期活跃在气候变化领域的专业科研队伍。经过严格的项目征集、建议、可行性论证、部长会议等环节,“十二五”国家科技支撑计划项目“重点领域气候变化影响与风险评估技术研发与应用”于 2012 年 1 月正式启动实施。

项目实施过程中,这支队伍兢兢业业、协同攻关,在重点领域气候变化影响评估与风险预估关键技术研发与集成方面开展了大量工作,从全国尺度,比较系统、定量地评估了过去 50 年气候变化对我国重点领域影响的程度和范围,包括农业生产、森林、草地与湿地生态系统、生物多样性、水资源、冰川、海岸带、沙漠化等对气候变化敏感,并关系到国家社会经济可持续发展的重点领域,初步定量分离了气候和非气候因素的影响,基本揭示了过去 50 年气候变化对各重点领域的影晌程度及其区域差异;初步发展了中国气候变化风险评估关键技术,预估了未来 30 年多模式多情景气候变化下,不同升温程度对中国重点领域的可能影响和风险。

基于上述研究成果,本项目形成了一系列科技专著。值此“十二五”收关、“十三五”即将开局之际,本系列专著的发表为进一步实施适应气候变化行动奠定了坚实的基础,可为国家应对气候变化宏观政策制定、环境外交与气候谈判、保障国家粮食、水资源及生态安全,以及促进社会经济可持续发展提供重要的科技支撑。



2016 年 5 月

前 言

气候变化问题是当今国际热点之一，各自然科学与社会科学领域均高度重视气候变化对本领域的影响与反馈研究，相关研究成果的影响已经远远超出气候变化研究本身。气候大会更成为各国高度关注与参与的重要国际性大会，有关公约与协议，已经把气候变化的影响延伸到政治、经济博弈的另一个舞台。

由联合国授权的政府间气候变化专门委员会（IPCC）分别在 1990 年、1995 年、2001 年、2007 年、2012 年发布了五次评估报告。国内外学者从不同学科领域，对本领域的气候变化影响现状与未来可能趋势开展了大量研究。近年来，随着国内外经济格局的变化，人口密集、产业集中、财富汇聚的海岸带成为经济最为发达的地区，而气候变化对海岸带的影响研究引起广泛关注。

影响海岸带经济最为直接的因子就是海洋自然灾害，但涉及近岸风暴潮、海浪、渤海及黄海北部海冰等快变过程的气候特征研究较少。而这些致灾因子中，仅风暴潮一项，在 20 世纪 90 年代以来，平均每年造成沿海地区各类海洋灾害损失达 150 余亿元。

以往的研究主要是气候变化与海平面上升对各种灾害及海岸带生态的影响个例分析，而对海洋灾害本身的系统性评估与预估工作开展不多，目前越来越多的研究表明，气候变化背景下，海岸带自然灾害等空间变化复杂，需开展多因子、多重关系等综合分析评估。而加强海洋领域应对气候变化能力，需要更加全面、系统、可靠的信息，科学地评估气候变化导致的自然环境变化对海洋环境和人类活动的影响及其响应，对我国社会和海洋经济发展的需求具有十分重要的意义。

“十二五”国家科技支撑计划“重点领域气候变化影响与风险评估技术研究与应用”项目之第八课题“气候变化对海岸带的影响与风险评估技术”开展了中国海岸带海洋灾害变化趋势研究，并编写了本书，作为该项目系列丛书之一。

本书共分为六章：海洋灾害概况，海岸带自然灾害变化研究进展，气候变化对中国海冰的影响与风险评估，气候变化对中国风暴潮的影响与风险评估，气候变化对中国海浪的影响与风险评估，以及气候变化对珊瑚礁和湿地的影响与风险评估。

由于在该研究领域中，基础数据与信息非常缺乏，时空连续性较差、海洋灾害气候特征评估方法与理论仍需发展完善。尤其是海岸带海洋灾害过程尺度到气候变化之间跨时空尺度非线性效应明显，长时间的有效评估与预估，从基础理论研究上来说还有很多问题有待深入研究。因此，本书的内容，可能仍有诸多不当之处，仅为抛砖引玉，请各位读者批评指正。

本书主要以上述支撑课题研究成果为主，并汇集了其他相关研究发表的论文，以及本领域灾害公报、新闻等出版物。在研究过程中，除本书作者外，国家海洋环

境预报中心唐茂宁、李涛、高志一等均为本课题主要参加人员，完成了大量具体研究工作，在此致以衷心感谢。另外，感谢国家海洋环境预报中心丁超和杨帆为本书封面供图。

凌铁军
2016年4月

目 录

总序

前言

第1章 我国海洋灾害概况	1
1.1 海冰灾害	2
1.1.1 海冰灾害分布	2
1.1.2 海冰灾害个例	3
1.1.3 海冰灾害造成的损失	4
1.1.4 海冰灾害成因	6
1.2 风暴潮灾害	7
1.2.1 我国风暴潮灾害的分布	7
1.2.2 风暴潮灾害个例	9
1.2.3 风暴潮灾害成因	13
1.3 海浪灾害	15
1.3.1 我国近海灾害性海浪分布	15
1.3.2 海浪灾害个例	16
1.3.3 海浪灾害造成的损失	18
1.3.4 海浪灾害成因	20
1.4 海平面变化	22
1.4.1 海平面变化概况	22
1.4.2 海平面变化致灾个例	24
1.4.3 海平面变化造成的危害	25
1.4.4 海平面变化的成因	28
参考文献	29
第2章 海岸带自然灾害变化研究进展	30
2.1 海岸带自然灾害的概述	30
2.1.1 IPCC第五次评估报告海岸带灾害研究的新进展	30
2.1.2 气候变化影响海岸带自然灾害的主要因素	32
2.2 气候变化下海岸带灾害的变化趋势	33
2.2.1 海冰	34
2.2.2 风暴潮	36
2.2.3 灾害性海浪	38
2.2.4 海平面上升	40

2.3 气候变化下海岸带灾害脆弱性·····	45
2.3.1 海岸带灾害脆弱性·····	45
2.3.2 海岸带脆弱性评估方法·····	47
2.4 海岸带气候变化适应性和风险评估与管理·····	48
2.4.1 适应气候变化与可持续发展·····	48
2.4.2 海洋灾害风险评估与管理·····	50
参考文献·····	51
第3章 气候变化对中国海冰的影响与风险评估·····	55
3.1 引言·····	55
3.2 方法与数据·····	56
3.2.1 海冰历史资料收集整理及融合重构·····	56
3.2.2 未来海冰情景预估·····	59
3.2.3 海冰冰情指标·····	60
3.3 过去50年中国近海海冰灾情概况·····	61
3.3.1 海冰的气候态特征·····	61
3.3.2 海冰的冰情等级及年际变化·····	62
3.3.3 初冰日、终冰日和总冰期的变化·····	64
3.3.4 海冰的变化与全球增暖的关系·····	66
3.4 未来海冰的变化特征·····	66
3.4.1 海冰对2m气温增温的响应·····	67
3.4.2 海冰对未来排放情景的响应·····	69
3.4.3 未来海冰危险性预估·····	72
3.5 结论·····	73
参考文献·····	74
第4章 气候变化对中国风暴潮的影响与风险评估·····	75
4.1 引言·····	75
4.2 影响与风险评估方法·····	76
4.2.1 历史数据的重构·····	76
4.2.2 未来情景的预估·····	77
4.2.3 风暴潮的分析方法·····	84
4.2.4 气候与非气候因素对风暴潮灾害损失的影响·····	86
4.2.5 风暴潮灾害风险评估方法·····	86
4.3 1981~2011年中国风暴潮灾情概况·····	88
4.3.1 风暴潮历史变化趋势·····	88
4.3.2 风暴潮灾害损失评估·····	93
4.3.3 风暴潮灾害风险综合评估·····	99
4.4 2015~2045年中国风暴潮灾情预估·····	102

4.4.1 历史和未来情景下海平面的变化	103
4.4.2 基于统计降尺度方法的未来风暴潮预估	104
4.4.3 基于动力降尺度方法的未来风暴潮预估	107
4.5 结论	113
参考文献	113
第5章 气候变化对中国海浪的影响与风险评估	114
5.1 引言	114
5.2 影响与风险评估方法	115
5.2.1 历史海浪数据的重构与分析	115
5.2.2 未来海浪数据的重构与分析	116
5.2.3 未来海平面数据的重构	117
5.2.4 海浪的灾害性分析方法	117
5.3 过去30年中国海浪灾情概况	117
5.3.1 历史灾害性海浪的发生频次	117
5.3.2 历史灾害性海浪的极值分布特征	121
5.4 未来30年中国近海海浪灾情预估	124
5.4.1 灾害性海浪的时空分布特征	124
5.4.2 灾害性海浪的危险性分析	129
5.5 结论	131
参考文献	131
第6章 气候变化对珊瑚礁和湿地的影响与风险评估	132
6.1 引言	132
6.2 气候变化对珊瑚礁的影响	133
6.2.1 世界珊瑚礁和中国珊瑚礁的分布概况	133
6.2.2 导致珊瑚礁白化或者消失的气候因素	134
6.2.3 近50年来南沙群岛永暑礁与全球气候变化的关系	135
6.2.4 我国南海珊瑚礁的变化	136
6.3 未来珊瑚礁受气候变化影响的风险评估	137
6.3.1 世界珊瑚礁的生存风险现状	137
6.3.2 气候变化和海洋环境变化对珊瑚礁生存风险的影响	138
6.4 气候变化对滨海湿地的影响现状分析	143
6.5 未来气候变化对典型滨海湿地影响的风险评估	144
6.5.1 气候变化背景下典型滨海湿地归一化植被指数 (NDVI) 的演变趋势 预测	144
6.5.2 气候变化背景下典型滨海湿地的风险评估	147
参考文献	155

第 1 章 我国海洋灾害概况

海洋灾害是指海洋自然环境发生异常或激烈变化，导致在海上或海岸发生的灾害，其主要包括风暴潮、海浪、海冰等常年自然灾害，海啸等偶发自然灾害，以及由海洋物理环境引起的海岸侵蚀、赤潮、绿潮等自然灾害。

我国拥有长达 18 000 余千米的大陆海岸线，14 000 余千米的海岛岸线，海岸带横跨 38 个纬度，3 个气候带。绵长的海岸线、复杂的地形、多变的气象、海洋条件，导致了我国海岸带饱受频繁、多样、严重的海洋灾害之苦。再加上我国沿海地区承载着全国 40% 的人口，50% 的大中城市，创造了 60% 以上的国民经济产值，人口和经济资源的集中使得海洋灾害所带来的生命和财产损失尤其严重。

20 世纪 90 年代以来，海洋灾害造成的经济损失年均超过 100 亿元，20 余年中，海洋灾害的经济损失大约增长了 30 倍，远高于沿海经济的增长速度。“十五”期间，我国因海洋灾害造成的死亡人数（含失踪）为 1164 人，直接经济损失达 633 亿元。“十一五”期间，海洋灾害造成死亡人数（含失踪）约为 1037 人，直接经济损失为 746 亿元。2013 年，我国近海各类海洋灾害造成的直接经济损失为 163.48 亿元。2014 年，仅“威马逊”和“海鸥”两个台风风暴潮就造成广东、广西、海南三地累计 993.79 万人口受灾，直接经济损失 123.55 亿元（图 1-1、图 1-2）。

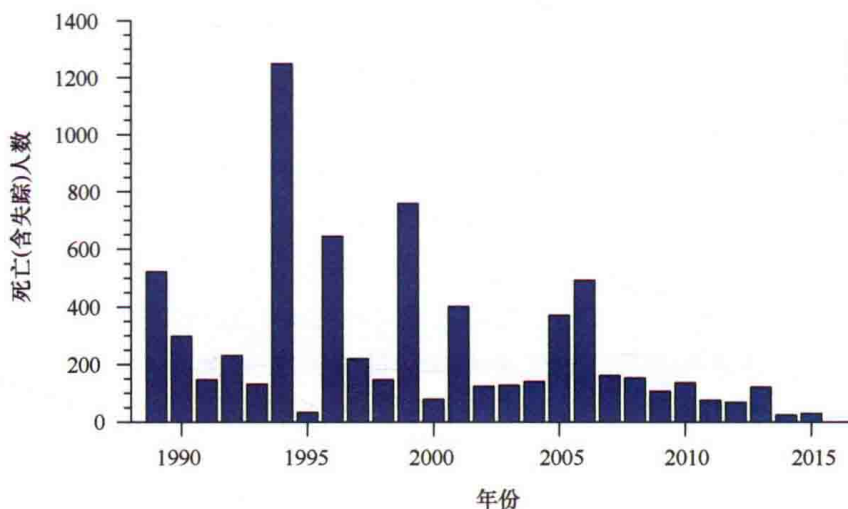


图 1-1 1989~2015 年我国海洋灾害造成的死亡（含失踪）人数

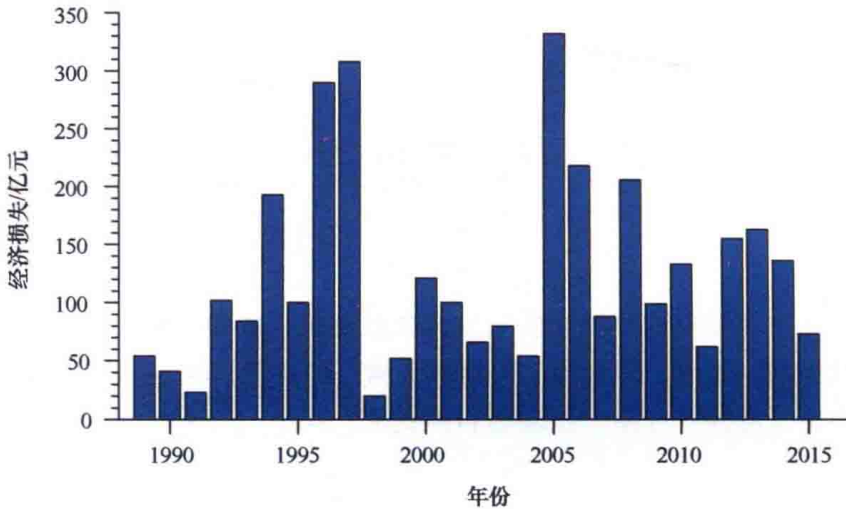


图 1-2 1989~2015 年我国海洋灾害造成的直接经济损失

1.1 海冰灾害

海冰是由海水冻结而成的咸水冰，其中还包括流入海洋的河冰和冰山等。海冰引起的航道堵塞，船舶、海上设施及海岸工程损坏等对人类生命财产造成严重损害的自然灾害，被称为海冰灾害。

海冰的消融、结冰范围及海冰漂移会对海上经济活动产生直接影响。海冰灾害发生时封锁航道和港口，破坏海港设施；流冰的切割、碰撞和挟持，会严重威胁舰船航行的安全。例如，1912 年英国 46 000 吨级巨型客轮“泰坦尼克”号，被冰山撞沉，船上 1500 余人丧生。世界上海洋结冰的国家，如俄罗斯、美国、加拿大和芬兰等国，都非常重视海冰的观测、研究及预报。

为向海冰监测、预报和研究部门及生产部门提供分析和比较各年冰情的标准，国家海洋局结合 1963~1973 年的海冰连续观测资料，参考近百年历史气温和海冰资料等，以海冰范围和厚度为指标，于 1973 年将渤海和黄海北部的冰情划分为冰年轻年、偏轻年、常年、偏重年和重年共 5 个等级。

2010 年国家海洋局重新编制了《海冰冰情等级标准》(国标草案，已送全国海洋标准化技术委员会)。根据渤海、黄海北部海域海冰变化特征以及结冰海区的地理位置、气候特点，在分析处理和质量控制历史海冰资料(1977~2006 年)的基础上，将渤海和黄海北部冰情分为 5 个等级：即轻冰年(1 级)、偏轻冰年(2 级)、常冰年(3 级)、偏重冰年(4 级)和重冰年(5 级)，相关描述参见第 3 章。

1.1.1 海冰灾害分布

我国北方的渤海和黄海北部海域每年冬季结冰，是全球纬度最低的结冰海域。严重和比较严重的海冰灾害大致每 5 年发生一次；在局部海区，即使轻冰年或偏轻冰年也会出现海冰灾害。易于受灾的海域包括渤海、黄海北部，尤其是辽东半岛沿海以及山东半

岛部分海湾。

我国渤海和黄海北部各结冰海区的地理环境差异较大,不仅冰情不尽相同,海冰灾害也差异明显,渤海的海冰灾害最为严重。因为渤海是浅海,平均水深只有 18m。冬季受寒潮影响,每年都会出现不同程度的结冰现象,结冰期大约为 3 个月(表 1-1)。

表 1-1 1947~2014 年各海区较严重海冰灾害统计

海区	次数/次	年份(冬季)
辽东湾	11	1947, 1969, 1974, 1977, 1990, 1995, 2000, 2001, 2010, 2011, 2012
渤海湾	7	1947, 1951, 1955, 1959, 1969, 2001, 2010
莱州湾	8	1966, 1968, 1969, 1980, 2006, 2010, 2011, 2012
黄海北部	4	1986, 1998, 2010, 2011

1.1.2 海冰灾害个例

1. 1949 年前海冰灾害个例

1949 年之前,渤海有记录的严重冰情有 3 次。第一次是 1936 年冬季整个渤海被冰封住。第二次是 1947 年春季在渤海西北部发现高 10m、长 200m、宽 70m 的冰山。第三次是 1957 年春季大范围冰封,船舶停航。

2. 1949 年后海冰灾害个例

1969 年冬季,整个渤海特大冰封,数百艘舰船不能进出渤海各港口;数十艘客货轮遭到不同程度破坏;有 8 艘被海水推移搁浅,19 艘封冻在海上寸步难行,5 艘万吨巨轮受冰挤压而导致船体破裂、变形、进水。当时渤海仅有的三座石油钻井平台中,“海二井”倒塌,“油一井”平台支座的全部钢筋被流冰割断,损毁严重。

2007 年 1 月 5 日,葫芦岛龙港区渔民村先锋渔场遭遇了罕见的冰灾。坚硬的浮冰爬上岸滩,封堵了葫芦岛渔民村的沿海民房,14 名渔民被困宅中。铁船被冰排推挤上岸,船头被架在屋顶上。葫芦岛边防官兵奋战 5 小时,最后救出了 14 名压在冰山下的渔民。

2010 年 1~2 月,渤海遭受了近 30 年最重的海冰灾害。山东省渔港封冻,被困渔船多达 8000 多艘,经济损失惨重。辽宁省港口封冻,电煤运输受阻。辽宁省葫芦岛、营口、锦州和河北省秦皇岛、京唐港、曹妃甸、黄骅等港口的进出港航运船舶安全受到海冰的严重威胁,电煤运输受阻。营口市在渔港内被冰封的 300 多条较大型渔船的船体遭受不同程度的损坏。盘锦市三道沟渔港南端新建的灯塔和航标灯被海冰推平。辽河油田浅海石油开发公司的钻井平台停止生产,一些海上钻井平台与口岸的交通线结冰,补给船需破冰船引航才能靠岸。

此次海冰灾害有两大特点:一是发展速度快。1 月上旬辽东湾发展迅速,浮冰范围从 12 月 31 日的 38n mile 迅速增加到 1 月 12 日的 71n mile;1 月中旬莱州湾冰情发展迅速,浮冰范围从 1 月 9 日的 16n mile 迅速增加到 1 月 18 日的 39n mile,1 月 22~24 日

连续维持在 46n mile, 为莱州湾 40 年来最大海冰范围。二是浮冰范围大、冰层厚。辽东湾 2 月上旬浮冰范围从 1 月 31 日的 52n mile 迅速发展至 2 月 13 日的 108n mile, 最大单层冰厚达 50cm。

各海区最大浮冰范围和冰厚见表 1-2。

表 1-2 2009~2010 年度冬季渤海及黄海北部最大浮冰范围和冰厚

海区	浮冰离岸最大距离/n mile	一般冰厚/cm	最大冰厚/cm
辽东湾	108	20~30	55
渤海湾	30	10~20	30
莱州湾	46	10~20	30
黄海北部	32	10~20	40

2009~2010 年冬季渤海及黄海北部发生的海冰灾害对沿海地区社会、经济等产生了严重影响, 造成了巨大损失。辽宁、河北、天津、山东等沿海三省一市受灾人口 6.1 万人, 船只损毁 7157 艘, 港口及码头封冻 296 个, 水产养殖受损面积 207 870hm², 因灾直接经济损失 63.18 亿元。

1.1.3 海冰灾害造成的损失

1. 海冰灾害的表现形式

自然界中通常见到的浮在海面的冰只是很小一部分, 漂浮在海洋上的冰块或冰山, 在风和流驱动下运动。海冰运动时产生的推力和撞击力巨大, 它与冰块的大小和冰速有关。例如, 一块数平方千米的海冰, 在流速不太大的情况下, 其推力足以推倒石油平台等海上工程建筑物。海冰对港口和海上船舶的破坏力, 除推压力外, 还有因海冰的胀压力产生的破坏。此外, 冻结在海上建筑物的海冰, 受潮汐升降作用而产生的海冰竖向力, 可以导致海洋建筑物的基础松动。

我国结冰海区的海冰灾害大致可以归结为以下 4 种形式:

(1) 海冰封锁港口、航道, 使港口不能正常作业造成经济损失, 或大量增加破冰船破冰引航费用。

(2) 破坏海洋工程建筑物和各种海上设施, 轻则影响海洋油气开采等海洋工程作业, 造成经济损失, 重则推倒海上石油平台、破坏航道设施造成重大灾难性事故等。

(3) 阻碍船只航行, 破坏螺旋桨或船体, 致使船舶丧失航行能力; 撞击、挤压损毁船只, 使锚泊的船只走锚、航行船只偏离航线, 搁浅、触礁等灾难性事故。

(4) 使渔业休渔期过长和破坏海水养殖设施、场地等, 造成经济损失。

2. 海冰灾害的损失和社会影响

历史上, 我国渤海和黄海北部多次发生海冰灾害, 引发港口封冻、石油平台倒塌、休渔期拖长, 给人民的生产、生活以及国民经济发展和国防建设带来很大的危害。其中

1969年冬季渤海特大冰封和2010年渤海近30年最严重的海冰导致的损失尤为严重。1951~2013年海冰灾害给我国造成的损失见表1-3。

表1-3 1951~2013年以来海冰灾害总体情况

年份	冰情	灾害概况	资料来源
1951	常冰年局部封冻	塘沽港封冻	调访
1955	常冰年局部封冻	塘沽沿海封冻	调访
1957	重冰年	冰情严重, 船舶无法航行	中国海洋灾害 40 年资料汇编
1959	常冰年返冻	塘沽沿海不少渔船被冻在海上	调访
1966	常冰年返冻	莱州湾西部黄河口沿海在短时间内被冰封, 离岸 15km, 约 400 艘渔船和 1500 名渔民被冰封冻在海上	中国海洋灾害 40 年资料汇编
1968	偏重冰年局部冰封	龙口港封冻, 3000 吨级的货轮不能出港	黄渤海冰情资料汇编
1969	重冰年渤海冰封	“海二井”生活平台、设备平台和钻井平台被海冰推倒; “海一井”平台支座钢筋被海冰割断。进出塘沽和秦皇岛等港的 123 艘客货轮受到海冰严重影响。其中, 有 58 艘受到不同程度的破坏, 船舱严重进水	1969 年渤海冰封调查报告; 黄渤海冰情资料汇编
1971	常冰年局部封冻	滦河口至曹妃甸海面封冻	调访
1974	常冰年局部封冻	辽东湾冰情偏重, 走锚 5 起, 两艘货轮相撞	调访
1977	偏重冰年	“海四井”烽火台被海冰推倒, 秦皇岛有多艘船只被冰夹住, 需破冰引航	中国海洋灾害 40 年资料汇编
1979	常冰年	辽东湾发生海底门堵塞事故一起	调访
1980	常冰年局部封冻	龙口港封冻, 万吨级“津海 105 号”、“工农兵 10 号”和“战斗 10 号”等客货轮在锚地被海冰所困, 呼叫救援。最终在“C722”破冰船破冰引航下方脱离危险	中国海洋灾害 40 年资料汇编
1986	常冰年局部封冻	三艘万吨级货轮在大同江口受困, 由破冰船破冰引航方脱险	中国海洋灾害 40 年资料汇编
1990	常冰年	辽东湾封冻, 两艘 5000 吨货轮受阻, 走锚 37 起	调访
1995	偏轻冰年	在冰情严重期间, 辽东湾海上石油平台及海上交通运输受到一定影响。2 月 3 日 18 时一艘 2000 吨级外籍油轮受海冰的碰撞, 在距鲅鱼圈港 37n mile 附近沉没, 4 人死亡	海洋灾害公报
1996	常冰年	在冰情严重期间, 辽东湾海上石油平台及海上交通运输均受到威胁, 1 月下旬辽东湾 JZ20-2 石油平台遭受海冰碰撞, 引发石油平台强烈震动, 在此期间, 公司领导亲临现场指挥, 破冰船昼夜连续破冰作业, 保证平台安全。1 月上旬末天津塘沽港至东经 118° 的海域布满了厚 10cm 左右的海冰, 使大批出海作业的渔船不能返港	海洋灾害公报
1998	偏轻冰年	鸭绿江入海口结冰较厚, 受上涨潮水的影响, 冰排被潮水迅速堆起, 骤然间受冰排的挤压和撞击, 造成码头 17 处严重破坏, 沉船 11 艘, 严重受损船舶 19 艘, 险情持续 6 天之久, 造成了较严重的经济损失	调访
2000	偏重冰年	辽东湾海上石油平台及海上交通运输受到影响, 有些渔船和货船被海冰围困	调访
2001	偏重冰年	辽东湾北部港口处于封港状态, 秦皇岛港冰情严重, 港口航道灯标被流冰破坏, 港内外数十艘船舶被海冰围困, 海上航运中断, 锚地 40 多艘货船因流冰作用走锚; 天津港船舶进出困难, 海上石油平台受到流冰严重影响	调访、新闻媒体、海洋灾害公报
2006	偏轻冰年	莱州湾底沿岸多个港口处于瘫痪状态, 冰情给海上交通运输、海岸工程和沿海水产养殖等行业造成严重危害和较大经济损失。2005 年 12 月 15~22 日山东省莱州市芙蓉岛外海有 20 艘渔船被海冰包围, 53 名船员被困	中国海洋报

续表

年份	冰情	灾害概况	资料来源
2007	偏轻冰年局部冰灾	葫芦岛龙港区渔民村先锋渔场发生罕见冰灾, 坚硬冰块在风、浪、流作用下爬上岸, 推倒或压塌民房, 14 人被困, 葫芦岛边防官兵冒着冰块塌陷的危险, 进行抢险, 并救出被困人员	调查报告
2010	偏重冰年	山东因海冰灾害受灾人口达 9.5 万人, 造成经济损失高达 27.94 亿元, 河北海冰灾害造成 3.06 亿元损失, 辽宁海冰灾害造成 23.12 亿元损失。港口封冻, 电煤运输受阻。菊花岛被海冰围困, 3200 多名居民生活受到严重影响	海洋灾害公报
2011	偏轻冰年局部冰灾	山东和辽宁的水产养殖受损面积 5.442 万 hm^2 , 水产品损失 8.18 万 t, 因灾直接经济损失 8.81 亿元	海洋灾害公报
2013	偏重冰年	造成辽宁 2 艘船只损毁, 水产养殖受灾面积 2.292 万 hm^2 , 直接经济损失 3.22 亿元	海洋灾害公报

1.1.4 海冰灾害成因

冬季, 我国受亚洲大陆高压控制, 盛行偏北大风。寒潮或强冷空气入侵时, 伴随大风、降雪和急剧降温过程, 渤海和黄海北部近岸海域开始结冰。特别是当强寒潮爆发和持续时, 海冰覆盖面积迅速扩大, 冰厚增加。翌年春季海冰逐渐融化, 直至消失。海冰的冻结、融化、增长和减弱都与当年冬季气候特征密切相关。海洋和大气相互作用对渤海和黄海北部的冰情演变具有重要的作用。

初冬海冰最早出现的日期称为初冰日, 翌年初春海冰最终消失的日期称为终冰日, 其间称为结冰期或简称为冰期。渤海和黄海北部的冰期为三四个月, 其中以辽东湾冰期最长, 黄海北部和渤海湾次之, 莱州湾冰期最短。考虑到海冰与海上生产和航运的关系, 冰期被划分为 3 个阶段, 即初冰期、盛冰期和终冰期。

每年 11 月中旬至 12 月上旬, 渤海和黄海北部的海水冻结是从沿岸浅水海域开始, 逐渐向深海扩展; 翌年 2 月下旬至 3 月中旬, 海冰从外海向近岸海域逐渐融化消失。盛冰期时, 渤海和黄海北部沿岸固定冰的宽度多在 0.2~2km, 个别河口和浅滩区可达 5~10km。海中覆盖的冰都是浮冰, 这些浮冰在风、流和浪的共同作用下漂移, 在运动过程中发生形变, 乃至破碎和堆积, 冰间出现的开阔水即水道。除辽东湾外, 渤海和黄海北部流冰外缘线大致沿 10~15m 等水深线分布。各海区浮冰覆盖范围随各年冰情的轻重差别很大。

海冰的出现和分布, 主要决定因子是环境温度。除此之外, 还与海水密度、盐度、水深、海水的湍流运动以及冻结核有关。例如, 海洋边界层湍流运动促使秋末混合层明显加厚, 直接影响初冬的海冰形成。

盐度对海冰形成的影响比较复杂。冬季渤海表层海水盐度一般在 28‰~30‰, 渤海中部盐度较高, 可达 31‰以上, 黄海北部表层海水盐度为 29‰~31‰。渤海为浅海, 冬季表层海水很容易混合到底层。海冰的盐度是指海冰融化后所得海水的盐度。海冰在形成过程中, 有盐分从冰晶析出流入海中。如果海冰形成较快, 部分盐分来不及流走, 就被封闭在冰晶间的卤水泡内。因此, 海冰不同于淡水冰, 海冰是固体冰晶和卤水泡的