

DOI:10.11737/j.issn.1003-0239.2025.06.006

渤海海冰厚度变化对工程海冰区划的影响

谢波涛¹, 张琪¹, 谭海月¹, 李伟¹, 李宝辉^{2,3}, 刘煜^{2,3}, 隋俊鹏^{2,3*}

(1. 中海石油(中国)有限公司北京研究中心, 北京 100028; 2. 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室(国家海洋环境预报中心), 北京 100081; 3. 自然资源部海洋灾害预报技术重点实验室, 北京 100081)

摘要: 通过综合利用卫星图像提取数据与渤海海冰数值预报模式数据, 分析1968年以来的海冰最大平整冰厚时空变化规律, 并探讨其变化对现有海冰区划工作的影响。研究表明, 随着海冰冰厚持续动态变化, 现行海冰区划显现出一定局限性, 因此亟需根据最新数据进行调整与更新。

关键词: 海冰; 渤海; 海冰区划; 海冰厚度

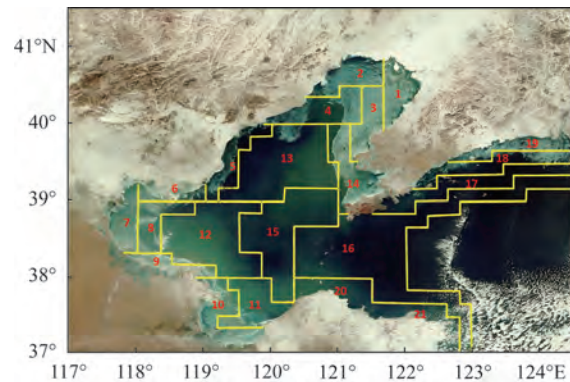
中图分类号: P731.32; P722.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1003-0239(2025)06-0046-09

0 引言

渤海是北半球纬度最低的季节性结冰海域^[1]。海冰作为一种独特的海洋环境要素, 其动态演变过程(包括形成、发展和消融)对海上工程活动具有显著的制约作用^[2-3]。海冰在运动过程中产生的机械挤压、碰撞和冰积累现象, 均可导致工程结构受损、设备故障甚至事故发生。严重的冰情会威胁到海上油气、风电和光伏等能源基础设施的安全运营, 并造成较大的经济损失^[4]。

为了应对海冰带来的风险, 国内外学者围绕海冰预报与防范策略展开了深入研究。在海冰预报领域, 通过建立基于数值模式的海冰预报系统^[5], 有效提高了预警的准确性^[6]; 将卫星遥感数据与实地观测数据结合开展综合分析, 也为海冰灾害防范提供了数据支持^[7]。在工程防范方面, 针对不同冰区的特征, 已经形成了一套较为完善的预防措施, 包括提前制定应急预案、优化工程结构设计、加强海冰动态监测等。在工程设计阶段, 普遍采用《渤海海冰设计作业条件》推荐的区划(见图1)和冰厚设计参数, 这种基于区域冰情特征开展的针对性设计, 极大地增强了工程抵御海冰灾害的能力。



注: 基于文献[4]、[8]进行重绘

图1 现行工程海冰作业区划图

Fig.1 Current engineering sea ice operation zoning map

海冰区划是指根据海冰的物理特性、空间分布及动态变化等因素, 将海域划分为若干具有相似冰情特征的区域。合理的区划不仅有助于科学预报海冰动态, 还能为工程设计提供精确的环境参数, 从而有效降低海上工程建设与运营过程中的潜在风险。吴辉碁等^[9]总结了渤海近岸区海冰设计作业条件, 为渤海海域结构物的规划、设计和建造中的海冰设计作业条件提供了依据。近年来, 随着海洋

收稿日期: 2025-04-08。

基金项目: 中国海洋石油有限公司科技课题(KJZH-2023-2402)。

作者简介: 谢波涛(1989-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事海洋油气开发工程相关环境研究。E-mail: xiebt@cnooc.com.cn

*通信作者: 隋俊鹏(1984-), 男, 高级工程师, 学士, 主要从事海冰预警工作。E-mail: sjp@nmefc.cn

环境的演变以及我国海上新能源开发的兴起,现行的海冰区划标准在部分区域已难以契合实际工程需要,亟需通过引入最新数据和模型进行更新和优化。目前,渤海地区的海冰区划工作主要依托于传统的统计分析和经验模型,部分研究采用历史观测数据和简单的数值模型,将海域划分为21个冰情相对稳定的区域^[9-12]。然而,受气候变化及区域环境影响,渤海海冰冰厚出现了显著的变化^[13],这给现有的海冰区划及工程设计带来了新的考验,基于静态数据的区划方法已逐渐无法适应新形势的要求^[4],因此学界和工程技术人员需要重新审视海冰区划的方法和标准。

本研究旨在通过引入卫星图像提取数据与渤海海冰数值预报模式数据,对过去近60年的渤海冰厚变化进行系统分析,探讨其对现有海冰区划工作的影响,并提出更新区划的必要性和方法,为海上工程的安全设计提供新思路。

1 数据与方法

本研究采用3类数据。第一类数据是国家海洋环境预报中心业务化开展的基于卫星遥感资料的海冰厚度反演数据,数据分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,时间为2000年至今。第二类数据是业务化运行的渤海海冰数值预报模式数据,数据分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,时间为1968年至今。两类数据相互补充并构建了各年份渤海海冰最大冰厚场,每年一个文件,数据范围覆盖 $37.0^{\circ} \sim 41.0^{\circ} \text{N}$, $117.5^{\circ} \sim 124.0^{\circ} \text{E}$,数据分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,每个数据表示该格点在一整年冰期内出现的最大平整冰厚值。相关数值预报产品均由国家海洋环境预报中心于冰期对外发布(网址:<https://www.nmefc.cn/>)。第三类数据是《渤海海冰设计作业条件》^[9]中1~15区的推荐设计平整冰厚度。本研究主要针对渤海海域海上石油平台分布区域,因此重点选取了1~15区中的石油平台集中区开展海冰区划研究,后续工作将逐步扩展至其他海域,以完善整个渤海和黄海北部的海冰区划体系。

1.1 卫星图像数据及反演技术

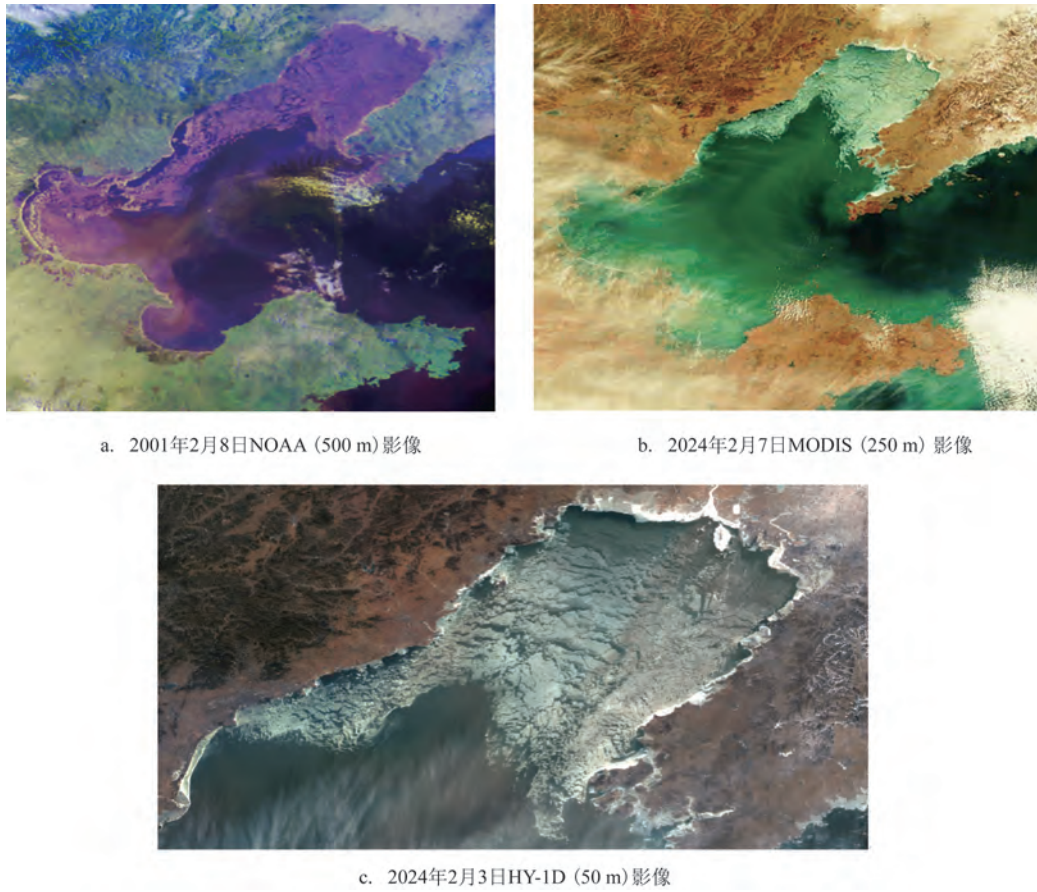
近年来,卫星遥感技术的发展为海冰监测提供

了高分辨率、连续时空覆盖的数据来源。本文选取了多颗卫星的海冰图像数据,包括美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)卫星、中分辨率成像光谱仪(Moderate - Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)和海洋系列卫星(HY)等海冰图像数据,并利用图像识别与分类技术对海冰区域进行提取和冰厚估计(见图2)。相比海洋站、出海调查、沿岸调查等观测手段,卫星遥感具有大尺度、快速、同步与长时间连续动态观测的能力,在经济上也有着无可比拟的优势^[13]。在全球卫星海冰监测中,海冰作为一种光谱特征非常明显的地物类型,以MODIS为代表的光学传感器能够准确直观地提供海冰外缘线、海冰密集度等信息,而以微波成像仪(Special Sensor Microwave/Imager, SSM/I)、高级微波扫描辐射计(Advanced Microwave Scanning Radiometer, AMSR)、雷达卫星(RADARSAT)为代表的微波传感器能够不受云雾覆盖与黑夜的影响,提供海冰外缘线、密集度以及海冰类型等信息。不同分辨率的遥感资料可以应用于不同环境条件以及不同尺度的区域,例如冰区范围大且受云雾影响多,可以使用分辨率较低的微波传感器资料对其进行监测。

尽管如此,光学遥感反演海冰厚度仍存在显著技术瓶颈。冰分布区域的光谱反照率通常与冰厚呈正相关,但冰型变异(如平整冰、重叠冰、积雪覆盖冰)会通过改变冰层内部散射路径导致反射信号产生非线性畸变。冰晶结构与孔隙率的空间异质性会使得单一波长反演模型产生系统性偏差,因此需构建冰型分类—反照率补偿耦合算法。部分研究通过辽东湾、莱州湾等区域实测数据与对应像元反射率的最小二乘拟合,建立冰厚—反照率的分段线性响应函数^[4]。渤海海冰卫星图像数据需要经过去噪、几何校正、边缘检测、特征提取等处理步骤,再利用现场油气平台实时数据对海冰冰厚进行反演和订正,经过上述订正处理后的高精度冰厚场,可作为渤海海冰初始场输入到海冰数值预报模式中(见图3)。

1.2 渤海海冰数值预报模式数据

数值预报模式数据则是通过建立海冰动力学与热力学模型,结合大气、海洋等多因子耦合运行



a. 2001年2月8日NOAA (500 m) 影像

b. 2024年2月7日MODIS (250 m) 影像

c. 2024年2月3日HY-1D (50 m) 影像

图2 不同分辨率渤海海冰监测产品

Fig.2 Multi-resolution sea ice monitoring products for the Bohai Sea

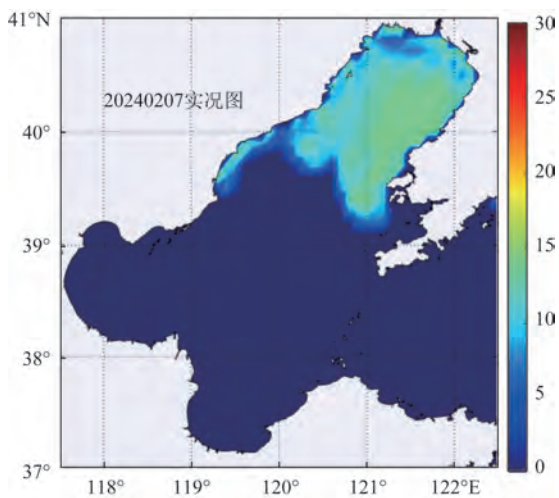


图3 基于海冰光学特性的海冰厚度反演场(单位:cm)

Fig.3 Optical-property-based sea ice thickness inversion field (unit: cm)

得到的冰情预报结果。近年来,针对渤海海冰的特殊环境,已有学者改进了传统海冰模式,提高了预报精度。本研究采用的模式主要包括描述冰块在风场、流场作用下的运动轨迹,以及基于热传导、融化与再生过程计算冰厚变化。通过对过去数十年数值预报数据的统计分析,研究了冰厚随时间的变化趋势及其空间分布特点。将数值模拟结果与卫星图像提取数据进行对比验证,确保了数据的一致性和可靠性。

国家海洋环境预报中心自20世纪90年代起持续开展渤海及黄海北部区域尺度海冰数值预报系统的业务化运行,其构建的中等分辨率(5~10 km)海冰动力学模型在冰情预警与防灾决策中发挥着关键作用,并形成了覆盖多冰情周期的历史数据库(见图4)。然而,随着冬季海上油气开发、航道运输等经济活动对精细化海冰预报需求的提升,传统的

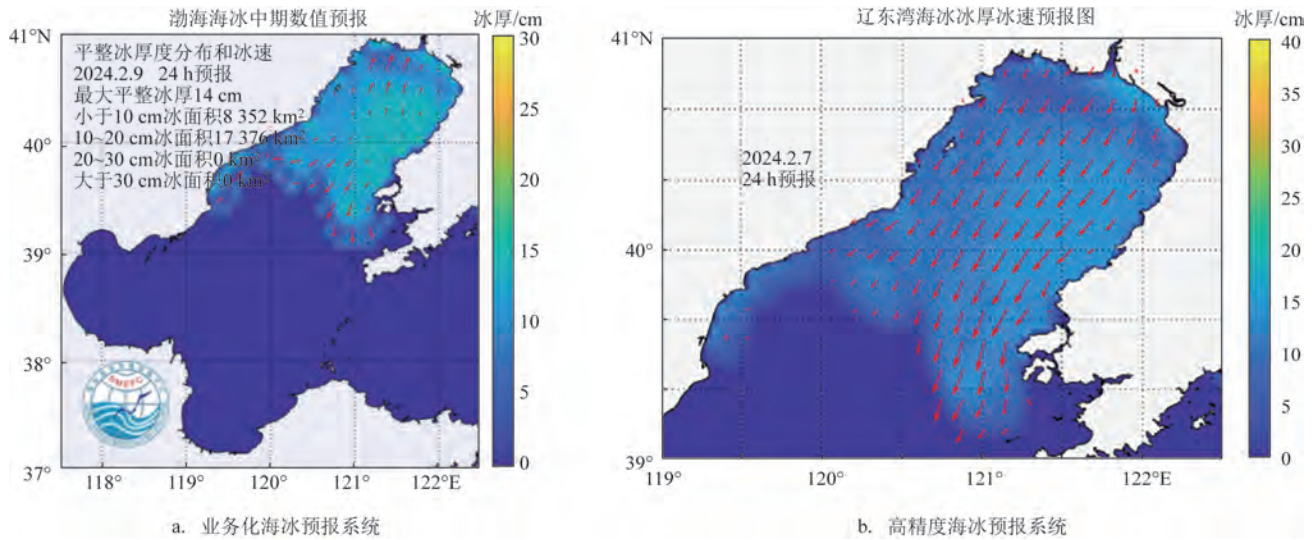


图4 不同分辨率的海冰预报系统

Fig.4 Multi-resolution sea ice forecasting systems

中等分辨率模型在局地冰情刻画能力上逐渐显现局限性。为此,该中心近年重点研发了适用于工程保障的高分辨率(<1 km)海冰预报系统,通过融合弹粘塑性理论与精细化气象水文强迫场,显著提升了目标区域的冰情模拟精度^[4,6]。该系统通过嵌套网格技术将空间分辨率提升的同时,可精确输出作业点周边海域的冰厚分布、密集度梯度及危险浮冰运动轨迹等关键参数。该模型与原有中尺度预报系统形成空间分辨率互补,共同构建起从区域冰情趋势预测到局地风险精准评估的多层级预报体系,为平整冰荷载计算与动态冰堆积预警提供了双重技术支撑。

2 结果与讨论

2.1 平整冰厚整体变化趋势

渤海海冰年最大平整冰厚在过去几十年中呈现出明显的时空异质性。图5为本文计算所得的辽东湾腹地(40.9°N, 121.3°E)处年最大平整冰厚变化曲线图,典型年份对应的最大平整冰厚空间分布见图6。从图5可以看出,1968—2023年的冰厚度呈现显著的长期变薄趋势,同时伴随阶段性波动特征。20世纪七八十年代的海冰厚度整体维持在较高水平,多年平均值为26.4 cm,其中1984年和1985年均达到35 cm的峰值,此后再未有年份达到这一

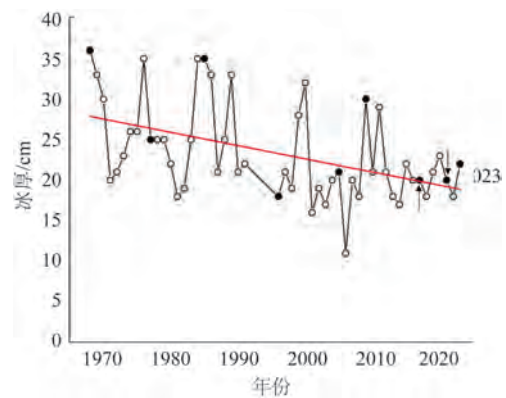


图5 海冰年最大平整厚度曲线图

Fig.5 Annual maximum level ice thickness curve

高点,这一时期的数据点分布波动剧烈,厚度年际变幅可达±8.2 cm,出现多次“陡升陡降”现象,最大年际差异达15 cm以上。从20世纪90年代开始,海冰厚度均值稳定在21.5 cm,较20世纪七八十年代的均值下降了19%。

1996年后,海冰厚度处于低位阶段,仅个别年份出现高值点。2000—2023年,海冰厚度均值降至20 cm,较1968—1999年下降25%,尽管个别年份出现短暂回升,如2000年的32 cm、2009年的30 cm和2011年的19 cm,但均未达到20世纪七八十年代的水平。2006年海冰厚度降至11 cm,创观测史最低值。2011年之后,海冰厚度再未超过22 cm,且长期

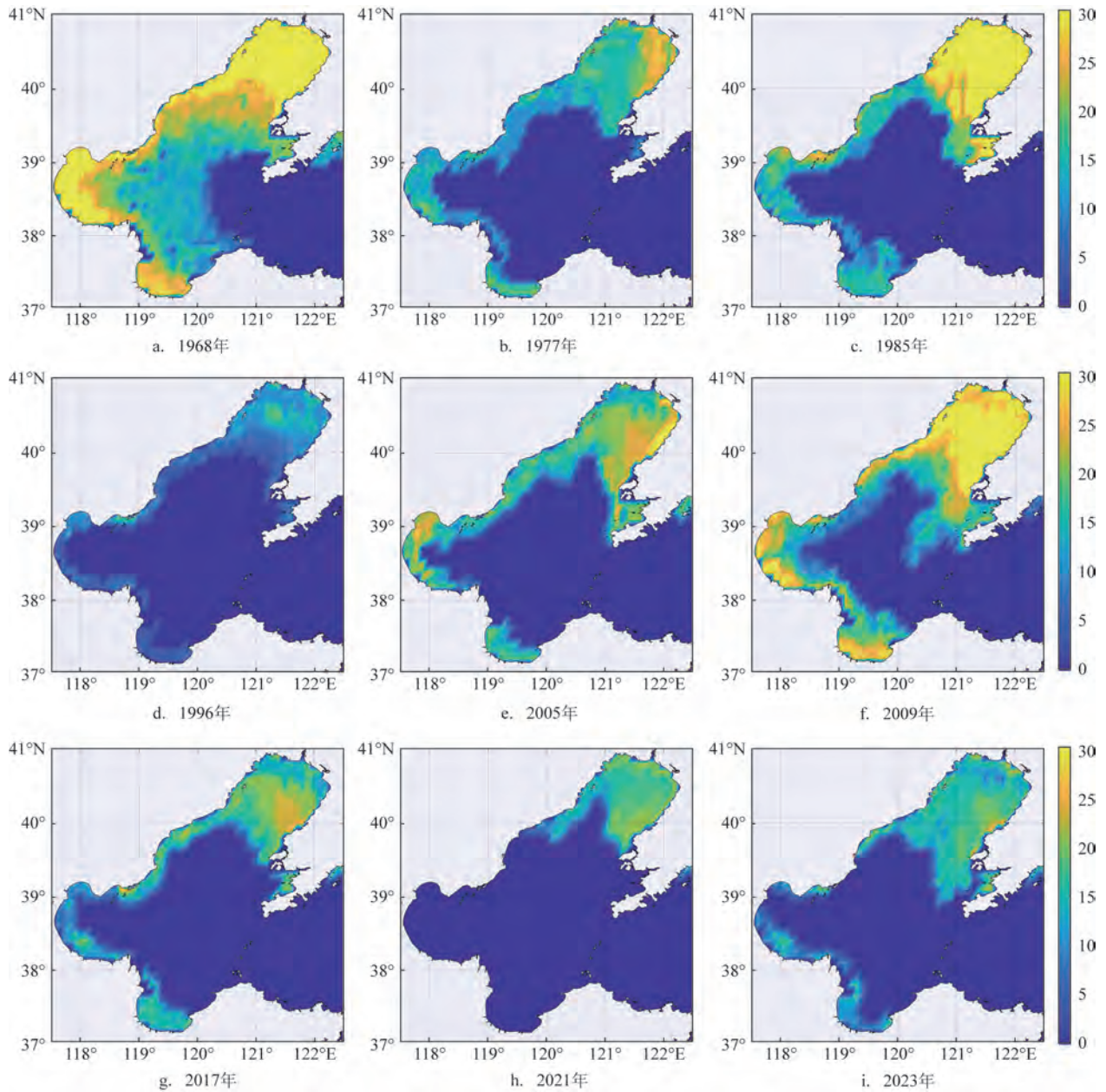


图6 特征年份海冰厚度空间分布(单位:cm)

Fig.6 The spatial distribution of sea ice thickness in characteristic years (unit: cm)

处于低位。图5的红色拟合直线斜率表明,1968年以来,海冰厚度以0.2 cm/a的速率递减,但确定性系数为0.22,显示了气候变化背景下海冰系统的非线性响应特征。

从空间分布上来看(见图6),整个辽东湾海冰厚度显著高于渤海湾和莱州湾,属于冰情最严重的区域。总体上,冬季冰厚平均值呈现逐步降低的趋势,但在局部区域,如靠近沿岸及海峡通道处,冰厚

变化较大。沿岸区域由于受潮汐和风场影响,冰厚具有明显的季节性和短周期变化;在部分特定区域,冰厚出现异常增厚或骤减现象,与极端气候事件密切相关^[4]。历史上有记载的严重冰年,海冰厚度分布多如1968年和2009年的态势,25 cm以上的冰厚不仅出现在辽东湾,南部海区也普遍高于这个值。极端冷空气事件在短期内较容易增大海冰的覆盖面积,但最大冰厚的影响有限,如2023年受到

较强冷空气的作用,辽东湾的海冰分布面积较大,但厚度明显弱于1968年和2009年。近年来,南部渤海湾和莱州湾经常出现全年无冰的情况,并存在成为新常态的可能。这些结果表明,海冰冰厚的变化不仅受到气候长期变化的影响,也受到局部环境条件的制约。

2.2 冰厚重现期区划特征对比

利用整理获得的各年度最大平整冰厚数据,本文使用Weibull分布^[8]来计算每个格点不同重现期冰厚。图7为计算所得的不同重现期冰厚(h)分布图及其与原来分区推荐冰厚的差值(Δh)。从重现

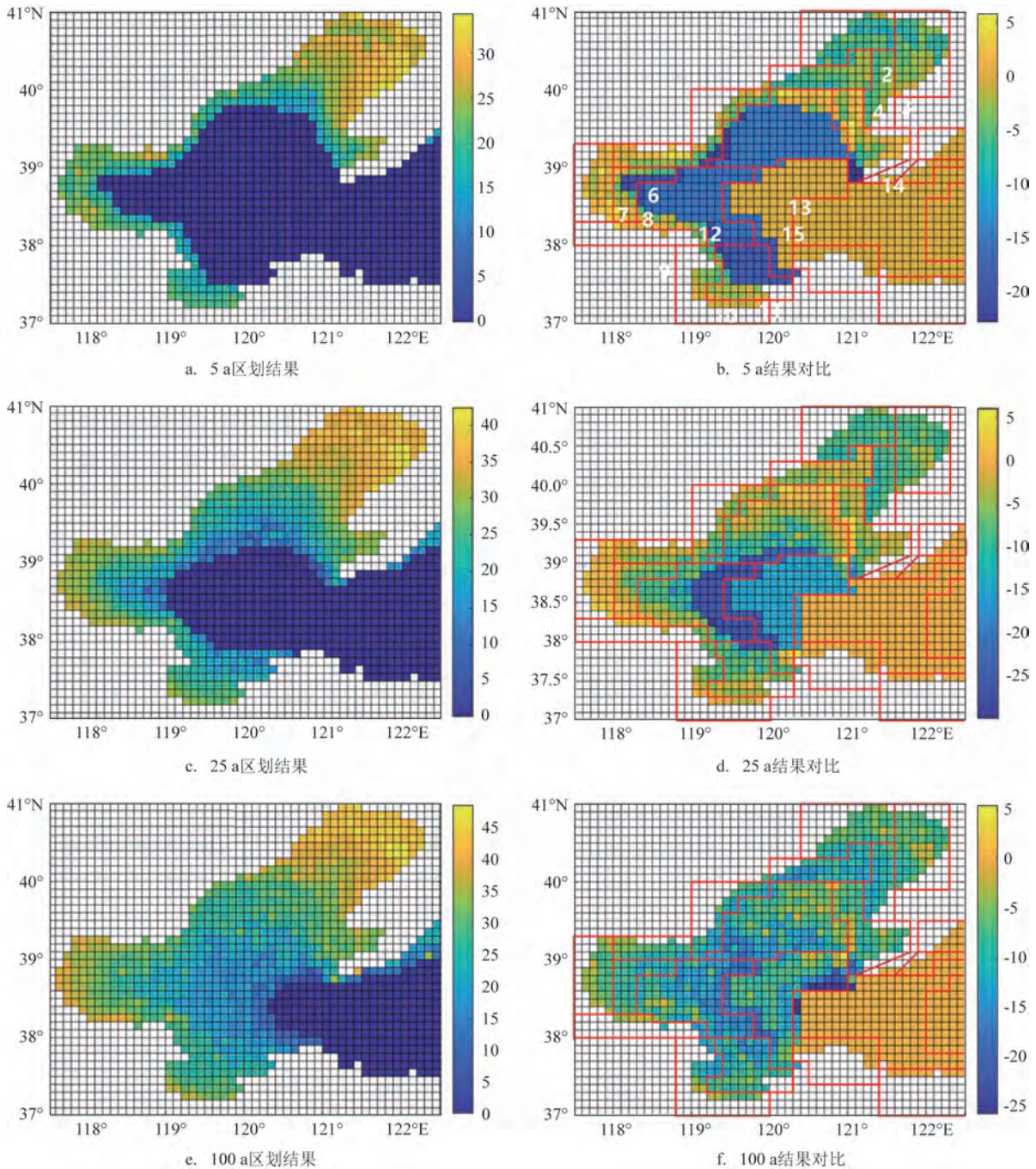


图7 格点冰厚结果及其与原区划对比(单位:cm)

Fig.7 Grid point ice thickness results and their comparison chart with the original zoning (unit: cm)

期冰厚可以看出,辽东湾的厚度显著高于渤海湾和莱州湾,莱州湾即使 100 a 重现期的冰厚超过 30 cm 的情况也仅在沿岸出现,而渤海中央区域大部分位置在 25 a 重现期内未并出现海冰。辽东湾的冰厚重现期明显表现出东岸高于西岸,这与长期以来的海冰观测相吻合。在风和流的作用下,辽东湾海冰更容易在东岸聚集并形成堆积冰和重叠冰,从而导致该区域的冰情较为严重。图 7 中百年一遇的海冰厚度与 1968 年的较为接近,但辽东湾和莱州湾的冰厚较 1968 年偏低,说明南部两个海湾近年来受气候变暖的影响更为明显。从冰厚差值的空间分布图可以看出,5 a 和 25 a 重现期冰厚在辽东湾大部分区域

较原来的标准明显偏低,其他两个湾大部分区域略有偏低,而 100 a 重现期时整个渤海海域普遍偏低。从不同重现期计算冰厚与工程区划冰厚差值中可以看出(见表 1、表 2),渤海每个区的重现期冰厚都有不同程度的降低,其中,中央海域的区 11~15 表现的尤为明显,5 a 以上重现期的冰厚降低大多在 10 cm 以上。另外需要指出的是,在靠近区划边界线区域,许多格点的冰厚差值出现明显的跳跃现象,这与每个分区在原来标准里只给定一个代表值有很大关系。这一现象也说明原来分区中仅按照经纬度划定区域存在一定的局限性,需要做进一步的客观订正才能避免这一缺点。

表 1 现行工程区划推荐设计冰厚^[9](单位:cm)

Tab.1 Recommended design ice thickness for current engineering zoning^[9](unit: cm)

分区	重现期							
	1 a	2 a	5 a	10 a	20 a	25 a	50 a	100 a
1 区	16.0	25.2	34.2	39.0	43.5	45.0	47.6	50.0
2 区	13.1	23.8	33.0	37.8	42.7	44.2	46.7	49.2
3 区	13.0	23.5	32.7	37.4	42.5	44.0	46.0	48.5
4 区	10.5	20.0	27.8	30.8	33.1	33.8	45.0	47.5
5 区	7.6	15.2	22.0	25.4	28.1	28.9	35.0	38.5
6 区	6.8	15.4	22.4	27.5	31.4	32.0	36.2	40.4
7 区	6.6	14.5	21.4	25.0	29.2	30.0	39.5	42.2
8 区	6.2	14.0	20.4	24.5	28.0	28.5	37.4	39.8
9 区	6.5	14.4	21.0	24.8	28.5	29.5	38.2	41.6
10 区	6.6	14.4	21.2	24.8	29.0	29.7	34.9	39.0
11 区	5.3	12.2	8.6	22.0	24.8	25.7	32.5	34.5
12 区	6.0	10.0	15.6	22.0	25.0	25.5	31.5	35.0
13 区	5.0	8.5	15.0	19.5	22.0	22.8	30.0	34.5
14 区	11.0	15.8	23.0	26.4	31.4	32.0	36.8	40.0
15 区	0	0	0	9.2	14.0	14.5	20.6	25.5

表 2 不同重现期计算冰厚与现行工程区划推荐冰厚差值(单位:cm)

Tab.2 Discrepancies between return period ice thickness calculations and current engineering zoning recommendations (unit: cm)

分区	重现期							
	1 a	2 a	5 a	10 a	20 a	25 a	50 a	100 a
1 区	-4.5	-2.1	-4.6	-5.6	-6.8	-7.3	-6.9	-6.6
2 区	-4.1	-4.3	-6.7	-7.3	-8.4	-8.8	-7.9	-7.2
3 区	-5.5	-0.9	-4.5	-6.2	-8.6	-9.3	-9.3	-9.8
4 区	-7.7	-3.8	-5.4	-5.3	-5.3	-5.3	-11.1	-11.1
5 区	-6.6	-7.1	-8.0	-7.1	-5.7	-5.7	-9.7	-11.2

表2 (续)
Tab.2 (Continued)

分区	重现期							
	1 a	2 a	5 a	10 a	20 a	25 a	50 a	100 a
6区	-4.5	-0.7	-0.6	-2.4	-3.6	-3.5	-5.7	-7.8
7区	-4.5	0.5	0.6	0.8	0.1	0.3	-5.7	-5.8
8区	-6.4	-7.8	-7.5	-7.0	-6.0	-4.7	-9.7	-9.6
9区	-4.4	-5.0	-2.9	-3.2	-5.5	-3.0	-8.1	-8.3
10区	-5.1	-5.5	-4.4	-4.3	-6.3	-4.8	-7.7	-9.5
11区	-5.6	-10.6	-14.0	-14.8	-13.5	-9.8	-11.4	-10.9
12区	-6.0	-10.4	-14.7	-18.6	-19.2	-16.5	-13.5	-12.8
13区	-5.6	-8.4	-11.3	-12.6	-8.0	-6.2	-8.9	-9.4
14区	-10.0	-3.7	-3.6	-3.8	-4.2	-4.1	-7.0	-8.1
15区	-1.7	-3.1	-4.9	-12.7	-15.7	-15.1	-14.1	-11.8

3 结论与展望

本文通过对20多年的卫星资料与50多年的数值模式数据进行综合分析,揭示了渤海海冰冰厚的时空动态变化及其对海冰区划的深远影响。研究表明:

①整个辽东湾海域50多年来的海冰年最大平整冰厚总体呈下降趋势,以辽东湾腹地区域为例,自1968年以来,海冰年最大平整冰厚度以0.2 cm/a速率递减。

②重现期最大平整冰厚变化呈现出明显区域差异,其中4~5区、11~12区及15区内各格点数据百年一遇冰厚平均值减少超过10 cm。

③现行的渤海海冰区划基于传统数据统计和经验模型,对冰厚动态变化考虑不足,导致单个冰区范围过大、重现期推荐值代表性有限。部分区划边界在冰厚突变区域设置不合理,局部冰厚突增会导致工程成本偏高。基于最新数据和分析结果,结合冰厚时空特征对现行渤海海冰区划进行修正,可进一步提升区划的工程适用性。

④当涉及具体的工程作业时,不同的工程点所处的微地理环境、水文条件、气象因素等都可能存在较大差异,单一的冰区推荐值很难满足工程对于海冰信息高精度的要求。因此,为保障工程作业的安全与顺利开展,针对特定工程点开展专门的海冰评估工作极为必要。借助专业的评估,可获取该工程点最准确的海冰参数,为工程的规划、设计与实

施,提供更具针对性和可靠性的决策依据。

基于最新数据和分析结果,须对现有渤海海冰区划重现期冰厚进行更新,这不仅对提高海冰预报精度具有重要意义,也为海上工程的安全设计提供了可靠依据。未来工作中,我们会进一步完善整个渤海和黄海北部的数据采集和模型参数化过程,推动海冰区划技术的不断进步和优化。

参考文献:

- [1] 刘煜, 吴辉碇. 渤、黄海的海冰[J]. 海洋预报, 2017, 34(3): 94-101.
LIU Y, WU H D. Sea ice in the Bohai Sea and the northern Yellow Sea[J]. Marine Forecasts, 2017, 34(3): 94-101.
- [2] 王安良, 赵倩, 隋俊鹏, 等. 渤海和黄海北部工程设计冰厚变化趋势分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2024, 45(4): 659-664.
WANG A L, ZHAO Q, SUI J P, et al. The trend of sea ice design thickness for the Bohai Sea and northern Huanghai Sea[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2024, 45(4): 659-664.
- [3] 屈衍, 张大勇, 许宁, 等. 《中国海冰条件及应用》与ISO 19906冰荷载规定比较[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2018, 39(4): 629-634.
QU Y, ZHANG D Y, XU N, et al. Comparison of the ice load regulations in ISO 19906 and the sea ice conditions and its application in China[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2018, 39(4): 629-634.
- [4] WANG A L, TANG M N, ZHAO Q, et al. Analysis of sea ice parameters for the design of an offshore wind farm in the Bohai Sea [J]. Ocean Engineering, 2021, 239: 109902.
- [5] WU H D, BAI S, LI H, et al. Modeling and forecasting of Bohai Sea ice[J]. Journal of Cold Regions Engineering, 2000, 14(2): 68-80.
- [6] 赵倩, 刘煜, 唐茂宁, 等. 2012-2013年冬季渤海海冰数值预报[J].

- 海洋预报, 2014, 31(2): 73-79.
- ZHAO Q, LIU Y, TANG M N, et al. Numerical sea ice forecast for the Bohai Sea in the winter of 2012-2013[J]. *Marine Forecasts*, 2014, 31(2): 73-79.
- [7] YUAN S, LIU C Y, LIU X Q, et al. Research advances in remote sensing monitoring of sea ice in the Bohai sea[J]. *Earth Science Informatics*, 2021, 14(4): 1729-1743.
- [8] MUDHOLKAR G S, SRIVASTAVA D K, FREIMER M. The exponentiated Weibull family: a reanalysis of the bus-motor-failure data[J]. *Technometrics*, 1995, 37(4): 436-445.
- [9] 吴辉碁, 杨国金, 张方俭, 等. 渤海海冰设计作业条件[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 12-22.
- WU H D, YANG G J, ZHANG F J, et al. Bohai Sea ice design and operation conditions[M]. Beijing: China Ocean Press, 2001: 12-22.
- [10] YANG G J. Bohai sea ice conditions[J]. *Journal of Cold Regions Engineering*, 2000, 14(2): 54-67.
- [11] 李志军, 卢鹏, SODHI D S. 基于海冰物理和力学参数的渤海冰工程分区[J]. *水科学进展*, 2004, 15(5): 598-602.
- LI Z J, LU P, SODHI D S. Ice engineering sub-areas in Bohai from ice physical and mechanical parameters[J]. *Advances in Water Science*, 2004, 15(5): 598-602.
- [12] 袁本坤, 曹丛华, 江崇波, 等. 我国海冰灾害风险评估和区划研究[J]. *灾害学*, 2016, 31(2): 42-46.
- YUAN B K, CAO C H, JIANG C B, et al. A study on risk assessment and zoning of sea ice disaster in China[J]. *Journal of Catastrophology*, 2016, 31(2): 42-46.
- [13] YAN Y, UOTILA P, HUANG K Y, et al. Variability of sea ice area in the Bohai Sea from 1958 to 2015[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 709: 136164.
- [14] 唐茂宁, 洪洁莉, 刘煜, 等. 气候因子对渤海冰情影响的统计分析[J]. *海洋通报*, 2015, 34(2): 152-157.
- TANG M N, HONG J L, LIU Y, et al. Statistical analysis of climatic factors impacting on the Bohai Sea ice[J]. *Marine Science Bulletin*, 2015, 34(2): 152-157.

Impact of sea ice thickness variation on engineering zoning in the Bohai Sea

XIE Botao¹, ZHANG Qi¹, TAN Haiyue¹, LI Wei¹, LI Baohui^{2,3}, LIU Yu^{2,3}, SUI Junpeng^{2,3*}

(1. CNOOC (China) Limited Beijing Research Center, Beijing 100028, China; 2. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China; 3. Key Laboratory of Marine Hazards Forecasting, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China)

Abstract: By integrating satellite image-extracted data with numerical sea ice forecasting data in the Bohai Sea, the spatiotemporal variation of level ice thickness since 1968 are analyzed, and their influence on current sea ice zoning practices is explored. The results show that sea ice thickness in the Bohai Sea changes dynamically, and the existing zoning standards exhibit certain limitations, necessitating adjustments and updates based on the latest data.

Key words: sea ice; Bohai Sea; sea ice zoning; ice thickness