

DOI:10.11737/j.issn.1003-0239.2017.03.012



第1讲 渤、黄海的海冰

刘煜, 吴辉碇

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘要: 介绍了渤、黄海海冰生消的演变过程、特点及影响因素, 分析了不同的海冰类型和表面特征; 对渤、黄海历史冰情、等级划分、冰期以及海冰漂移特点进行了简要的回顾。

关键词: 渤黄海; 冰情; 冰类型; 冰漂移

中图分类号: P731.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)03-0094-08

1 引言

渤海和黄海北部, 跨于 37° — 41° N之间, 属中纬度, 每年11月末到12月初海水开始冻结, 是世界上纬度最低的结冰海域。渤海及其滩涂区域业已发现丰富的油气资源, 而每年冬季海冰冻结和海冰漂移对油气勘探生产、海上航运和海洋养殖业等产生不同程度的影响和灾害, 历史上已发生石油平台倒塌, 船只受损, 航运受阻等严重灾害。自1969年特大冰封以来, 我国海冰的监测、预报和研究开始较全面地开展起来。通过一些现场观测和实验对渤海海冰物理、力学性质有了一定了解, 对冰与海上结构物相互作用的研究也有一定进展, 并结合工程实际为我国海上工程提供了所需的海冰环境设计参数。在现场观测基础上, 进一步开展了卫星和航空遥感技术和应用^[1-11]。在海冰热力学、动力学和流变学研究基础上, 发展了适合于渤海冰情的海冰动力-热力学模式, 建立海冰数值预报业务。随着气候变暖对渤海海冰的影响, 近年来更关注海冰与气候关系的研究。

本系列讲座首先回顾渤、黄海海冰的生消演变过程和历史冰情; 然后概述海冰热力学、动力学和流变学基本原理; 以及在此基础上发展的渤海海冰数

值模式和冰-海洋耦合模式; 进一步介绍我国渤、黄海海冰数值预报发展和业务化运行; 并探索全球变暖背景下渤、黄海海冰变化趋势。本文首先叙述渤、黄海海冰状况、历史冰情等级及特点。

2 渤海海冰状况

每年入冬, 我国渤海和黄海北部部分海域开始结冰, 随着一次次冷空气不断地入侵, 特别是强寒潮的爆发和持续, 海冰覆盖面积越来越明显地扩大、厚度不断增加, 翌年春季海冰逐渐融化, 直至消失。渤海的局地气候变化直接影响该海域海冰生消期和冰情强弱。很明显, 这类一年冰的冻结或融化, 增长或减弱都直接与当年冬季气候特征有着密切关系。渤海海域海洋和大气相互作用的物理过程直接决定了冰情及其演变。根据1951—2002年历史资料统计分析得到历年冬季大连月平均气温与渤海历年冰级对应关系(见图1), 明显地表示两者变化具有很强的相关。2001—2002年度大连冬季为50 a来第二个暖冬, 对应冰级是最轻的一年。

通常认为海水温度达到冰点海冰形成, 从液态转化为固态。然而实际上海面冰的出现和分布, 不

收稿日期: 2017-04-23; 修回日期: 2017-06-14。

基金项目: 国家自然科学基金(41676189, 41506109); 国家重点专项(2016YFC1401502)。

作者简介: 刘煜(1973-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事海冰预报和研究工作。E-mail: liuyu@nmefc.gov.cn

仅由表面海水降温所决定,而且与海水密度、盐度、水深、海水的湍流运动和冻结核有密切关系。渤海冰情显示,水深的影响是非常明显的,海水冻结都是从沿岸浅水海域开始,逐渐向深海发展。深海冰的形成和增长与海洋混合层的演变有密切关系。海洋边界层湍流运动促使秋末混合层明显加厚,直接影响冬初的海冰形成。

盐度对海冰形成的影响更复杂。冬季,渤海表层海水盐度一般在28~30之间,渤海中部盐度较

高,可达31以上,黄海北部表层海水盐度约在29~31之间。渤海是超浅海,冬季很容易混合到底。海水能从海面到深层以至底层同时结冰。然而,渤海南部黄河口附近海域,虽然气温偏高,但盐度低于24.695,表层海水容易冻结。渤海海冰形成过程很复杂,影响因子多。不仅直接依赖于冷空气入侵,降温强度、速率和持续时间,而且雪降落海面能加速海冰形成。不同海区,不同水文、气象状况,不同地理位置特点,皆直接影响该海区冻结和结冰速度。由观测资料统计,发现各海区每年冬季第一次出现海冰的日期即初冰日对应的平均气温差别很大。例如北黄海小长山和大鹿岛的初冰日的多年平均气温分别为-9.0℃和-6.5℃,而辽东湾北部鲅鱼圈为-4.3℃,明显小于北黄海,说明除气温降低促使海冰形成外,其它因子对海冰形成也具有显著影响。

海冰按其生长过程、存在形态和表面特征等分成不同类型。我国对海冰分类和定义曾经多次改变,根据我国海冰的特点,以世界气象组织发布的国际海冰术语和我国的海冰观测规范^[2]为标准,海冰类型可归纳如下。渤海和北黄海冰皆属一年冰,即每年入冬海冰形成,持续到次年春初完全消融。

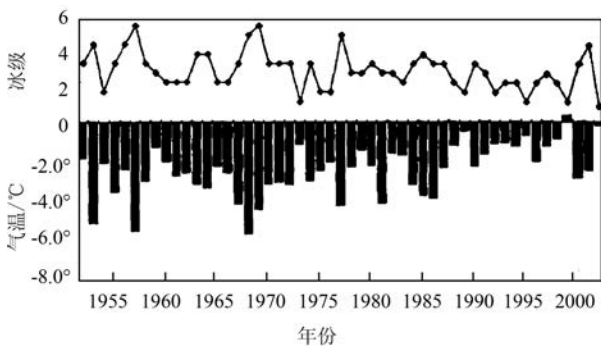


图1 1951—2002年渤海历年冰级(直方图)和大连历年冬季平均气温(曲线)对应关系(引自文献[12])

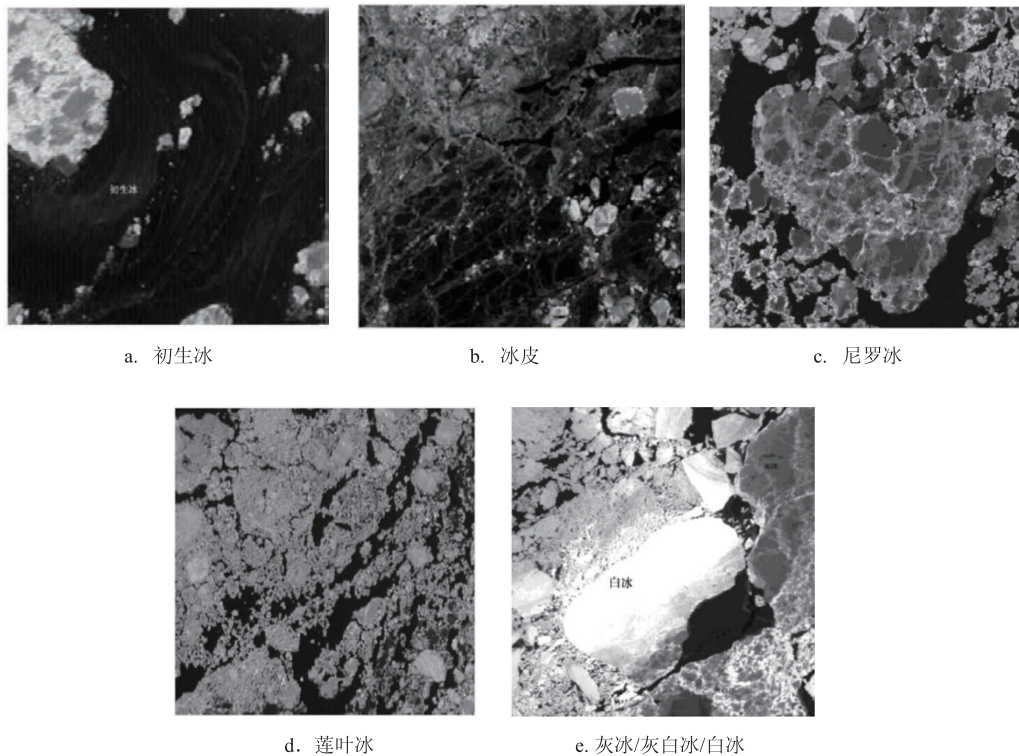


图2 渤海海冰几种典型冰型的图像(引自文献[13])。

根据冰的运动状态,将海冰分为固定冰和流冰两大类,海上最初出现的冰都是流冰,只有当冷空气入侵,海水热量散失到一定程度时,在海湾浅水处和岸边附近才有固定冰出现。通常黄海北部海岛附近固定冰很少,莱州湾龙口附近海区,固定冰也较少见。辽东湾各海洋站附近可明显观测到固定冰,且持续时间较长。

出现在渤海和流冰按其发展阶段、形态和厚度可分为7种,即:初生冰、冰皮、尼罗冰、莲叶冰、灰冰、灰白冰和白冰。其中后3种皆较厚,超过10 cm以上。利用“北京一号”小卫星高分辨率海冰图象^[13]给出这几种冰型的典型图象(见图2)。按其表面特征,具有未发生形变的“平整冰”;在风、浪、流、潮作用下形成堆积以及冰层相互重叠的“重叠冰”;任意杂乱无章堆积的“堆积冰”,堆积高度可达3 m;呈丘陵状的堆积冰即“冰丘”,堆积高度可达3~5 m;另外在渤海也可观测到典型的“冰脊”,其帆高与龙骨之比一般为1:7。图3是1988年在辽东湾采用声纳,观测到的冰脊剖面,其比约为1:3。

根据海冰表面特征,上述分类被用来推算海冰力学参数,估计海冰对结构物的作用,并且被用于预报模式的设计。

3 渤海和黄海北部冰情

随着海冰观测和监测技术的发展,各种观测手段所得渤海和黄海北部海冰资料被用于该海域冰情分析和物理力学性质研究;并按WMO发布的国际海冰术语和我国冰情特点将渤、黄海海冰分成若干类型和形状。研究了渤、黄海冰漂移、冰厚分布、

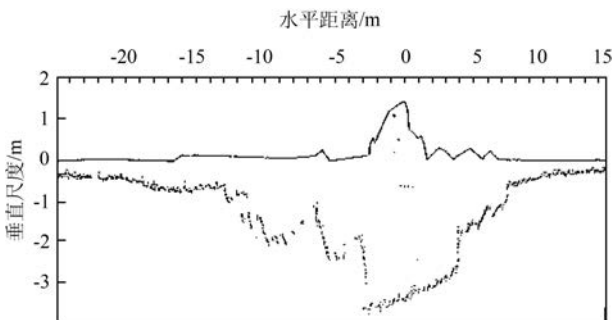


图3 1988年2月8日辽东湾(40°20'N, 121°41'E)冰脊剖面图(引自文献[14])

冰脊形成以及冰情的年际变化等特性。国家海洋局制定了5个冰情轻重等级供日常业务预报使用^[15-26]。

3.1 冰情和等级

每年冬季,渤海和北黄海部分海区都被冰覆盖。在渤海,每年从11月中旬—12月初由北开始冻结,然后向南扩展。翌年2月下旬—3月中旬,由南向北消失,冰期一般超过3个月。盛冰期间,渤海和黄海北部沿岸固定冰的宽度多在0.2~2 km之间,个别河口和浅滩区可达5~10 km。海中覆盖的冰几乎皆是流冰,在风、流和浪共同作用下漂移,在运动过程中形变,乃至破碎和堆积。冰间出现开阔水,称为水道,大面积开阔水域,又称为冰间湖。图4是根据1996年1月27日渤海NOAA卫星遥感图象分析得到冰厚分布^[27]。虽然该年是轻冰年,该图仍清楚地显示了渤海海冰分布的宏观特点。由于其分辨率低,不可能给出大范围海冰分布更细致的特点。图5是利用机载侧视雷达SLAR照片拼接成的1989年2月3日辽东湾海冰分布^[13],清晰地展现出该海域冰厚及水道的分布实况,显示出冰水相间的空间分布特点。除辽东湾外,渤海和黄海北部流冰外缘线大致沿10~15 m等深线分布。辽东湾流冰外缘线离北岸65~85海里,渤海湾和莱州湾离岸15~30海里,黄海北部离岸15~25海里。各海区流

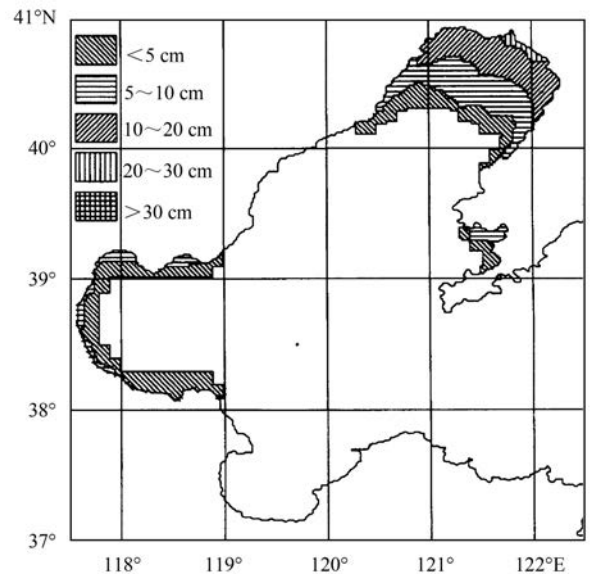


图4 1996年1月27日渤海NOAA卫星遥感图象分析冰厚分布(单位:m,引自文献[27])

冰覆盖范围随各年冰情轻重差别很大。随着我国卫星遥感技术发展,不断获得更清晰的,高分辨率的渤海海冰图象^[13]。利用“北京一号”小卫星获得2007年1月10日辽东湾清晰的海冰图象(见图6a),并给出当日冰型分布(见图6b)。

渤、黄海冰情存在着显著的日变化、月变化和年变化。冰情严重年份,冰对海上航运,开发等海上生产活动具有很大影响,甚至直接影响整个环渤海经济发展。为了提供海冰监测、预报和研究工作以及生产部门分析和比较各年冰情的标准,国家海洋局于1973年,主要根据1963年以来的海冰连续

观测资料,参考近百年来气温资料和历史海冰资料等,以海冰范围和厚度为标准,将渤海和黄海北部的冰情划分为I~V级,即冰情轻年、偏轻年、常年、偏重年和重年共5个等级。冰情等级的划分为海冰监测和预报工作及生产部门分析和比较各年冰情提供了标准。根据卫星遥感海冰图象,以及沿岸观测、飞机和船舶航测,综合绘制了渤海冰情5个等级分布图(见图7),示意表示了这5种不同程度冰情的基本特征。

轻冰年的冰情偏轻,如1972/1973年冬季冰情很轻。而一般年份冰情往往给海上作业带来一定影响。但在特别严寒的冬季是极为严重的。根据历史记载,1936、1947和1969年渤海曾发生过3次特别严重的冰情。

1969年2月中旬—3月中旬长达一个月的时间内,渤海发生本世纪有记载以来未曾有的特大冰封。从2月15日开始,流冰从渤海中部迅速向东扩展,2月20—23日流冰边缘延伸到渤海海峡以西约35 km处,2月27日—3月15日,除老铁山水道和猴矶水道外,整个渤海海面几乎全被海冰覆盖。根据当年几次船舶和航空观测的结果综合绘制的冰情图,定性地表该年冰情严重时期的概况。进一步利用当年船舶与飞机实测资料和岸站观测以及气象资料,采用海冰动力-热力模式^[28]进行后报得到整个渤海冰厚分布,图8定量地表示严重冰年的冰情特征。



图5 机载侧视雷达SLAR观测1989年2月3日辽东湾海冰分布(引自文献[3])

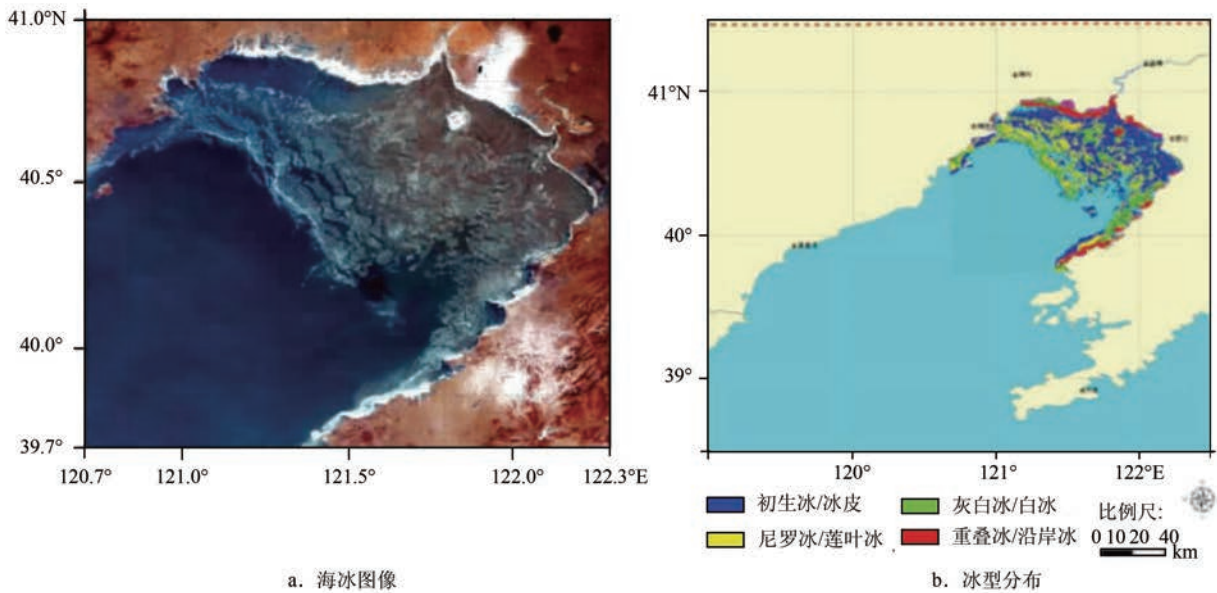


图6 “北京一号”小卫星2007年1月10日辽东湾海冰图象和冰型分布(引自文献[13])

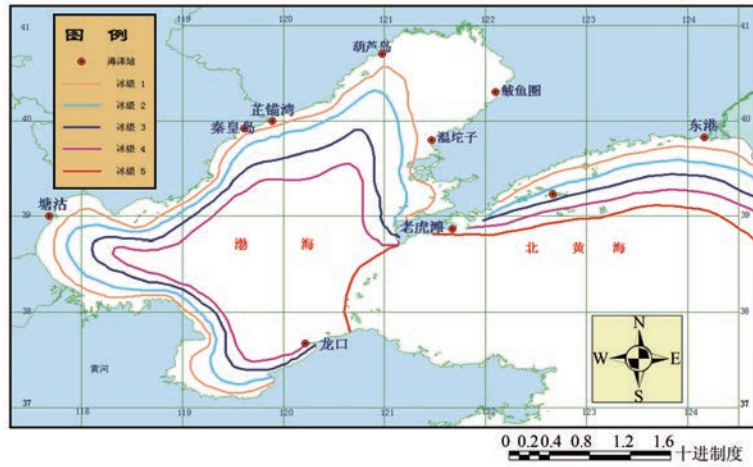


图7 渤海和黄海北部海冰冰情等级划分示意图

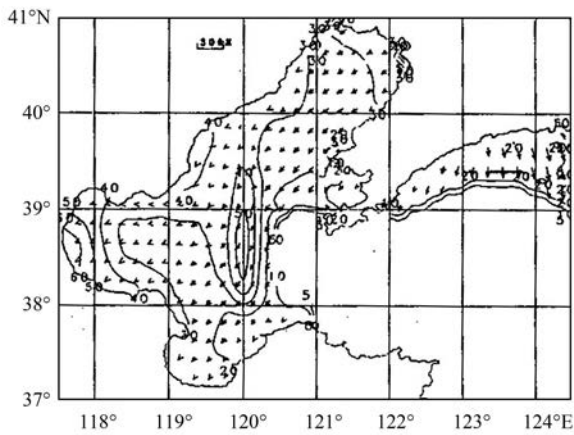


图8 1969年2月21日渤海冰厚分布
数值模拟 (引自文献[28])

3.2 冰期

渤海和黄海北部一年当中仅在冬季才出现海冰。每年初冬最早出现冰的日期成为初冰日,翌年初春冰最晚消失的日期称为终冰日,其间称为结冰期或总冰期或简称冰期。渤海和黄海北部的冰期约为3—4个月,其中以辽东湾冰期最长,黄海北部和渤海湾依次次之,莱州湾冰期最短。

辽东湾是渤海结冰最早的海域,也是终冰最晚的海域。初冰日最早出现于11月上旬,最晚出现于12月中旬,多年平均为11月下旬;终冰日最早为2月下旬,最晚为4月上旬,多年平均为3月中旬;冰期最长为150 d左右,其中1月中旬至2月中旬为盛冰期,最短为70 d左右,多年平均为100 d左右(见表1)。

按通常习惯,根据实测资料,考虑海冰和海上

表1 1963—2010年辽东湾冰期要素统计表

海冰要素	地点			
	鲅鱼圈	葫芦岛	芷锚湾	秦皇岛
冰期最长/d	149	124	147	136
冰期最短/d	67	41	45	47
初冰日最早	11月3日	11月17日	11月9日	11月9日
初冰日最晚	12月20日	1月2日	12月21日	12月24日
终冰日最早	2月17日	2月9日	2月11日	1月29日
终冰日最晚	4月7日	3月30日	4月4日	3月23日
初冰日平均	11月27日	12月16日	11月30日	11月30日
终冰日平均	3月17日	3月9日	3月7日	3月9日

注:根据国家海洋环境预报中心数据统计

生产与航运的关系,冰期被划分为3个阶段,即初冰期、盛冰期和终冰期。初冰期是海冰形成和发展时期,对于渤海黄海水域,在整个冰期,初冰期持续时间最长。它是指从初冰日到盛冰日时间间隔。所谓盛冰日通常定义为从这一天开始,海冰密集度(所考虑海区海冰覆盖所占比例,以十分之几表示,如全部被冰覆盖,其密集度或冰量为10)或冰量首次连续3 d等于或大于8,同时这3 d冰厚持续达到15~30 cm。由于渤海湾和莱州湾冰情较轻,为实用需要,通常将上述定义对这两个海区冰厚改为5 cm。

盛冰期是从盛冰日到融冰日时间间隔。每年冬季最后一次冰量或冰密集度连续3 d大于或等于8,同时连续3 d出现上述厚度薄冰,此3 d最后一天定为融冰日。盛冰期是一年中冰情最严重时期,也是一年中海冰对航运和海上生产影响最大的时期。每年冬季盛冰期长短不一,出现时间迟早也不一。通常辽东湾的盛冰期出现于1月上旬—2月中旬,持续接近2个月,黄海北部从1月中旬—2月中旬持续约1个多月,渤海湾盛冰期从1月上旬—2月上旬约1个月,而莱州湾盛冰期最短,在1—2月期间不足一个月。

终冰期也称融冰期,是指融冰日到终冰日之间时间间隔。它是整个冰期最短的一个阶段。此期间需特别注意由于海冰漂移,往往造成局地海域海冰厚度和密集度增大。更需注意终冰期渤海有时发生“返冻”现象,对海上生产活动和航运产生不同程度影响,甚至造成海冰灾害。

3.3 渤海海冰漂移

渤海和黄海北部除沿岸很少部分为固定冰所覆盖外,其余大部分为不断运动的流冰。不同尺度流冰在漂移过程中会产生形变,造成海冰断裂、堆积和水道形成。渤海和北黄海海冰漂移主要受潮流和风的驱动,如不考虑冰内应力的作用,即所谓“自由漂移”,但近岸冰漂移受海岸地形有很大影响。图9为破冰船跟踪流冰块路径,清楚地显示渤海流冰沿潮流椭圆主轴来回漂流。图10是由MODIS卫星遥感图象反演获得的渤海辽东湾冰速分布,并标出对应点风速矢量,清楚地显示风速对冰的驱动作用,主要决定海冰漂移速度和方向^[29]。根据1963年

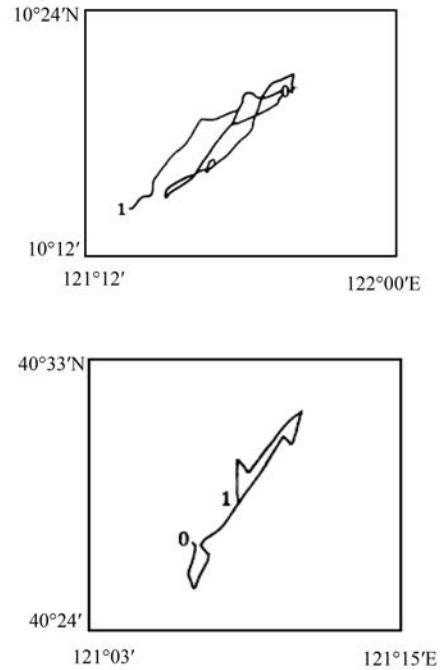


图9 破冰船跟踪所得流冰块路径

11月—1978年3月16 a资料统计^[1],平均冰漂移速度0.2~0.4 m/s。辽东湾北部东岸附近(以鲅鱼圈为例),流冰漂移平均速度约为0.4~0.5 m/s;最大达0.7~0.9 m/s,有些区域最大漂移速度甚至超过1.0 m/s,辽东湾北部西岸附近的平均速度为0.3~0.4 m/s,秦皇岛附近海域平均漂移速度仅为0.2 m/s,是各海区中最小的平均漂移速度,这主要由于该海区潮流速度较小。在渤海湾,各方向的平均速度较接近,均为0.3 m/s。而各方向最大冰速差别较大,大多为0.4~0.6 m/s,个别达1.1 m/s。莱州湾,以龙口附近海域为例,平均冰速多为0.2~0.4 m/s,最大为0.4~0.6 m/s,个别达1.0 m/s,黄海北部以大鹿岛附近海区为例,平均冰速多为0.2~0.3 m/s,最大为0.3~0.7 m/s,个别达1.1 m/s。

从一些海洋站观测到漂移方向的频率图可以看到,辽东湾东北部以鲅鱼圈海域为例,流冰漂移方向主要为NWW—SW。最大频率SWW方向为34.2%。辽东湾西北部以葫芦岛为例,流冰主要漂移方向偏西,其次为偏东方向。最大流向SWW的频率为19.7%。辽东湾的东南部,以长兴岛为例,流冰漂移主要方向为西南,频率为65.2%。其次为向

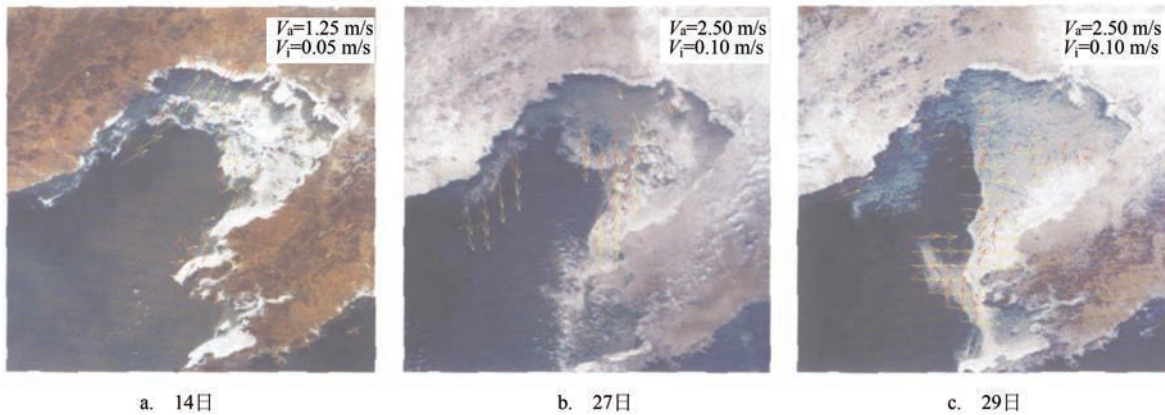


图10 由MODIS图像获得的2003年1月渤海辽东湾冰速分布和相应点的风速矢量(引自文献[29])。

北,频率为20.0%。辽东湾西南部,以秦皇岛为例,冰漂移主要指向SW(频率25.1%),其次为指向NEE(频率17.0%),偏西南方向频率显著大于偏东北方向的频率。渤海湾以塘沽为例,冰漂移方向比较分散,遍及各个方向。主要指向偏东南和西北方向,最大频率东南向为20.3%。莱州湾东北部以龙口为例,漂移方向主要集中在北到东北方向之间,最大频率NNE为34.1%,其次SWW方向频率为9.1%。黄海北部大鹿岛附近海域,主要漂移方向为偏西北和偏东南。最大频率方向NNW的频率为24.0%,SSE为15.0%。而小长山岛附近海域,冰漂移主要集中在东南、东和西南3个方向,最大频率SE为33.3%。

综合结果指出流冰漂移方向与海岸走向有着密切关系。在潮流和地形作用下,在近岸浅海冻结的冰,大多漂离至较远海域。在辽东湾沿岸流冰偏南方向频率均超过偏北方向频率,尤其东岸海域最明显。例如每年融冰季节,很少结冰的长兴岛附近海域出现大范围流冰。

4 讨论

1969年几乎整个渤海海域被冰覆盖,严重的冰情造成了“海二井”油气平台被推倒,“海一井”遭受严重破坏;1987年“海四井”烽火台被海冰推倒等严重冰灾,迫使人们更加关注海冰对海上结构的作用及其破坏。从20世纪80年代开始,开展了大量的海冰物理力学性质调查、观测和实验研究。

为适应海洋工程设计和生产的需要,根据渤海的海冰物理力学性质和环境条件制定了“海冰设计作业条例暂行规划”,为我国渤海冬季海上工程的海冰设计和生产作业条件提供依据^[4,11,30-32]。并且为本世纪环渤海经济圈冬季海上工程作业提供可靠的基础资料,也为未来北极航道和经济开发提供相关的海冰物理力学性质观测和研究的参考。渤海海冰表面特征和物理力学性质的观测和研究以及所获取的资料,不仅和冬季海上工程作业密切相关而且为海冰热力学、动力学和流变学研究提供基本资料,并且为渤海海冰数值模式的发展,以及数值预报业务的建立奠定基础。我们将在以下几讲较详细地阐述。

渤、黄海处于中纬度东亚的局地海域,20世纪80年代以来,我国学者通过大量历史资料分析,发现其生消冰期、覆盖范围和厚薄明显受全球气候变化影响,和AO与ENSO变化密切相关,而且更直接取决于东亚局地气候变化。但是至今还不清楚影响全球气候的AO和ENSO等因子如何改变西风带环流,如何改变几个活动中心环流变化的物理过程,从而决定东亚局地海域渤海海冰变化。

参考文献:

- [1] 张方俭. 我国的海冰[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 165.
- [2] 国家海洋局. 海滨观测规范[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 48-59.
- [3] 杜碧兰. 渤海航空遥感冰情图集[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 102.
- [4] 杨国金, 刘春厚, 张涛. 渤海海冰工程图集[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 102.

- [5] 吴培中. 海冰遥感研究和应用论文集[M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 82.
- [6] Yu Z, Tang C L, Preller R H, et al. Sea ice: observation and modelling[C]//Proceedings of 93's International Symposium on Sea Ice. Beijing: China Ocean Press, 1994: 303.
- [7] 中国海洋石油生产研究中心. 渤海海冰设计作业条件规定[M]. 北京: 中国海洋石油生产研究中心, 1998: 53.
- [8] 丁德文. 工程海冰学概论[M]. 北京: 海洋出版社, 1999.
- [9] 杨国金. 海冰工程学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 569.
- [10] 吴辉碇, 沈奚海莉, 沈洪道. 副极地海域冰动力学-渤海冰研究[J]. 海洋预报, 1999, 16(3): 1-122.
- [11] 吴辉碇, 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: 47-88.
- [12] 耿淑琴, 王旭. 2001-2002年冬季黄渤海天气气候特征及对渤海海冰的影响[J]. 海洋预报, 2002, 19(4): 38-47.
- [13] 李宝辉, 侯一筠, 孙从容, 等. "北京一号"小卫星图像在渤海海冰监测中的应用[J]. 海洋学报, 2013, 35(4): 201-207.
- [14] Yang G J, Jochmann P. Ice Survey in the Liao Dong Bay[R]. Hamburg: Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt, 1988.
- [15] 白珊, 刘钦政, 李海, 等. 渤海的海冰[J]. 海洋预报, 1999, 16(3): 1-9.
- [16] 白珊, 刘钦政, 吴辉碇, 等. 渤海、北黄海海冰与气候变化的关系[J]. 海洋学报, 2001, 23(5): 33-41.
- [17] 耿淑琴, 王旭. 拉尼娜持续年的渤海海冰[J]. 海洋通报, 2001, 20(2): 1-11.
- [18] 刘钦政, 黄嘉佑, 白珊, 等. 渤海冬季海冰气候变异的成因分析[J]. 海洋学报, 2004, 26(2): 11-19.
- [19] 李剑, 黄嘉佑, 刘钦政. 黄、渤海海冰长期变化特征分析[J]. 海洋预报, 2005, 22(2): 22-32.
- [20] 李春花, 刘钦政, 黄焕卿. 渤海、北黄海冰情与太平洋副热带高压的统计关系[J]. 海洋通报, 2009, 28(5): 43-47.
- [21] 唐茂宁, 刘煜, 李宝辉, 等. 渤海及黄海北部冰情长期变化趋势分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(2): 45-49.
- [22] 刘煜, 刘钦政, 隋俊鹏, 等. 渤、黄海冬季海冰对大气环流及气候变化的响应[J]. 海洋学报, 2013, 35(3): 18-27.
- [23] 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.
- [24] 周须文, 史印山, 车少静, 等. 1960-2013年渤海海冰大气环流异常特征[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(6): 130-134.
- [25] 祖子清, 凌铁军, 张蕴斐, 等. 未来中国近海海冰变化特征的预估研究[J]. 海洋预报, 2016, 33(5): 1-8.
- [26] 梁军, 陈长胜, 秦玉琳, 等. 1981-2011年中国近海海冰变化特征及其与东亚冬季风的关系[J]. 气象灾害防御, 2016, 23(3): 1-5, 13.
- [27] Huang R H, Wang Q, Jin Z G. Extraction of the sea-ice information from NOAA satellite imagery[C]//Proceedings of the 11th Asian Conference on Remote Sensing. Guangzhou, China, 1990.
- [28] 吴辉碇. 海冰的动力-热力过程的数学处理[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(4): 321-328.
- [29] 吴龙涛, 吴辉碇, 李万彪, 等. 渤海冰漂移对海面风场、潮流场的响应[J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 15-21.
- [30] 杨国金, 张涛, 刘春厚. 渤海海冰烈度区划[J]. 海洋石油, 1988(1): 54-61.
- [31] 杨国金. 渤海抗冰结构设计中的若干问题[J]. 中国海上油气(工程), 1994, 6(3): 5-10.
- [32] 董须瑜, 刘春厚. 关于辽东湾JZ20-2海区海冰设计条件的修改意见[J]. 中国海上油气(工程), 1989, 1(1): 36-44.

Sea ice in the Bohai Sea and the northern Yellow Sea

LIU Yu, WU Hui-ding

(National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China)

Abstract: The evolution process, characteristics and influencing factors of sea ice freezing and melting are introduced. Different sea ice types and surface features are also analyzed. Finally, the historical ice conditions, grades, glacial periods and sea ice drift characteristics are reviewed in the Bohai sea and the Yellow Sea.

Key words: the Bohai Sea and the northern Yellow Sea, ice condition, ice type, ice drift