

引用格式:刘成,车达升,李晓东.黄渤海海冰分布特征及其影响因子[J].资源科学,2019,41(6):1167-1175. [Liu C, Che D S, Li X D. Sea ice distribution and influencing factors in the Yellow Sea and the Bohai Sea during winter 2018[J]. Resources Science, 2019, 41(6): 1167-1175.] DOI: 10.18402/resci.2019.06.15

黄渤海海冰分布特征及其影响因子

刘成¹,车达升²,李晓东²

(1. 中国人民解放军91913部队,大连 116041;2. 中国人民解放军91550部队,大连 116023)

摘要:海冰是中国黄渤海冬季主要海洋灾害之一。为进一步认识黄渤海海冰分布特征和日变化机理,提高海冰短期预报水平,本文利用美国国家冰雪数据中心(NSIDC)MASIE海冰范围产品和欧洲中期天气预报中心(EC-MWF)ERA-interim再分析资料,统计了2018年冬季黄渤海海冰时空分布特征,并通过相关性分析,研究了日海冰面积与海洋气象因子的关系。结果表明:2018年冬季黄渤海海冰集中在辽东湾和朝鲜湾,海冰覆盖率随离岸距离的增加而降低;海冰变化经历了生成、维持和融化3个阶段,其中生成阶段明显长于融化阶段。39°N以北黄渤海日均海表温度(SST)、海面2 m气温(T_{2m})、海面2 m气温 $<-2^{\circ}\text{C}$ 积温(T_c)和海冰面积呈显著负相关关系,Pearson相关系数分别为 $-0.61(P<0.01)$ 、 $-0.52(P<0.01)$ 和 $-0.50(P<0.01)$ 。因此,39°N以北黄渤海海气界面的热力环境是影响黄渤海海冰面积的重要因素。另外研究发现在2018年黄渤海海冰生成发展阶段,海冰面积共出现两次异常减少,这两次日海冰面积异常减少主要是由海区前一日升温和偏南风造成的。

关键词:MASIE海冰产品;时空分布;海洋气象因子;相关分析;黄渤海

DOI: 10.18402/resci.2019.06.15

1 引言

黄渤海位于41°N以南的亚欧大陆东侧,作为北半球最南端的季节性海冰区,黄渤海每年冬半年(11月至翌年3月)都会出现结冰现象^[1]。海冰的存在能够减轻冬季风暴对黄渤海海岸的破坏,保护当地生态环境^[2];海冰作为淡水资源加以开发利用,可以部分解决沿岸地区淡水缺乏问题^[3-5];同时海冰一直是冬季影响中国渤海和黄海的最主要的海洋灾害之一^[6],对渤海与黄海北部的水产养殖、海洋导航、海上石油生产和其他海事活动造成了严重危害^[7]。为更加有效地利用海冰资源,减小海冰灾害造成的影响,众多学者对黄渤海海冰时空分布特征、冰情影响因子和海冰灾害进行了卓有成效的研究。黄渤海海冰分布特征和冰情影响因子方面,如王萌等^[8]利用卫星资料分析了1996—2011年冬季渤海海冰的时空分布,从多年平均状况来看,渤海海冰主要

集中在辽东湾,且年际变化较大,单日海冰面积最大年份的日最大冰面积均超过3万 km^2 ,单日海冰面积最小年份的日最大冰面积均不超过1万 km^2 ,且海冰面积与营口站气温积温及气温之间均呈负相关关系;王相玉等^[9]利用冬季大连和丹东气温,研究了黄渤海冰情的时空分布和年代际变化特征,指出受冬季气温升高的影响,20世纪80年代中期至21世纪初黄渤海冰情较轻;郑冬梅等^[10]根据年尺度渤海冰情等级资料,探讨了ENSO和PSO对海冰的影响,指出春季ENSO和PSO是渤海冰情年代际变化的影响因素;刘钦政等^[11]选取渤海冰情等级资料和大气环流74项指数逐月资料,研究该地区冰情年代际变化及冰情的气候成因,指出西太平洋副热带高压是影响渤海海冰冰情变化的主要因子。上述文献表明,黄渤海海冰表现出很大的年际或年代际变化,海洋大气强烈影响着黄渤海冰情。海冰灾害方面,王相玉

收稿日期:2018-08-08,修订日期:2019-01-25

作者简介:刘成,男,山东德州人,硕士,高级工程师,主要研究方向为水文气象保障。E-mail: lc5097@163.com

通讯作者:车达升,男,江苏连云港人,硕士,工程师,研究方向为水文气象装备保障。E-mail: weatheryubao@163.com

等^[12]给出了渤海、黄海60年来海冰灾害的基本状况,统计显示渤海黄严重和比较严重的海冰灾害大致每5~6年发生一次,而局部区域出现的海冰灾害几乎每年都会发生。

以往研究大多利用卫星反演或冰情等海冰资料来分析黄渤海海冰的时空变化特征。考察海洋气象对海冰影响时,也多选用黄渤海近岸站点气温数据,关注的重点往往是年代际、年际时间尺度上海洋气象因子对黄渤海海冰的影响,这些研究为中期和长期黄渤海海冰预报奠定了基础;然而,短期内黄渤海海冰覆盖范围的时空分布和变化对海洋石油开采、交通运输和海上工程施工等人类活动的影响更为直接^[1],目前,在天气尺度上,应用黄渤海海区海洋气象再分析资料研究海气界面热力和动力环境对黄渤海海冰影响的文献相对较少。另外,在海冰灾害研究中大多关注融冰期的海冰“返冻现象”,而对于海冰生成发展阶段海冰面积的异常减少研究极少。本文利用MASIE(Multisensor Analyzed Sea Ice Extent)多源数据合成海冰产品展示了2018年度黄渤海海冰空间分布特征;结合同期欧洲中期天气预报中心(ECMWF)ERA-interim再分析资料,通过相关性分析,研究了日尺度海冰面积与区域平均海表温度(Sea Surface Temperature, SST)、海面2 m气温(T_{2m})、海面10 m经向风(V_{10m})和海面2 m气温 $<-2^{\circ}\text{C}$ 积温(T_c)之间的相关性;同时分析了海冰生成发展阶段日海冰范围异常减少的热力与动力归因。本文能够加深人们对黄渤海海冰短期时空变化规律的认识,可为黄渤海海冰短期预报提供参考。

2 研究区域概况、资料及方法

2.1 研究区域概况

渤海是一个陆架浅海盆地,凹入中国大陆,其东南有辽东半岛和山东半岛合围,海底地势从辽东湾、渤海湾、莱州湾向渤海中央及渤海海峡倾斜。渤海平均水深18 m,沿岸区水深均在10 m以内^[13];黄海通过渤海海峡与渤海相连,黄海北部主要有朝鲜湾,朝鲜湾潮流沙脊群众多,0~40 m等深线呈同步场状分布,沙脊呈NE向排列^[14]。渤海以及黄海北部沿岸海域,由于深度较浅,滩涂面积大,入海河流多,海水盐度较低,每年冬季该海域都会出现不同

程度的结冰现象。

2.2 资料

美国国家冰雪数据中心(NSIDC)MASIE海冰范围数据是基于被动式微波辐射计、可见光/近红外和合成孔径雷达等多种数据源的日尺度人工融合分析资料。本文选取其1 km²空间分辨率的数据集^[15]。当一个像素点中有不少于40%的范围被海冰覆盖时,定义该像素点为有冰;当少于40%的范围被海冰覆盖时,定义该像素点为无冰;日海冰面积为所有有冰像素点面积之和。MASIE海冰产品基于多个数据源的人工手动同化而不是给定的自动算法,相对于SSM/I和SSMIS等其他单一来源的海冰范围数据,MASIE产品具有理想的时空分辨率和可信度,能够较好地解释季节内海湾、海峡、海岸线和边缘冰区的冰情及其变化^[16-18]。本文选取2017年11月至2108年3月黄渤海日尺度海冰面积数据文件和显示海冰范围的可视化图像文件作为研究的数据源。

海洋气象数据采用与海冰资料同期的欧洲中期天气预报中心(ECMWF)ERA-interim日尺度再分析资料^[19],其水平分辨率为0.125°;选用参数包括黄渤海海区海表温度(SST)、海平面2 m气温(T_{2m})和海平面10 m经向风(V_{10m}),各参数具体含义参阅Kalnay等的文献^[20],这3种参数用于诊断海洋气象因子与海冰面积的关系。

2.3 方法

研究黄渤海海冰空间范围分布特征时,采用海冰覆盖率的方法。利用日尺度黄渤海海区MASIE图形(PNG)文件,考察每个像素点海冰有无情况,如果存在海冰,则记为1个海冰日,将该像素点的海冰日进行累积,然后求取累积海冰日数与年度冰期的百分比,得到各个像素点的年度海冰覆盖率,记为 P_{ice} ,具体算法公式如下:

$$P_{ice} = \sum_{i=1}^N D_i / N \times 100\% \quad (1)$$

式中: D_i 为第*i*日该像素点上海冰有无情况,如果存在海冰,则 $D_i=1$,否则, $D_i=0$;N为年度冰期,为黄渤海海冰从出现到消失所经历的日数。

海冰面积日变化 ΔSIE 为当日海冰面积减去前一日海冰面积, ΔSIE 正值表示日海冰面积增大,负

2019年6月

值表示日海冰面积减小。

积温能够较好反映出气候对某一自然过程的温度条件或热量资源状况,特定区域海冰的形成与冰点以下海表气温积温有直接的关系^[21];由于黄渤海年平均盐度值介于30.0‰~32.0‰,海水冰点可设定在 -2.0°C ^[22],本文将区域日平均海面2 m气温 $<-2.0^{\circ}\text{C}$ 的温度累加值作为海面2 m气温积温(T_i),研究其对海冰的影响。

为评估海冰与潜在海洋气象因子之间的相关关系,本文采用Pearson相关方法进行诊断分析。通过从逐日原始值中减去由线性最小二乘法确定的趋势值来计算海冰面积和潜在海洋气象因子去趋势时间序列的相关系数^[23],其中区域海洋气象因子的日均值是研究区域ERA-interim数据各格点上的日算数平均值。

3 结果与分析

3.1 年度海冰覆盖率空间分布

黄渤海 MASIE 图形文件显示,2017年11月27日海冰首先在朝鲜湾新安州近岸的浅水低盐度水域形成,2018年1月28日黄渤海日海冰范围达到一年中的最大值46282 km²,整个辽东湾和朝鲜湾基本被海冰覆盖,渤海湾、莱州湾海冰离岸距离达到10 km以上,3月11日海冰从辽东湾完全消失,2018年黄

渤海冰期结束,整个冰期为105天。图1展示了2018年度黄渤海各海区海冰覆盖率,2018年度海冰多存在于黄渤海的近岸和北部海湾,其中辽东湾和朝鲜湾海冰覆盖率最高,在渤海中部和39°N以南的黄海基本没有海冰出现。朝鲜湾海冰覆盖率呈平行于海岸线的条带状分布,随着海冰离岸距离的增加,海冰覆盖率逐渐降低。辽东湾海冰覆盖率最大出现在辽东湾湾底,其次是辽东湾东岸,辽东湾西岸海冰覆盖率远低于同纬度东岸的海冰覆盖率。辽东湾东岸海冰覆盖率高於西岸的原因可能是在渤海北部的辽东湾存在一顺时针方向的海流场,有助于辽东湾西岸海冰向东岸聚集^[24];另外,渤海湾冬季盛行的北风和西北风驱动辽东湾西岸海冰作离岸漂移,辽东湾东岸海冰向近岸运动,西岸海冰飘移和东岸海冰堆积,从而造成海冰覆盖率在辽东湾东、西岸之间的差异。

3.2 日海冰面积与海洋气象因子的关系

图2展示了2017年11月27日至2018年3月11日黄渤海逐日海冰面积。2018年黄渤海日海冰面积呈现出先增大后减小的趋势,整体上可分为3个阶段:第一阶段,从海冰在朝鲜湾出现至2018年1月28日海冰面积达到年度最大值,共经历60天左右,属于年度海冰的形成和发展阶段;第二阶段,从

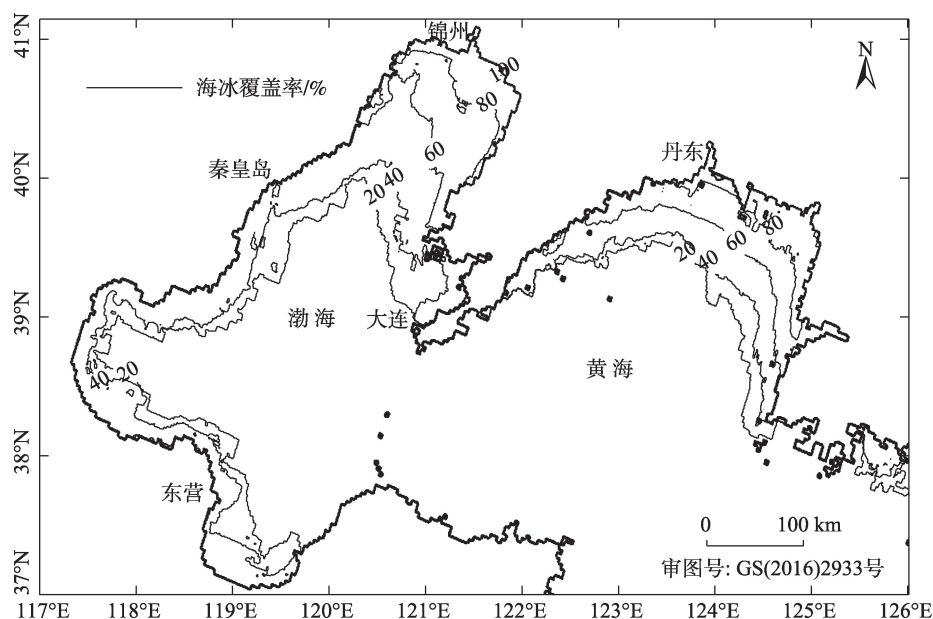


图1 2018年冬季黄渤海海冰覆盖率

Figure 1 Spatial distribution of sea ice in the Yellow Sea and the Bohai Sea, winter 2018

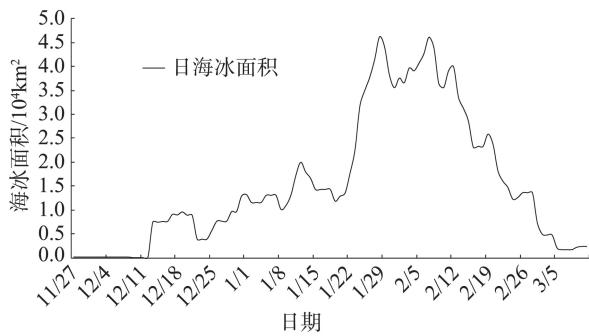


图2 2017年11月27日—2018年3月11日黄渤海
日海冰面积

Figure 2 Daily sea ice extent in the Yellow Sea
and the Bohai Sea, 2017.11.27-2018.3.11

2018年1月28日至2月7日,日海冰面积在最大值附近波动,处于一年中的盛冰期;第三阶段,从2018年2月7日持续到3月12日,日海冰面积随着时间推移迅速减少,属于融化期,融化期持续35天。2018年冬季黄渤海冰生长发展期明显长于其融化期,表明2018年黄渤海海冰形成和融化在时间上的不对称,这与渤海海冰多年平均生长期、融化期比例关系一致^[25]。

分析日尺度海冰面积与海洋气象因子的关系。由图1可知,2018年黄渤海海冰集中在39°N以北的辽东湾和朝鲜湾,本文使用39°N以北黄渤海区的海洋气象再分析资料研究其对海冰面积的影响。图3给出黄渤海日海冰面积 SIE 和39°N以北黄

渤海日均 SST 、 T_{2m} 、 T_c 和 V_{10m} 时间序列。2017年11月27日至2018年2月7日,区域日平均 SST 呈单调的线性降低趋势,其下降速率维持在 $-0.12^{\circ}\text{C}/\text{天}$;2018年2月7日,39°N以北黄渤海日均 SST 降至 -1.1°C ,达到整个冰期的 SST 低值,区域日平均 SST 持续降低的时段与黄渤海海冰发展和维持的时期相吻合,表明:39°N以北黄渤海 SST 的降低有利于黄渤海海冰的发展和维持;2018年2月8日至3月12日,区域日平均 SST 维持在 -1°C 上下,日变化不明显。该时段区域日平均 SST 没有出现明显升高趋势,其原因可能是海冰融化从海表吸收了热能,这种反馈对 SST 维持在一定水平起到促进作用。区域日平均 T_{2m} 在整个冰期大部分时间内通常 $<0^{\circ}\text{C}$,对比逐日区域平均 T_{2m} 与 SIE ,发现: SIE 对 T_{2m} 变化的响应比较直接,通常 T_{2m} 升高(降低)时 SIE 将减小(增大);当区域日均 T_{2m} 处于 -5°C 以下时,无论 T_{2m} 升高还是降低,海冰面积都会持续扩大,这说明当 T_{2m} 在低位震荡时,海冰面积会持续增加。区域平均 $<-2^{\circ}\text{C}$ 积温 T_c 在2017年11月底到2018年1月中旬降低相对平缓,此时段,海冰面积缓慢增加;2018年1月下旬,积温 T_c 降低至 -120°C 以下,此后积温降低速度加快,与之相对应,海冰面积迅速扩大,达到年内最大值;区域平均 $<-2^{\circ}\text{C}$ 积温 T_c 达到一定值后的迅速降低对海冰面积的快速增加起到了促进作用。区域日平均 V_{10m} 在整个冰期呈现两种形式,2018年2月7日之前,以北

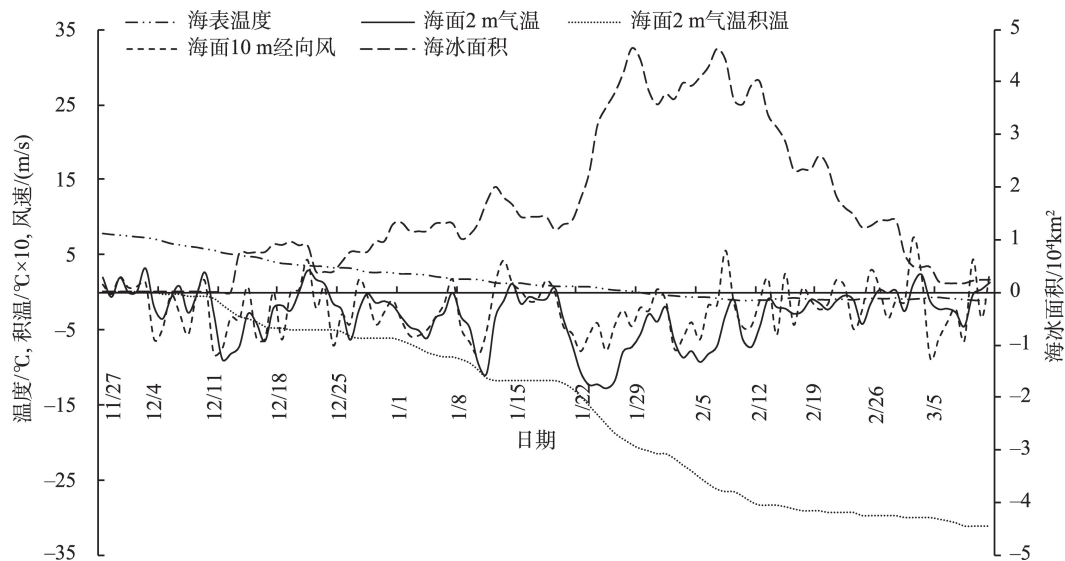


图3 海冰面积、海表温度、海面2 m气温、海面2 m气温积温和海面10 m经向风时间序列

Figure 3 Time series of SIE , SST , T_{2m} , T_c , and V_{10m} , 2017.11.27-2018.3.11

2019年6月

向风(负值)为主,南向风(正值)出现次数较少,北向风与南向风出现日数的比值大约是3:1,即使出现南向风,其持续时间也较短;北向风的存在不仅能将高纬度的冷空气带到黄渤海海区,而且还可以促使辽东湾和朝鲜湾的海冰作离岸运动,使海冰范围不断扩大;2018年2月7日之后,南向风明显增多,北向风与南向风日数之比降至2:1,与之相对应,海冰面积呈现减少的趋势。

进一步考察黄渤海日海冰面积与海洋气象因子的相关性,计算去除趋势后 SIE 与 SST 、 T_{2m} 、 T_c 及 V_{10m} 的相关系数,结果见表1(括号内为 P 值)。2018年黄渤海日海冰面积与同期 39°N 以北海区平均 SST 、 T_{2m} 和 T_c 相关系数分别为 -0.61 ($P<0.01$)、 -0.52 ($P<0.01$) 和 -0.50 ($P<0.01$),呈显著负相关关系,说明 SST 、 T_{2m} 和 T_c 是影响海冰面积的重要因子。日海冰面积与海区平均 V_{10m} 相关系数仅为 -0.11 ($P=0.30$),表明二者之间缺少关联;这主要是由于风场自身随机性较强,它会随天气系统的移动和大气环流的转变而发生迅速的变化,其空间分布并不像温度那样

表1 海冰面积 SIE 与 SST 、 T_{2m} 、 T_c 和 V_{10m} 的 Pearson 相关系数(括号内为 P 值)

Table 1 Pearson correlations between SIE and SST , T_{2m} , T_c , V_{10m} (P values are in parentheses)

| 变量 | SST | T_{2m} | T_c | V_{10m} |
|----------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 相关系数 | $-0.61(<0.01)$ | $-0.52(<0.01)$ | $-0.50(<0.01)$ | $-0.11(0.30)$ |
| (P 值) | | | | |

具有明显的规律性。

3.3 日海冰面积异常减小原因分析

从海冰面积日变化曲线来看(图4),无论在冰发展阶段还是在融化阶段,海冰面积都不是线性递增或递减的;海冰发展阶段存在日海冰面积的减少,同样海冰融化阶段也存在日海冰面积增大的情况。以往文献^[12,26]表明:黄渤海海冰在融化阶段会出现“返冻现象”,即在海冰融化的海区重新出现海水凝结成冰,从而造成海冰异常扩大的情况。那么黄渤海海冰在发展阶段是否也存在日海冰的异常减少?研究日海冰面积的异常减少,可为海上作业、舰船航行时机的选择提供参考。图4中虚线是日海冰面积变化的标准偏差($\delta=2591\text{ km}^2$)指示线,可见,2018年黄渤海海冰发展阶段日海冰面积出现过两次异常减少,分别是2017年12月21日—22日和2018年1月7日—8日;日海冰面积分别减少了 4992 km^2 和 2937 km^2 。图5给出了这两次海冰范围减少发生的区域,实线表示当日海冰外缘线,虚线表示前一日海冰外缘线,2017年12月21日—22日海冰范围减少出现在辽东湾湾底附近和辽东半岛至朝鲜半岛的黄海北部近岸,2018年1月7日—8日海冰范围减少的区域主要集中在辽东湾。

从海温、气温及海面风场等因素分析日海冰面积异常减少的可能原因。这两次日海冰面积异常减少前两天, 39°N 以北黄渤海平均 SST 在 2°C 以上

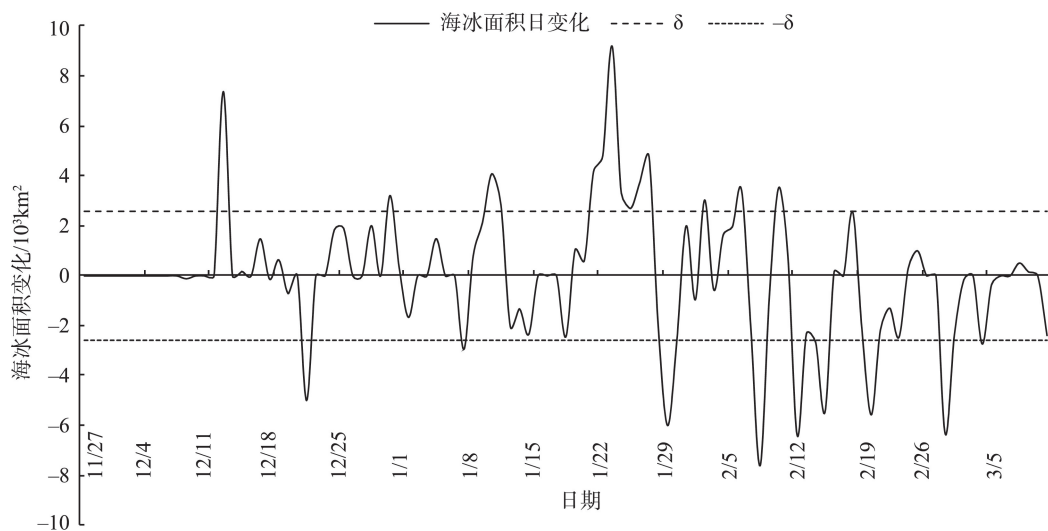


图4 2018年黄渤海日海冰变化

Figure 4 Daily variation of sea ice extent (SIE) in the Yellow Sea and the Bohai Sea, 2018

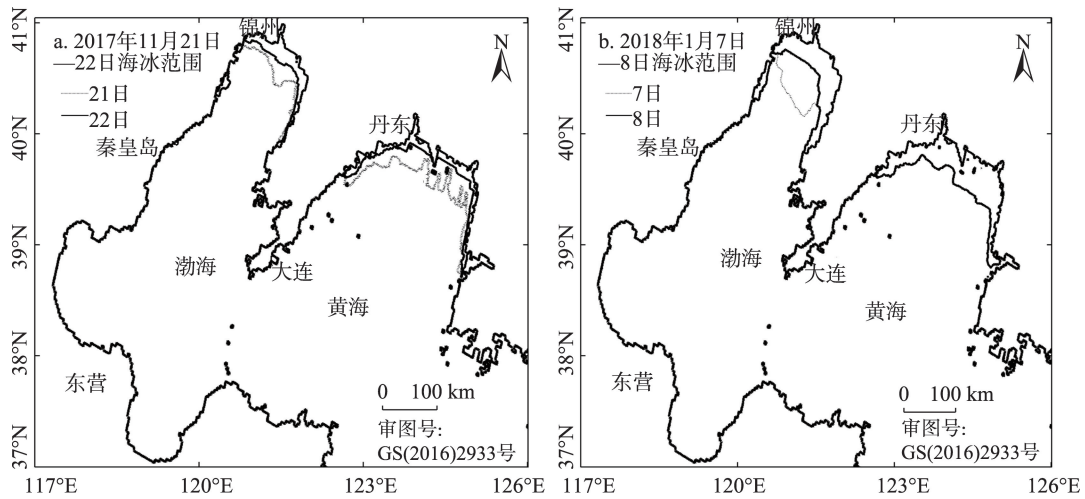


图5 海冰范围日变化

Figure 5 Daily change of the sea ice extent (SIE)

(图3所示),辽东湾和黄海北部海冰融化区 SST 相对稳定,日变化小于 0.1°C (图略)。黄渤海日平均 T_{2m} (图6)显示:2017年12月20日—22日,黄海北部和渤海绝大部分海区 T_{2m} 在 0°C 以上;从20日—21日辽东湾和黄海北部 T_{2m} 升高 3°C 左右,但在海冰异常减少的当日(22日),这两个海区 T_{2m} 较前一日未出现显著升高,相反出现 2°C 的降温。第二次海冰面积异常减少过程中, T_{2m} 变化特征与第一次相似,表现为:2018年1月7日较6日黄渤海 T_{2m} 升高 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,海冰明显减少的辽东湾 T_{2m} 升高至 0°C 以上,海冰范围无明显变化的朝鲜湾 T_{2m} 维持在 -1°C 以下,1月8日,辽东湾和朝鲜湾 T_{2m} 较前一日降低明显。可见,海冰

对 T_{2m} 的响应存在滞后性,日海冰的异常减少与冰区前一日升温关系密切。海冰发展阶段的两次海冰异常减少均发生在 $T_{2m} > 0^{\circ}\text{C}$ 且 T_{2m} 由升高向降低转变的时期。

图7是与图6对应时间的海面10 m风场。海冰异常减少的前两天,2017年12月20日和2018年1月6日黄渤海海面风场差异较大。前一天,2017年12月21日辽东湾和朝鲜湾是一致的西南风,风速在 6 m/s 以上,2018年1月7日辽东湾海面风场也是西南风,风速 $5\sim 6\text{ m/s}$,朝鲜湾呈反气旋风场,风速较小,不足 2 m/s ;虽然上文分析表明 39°N 海区平均 V_{10m} 与海冰范围相关性不明显,但在这两次海冰异

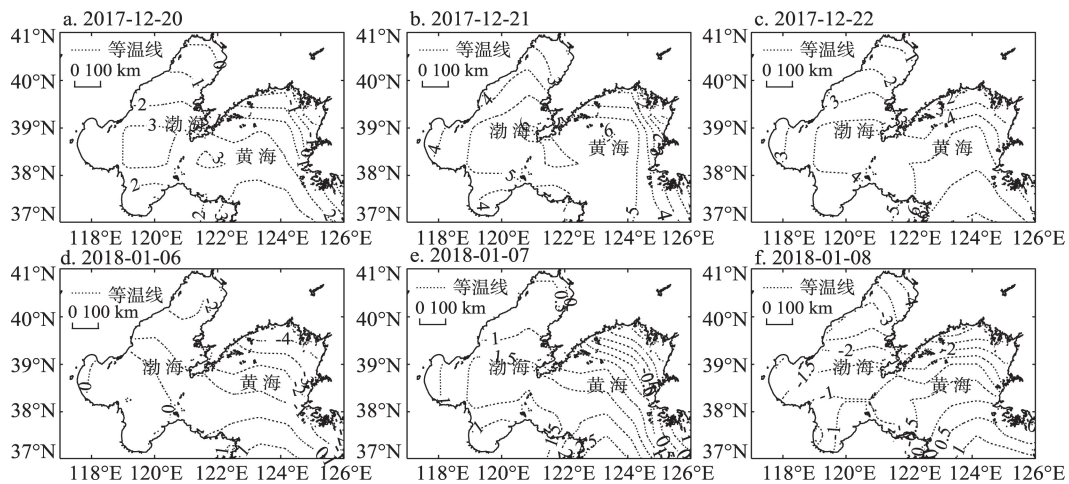


图6 黄渤海海面2 m日平均气温(审图号: GS(2016)2933号)

Figure 6 Daily T_{2m} in the Yellow Sea and the Bohai Sea

2019年6月

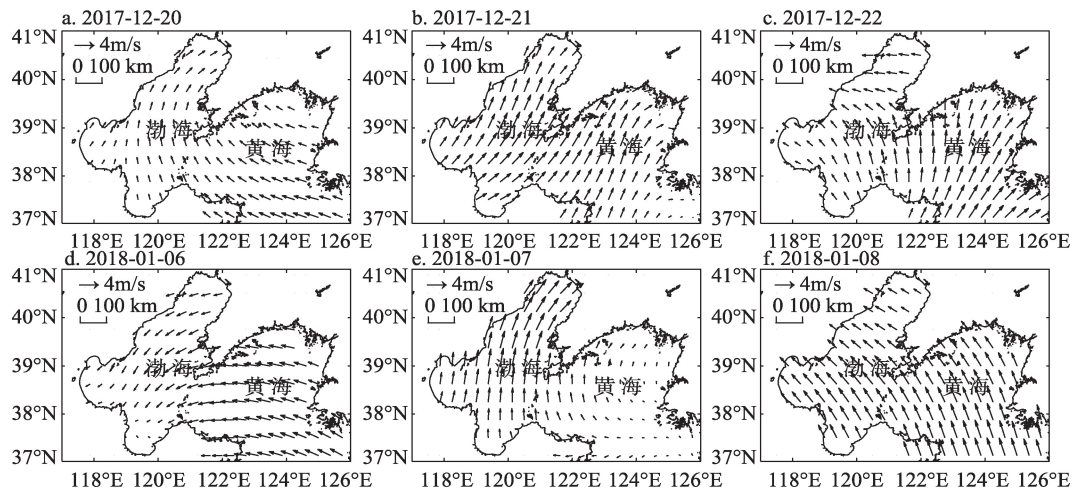


图7 黄渤海海面10 m风场(审图号: GS(2016)2933号)

Figure 7 Wind at 10 meter height in the Yellow Sea and the Bohai Sea

常较少个例中,前一日辽东湾和朝鲜湾一致的西南风直接作用于海冰,推动海冰向近岸收缩,同时将暖湿空气向北输运,促使海面升温,增大空气向海面的热量通量,利于海冰的融化。海冰异常减少的当日,辽东湾开始转为东北风,表明北部冷空气逐渐影响黄渤海海区。

4 结论

海冰是中国黄渤海冬季主要海洋灾害之一,本文利用高时空分辨率的美国MASIE海冰产品对2018年黄渤海海冰时空分布及日变化特征进行了细致分析,并结合欧洲ERA-interim再分析资料,深入探讨了海冰发展阶段2次海冰面积异常减少过程的动力热力原因,结果表明:

(1)2018年黄渤海海冰冰期始于2017年11月27日,终于2018年3月11日,2018年1月28日海冰面积最大,达46282 km²;2018年黄渤海海冰主要集中在辽东湾和朝鲜湾,海冰覆盖率随离岸距离的增加而降低;海冰变化经历了生成、维持和融化三个阶段,其中生成阶段(约60天)明显长于融化阶段(约35天)。这些研究与前人研究结论比较一致,也表明MASIE海冰产品用于黄渤海海冰研究有较好的应用价值。

(2)2018年黄渤海日海冰面积与39°N海区平均海表温度、海面2 m气温、海面2 m气温<-2℃积温存在明显的相关性;本研究表明:39°N以北黄渤海海气界面的热力环境是影响黄渤海海冰面积的

重要因素。

(3)在海冰日变化方面,前人研究多关注于海冰消融阶段的“返冻”现象,本文分析发现海冰在发展阶段也存在异常减少现象,这种异常现象应引起有关部门和研究人员的的高度重视。在2018年黄渤海海冰发展阶段,出现过两次日海冰的异常减少,这两次海冰异常减少是由海区前一日明显的升温 and 偏南风等热力动力因素造成的。

海冰的分布及演变是海洋气象和海洋水文等多种因素共同作用的结果,未来可利用海浪、海流等资料进一步探讨其机理,为海冰的短期预报提供理论支撑。

参考文献(References):

- [1] David N T. Sea Ice[M]. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2017.
- [2] Shokr M, Sinha N. Sea Ice: Physics and Remote Sensing[M]. Hoboken: American Geophysical Union, 2015.
- [3] 史培军, 顾卫, 王静爱, 等. 海冰资源淡化研究与利用技术开发[J]. 资源科学, 2010, 32(3): 394-404. [Shi P J, Gu W, Wang J A, et al. Development of technology for sea ice desalination and utilization of sea ice resources[J]. Resources Science, 2010, 32(3): 394-404.]
- [4] 李澜涛, 刘成玉, 顾卫, 等. 渤海海冰淡化利用研究进展与问题[J]. 海洋通报, 2012, 31(1): 105-112. [Li L T, Liu C Y, Gu W, et al. Research progress and problems in desalination and utilization of sea ice in Bohai Sea[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(1): 105-112.]
- [5] 颜钰, 徐粒, 许映军等. 基于MODIS的渤海海冰资源量估算[J].

- 资源科学, 2017, 39(11): 2166–2175. [Yan Y, Xu L, Xu Y J, et al. The estimate of sea ice resources in the Bohai Sea based on MODIS data[J]. Resources Science, 2017, 39(11): 2166–2175.]
- [6] 武浩, 夏芸, 许映军, 等. 2004年以来中国渤海海冰灾害时空特征分析[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(5): 81–87. [Wu H, Xia Y, Xu Y J, et al. Analysis of spatiotemporal characteristics of sea ice disaster in the Bohai Sea since 2004[J]. Journal of Natural Disaster, 2016, 25(5): 81–87.]
- [7] Gu W, Liu C Y, Yuan S, et al. Spatial distribution characteristics of sea ice hazard risk in Bohai, China[J]. Annals of Glaciology, 2013, 54(62): 73–79.
- [8] 王萌, 武胜利, 郑伟, 等. 长时间序列卫星遥感渤海海冰时空分布特征及与气温关系分析[J]. 气象, 2016, 42(10): 1237–1244. [Wang M, Wu S L, Zheng W, et al. Temporal spatial distribution of Bohai Sea Sea ice in long time series and its correlation with air temperature[J]. Meteorological Monthly, 2016, 42(10): 1237–1244.]
- [9] 王相玉, 张惠滋, 严素, 等. 渤、黄海北部海冰年代时空变化特征分析[J]. 海洋预报, 2007, 24(2): 26–32. [Wang X Y, Zhang H Z, Yan S, et al. The characteristic of the spatio-temporal transformation of the sea-ice in northern part of the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. Marine Forecasts, 2007, 24(2): 26–32.]
- [10] 郑冬梅, 王志斌, 张书颖, 等. 渤海海冰的年际和年代际变化特征与机理[J]. 海洋学报, 2015, 37(6): 12–20. [Zheng D M, Wang Z B, Zhang S Y, et al. Interannual and interdecadal variations of the sea ice in Bohai Sea and its mechanisms[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(6): 12–20.]
- [11] 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. [Liu Q Z, Huang J Y, Bai S, et al. Studies on the causation of sea ice decadal variation in the Bohai Sea of China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(2): 11–19.]
- [12] 王相玉, 袁本坤, 商杰, 等. 渤海海冰灾害与防御对策[J]. 海岸工程, 2011, 30(4): 46–55. [Wang X Y, Yuan B K, Shang J, et al. Disaster of sea ice and defense countermeasures in the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. Coastal Engineering, 2011, 30(4): 46–55.]
- [13] 中国科学院海洋研究所. 渤海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1985. [Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Bohai Geology[M]. Beijing: Science Press, 1985.]
- [14] 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社, 1997. [Xu D Y, Liu X Q, Zhang X H, et al. Chinese Offshore Geology[M]. Beijing: Geological Press, 1997.]
- [15] National Snow and Ice Data Center. Multisensor Analyzed Sea Ice Extent–Northern Hemisphere (MASIE–NH) [EB/OL]. (2018–03–28) [2018–04–30]. FTP: //sidads.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02186/.
- [16] Fetterer F, Savoie M, Helfrich S, et al. Multisensor Analyzed Sea Ice Extent–Northern Hemisphere[R]. Boulder: Digital Media, 2010.
- [17] Posey P G, Metzger E J, Wallcraft A J, et al. Improving Arctic sea ice edge forecasts by assimilating high horizontal resolution sea ice concentration data into the US navy’s ice forecast systems[J]. The Cryosphere, 2015, 9(4): 1735–1745.
- [18] Meier W N, Fetterer F, Stewart S J, et al. How do sea-ice concentrations from operational data compare with passive microwave estimates? Implications for improved model evaluations and forecasting[J]. Annals of Glaciology, 2015, 56(69): 332–340.
- [19] European Centre for Medium–Range Weather Forecasts. Global Reanalysis ERA–interim, Daily[EB/OL]. (2018–06–20) [2018–08–01]. https: //apps.ecmwf.int/datasets/data/interim–full–daily/levtype=sfc/.
- [20] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40–year reanalysis project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(3): 437–471.
- [21] 顾卫, 史培军, 刘杨, 等. 渤海和黄海北部地区负积温资源的时空分布特征[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 168–173. [Gu W, Shi P J, Liu Y, et al. The characteristics of temporal and spatial distribution of negative accumulated temperature in Bohai Sea and north Yellow Sea[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(2): 168–173.]
- [22] Su H, Wang Y, Yang J. Monitoring the spatiotemporal evolution of sea ice in the Bohai Sea in the 2009–2010 winter combining MODIS and meteorological data[J]. Estuaries and Coasts, 2012, 35(1): 281–291.
- [23] Serreze M C, Stroeve J, Barrett A P, et al. Summer atmospheric circulation anomalies over the arctic ocean and their influences on September sea ice extent: A cautionary tale[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2016, 121(19): 11463–11485.
- [24] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006. [Sun X P. China Offshore Oceanography[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006.]
- [25] Yan Y, Shao D D, Gu W, et al. Multidecadal Anomalies of Bohai Sea ice cover and potential climate driving factors during 1988–2015[J]. Environmental Research Letters, 2017, 12(9): 1–10.
- [26] 白珊, 刘钦政, 李海, 等. 渤海的海冰[J]. 海洋预报, 1999, 16(3): 1–9. [Bai S, Liu Q Z, Li F, et al. Sea ice in the Bohai Sea of China[J]. Marine Forecasts, 1999, 16(3): 1–9.]

Sea ice distribution and influencing factors in the Yellow Sea and the Bohai Sea during winter 2018

LIU Cheng¹, CHE Dasheng², LI Xiaodong²

(1. Troop No. 91913 of Chinese People's Liberation Army, Dalian 116041, China;

2. Troop No. 91550 of Chinese People's Liberation Army, Dalian 116023, China)

Abstract: Sea ice is a marine hazard in the Yellow Sea and the Bohai Sea in winters. To reveal the spatial distribution and diurnal change characteristics of sea ice and improve the ability of sea ice short-term forecasting, the National Snow and Ice Data Center (NSIDC) Multisensor Analyzed Sea Ice Extent (MASIE) daily sea ice extent and the European Centre for medium-range weather forecasts (ECMWF) ERA-Interim data were used in this study for analysis. The spatial distribution characteristics of sea ice in the Yellow Sea and the Bohai Sea in 2018 and the relationship between sea ice extent and meteorological factors were examined. The results show that the sea ice was concentrated in the Liaodong Bay and the Korea Bay north of 39°N. With the increase of distance from the coast, its coverage reduced distinctly. Sea ice changes underwent three stages development, stagnation, and melting, and the development stage was longer than the melting stage. Sea surface temperature (*SST*), air temperature at 2 m height (T_{2m}), and accumulated temperature (while air temperature at 2 m height was colder than -2°C) north of 39°N showed a significant negative correlation with sea ice extent, and the Pearson correlation coefficients were -0.61 ($P < 0.01$), -0.52 ($P < 0.01$), and -0.50 ($P < 0.01$), respectively. In addition, two abnormal decreasing processes of sea ice extent were found in the development stage over the Yellow Sea and the Bohai Sea, and both were mainly caused by the southerly wind and warming of the previous day.

Key words: Multisensor Analyzed Sea Ice Extent (MASIE) data; temporal and spatial distribution; marine and meteorological factors; correlation analysis; the Yellow Sea and the Bohai Sea