

# 北极东北航线 2006–2015 年通航窗口数据集

马 龙<sup>1\*</sup>, 安 磊<sup>1</sup>, 张晓辉<sup>1</sup>, 郑中义<sup>1</sup>, 李振华<sup>2</sup>, 陈冠文<sup>3</sup>

1. 大连海事大学航海学院, 大连 116026; 2. 盘锦出入境检验检疫局, 盘锦 124010;

3. 贵州省第三测绘院, 贵阳 550004

**摘 要:** 航线通航窗口指海冰密集度不影响船舶在该航道水域安全航行的起讫日以及通航期。根据 2013 年中远集团“永盛”轮首航北极东北航道时所经航线, 利用德国不莱梅大学制作的 2006–2015 年北极地区逐日海冰密集度数据, 以航线所经水域海冰密集度连续 3 天小于 40% 的第一天为该航线通航窗口的起始日, 以海冰密集度连续 3 天大于 40% 的最后一天为航线通航窗口的结束日, 得到北极东北航线 2006–2015 年通航窗口数据集。该数据集包括: (1) “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据; (2) 2006–2015 年北极东北航线通航窗口数据, 包括: 航线通航的起始日、结束日和通航时间。数据集存储为.shp、.kmz 和.xlsx 格式, 由 6 个文件组成, 数据量为 295 KB (压缩为 2 个文件, 262 KB)。该数据集的分析研究成果发表在《极地研究》2018 年 30 卷第 2 期。数据分析主要结果包括: 根据航线冰情要素获得了十年间航线通航窗口的基本情况, 十年间航线所经水域的大体通航情况和主要冰障位置。

**关键词:** 北极; 东北航道; 通航窗口

**DOI:** 10.3974/geodp.2019.03.04

## 1 前言

随着北极海冰的持续融化, 北极东北航道的开发和利用正成为可能, 相比传统航道东北航道航程可以节省 15%–50%<sup>[1]</sup>。然而, 海冰冰情影响着北极东北航道的可通航性, 是北极东北航道战略性、经济性考虑分析的关键要素之一。但是, 目前专门针对北极东北航道沿途海冰状况的研究比较少, 尤其是针对具体商业航线的海冰冰情研究, 所以对北极东北航道进行冰情特征分析就显得极为迫切和需要。本数据集利用德国布萊梅大学 PHAROS 小组制作的 2006–2015 年海冰密集度数据<sup>[2]</sup>, 根据 2013 年“永盛”轮东北航道首航航线确定北极东北航线 2006–2015 年通航窗口, 分析和认识北极东北航道的通航条件<sup>[1]</sup>。本数据集对航线通航窗口的研究, 有助于保障我国在北极的权益, 可为我国政府有针对性地采取外交、商业决策提供支持, 保障我国在北极的权益; 也有助于航运企业利用北极东北航线的航线通航窗口进行航线规划和决策, 为指导船员冰区航行提供重要参考。

收稿日期: 2019-04-11; 修订日期: 2019-06-13; 出版日期: 2019-09-25

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(3132015008, 3132016360); 辽宁省 (L2014202); 交通运输部 (2014-322-255-190)

\*通讯作者: 马龙 L-5862-2016, 大连海事大学航海学院, malong@dlmu.edu.cn

数据引用方式: [1] 马龙, 安磊, 郑中义等. 北极东北航线 2006–2015 年通航窗口数据集[J]. 全球变化数据学报, 2019, 3(3): 244–251. DOI: 10.3974/geodp.2019.02.04.

[2] 马龙, 安磊, 郑中义等. 北极东北航线 2006–2015 年通航窗口数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.06.19.V1.

2 数据集元数据简介

北极东北航线 2006–2015 年通航窗口数据集<sup>[3]</sup>的数据集名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 北极东北航线 2006–2015 年通航窗口数据集元数据简表

条目	描述
数据集名称	北极东北航线 2006–2015 年通航窗口数据集
数据集短名	NavigationWindowArcticNEPassage_2006-2015
作者信息	马龙 L-5862-2016, 大连海事大学航海学院副教授, malong@dlmu.edu.cn 安磊 D-1830-2009, 大连海事大学航海学院研究生, 823666164@qq.com 张晓辉 D-1830-2009, 大连海事大学航海学院讲师, jensy@dlmu.edu.cn 郑中义 D-1830-2009, 大连海事大学航海学院教授, dlzzyi@dlmu.edu.cn 李振华 D-1830-2009, 盘锦出入境检验检疫局, dmulizhenhua@163.com 陈冠文 D-1830-2009, 贵州省第三测绘院, chenguanwen127@126.com
地理区域	北极东北航道
数据年代	2006–2015
数据格式	.shp、.kmz、.xlsx、.prj、.shx、.dbf
数据量	295 KB (压缩为 2 个文件, 262 KB)
数据集组成	该数据集由 6 个文件组成, 说明如下: (1) “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据文件: 存储“永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据, 数据格式为.kmz, 大小为 1.29 KB (2) “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据文件: 数据格式为 .shp (3) “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据文件: 数据格式为 .shx (4) “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据文件: 数据格式为 .prj (5) “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据文件: 数据格式为 .dbf (6) .xlsx 文件: 存储 2006-2015 年北极东北航线通航窗口数据, 数据格式为.xlsx
基金项目	中央高校基本科研业务费专项 (3132015008, 3132016360); 辽宁省教育厅一般项目 (L2014202); 交通运输部软科学研究项目 (2014-322-255-190)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据(中英文)、实体数据(中英文)和通过《全球变化数据学报》(中英文)发表的数据论文。其共享政策如下: (1) “数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播(包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》(中英文)编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[4]</sup>
数据和论文检索系统	DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS

3 数据研发方法

3.1 数据来源

本数据集采用的是德国布莱梅大学 PHAROS (Physical Analysis of Remote Sensing Images) 小组制作的 2006–2015 年海冰密集度数据日产品, 数据空间分辨率为 6.25km。由

于卫星数据连续性的问题，该海冰密集度产品的制作实际上利用了 AMSR-E 数据（2003-2011 年）、SSMIS/DMSP 数据（2011 年 10 月-2012 年 8 月）和 AMSR-2 数据（2012 年 8 月起）三个微波数据<sup>[5]</sup>。

3.2 算法原理

航线通航窗口的定义为海冰密集度不影响船舶在该航线水域安全航行的起讫日以及通航期。在提取航线通航窗口时，结合“永盛”轮的破冰能力（Arc 4），选择海冰密集度阈值为 40%。

航线通航窗口的算法为：以水域海冰密集度连续三天小于 40%的第一天为该航线通航窗口的起始日，以海冰密集度连续三天大于 40%的最后一天为航线通航窗口的结束日。根据航线通航窗口算法，排除冰间湖和流冰的影响后可提取出“永盛”轮 2006-2015 年首航北极东北航道时的航线通航窗口。

3.3 技术路线

航线通航窗口的提取技术路线如图 1 所示。

（1）数据预处理主要包括两个工作：将每年的海冰密集度数据做成一个数据集，即包含 365 或 366 个波段；统一所有数据的坐标系。本文将 2006-2015 年的海冰密集度数据进行预处理后，得到十个数据集。

（2）通过航线通航窗口算法，以该水域海冰密集度连续三天小于 40%的第一天为该航线通航窗口的起始日，以该水域海冰密集度连续三天大于 40%的最后一天为航线通航窗口的结束日，提取出 2006-2015 年间每年的北极海域的通航起始日与通航结束日图像。

（3）将“永盛”轮航线矢量分别与每年的通航起始日和通航结束日图像叠加，提取出“永盛”轮航线每个像元每年的通航起始日与通航结束日以及通航期，即北极东北航线通航窗口。

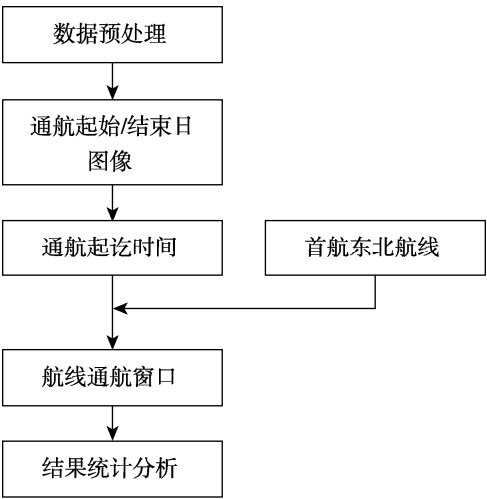


图 1 航线通航窗口提取技术路线

4 数据结果与验证

4.1 数据结果组成（或空间分布）

北极东北航线 2006-2015 年通航窗口数据集包括 6 个文件。其中：

（1）2006-2015 年北极东北航线通航窗口数据.xlsx 文档：存储 2006-2015 年北极东北航线通航窗口数据，数据格式为.xlsx（图 2，图 3），包含北极东北航线上 431 个像元位置点在 2006-2015 年这十年改正前和改正后的通航起始日、结束日和通航时间（即航线通航窗口）。

表1 2006年北极东北航线通航窗口数据								
Table 1 Navigation window of the arctic northeast passage in 2006								
位置点 Points along	经纬度 Location		通航窗口 Navigable window			改正的通航窗口 Corrected navigable window		
	经度 Longitude	纬度 Latitude	开始 Start date	结束 End date	窗口 Navigable pe	开始 Start date	结束 End date	窗口 Navigable period
1	70.0	176.3	168	308	140	183	300	117
2	70.0	176.2	175	308	133	184	302	118
3	70.0	176.1	133	303	170	185	303	118
4	70.1	175.9	133	303	170	185	303	118
5	70.1	175.7	142	304	162	184	304	120
6	70.1	175.6	145	307	162	185	307	122
7	70.1	175.4	144	304	160	187	304	117
8	70.1	175.2	144	301	157	187	301	114

图 2 2006 年北极东北航线通航窗口 431 个位置点数据表 1 内容图

2016、2007、2008、2009、2010、2011、2012、2013、2014、2015 历年北极东北航线 431 个位置点通航窗口数据分别汇集在 NavigationWindowArcticNEPassage\_2006-2015.rar 数据文件中。

表10 2015年北极东北航线通航窗口数据								
Table 10 Navigation window of the arctic northeast passage in 2015								
位置点 Points al	经纬度 Location		通航窗口 Navigable window			改正的通航窗口 Corrected navigable window		
	经度 Longitude	纬度 Latitude	开始 Start date	结束 End date	窗口 Navigable period	开始 Start date	结束 End date	窗口 Navigable period
1	70.0	176.3	153	313	160	167	313	146
2	70.0	176.2	146	313	167	166	313	147
3	70.0	176.1	152	314	162	166	314	148
4	70.1	175.9	153	317	164	166	317	151
5	70.1	175.7	6	317	311	166	317	151
6	70.1	175.6	166	317	151	178	317	139

图 3 2015 年北极东北航线通航窗口 431 个位置点数据表 10 内容图

(2) “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据文件：存储“永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据，数据格式为.kmz（图 4）。

(3) 其余四个文件为“永盛”轮首航北极东北航道时所经航线矢量数据文件：数据格式分别为 .shp、.shx、.prj、.dbf，与 2006-2015 年北极东北航线通航窗口数据.xlsx 文档压缩为一个文件。

根据航线通航窗口算法，并且排除冰间湖和流冰的影响后提取出的“永盛”轮航线通航窗口如图 5 所示，其中，横坐标为航线的地理位置，共 431 个像元，纵坐标为以一年第一天起计数的天数；其中 1-191 像元位于东西伯利亚海，192-237 像元位于北冰洋，238-335 像元位于拉普捷夫海，336-431 像元位于喀拉海。

4.2 数据结果验证

2018 年 6 月出版的《基于“永盛”轮航线冰情分析的北极东北航线通航性研究》<sup>[5]</sup>针对东北航线提取了 2006-2015 年的航线通航窗口。通过对航线通航起讫时间和通航期的分析表明：东北航道平均通航起始时间为 7 月中上旬，结束时间为 10 月中下旬，平均通航期为 90 天左右，十年间通航期波动比较大，没有稳定的变化趋势。



图 4 “永盛”轮首航北极东北航道时所经航线数据可视化图（.kmz 数据格式）

影响航线通航的关键水域为：

（1）自东西伯利亚海中部沿航道向西，至新西伯利亚群岛东部海域（定义为 A 航段，中心地理坐标为 72.7°N，159.8°E）；

（2）自拉普捷夫海中部（120°E）沿航道向西，经过维利基茨基海峡，至谢尔盖·基洛夫群岛水域（定义为 B 航段，中心地理坐标为 77.9°N，105.9°E）。

查阅两个关键水域的相关文献得知，A 航段水域冰情基本不受亚北极暖流的影响，而主要受陆地河流径流量的影响，没有海洋暖流影响，陆地径流对海冰融化的作用十分有限<sup>[6]</sup>。B 航段冰情对北冰洋水域的冰情变化非常敏感，即在冰情轻的年份航线通航窗口长，在冰情重的年份航线通航窗口大大缩短。在维利基茨基海峡中段向西延伸的 220 km 左右的水域，该水域海冰范围动态变化大，主要是夏季强大的离岸风推动沿岸海冰向该水域漂移和堆积，使得本已融化的水域中有较多浮冰，导致短时间内海冰变化快速<sup>[7]</sup>。而拉普捷夫海西部水域的冰情并不符合整个北冰洋水域冰情的变化趋势，甚至在冰情最严重的 2013 年，航线通航窗口达到了最长。

本文所识别的关键水域及其冰情的分析，与前人的研究成果相符。《北极航行指南（东北航道）》一书指出<sup>[8]</sup>：维利基茨基海峡（B 航段中心部分）是东北航道能否通航的关键点，夏季海峡内和周围常有大量海冰堆积，阻碍船舶航行，特别是在没有破冰船护航的条件下<sup>[9]</sup>。对于 A、B 航段这两个关键水域，也在赵津等<sup>[10]</sup>和孟上等<sup>[9]</sup>的研究中得到了证实。

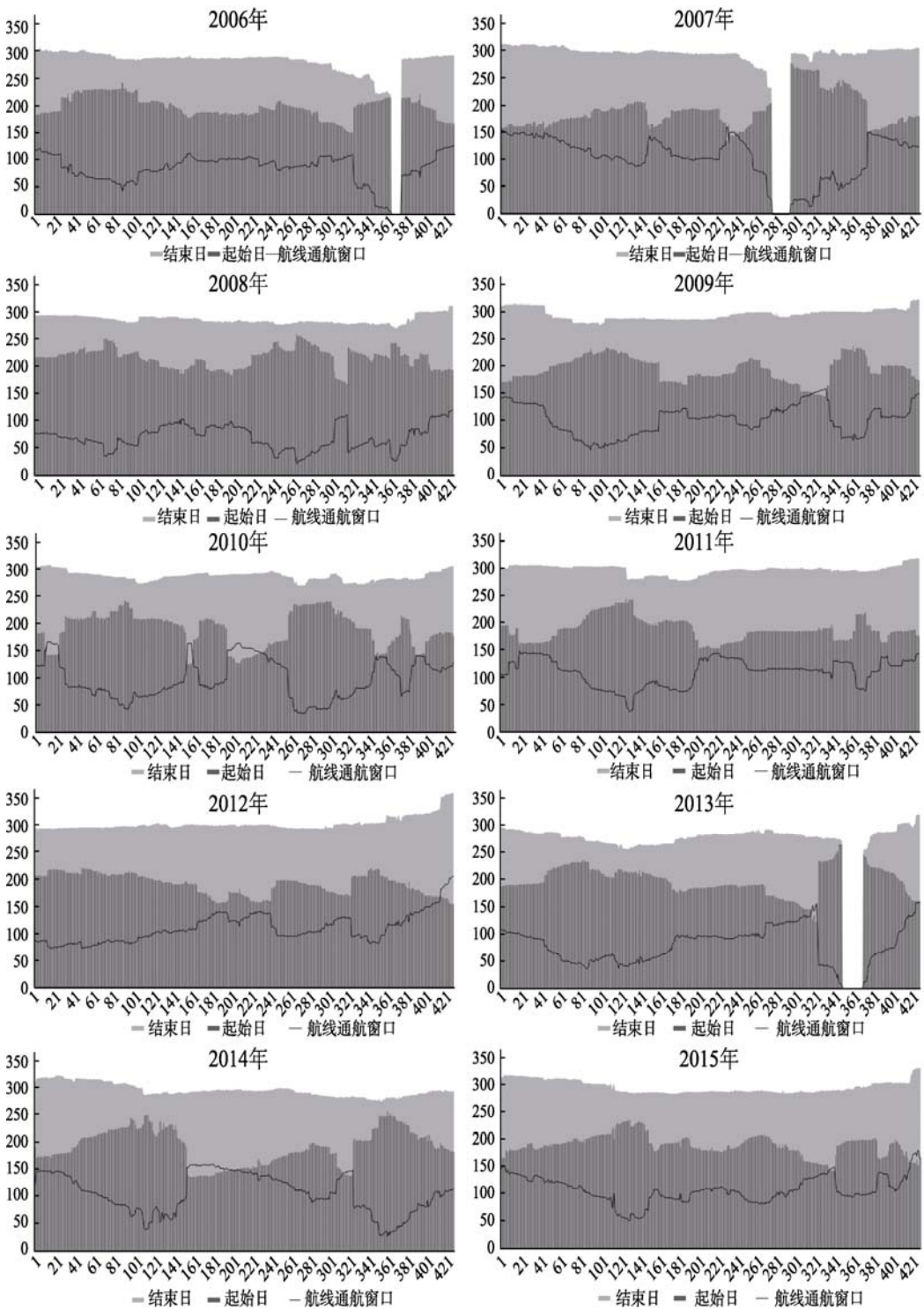


图 5 2006-2015 年“永盛”轮航线所经水域的航线通航窗口信息<sup>[4]</sup>

结合 2013 年“永盛轮”航线冰情要素和关键水域对当年航道冰情的分析,也符合“永盛轮”随船船长赵庆爱对于航道冰情的描述<sup>[11-12]</sup>。赵庆爱船长在航行日记中指出:“永盛轮”东北航道航行期间在东西伯利亚海(A 航段)、维利基茨基海峡和喀拉海(B 航段)遭遇浮冰影响,东西伯利亚海海冰密集度为 3-4 成,属于稀疏冰(scattered ice),船舶根据冰况改向航行,对“永盛轮”的航行安全基本没有影响。喀拉海水域冰情较严重约 6-8 成,冰的类型大多为当年冰,少部分陈年冰,厚度为 0.5-1.3 m,属于疏散冰(broken ice),船舶无破冰船协助难以单独航行。

#### 4.3 数据结果讨论

由图 5 分析可得“永盛”轮航线 2006-2015 年的航线通航窗口的基本情况:10 年间的通航期波动比较大,并且没有稳定的规律。除 2008 年的平均通航起始日晚于其他年份,2013 年的平均通航结束日较早,其余年份的平均通航起始日均在 7 月中上旬,平均通航结束日均在 10 月中下旬,平均通航期为 90 天左右。对于实际通航期,即指具体到每一年实测通航起始日至通航结束日之间的时间跨度,是船舶实际可通航的时期,经历 2006 年和 2007 年不通航后,2008-2012 年实际通航期大体呈上升趋势;在 2013 年不通航后,实际通航期又呈上升趋势发展。实际通航起始日和实际通航结束日每年的波动幅度均较大,实际通航起始日在 8 月中旬到 9 月上旬之间,实际通航结束日在 9 月下旬到 10 月上旬之间。实际通航期最多可以达到 71 天(2012 年),除去不通航的年份(2006 年、2007 年、2013 年)以及其后一年(2008 年、2014 年),其他年份航线的实际通航期都可以达到一个月以上。

由图分析可得,北极东北航线存在两个关键水域。每年在维利基茨基海峡附近通航期会出现一个直线下跌的情况,维利基茨基海峡至谢尔盖·基洛夫群岛水域面积小,水域冰情变化相对集中且复杂,主要受北地群岛附近的海冰漂流影响,成为整条航线的通航瓶颈,而且在 2006 年、2007 年、2013 年造成整条航线不通航的海域也在这里,也证明了这部分海域为影响“永盛”轮航线的关键水域。

维利基茨基海峡冰情复杂,一天之内情况迥异,在海峡东入口至 76°N 有个泰梅尔积冰区<sup>[8]</sup>,在每年的 11 月至次年 5 月,会形成北极最大的岸冰区,经过泰梅尔积冰区的船舶会受到影响。在东西伯利亚海的中部到新西伯利亚群岛东部海域(像元 60-150,中心经纬度:72.80°N, 159.60°E),每年的通航期相对其周围海域相对较短。综合十年的航线通航窗口来看,新西伯利亚群岛北侧通航期起伏较大,但每年的通航期都要比东西伯利亚海中部海域要长。由于 8 月份在北极中心有较强的低压系统,海冰也出现了较强的气旋式运动。在东西伯利亚海中西部,有一些海冰向岸运动,这有可能会造成海冰在沿岸堆积,不利于东北航道的开通,而东部的海冰运动速度非常小。可能由于低压系统与新西伯利亚群岛的共同作用,导致东西伯利亚海的中部到新西伯利亚群岛东部海域附近每年的通航期不规律的波



动, 而且通航期较短。

## 5 总结

该数据集的研究区域是北极东北航线; 该数据集是根据 2013 年中远集团“永盛”轮首航北极东北航道时所经航线, 利用德国不莱梅大学制作的 2006-2015 年北极地区逐日海冰密集度数据, 以航线所经水域海冰密集度连续 3 天小于 40% 的第一天为该航线通航窗口的起始日, 以海冰密集度连续 3 天大于 40% 的最后一天为航线通航窗口的结束日, 得到的北极东北航线 2006-2015 年通航窗口, 空间分辨率为 6.25 km, 时间分辨率为 1 天。本数据集通过对海冰密集度产品的分析获得了十年间航线通航窗口的基本情况, 十年间航线所经水域的大体通航情况和主要冰障位置, 得出影响航线的两个关键海域, 并分析了“永盛”轮航线与关键水域航线通航窗口的变化趋势, 为日后北极东北航线的船舶航行提供借鉴。

**作者分工:** 马龙设计了模型和算法; 郑中义对北极东北航线的通航条件进行了界定; 安磊, 李振华, 张晓辉和陈冠文进行了数据处理; 安磊撰写了论文。

## 参考文献

- [1] 贺书锋, 平琰, 张伟华. 北极航道对中国贸易潜力的影响——基于随机前沿引力模型的实证研究 [J]. 国际贸易问题, 2013(8): 3-12.
- [2] Spreen, G., Kaleschke, G., Heygster, L. Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz channels [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113: C02S03. DOI: 10.1029/2005JC003384.
- [3] 马龙, 安磊, 郑中义等. 北极东北航线 2006-2015 年通航窗口数据 [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.06.19.V1.
- [4] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. DOI: 10.3974/DP. Policy. 2014. 05 (2017 年更新).
- [5] 马龙, 李振华, 陈冠文等. 基于“永盛”轮航线冰情分析的北极东北航线通航性研究[J]. 极地研究, 2018, 30(2): 173-185.
- [6] 崔红艳, 乔方利, 舒启. 2013 年北极最小海冰范围比 2012 年增加的原因分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(11): 23-32.
- [7] Johannessen, O. M., Sandven, S., Pettersson, L. H., *et al.* Seasonal sea ice studies in the Kara Sea region using satellite radar data [C]//Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2001, 3: 1252-1254.
- [8] 中华人民共和国海事局. 北极航行指南(东北航道) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [9] 孟上, 李明, 田忠翔等. 北极东北航道海冰变化特征分析研究 [J]. 海洋预报, 2013, 30(2): 8-13.
- [10] 赵津, 杨敏. 北极东北航道沿途关键海区及冰情变化研究 [J]. 中国海事, 2013, (7): 53-54, 59.
- [11] 赵庆爱. 永盛轮随船日记(下) [J]. 中国远洋航务, 2013(10): 39-43.
- [12] 赵庆爱. 永盛轮随船日记(上) [J]. 中国远洋航务, 2013(9): 36-42.