

北极东北航道通航窗口研究

马龙¹, 王加跃², 刘星河³, 李振华⁴

(1. 大连海事大学航海学院, 辽宁 大连 116026; 2. 重庆青林土地勘测规划设计有限公司 重庆 400030;
3. 布法罗大学地理系, 纽约 布法罗 14228; 4. 中交天津航道局有限公司, 天津 300450)

摘 要: 研究提出航线通航窗口这一概念, 并针对东北航道提取了2005—2014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月中下旬, 结束时间为10月中下旬, 平均通航期90 d左右, 十年间通航期波动比较大, 没有稳定的变化趋势; 影响航线通航的关键水域包括: 东西伯利亚水域、拉普捷夫海水域和维利基茨基海峡至谢尔盖·基洛夫群岛水域。研究表明: 利用航线通航窗口可较好地反映航线所经水域的冰情, 可为船舶开发利用北极航线, 制定安全、经济的航行计划提供支持。

关键词: 东北航道; 通航窗口; 海冰密集度

中图分类号: U697.33, P731.15 **文献标识码:** A

文章编号: 1003-0239(2018)01-0052-08

1 引言

全球气候变暖造成的北极水域季节性通航, 使得北极航线的商业价值凸显, 航线利用的可能性也成为航运公司关注的焦点。北极航线大大缩短了西欧、北美到东北亚的海上运输距离, 节约了运输时间和成本^[1-4]; 同时, 北极航线的通航可促进全球经济贸易活动, 有利于北极资源的开发, 特别是能源、矿产和旅游业资源^[5-9]。海冰是制约北极航线通航和利用的关键, 北极海域海冰受诸多因素影响, 比如, 气温、气压、风场、洋流、地表径流等^[10-14], 因此, 每年海冰的融化冻结时间不固定, 造成北极航线每年的通航时间亦具有较大的不确定性。

海冰是影响北极航线通航的关键因素, 是国内外研究的热点。目前, 对于北极海冰冰情的研究, 主要是针对整个北极水域或各个边缘海^[15-20], 其中, Rodrigues提出了北极水域无冰季节长度, 对北极各边缘海的无冰期长度进行了分析^[20]。只有少数学者针对北极航线研究其通航环境^[21-24]或航线经过水域

的冰情变化。孟上等^[25]利用海冰密集度数据结合气压、风场、气温数据分析东北航道的通航情况和海冰冰情变化; 苏洁等^[26]统计分析西北航线经过水域代表站点的海冰消融冻结情况, 以整条线路无冰天数/轻冰天数作为指标衡量航线通航程度, 分析影响西北航线通航的因素; 李春花等^[27]通过海冰密集度制作东北航道和西北航线的气候月平均海冰密集度图, 分析东北航道和西北航道的开通状况; Smith等^[28]选择冰情最好的九月, 根据海冰厚度和密集度信息, 获得了北极水域的最优航线; 李新情等^[29]通过对海冰密集度数据进行计算, 获取海冰空间分布图, 结合风场、气温、气压数据分析2014年东北航道途经水域海冰空间分布变化及多年平均差异; Lei等^[30]利用多源数据对东北航线的通航条件进行了研究。以上研究提供了有关北极航线冰情的变化, 但缺乏从行业角度认识航线通航条件, 有关研究结果难以有效支持航运企业对北极航线的开发和利用。

本研究提出航线通航窗口, 利用2005—2014年的海冰密集度产品, 选择东北航道对航线通航窗口进

收稿日期: 2017-03-20; 修回日期: 2017-05-04。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(3132015008); 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); 教育部2017-2018年度国别和区域研究课题“北极区域合作的挑战与对策性建议”。

作者简介: 马龙(1977-), 男, 副教授, 博士, 主要从事北极通航、海冰监测研究。E-mail: home218@126.com

行了提取,并分析其变化特征,全面认识东北航道冰情及其对通航的影响,确定航线的适合通航时间。

2 研究区域和数据

2.1 研究区域

东北航道常常提及的主要有4条,分别是:穿极航线、高纬航线、中间航线和近岸航线^[31-32],目前商业航行采用的都是中间航线。考虑到:巴伦支海和楚科奇海海冰融化时间早,结冰时间晚,无冰适航时间较长;对于挪威海、巴伦支海和楚科奇海3个海域,卫星数据表明:这3个海域的海冰不影响中间航线的通航窗口分析。因此,本研究的东北航道是中间航线的一部分,西起新地岛北部的热拉尼亚角(Myi Zhelaniya)北部,途经拉普捷夫海和东西伯利亚海,东至楚科奇海西部(见图1)。

2.2 数据

研究使用的海冰密集度数据产品由德国布莱梅(Bremen)大学 PHAROS (Physical Analysis of Remote Sensing images)小组制作^[33],空间分辨率为6.25 km,研究时间为2005—2014年。自2011年10月4日起,利用 AMSR-E 数据(2003—2011年)生成的每日海冰密集度产品不再更新;自2012年8月起,开始提供利用 AMSR2 数据生成的每日海冰密集度产品。为了弥补这期间海冰密集度产品的缺失,不莱梅大学利用搭载在 DMSP 卫星上的 SSMIS 数据作为替代,并将数据内插到6.25 km,继续提供每日海冰密集度产品。产品数值为0~100,代表海冰密集度为0%~100%。数据值0表示没有海冰覆盖,100表示海冰完全覆盖。数据丢失或错误数据

标识为 NaN(Not a Number)。本数据共缺失12 d,通过内插进行处理和补齐。

3 航线通航窗口

3.1 航线通航窗口定义

航线通航窗口反映了航线经过水域的冰情,其定义为:海冰密集度不影响船舶在该航线水域安全航行的起讫时间以及通航期。在计算航线通航窗口时,选择海冰密集度阈值为15%。实际上,对具有一定冰级的船舶,此阈值可以进一步放宽。具体实现上:利用年度海冰密集度数据,对于航线经过水域,以该水域海冰融化后每个网格点海冰密集度连续3 d小于15%的第一天为该航线水域通航窗口的起始日,海冰重新结冰后海冰密集度连续3 d大于15%的第一天为航线通航窗口的结束日。

图2为2005年北极海域无冰起始日(见图1a)和结束日(见图1b)。在无冰起始日图中,每个网格点的值大小为该年第一天起计数的天数,其含义为:该点海冰融化时海冰密集度连续3 d小于15%的第一天。该值越小,出现无冰时间越早,此网格点的通航时间越早;该值越大,出现无冰的时间越晚,则通航时间越晚。在无冰结束日图中,每个网格点的值大小为该点海冰重新结冰时海冰密集度连续3 d大于15%的第一天,该值越小,该网格点重新结冰的时间越早,越不利船舶通航,该值越大,重新结冰时间越晚,船舶适合通航的时间越长。当无冰结束日图中网格点值与对应在无冰起始日图中网格点值的差值越大,则该点的通航时间越长;反之,差值越小,该点的通航时间越短。

3.2 计算方法

(1)数据预处理:由于海冰密集度数据具有地理坐标,这里的预处理工作主要是将:每年的日海冰密集度数据合成为一个含有365或366波段的年海冰密集度数据,便于后续根据航线计算航线通航窗口;

(2)北极海域无冰起讫时间的计算,是以年海冰密集度数据为处理对象,根据通航窗口的定义和算法,得到了北极海域每年的无冰起始日和无冰结束日图像,如图2所示;

(3)东北航道通航窗口的获取,是将东北航道



图1 东北航道

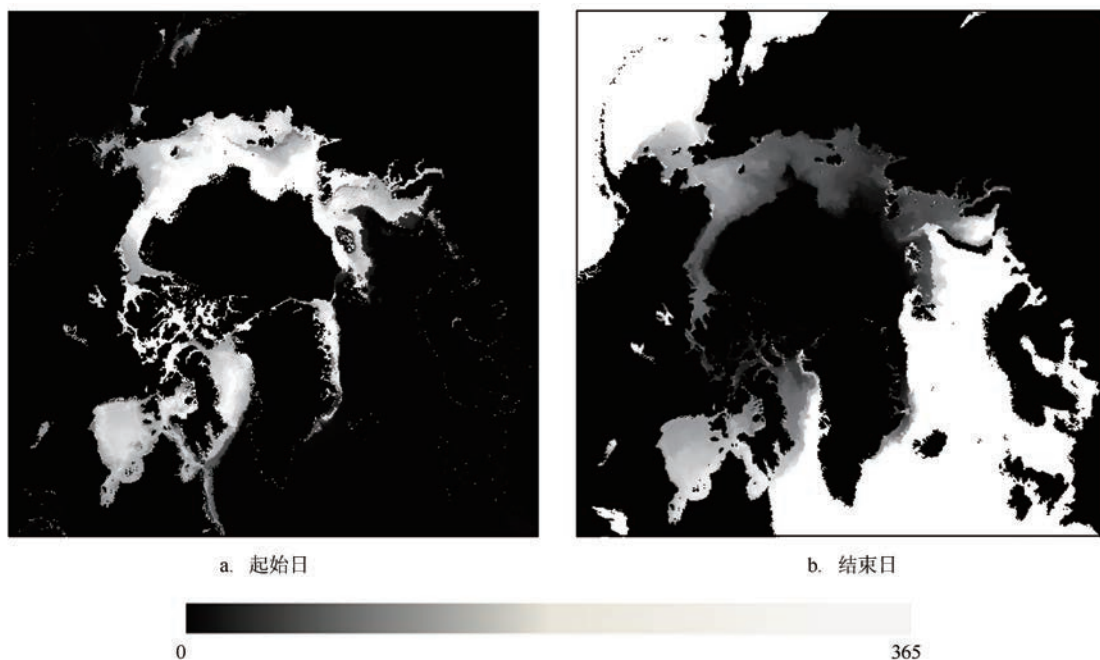


图2 2005年通航起始日与结束日图

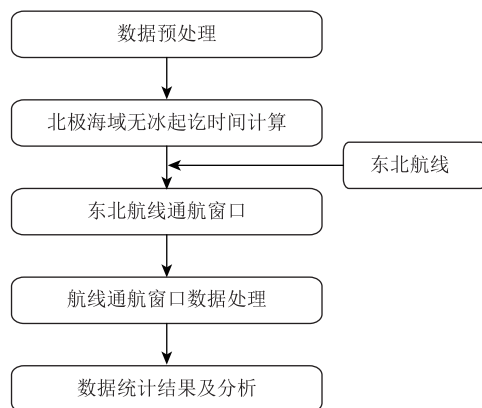


图3 航线通航窗口提取

同每年的无冰起始日和无冰结束日图像叠加,提取航线所经像元的无冰起始日和结束日信息,期间的无冰期为航线通航期;

(4)航线通航窗口数据处理:由于冰间水域^[34]和海冰漂移的存在,造成算法不能正确提取通航起始时间和结束时间。冰间水域会导致通航起始时间提前、通航结束时间推延,相应增加了通航期(即冰间水域的适航天数);海冰漂移会导致原本连续的通航期不连续,使通航期偏小,反映了海域冰情变化的复杂性。因此计算航线通航窗口后,还需要消除冰间水域和海冰漂移的影响,然后再进行航线通

航窗口信息的提取。

对于冰间水域和海冰漂移的处理,原则上规定:(1)对于水中的漂移冰,如果海冰的像元数 ≤ 5 ,该位置做通航处理;对于冰间水域,如果海水的像元数 ≤ 5 ,该位置做不通航处理;

(5)数据统计结果及分析,对2005—2014年的通航起讫日及通航期进行统计,分析航线经过海域的通航窗口变化,确定影响整条航线通航期长短的海域。

3.3 东北航道通航窗口

图4为2005—2014年,东北航道所经水域的通航窗口信息,其中横坐标为航线的图像位置,纵坐标为一年的天数。

表1中的平均通航开始日是统计整条航线上各个位置通航开始日的平均值,平均结束日和平均通航期与之含义相同。通航期标准差反映了整条航线上各个位置通航期的离散程度;最迟通航起始日是统计整条航线上各个位置所有通航开始日最晚的那个,相应地,最早通航结束日统计的是结束日最早的那个,实际通航期为两者之差。

从图4和表1可知东北航道2005—2014年的航线通航窗口的基本情况。东北航道,除2008年的平均通航起始时间晚于其他年份,2013年的平均通航

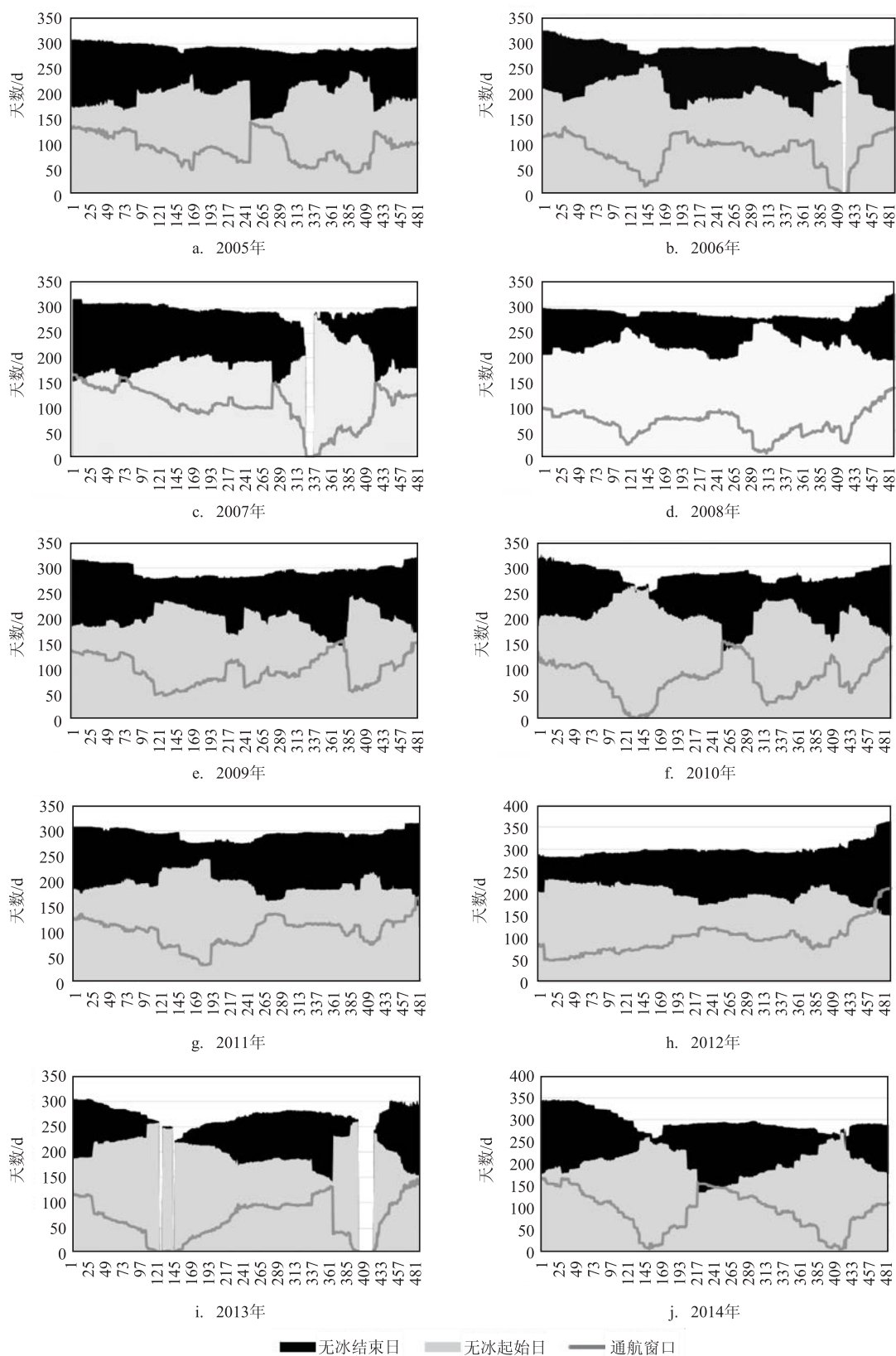


图4 东北航道2005—2014年通航起讫时间及通航期

表1 东北航道2005—2014年航线通航窗口

年份	平均通航 开始日/(月.日)	平均通航 结束日/(月.日)	平均通航 期/d	通航期 标准差	最迟通航 起始日/(月.日)	最早通航 结束日/(月.日)	实际通航 期/d
2005	7.17	10.18	94	27.25	9.3	10.7	34
2006	7.18	10.11	84	32.59	9.22	8.5	0
2007	7.11	10.24	103	39.75	10.17	8.11	0
2008	8.9	10.14	65	26.71	9.25	9.25	0
2009	7.17	10.21	96	29.73	9.2	10.4	32
2010	7.24	10.13	81	37.03	9.19	9.6	0
2011	7.13	10.21	100	26.75	9.1	10.1	30
2012	7.19	10.26	99	33.93	8.19	10.8	50
2013	7.22	10.1	68	41.11	9.17	8.9	0
2014	7.21	10.23	94	46.1	9.28	9.14	0
2005—2014	7.21	10.17	88	36.9	10.17	8.5	/

结束时间较早,其余年份的通航平均起始时间约在7月中下旬,通航平均结束时间约在10月中下旬,平均通航期90 d左右,10 a间通航期波动比较大,没有稳定的变化趋势,其中能够通航的年份只有2005、2009、2011、2012这4年。

东北航道的实际通航期及通航与否由航线经过水域的通航最迟起始日和最早结束日决定,这些水域称为影响东北航道通航窗口的关键水域。根据每年通航期最短水域、通航期低于平均通航期的水域、通航最迟起始日和最早结束日水域的出现频率,东北航道上的关键水域分别是(见表2):东西伯利亚水域(距恰翁湾北部100 km至新西伯利亚岛东部约430 km水域,中心地理坐标:73.21°N,163.88°E)、拉普捷夫海北部水域(距新西伯利亚群岛西北向80 km至泰梅尔半岛东北约430 km水域,中心地理坐标:77.35°N,122.01°E)和维利基茨基海峡至谢尔盖·基洛夫群岛水域(约250 km水域,中心地理坐标:77.58°N,93.38°E)。这3个关键水域的冰情共同决定了东北航道的通航条件(见图5)。

从表2可知东北航道关键水域2005—2014年航线通航窗口的基本情况,其中,拉普捷夫海北部水域冰情条件最好,其平均通航期长达83 d,除了2007年在泰梅尔岛东部不能通航,2008年通航期较短外,其他年份均可通航,且在2011年以后一直通航;而东西伯利亚水域冰情条件最差,其平均通航期最短为57 d,2010年、2013年和2014年不能通航,



图5 东北航道关键水域(航线上的虚线部分)

虽然该水域面积广阔,但该水域中西部冰情较为复杂,变化波动较大,其次,航线在东西伯利亚水域的通航窗口变化趋势与整条航线的变化一致,因此该水域对通航窗口的影响最大;维利基茨基海峡至谢尔盖·基洛夫群岛水域面积小,冰情变化水域相对集中并且复杂,主要受北地群岛西部的海冰漂流影响,对东北航道通航窗口影响居次。10 a中,3个关键水域的通航情况的变化趋势都不明显,各不相同,每年平均通航期波动较大。

4 讨论

研究利用航线通航窗口对2005—2014年间东北航道的通航状况进行了研究,航线平均通航起始时间为7月中下旬,结束时间为10月中下旬,平均通航期90 d左右,10 a间通航期波动比较大,没有稳定的变化趋势;影响航线通航的关键水域包括:东

表2 东北航道关键海区2005—2014年航线通航窗口信息

东西伯利亚水域							
年份	平均通航 起始日/(月.日)	平均通航 结束日/(月.日)	平均 通航期/d	通航期 标准差	最迟通航 起始日/(月.日)	最早通航 结束日/(月.日)	实际 通航期/d
2005	7.31	10.20	81	14.1	8.28	10.8	41
2006	8.20	10.9	46	19.15	9.14	9.29	15
2007	7.12	10.30	110	12.61	7.26	10.22	88
2008	8.24	10.12	51	16.81	9.14	10.6	22
2009	8.10	10.7	58	11.99	8.22	10.4	43
2010	9.3	9.26	23	19.46	9.19	9.6	0
2011	8.5	10.16	72	20.66	8.18	10.3	46
2012	8.8	10.21	75	5.02	8.15	10.18	64
2013	8.23	9.5	13	11.48	9.15	8.9	0
2014	8.23	10.10	48	33.3	9.19	9.14	0
2005—2014	8.10	10.9	57	32.68	9.19	8.9	/
拉普捷夫海域							
年份	平均通航 起始日/(月.日)	平均通航 结束日/(月.日)	平均 通航期/d	通航期 标准差	最迟通航 起始日/(月.日)	最早通航 结束日/(月.日)	实际 通航期/d
2005	7.29	10.10	73	21.21	8.16	10.7	52
2006	7.8	10.4	88	10.7	8.1	9.17	47
2007	8.5	10.4	60	44.74	10.17	8.11	0
2008	9.5	10.5	31	18.51	9.25	9.28	3
2009	7.5	10.18	105	19.05	8.4	10.14	71
2010	8.10	10.4	55	25.49	8.27	9.24	28
2011	6.30	10.23	115	5.34	7.5	10.22	109
2012	7.10	10.19	101	6.18	7.24	10.18	90
2013	6.22	10.6	106	13.95	7.6	9.28	85
2014	7.6	10.14	100	16.18	7.28	10.6	70
2005—2014	7.19	10.10	83	34.25	10.17	8.11	/
维利基茨基海峡至谢尔盖·基洛夫群岛水域							
年份	平均通航 起始日/(月.日)	平均通航 结束日/(月.日)	平均 通航期/d	通航期 标准差	最迟通航 起始日/(月.日)	最早通航 结束日/(月.日)	实际 通航期/d
2005	8.14	10.13	62	21.41	9.3	10.13	40
2006	7.31	8.22	22	20.62	9.22	8.5	0
2007	8.13	10.17	65	27.46	9.5	10.14	39
2008	8.14	9.30	47	13.08	9.1	9.25	24
2009	8.21	10.23	63	8.76	9.2	10.19	47
2010	7.1	10.4	95	20.95	8.1	9.24	54
2011	7.21	10.20	91	13.16	8.6	10.17	72
2012	7.26	10.31	97	11.79	8.9	10.27	79
2013	9.3	9.18	15	11.66	9.17	9.1	0
2014	9.9	9.27	18	10.75	9.28	9.17	0
2005—2014	8.9	10.6	58	35.28	9.28	8.5	/

西伯利亚水域、拉普捷夫海水域和维利基茨基海峡至谢尔盖·基洛夫群岛水域。东北航道的通航情况反映了各个年份冰情轻重的分布情况。如2005年、2009年、2011年及2012年的冰情较轻,通航窗口较长。在不通航的年份,航线经过的一些水域冰情较重,影响了整条航线的通航,如2007年在拉普捷夫水域不能通航,冰情较重。航线经过的各个水域海冰变化的情况各不相同,影响海冰变化的因素也不尽相同。每年海冰的融化过程及空间分布变化很大程度上受到北极气温、气压分布变化、流入边缘海的地表径流及海冰漂流的影响,因而航线的通航窗口变化波动较大。航线上的关键水域,其中拉普捷夫水域的通航情况最好,拉普捷夫水域南浅北深,南部勒纳河(径流量 $17\,000\text{ m}^3/\text{s}$)径流较大^[35],海冰最早也从南部融化;在维利基茨基海峡东入口至 76°N 有个泰梅尔积冰区^[36],在每年的11月至次年5月,会形成北极最大的岸冰区,航线经过泰梅尔积冰区会受到影响,如2007年和2008年,该区域海冰覆盖严重;东西伯利亚水域大陆架广阔,水深北浅南深,南部受到科雷马河和因迪吉尔卡河(径流量分别为 $3\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $1\,810\text{ m}^3/\text{s}$)^[35]等地表径流的影响,海冰融化较早,但多年冰比例较高,融化较慢,夏季易受气压中心分布和穿极漂流穿极影响,在东西伯利亚水域西部(即新西伯利亚群岛东侧)冰情较复杂受到海表气温、气压的影响,2010年、2013年和2014年受到东西伯利亚高压的影响,形成气旋式风场异常,空气对流上升,阴雨天气增多,太阳辐射减弱,海冰不融化^[37];维利基茨基海峡及谢尔盖·基洛夫群岛水域受风和北地群岛西侧的冰山漂流影响严重,该水域常存在高密集度海冰,冰情变化复杂,如2006年和2013年。整条航线的通航窗口波动较大,变化无规律可循,与航线所经水域的海冰变化有很大关系。然而,东西伯利亚水域的通航窗口变化与整条航线通航窗口的变化趋势高度一致,而拉普捷夫海水域及维利基茨基海峡至谢尔盖·基洛夫群岛水域的通航窗口与整条航线的通航窗口变化不存在相同的趋势。

本研究的大部分结果也到了相关研究的证实。比如2014年,在拉普捷夫水域融化时间较早,通航期较长,但在东西伯利亚水域和谢尔盖·基洛夫群岛水域通航时间稍晚,存在高密集度海冰覆

盖,是影响通航的关键水域,这与李新情等^[29]研究的结果一致;另外,研究确定的3个关键水域同孟上等^[25]研究的研究成果是一致的。

5 结论

航线冰情是影响东北航道商业利用的重要因素,研究利用航线通航窗口对东北航道冰情进行了研究。结果表明,东北航道平均通航起始时间为7月中下旬,结束时间为10月中下旬,平均通航期90 d左右,航线上的关键水域分别为:东西伯利亚水域、拉普捷夫水域和维利基茨基海峡及谢尔盖·基洛夫群岛水域,其中,东西伯利亚水域航线通航影响最大。

随着全球变暖以及俄罗斯对于北方海航线开发的支持,东北航道的开发和利用具有较好的前景。本文的研究成果对了解东北航道经过水域的冰情和通航情况具有重要意义,对于东北航道利用、选择和评价都有很好借鉴和支持作用。特别是在夏季,对想要通过东北航道往返东北亚和欧洲的船舶在制定航行计划时提供参考,避开会对航行造成威胁的海冰覆盖水域。

参考文献:

- [1] 马艳玲. 聚焦北极航道之一: 北极航道 改写海运格局[J]. 中国海事, 2010(11): 12-14.
- [2] 彭振武, 王云闯. 北极航道通航的重要意义及对我国的影响[J]. 水运工程, 2014(7): 86-89.
- [3] 王宇强, 寿建敏. 北极“东北航道”通航对中国航运业的影响[J]. 中国商贸, 2012(10Z): 180-182.
- [4] Council A. Arctic Marine Shipping Assessment 2009[R]. Protection of the Arctic Marine Environment Working Group, 2009.
- [5] 邹志强. 北极航道对全球能源贸易格局的影响[J]. 南京政治学院学报, 2014(1): 75-80.
- [6] 吕雪杰, 寿建敏. 以能源资源为基础北极“东北航道”运输发展研究[J]. 特区经济, 2014(3): 87-88.
- [7] 张侠, 屠景芳. 北冰洋油气资源潜力的全球战略意义[J]. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2010(5): 8-10.
- [8] 马艳玲. 北极旅游 安全面临新挑战[J]. 中国海事, 2010(12): 69-70.
- [9] 康建成, 任惠茹, 闫国东, 等. 北极斯瓦尔巴群岛的旅游资源[J]. 旅游科学, 2008, 22(6): 55-60.
- [10] 薛彦广, 关皓, 董兆俊, 等. 近40年北极海冰范围变化特征分析[J]. 海洋预报, 2014, 31(4): 85-91.
- [11] 张璐, 张占海, 李群, 等. 近30年北极海冰异常变化趋势[J]. 极地研究, 2009, 21(4): 344-352.
- [12] 魏立新, 张占海. 北极海冰变化特征分析[J]. 海洋预报, 2007, 24

- (4): 42-48.
- [13] 魏立新. 北极海冰变化及其气候效应研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [14] 李丕学. 北极径流变化的关键气候因子及其对北冰洋海冰变化影响的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [15] 姚文峻, 赵进平. 北极拉普捷夫海海冰多年变化研究[J]. 极地研究, 2013, 25(3): 218-225.
- [16] 赵进平, 朱大勇, 史久新. 楚科奇海海冰周年变化特征及其主要关联因素[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(2): 123-131.
- [17] 朱大勇, 赵进平, 史久新. 北极楚科奇海海冰面积多年变化的研究[J]. 海洋学报, 2007, 29(2): 25-33.
- [18] 李涛. 东西伯利亚海海冰面积时空变化特征及相关因素分析[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2007.
- [19] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季北极喀拉海, 巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风的影响[J]. 大气科学, 1999, 23(3): 267-275.
- [20] Rodrigues J. The Rapid Decline of the Sea Ice in the Russian Arctic[J]. Cold Regions Science and Technology, 2008, 54(2): 124-142.
- [21] 闫力. 北极航道通航环境研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- [22] 于胜泉. 北极航线通航环境影响因素分析[D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
- [23] 丁钦. 基于云模型的北极东北航道通航环境评价研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [24] 姚义德. 基于模糊综合评价的北极东北航道通航安全评估[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- [25] 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.
- [26] 苏洁, 徐栋, 赵进平, 等. 北极加速变暖条件下西北航道的海冰分布变化特征[J]. 极地研究, 2010, 22(2): 104-124.
- [27] 李春花, 李明, 赵杰臣, 等. 近年北极东北和西北航道开通状况分析[J]. 海洋学报, 2014, 36(10): 33-47.
- [28] Smith L C, Stephenson S R. New Trans-Arctic Shipping Routes Navigable by Midcentury[C]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013. 110(13): E1191-E1195.
- [29] 李新情, 程晓, 惠凤鸣, 等. 2014年夏季北极东北航道冰情分析[J]. 极地研究, 2016, 28(1): 87-94.
- [30] Lei R, Xie H, Wang J, et al. Changes in Sea Ice Conditions along the Arctic Northeast Passage from 1979 to 2012[J]. Cold Regions Science and Technology, 2015, 119: 132-144.
- [31] Østreng W, Eger K M, Fløistad B, et al. Shipping in Arctic Waters: a Comparison of the Northeast, Northwest and Trans Polar Passages[M]. New York: Springer Science & Business Media, 2013.
- [32] Marchenko N. Russian Arctic Seas: Navigational Conditions and Accidents[M]. New York: Springer Science & Business Media, 2012.
- [33] 不莱梅大学. 海冰密集度数据下载[EB/OL]. <http://www.iup.uni-bremen.de/iuppage/psa/2001/amsrop.html>.
- [34] 付红丽, 康建军, 李雪, 等. 利用海冰密集度数据分析北极冰间湖变化[J]. 极地研究, 2014, 26(2): 244-253.
- [35] 李涛, 赵进平, 朱大勇. 1997-2005年北极东西伯利亚海海冰变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2009, 31(5): 822-828.
- [36] 中华人民共和国海事局. 北极东北航道航行指南[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.
- [37] 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.

Research in navigable windows of the Northwest Passage

MA Long¹, WANG Jia-yue¹, LIU Xing-he¹, LI Zhen-hua²

(1. Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026 China; 2. Chongqing Qinglin land survey planning and design co., LTD, Chongqing 400030 China; 3. Department of Geography, University at Buffalo, The State University of New York, Buffalo 14228 USA; 4. CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd, Tianjin 300450 China)

Abstract: To investigate the ice condition along these passages, the navigable window of sailing route (navigable window for short) was introduced and calculated for the Northeast Passage from 2005 to 2014. By analyzing the characteristics of the navigable window, it showed that the average navigable start date of the Northeast Passage was mid-to-late July, the average navigable end date was mid-to-late October, and the average navigable period was about 90 days. During the ten years, the navigable period had a great fluctuation with no stable trend. Based on the change of the navigable window, waters of East Siberian Sea, Laptev Sea, and area from Vilkitsky Strait to Sergey Kirov Islands were determined as critical waters, which influenced the navigation of the Northeast Passage greatest. The results showed that the navigable window could reflect the ice condition along the Northeast Passage effectively, support the development of Arctic passages, and make safe, economic sailing plan.

Key words: Northeast Passage, northern sea route, navigable window of sailing route, sea ice concentration, critical waters