

辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险数据集 (2021–2022) 研发

郭泽坤^{1,2,3}, 钱思翰^{1,2,3*}, 范杰民¹

1. 广东海洋大学船舶与海运学院, 湛江 524088; 2. 广东省南海海洋牧场智能装备重点实验室, 湛江 524088;
3. 广东海洋大学深圳研究院, 深圳 518120

摘要: 为量化评估无冰级船舶在冬季辽东湾北部水域的航行风险, 本研究基于极地操作限制评估风险指数系统 (Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System, POLARIS), 构建了一个时空风险指数结果 (Risk Index Outcome, RIO) 数据集。数据源包括: 2021–2022 年冬季辽东湾晴空条件下的 GF-4 卫星可见光与近红外遥感影像 (用于反演海冰厚度), 以及源自《中国航路指南 黄、渤海海区》的 12 个通航水域多边形矢量数据。本数据集包含两部分内容: (1) 定义统计范围的 12 个通航水域边界 (Shapefile 格式); (2) 上述水域在 44 个晴天的日平均 RIO 数据 (Microsoft Excel 格式), 共计 528 个数据点。全部文件压缩后大小为 36.2 KB。该数据集为保障船舶运营安全、规划冬季航线及支撑海事监管决策提供了量化的数据基础。

关键词: POLARIS; 通航水域; 无冰级船舶; 运营风险; 辽东湾北部

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.01.13>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.01.13>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.04.04.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.04.04.V1>.

1 前言

海冰灾害作为五大海洋灾害之一, 主要发生在极地和高纬度地区, 同时也会对中纬度季节性海冰区产生影响^[1]。渤海是典型的季节性海冰区, 冬季海冰的形成主要受寒潮的影响^[2]。在渤海众多水域中, 辽东湾海冰冰情最为严重, 极端冰情年份甚至出现整个辽东湾被海冰覆盖的情形^[3]。辽东湾北部腹地的营口港, 是东北三省及内蒙古东四盟最近的海出

收稿日期: 2025-10-31; 修订日期: 2026-01-26; 出版日期: 2026-02-25

基金项目: 广东海洋大学(060302132106, 080508132401, 202421); 广东省自然科学基金(2022A1515011603, 2023A1515011212, 2025A1515010886); 广东省教育厅(2022ZDZX3005); 深圳市自然科学基金(JCYJ20220530162200001)

*通讯作者: 钱思翰, 广东海洋大学船舶与海运学院, qiansihan@stu.gdou.edu.cn

数据引用方式: [1] 郭泽坤, 钱思翰, 范杰民. 辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险数据集 (2021–2022) 研发 [J]. 全球变化数据学报, 2026, 10(1): 102–109. <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.01.13>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.01.13>.

[2] 马龙, 范杰民, 钱思翰等. 基于 POLARIS 方法计算辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险指数数据集 (2021–2022) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.04.04.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.04.04.V1>.

口, 粮食中转量长期位居北方港口前列, 年均中转量超过 3,000 万吨^[4]。辽东湾的结冰期恰逢“北粮南运”高峰期, 严重的海冰冰情限制了船舶的正常运营, 成为影响海上交通安全与运营效率的关键环境因素。不同程度的结冰会对船舶, 尤其是大量未进行冰区加强的常规船舶 (无冰级船舶) 的航行安全构成显著威胁^[5]。因此, 系统评估无冰级船舶在辽东湾冰区的运营风险, 对于保障船舶运营安全、规划冬季航线以及支撑海事监管决策至关重要。

目前, 针对极地水域航行风险的评估, 国际海事组织 (International Maritime Organization, IMO) 推荐采用极地操作限制评估风险指数系统 (Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System, POLARIS)^[6]。该方法综合考虑了海冰冰情与船舶冰级, 能够有效量化船舶航行风险, 并为船舶运营和船东决策提供支持。POLARIS 方法主要应用于极地水域, 依托美国国家冰雪数据中心 (National Snow and Ice Data Center, NSIDC) 提供的海冰冰情信息, 通过合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 对极地海冰冰情进行每周分析, 并生成相应的 GIS Shapefile 数据。

在非极地冰区, 基于 POLARIS 方法的风险量化应用较少。目前我国尚未形成连续性的海冰遥感观测数据集, 且相关海冰冰情数据的生成与分析工作也较为滞后。虽然遥感观测数据 (如 SAR) 在广泛覆盖和冰情信息的获取上具有明显优势, 但其在非极地水域的应用仍然存在局限, 尤其是在将遥感数据转换为 GIS Shapefile 数据, 并与航道水域空间连接进行评估方面, 尚缺乏成熟的数据集。

近年来, 中国高分系列卫星, 尤其是具备高时间分辨率与可见光-近红外观测能力的高分四号 (GF-4) 卫星, 为近海海冰的动态监测提供了重要的数据支撑。官方发布的 2016 版《中国水路指南 黄、渤海海区》明确界定了辽东湾北部主要通航水域的空间范围, 为航道空间单元的划分提供了依据。本研究通过结合遥感观测数据与航道水域 GIS 数据, 为弥补数据稀缺的不足, 构建了一套标准化、可复现的非极地船舶冰区运营风险数据集, 为非极地冰区的风险评估提供更加精确的支撑。通过这一改进, POLARIS 方法的适用性得到了扩展, 能够更全面地评估冰区水域的航行风险, 并为船舶运营决策提供有力的数据支持。

该数据集的核心贡献包括: (1) 数据融合, 将 GF-4 卫星反演的海冰厚度产品与官方航道矢量数据进行空间连接, 确保风险评估单元与实际航运业务需求的高度匹配; (2) 方法标准化, 严格遵循 IMO 推荐的 POLARIS 方法框架进行计算, 通过风险指数结果 (Risk Index Outcome, RIO) 量化船舶航行风险, 推动 POLARIS 方法的发展和完善; (3) 产品序列化, 构建了覆盖 2021–2022 年冬季、44 个晴空日和 12 个关键通航水域的日尺度风险指数时间序列, 系统刻画辽东湾北部水域无冰级船舶运营风险的时空演变特征。

本文作为该数据集的数据论文, 系统阐述数据的研发方法、组成结构以及数据结果等内容。该数据集的发布旨在填补辽东湾水域冰区无冰级船舶航行风险量化数据集的空白, 为冰区海事监管与决策、船舶辅助决策以及气候变化背景下的冰区船舶通航性研究提供基础数据支撑。

2 数据集元数据简介

《基于 POLARIS 方法计算辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险指数数据集

(2021–2022)》^[7]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、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 《基于 POLARIS 方法计算辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险指数数据集 (2021–2022)》元数据简表

条目	描述
数据集名称	基于 POLARIS 方法计算辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险指数数据集 (2021–2022)
数据集短名	NIS_Vessel_RIO_LiaodongBay2021-2022
作者信息	马龙, 广东海洋大学船舶与海运学院, malong@gdou.edu.cn 范杰民, 广东海洋大学船舶与海运学院, fanjiemin@stu.gdou.edu.cn 钱思翰, 广东海洋大学船舶与海运学院, qiansihan@stu.gdou.edu.cn 徐进, 广东海洋大学船舶与海运学院, jinxu@gdou.edu.cn 曹亮, 广东海洋大学船舶与海运学院, caoliang@gdou.edu.cn 徐帅, 广东海洋大学船舶与海运学院, xs20221053@163.com 李晓文, 海南科技职业大学海南自由贸易港国际航运发展与物权数字化/海南省哲学社会科学重点实验室, xiaowenli_capt@126.com
地理区域	辽东湾北部水域
数据年代	2021–2022
时间分辨率	日
空间分辨率	50 m
数据格式	.xlsx、.shp
数据量	78.7 KB
数据集组成	辽东湾北部 12 个通航水域多边形矢量数据; 2021–2022 冬季 44 个晴天的 12 个辽东湾北部通航水域 RIO 数值
基金项目	广东海洋大学 (060302132106, 080508132401, 202421); 广东省自然科学基金 (2022A1515011603, 2023A1515011212, 2025A1515010886); 广东省教育厅 (2022ZDZX3005); 深圳市自然科学基金 (JCYJ20220530162200001)
数据计算环境	ArcGIS Pro
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
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	(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)编辑组签署书面协议, 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 ^[8]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC

3 数据研发方法

本数据集的研发严格遵循 IMO 推荐的 POLARIS 方法, 获取了辽东湾北部通航水域无冰级船舶的日尺度 RIO。研发过程中, 综合集成高分四号 (GF-4) 卫星遥感反演的海冰厚

度数据、官方航道空间矢量数据以及气象观测数据，构建了一套标准化的风险评估框架，确保了数据产品的科学性、一致性与可重复性。数据集构建所需的输入数据来源、描述及关键参数详见表 2。所有原始数据均经过质量控制和预处理，以满足 POLARIS 方法计算的要求。

表 2 数据集数据来源与参数说明

数据类别	数据描述	来源	关键参数说明
卫星遥感图像	GF-4 卫星可见光与近红外波段影像	自然资源卫星遥感云服务平台 ^[9]	空间分辨率：50 m；波段：0.45–0.90 μm；用于反演海冰厚度。覆盖 2021 年 12 月 17 日至 2022 年 3 月 4 日冰期内辽东湾北部水域 44 个晴空日
航道矢量数据	辽东湾北部 12 个通航水域（航道与锚地）多边形边界	《中国航路指南 黄、渤海海区》（中国航海图书出版社，2016） ^[10]	数据格式：矢量多边形；地理坐标系：WGS 84。定义了风险评估的空间统计单元，包括葫芦岛、锦州、盘锦、营口等港口的关键水域
辅助气象数据	日平均气温	营口气象站（国家气象科学数据中心） ^[11]	时间范围：2021 年 12 月 17 日–2022 年 3 月 4 日。用于分析海冰生消过程与 RIO 变化的关联性

3.1 算法原理

POLARIS 方法综合考虑了海冰密集度、海冰类型、海冰厚度、船舶冰级等信息，通过风险指数值（Risk Index Values, RIVs）量化不同海冰冰情给船舶带来的运营风险，并通过 RIO 评估船舶在冰区的运营限制^[12]。

（1）RIO 的计算

对于独立航行的船舶，RIO 由该水域内各类海冰类型的 RIVs 与其对应的海冰密集度相乘后的加权求和得到。由于使用高分辨率 GF-4 卫星影像，将海冰归类的像素假定为完整的海冰覆盖，即 10/10 的海冰密集度。因此，依据这一假设，RIO 的计算仅需将 RIVs 乘以 10。故而 RIO 的计算公式如下^[13]：

$$RIO = \sum_{i=1}^n (10 \times RIV_i) \tag{1}$$

式中， RIV_i 为第 i 类海冰类型对应的风险指数值，取值范围为–8–3。

（2）风险指数值（RIVs）确定

RIVs 由航行水域中船舶冰级和海冰发展阶段共同决定的^[14]。本数据集研究对象为无冰级船舶，不同海冰发展阶段对应无冰级船舶的 RIVs 如表 3 所示^[6]。

表 3 无冰级船舶海冰发展阶段与 RIVs 映射表

海冰发展阶段	海冰厚度(cm)	RIVs	海冰发展阶段	海冰厚度(cm)	RIVs
无冰	/	3	薄当年冰第一阶段	30–50	–2
新冰	<10	1	薄当年冰第二阶段	50–70	–3
灰冰	10–15	0	中等厚度当年冰	70–100	–5
灰白冰	15–30	–1	厚当年冰	>100	–6

3.2 技术路线

从原始数据到最终数据集的生成，需要对数据进行一系列处理（图 1）。首先，对 GF-4 卫星影像进行辐射定标与几何校正，并基于光学遥感经验模型，将像元反射率反演为连续

的海冰厚度栅格数据。随后,依据海冰冰厚阈值将海冰厚度栅格数据离散化为符合 POLARIS 标准的海冰类型。鉴于 GF-4 影像具有较高的空间分辨率(50 m),所有被识别为海冰的像元,其海冰密集度均统一设定为 10/10(全覆盖)。接着,根据各像元对应的海冰类型获取对应的 RIVs,并逐像元执行 $RIO=RIV\times 10$ 的计算,从而生成覆盖整个研究水域的日尺度 RIO 空间分布图(共 44 幅)。最后,将 12 个通航水域的矢量多边形边界与每日的 RIO 栅格进行空间连接,计算每个多边形水域内所有像元 RIO 值的平均值,作为对应通航水域当日的代表 RIO 值。通过整合各通航水域的矢量边界信息与日尺度时间序列统计结果,最终形成结构化的完整数据集。

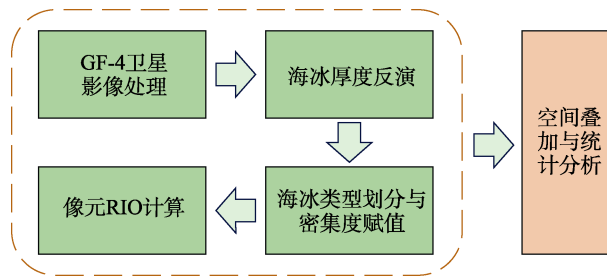


图1 数据集构建流程图

4 数据结果

4.1 数据集组成

《基于 POLARIS 方法计算辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险指数数据集(2021–2022)》由以下两部分构成,共同形成了一个完整的时空风险评估产品。

(1) 空间范围数据:包括辽东湾北部 12 个关键通航水域(编号 1–12)的矢量边界文件,格式为 Shapefile。该数据用于定义风险评估与统计分析的基本空间单元。

(2) 风险指数结果数据:核心数据文件为.xlsx 格式的表格,记录了上述 12 个水域在 2021–2022 年冬季 44 个晴空日的日平均 RIO。表格以日期为行,通航水域为列,共生成 44 天 \times 12 区=528 个有效 RIO 数据点。

4.2 数据结果

图 2 为辽东湾北部 12 个关键通航水域(包括航道与锚地)地理分布,表 4 为辽东湾北部 12 个关键通航水域(包括航道与锚地)地理范围。图 3 则以 2022 年 1 月 21 日为例,呈现了基于 POLARIS 方法计算得到的 RIO 空间分布。结合图 2、图 3,可以发现通航水域 1–12 超过一半的 RIO 值小于 0,反映了辽东湾北部水域一月下旬航行风险较高。为了量化辽东湾北部水域冬季航行风险,整合 44 个晴空日的数据,进一步统计各水域 RIO 的时间序列特征(见表 5),包括各通航水域在 44 个观测日的平均 RIO、不同 RIO 等级对应的天数占比,以及高风险期($RIO < -10$)的起止日期。平均 RIO 值用于表征各通航水域在整个研究期的相对风险水平。 $RIO \geq 0$ 时,船舶可正常航行; $RIO < 0$ 时,船舶不可航行,且数值越低风险越高。不同 RIO 等级对应的天数占比则反映了风险发生的频率与持续特征。

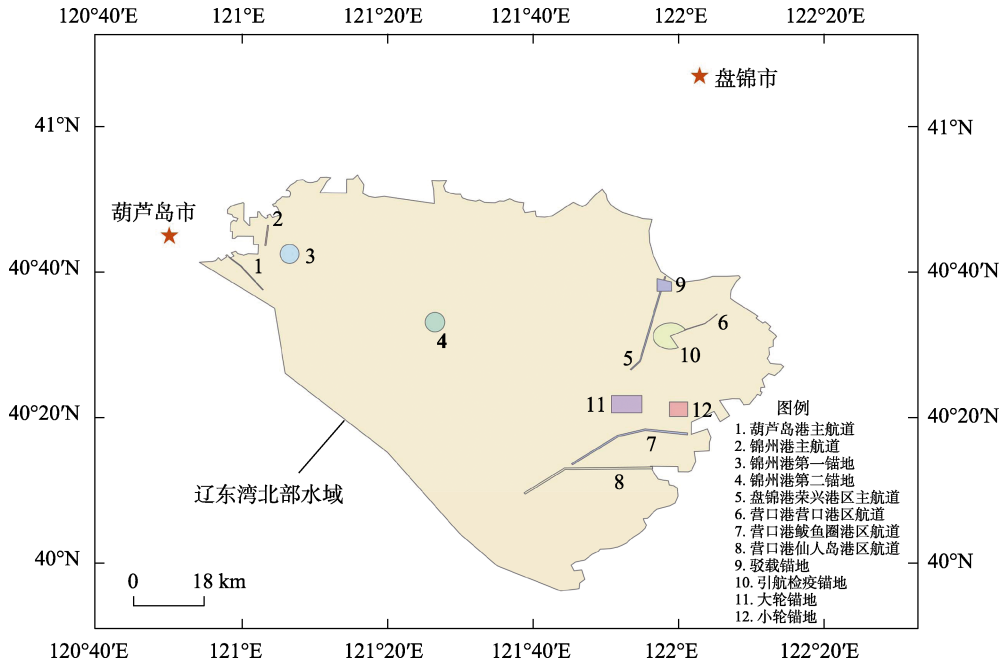


图 2 辽东湾北部通航水域地理分布图

表 4 辽东湾北部通航水域地理范围一览表

序号	通航水域	地理范围
1	葫芦岛港主航道	自葫芦岛 1 号灯浮 (40°37'30"N, 121°02'55"E) 至 16 号灯浮
2	锦州港主航道	自锦州港 1 号灯浮 (40°43'29"N, 121°03'12"E) 至 7 号灯浮
3	锦州港第一锚地	以 (40°42'24"N, 121°06'30"E) 为中心, 半径 1 海里
4	锦州港第二锚地	以 (40°33'00"N, 121°26'30"E) 为中心, 半径 1 海里
5	盘锦港荣兴港区主航道	自盘锦港 1 号灯浮 (40°26'26"N, 121°53'35"E) 至 35 号灯浮
6	营口港营口港区航道	自营口港区 1 号灯浮 (40°31'54"N, 122°01'00"E) 至 11 号灯浮
7	营口港鲅鱼圈港区航道	自鲅鱼圈港区 1 号灯浮 (40°13'22"N, 121°45'30"E) 至 36 号灯浮
8	营口港仙人岛港区航道	自仙人岛港区 1 号灯浮 (40°09'19"N, 121°38'59"E) 至 40 号灯浮
9	驳载锚地	由以下 4 点连线围成的锚地: 40°37'17"N, 121°57'09"E; 40°37'17"N, 121°59'08"E; 40°38'34"N, 121°59'08"E; 40°39'01"N, 121°57'09"E
10	引航检疫锚地	以营口灯浮 (40°31'06"N, 121°58'58"E) 为中心, 半径 1.8 海里 以营口灯浮至 1 号灯浮的连线为起始边, 逆时针旋转 270°形成的 3/4 圆形区域
11	大轮锚地	由以下 4 点连线围成的锚地: 40°22'55"N, 121°55'03"E; 40°22'55"N, 122°50'51"E; 40°20'31"N, 121°50'51"E; 40°20'31"N, 122°55'03"E
12	小轮锚地	由以下 4 点连线围成的锚地: 40°20'01"N, 121°58'51"E; 40°20'01"N, 122°01'21"E; 40°22'01"N, 122°01'21"E; 40°22'01"N, 121°58'51"E

由表 5 可知，辽东湾北部水域无冰级船舶的运营风险呈现出明显的时空分布规律。空间上，通航水域的风险呈现出明显的区域差异，表现为西部风险高，东部风险低。高风险水域 (3、4、5、7、9、10、11) 的平均 RIO 值较低甚至为负，且 RIO<0 的天数占比普遍超过 55%，表明这些水域在整个冬季面临连续且较高的航行风险。其中，高风险水域中的水

域 5 (盘锦港荣兴港区主航道水域) 和水域 10 (引航检疫锚地) 的风险最为突出, 平均 RIO 值为负值。相比之下, 水域 1 (葫芦岛港主航道) 和水域 2 (锦州港主航道) 的平均 RIO 值最高, 高风险期结束最早, 通航条件相对较好。水域 4 (锦州港第二号锚地) 则为特殊案例, 其高风险期几乎覆盖了整个观测期, 这与该水域靠近河口、盐度较低, 利于海冰持续形成的环境特征相符。时间上, 通航水域风险随冬季进程动态变化, 所有水域的重冰期 ($\text{RIO} < -10$) 主要集中在 1 月至 2 月, 与当地海冰的生消规律一致。同时, 不同水域高风险期的起止时间存在差异, 反映了局地过程的特殊性, 南部水域 8 的风险期开始较晚, 而北部近岸水域的航行风险普遍开始较早。

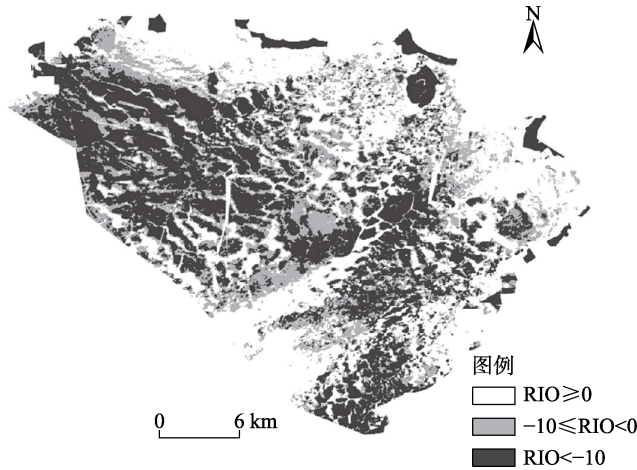


图 3 RIO 空间分布图 (以 2022 年 1 月 21 日为例)

表 5 辽东湾北部通航水域 RIO 统计汇总表 (2021–2022 冬季)

水域编号	平均 RIO	$\text{RIO} \geq 0$ 天数占比(%)	$-10 \leq \text{RIO} < 0$ 天数占比(%)	$\text{RIO} < -10$ 天数占比(%)	高风险期($\text{RIO} < -10$) 起止日期
1	9.68	77	14	9	12月31日–2月2日
2	7.02	70	12	18	12月31日–2月1日
3	2.42	41	36	23	12月30日–2月4日
4	3.43	41	36	23	12月26日–2月16日
5	-1.09	32	50	18	1月11日–2月17日
6	3.93	57	36	7	12月29日–2月19日
7	2.88	41	32	27	1月20日–2月24日
8	5.37	54	23	23	1月19日–2月24日
9	0.53	40	50	10	12月28日–2月2日
10	-1.43	36	41	23	1月16日–2月24日
11	1.72	43	34	23	1月20日–2月24日
12	5.05	52	21	27	12月26日–2月21日

5 讨论和总结

数据集通过集成 GF-4 卫星反演的海冰厚度信息与官方航道矢量数据, 严格遵循 POLARIS 方法框架, 生成了覆盖辽东湾北部 12 个关键通航水域、44 个晴空日的日尺度无冰级船舶 RIO。其研发与发布不仅为辽东湾北部水域海事安全管理提供了精细化的定量化

工具, 也为 POLARIS 方法在非极地水域的应用验证提供了重要案例, 推动了 POLARIS 方法的发展。分析表明, 辽东湾北部冬季无冰级船舶运营风险呈显著的时空异质性: 高风险水域主要集中于盘锦港荣兴港区主要航道水域及引航检疫锚地 (水域 5 和水域 10), 东部水域风险相对较低; 高风险期主要集中在 1 月至 2 月。该数据集以标准化、可机读格式公开, 可直接应用于辽东湾北部冬季海事安全管理、船舶航线优化、冰区航行风险评估模型验证及气候变化背景下冰区船舶通航性研究, 为相关领域的安全运营与长期科研提供了关键数据支撑。

本数据集在研发过程中仍存一定的局限性。数据集的构建受限于晴空观测条件, 仅获得 44 个有效观测日, 难以实现整个冰期的连续监测。海冰厚度反演主要依赖光学遥感经验模型, 尚缺乏现场实测数据的充分验证。通航水域划分依据 2016 年出版的《中国航路指南 黄、渤海海区》, 未能及时反映近年来的航道动态变化。评估模型未考虑船舶动态参数及人为操作因素。在未来的研究中, 将通过融合 SAR、被动微波等多源遥感数据, 提升监测连续性; 结合现场实测优化反演算法; 引入 AIS 数据与船舶航行日志, 构建人-船-冰耦合风险评估模型; 并基于最新航道资料更新空间评估单元, 以实现冰区航行风险评估的更高精度和更强实时性。

作者分工: 钱思翰负责数据集总体设计与研究方案指导, 并参与数据论文的修改与指导; 郭泽坤负责数据收集、数据处理以及模型与算法设计, 同时撰写论文原稿; 范杰民负责数据验证, 同时参与了论文撰写。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 孙晟好. 基于深度学习的辽东湾海冰识别与厚度分级方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2025.
- [2] 孙涛. 基于多源遥感数据的辽东湾北部高时空分辨率冰情监测[D]. 大连: 大连海洋大学, 2024.
- [3] 郭东琳, 赵鹏, 王彬等. 基于卫星观测的辽东湾冰情统计分析[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(1): 31–40.
- [4] 辽宁省人民政府. 营口破除辽东湾海冰护航北粮南运 [EB/OL]. (2025-02-17) [2025-12-31]. https://www.ln.gov.cn/web/ywdt/qsgd/ass_2_1/2025021709011340363/index.shtml.
- [5] Xu, J., Xu, S., Ma, L., et al. Research on Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System for ships operating in seasonal sea-ice covered waters [J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2024, 12(5): 827.
- [6] Maritime Safety Committee. Guidance on methodologies for assessing operational capabilities and limitations in ice [J]. *International Maritime Organization*, 2016: 1.
- [7] 马龙, 范杰民, 钱思翰等. 基于 POLARIS 方法计算辽东湾北部冬季通航水域无冰级船舶运营风险指数数据集(2021–2022) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.04.04.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.04.04.V1>.
- [8] 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).
- [9] 自然资源卫星遥感云服务平台 [EB/OL]. [2026-01-05]. <https://www.sasclouds.com/chinese/home>.
- [10] 中国人民解放军海军司令部航海保证部. 中国航路指南 黄、渤海海区 [M]. 天津: 中国航海图书出版社, 2016.
- [11] 国家气象科学技术中心 [EB/OL]. [2026-01-05]. <https://data.cma.cn/>.
- [12] Ma, L., Qian, S. H., Dong, H. H., et al. Navigability of liquefied natural gas carriers along the northern sea route [J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2024, 12(12): 2166.
- [13] Ma, L., Qian, S. H., Mou, X. G., et al. Comparative research on vessel navigability on the Northern Sea route based on the NSR admission criteria and POLARIS methodology [J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2025, 13(7): 1282.
- [14] 马龙, 钱思翰, 郑元洲等. 北方海航道无冰级 LNG 运输船通航窗口的变化研究(2015–2024) [J/OL]. 极地研究, 2026: 1–22. <https://doi.org/10.13679/j.jdyj.20250061>.