

战略矿产海运通道安全研究 ——以铁矿石为例

薄艾^{1,2}, 谢永顺^{3*}, 何兆阳^{1,2}, 王成金^{1,2}, 勾艺超^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;
3. 清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要: 战略矿产是维护国家安全和稳定发展的基石, 保持海运通道畅通是保障战略矿产进口安全的关键举措。本文梳理了我国战略矿产进口及海运通道整体格局, 以铁矿石海运进口网络为例, 对重要海运通道进行重要性评价和失效影响评估, 最后总结了重要海运通道的风险来源, 并提出了相应的风险应对策略。研究发现: 我国战略矿产进口对海运通道的依赖性极强; 在铁矿石海运案例研究中, 识别出了海运通道的重要性及失效影响情况, 建议构建差异化、精细化应对策略, 重视对好望角、龙目海峡等运输通道的保护, 重点关注大尺寸船舶的航运安全。我国战略矿产海运通道的风险主要来自航道通行、国际争端与战争威胁、非传统安全等3个方面, 对此可实施多领域应对策略, 包括打造多元战略支点、构建多维预警系统与替代航线响应机制、加强跨境铁海联运通道建设、开展预防性外交工作、完善海上保障体系、实施等级化和差异化的风险应对措施等。

关键词: 战略矿产; 海运通道; 安全风险; 失效影响; 铁矿石

中图分类号: K901 文献标识码: A

Maritime Transportation Security of Strategic Minerals: A Case Study of Iron Ore

Bo Ai^{1,2}, Xie Yongshun^{3*}, He Zhaoyang^{1,2}, Wang Chengjin^{1,2}, Gou Yichao^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Strategic minerals are the cornerstone of national security and stable development. China's strategic mineral imports are highly dependent on maritime transport, and ensuring smooth maritime routes is crucial for safeguarding the security of strategic mineral imports. This study analyzes the overall pattern of China's strategic mineral imports and maritime routes. Taking the iron ore maritime import network as an example, the study evaluates the importance and failure impacts of key maritime routes, summarizes the risk sources of important maritime routes, and proposes corresponding security strategies. The research finds that China's strategic mineral imports are highly dependent on maritime routes. Based on the case study of iron ore maritime transport, the importance and failure impacts of maritime routes are identified. It is suggested to build differentiated and refined response strategies, focus on the protection of the Cape of Good Hope and the Lombok Strait transport corridor network, and pay attention to the safe navigation of

收稿日期: 2024-04-09; 修回日期: 2024-05-13

通讯作者: *谢永顺, 清华大学环境学院助理研究员, 研究方向为交通地理与区域发展; E-mail: xieys@mail.tsinghua.edu.cn

资助项目: 国家自然科学基金项目(42071151); 中国博士后科学基金面上项目(2023M741886); 中国工程院咨询项目“中国矿产资源安全战略研究”(2022-XBZD-27)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

large vessels. The risks of maritime routes for China's strategic minerals mainly come from three aspects: navigational passages, international disputes and war threats, and non-traditional security issues. In response, multi-domain response strategies can be implemented, including building multiple strategic pivot nodes, constructing a multidimensional early warning system and an alternative route response mechanism, strengthening the construction of cross-border rail-sea intermodal transport corridors, conducting preventive diplomatic work, improving the maritime security system, and implementing hierarchical and differentiated risk-response measures.

Keywords: Strategic minerals; maritime routes; security risks; failure impacts; iron ore

一、前言

矿产资源分布的空间非均衡特征,促使全球战略物资形成了供给与需求的市场空间分离格局,决定了海上航运的重要性^[1,2]。矿产资源是交通、计算机、电子、国防装备等生产制造和创新发展的基础,对国家安全和稳定发展具有战略意义。在新一轮找矿突破战略行动中,我国将石油、天然气、页岩气、铁、锰、铬、铜、硼矿、煤炭、钨、钼、锡和磷矿等36种矿产列为关系我国经济安全和国防安全的战略矿产。我国矿产资源总量丰富但人均占有率低,战略矿产的对外依存度持续居于高位^[3],超过20种战略矿产的对外依存度高于65%,铬、铌、铁、锰等矿产的对外依存度超过80%^[4]。海上运输规模大、成本低,是大宗矿产国际贸易的主要运输方式,因此,保障战略矿产海运安全和效率,对维护国家安全及稳定发展、有效保障工业化和城镇化建设至关重要^[5]。

海上航线中的狭窄运输通道通常是海权强国争夺控制的重点区域,以这些战略通道为核心进行的地缘政治博弈从地理大发现开始一直延续至今^[6]。海运通道是大部分航线、班次和货物运输的必经之路,对海上运输安全具有全局性、关键性的影响。海运通道的堵塞或封锁将带来运输货量下降、运输成本提高、运输风险加大等一系列的负面影响。我国战略矿产进口的货源高度集中,对海运通道的依赖性极强。然而,气候、地缘政治、海盗行为、海上恐怖主义、突发事件等多重因素均给海运通道安全增添了风险和不确定性。因此,识别我国战略矿产进口网络中的重要海运通道,明确影响海运通道安全的潜在风险,以此确定海运安全预警方案及对策,对保障战略矿产进口安全意义重大。

以铁矿石为例,我国对外依存度超过80%,主要来自澳大利亚、巴西等国家,大量运送船往来汇集于少数海上要道,为保障海运安全带来极高的挑战。此外,在规模经济和成本节约的驱动下,铁矿

石海运船舶的大型化趋势明显,带来了海上运输格局的变化^[7,8]。部分海运通道对船舶宽度和吃水深度具有较强的限制,促使这些超大型船舶被迫改变运输航线,进而推动海运航道在重要性和战略性方面发生空间转移。由此可见,铁矿石进口网络的海运通道安全研究具有典型性和紧迫性,以铁矿石海运为例研究海运通道的重要性和失效影响,同时考虑船舶尺寸变化带来的影响,可为更具前瞻性和全局性的战略决策提供指引。

针对矿产运输安全性这一话题,已有研究在通道识别、风险评估、安全性评价、保障能力建设等方面展开充分探讨^[9-14]。然而,在船舶大型化趋势下,关键矿产海运通道安全研究亟需从船舶尺寸分异视角切入,深入研究海运通道地位层级性和失效影响差异性。基于此,本文首先梳理战略矿产海运总体格局与重要通道,以铁矿石海运为例,利用船舶自动识别系统(AIS)数据,基于总体网络和船舶尺寸分异两个研究视角,从货运量影响、航线影响、航班影响等维度比较各个海运通道战略地位的层级性,从网络效率、网络连通性、航线延长率等方面测算海运通道的失效影响,进而总结海运通道风险来源和应对策略。本研究旨在识别关键性海运通道,完善海运安全保障策略,为建立等级化、差异化的安全保障措施提供理论和实践支持,为我国保障战略矿产海运通道安全研究提供参考。

二、战略矿产进口及海运通道整体格局

(一) 战略矿产进口格局呈高度集中态势

我国矿石进口的来源地多样,涉及亚洲、欧洲、非洲、北美和南美等区域的132个国家及地区,且随着我国海外投资扩张而呈现出不断丰富的趋势^[15]。根据联合国贸易数据,石油和金属矿产是我国进口源地最为集中的战略矿产,而南部非洲、东南欧、澳新、西非、东南亚、西亚、中东和南美东部等区域为我国战略矿产进口的主要供应地。我

国约 1/2 战略矿产的进口来源地高度集中，由少数地区占据贸易总额的 50% 以上。其中，80% 以上的石油进口来自中东，95% 以上的钴矿来自西非，66% 以上的铁矿石来自澳大利亚，60% 的铜和 96% 的铌（钽、钒或锆）来自南美洲，60% 的硼矿来自东南亚，96% 的石墨、85% 的铬和 50% 的锰矿来自南部非洲。由此可见，我国战略矿产供应来源广泛，但依旧处于被动地位，若中东、南美洲、大洋洲、非洲等地区的海上运输通道出现突发状况，将直接威胁我国经济发展与地缘安全。

（二）战略矿产对少数海运通道形成高度依赖

我国战略矿产进口高度集中于特定国家和地区，导致少数航线承载了绝大部分的矿产输送量，高频次的船舶往来汇聚形成了 3 条极具战略意义的运输航线：西欧航线、好望角航线和澳新航线（见表 1）。以运输距离最短的海运航线作为各国的矿产运输航线，统计 3 条海运航线的途径国家，结合联合国贸易数据得到各海运航线的主要运输矿产类型及进口总额占比。其中，① 西欧航线以西欧和北非为起点，途径地中海、红海、印度洋、南海抵达我国，连接欧洲、北非、东非、中东、南亚、东南亚等区域，涉及 94 个国家的战略矿产贸易往来，主要承载钴、镍、石油、煤炭、铌、天然气、硼、金等矿产供应。② 好望角航线途径非洲好望角，跨越太平洋抵达我国，连接西非、南部非洲、南美东部等地区，途径安哥拉、阿根廷、巴西等 12 个出口国，承载了我国 94% 的石墨进口量、86% 的铬进口量以及 55% 的铁、锰等金属矿产进口量。③ 澳新航线由澳大利亚北上途径菲律宾海抵达我国，输送占我国进口总量 66% 的铁矿石，以及约占 50% 的铌、钽、钒、锆进口。

在战略矿产进口的 3 条核心航线中，具有战略

意义的海运通道包括直布罗陀海峡、苏伊士运河、曼德海峡、霍尔木兹海峡、马六甲海峡、龙目海峡、巽他海峡、好望角和菲律宾海。直布罗陀海峡—苏伊士运河—曼德海峡连接大西洋、地中海、红海和阿拉伯海是连通西欧、北欧、北非和西非国家的重要关口。经苏伊士运河从大西洋沿岸到我国相较于好望角航线，距离缩短了约 3430 n mile (1 n mile≈1.852 km)^[10]，是重要的东西连通通道，直接影响钴的安全供应及煤炭、铌、天然气、镍、硼、金等战略矿产的输送成本。霍尔木兹海峡连接波斯湾和阿拉伯海，是获取波斯湾石油资源的必经之地，是保障石油进口安全的战略节点。好望角位于非洲大陆的最南端，为南部非洲、南美洲东岸、西非等区域矿石输送的重要节点，也是无法通过苏伊士运河的超大型矿石船绕道必经之地，影响石墨、铬、铁、锰等矿产的贸易成本。马六甲海峡、菲律宾海、龙目海峡和巽他海峡直接衔接我国南海、东海或黄海等海域。其中，马六甲海峡位于马来半岛和苏门答腊岛之间，是获取欧洲、中东、非洲矿产资源最为便捷的要道关口，关系到煤炭的进口运输时间和运输成本。菲律宾海位于菲律宾群岛以东的海域，为澳大利亚铁矿石船北上的便捷通道。龙目海峡位于巴厘岛和龙目岛之间，巽他海峡位于苏门答腊岛和爪哇岛之间，二者是载重量超过 2×10⁵ t 的矿石船舶往来的重要关口。由此可见，我国大部分战略矿产进口对海运航线和海运通道的依赖性极强，针对上述通道的风险防控和安全保障措施尤为重要。

三、战略矿产海运通道安全案例分析：以铁矿石为例

（一）研究对象及数据来源

铁矿石是最为典型的战略矿产资源，其空间流

表 1 战略矿产海运航线及重要通道

航线名称	海运通道	连接地区	主要输送矿产及进口总额占比		
			>80%	>60%	>50%
西欧航线	直布罗陀海峡、苏伊士运河、曼德海峡、霍尔木兹海峡、马六甲海峡	欧洲、中东、北非、东非、西非、东南亚	钴、石油、镍	煤炭、铌、天然气	硼、金
好望角航线	好望角、巽他海峡、龙目海峡	西非、南部非洲、南美东部	石墨、铬	—	铁、锰
澳新航线	菲律宾海、马六甲海峡、巽他海峡、龙目海峡	澳大利亚	—	铁	铌、钽、钒

动态势对国际经济安全和地缘政治风险的影响大,对铁矿石进口依赖度高达 80% 的我国更是如此。为此,本研究以铁矿石作为案例进行研究。铁矿石运输遵循规模经济,其国际运输多由载重量超过 1.6×10^5 t 的散货船实现。本研究基于 AIS 轨迹数据,从亿海蓝官方网站 (<https://www.elane.com>) 收集了 2021 年 7 月至 2022 年 7 月的我国铁矿石进口运输船轨迹序列,以铁矿石出口港和进口港为节点,在存在船舶运输关系的港口间建立连接,将港口之间船舶往来的航班量和货运量作为权重赋予港间连接,构建铁矿石运输网络。

海运通道评价包括重要性评价和风险影响评价。重要性评价是对各海运通道直接影响的航线航班量、货物运输量和港口数量进行分析,关注海运通道对铁矿石海运的控制能力。风险影响评价是模拟某一海运通道在运输网络中的失效情景,量化该海运通道失效对我国铁矿石海运进口网络的影响,关注海运通道失效的负面影响。

(二) 海运通道重要性评价

1. 总体运输网络重要性

基于铁矿石进口船舶 AIS 轨迹数据,将运输路径通过海运通道的航线视为受该海运通道直接影响的航线,统计了 2021 年 7 月至 2022 年 7 月期间影响航线的船舶往来航班通过量、运输货物量和矿产出口港数量,讨论其在总体运输网络中的重要性(见表 2)。

龙目海峡和好望角海运通道的运输安全对维持我国铁矿石进口通道稳定发挥了关键作用。龙目海峡的通行船舶主要来自澳大利亚,汇集了超过 70% 的航班通过量,影响约 8×10^8 t 的铁矿石运输,占我

国铁矿石进口总量的 68%。好望角的影响仅次于龙目海峡,所影响货运量和航班通过量的比例均为 30% 左右。巽他海峡的影响较之更弱,影响货运量和航班通过量的比例在 15% 左右。通行于好望角、巽他海峡的船舶主要来自巴西和南部非洲。相比之下,菲律宾海、马六甲海峡等通道影响力较为薄弱,仅影响不到 6% 的铁矿石进口量。但是,确保马六甲海峡的安全通畅在铁矿石进口来源拓展中具有基础性的保障作用。推动铁矿石进口来源多元化,有利于增加进口结构调整的灵活性,增强风险应对能力。目前,马六甲海峡可以影响的港口数量最多(23 个),分布在比利时、巴西、智利、印度、马来西亚、莫桑比克、挪威等 12 个国家,是我国建立多元化进口渠道的关键。

以上结果表明,海运通道的重要程度具有明显的层级差异,且其对航班通过量、货运量和港口数量的影响程度各不相同。龙目海峡、好望角、巽他海峡在保障航班联系和进口货运规模上具有关键性作用,是现阶段铁矿石运输规模保障中最重要的海运通道;马六甲海峡则在丰富进口来源方面具有重要影响,是提高海运风险应对能力的关键,其战略性作用将随着我国铁矿石进口来源的拓展而进一步增强。

2. 分尺寸运输网络重要性

海运通道对船舶尺寸的限制性不同,导致其在不同尺寸航运网络中具有差异性的地位及影响。探讨分尺寸运输网络下的重要性评价,有助于明晰船舶尺寸与海运通道安全的关联性。因此,本研究分别以 2×10^5 t 和 3×10^5 t 为阈值划分船舶尺寸等级,统计不同尺寸等级下,海运通道影响的出口港数量、通过航班数量和货物运输量(见图 1)。

在小尺寸船舶运输网络中,马六甲海峡、菲律宾海和地中海-红海通道等 3 条通道的重要性更强,受其影响的港口数量、航班通过量和货运量占比均达到 30%。马六甲海峡、地中海-红海通道对船舶尺寸的限制性强,分别允许通行 20 万吨级以下、30 万吨级以下的小尺寸船舶。菲律宾海是位于澳大利亚东岸港口输送铁矿石的必经之路,通过此通道运输矿石的出口港包括格拉德斯通港、纽卡斯尔港和海波因特港等,泊位水深较低且矿石出口规模小,仅支持小尺寸矿石船停靠。

在 20 万吨级至 30 万吨级的船舶运输网络中,

表 2 总体运输网络中重要海运通道的重要性

通道名称	航班通过量 /次	货运量 / $\times 10^8$ t	影响的港口 数量/个
龙目海峡	3019	8.1	11
好望角	1098	4.0	9
巽他海峡	491	1.9	9
菲律宾海	244	0.5	5
马六甲海峡	271	0.5	23
地中海-红海通道	150	0.2	9

注:直布罗陀海峡、苏伊士运河与曼德海峡的地理位置和功能地位接近,整合为地中海-红海通道。

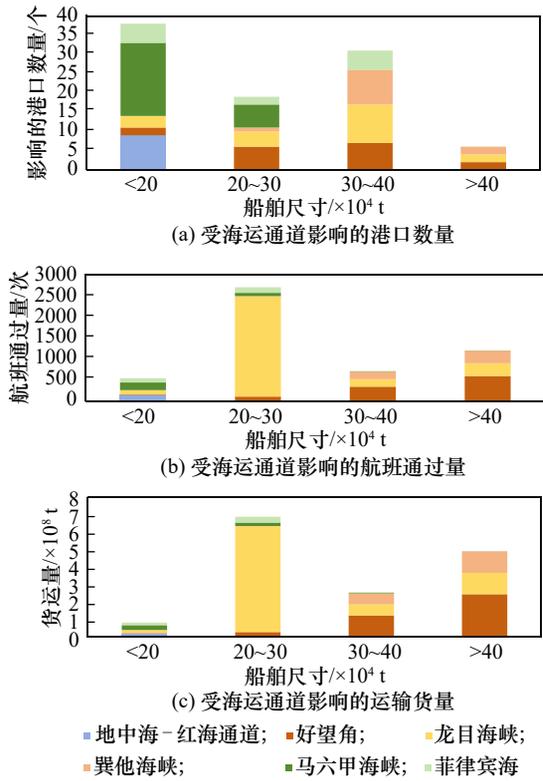


图1 分尺寸运输网络中海运通道的重要性

关键性海运通道的重要性体现在不同方面。马六甲海峡和好望角在确保出口港多样化方面更为突出，龙目海峡在保证通行航班通过量和货运量方面具有绝对性的影响。

在超过30万吨级的船舶运输网络中，龙目海峡、巽他海峡和好望角海峡的重要性相当，影响出口港数量、航班数量和货运量均占25%左右。随着船舶尺寸的进一步增加，好望角的重要性增强，通过货运量及航班通过量占比将接近50%。该尺寸的船舶多来自南美洲东部，而好望角是大尺寸船舶从南美洲东部输送铁矿石的必经之地。相比之下，巽他海峡和龙目海峡的地理位置相近，在此类船舶的运输网络中具有极强的可替代性。

(三) 海运通道失效影响评估

通过预设某一海运通道在运输网络中失效，可以从运输效率、网络连通、影响范围和影响程度等角度，计算该海运通道失效对我国铁矿石海运进口网络的影响。本研究假设当某一海运通道失效后，失效通道的途经船舶将寻求其他可替代的运输航线完成货物运输。从成本节约的角度出发，该失效通

道的途经船舶将选择海运距离最短的可替代航线；当替代航线不存在时，途经船舶所属的航运连接将全部断开。

1. 评价指标

(1) 整体运输网络效率 M_k ，即运输网络中所有连接的海运效率总和。海运效率是货运量 ($\times 10^8$ t) 与海运距离 (km) 的比值，代表单位运输距离下船舶输送的铁矿石重量：

$$M_k = \sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_2} \frac{q_{ij}}{d_{ij}^k} \quad (1)$$

式(1)中， V_1 为出口港*i*的集合， V_2 为进口港*j*的集合， q_{ij} 为出口港*i*与进口港*j*之间的铁矿石货量； d_{ij}^k 为海运通道*k*失效后，港口*i*和港口*j*之间的航运距离。当两个港口间的航运联系断开时， $d_{ij} = \infty$ ， $\frac{1}{d_{ij}} = 0$ 。与原运输网络相比，整体运输网络效率越低，说明海运通道失效的负面影响越大、海运成本的提高幅度越大。

(2) 运输网络连通率 C_k ，即所有铁矿石出口港中，能够向我国输送铁矿石的港口比例：

$$C_k = \frac{n_k}{n} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中， n_k 为通道*k*失效后不被影响或具有替代航线的铁矿石出口港数量； n 为原运输网络中的铁矿石出口港总数。在特定海运通道失效时，运输网络连通率的变化反映的是铁矿石进口来源的损失程度。运输网络连通率越低，说明海运通道失效导致的铁矿石进口来源损失越多。

(3) 影响港口对数量，即在海运通道失效后，航运轨迹改变的港口对数量，反映海运通道失效对铁矿石进口贸易的影响范围。

(4) 平均海运距离延长率 D_k ，即运输网络中所有受影响港口连接海运距离延长率的均值。海运距离延长率为可替代航线的海运距离相对于原航线海运距离的增加比例：

$$D_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i,j \in L_k} \frac{d_{ij}^k}{d_{ij}} \times 100\% \quad (3)$$

式(3)中， N_k 为受海运通道失效影响但未断开的港口对数量， L_k 为受影响（但连接未断开）的港口对集合， d_{ij}^k 为港口对*ij*的现有航运距离， d_{ij} 为港口对*ij*的原航运距离。海运延长率越高，说明通行船舶因海运通道失效而提高的平均海运成本越大。

2. 整体评价结果

基于上述假设及指标设计，计算各海运通道失效对总体运输网络的影响情况，如表 3 所示。

(1) 好望角失效对整体运输网络的负面影响最强。在失效情景下，好望角的货运损失量最大，整体运输网络效率由 1.37×10^8 t/km 变为 6.9×10^7 t/km，运输网络连通率降至 63%，显著延长了未断开连接的海运距离，平均延长率为 100%。在好望角失效时，来自南美东岸和北美东岸的大尺寸船舶缺乏其他可替代航线，无法将铁矿石出口至我国，导致 3.98×10^8 t 的铁矿石货量损失，占运输货物总量的 35%。

(2) 龙目海峡失效的影响仅次于好望角，将带来局部海运成本的大幅提升。在龙目海峡失效后，整体运输网络效率降低至 1.3×10^8 t/km，受影响的港口对数量有 107 对，平均海运距离延长率超过原有距离的 29%。龙目海峡对海运网络的影响表现为大范围的运输成本剧增。在局部海运成本提升过多时，部分运营商将放弃该港口对的运输服务，间接带来铁矿石进口规模、经济效益损失。

(3) 巽他海峡的影响范围最广，但对运输成本的影响微弱。巽他海峡失效的影响范围包括美洲东岸、澳洲和南部非洲等区域，导致 161 对港口连接中的船舶改变航运轨迹，但平均航线的延长率仅为 0.9%，影响微弱。

3. 分尺寸评价结果

从船舶尺寸分异视角量化海运通道的失效影响，可以构建更为精细化的风险应对策略（见图 2）。

(1) 大尺寸船舶在失效情景下的连通效率降低最为突出（见图 2 (a)）。在船舶尺寸超过 3×10^5 t 的运输网络中，好望角失效将使其整体运输效率由 3.7×10^7 t/km 降低至 2×10^7 t/km；在船舶尺寸超过

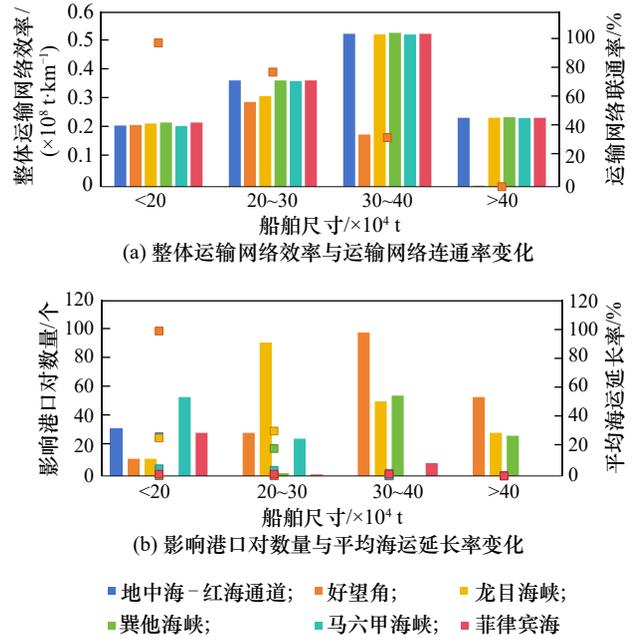


图 2 重要海运通道失效对分尺寸运输网络的影响

注：在 (a) 和 (b) 中，柱状图表示左侧坐标轴数据，散点图表示右侧坐标轴数据。仅好望角对运输网络连通率具有显著影响，因此只展示好望角失效对运输网络连通率的影响情况。

4×10^5 t 的运输网络中，好望角失效将使其彻底瘫痪。船舶尺寸由 2×10^5 t 以下增加至 4×10^5 t 以上时，好望角失效将使运输网络连通率连续衰减，由 100% 降至 0。因此，小于 20 万吨级的船舶具有更高的部署灵活性，可选取地中海-红海通道作为好望角的替代通道，而超过 20 万吨级的船舶无法寻得除好望角航线外的其他替代航线，造成有效运输规模大幅降低。

(2) 中小尺寸船舶在海运通道失效情景下的受影响范围更广，平均海运距离延长率更高（见图 2 (b)）。在船舶尺寸小于 2×10^5 t 的运输网络中，好望角失效将使受影响船舶的航行距离延长超过 1 倍。在船舶尺寸为 $2 \times 10^5 \sim 3 \times 10^5$ t 时，龙目海峡失效

表 3 重要海运通道失效对总体运输网络的影响

通道名称	整体运输网络效率 ($\times 10^8$ t·km ⁻¹)	运输网络连通率/%	损失货运量/ $\times 10^8$ t	影响港口对数量/个	平均海运延长率/%
龙目海峡	1.30	100	—	107	29.0
好望角	0.69	63	3.98	191	100.0
马六甲海峡	1.34	99	0.02	54	3.4
地中海-红海通道	1.35	100	—	33	26.0
菲律宾海	1.36	100	—	40	1.3
巽他海峡	1.37	100	—	161	0.9

将使约93对港口对间的海运距离延长，平均海运延长率为31%。在船舶尺寸为 3×10^5 t以上时，各海运通道失效对航行距离的影响几乎为0。大型船舶通常具有较高的海运距离，使得延长距离占总距离的比例微弱。

综上，不同尺寸船舶网络受海运通道失效的影响程度不同。小尺寸船舶运输具有更高的部署灵活性，可在海运通道失效时灵活改变运输航线，因此受到的整体冲击更弱。当部分海运通道失效时，特别是好望角和龙目海峡发生堵塞或封锁事件时，可适当调整运输船队的尺寸结构，通过小尺寸、高频次、多渠道的铁矿石运输来弥补大尺寸船舶运输网络效率与货物运输量所受的负面影响。

四、海运通道安全风险识别及应对保障策略

（一）海运通道安全风险来源识别

确定风险来源是海运通道安全保障的基础，关系到安全风险监控的有效性和应对策略的适用性。与开放性水域相比，海运通道的水域范围狭小，航行风险更为复杂。结合现有学者研究，本文总结得到，我国战略矿产海运通道的风险主要来自航道通行、国际争端与战争威胁、非传统安全等3个方面^[17]。

1. 航道通行

航道通行因素包括海运通道通行限制、气象水文海况和航道处理效率^[18,19]。船舶在接近狭窄或受限水域时，可能会遇到碰撞、搁浅或接触等风险。航道通行风险与海运通道的通行限制密切相关。通行限制越高的海峡或通道面临更高的事故发生概率。例如，霍尔木兹海峡通行宽度较窄，船舶碰撞或堵塞概率较高^[20]。海运通道及其周边的洋流、水文、风向、浓雾、地形等也影响航道通行安全。自然灾害频发将增加海运通道正常通行的风险，易造成阻断、拥堵或通过能力不足等负面结果。好望角地处西风带，且受岬角效应影响，其安全通行受极端大风天气影响较大。通道通过效率关系到船舶能否快速通过海运通道，航道拥堵则会大幅增加海上运输时间和成本，影响货物按时交付和贸易成本。2021年3月，苏伊士运河因“长赐号”货轮搁浅而被堵多日，至少有100艘往来船只因此受阻，导致当年5月交货的伦敦布伦特原油期货价格上涨5.95%。

2. 国际争端与战争威胁

通道沿岸国的海洋战略、法律法规和通过限制是影响海运通道安全的重要制度因素。出于国家安全考虑，沿岸国家会控制自由通航权，并对通道通行设置限制条件^[21]。美国、日本和印度等国家的海洋利益争夺将对我国海运通道运输安全产生威胁^[22-24]。美国不断加强与西太平洋的战略安全措施，破坏该地区的多边安全合作，对西欧航线的海运通道构成威胁。在海运贸易格局中，日本、印度与我国的所处位置基本一致，近年来不断强化对周边海洋权益的争夺和控制。印度企图与越南、日本等国家进行战略对接，成为马六甲海峡通行的风险因素^[25]。此外，海运通道通常具有重要的军事意义和地缘战略地位，周边民族矛盾复杂、热点问题众多，受战争和国际纷争的影响较深。地中海-红海通道在巴以冲突、中东战争、叙利亚战争等国际纷争中均受到重大影响^[26]。自2023年11月以来，也门胡塞武装组织多次袭击红海及附近水域航运船只，地中海航运公司、达飞海运集团、马士基集团等航运公司都已暂停所属船舶在红海及其邻近海域的航行。

3. 非传统安全

非传统安全因素中影响海运通道安全风险程度最高的是海上犯罪、恐怖主义和海盗行为，具体包括海盗和劫持、走私货物、损坏船只或港口设施、蓄意破坏或干扰通信信号、干扰通信链路等。根据海运通道及周边海域的历史遇袭情况，可推测海运通道安全的风险等级。几内亚湾、红海和马六甲海峡等海域为世界海盗活动频繁且集中的地区^[23]，对曼德海峡、马六甲海峡、好望角等海运通道安全构成巨大威胁。2019—2021年，马六甲海峡是我国货船遇袭最为密集的地区，共发生5次遇袭事件。几内亚湾是我国货船遇袭暴力性最强的区域，涉及矿产资源船型如综合货船、油轮和成品油轮的遇袭概率达37.5%，安全形势不容乐观，为我国战略矿产运输和供应安全带来挑战。

（二）海运通道安全风险应对策略

针对海运通道运输的潜在风险，我国可以从政治、军事、经济、法律制度、商业投资、航运、基础设施维护、船队建设、信息平台建设等多领域制定应对策略，以削弱潜在风险，提高应急能力。

1. 借助多元战略支点, 构建安全保障体系

在重要海运通道周边建设可提供战略支撑的常驻锚地, 以周边港口、邻近岛屿和陆地区域为战略支点, 构建海陆一体、点面有机结合的安全保障屏障。通过直接援助、经贸合作、专属经营、工业园区、港口股份收购、投资建设等多种方式在当地构建多功能的综合保障基地, 确保其具备物资补给、船舶修理、设施更换等基本功能, 为通行的我国船队提供技术支持和安全保障服务。例如, 借助巴基斯坦瓜达尔港的战略支点地位, 打通我国衔接印度洋的新通道, 可降低对马六甲海峡、巽他海峡和龙目海峡的依赖程度, 为西欧航线的战略矿产运输提供安全保障。

2. 构建多维预警系统与替代航线响应机制

根据海运通道的本底特征分析核心风险, 有针对性地建设多维检测系统。针对风险检测结果的动态变化情况, 对海运通道进行长时序的安全状态评估, 从源头提高对通道安全风险的感知能力。例如, 识别关键海运通道及周边海域的海事安全状况, 根据地缘环境、能源价格等相关因素的变动情况预估海盗风险, 预防突发性、激增式海盗行为。在信息收集方面, 可建立信息传递与共享平台, 整合国家、企业、港口、船只等多维度、多层次的检测结果, 提高信息监测和误差校正效率, 为风险预警和安全评估提供基础支持。针对潜在风险, 设计应对预案, 谋划高风险航线的替代航线, 如可在马六甲海峡、巽他海峡和龙目海峡间建立替代航线, 在好望角和地中海-红海通道间建立替代航线。增强货船的安全意识, 建立报备流程并完善应对机制。在高风险海运通道行驶时, 建立初始报告、每日报告、最终报告、可疑活动报告等跟踪流程, 保证货船与安全保障部门建立及时有效的联系, 为应对突发事件提供基础信息。面对突发事件, 引导货船采取改变航线、加速通过、属地报备等措施安全应对, 并通过安全设备与应急程序保障船只航行秩序与人员财产安全。

3. 加强跨境铁海联运通道建设, 开创海陆联运新路径

充分利用陆地运输通道, 与低风险海运航线结合, 有效规避海运通道安全风险。鼓励航运企业在非洲和南美洲货运中采取跨境铁海联运路线, 增设西非、南美东部与西欧的海运线路, 避开好望角、

龙目海峡等关键海运通道。“蓉欧非”铁海多式联运线路为我国利用中欧班列联通非洲贸易和物流通道的首例, 货物可由摩洛哥卡萨布兰卡港海运至汉堡港, 搭乘中欧班列抵达成都, 有效降低了我国战略矿产进口对龙目海峡、巽他海峡等海运通道的依赖性。在此基础上, 可进一步增设并优化其他低风险海上运输航线, 选取一系列海陆衔接港口作为关键节点, 增强陆地铁路设施与港口的衔接, 疏通铁海联运新通道, 弱化其他海运通道的运输风险。

4. 加强国际合作, 开展预防性外交工作

依托“一带一路”建设, 加强与埃及、印度尼西亚、沙特阿拉伯等海运通道周边国家的海上合作, 尤其是在经贸、技术、基础设施投资、运力供应、产业转移等多个领域进行交流合作, 推动非传统安全合作关系的落实。针对目前东南亚海域海事安全管理不足的问题, 强化与马来西亚、新加坡、印度尼西亚等国的海事安全合作。建立地区性巡逻关键地带, 优化多边军事巡逻、信息共享和联合监测机制。鼓励国内企业争取对苏门答腊岛、加里曼丹岛等周边重要节点的交通设施投资项目, 推动预防性外交工作, 建立互惠共赢的合作关系。推动海运通道周边争端频发的国家之间开展和平谈判, 减少国际摩擦对海运通道安全的影响。完善海上货物运输的法律规范, 提高我国在法律法规建设中的话语权, 为突发事件提供及时法律援助。

5. 完善海上保障体系, 建设多样化保障力量

加强海上军事力量和远洋公务船队发展, 在应对突发事件时可以提供及时武力支持和快速救援服务。加快资源和技术投入, 推进海洋军事力量现代化进程, 加强远海力量和投送补给能力, 在重要海运通道周边进行常态化护航巡航, 增强海洋军事力量对重要海运通道的威慑力^[19]。完善远洋公务船队建设, 扩展救助辐射范围, 增强远洋补给能力, 建设综合能力更强的多功能巡视船队, 关注性能、适航续航能力、速度等方面的提升。

6. 针对海运通道影响的差异性, 实行等级化和差异化的风险应对措施

根据铁矿石海运的案例研究可知, 好望角在大型船舶海运中具有不可替代性, 而大型船舶海运安全是维护战略矿产运输规模与经济成本的基础。据此, 我国应将好望角的海运安全保障置于重要位置, 通过与境外洽谈、投资收购、出资经营等方

式，加强对好望角及周边港口的合作能力，尤其关注超大型船舶的补给、服务和安全保障能力，以满足进口需求并适应船舶大型化趋势。对于具有替代性的其他海峡通道，则可在海运通道间建立灵活的替代航线预案，以应对单一海运通道堵塞带来的风险和影响。此外，针对好望角和龙目海峡失效后对整体运输网络带来的强烈影响，应对好望角与龙目海峡展开重点保护和监控，建立相关的防控安全风险识别机制。针对潜在风险，基于前瞻性、全局性原则设计预案措施，具体包括进口结构调整、运输成本调控和船队重新部署等。相比之下，巽他海峡、菲律宾海和马六甲海峡对整体运输网络的影响微弱，或仅对局部航线产生明显影响，可在其失效时及时调整相应受影响航线的进口规模和运输路径，实现局部影响最小化。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 9, 2024; **Revised date:** May 13, 2024

Corresponding author: Xie Yongshun is an assistant research fellow from School of Environment of Tsinghua University. His major research fields include transportation geography and regional development. E-mail: xieys@mail.tsinghua.edu.cn

Funding project: National Natural Science Fund Project (42071151); China Postdoctoral Science Foundation General Project (2023M741886); Chinese Academy of Engineering project “Research on China’s Mineral Resources Security Strategy” (2022-XBZD-27)

参考文献

- [1] Rodrigue J P, Comtois C, Slack B. The geography of transport systems [M]. London: Routledge, 2016.
- [2] Song Y T, Wang N, Yu A Q. Temporal and spatial evolution of global iron ore supply-demand and trade structure [J]. Resources Policy, 2019, 64: 101506.
- [3] 于汶加, 陈其慎, 张艳飞, 等. 世界新格局与中国新矿产资源战略观 [J]. 资源科学, 2015, 37(5): 860–870.
Yu W J, Chen Q S, Zhang Y F, et al. New global patterns and new Chinese resource strategies [J]. Resources Science, 2015, 37(5): 860–870.
- [4] 田郁溟, 琚宜太, 周尚国. 我国战略矿产资源安全保障若干问题的思考 [J]. 地质与勘探, 2022, 58(1): 217–228.
Tian Y M, Ju Y T, Zhou S G. Thinking on several problems of China’s strategic mineral resources security guarantee [J]. Geology and Exploration, 2022, 58(1): 217–228.
- [5] 杨宇, 于宏源, 鲁刚, 等. 世界能源百年变局与国家能源安全 [J]. 自然资源学报, 2020, 35(11): 2803–2820.
Yang Y, Yu H Y, Lu G, et al. Interview on the unprecedented changes of energy geopolitics and national energy security [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(11): 2803–2820.
- [6] 于宏源. 全球能源治理: 变化趋势、地缘博弈及应对 [J]. 当代世界, 2019 (4): 18–23.
Yu H Y. Global energy governance: Development trend, geopolitical game and countermeasures [J]. Contemporary World, 2019 (4): 18–23.
- [7] Adland R, Jia H, Strandenes S P. The determinants of vessel capacity utilization: The case of Brazilian iron ore exports [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2018, 110: 191–201.
- [8] Dinwoodie J, Landamore M, Rigot-Muller P. Dry bulk shipping flows to 2050: Delphi perceptions of early career specialists [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2014, 88: 64–75.
- [9] 谢永顺, 何廷堃, 易文, 等. 中国铁矿石海运输入格局解析及通道风险评估 [J]. 自然资源学报, 2023, 38(11): 2741–2756.
Xie Y S, He T K, Yi W, et al. China’s iron ore shipping import pattern and risk assessment [J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38(11): 2741–2756.
- [10] 于新清, 张春雨. 中国重要物资海上运输通道的识别及保障能力建设研究 [J]. 中国海事, 2022 (5): 21–25.
Yu X Q, Zhang C Y. Study on identification and support-capacity building of the maritime transport channels for China’s crucial materials [J]. China Maritime Safety, 2022 (5): 21–25.
- [11] 吴非. 我国铁矿石海上运输通道安全研究 [D]. 大连: 大连海事大学(硕士学位论文), 2015.
Wu F. Security research on iron ore maritime transport channel of our country [D]. Dalian: Dalian Maritime University (Master’s thesis), 2015.
- [12] 施伟龙. 中巴铁矿石海上运输通道安全评价 [D]. 大连: 大连海事大学(硕士学位论文), 2014.
Shi W L. Safety evaluation of iron ore maritime transport channel between China and Brazil [D]. Dalian: Dalian Maritime University (Master’s thesis), 2014.
- [13] 杨娟. 基于供需安全的铁矿石进口风险分析与评价 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京)(博士学位论文), 2010.
Yang J. Analysis and evaluation of iron ore import risk based on supply and demand security [D]. Beijing: China University of Mining & Technology (Beijing) (Doctoral dissertation), 2010.
- [14] 邵斐, 张永锋, 真虹. 中国进口铁矿石海运网络抗毁性仿真 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(1): 311–321.
Shao F, Zhang Y F, Zhen H. Invulnerability simulation analysis of Chinese iron ore imports shipping network [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2022, 22(1): 311–321.
- [15] 王文宇, 贺灿飞, 任卓然. 中国矿产资源贸易网络演化 [J]. 自然资源学报, 2021, 36(7): 1893–1908.
Wang W Y, He C F, Ren Z R. Evolution of mineral resources trade network in China [J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(7): 1893–1908.
- [16] 吴迪, 王诺, 吴暖, 等. 主航道中断背景下集装箱海运网络的脆弱性及其对中国的影响 [J]. 地理研究, 2017, 36(4): 719–730.
Wu D, Wang N, Wu N, et al. The impact of main channel interruption on vulnerability of container shipping network and China container shipping [J]. Geographical Research, 2017, 36(4):

- 719-730.
- [17] Fan S Q, Yang Z L, Wang J, et al. Shipping accident analysis in restricted waters: Lesson from the Suez Canal blockage in 2021 [J]. *Ocean Engineering*, 2022, 266: 113119.
- [18] 何剑彤, 李振福, 李娜, 等. 我国海上战略通道安全影响因素的 ISM 分析 [J]. *上海海事大学学报*, 2012, 33(4): 64-69.
He J T, Li Z F, Li N, et al. Analysis on influencing factors for China's strategic sea lane security based on ISM [J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2012, 33(4): 64-69.
- [19] 李晶, 吕靖, 蒋永雷, 等. 我国海上通道安全评价及政策建议 [J]. *中国软科学*, 2017 (11): 8-17.
Li J, Lyu J, Jiang Y L, et al. Safety evaluation of China's sea lines of communication [J]. *China Soft Science*, 2017 (11): 8-17.
- [20] 汪玲玲, 赵媛. 中国石油进口运输通道安全态势分析及对策研究 [J]. *世界地理研究*, 2014, 23(3): 33-43.
Wang L L, Zhao Y. Analysis on China's importing petroleum transport channel safety and countermeasures [J]. *World Regional Studies*, 2014, 23(3): 33-43.
- [21] 史春林, 李秀英. 苏伊士运河与航运安全——兼论中国的通航对策 [J]. *太平洋学报*, 2014, 22(10): 79-90.
Shi C L, Li X Y. The Suez canal and shipping security—With additional analysis on China's navigation measures [J]. *Pacific Journal*, 2014, 22(10): 79-90.
- [22] 杜德斌, 马亚华, 范斐, 等. 中国海上通道安全及保障思路研究 [J]. *世界地理研究*, 2015, 24(2): 1-10.
- Du D B, Ma Y H, Fan F, et al. China's maritime transportation security and its measures of safeguard [J]. *World Regional Studies*, 2015, 24(2): 1-10.
- [23] 周云亨, 余家豪. 海上能源通道安全与中国海权发展 [J]. *太平洋学报*, 2014, 22(3): 66-76.
Zhou Y H, Yu J H. Security of maritime energy channels and the development of China's sea power [J]. *Pacific Journal*, 2014, 22(3): 66-76.
- [24] 王诺, 田玺环, 赵伟杰. 基于“海上丝绸之路”通道安全的海外港口战略布局研究 [J]. *世界地理研究*, 2019, 28(5): 74-82.
Wang N, Tian X H, Zhao W J. The strategic layout of the overseas ports based on the channel security of the Maritime Silk Road [J]. *World Regional Studies*, 2019, 28(5): 74-82.
- [25] 张洁. 海上通道安全与中国战略支点的构建——兼谈 21 世纪海上丝绸之路建设的安全考量 [J]. *国际安全研究*, 2015, 33(2): 100-118, 159-160.
Zhang J. Maritime channel security and the construction of China's strategic pivot: Security considerations for the construction of the 21st Century Maritime Silk Road [J]. *Journal of International Security Studies*, 2015, 33(2): 100-118, 159-160.
- [26] 周宾. 从苏伊士运河堵塞事件谈国际海运通道安全 [J]. *中国海事*, 2022 (7): 57-60.
Zhou B. Discussions on the safety of international maritime lane from the Suez canal blockage [J]. *China Maritime Safety*, 2022 (7): 57-60.