

# 基于东北航线的中欧贸易研究

王武林<sup>1,2</sup>, 王成金<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;  
2. 福州大学环境与资源学院, 福州 350108; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 东北航线因其战略地位重要而日益受到世界各国的关注。本文计算出中欧港口航运经济成本及中欧国家贸易互补指数, 基于东北航线构建随机前沿贸易引力模型, 探究中国对欧洲18国进出口贸易的影响因素, 结果发现: ① 以12000 TEU运输量为对比, 中欧港口基于东北航线的航运经济成本约为传统航线的1.58~2.80倍。② 2000—2018年间, 基于中国出口的中欧贸易互补指数 $CE_{ij} > 1$ 的次数占52.63%,  $CE_{ij}$ 较高的对应国家包括冰岛、丹麦、挪威、法国、瑞典和英国等国家; 基于中国进口的中欧贸易互补指数 $CI_{ij} < 1$ 的比例高达94.74%, 呈下降趋势, 中国进口与欧洲18国出口的互补性较差。③ 在中国向欧洲18国出口的贸易规模方面, 贸易伙伴国经济规模比中国经济规模的影响更大, 东北航线航运经济成本与贸易规模显著负相关; 在中国向欧洲18国进口的贸易规模方面, 贸易伙伴国经济规模比中国经济规模的影响更大, 东北航线航运经济成本与贸易规模正相关关系的置信度较低。④ 以东北航线为中欧贸易通道, 中国向欧洲18国的出口贸易效率和进口贸易效率分别呈现出不同程度的下降和上升趋势, 中国对欧洲18国进出口贸易效率的提升空间较大。本文强化了东北航线与中欧航运及贸易之间关系的研究, 为中国参与东北航线建设、北极资源的开发利用以及加强中欧贸易等方面提供参考。

**关键词:** 航运经济成本; 随机前沿贸易引力模型; 贸易效率; 东北航线

DOI: 10.11821/dlxb202105005

## 1 引言

北极航线是指穿过北冰洋, 连接大西洋和太平洋的海上航线的总称, 一般分为东北航线、西北航线和穿极航线, 其中东北航线西起西欧和北欧港口穿过西伯利亚沿岸海域, 绕过白令海峡到达中国或日本港口(图1); 西北航线东起美国和加拿大东海岸, 向西穿过加拿大北极群岛, 经波弗特海、白令海峡抵达俄罗斯、日本、韩国和中国等远东港口; 穿极航线指不经过北冰洋沿岸岛屿, 直接经白令海峡穿过北冰洋中心海域到达格陵兰岛或挪威的航线。随着全球气候变暖, 北极海冰逐年融化, 开通北极航线已经具备可能性, 2007年夏美国宇航局卫星照片显示北极航线发生冰融, 可以全线开通, 成为近12.5万年以来的首次。预计21世纪中叶北冰洋海冰条件变化将极大地扩大适航时间<sup>[1]</sup>, 北极地区或可开通季节性无冰航线<sup>[2]</sup>。北极地区蕴藏丰富的石油、天然气、可燃冰、煤

收稿日期: 2020-06-23; 修订日期: 2021-03-23

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2018M641458); 中国科学院重点部署项目(ZDRW-ZS-2017-4); 国家自然科学基金基金项目(42071151, 41701118) [Foundation: China Postdoctoral Science Foundation, No.2018M641458; The Key Project of the Chinese Academy of Sciences, No.ZDRW-ZS-2017-4; National Natural Science Foundation of China, No.42071151, No.41701118]

作者简介: 王武林(1982-), 男, 湖南邵阳人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事区域发展与交通地理研究。

E-mail: wangwulin421@163.com

通讯作者: 王成金(1975-), 男, 山东沂水人, 研究员, 博士生导师, 主要从事经济地理学与区域发展研究。

E-mail: cjwang@igsrr.ac.cn

炭、矿物、森林和渔业资源<sup>[3]</sup>。北极地区、北极航线的战略地位引起了各国的高度重视,相关的研究逐渐增加。

北极地区的航运议题正成为一个重要的学术研究领域<sup>[4]</sup>,在现行航运地理格局下,全世界最为活跃的远东、西欧和北美地区之间尚缺少真正地理意义上的国际航运枢纽中心和北极航线的常规化通航,航运经济成本从根本上决定了航运企业是否选择该航线

进行海上运输。从航运经济成本上衡量北极航线的适用性,大致形成了3种不同的观点:① 北极航线相比传统航线具有经济可行性,在经济成本上具有优势。30°N以北的任何港口之间的距离,使用北极航线比绕行苏伊士运河与巴拿马运河要节省40%的里程,运营成本会相应减少,经济潜力巨大<sup>[5]</sup>。北极航线开通具有节约航运距离、提升供应链的敏捷性和适应能力等方面的优势<sup>[6-8]</sup>,在目前的通航环境下,单次航行可以节约10%左右的经济成本,其中燃油成本可节约35%左右<sup>[9]</sup>,尤其在干散货航运方面,北极航线更具灵活性、敏捷性和适应性<sup>[6]</sup>。无论采用何种碳税类型或燃料类型,东北航线均比传统航线更具可行性和更大潜力<sup>[10]</sup>,作为传统航线的替代航线,东北航线无疑将影响传统航线的海上贸易活动<sup>[11]</sup>,以上海至鹿特丹集装箱运输为例,在相等时间内途径北极航线可比途径传统航线完成更多的航行次数,北极航线在集装箱运输的净收益中具有较明显的经济优势<sup>[12]</sup>。北极航线具备显著的经济效益<sup>[13-16]</sup>,对中国而言意味着通航时间、燃油费用等成本的节约,具有承载部分中国石油进口贸易的巨大潜力<sup>[17]</sup>,战略意义极其重要<sup>[18]</sup>。② 北极航线不具备经济优势。通过北极航线使得相应通航里程的缩减并不意味着相应成本的节省,额外的破冰服务以及适航时间、征费、燃油价格等均影响航运利润<sup>[19]</sup>。尽管北极航线具有节省航运距离的优势,但它既不快捷亦不便宜,需要对其沿线的基础设施和海洋服务提供更多投资,以确保安全和稳健的轮船运输,并保证对环境的影响最小化<sup>[20]</sup>,传统的苏伊士运河航线在航运成本方面仍具备比较优势<sup>[21]</sup>,北极航线在集装箱航运经济成本方面处于劣势,仅对中小型油轮运营产生吸引力<sup>[22]</sup>,东北航道代替苏伊士运河航线并不具备可行性<sup>[23]</sup>,至少在短期内东北航线不具备商业航行的可能性<sup>[8]</sup>。现实情况是大部分船舶公司并未考虑在北极航线上通行,21世纪北极航线尚不能成为与巴拿马运河或苏伊士运河相媲美的海上通道<sup>[24]</sup>。③ 只有在一定条件下北极航线才具有经济优势。东北航线尚有诸多未知和不确定性因素有待深入研究,现有的一些模拟与研究的方法和结果有助于北极商业路线的选择和评价,为改善北极航线的经济效益提供了可能<sup>[25-27]</sup>,航运公司选择北极航线能否盈利仍有待观察<sup>[28]</sup>,北极航线在经济上是否可行与破冰服务成本有关,破冰服务成本越少,北极航线的竞争力越强<sup>[19, 29]</sup>,北极航线的经济性还取决于航线的选择<sup>[25]</sup>,或与轮船公司开发新路线的财力有关<sup>[30]</sup>。

北极航线之所以成为各国争夺的焦点,是因为北极航线具有诸多战略意义和经济效益。其中东北航线连通着亚欧大陆两端,在航运距离上较经过苏伊士运河的传统航线更有优势,意味着中欧贸易可能发生重大变化,东北航线的开通将成为连接欧亚海运贸易的关键纽带<sup>[31]</sup>,东北航线相较于传统航线的优势,使得欧亚国家均试图在国际贸易方面



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2016)1665号的标准地图绘制,底图无修改。

图1 中欧港口间传统航线和东北航线示意图

Fig. 1 The Traditional Passage and the Arctic Route between China-EU ports

获利<sup>[32]</sup>, 可见对比研究东北航线与传统航线对中欧之间进出口贸易的影响显得迫切和重要。国内外关于北极航线的研究主要集中于梳理北极地区气候、冰川等自然地理环境, 少部分研究探讨了北极航线通航对世界航运格局<sup>[31, 33-34]</sup>、国际贸易<sup>[35]</sup>、港口腹地<sup>[36]</sup>以及国家战略的影响<sup>[37-39]</sup>。总的来说, 当前国内外关于北极航线的研究主要集中于自然地理环境领域以及开通北极航线的可行性方面, 较少研究北极航线对国际贸易、港口航运等领域的影响, 表现在理论创新难度大、研究方法上局限于定性研究等方面, 少数的定量研究仅以北极航线的航运距离为切入点评估其对国际贸易的影响, 忽略了航线成本差异<sup>[35]</sup>。国内对北极航线的研究起步晚、成果少, 但随着“一带一路”倡议成为世界各国共识<sup>[40]</sup>, 包含东北航线在内的“冰上丝绸之路”作为“一带一路”的重要组成部分引发了更多关注<sup>[41]</sup>。本文基于东北航线视角, 利用面板数据构建随机前沿贸易引力模型, 测算中欧港口航运经济成本格局及中欧进出口贸易的互补性, 探讨GDP规模、航运经济成本、贸易互补指数等因素与中欧进出口贸易之间的关系, 评估中欧之间的贸易效率, 以期丰富和充实基于北极航线视角下的中欧之间国际贸易方面的研究内容, 为中国对外进出口贸易及参与北极航线开发决策提供参考。

## 2 研究区域及数据方法说明

### 2.1 研究区域

本文的东北航线泛指穿过北冰洋, 连接大西洋和太平洋的海上航线, 西起西欧和北欧港口, 穿过西伯利亚沿岸海域, 绕过白令海峡到达中国或日本港口; 传统航线泛指中欧港口之间经地中海、苏伊士运河、红海、印度洋、马六甲海峡、南海等海上航运通道。

以基于东北航线、传统航线联系的中国沿海主要港口和欧洲大西洋及北冰洋沿岸主要港口为研究区域(图1), 中国沿海各省(自治区、直辖市)和欧洲大西洋及北冰洋沿岸国家各选择1~2个港口作为代表性港口进行航运距离分析, 选择中国的大连、秦皇岛、天津、青岛、连云港、上海、宁波、厦门、深圳、广州、防城港、海口等12个港口, 选择俄罗斯的摩尔曼斯克和圣彼得堡、挪威的奥斯陆、瑞典的哥德堡、芬兰的赫尔辛基、爱沙尼亚的塔林、拉脱维亚的里加、立陶宛的克莱佩达、波兰的格但斯克、德国的汉堡、丹麦的哥本哈根、荷兰的鹿特丹、比利时的安特卫普、法国的勒阿弗尔、西班牙的毕尔巴鄂、葡萄牙的里斯本、英国的南安普顿、爱尔兰的都柏林以及冰岛的雷克雅未克等共19个港口。本文所讨论的中欧港口均指上述31个港口, 欧洲国家均指欧洲各港口所在的俄罗斯、挪威等18个国家。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 航运经济成本及参数说明** 影响船舶经济性的因素包括船舶造价、船舶折旧费、燃油费、保险费、引水费、适冰证书、航行许可证、破冰船护航费、船员培训费、生活垃圾处理费、船舶检验费、航行天数、船员工资、武装保安护航费、运河费用等, 其中船舶造价、燃油费、航行天数、保险费、武装保安护航费、破冰船护航费(或苏伊士运河航行费)是主要的影响因素<sup>[9, 16, 42]</sup>, 燃料费、破冰费和冰损维修费用等在很大程度上决定了东北航线的竞争力<sup>[43]</sup>, 其他因素如船员工资、防污染费和船舶检验费等之间的差异并不大。集装箱船舶的运输效率高于散货船运输效率, 中欧港口航运以集装箱运输为主。2017年亚欧之间传统航线12000 TEU以上超大型集装箱船的比重已高达77%<sup>[44]</sup>, 鉴于东北航线桑尼科夫海峡等重要航段的最浅航线深度约13 m<sup>[45-47]</sup>, 4100 TEU集装箱船吃水深度约12.5 m<sup>[16]</sup>。综合考虑传统航线主导船型和东北航线可通航能力, 选择12000 TEU集

集装箱船舶作为传统航线的通航船舶,选择3艘4000 TEU集装箱船型作为同等运量下东北航线的通航船舶,且东北航线航行需要特殊船舶<sup>[48]</sup>,集装箱船舶选用冰区适航的抗冰型、加强型集装箱船舶,传统航线选用普通集装箱船舶。

通过叠加各项成本对中欧港口之间传统航线与东北航线不同航线的航运经济成本进行分析,假设同一对中欧港口*i*、*j*之间往返的航运经济成本相等,假设单次航运均安全顺利抵达目的地港口,中欧港口之间东北航线集装箱航运经济成本包括燃油料成本、船员工资、破冰引航费、管理费、船舶备品及消费品费、港口费、维修费和保险费;中欧港口之间传统航线集装箱航运经济成本构成包括燃油料成本、船员工资、运河费、管理费、安保费、船舶备品及消费品费、港口费、维修费和保险费。经传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运的经济成本比经东北航线多了通过苏伊士运河的费用和安保费两项费用;而经东北航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运的经济成本比经东北航线多了破冰引航费一项费用。其余各项费用均类似,但由于东北航线的特殊性,各项费用一般应高于集装箱船舶经传统航线的费用。传统航线12000 TEU集装箱船舶和东北航线加强型4000 TEU集装箱船舶的单船造价有所不同,12000 TEU普通集装箱船舶按照10000万美元计算,建造一艘4000 TEU左右的普通集装箱船舶需要5500万美元,而同等装载能力的抗冰型、加强型集装箱船舶造价比普通集装箱船舶高约30%,预估为7150万美元<sup>[49]</sup>,当运量同为12000 TEU时,基于传统航线需要1艘12000 TEU集装箱船舶,基于东北航线则需要3艘4000 TEU集装箱船舶。其中,传统航线的单次航运经济成本计算公式是:

$$TS_{ij} = YS + SS + HS + DS_{ij} + RS_{ij} + OS_{ij} + PS_{ij} + MS_{ij} + XS_{ij} + WS_{ij} + IS_{ij} \quad (1)$$

式中:  $TS_{ij}$ 表示中欧港口*i*、*j*之间经过传统航线完成单次航运的总成本;  $YS$ 表示传统航线上集装箱船舶通过苏伊士运河的费用,传统航线经过苏伊士运河时,需缴纳苏伊士运河附加费,根据现实经验分析,12000 TEU普通集装箱船舶单次航运运河费用预估约为50万美元<sup>[6]</sup>;  $SS$ 表示集装箱船舶经传统航线完成单次航次需要的安保费;由于传统航线沿线的亚丁湾、红海、阿拉伯海等印度洋海域海盗活动日益猖獗,且活动范围不断扩大,对传统航线的远洋运输产生极大的威胁,各航运企业在途径这些海域时要求配备武装安保,按照现实经验分析,传统航线单次航运一般需要护航7 d,每天按1万美元计算,其费用合计为7万美元<sup>[6]</sup>;  $HS$ 为港口使用费,表示集装箱船舶经传统航线完成单次航运合计需要的港口费用成本,主要包括利用港口的基础设施如堆场、起重机械等需要对相关设施的使用支付的使用费,以及为集装箱船舶进出港口时对利用港口的水域、航线及拖轮和引航员等设施和服务人员所支付的服务费用,一般传统航线需停靠14个港口,每个港口的停靠时间为1 d,需停靠14 d,单次航运每个港口的费用大约为2万美元,则单次航运需要港口使用费约28万美元;上述  $YS$ 、 $SS$ 和 $HS$ 为固定费用,不随中欧港口*i*、*j*之间的航运距离和航运时间而变化。

$DS_{ij}$ 表示非加强型12000 TEU集装箱船舶经过传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运的折旧费,可根据集装箱船舶造价和使用寿命按一定比例折算,非加强型12000 TEU集装箱船的均价估算为10000万美元,其年折旧费为400万美元,日折旧费约1.11万美元;  $RS_{ij}$ 表示集装箱船舶经传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运所需的租金,目前传统航线上一艘普通的非加强型12000 TEU集装箱船舶的日租金约4万美元;  $OS_{ij}$ 表示集装箱船舶经传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运的燃油费,12000 TEU集装箱船舶平均每天油耗估算约7万美元<sup>[50]</sup>,平均每海里燃油费约260美元;  $PS_{ij}$ 表示集装箱船舶通过传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运期间的船员总工资,一艘12000 TEU左右的普通集装箱船舶需要配置22名左右的船员,每月船员总工资额约为13.89万美元<sup>[49]</sup>,每天船

员工工资总计0.463万美元;  $MS_{ij}$ 表示集装箱船舶经过传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航次的运营管理费,根据现实经验,日运营管理费约为船员日均总工资的50%<sup>[49]</sup>,计为2315美元;  $XS_{ij}$ 表示集装箱船舶经过传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运所需的年备品和消费品的费用,按船员总工资的12%计算<sup>[9]</sup>,传统航线平均每天的年备品和消费品约756美元;  $WS_{ij}$ 表示集装箱船舶经过传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运所需的修理及维护费,依据现实经验分析,集装箱船舶年修理及维护费占船舶造价的0.2%左右<sup>[49]</sup>,造价10000万美元的普通集装箱船舶的年均修理及维护费约为20万美元,则日均修理及维护费约为556美元;  $IS_{ij}$ 表示集装箱船舶经过传统航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运所需的保险费,一艘普通的非加强型12000 TEU集装箱船舶的年保险费用约为70万美元,平均每天的保险费约为1944美元。

东北航线的单次航运经济成本计算公式为:

$$TN_{ij} = BN + HN + DN_{ij} + RN_{ij} + ON_{ij} + PN_{ij} + MN_{ij} + XN_{ij} + WN_{ij} + IN_{ij} \quad (2)$$

式中:  $TN_{ij}$ 表示中欧港口*i*、*j*之间经过东北航线完成单次航运的总成本;  $BN$ 表示集装箱船舶通过东北航线的破冰引航总费用,受船舶最大载重的限制,4000 TEU的集装箱船最大载箱量为2850 TEU,按每箱满载装14 t货物,单次航运满载装货39900吨,根据当前俄罗斯收费标准,破冰费用为15万美元/t,单次航运需缴纳的破冰引航费约为60万美元<sup>[49]</sup>,总计需要180万美元;  $HN$ 为港口使用费,表示集装箱船舶经东北航线完成单次航运合计需要的港口费用成本,主要包括利用港口的基础设施如堆场、起重机械等需要对相关设施的使用支付的使用费,以及为集装箱船舶进出港口时对利用港口的海域、航线及拖轮和引航员等设施和服务人员所支付的服务费用,东北航线较传统航线的航运距离更短,港口数量更少,约停靠10个港口,停靠10 d,每个港口的费用大约比传统航线港口高20%<sup>[49]</sup>,约为2.4万美元,则单艘单次航运需要港口使用费24万美元,以12000 TEU集装箱运量来计算,基于东北航线需要3艘运量为4000 TEU集装箱运量的船只,总计需要72万美元;上述 $BN$ 和 $HN$ 为固定费用,不随中欧港口*i*、*j*之间的航运距离和航运时间而变化。

$DN_{ij}$ 表示集装箱船舶经过东北航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运的折旧费,可根据集装箱船舶造价和使用寿命按一定比例折算,用于东北航线的4000 TEU加强型集装箱船的均价估算为7150万美元,年折旧费为286万美元,日折旧费约为0.8万美元,由于东北航线每年仅有约3个月时间适航,则日折旧费折算为3.2万美元,与 $HN$ 的计算相类似,要达到12000 TEU集装箱运输的标准,总计日折旧费则需要9.6万美元;  $RN_{ij}$ 表示集装箱船舶经东北航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运所需的租金,一艘加强型4000 TEU集装箱船舶的日租金约为2.4万美元<sup>[49]</sup>,总计日租金7.2万元;  $ON_{ij}$ 表示集装箱船舶经东北航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运的燃油费,东北航线中需要进行破冰的冰区海域估计约为1400 n mile,加强型集装箱船舶在非冰区海域航速按24 n mile/h计算,在冰区海域航速按9 n mile/h计算,油耗以0.245 t/n mile计算,平均每海里燃油费约147美元,总计每海里燃油费441美元;  $PN_{ij}$ 表示集装箱船舶通过东北航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运期间的船员总工资,东北航线对船员的要求相对更高,4000 TEU集装箱船舶需要约19名船员,设定东北航线的船员工资比传统航线船员的工资高约20%,每月船员总工资额约为14.4万美元,日均工资计0.48万美元,总计1.44万美元/d;  $MN_{ij}$ 表示集装箱船舶经过东北航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航次的运营管理费,东北航线加强型集装箱船舶的日运营管理费为2400美元,总计7200美元;  $XN_{ij}$ 表示集装箱船舶经过东北航线完成中欧港口*i*、*j*之间单次航运所需的年备品和消费品的费用,根据船员总工资的12%计算<sup>[9]</sup>,

东北航线平均每天的年备品和消费品总计约 1729 美元;  $WN_{ij}$  表示集装箱船舶经过东北航线完成中欧港口  $i$ 、 $j$  之间单次航运所需的修理及维护费, 造价 7150 万美元的加强型集装箱船舶的年均修理及维护费约为 14.3 万美元, 则日均修理及维护费约为 300 美元, 总计 900 美元;  $IN_{ij}$  表示集装箱船舶经过东北航线完成中欧港口  $i$ 、 $j$  之间单次航运所需的保险费, 东北航线的航行风险相对较高, 同时还要受到严格的环境保护限制, 因此假设东北航线的加强型集装箱船舶的保险费用比普通船舶高 50%, 约 21 万美元<sup>[49]</sup>, 平均每天的保险费约为 583 美元, 总计 1749 美元。公式中各项费用及参数的计算依据分析如表 1 所示。

表 1 基于东北航线与传统航线的 12000 TEU 集装箱船舶航运经济成本参数估值  
Tab. 1 Estimation of economic cost parameters of 12000 TEU container shipping through Northern Sea Route and the Traditional Passage

航线	YS	SS	HN或 HS	BN	DN <sub>ij</sub> 或 DS <sub>ij</sub>	RN <sub>ij</sub> 或 RS <sub>ij</sub>	ON <sub>ij</sub> 或 OS <sub>ij</sub>	PN <sub>ij</sub> 或 PS <sub>ij</sub>	MN <sub>ij</sub> 或 MS <sub>ij</sub>	XN <sub>ij</sub> 或 XS <sub>ij</sub>	WN <sub>ij</sub> 或 WS <sub>ij</sub>	IN <sub>ij</sub> 或 IS <sub>ij</sub>
东北航线	-	-	72	180	9.6	7.2	0.0441	1.44	0.72	0.1728	0.09	0.1749
传统航线	50	7	28	-	1.11	4	0.0259	0.463	0.2315	0.0756	0.0556	0.1944

2.2.2 贸易互补指数 贸易互补指数用来衡量一个国家某种产品的出口或进口和另一个国家的进口或出口的吻合程度<sup>[51]</sup>, 计算方法如下:

$$CE_{ij} = \sum_k \left[ \left( (X_{ik}/X_i) \times (M_{jk}/M_j) \right) / (W_k/W) \right]$$

(3)

式中:  $CE_{ij}$  代表  $i$  国出口与  $j$  国进口之间的贸易互补指数,  $CE_{ij} > 1$  说明  $i$ 、 $j$  两国的贸易互补性强, 数值越大两国进出口商品之间的吻合度越好, 互补性越强;  $CE_{ij} < 1$  说明  $i$ 、 $j$  两国的贸易互补性弱, 数值越小, 互补性越弱;  $CE_{ij} = 1$  说明世界各国各商品的比较优势均相同。  $X_{ik}$  表示  $i$  国  $k$  类商品的出口额;  $X_i$  表示  $i$  国所有商品的出口额;  $M_{jk}$  表示  $j$  国  $k$  类商品的进口额;  $M_j$  表示  $j$  国所有商品的进口额;  $W_k$  表示  $k$  类商品的世界出口总额 (等于  $k$  类商品的世界进口总额);  $W$  表示所有商品的世界出口总额 (等于所有商品的世界进口总额)。相应地, 可用  $CI_{ij}$  表示  $i$  国进口与  $j$  国出口之间的贸易互补指数。

2.2.3 随机前沿模型的引入与设定

(1) 面板随机前沿模型。国家之间的贸易活动可以看成是一种生产运行过程, 可能受到随机干扰与技术无效率等因素影响, 未能达到最优生产前沿, 采用随机前沿模型的方法能有效分解随机扰动项和技术无效率的影响, 随机前沿模型的基本设定如下:

$$Y_{it} = f(X_{it}, \beta) e^{v_{it} - \mu_{it}}$$

(4)

式中:  $Y_{it}$  表示对  $i$  国 ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 在第  $t$  期 ( $t = 1, 2, \dots, T$ ) 的出口或进口总量;  $X_{it}$  表示相应的投入要素向量;  $f(x)$  表示生产可能性边界上的最大产出, 即生产前沿函数;  $v_{it}$  表示受统计误差和经济波动等不可控因素影响的随机干扰项, 服从期望为 0、方差为  $\sigma_v^2$  的正态分布;  $\mu_{it}$  表示产出的实际水平与前沿水平的差距, 即无效率误差项, 服从期望为  $\mu$ 、方差为  $\sigma_\mu^2$  的半正态分布, 为非负随机变量; 假设随机干扰项  $v_{it}$  与无效率误差项  $\mu_{it}$  相互独立, 作出如下设定:

$$\mu_{it} = \mu_i e^{-\eta(t-T)}$$

(5)

式中:  $\eta$  表示时间因素对技术无效率项  $\mu_{it}$  的影响,  $\eta > 0$ , 表示  $\mu_{it}$  随时间推移递减,  $\eta = 0$ , 表示不随时间推移改变,  $\eta < 0$ , 表示  $\mu_{it}$  递增。各国之间贸易效率可以用贸易规模期望与随机前沿期望的比值来表示:

$$TE_{it} = \frac{E[f(x_{it}, \beta) e^{v_{it} - \mu_{it}}]}{E[f(x_{it}, \beta) e^{v_{it} - \mu_{it}} | \mu_{it} = 0]} = e^{-\mu_{it}}$$

(6)

式中:  $TE_{it}$  表示时变技术效率; 当  $\mu_{it} = 0$  时,  $TE_{it} = 1$ , 此时不存在技术无效率, 各国之间贸易规模位于前沿面上; 当  $\mu_{it} > 0$  时,  $TE_{it} < 1$ , 存在技术无效率。构建国家之间进出口贸易的面板数据, 利用面板随机前沿模型分析国家间贸易效率影响因素, 假设无效率项  $\mu_{it}$  存在, 相应的  $\gamma$  判别法如下<sup>[52]</sup>:

$$\gamma = \frac{\sigma_{\mu}^2}{\sigma_v^2 + \sigma_{\mu}^2} \quad (7)$$

式中:  $\sigma_v^2$  和  $\sigma_{\mu}^2$  分别表示随机干扰项与无效率误差项的方差;  $\gamma$  表示的是无效影响因素对个体效率差异的解释程度。若  $\gamma$  接近于 1, 表明误差主要来自于生产技术的无效率, 适用随机前沿模型; 若  $\gamma$  接近于 0, 表明实际产出与前沿面产出之间的差距主要来源于统计误差, 则不适用随机前沿模型。

(2) 基于随机前沿的贸易引力模型。贸易规模是国家间经济、政治、制度、距离等多重变量的函数, 传统的贸易引力模型认为贸易伙伴的经济规模和距离对贸易规模起决定性作用。然而除了经济规模和距离之外的许多不可观测因素也对大部分的贸易量起决定性作用, 因此传统的贸易引力模型很难纠正估计偏误<sup>[53]</sup>。以最小成本达到最大化贸易规模, 本质上与企业生产函数类似, 故随机前沿模型分析生产效率的方法亦可用于分析贸易效率<sup>[53-54]</sup>。构建随机前沿贸易引力模型, 基于给定的贸易环境因素评估国家的最优贸易水平及贸易效率, 随机前沿贸易引力模型可以表示如下:

$$\ln T_{ijt} = \beta_k X_{ijt} + v_{ijt} - \mu_{ijt} \quad (8)$$

式中:  $T_{ijt}$  代表双边贸易规模, 例如出口额、进口额等;  $X_{ijt}$  表示影响贸易规模的引力模型基本变量及其他变量。时变贸易效率的估计等同于技术效率的估计, 国家之间的贸易前沿水平可通过  $\exp(\beta_k X_{ijt} + v_{ijt})$  得到。

加入是否与中国签署了自由贸易协定、是否与中国接壤 2 个虚拟变量<sup>[35, 55]</sup>, 针对中国对欧洲 18 国的出口额和进口额分别构建以下随机前沿模型:

$$\ln EX_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln GDP_{jt} + \beta_3 \ln EC_{ij} + \beta_4 \ln CE_{ijt} + \beta_5 B_{ij} + \beta_6 FTA_{ij} + v_{ijt} - \mu_{ijt} \quad (9)$$

$$\ln IM_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln GDP_{jt} + \beta_3 \ln EC_{it} + \beta_4 \ln CI_{ijt} + \beta_5 B_{ij} + \beta_6 FTA_{ij} + v_{ijt} - \mu_{ijt} \quad (10)$$

式中:  $i$  表示中国;  $j$  分别表示前文所述的 18 个欧洲国家;  $t$  表示年份;  $EX_{ijt}$  和  $IM_{ijt}$  分别表示  $t$  年中国对  $j$  国的出口额和进口额;  $GDP_{it}$  和  $GDP_{jt}$  分别表示中国和  $j$  国  $t$  年的 GDP;  $EC_{ij}$  表示中国与  $j$  国之间基于东北航线的平均航运经济成本;  $CE_{ijt}$  表示  $t$  年基于中国出口与  $j$  国进口的贸易互补指数;  $CI_{ijt}$  表示  $t$  年基于中国进口与  $j$  国出口的贸易互补指数;  $B_{ij}$  是虚拟变量, 表示中国是否与  $j$  国接壤;  $FTA_{ij}$  是虚拟变量, 表示  $t$  年中国与  $j$  国是否已签署了生效的区域贸易协定;  $\beta_0$  为常数项;  $\beta_1 \sim \beta_6$  分别是对应指标的回归系数;  $v_{ijt}$  表示随机干扰项;  $\mu_{ijt}$  表示无效率误差;  $v_{ijt} + \mu_{ijt}$  表示混合误差项。

## 2.3 数据说明

数据及其来源包括: ① 中国 12 个港口与欧洲 18 国共 19 个港口之间基于东北航线与传统航线的航运距离数据, 基于中欧港口之间航运交通运输顺利、安全运行的假设, 东北航线的航运距离利用 ArcGIS 软件在 North\_Pole\_Azimuthal\_Equidistant 投影坐标系自绘各条航线而得, 传统航线的航运距离通过航运网站 (<http://port.sol.com.cn/>) 在线查得。② 2000—2018 年中国与欧洲 18 国经济社会统计数据 (GDP 和人口) 来源于世界银行公开数据 (<https://data.worldbank.org.cn/>)。③ 2000—2018 年世界进出口总额、中国与欧洲 18 国进出口总额及其 SITC3 位数分类商品进出口额数据根据联合国双边交易数据库 (<https://comtrade.un.org/data/>) 整理而得。④ 2000—2018 年间中国是否与欧洲 18 国签署

了自由贸易协定根据中华人民共和国商务部国际经贸关系司的中国自由贸易区服务网(<http://fta.mofcom.gov.cn/>)整理。对面板贸易引力模型中的进出口数据、GDP、东北航线航运距离、贸易互补指数等指标进行对数化处理后作为随机前沿模型的变量(表2)。

表2 变量描述性统计  
Tab. 2 Descriptive statistics of variables

变量类型	变量	观测数量	最小值	最大值	均值	标准差
因变量	$\ln EX_{ijt}$	342	16.68	25.08	22.02	1.89
	$\ln IM_{ijt}$	342	14.84	25.39	21.19	2.30
影响因素	$\ln GDP_{it}$	342	27.82	30.24	29.15	0.82
	$\ln GDP_{jt}$	342	22.46	29.00	26.38	1.68
	$\ln EC_{ijt}$	342	9.05	9.21	9.12	0.04
	$\ln CE_{ijt}$	342	-0.32	0.35	0.0028	0.13
	$\ln CI_{ijt}$	342	-0.82	0.29	-0.2981	0.18

3 结果分析

3.1 东北航线与传统航线航运经济成本比较

构建12×19的航线经济成本矩阵,基于12000 TEU运输量比较东北航线与传统航线的航运经济成本,各形成228条航运经济成本的航运路线。基于东北航线的部分航运距离上较传统航线更短,但东北航线航运经济成本较传统航线更大(表3),中欧港口之间基于东北航线的航运经济成本约为相对应传统航线的1.58~2.80倍。就东北航线而言,航

表3 12000 TEU运输量下东北航线较传统航线的航运经济成本增量(万美元)  
Tab. 3 Economic cost increment of shipping along the Northern Sea Route compared with the Traditional Passage under the traffic volume of 12000 TEU (10000 dollars)

港口	大连	秦皇岛	天津	青岛	连云港	上海	宁波	厦门	深圳	广州	防城港	海口	平均
摩尔曼斯克	394.21	400.88	402.77	397.15	400.65	404.66	409.13	456.25	491.11	492.18	523.87	513.37	440.52
圣彼得堡	620.63	630.71	632.60	626.98	630.48	634.49	638.96	686.08	720.94	722.01	753.70	743.20	670.07
奥斯陆	598.18	604.85	606.74	601.11	604.62	608.63	613.10	660.22	695.08	696.15	727.84	717.34	644.49
哥德堡	598.69	602.51	604.40	598.78	602.28	606.30	610.76	657.88	692.74	693.82	725.50	715.00	642.39
赫尔辛基	636.81	642.71	644.60	638.98	642.48	646.49	650.96	698.08	732.94	734.01	765.70	755.20	682.41
塔林	635.82	642.35	644.24	638.61	642.12	646.13	650.60	697.72	732.58	733.65	765.34	754.84	682.00
里加	625.85	632.37	634.27	628.64	632.15	636.16	640.63	687.75	722.60	723.68	755.37	744.87	672.03
克莱佩达	618.96	625.49	627.38	621.75	625.26	629.27	633.74	680.86	715.72	716.79	748.48	737.98	665.14
格但斯克	619.68	626.35	628.24	622.62	626.12	630.13	634.60	681.72	716.58	717.65	749.34	738.84	665.99
汉堡	612.51	619.18	621.07	615.44	618.95	622.96	627.43	674.55	709.41	710.48	742.17	731.67	658.82
哥本哈根	607.56	614.08	615.97	610.35	613.85	617.87	622.33	669.45	704.31	705.38	737.07	726.57	653.73
鹿特丹	625.16	631.83	633.72	628.09	631.60	635.61	640.08	687.20	722.06	723.13	754.82	744.32	671.47
安特卫普	631.62	638.29	640.18	634.56	638.06	642.07	646.54	693.66	728.52	729.59	761.28	750.78	677.93
勒阿弗尔	648.21	654.88	656.77	651.15	654.65	658.66	663.13	710.25	745.11	746.18	777.87	767.37	694.52
毕尔巴鄂	701.53	708.05	709.94	704.32	707.82	711.84	716.30	763.42	798.28	799.36	831.05	820.54	747.70
里斯本	745.64	752.31	754.21	748.58	752.09	756.10	760.56	807.68	842.54	843.62	875.31	864.80	791.95
南安普顿	650.13	656.66	658.55	652.93	656.43	660.44	664.91	712.03	746.89	747.96	779.65	769.15	696.31
都柏林	641.15	647.67	649.57	643.94	647.45	651.46	655.93	703.05	737.90	738.98	770.67	760.17	687.33
雷克雅未克	605.66	612.33	614.23	608.60	612.11	616.12	620.59	667.71	702.56	703.64	735.33	724.83	651.98
平均	622.00	628.60	630.50	624.87	628.38	632.39	636.86	683.98	718.83	719.91	751.60	741.10	—

运经济成本最大的航线为防城港—里斯本,为1361.4万美元,航运经济成本最小的航线为上海—摩尔曼斯克,为1072.9万美元;相对应地,基于传统航线航运经济成本最大的航线为天津—摩尔曼斯克,航运经济成本为691.5万美元,航运经济成本最小的航线为海口—里斯本,航运经济成本为482.5万美元。

对比中欧港口之间基于东北航线与传统航线航运经济成本的差值,按照自然间断点分级法将航运经济成本分为5个等级,大体而言:①中国港口与摩尔曼斯克之间的航运经济成本差值最小,中国港口与摩尔曼斯克之间形成12对航运路线,其航运经济成本差值约为394.21~523.87万美元;②中国宁波以北港口与欧洲安特卫普和鹿特丹以西以北等港口(除摩尔曼斯克以外)之间形成71对航运路线,其航运经济成本差值约为598.17~636.81万美元;③中国厦门以北港口与欧洲勒阿弗尔港口以北港口(除摩尔曼斯克以外)之间形成51对航运路线,其航运经济成本差值约638.06~687.75万美元;④以厦门以南港口为主的中国港口与欧洲大部分港口(除摩尔曼斯克以外)之间形成83对航运路线,其航运经济成本差值约692.73~770.67万美元;⑤厦门以南港口为主的中国港口与欧洲南安普顿以南港口之间形成11对航运路线,其航运经济成本差值约777.87~875.31万美元。

### 3.2 中欧贸易互补指数变化

根据公式(3),计算得到基于中国出口的贸易互补指数 $CE_{ij}$ 和基于中国进口的贸易互补指数 $CI_{ij}$ (图2)。中国具有出口优势的产品主要包括丝绸、陶器、灯具、纺织品、家用设备、童车和玩具、服装、鞋类、光学仪器等,2000—2018年间,中国出口与欧洲18国进口之间贸易互补指数 $CE_{ij}$ 大于1的次数为182次,约占总次数的52.63%,表明中国出口与欧洲18国进口之间具有较好的互补性,其中与中国出口的贸易互补指数 $CE_{ij}$ 较高的国家包括冰岛、丹麦、挪威、法国、瑞典和英国等国家,贸易互补指数 $CE_{ij}$ 处于明显上升趋势的包括俄罗斯和瑞典等国家,下降趋势明显的包括爱尔兰和比利时等国家,中国出口与欧洲其他国家进口的贸易互补指数 $CE_{ij}$ 呈现出不同程度的波动状态。中国具有进口优势的产品主要包括铁矿石、煤炭、木材、光学仪器、废塑料、油籽、植物纤维、铜矿、羊毛、镍等,2000—2018年间大部分年份中国进口与欧洲18国出口之间的贸易互补指数 $CI_{ij}$ 均小于1且呈现出下降趋势,小于1的次数为324次,占总数为342次的94.74%,表明中国进口与欧洲18国出口之间互补性较差,其中仅有2000—2001年的爱沙尼亚和拉脱维亚、2000—2002年的瑞典、2000—2005年的芬兰、2016—2018年的挪威、2017—2018年的俄罗斯与中国进口的贸易互补指数 $CI_{ij} > 1$ 。以基于中国出口的贸易互补指数 $CE_{ij}$ 和基于中国进口的贸易互补指数 $CI_{ij}$ 作为贸易引力模型的指标之一,进而衡量该指标对中欧进出口贸易的影响。

### 3.3 基于面板数据的随机前沿贸易引力模型分析结果

**3.3.1 模型检验及中国进出口贸易的影响因素** 为避免面板数据的伪回归,分别采用LLC(Levin-Lin-Chu)方法和Kao检验方法对公式(9)和公式(10)中的各序列进行单位根检验和协整检验,方程的拟合程度较好,检验结果如表4所示。可见, $\ln EX_{ijt}$ 、 $\ln IM_{ijt}$ 、 $\ln GDP_{it}$ 、 $\ln CE_{ij}$ 和 $\ln CI_{ij}$ 均为平稳序列,且上述2个序列存在协整关系。随机前沿贸易引力模型高度依赖于模型的函数形式,如表5所示,基于东北航线的 $\gamma$ 值均接近于1,说明混合误差项基本上由管理无效率主导; $LR$ 值分别均大于6个变量5%显著性下的临界值11.911,说明拒绝不存在无效理想的原假设,采用随机前沿贸易引力模型分析是合理的。

在中国向欧洲18国出口方面,中国GDP规模对中国出口具有显著的正弹性,但中国GDP系数远远小于欧洲18国GDP的系数,说明贸易伙伴国经济规模变化更易对中国的出口规模产生影响。基于东北航线航运经济成本的系数显著为-1.90,说明中欧之间基于东北

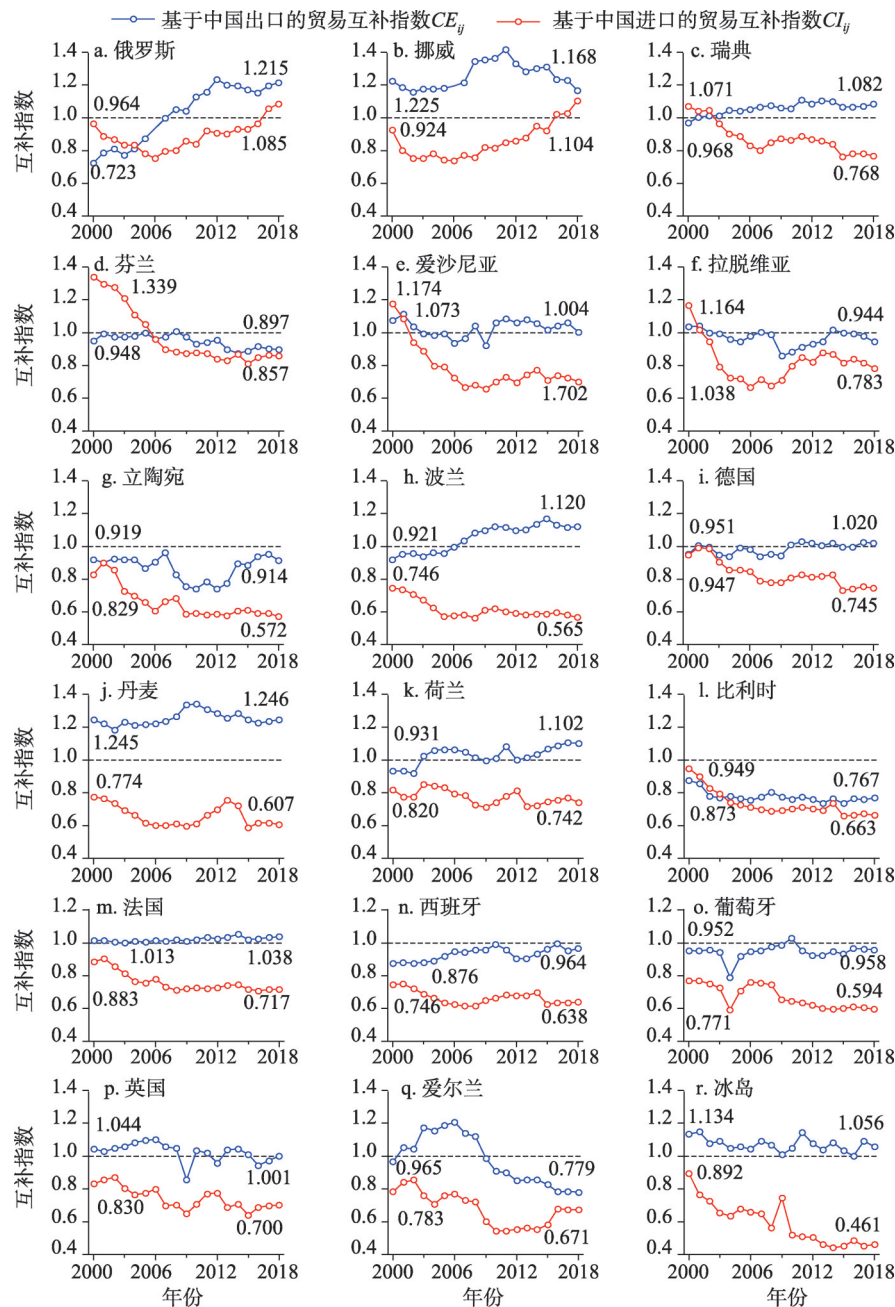


图2 2000—2018年中国进出口衡量的中欧贸易互补指数

Fig. 2 China-EU trade complementarity index based on China's export and import in 2000-2018

航线的航运经济成本与中国出口至与欧洲18国的贸易规模呈现显著负相关，航运经济成本成为阻碍中国出口至欧洲18国贸易规模的影响因素。基于中国出口的贸易互补指数、是否与中国接壤、是否与中国签署自由贸易协定的系数均较小，相关关系不显著。

在中国向欧洲18国进口方面，中国GDP规模的系数亦小于欧洲18国GDP规模的系数，且均通过1%的显著性检验，说明贸易伙伴国的经济规模对中国的进口规模产生更大的影响。基于东北航线航运经济成本的系数为7.72，但未通过10%的显著性检验，说明

表4 面板数据单位根检验结果  
Tab. 4 Result of unit root test of panel data

变量	LLC 检验统计量	P 值	结论
$\ln EX_{ijt}$	-8.9735	0.000	平稳
$\ln IM_{ijt}$	-7.4359	0.000	平稳
$\ln GDP_{it}$	-6.4064	0.000	平稳
$\ln GDP_{jt}$	-7.8754	0.000	平稳
$\ln CE_{ijt}$	-3.5680	0.000	平稳
$\ln CI_{ijt}$	-4.8176	0.000	平稳
$\ln EX_{ijt}$ 、 $\ln GDP_{it}$ 、 $\ln GDP_{jt}$ 、 $\ln CE_{ijt}$ 协整检验	T 统计量: -4.9656	0.000	存在协整关系
$\ln IMX_{ijt}$ 、 $\ln GDP_{it}$ 、 $\ln GDP_{jt}$ 、 $\ln CI_{ijt}$ 协整检验	T 统计量: -4.6801	0.000	存在协整关系

中欧之间基于东北航线的航运经济成本与中国从欧洲进口的贸易规模正相关关系的置信度较低。中国进口的贸易互补指数系数为0.03,未通过10%的显著性检验,说明基于中国进口的贸易互补指数与中国从欧洲18国进口的相关性不显著。是否与中国接壤系数为0.39,且通过10%的显著性检验,说明中欧国家间是否接壤与中国向该国的进口规模显著正相关。是否与中国签署自由贸易协定与中国进口的贸易规模具有显著的负相关。

**3.3.2 贸易效率变化** 2000—2018年间,假设以东北航线作为中欧贸易的航运通道,东北航线航运经济成本是中国向欧洲18国出口贸易的影响因素之一,中国出口至欧洲18国的贸易效率整体上表现为不同程度的下降趋势且差异明显(图3)。中国向荷兰、爱沙尼亚、比利时、拉脱维亚和立陶宛等国家出口的贸易效率相对较高,年均出口贸易效率分别为0.943、0.604、0.480、0.440和0.373;中国向瑞典、葡萄牙、法国、挪威和冰岛等国家出口的贸易效率相对较低,年均出口贸易效率分别为0.176、0.172、0.157、0.107和0.103;中国向其余欧洲国家出口的贸易效率居中间水平。

2000—2018年间,假设以东北航线作为中欧贸易的唯一航运通道,东北航线航运经济成本同样也是中国向欧洲18国进口贸易的影响因子之一,中国向欧洲18国进口的贸易效率整体呈现上升趋势且差异较大(图3)。中国向俄罗斯、德国、瑞典、比利时和芬兰等国家进口的贸易效率相对较高,年均进口贸易效率分别为0.933、0.898、0.548、0.547和0.511;中国向西班牙、冰岛、葡萄牙、拉脱维亚和立陶宛等国家进口的贸易效率相对较低,年均进口贸易效率分别为0.122、0.118、0.075、0.047和0.047;中国向其余欧洲国家进口的贸易效率居于中间水平。

基于东北航线作为主要航运通道的假设,中欧国家之间进出口的贸易效率普遍不高,未来如果以东北航线作为中欧国家之间常规的远洋航运通道之一,中国向欧洲18国进出口的贸易效率尚有较大的提升空间。因此,从贸易效率的角度而言,东北航线应配合传统航线的使用,有选择性的完成部分相对较短航运距离、小型集装箱船舶的贸易运输。

表5 基于东北航线的面板随机前沿贸易引力模型回归结果

Tab. 5 Regression result of trade gravity model in stochastic frontier based on the Northern Sea Route

因变量 $\ln EX_{ijt}$	系数	因变量 $\ln IM_{ijt}$	系数
常数项	-7.15***	常数项	-63.38*
$\ln GDP_{it}$	0.62*	$\ln GDP_{it}$	0.28***
$\ln GDP_{jt}$	0.98***	$\ln GDP_{jt}$	0.87***
$\ln EC_{ijt}$	-1.90*	$\ln EC_{ijt}$	7.72
$\ln CE_{ijt}$	-0.06	$\ln CI_{ijt}$	0.03
$B_{ijt}$	0.31	$B_{ijt}$	0.39*
$FTA_{ijt}$	-0.16	$FTA_{ijt}$	-0.48**
$\mu$	0.00	$\mu$	0.00
$\eta$	-0.01	$\eta$	0.04
$\gamma$	0.91	$\gamma$	0.95
$\sigma_{\mu}^2$	0.69	$\sigma_{\mu}^2$	1.61
$\sigma_v^2$	0.07	$\sigma_v^2$	0.08
对数似然值	-110.50	对数似然值	-95.93
LR	399.37	LR	467.69

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。

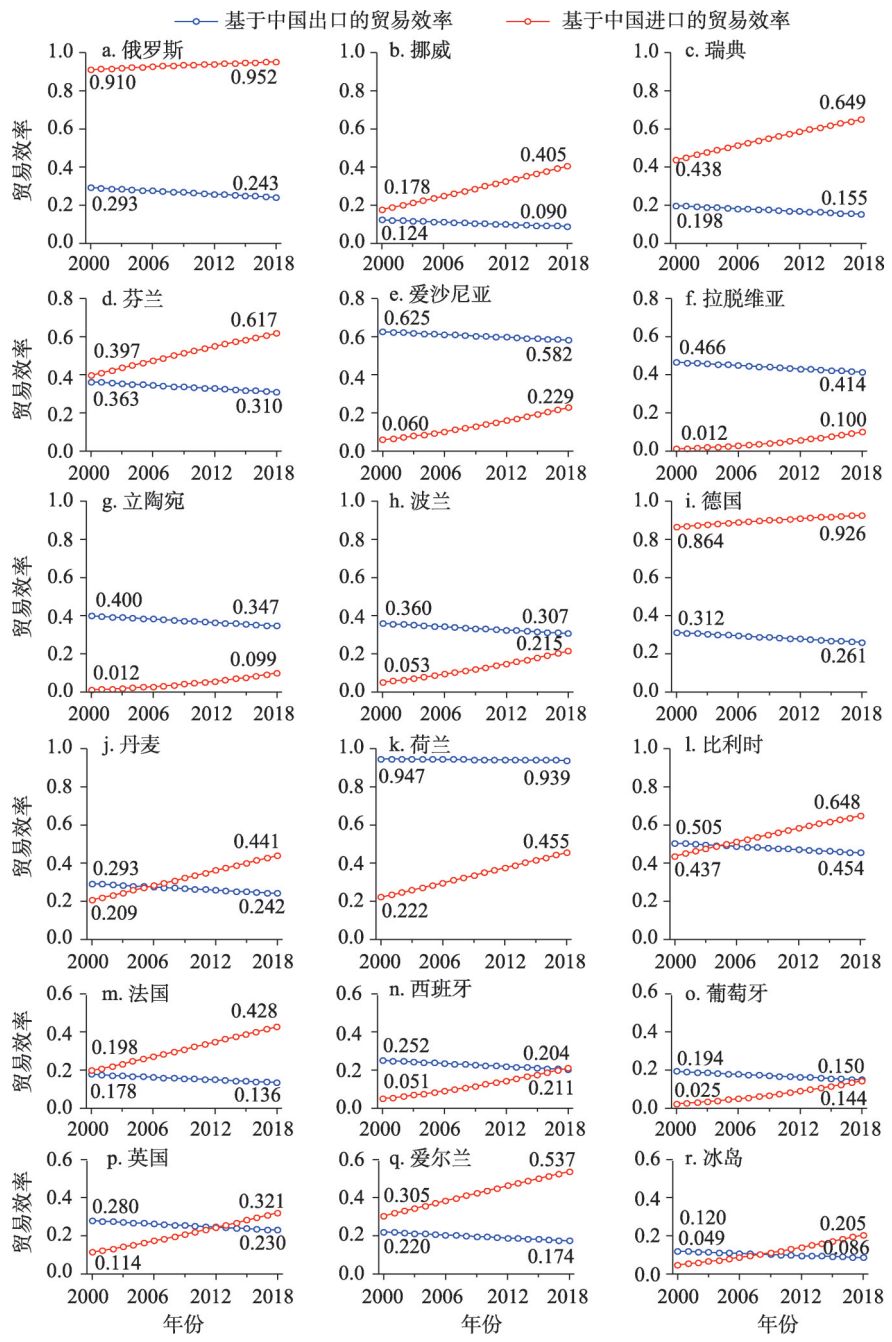


图3 2000—2018年中国向欧洲18国出口和进口的贸易效率

Fig. 3 Trade efficiency of China's import from and export to 18 European countries in 2000-2018

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文构建了中欧港口之间航运经济成本模型，对比了东北航线与传统航线在航运经济成本上的差异，并利用面板数据构建随机前沿贸易引力模型，研究中欧国家GDP、航运经济成本、进出口的贸易互补指数、是否与中国接壤以及是否与中国签署自由贸易协

定等因素与中国对欧洲18国进出口贸易的关系,得到以下主要结论:

(1) 部分中欧港口之间通过东北航线通航时具有缩短航运距离的优势,但基于12000 TEU集装箱船舶的运输量,中欧港口之间通过东北航线的航运经济成本明显大于通过传统航线的航运经济成本,东北航线的航运经济成本约为传统航线的1.58~2.80倍。

(2) 2000—2018年间基于中国向欧洲18国出口的贸易互补指数 $CE_{ij}$ 有182次大于1,约占总次数的52.63%,中国出口与欧洲18国进口之间具有较好的互补性,中国具有出口优势的产品主要包括丝绸、陶器、灯具、纺织品、家用设备、童车和玩具、服装、鞋类、光学仪器等,与中国出口形成较高贸易互补指数 $CE_{ij}$ 的国家包括冰岛、丹麦、挪威、法国、瑞典和英国等国家;同期,大部分年份中国进口与欧洲18国出口之间的贸易互补指数 $CI_{ij}$ 均小于1,约占总次数的94.74%,且整体上呈现出下降趋势,表明中国进口与欧洲18国出口之间互补性较差,中国具有进口优势的产品主要包括铁矿石、煤炭、木材、光学仪器、废塑料、油籽、植物纤维、铜矿、羊毛、镍等。

(3) 面板随机前沿贸易引力模型的拟合程度较好,采用随机前沿贸易引力模型分析是合理的;在中国向欧洲18国出口方面,贸易伙伴国经济规模更易对中国的出口规模产生影响,东北航线航运经济成本与中国出口至与欧洲18国的贸易规模呈现显著负相关,基于中国出口的贸易互补指数 $CE_{ij}$ 、是否与中国接壤、是否与中国签署自由贸易协定与中国出口规模的相关关系不显著;在中国进口方面,贸易伙伴国的经济规模对中国的进口规模产生影响,东北航线航运经济成本与中国从欧洲进口的贸易规模正相关关系的置信度较低,基于中国进口的贸易互补指数 $CI_{ij}$ 与中国进口规模的相关关系不显著,是否与中国接壤与中国进口贸易规模具有显著的正相关关系,是否与中国签署自由贸易协定与中国进口贸易规模具有显著的负相关关系。

(4) 基于东北航线作为中欧贸易的航运通道的假设,2000—2018年间中国向欧洲18国出口贸易效率和进口贸易效率分别表现为不同程度的下降趋势和上升趋势,且相互之间的差别较大,中国向欧洲18国进出口的贸易效率均不同程度的提升空间。

## 4.2 讨论

全球变暖使东北航线成为亚欧远洋航线的潜在选择<sup>[56]</sup>,世界正面临着一场横贯亚欧大陆的航海革命<sup>[57]</sup>。东北航线在缩短中国与北欧国家的航运距离上具有显著优势,且东北航线沿线具有丰富的矿产资源,在全球地缘政治格局中的战略地位十分重要,东北航线的开通无疑会影响中欧之间既有航线的航运承载比例,调整中欧之间进出口贸易的规模与流向,为中欧贸易提供了另一种选择路径<sup>[58]</sup>,亦可结合陆路运输发挥东北航线应有优势<sup>[59]</sup>。未来基于东北航线的中欧贸易效率具有较大提升空间,北极航线的在全球贸易格局和全球地缘政治中的重要地位不容忽视。首先,中国应积极参与包括北极航线在内的北极事务,而“冰上丝绸之路”作为利用北极航线连接中欧的互联互通合作机制,作为“一带一路”倡议的重要组成部分,为北极治理提出了“中国方案”,应在现有中俄双边共建的基础上,加快进入多边合作的新阶段,尤其当前全球新冠疫情尚未得到较好地控制,更应秉持人类命运共同体理念推进多方参与共建“冰上丝绸之路”。其次,鉴于东北航线通航船舶最大装载量仅4000 TEU左右,应注重根据航运市场的变化,结合东北航线沿线港口的开发建设,合理组织及优化东北航线的规模和流向,中国可通过建设道路和码头等基础设施、提供维和力量、建立盟友关系、共同开发等方式寻求与北极国家尤其是俄罗斯的多赢战略网络。再次,加强与韩国、日本等近北极国家之间的合作,积极争取非环北极国家应有的权益。最后,中国还应加强造船业、远洋航运、石油勘探、北极事务、冰冻圈、港口发展等领域的科研投入,加强对北极地区的科研考察,为国际社会加深了解北极航线、北极地区做出更多贡献。

此外,从航运距离上对比,宁波以北港口和比利时安特卫普以北、以西港口之间基于东北航线的航运距离较传统航线更短,因此大致可以认为宁波和安特卫普是中欧港口之间基于东北航线与传统航线的航运距离对比的平衡点港口。然而,在航运经济成本的对比上,尚不能类似于航运距离对比而笼统地划分出基于东北航线与传统航线航运经济成本对比的平衡点港口,原因在于东北航线和传统航线允许通航的最大船舶有较大差异,由此测算得出的东北航线航运经济成本成倍地高于传统航线航运经济成本。为了便于比较,以12000 TEU集装箱运输为例,将东北航线的平均航运经济成本下调至传统航线相应的平均航运经济成本,并保持中国和欧洲18国GDP、进出口贸易互补指数、是否接壤和是否签署了已贸易协定等影响因素不变,基于随机前沿的进出口贸易引力模型进行回归分析。在中国向欧洲18国出口方面,下降后的基于东北航线的平均航运经济成本对中国出口贸易规模产生显著的正向影响,说明如果东北航线的平均航运经济成本下降到基于传统航线的相应成本,将有利于提升中国对欧洲18国的出口规模,基于中国出口的贸易互补指数的回归系数由轻微的不显著为负转变为显著为正,说明航运经济成本下降后,与中国出口贸易互补性越好的欧洲国家向中国进口的规模会越大,其余影响因素的方向保持不变;在中国向欧洲18国进口方面,下降后的基于东北航线的平均航运经济成本的回归系数显著为负,说明即使东北航线的平均航运经济成本下降到基于传统航线的相应成本,其对中国向欧洲18国进口仍会产生一定程度的阻碍作用,而中国向欧洲18国进口的其他影响因素的方向保持不变。

本文存在一定的局限性:一方面受限于缺乏实证数据资料,例如船舶公司实际的航运量等数据;另一方面,现实情境下中欧之间基于东北航线的航运还存在较大的不确定性和风险性,今后的研究还应该充分考虑中欧港口之间的区域经济发展、贸易潜力、国际关系、企业利益等诸多制衡因素。

## 参考文献(References)

- [1] Smith L C, Stephenson S R. New trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury. *PNAS*, 2013, 110(13): E1191-E1195.
- [2] Bennett M M, Stephenson S R, Yang K, et al. The opening of the Transpolar Sea Route: Logistical, geopolitical, environmental, and socioeconomic impacts. *Marine Policy*, 2020: 104178. DOI: 10.1016/j.marpol.2020.104178.
- [3] Lindholt L, Glomsrød S. The Arctic: No big bonanza for the global petroleum industry. *Energy Economics*, 2012, 34(5): 1465-1474.
- [4] Lavissière A, Sohier R, Lavissière M C. Transportation systems in the Arctic: A systematic literature review using textometry. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2020, 141: 130-146.
- [5] Hassol S. Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- [6] Schøyen H, Bråthen S. The Northern Sea Route versus the Suez Canal: Cases from bulk shipping. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(4): 977-983.
- [7] Lee S W, Song J M. Economic possibilities of shipping through Northern Sea Route. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 2014, 30(3): 415-430.
- [8] Zeng C, Lu T Y, Lin K C, et al. The competitiveness of Arctic shipping over Suez Canal and China-Europe railway. *Transport Policy*, 2020, 86: 34-43.
- [9] Shou Jianmin, Feng Yuan. Potential for container transport through the Arctic Northern Sea Route. *Chinese Journal of Polar Research*, 2015, 27(1): 65-73. [寿建敏, 冯远. 基于航运成本的北极东北航道集装箱运输潜力研究. *极地研究*, 2015, 27(1): 65-73.]
- [10] Ding W, Wang Y, Dai L, et al. Does a carbon tax affect the feasibility of Arctic shipping? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 80: 102257. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102257.
- [11] Rahman N A, Saharuddin A, Rasdi R. Effect of the Northern Sea Route opening to the shipping activities at Malacca Straits. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 2014, 1: 85-98.

- [12] Li Zhenfu, You Xue, Wang Wenya, et al. Economic analysis of the container shipping on the Arctic Northern Route. *Journal of Jimei University (Philosophy and Social Sciences)*, 2015, 18(1): 34-40. [李振福, 尤雪, 王文雅, 等. 北极东北航线集装箱运输的经济性分析. *集美大学学报(哲学社会科学版)*, 2015, 18(1): 34-40.]
- [13] Theocharis D, Pettit S, Rodrigues V, et al. Arctic shipping: A systematic literature review of comparative studies. *Journal of Transport Geography*, 2018, 69: 112-128.
- [14] Xu Hua, Yin Zhifang. Cost evaluation of the summertime container shipping on the Arctic Northern Passage. *World Regional Studies*, 2013, 22(3): 10-17. [徐骅, 尹志芳. 北冰洋东北航道夏季集装箱航运经济性研究. *世界地理研究*, 2013, 22(3): 10-17.]
- [15] Zhang Aifeng, Song Yanping. Economy study of Arctic route based on the influence of sea ice. *Journal of Dalian Maritime University*, 2014, 40(2): 43-46. [张爱锋, 宋艳平. 基于海冰影响的北极航线经济性研究. *大连海事大学学报*, 2014, 40(2): 43-46.]
- [16] Qian Zuoqin, Xu Li, Yan Xinping, et al. Navigation strategy and economic research of the Northeast Passage in the Arctic. *Chinese Journal of Polar Research*, 2015, 27(2): 203-211. [钱作勤, 徐立, 严新平, 等. 北极东北航道通航策略及经济性研究. *极地研究*, 2015, 27(2): 203-211.]
- [17] Wang D, Ding R, Gong Y, et al. Feasibility of the Northern Sea Route for oil shipping from the economic and environmental perspective and its influence on China's oil imports. *Marine Policy*, 2020, 118: 104006. DOI: 10.1016/j.marpol.2020.104006.
- [18] Zhang Xia, Tu Jingfang, Guo Peiqing, et al. The economic estimate of Arctic Sea Routes and its strategic significance for the development of Chinese economy. *China Soft Science*, 2009(Suppl.2): 86-93. [张侠, 屠景芳, 郭培清, 等. 北极航线的海运经济潜力评估及其对我国经济发展的战略意义. *中国软科学*, 2009(Suppl.2): 86-93.]
- [19] Liu M J, Kronbak J. The potential economic viability of using the Northern Sea Route (NSR) as an alternative route between Asia and Europe. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(3): 434-444.
- [20] Carmel S M. The cold, hard realities of Arctic shipping. *US Naval Institute Proceedings Magazine*, 2013, 139(7): 38-41.
- [21] Verny J, Grigentin C. Container shipping on the northern sea route. *International Journal of Production Economics*, 2009, 122(1): 107-117.
- [22] Zhang Y R, Meng Q, Ng S H. Shipping efficiency comparison between Northern Sea Route and the conventional Asia-Europe shipping route via Suez Canal. *Journal of Transport Geography*, 2016, 57: 241-249.
- [23] Pierre C, Olivier F. Relevance of the Northern Sea Route (NSR) for bulk shipping. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015, 78: 337-346.
- [24] Lasserre F, Pelletier S. Polar super seaways? Maritime transport in the Arctic: An analysis of shipowners' intentions. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(6): 1465-1473.
- [25] Somanathan S, Flynn P, Szymanski J. The Northwest Passage: A simulation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009, 43(2): 127-135.
- [26] Wang N, Yan B, Wu N, et al. Comments on "Case studies of shipping along Arctic routes: Analysis and profitability perspectives for the container sector". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016, 94: 699-702.
- [27] Liu X H, Ma L, Wang J Y, et al. Navigable windows of the Northwest Passage. *Polar Science*, 2017, 13: 91-99.
- [28] Lasserre F. Case studies of shipping along Arctic routes: Analysis and profitability perspectives for the container sector. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014, 66: 144-161.
- [29] Zhao H, Hu H, Lin Y S. Study on China-EU container shipping network in the context of Northern Sea Route. *Journal of Transport Geography*, 2016, 53: 50-60.
- [30] Lee T, Kim H J. Barriers of voyaging on the Northern Sea Route: A perspective from shipping companies. *Marine Policy*, 2015, 62: 264-270.
- [31] Ho J. The implications of Arctic sea ice decline on shipping. *Marine Policy*, 2010, 34(3): 713-715.
- [32] Sur J M, Kim D J. Multi criteria evaluation of beneficial effect of commercializing Northern Sea Route on Europe and Asia countries. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 2000, 36(4): 193-201.
- [33] Valsson T, Ulfarsson G F. Future changes in activity structures of the globe under a receding Arctic ice scenario. *Futures*, 2011, 43(4): 450-459.
- [34] Sun Z, Zheng J F. Finding potential hub locations for liner shipping. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, 93: 750-761.
- [35] He Shufeng, Ping Ying, Zhang Weihua. Influence of Arctic Passage on China's trade potential: An empirical research based on Stochastic Frontier Gravity Model. *Journal of International Trade*, 2013(8): 3-12. [贺书锋, 平瑛, 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. *国际贸易问题*, 2013(8): 3-12.]
- [36] Li Zhenfu, Yan Qianqian, Liu Cuilian. Division of the Arctic route's economic hinterland. *World Regional Studies*,

- 2016, 25(5): 22-28. [李振福, 闫倩倩, 刘翠莲. 北极航线经济腹地范围和等级划分研究. 世界地理研究, 2016, 25(5): 22-28.]
- [37] Borgerson S G. Arctic meltdown: The economic and security implications of global warming. *Foreign Affairs*, 2008, 87(2): 63-77.
- [38] Li Zhenfu, Sun Jianping. Analysis of criterion game mechanism of Arctic Route geopolitical. *World Regional Studies*, 2011, 20(1): 56-62. [李振福, 孙建平. 北极航线地缘政治的规范博弈机制分析. 世界地理研究, 2011, 20(1): 56-62.]
- [39] Yang Jian. On the Arctic governance regimes and non-Arctic actors' participation. *Journal of Social Sciences*, 2014(1): 4-13. [杨剑. 域外因素的嵌入与北极治理机制. 社会科学, 2014(1): 4-13.]
- [40] Liu Weidong, Song Zhouying, Liu Zhigao, et al. Progress in research on the Belt and Road Initiative. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 620-636. [刘卫东, 宋周莺, 刘志高, 等. “一带一路”建设研究进展. 地理学报, 2018, 73(4): 620-636.]
- [41] Li Zhenfu, Peng Yan. Research on the connection power theory and the construction of the supraglacial Silk Road. *Journal of Northeast Normal University (Philosophy and Social Sciences)*, 2019(4): 23-32. [李振福, 彭琰. “通权论”与“冰上丝绸之路”建设研究. 东北师大学报(哲学社会科学版), 2019(4): 23-32.]
- [42] Baykasoğlu A, Kaplanoğlu V. Application of activity-based costing to a land transportation company: A case study. *International Journal of Production Economics*, 2008, 116(2): 308-324.
- [43] Theocharis D, Rodrigues V S, Pettit S, et al. Feasibility of the Northern Sea Route: The role of distance, fuel prices, ice breaking fees and ship size for the product tanker market. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 129: 111-135.
- [44] Cai Jingwei. Market situation and development trend of ultra-large container carrier in the world. *World Shipping*, 2018, 41(1): 5-11. [蔡敬伟. 全球超大型集装箱船市场形势及发展趋势. 世界海运, 2018, 41(1): 5-11.]
- [45] Pharand D. The Arctic waters and the Northwest Passage: A final revisit. *Ocean Development & International Law*, 2007, 38(1/2): 3-69.
- [46] Brigham L W. Environmental security challenges and the Arctic Council's Arctic Marine Shipping Assessment// Berkman P, Vylegzhanin A. *Environmental Security in the Arctic Ocean*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Dordrecht: Springer, 2013.
- [47] Xu H, Yin Z F, Jia D S, et al. The potential seasonal alternative of Asia-Europe container service via Northern Sea Route under the Arctic sea ice retreat. *Maritime Policy & Management*, 2011, 38(5): 541-560.
- [48] Faury O, Cheaitou A, Givry P. Best maritime transportation option for the Arctic crude oil: A profit decision model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2020, 136: 101985. DOI: 10.1016/j.tre.2020.101865.
- [49] You Xue. The study on container shipping economy through Northeast Passage [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015. [尤雪. 北极东北航线集装箱运输经济性的仿真研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.]
- [50] Chen Yu. Influence of high fuel cost on container ship fuel consumption management. *Containerization*, 2008, 19(12): 19-22. [陈羽. 高燃油成本对集装箱船油耗管理的影响. 集装箱化, 2008, 19(12): 19-22.]
- [51] Yu Jinping. Comparative advantage and trade complementarity between China and other Asian economies. *The Journal of World Economy*, 2003, 26(5): 33-40, 80. [于津平. 中国与东亚主要国家和地区间的比较优势与贸易互补性. 世界经济, 2003, 26(5): 33-40, 80.]
- [52] Battese G E, Coelli T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 1995, 20(2): 325-332.
- [53] Fratianni M, Kang H. Heterogeneous distance-elasticities in trade gravity models. *Economics Letters*, 2006, 90(1): 68-71.
- [54] Armstrong S. Measuring trade and trade potential: A survey. The Australian National University, Asia Pacific Economic Papers No.368, 2007.
- [55] Cai Hongbo. Trade flow effect of China free trade areas: Analysis based on gravity model with panel data. *Journal of International Trade*, 2010(1): 25-31. [蔡宏波. 我国自由贸易区的贸易流量效应: 基于面板数据的引力模型分析. 国际贸易问题, 2010(1): 25-31.]
- [56] Xu H, Yang D. LNG-fuelled container ship sailing on the Arctic Sea: Economic and emission assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 87: 102556.
- [57] Kuusi O, Lauhakangas O, Ruttas-Küttim R. From metaphoric litany text to scenarios: How to use metaphors in futures studies. *Futures*, 2016, 84: 124-132.
- [58] Ye Binhong, Cheng Yang, Wang Li, et al. A systematic review on geo-relations research in the Arctic. *Progress in Geography*, 2019, 38(4): 489-505. [叶滨鸿, 程杨, 王利, 等. 北极地区地缘关系研究综述. 地理科学进展, 2019, 38(4):

489-505.]

- [59] Dai Changlei, Zhang Xiaohong, Yu Miao, et al. Feasibility study on land-river combined transport between Dalian and Tiksi. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(6): 1224-1235. [戴长雷, 张晓红, 于淼, 等. 大连至北冰洋季克西港陆河联运路线的可行性研究. *地理学报*, 2019, 74(6): 1224-1235.]

## Research of China-EU trade based on the Northern Sea Route

WANG Wulin<sup>1,2</sup>, WANG Chengjin<sup>1,3</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The Northern Sea Route has been increasingly attracting the attention from countries all over the world due to its important strategic status. By calculating the economic costs of shipping among China-EU ports through the Northern Sea Route and China-EU trade complementarity index, this study builds a trade gravity model in stochastic frontier based on the Northern Sea Route, and explores the influencing factors of China's import from and export trade to 18 European countries, which shows the following: (1) Taking the traffic volume of 12000 TEU for comparison, the economic costs of shipping along the Northern Sea Route are 1.58-2.80 times those based on the traditional passage among China-EU ports. (2) In 2000-2018, the proportion of the China-EU trade complementarity index based on China's export ( $CE_{ij}$ ) greater than 1 accounted for 52.63%, and countries with higher  $CE_{ij}$  included Iceland, Denmark, Norway, France, Sweden and the United Kingdom, while the proportion of the China-EU trade complementarity index based on China's import ( $CI_{ij}$ ) less than 1 accounted for 94.74%, with a declining trend. So, China's import and export with 18 European countries were less complementary. (3) In terms of trade scale of China's export to 18 European countries, the economic scale of trade partner countries has a greater influence than that of China, and the economic costs of shipping are significantly negatively correlated with the trade scale based on the Northern Sea Route; in terms of trade scale of China's import from 18 European countries, the economic scale of trade partner countries has a greater influence than that of China, and the positive correlation relationship between the economic costs of shipping and the trade scale has lower confidence based on the Northern Sea Route. (4) If the Northern Sea Route was taken for the China-EU trade, the trade efficiencies of China's export to 18 European countries and import from them declined and rose to varying degrees, respectively, which means that the trade efficiency of China's import and export had large room for improvement. This study can strengthen the research foundation of relationship between China-EU shipping and trade based on the Northern Sea Route, and provide references for China on participating in the construction of the Northern Sea Route, exploiting and utilizing Arctic resources, and reinforcing the trade between China and Europe.

**Keywords:** economic cost of shipping; trade gravity model in stochastic frontier; trade efficiency; Northern Sea Route