

文章编号: 1004-4051(2025)02-0232-12

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20242009

中国镍产业链对外贸易演化格局及影响因素分析

张欣, 王强, 党牛, 李一楠, 张发梓, 张琦琦,
陈达荃, 黄雪婷, 杨祎诺, 徐茹玲

(福建师范大学地理科学学院、碳中和未来技术学院, 福建 福州 350117)

摘要: 镍作为战略性新兴产业与国防工业发展必不可少的关键金属, 以其资源稀缺性和战略重要性成为国际贸易竞争的新焦点。但中国镍资源高度依赖进口, 把握中国镍产业链贸易格局及其影响因素, 对中国镍产业链稳定有重要意义。研究基于 2000—2022 年中国镍产品进出口数据, 以及相关经济社会指标, 运用 GIS 空间技术和负二项回归模型, 探讨中国镍产业链对外贸易格局的时空演化及相关影响因素。研究结果表明: ①中国镍产业链对外贸易额整体波动上升, 进口额始终大于出口额; ②镍产业链上游产品和中游产品逐步取代下游产品成为进口的主体构成, 下游不锈钢产品是最大出口产品, 遵循“进口附加值较低的镍矿原材料—国内加工研发制造—出口较高附加值镍产品”的发展模式; ③中国镍产业链中上游产品进口格局逐渐多元化; 中游出口国数量远大于进口国, 产品主要销往周边经济发达国家; 下游产品进口贸易高度集中于主要市场, 主要出口国逐渐由发达国家转向发展中国家, 且与“一带一路”共建国家的贸易日益密切; ④贸易国属性、国家邻近性和国际贸易环境与政治关系因素影响中国镍产业链产品对外贸易。

关键词: 镍贸易; 产业链; 贸易格局; 时空演化; 影响因素

中图分类号: TD-9; F407.1 **文献标识码:** A

The evolution pattern of foreign trade in China's nickel industry chain and influencing factor analysis

ZHANG Xin, WANG Qiang, DANG Niu, LI Yinan, ZHANG Fazi, ZHANG Qiqi,
CHEN Daquan, HUANG Xueting, YANG Yinuo, XU Ruling

(School of Geographical Sciences, School of Carbon Neutrality Future Technology, Fujian Normal University,
Fuzhou 350117, China)

Abstract: As an indispensable key metal for the development of strategic emerging industries and national defense industry, nickel has become a new focus of international trade competition due to its resource scarcity and strategic importance. However, China's nickel resources are highly dependent on imports, and it is of great significance to grasp the trade pattern and influencing factors of China's nickel industry chain. Based on the import and export data of nickel products in China from 2000 to 2022 and

收稿日期: 2024-10-08 责任编辑: 聂虹

基金项目: 中国可再生能源产业空间组织格局及其演化机制项目资助(编号: 41971159)

第一作者简介: 张欣(2001—), 女, 汉族, 福建宁化人, 硕士研究生, 主要研究方向为区域可持续发展, E-mail: 18960569791@163.com。

通讯作者简介: 王强(1982—), 男, 汉族, 河北成安人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为能源地理学和区域可持续发展, E-mail: wangq@fjnu.edu.cn。

引用格式: 张欣, 王强, 党牛, 等. 中国镍产业链对外贸易演化格局及影响因素分析[J]. 中国矿业, 2025, 34(2): 232-243.

ZHANG Xin, WANG Qiang, DANG Niu, et al. The evolution pattern of foreign trade in China's nickel industry chain and influencing factor analysis[J]. China Mining Magazine, 2025, 34(2): 232-243.

related economic and social indicators, this paper uses GIS spatial technology and negative binomial regression model to explore the spatiotemporal evolution of the foreign trade pattern of China's nickel industry chain and related influencing factors. The results show that: ① the overall fluctuation of the foreign trade volume of China's nickel industry chain has increased, and the import volume has always been greater than the export value. ② The upstream and midstream products of the nickel industry chain gradually replace the downstream products as the main component of imports, and the downstream stainless steel products are the largest export products, following the development model of "importing nickel ore raw materials with low added value-domestic processing, R&D and manufacturing-exporting nickel products with higher added value". ③ The import pattern of upstream and midstream products in China's nickel industry chain is gradually diversified. The number of midstream exporters is much larger than that of importing countries, and the products are mainly sold to neighboring economic developed countries. The import trade of downstream products is highly concentrated in major markets, and the major exporting countries are gradually shifting from developed countries to developing countries, and the trade with countries along "the Belt and Road" is becoming increasingly close. ④ The attributes of trading countries, national proximity, international trade environment and political relations affect the foreign trade of China's nickel industry chain products.

Keywords: nickel trade; industry chain; trade pattern; spatiotemporal evolution; influencing factor

0 引言

镍作为战略短缺性能源金属,具有熔点高、耐腐蚀和氧化、延展性好的特点,被誉为“合金之王”,在钢铁、机械、建筑和化学等传统工业领域具有广泛的应用^[1]。在“双碳”背景下,特别是在全球新能源汽车、光伏等战略新兴产业大发展的背景下,镍作为低碳清洁能源关键矿产之一,成为动力电池、太阳能储能系统、便携式电子设备制造领域不可替代的关键基础资源^[2-3]。矿产资源是一个国家经济发展的重要物质保障,根据美国地质调查局(USGS)数据,镍金属2021年静态可采年限仅为34 a,稀缺性显著高于铜、锂、钴等关键战略金属^[2]。进入21世纪后,矿产资源的争夺已经成为各国博弈的重中之重^[4]。就中国而言,2016年《全国矿产资源规划(2016—2020年)》首次将镍列为战略性矿产资源^[5],即是极具经济性又伴随供应风险的矿产^[6]。随着战略新兴产业发展和新能源基础设施建设需求的激增,中国已成为全球最大的镍资源消费国,年消费量超过150万t,占全球总产量的56%,但中国镍资源储量仅占全球的2%,资源供给高度依赖外部进口。在逆全球化和区域保护主义不断升级、资源地缘政治竞争持续加剧、国际局势日趋紧张的背景下^[7-9],面对供应短缺、价格上涨等造成的矿产资源供应风险^[10],如何维持镍及相关产业链的稳定可持续发展已成为政策制定者关注的焦点问题。

近年来,国内外学者对不同矿产资源展开研究,如金属锂^[11]、镓^[12]、钒^[13]、铁^[14]、锰^[15]、钴^[16]、铬^[17]等,有关镍产品的研究主要聚焦于贸易价值、贸易安全及供需平衡三个方面:在贸易价值方面,CHEN等^[18]用网络分析法研究镍全球贸易的动态变化,发现镍全

球贸易主要是精炼镍和镍,网络呈现明显的核心-外围结构,镍半成品关联了整个镍贸易骨架;王珂等^[19]分析镍产业链2001—2020年间对外贸易格局的演变,发现尽管中国镍资源对外依存度高,但出口中下游高附加值产品,中国在镍全球贸易领域的地位逐步提升,使得中国在镍全球贸易相互依存格局中的优势地位有所强化。在贸易安全方面,王雅楠等^[20]运用复杂网络理论构建镍全球贸易网络,分析了镍全球贸易2010—2020年的整体结构和演化趋势,发现国际镍贸易往来日趋紧密,且贸易网络集聚度的变化能反映全球经济的不平稳,国家政策也会影响进出口贸易;王星星等^[21]构建了2020年全球镍矿贸易网络并建立级联失效模型,分析全球镍矿贸易的供应风险。在供需方面,乔方刚等^[22]采用复杂网络法,发现国际镍矿石贸易多样化,中国和美国控制能力较强;余良晖等^[23]分析了世界镍贸易的供需形势,并预估国内外镍资源贸易未来趋势;邵鹏等^[24]构建了2010—2019年全球镍及其制品的贸易网络,发现镍及其制品贸易价值受经济发展影响,经济发达地区与资源禀赋高的地区贸易价值较高。

综上所述,在保障能源安全和战略性新兴产业发展背景下,有关关键金属镍的研究日益完善,且多从宏观层面出发,对镍产品供需的贸易动态变化有较为清晰的认识。然而,有关中国镍全产业链贸易的时空演化特征及其影响因素研究较少。本文从中国镍对外贸易产品的全产业链切入,结合矿产资源巨系统理论,运用广义线性模型分析2000—2022年中国镍产业链上中下游产品贸易格局演化机制及其影响因素,并提出建议,以期为中国镍产业链发展和

资源安全提供借鉴,在能源转型背景下,助力中国战略性新兴产业的发展。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 基于 GIS 的 OD 空间分析

OD 分析是一种基于起点 (Origin) 和终点 (Destination) 的数据分析方法,通过起点与终点之间的流动信息,揭示不同区域之间的动态关系。本文基于 Arcgis10.2 软件,利用获取的统计数据,建立 2000—2022 年中国镍产业链产品进出口贸易额数据库,对国名、进出口贸易额信息进行整理,分析 2000 年、2010 年和 2022 年中国镍产业链上中下游产品的进出口贸易格局。

1.1.2 广义线性模型

1) 指标选取: 镍是国民经济、国防工业及战略性新兴产业所必需的基础材料和战略物资^[25], 由于其资源稀缺性和战略重要性, 关键金属镍已然成为全球关注的焦点。如今气候变化威胁人类生存, 世界各国纷纷采取措施, 转变以化石能源为主的能源利用方式, 迎接新质生产力时代到来。而当前国际局势复杂动荡, 世界产业分工和经济版图正加快重塑, 地缘政治格局也加快重构, 矿产资源安全形势严峻。因此, 必须采用矿产资源安全巨系统理论, 分析新质生产力、全球经济格局、气候变化、地缘格局等对全球矿产资源格局的影响^[26]。镍产业链包含了矿产资源、传统产业和战略新兴产业, 因此, 结合矿产资源巨系统理论和传统商品贸易理论分析中国镍产业链对外贸易的影响因素。

矿产资源安全巨系统分为经济、社会 and 自然三个子系统, 社会子系统的主要驱动因素是地缘政治, 科技因素是经济子系统的原始动力, 自然子系统即矿产资源的禀赋状态, 对贸易整体起着决定性作用。传统商品贸易以国家主体属性和国家邻近关系为主^[27], 且这两个维度都涉及经济因素和社会因素。基

于此, 本文将矿产资源巨系统和传统商品贸易属性相结合, 分为国家主体属性、国家邻近性和国际贸易环境与政治关系, 构建影响中国镍产业链对外贸易格局演化的指标体系(图 1)。

结合国家主体属性与经济子系统, 选取贸易国技术水平和经济规模来反映其购买和应用镍产品的能力, 分别用专利申请总量和国内生产总值表征; 结合国家主体属性与社会子系统, 选取贸易国对外开放程度和贸易管制来体现国家的外贸水平和贸易环境, 分别用外贸额占 GDP 比重和进口平均关税水平来表征。国家邻近性分为经济邻近性与地理邻近性, 经济结构的邻近性影响国际贸易与投资, 能反映中国与不同类型国家间的贸易程度, 用产业结构特征来表征; 地理邻近性是影响贸易的传统地理因素, 尽管地理距离对贸易的影响随着数字化和技术进步有所减弱, 但仍是重要的影响因素, 选用首都间的距离来量化。社会子系统方面, 由于地缘政治已经成为当前全球资源安全的重要影响因素^[28], 加之国家政策和国际贸易环境等, 故用国际贸易环境与政治关系表征。除贸易国外, 中国的政策环境也对进出口贸易产生极大影响。金融手段是社会子系统中国际竞争的手段之一, 选用人民币汇率表征中国对外贸易的市场环境, 用虚拟变量“是否与中国签署贸易协定”来量化中国在国际上的贸易状况; 在国家政策方面选用是否属于“一带一路”共建国家来表征。自然子系统方面, 资源禀赋是产生镍产品贸易的基础。但受限于数据来源, 无法收集各贸易国的镍矿储量, 且 2000—2022 年间中国矿产资源统计方式发生改变, 因此, 未将资源禀赋纳入指标体系。然而, 中国镍资源储量极低, 供需矛盾突出, 对外依存度极高^[19], 虽未纳入指标体系, 但不可否认其深刻地影响着中国镍产品的对外贸易。由于部分指标暂无 2022 年数据, 故收集 2000—2021 年数据, 具体变量及测度方式见表 1。

2) 广义线性模型 (GLM): 用于扩展传统线性回

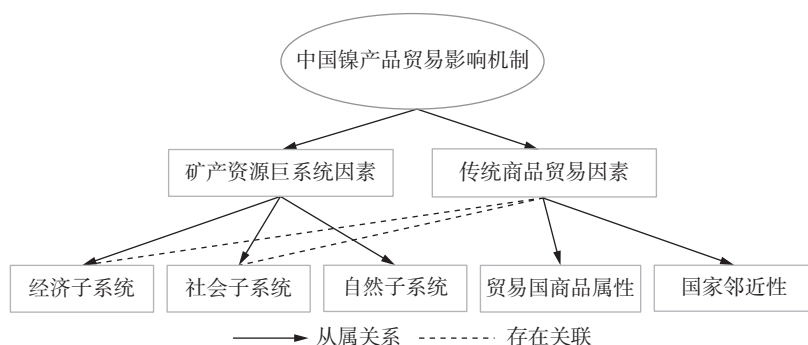


图 1 中国镍产品贸易格局演化影响机制

Fig. 1 Influencing mechanism of the evolution of the trade pattern of nickel industry chain in China

表1 中国镍产业链贸易格局演化影响机制指标体系

Table 1 Index system of the influencing mechanism of the evolution of the trade pattern of nickel industry chain in China				
变量	类别	指标	指标解释	代码
被解释变量		镍进口	中国对外镍进口额	<i>NI</i>
		镍出口	中国对外镍出口额	<i>NIE</i>
		目标国技术水平	专利申请总量	<i>PAT</i>
		目标国经济规模	国内生产总值	<i>GDP</i>
		目标国对外开放程度	外贸额占GDP比重	<i>TCG</i>
解释变量	贸易国属性	目标国贸易管制	进口平均关税水平	<i>TAR</i>
		经济结构	产业结构特征	<i>ECI</i>
		空间邻近性	首都之间的距离	<i>DCC</i>
	国家邻近性	人民币汇率	人民币兑美元平均汇率	<i>RMB</i>
		贸易协定	签署贸易协定赋值1,未签署赋值0	<i>FTA</i>
	国际贸易环境与政治关系	合作倡议	“一带一路”共建国家赋值1,非“一带一路”共建国家赋值0	<i>CTS</i>

归模型以处理更广泛的数据类型和分布。贸易演化的原因是多因素共同作用的结果,其影响因素之间存在复合线性关系,由于进出口贸易额过度离散,且根据F检验和豪斯曼检验得出 P 值等于0,故采用固定效应模型,中国镍对外贸易数据为非负整数,且各影响因素存在“过度离散”现象,通过检验后得知模型参数 α 值不等于0,贸易数据的方差与期望并不相等,因此,用负二项回归模型拟合对外贸易数据,模型见式(1)和式(2)。

$$NI_{c \rightarrow fi} = \alpha + \beta_1 \ln PAT_{fi} + \beta_2 \ln GDP_{fi} + \beta_3 TCG_{fi} + \beta_4 TAR_{fi} + \beta_5 ECI_{c,fi} + \beta_6 \ln DCC_{c,fi} + \beta_7 RMB_c + \beta_8 FTA_c + \beta_9 CTS_c + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$NIE_{c \rightarrow fi} = \alpha + \beta_1 \ln PAT_{fi} + \beta_2 \ln GDP_{fi} + \beta_3 TCG_{fi} + \beta_4 TAR_{fi} + \beta_5 ECI_{c,fi} + \beta_6 \ln DCC_{c,fi} + \beta_7 RMB_c + \beta_8 FTA_c + \beta_9 CTS_c + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中: α 为常数项; ε_i 为随机误差项; $NI_{c \rightarrow fi}$ 为中国对贸易国 fi 的镍进口贸易额; $NIE_{c \rightarrow fi}$ 为中国对贸易国 fi 的镍出口贸易额; $\ln PAT_{fi}$ 为衡量贸易国 fi 技术水平,取其对数形式以减少其数据波动性; $\ln GDP_{fi}$ 为贸易经济规模,取其对数形式以减少其数据波动性; TCG_{fi} 为贸易国 fi 的外贸额占GDP的比重,用来衡量贸易国 fi 的对外开放程度; TAR_{fi} 为贸易国 fi 平均进口关税水平,衡量贸易国的贸易管制; $\ln DCC_{c,fi}$ 为中国与贸易国 fi 首都间的距离; RMB_c 为人民币对美元的平均汇率,表征中国对外贸易环境; FTA_c 为中国国际贸易环境,用与中国政府签署贸易协定来表示,签署国赋值1,非签署国赋值0; CTS_c 为中国对外贸易政策,“一带一路”共建国家赋值1,非“一带一路”共建国家赋值0。

1.2 数据来源

依据中国有色金属协会镍业分会的划分标准,

中国镍产业链产品可划分为上游镍矿采选、中游冶炼加工,以及下游合金、不锈钢、电池、电镀等镍产品制造(图2)。本文基于联合国商品贸易统计数据库,依据世界海关组织HS编码库,选取HS编码75的镍相关产品,以及镍矿(260400)、不锈钢(7218、7219、7220、7221、7222、7223)和镍电池有关产品(850730、850740、850750、850780),并根据产业链不同环节进行分类,从而获取2000—2022年中国镍产业链产品的贸易统计数据(不含港澳台数据)。为了进一步探究镍产业链发展的影响因素,本文还从中华人民共和国商务部数据库、世界银行数据库、法国CEPII数据库等收集相关贸易国的社会经济等相关数据。

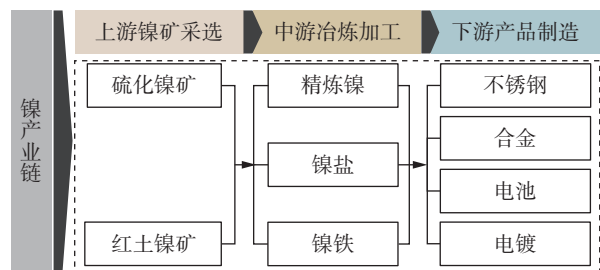


图2 中国镍产业链

Fig. 2 Nickel industry chain in China

2 中国镍及其产品对外贸易格局演化

2.1 进出口结构变化

2000—2022年间,中国镍贸易额整体呈现波动式增长的发展态势,且进口额始终大于出口额(图3(a))。2007年,镍贸易额出现第一个峰值后呈现下降趋势,2008年,由于全球镍供应过剩,直接导致了镍消费量的降低,到2010年世界宏观经济环境好转,全球镍价回升,中国国内电炉镍铁企业产能迅速扩大,对高品位镍矿需求随之增加,加之国内镍价

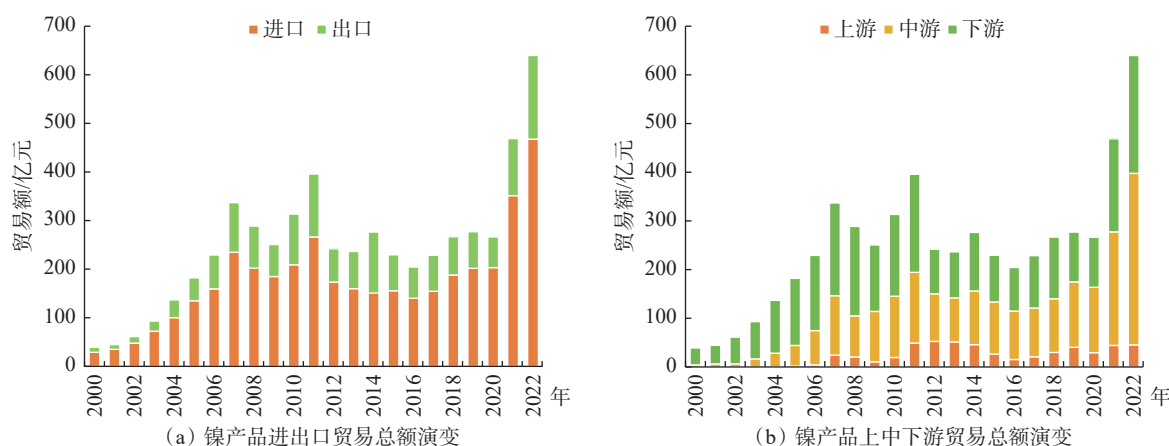


图3 2000—2022年中国镍产品对外贸易额演变

Fig. 3 The evolution of the foreign trade volume of nickel industry chain in China from 2000 to 2022

低于国际市场,刺激出口,总体贸易额上涨。2012年,受境内外市场需求不振,以及市场供过于求的影响,全球镍价下跌,加上国际对中国不锈钢加征反倾销关税,贸易额大幅下降。直到2017年才随着全球宏观经济复苏而回升,且随着新能源汽车快速发展,大量的镍金属被用于新能源电池制造^[29-30],镍产品总体贸易额开始大幅上升。

从产业链来看(图3(b)),贸易主要聚焦于镍产业链中下游。2006年后,伴随着中国逐步从不锈钢进口大国向出口大国的转变,镍产品贸易也开始重视上游镍矿的进口,这表明中国镍产业链的成熟,且产业链下游发展态势好。2012年以后,受国内需求上升和全球镍价下跌影响,下游产品贸易额降幅明显。到2021年中下游产品对外贸易额大幅上涨,究其原因:一是新能源电池发展推动镍的需求上升;二是供给受阻,镍生产大国印度尼西亚收紧矿产出口政策,加之俄乌冲突推高镍价;此外,全球通货膨胀和新冠疫情等因素都影响着镍的全球贸易。

2.2 产品结构变化

从进口贸易结构看,近20年来,中国镍产品进口从下游不锈钢和电池转向中上游各类产品,表明中国对镍产品的进口逐步由高附加值产品转向源头矿物和中游较低附加值产品,通过进口上游原材料以加工制造中下游产品,体现中国镍工业整体水平的提升和对国外镍下游产品依赖度的降低(图4(a))。从出口贸易结构来看,近20年来,下游的不锈钢产品逐步代替镍电池成为中国镍产品出口的主体(图4(b))。这主要受国际“反倾销”制裁和国内电动车蓬勃发展影响,镍电池产品逐步转向内销。

2.3 进出口贸易空间格局演化

2.3.1 上游产品的进出口贸易格局

中国镍产业链上游产品依赖进口,几乎没有出口。2000—2022年,上游镍矿石进口国数量从2000年的7个国家和地区演变到2022年的23个国家和地区,进口区域从欧亚非扩展到大洋洲、北美洲和南美洲,与世界国家的联系日渐密切(图5)。进口格局

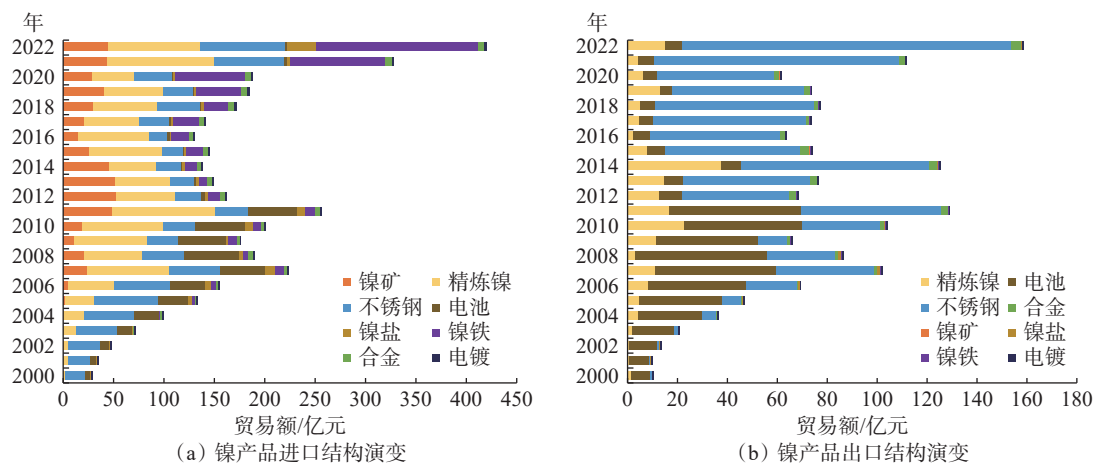


图4 2000—2022年中国镍产品进出口贸易结构

Fig. 4 The import and export trade structure of nickel products in China from 2000 to 2022

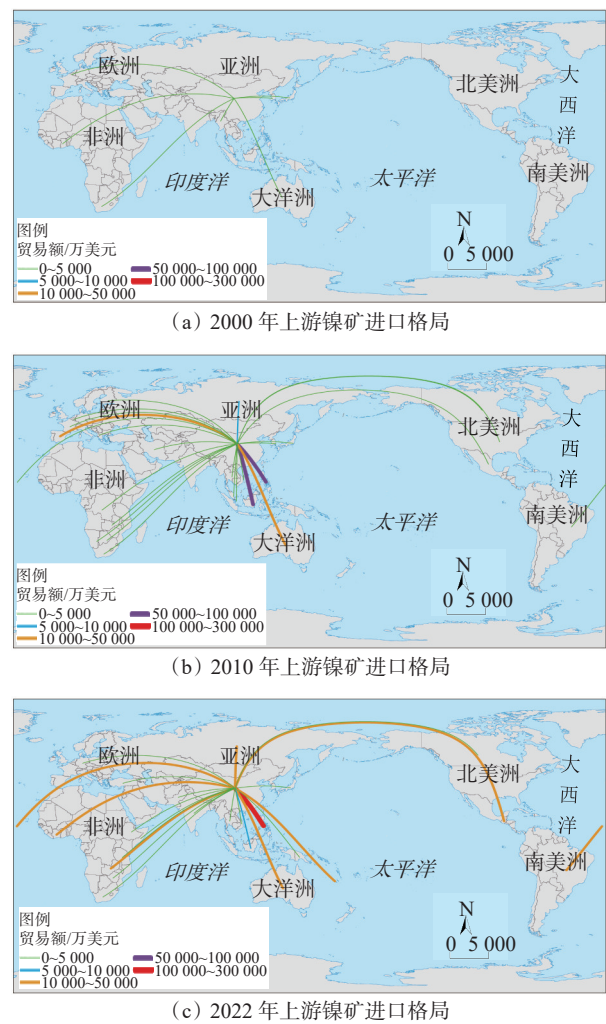


图 5 镍产业链上游进口格局演变

Fig. 5 Evolution of the upstream import pattern of the nickel industry chain

(注: 基于自然资源部标准地图服务网站 GS[2016]1665 号标准地图制作, 底图边界无修改)

的多元化使得我国镍矿石贸易对单一来源国的依赖度逐渐降低,提高了供应链的稳定性和安全性,符合国际镍产业链产品贸易格局从“效率优先”转向“安全优先”的运行逻辑^[31]。上游镍矿石的进口主要来自澳大利亚、印度尼西亚和菲律宾等镍资源丰富的国家。由于印度尼西亚对本国产业链的保护而限制原矿出口,2010—2022 年,中国镍矿石最大进口国从全球最大镍矿资源国印度尼西亚变为菲律宾(表 2)。中国镍矿石资源紧缺,直到 2022 年才有小额的出口,主要出口到印度尼西亚,这是由于中国镍相关企业在海外投资设厂而产生的小额出口。

2.3.2 中游产品的进出口贸易格局

中游主要进口产品为精炼镍和镍铁,进口国从 2000 年的 29 个国家和地区演变到 2022 年的 51 个国家和地区,涵盖亚洲、欧洲、非洲、北美洲和南美洲(图 6)。其中,2015 年以前,精炼镍主要从俄罗斯、澳大利亚和加拿大等国家进口,后扩展到多米尼加共和国等许多“一带一路”共建国家;镍铁进口自 2012 年后大幅上升(图 4),且主要来自镍资源丰富的印度尼西亚。得益于中国和印度尼西亚两国经贸合作的持续深入和创新发展模式不断推进,到 2022 年,中国自印度尼西亚进口中游产品占年度镍中游产品总进口额的一半以上,成为中国当前镍中游产品最大的进口国(表 3)。

中游主要出口产品为精炼镍,出口额虽远不及进口额,但出口国数量远大于进口国(图 6),出口贸易国家和地区从 2000 年的 34 个增长到 2022 年的 89 个。其中,日本和韩国在电子产品和汽车领域对镍有着极高的需求,同时地理距离近,故成为我国镍

表 2 镍产业链上游进出口前十国家占比

Table 2 Proportion of the top 10 countries in the upstream import and export of the nickel industry chain							
单位: %							
进口国家占比						出口国家占比	
国家	2000 年	国家	2010 年	国家	2022 年	国家	2022 年
日本	29.08	印度尼西亚	41.27	菲律宾	57.08	印度尼西亚	80.77
澳大利亚	24.70	菲律宾	28.75	澳大利亚	9.53	韩国	3.82
南非	22.22	澳大利亚	17.89	俄罗斯	9.14	美国	3.54
其他亚洲国家	13.32	西班牙	5.57	新喀里多尼亚	7.85	法国	3.15
韩国	4.79	俄罗斯	3.88	科特迪瓦	4.86	英国	2.92
缅甸	3.73	赞比亚	1.31	危地马拉	3.64	比利时	2.35
比利时	2.12	芬兰	0.43	巴西	2.80	澳大利亚	2.20
加纳	0.04	美国	0.43	赞比亚	2.38	日本	0.77
—	—	加拿大	0.21	印度尼西亚	1.21	荷兰	0.33
—	—	马来西亚	0.13	加拿大	0.43	南非	0.11
合计	100	合计	99.87	合计	98.92	合计	99.96

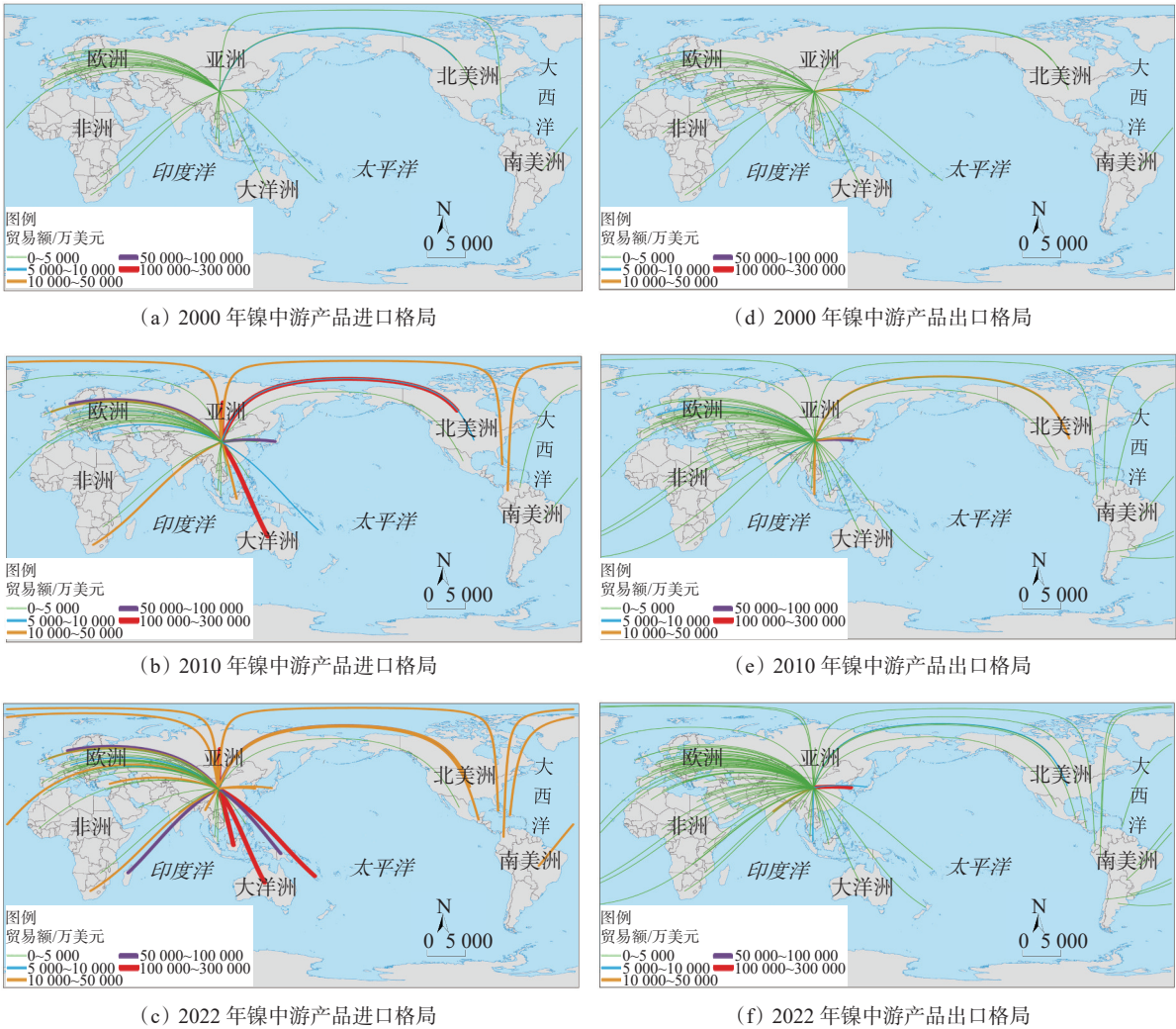


图 6 镍产业链中游进出口格局演变

Fig. 6 Evolution of the midstream import and export pattern of the nickel industry chain

(注: 基于自然资源部标准地图服务网站 GS[2016]1665 号标准地图制作, 底图边界无修改)

表 3 镍产业链中游进出口前 10 国家占比

Table 3 Proportion of the top 10 countries in the midstream import and export of the nickel industry chain

单位: %

进口国家占比						出口国家占比					
国家	2000 年	国家	2010 年	国家	2022 年	国家	2000 年	国家	2010 年	国家	2022 年
加拿大	20.49	俄罗斯	29.93	印度尼西亚	53.86	日本	86.06	韩国	49.39	韩国	74.53
日本	19.03	澳大利亚	20.28	澳大利亚	11.10	韩国	4.50	新加坡	23.41	印度	7.50
英国	13.22	加拿大	14.28	俄罗斯	7.00	新加坡	2.57	日本	8.75	美国	2.96
俄罗斯	13.12	挪威	7.23	新喀里多尼亚	4.71	南非	1.67	美国	6.08	日本	2.91
古巴	6.82	日本	7.21	芬兰	2.67	比利时	1.62	荷兰	5.77	新加坡	2.71
挪威	6.80	古巴	4.54	马达加斯加	2.44	泰国	1.06	印度	3.99	荷兰	1.26
南非	4.04	哥伦比亚	3.99	巴布亚新几内亚	2.37	美国	0.92	泰国	0.65	比利时	1.24
法国	3.80	南非	3.44	挪威	2.30	印度尼西亚	0.39	印度尼西亚	0.39	马来西亚	1.23
澳大利亚	3.51	芬兰	1.88	加拿大	2.09	英国	0.20	加拿大	0.36	挪威	1.17
美国	2.28	印度尼西亚	1.70	南非	1.39	加拿大	0.18	越南	0.27	法国	0.86
合计	93.11	合计	94.48	合计	89.96	合计	99.17	合计	99.06	合计	96.37

铁的主要出口国(表3)。

2.3.3 下游产品的进出口贸易格局

下游产品进出口贸易市场不断扩大,尤其是出口贸易国数量大幅上升(图7)。下游产品进出口贸易都以不锈钢和电池为主(图4),下游产品进口国从2000年的46个国家和地区演变到2022年的67个国家和地区,涵盖亚洲、欧洲、非洲和北美洲。2015年后中国镍相关企业纷纷在印度尼西亚投资建厂,到2022年,印度尼西亚取代韩国和日本,成为中国镍产业链下游产品主要进口国(表4)。出口国从2000年的98个国家和地区逐渐扩展到2022年的189个国家和地区,几乎涵盖了所有国家。同时,下游出口贸易市场逐渐分散,不再局限于少数头部国家,主要出口国也逐渐由发达国家转向发展中国家,且与“一带一路”共建国家的贸易日益密切。

3 影响因素分析

研究构建影响机制分析模型以进一步探究中国

镍产业链产品对外贸易的影响因素。由于中国镍产业链产品进出口贸易逐渐从“进口下游高附加值产品-出口中游低附加值产品”向“进口中上游低附加值产品-出口下游高附加值产品”转变,故将上游镍矿与中游产品结合分析,分为中上游产品和下游产品。依据产业链和被解释变量的差异分别构建4次面板数据进行层次回归,具体分为2000—2021年镍产业链中上游产品进口面板、2000—2021年镍产业链中上游产品出口面板、2000—2021年镍产业链下游产品进口面板和2000—2021年镍产业链下游产品出口面板。回归结果见表5。

目标国技术水平在中国镍中上游产品进口贸易方面产生了显著的正向作用,说明我国倾向于从技术水平较高的国家进口镍中上游产品。中上游产品不仅要满足国内市场的需求,还是保障产业链下游产品研发与制造稳定发展的重要原料,其质量至关重要。因此,从技术水平高的国家进口中上游产品

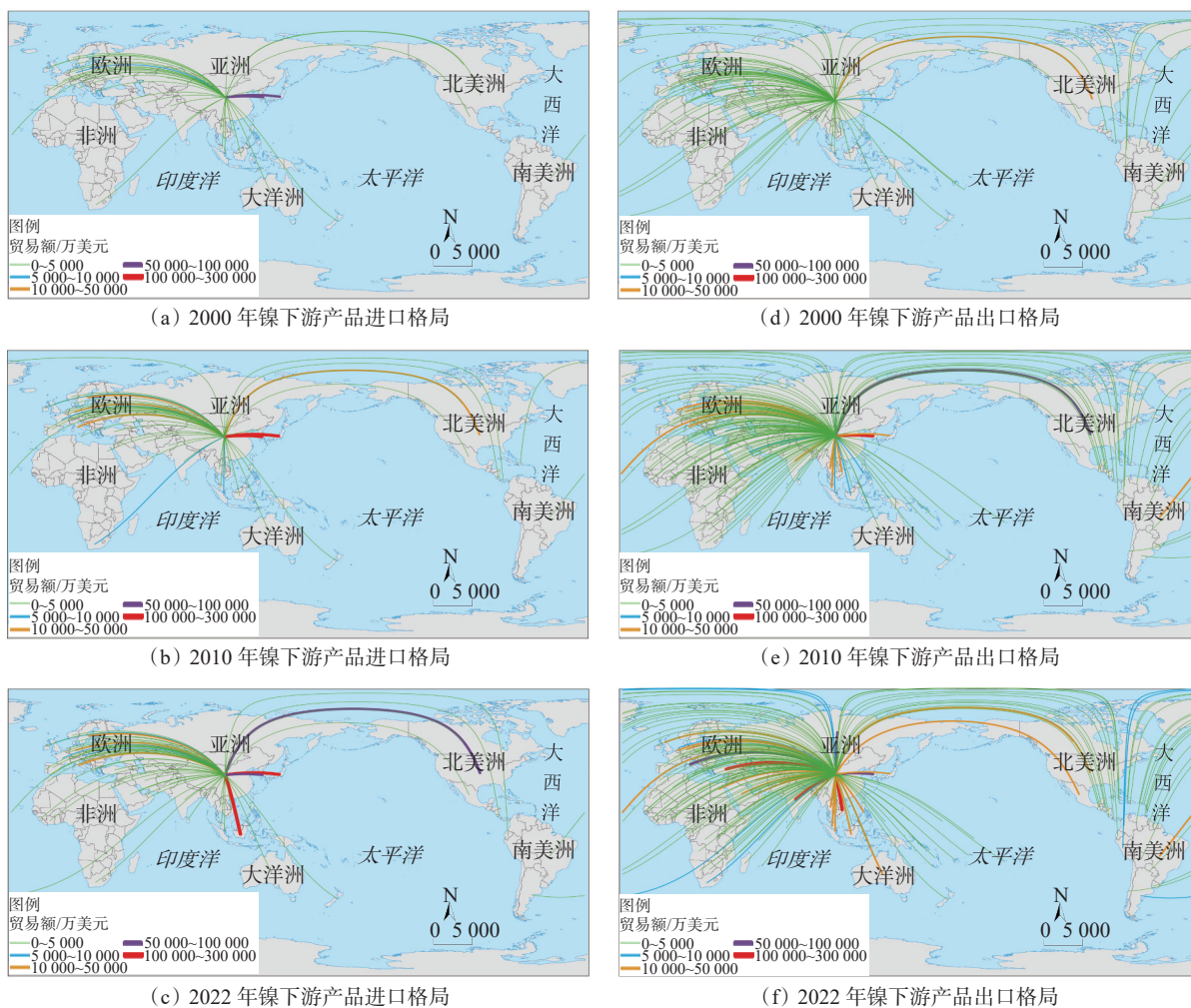


图7 镍产业链下游进出口格局演变

Fig. 7 Evolution of the downstream import and export patterns of the nickel industry chain

(注:基于自然资源部标准地图服务网站GS[2016]1665号标准地图制作,底图边界无修改)

表 4 镍产业链下游进出口前十国家占比

Table 4 Proportion of the top 10 countries in the downstream import and export of the nickel industry chain

单位: %

进口国家占比						出口国家占比					
国家	2000 年	国家	2010 年	国家	2022 年	国家	2000 年	国家	2010 年	国家	2022 年
日本	45.12	日本	45.47	印度尼西亚	65.60	美国	33.29	韩国	20.36	印度	20.42
韩国	34.40	韩国	33.10	日本	11.48	日本	18.90	美国	15.96	越南	8.16
德国	3.99	美国	4.41	美国	6.06	德国	13.21	印度	8.20	土耳其	7.46
芬兰	1.88	瑞典	2.53	韩国	5.64	英国	10.20	日本	7.71	韩国	7.12
瑞典	1.80	德国	2.51	德国	2.93	韩国	7.04	越南	4.95	俄罗斯	4.79
美国	1.76	意大利	2.38	瑞典	1.63	意大利	3.09	巴西	4.07	意大利	4.73
法国	1.37	法国	1.51	意大利	1.11	新加坡	2.74	马来西亚	3.53	巴基斯坦	3.31
泰国	1.26	芬兰	1.48	芬兰	0.98	菲律宾	2.05	意大利	3.13	美国	3.20
英国	1.10	新加坡	1.02	法国	0.85	荷兰	1.28	德国	2.85	泰国	3.19
印度尼西亚	0.95	南非	0.86	英国	0.69	马来西亚	1.11	荷兰	2.27	印度尼西亚	2.93
合计	93.65	合计	95.29	合计	96.96	合计	92.89	合计	73.04	合计	65.31

表 5 中国镍贸易影响机制的负二项回归结果

Table 5 Negative binomial regression results of China's nickel trade impact mechanism

指标解释	$NII_{c \rightarrow f}$		$NIE_{c \rightarrow f}$	
	中上游	下游	中上游	下游
PAT	0.831***	-0.029 3	0.199	0.018 9
	(-0.201)	(-0.18)	(-0.131)	(-0.057 5)
GDP	-0.598	1.415***	1.528***	1.247***
	(-0.317)	(-0.262)	(-0.185)	(-0.091)
TCG	-0.018 5***	-0.003 36	0.024 1***	0.012 3***
	(-0.003 26)	(-0.002 82)	(-0.002 97)	(-0.002 02)
TAR	-0.202**	0.001 56	0.052 4	-0.018 9
	(-0.062 3)	(-0.062 2)	(-0.039)	(-0.020 3)
ECI	-1.524***	1.257***	-0.277	-0.426**
	(-0.431)	(-0.336)	(-0.259)	(-0.14)
DCC	-0.104	-0.533	-1.254***	-0.548***
	(-0.464)	(-0.417)	(-0.264)	(-0.138)
RMB	0.322*	-0.350**	-0.065 5	0.307***
	(-0.137)	(-0.11)	(-0.105)	(-0.052 3)
FTA	-0.519	1.754**	0.645	0.755**
	(-0.606)	(-0.592)	(-0.408)	(-0.246)
CTS	0.731	0.764	-0.189	0.405*
	(-0.486)	(-0.436)	(-0.307)	(-0.179)
常数项	1.400***	1.230***	0.955***	0.456***
	(-0.083 3)	(-0.078 5)	(-0.080 5)	(-0.063)
样本数	185	224	238	381
Prob>chi2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
Log likelihood	-1 653.791 2	-1 751.280 5	-1 199.312 1	-2 911.328 1

注: 显著性水平***: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; 括号内为标准误差。

有利于保障我国镍产业链的平稳发展。

目标国经济规模对中国镍产业链中上游产品出口和下游产品进出口贸易都产生了显著的正向作用,即经济水平越高的国家与中国进行镍产品贸易的强

度越大。但在中上游产品进口方面,由于其产品特别是镍矿具有显著的资源禀赋属性,这一关联并不显著,与经济发展水平联系不大。

目标国对外开放程度与贸易管制对中上游产品进口产生了显著的负向作用,这说明我国镍产业链中上游产品的进口贸易在很大程度上受到贸易国对外开放程度的制约。而目标国对外开放程度在产业链整体出口方面都产生了显著的正向作用,这与对外开放程度高有利于国际贸易^[9]的结论相同,说明我国镍产品的出口倾向于友好的贸易环境,符合中国合作共赢的发展意愿。

经济结构邻近对中上游产品进口和下游产品出口都产生了显著的负向作用,对下游产品进口则有显著的正向作用,其原因是复杂多样的。在中上游进口方面,进口国主要是资源禀赋较强的东南亚国家,这些国家总体生产力水平较低,多出口附加值较低的中上游产品。在下游产品出口方面,由于中国不锈钢和电池产品品质优良,深受国际市场喜爱,多销往经济发达地区。而在下游产品进口方面,由于中国经济社会不断发展,更加重视产品的质量,因而多从生产力水平高的国家进口下游高质量产品。这也反映出中国镍产业链中上游产品进口国、下游产品出口国与中国经济产业结构差异较大,具有较强的互补性。

由于中国镍储量有限,地理距离对镍产业链产品贸易的影响只在出口方面显著为负,说明中国镍产品出口与距离越近的国家贸易额越高,反之亦然。由此可见,传统距离因素仍然高度影响着镍产品的出口贸易。

通过人民币汇率表征的对外贸易环境对中国镍产业链下游产品贸易产生了重要影响,在进口方面

显著为负,出口方面显著为正,与传统经济理论相反,这表明中国镍产业链下游产品的对外贸易与传统商品贸易显著不同。进口方面,人民币贬值是通过价格上升需求减量来影响进口贸易,但镍产品在中国城市化和工业发展中不可替代,其需求只增不减。同样的,出口方面看似矛盾,人民币升值使企业面对国际市场竞争压力减小,得以不断提高竞争力,在国际市场中获得更高的收益。这与中国镍产业链下游产品行业的优化相符。

贸易协定的签订在镍产业链下游产品的对外贸易中显著为正,说明中国镍产业链下游产品进出口贸易与签订了贸易协定的国家之间较为频繁。而是否为“一带一路”共建国家在镍产业链产品贸易上不显著,究其原因,一方面,中上游产品进出口受地理资源禀赋影响,下游产品主要是不锈钢和电池,2010年后中国企业逐渐开始在“一带一路”共建国家投资设厂,产品就地销售或出口;另一方面,因为合作倡议的作用往往具有滞后性,其对国家间经济贸易的作用逐步显现。如,从回归结果来看,“一带一路”合作倡议对镍产业链下游产品出口的正向推动作用逐渐明显。

4 结论与讨论

4.1 结论

矿产资源是战略性新兴产业的重要原材料,尤其是关键金属的供应直接决定了战略性新兴产业的发展步伐^[32]。当前,中国镍的供需矛盾突出,需要进口大量海外资源以满足国内需求,在保障能源安全和战略性新兴产业发展背景下,保障关键金属镍的供应链安全刻不容缓。鉴于此,本文基于2000—2022年中国镍进出口贸易数据、相关国家社会经济政治指标等,借助GIS空间技术,以及负二项面板回归等方法,探讨了中国镍产业链产品对外贸易的空间格局演化及主要影响因素。研究发现以下结论:

1)进出口结构上,中国镍产业链产品对外贸易额整体波动上升,进口额始终大于出口额,进口商品逐渐转向上游矿石资源,出口始终以下游高附加值产品为主,镍产业链不断优化升级。

2)商品结构上,镍产业链上游镍矿和中游镍铁、精炼镍逐步取代下游产品成为进口的主体构成,不锈钢产品是最大出口商品,遵循进口附加值较低的镍矿原材料→国内加工研发制造→出口较高附加值镍产品的商贸模式。

3)空间格局上,中国镍产业链中上游产品进口格局逐渐多元化,与世界国家的联系日渐密切。中游出口国数量远大于进口国,产品主要销往周边经

济发达国家;下游产品进口贸易高度集中于主要市场,且因为中国镍相关企业“走出去”,印度尼西亚取代韩国和日本成为中国镍产业链下游产品的主要进口国,而出口贸易的国际市场日益扩大,主要出口国逐渐由发达国家转向发展中国家,且与“一带一路”共建国家的贸易日益密切。

4)影响机制上,镍矿石的冶炼加工技术直接关系到后续产品的质量,目标国技术水平在中国镍中上游进口显著为正;目标国经济规模的影响主要在中下游,因为中上游产品特别是镍矿具有显著的资源禀赋属性,与经济发展水平关系不大;目标国对外开放程度影响我国中上游产品进口的安全性,而中国镍产品的出口环境友好,故而在产业链整体出口方面产生显著的正向作用;由于中国镍资源对外依赖度高,贸易管制在中上游产品进口方面的负向作用显著;经济邻近性对中上游进口、下游出口产生了显著的负向作用,对下游进口则是显著的正向作用,主要是由国家需求和生产力水平决定的;地理距离对镍产业链产品出口方面显著为负;人民币汇率变化不会对镍产品的需求产生太大影响,反而缓解了企业的出口压力;贸易协定的作用由于合作倡议作用的滞后性而不明显,但是,对镍产业链下游产品出口的正向推动作用逐渐明显。

4.2 讨论

全球格局与竞争现状呈现出复杂多变且充满挑战的态势,大国间的竞争加剧、地缘政治风险不断上升。新兴产业正在改变全球经济的生产方式,能源转型和新质生产力发展背景下^[33],关键金属镍在新时期应对这些挑战的作用愈发重要。镍产业链从上游资源的开采,到中游的冶炼技术,再到下游市场的多样化,每一个环节都对镍产业链的稳定和发展起到关键作用,制定合理的政策对于保障中国镍产业的健康稳定发展至关重要。以下是基于当前镍产业发展状况提出的几项政策建议。

1)加强国内外资源整合:政府应鼓励和支持企业“走出去”,通过海外并购、勘探等方式获取更多镍矿资源,增强在全球镍资源配置中的话语权。同时,加强与镍资源丰富国家的合作,建立稳定的镍矿进口供应链,降低因国际市场波动带来的风险。

2)推动技术创新和产业升级:技术进步是影响关键矿产可持续供应的重要因素^[34],加大对镍冶炼及加工技术的研发支持,提高生产效率和产品质量,减少能耗和环境影响。促进高附加值镍产品的开发,以应对市场需求变化并提升产业链价值。

3)优化下游应用领域政策环境:针对不锈钢生

产和新能源汽车电池制造等主要应用领域,出台相关政策支持其绿色发展和技术进步,拉动对高品质镍产品的需求。鼓励企业参与国际镍产品标准的制定,提升镍产品在国际市场上的竞争力。

4)实施有效的贸易管制与开放政策:在保障国内镍产业安全的同时,合理安排进出口政策,避免过度依赖单一进口源,以多元化进口渠道分散风险。适时适度放宽对镍产品出口的限制,特别是鼓励高附加值镍产品的出口,以促进国内外市场的平衡发展。

5)强化环保要求与可持续发展政策:加强对镍产业链各环节的环保监管,确保生产活动符合国家环保标准,减少对环境的负面影响。推动镍产业的绿色转型,鼓励采用更多可再生能源和循环经济模式,在实现可持续发展的同时,用高质环保的产品巩固国际市场。

尽管本文分析了中国镍产业链产品对外贸易格局演化,结合矿产资源安全巨系统理论和传统商品贸易理论从自然、经济和社会三个子系统切入探讨了中国镍产业链产品对外贸易格局演化的影响因素,但囿于数据限制,未能从企业视角分析镍产业链的发展情况。其次,本文选用贸易额来衡量的中国镍产业链产品贸易格局与用贸易量来衡量的存在一定差异,未来可以从贸易量入手进一步探究中国镍产业链的发展格局。最后,本文从中国视角出发,探究镍产业链产品的对外贸易,其在全球贸易网络中的作用还有待深入挖掘。

参考文献(References):

- [1] 李加林,沈满洪,马仁锋,等.海洋生态文明建设背景下的海洋资源经济与海洋战略[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(4): 829-849.
LI Jialin, SHEN Manhong, MA Renfeng, et al. Marine resource economy and strategy under the background of marine ecological civilization construction[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(4): 829-849.
- [2] HU S, HE S C, JIANG X T, et al. Forecast and suggestions on the demand of lithium, cobalt, nickel and manganese resources in China's new energy automobile industry[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 769(4): 042018.
- [3] 陈志勇,朱清,邹谢华,等.“双碳”背景下镍资源产业链发展趋势研究[J]. *中国矿业*, 2024, 33(10): 54-63.
CHEN Zhiyong, ZHU Qing, ZOU Xiehua, et al. Research on the development trend of nickel resource industry chain under the background of “dual carbon” [J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(10): 54-63.
- [4] 崔祖霞.我国战略性矿产资源保供形势分析与思考[J]. *中国矿业*, 2023, 32(7): 10-14.
CUI Zuxia. Analysis and reflection on the situation of strategic mineral resources conservation in China[J]. *China Mining Magazine*, 2023, 32(7): 10-14.
- [5] 樊铭静,肖克炎,徐旻.全球关键矿产资源潜力评价理论方法的发展趋势与进展[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(1): 1-17.
FAN Mingjing, XIAO Keyan, XU Yang. Development trend and progress of theories and methods for potential evaluation of global critical mineral resources[J]. *Science Technology and Engineering*, 2022, 22(1): 1-17.
- [6] 兰振宇,谢国林,刘泽群.战略性矿产资源安全评价方法研究分析[J]. *中国矿业*, 2024, 33(S1): 16-20.
LAN Zhenyu, XIE Guolin, LIU Zequn. Analysis of safety assessment and supply risk of strategic mineral resources[J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(S1): 16-20.
- [7] 朱锋.全球地缘政治格局与态势[J]. *人民论坛*, 2023(24): 12-16.
ZHU Feng. Global geopolitical landscape and situation[J]. *People's Tribune*, 2023(24): 12-16.
- [8] 齐皓,王侯嘉遇,宰英祺.美国施压下的中美贸易战特征:与入世谈判的对比研究清华大学国际关系研究院中外关系定量预测组[J]. *国际政治科学*, 2019, 4(3): 155-161.
QI Hao, WANG Houjiayu, ZAI Yingqi. Characteristics of the Sino-US trade war under United States pressure: a comparative study with WTO accession negotiations, and the Quantitative Forecasting Group of Sino-Foreign Relations, Institute of International Relations, Tsinghua University[J]. *Quarterly Journal of International Politics*, 2019, 4(3): 155-161.
- [9] 蔡翠红.全球科技发展:迭代加速与地缘政治化[J]. *人民论坛*, 2023(24): 24-29.
CAI Cuihong. Global technological development: iterative acceleration and geopoliticization[J]. *People's Tribune*, 2023(24): 24-29.
- [10] 刘江山.关键矿产资源供应链安全问题对策研究[J]. *中国矿业*, 2024, 33(S1): 21-24, 35.
LIU Jiangshan. Study on countermeasures for ensuring the security of the supply chain of key mineral resources[J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(S1): 21-24, 35.
- [11] DAW G. Security of mineral resources: a new framework for quantitative assessment of criticality[J]. *Resources Policy*, 2017, 53(3): 173-189.
- [12] 王昶,秦雅,邵留国,等.基于系统动力学的清洁能源技术关键伴生金属可供性研究:以镓为例[J]. *系统工程*, 2018, 36(5): 116-127.
WANG Chang, QIN Ya, SHAO Liuguo, et al. Key associated materials availability in clean energy technologies based on system dynamics: the case study of gallium[J]. *Systems Engineering*, 2018, 36(5): 116-127.
- [13] CIOTOLA A, FUSS M, COLOMBO S, et al. The potential supply risk of vanadium for the renewable energy transition in Germany[J]. *Journal of Energy Storage*, 2021, 33(1): 102094.
- [14] 范松梅,沙景华,闫晶晶,等.中国铁矿石资源供应风险评价与治理研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(3): 507-515.

- FAN Songmei, SHA Jinghua, YAN Jingjing, et al. Risk assessment and management of iron ore resource supply in China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 507-515.
- [15] LI S, YAN J, PEI Q, et al. Risk identification and evaluation of the long-term supply of manganese mines in China based on the VW-BGR method[J]. *Sustainability*, 2019, 11(9): 1-23.
- [16] PIÇARRA A, ANNESLEY I R, OTSUKI A, et al. Market assessment of cobalt: identification and evaluation of supply risk patterns[J]. *Resources Policy*, 2021(73): 102206.
- [17] 刘全文, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国铬资源供应风险评价与对策研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(3): 516-525.
- LIU Quanwen, SHA Jinghua, YAN Jingjing, et al. Risk assessment and countermeasures of chromium resource supply in China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 516-525.
- [18] CHEN W, JIANG Y F, LIU Z G. Unveiling structural differentiation in the global nickel trade network: a product chain perspective[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2024, 34(4): 763-778.
- [19] 王珂, 夏启繁. 产业链视角下中国关键金属镍贸易格局演化[J]. *世界地理研究*, 2024, 33(3): 40-55.
- WANG Ke, XIA Qifan. Evolution of China's critical metal nickel trade pattern from the perspective of industry chain[J]. *World Regional Studies*, 2024, 33(3): 40-55.
- [20] 王雅楠, 邵鹏. 基于复杂网络的全球镍贸易网络结构及演化趋势[J]. *现代计算机*, 2021, 27(24): 38-41.
- WANG Yanan, SHAO Peng. Structure and evolution trend of global nickel trade network based on complex network[J]. *Modern Computer*, 2021, 27(24): 38-41.
- [21] 王星星, 钟维琼, 朱德朋. 全球镍矿贸易网络的供应风险传播研究[J]. *地球学报*, 2023, 44(2): 361-368.
- WANG Xingxing, ZHONG Weiqiong, ZHU Depeng. Research on the supply risk propagation of the global nickel ore trade network[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2023, 44(2): 361-368.
- [22] 乔方刚, 刘雪勇. 基于复杂网络的国际镍矿石贸易演变规律研究[J]. *资源与产业*, 2016, 18(6): 92-97.
- QIAO Fanggang, LIU Xueyong. Study on international nickel ores trade evolution rule based on complex network[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(6): 92-97.
- [23] 余良晖. 国内外镍资源供需格局分析[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(1): 155-162.
- YU Lianghui. Supply and demand pattern analysis of nickel resources at home and abroad[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2019, 39(1): 155-162.
- [24] 邵鹏, 王雅楠. 镍及其制品贸易格局演变及中国贸易网络分析[J]. *中国矿业*, 2022, 31(3): 1-9.
- SHAO Peng, WANG Yanan. Evolution of nickel and articles thereof trade pattern and analysis of China's trade network[J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(3): 1-9.
- [25] 吴琪, 陈从喜, 葛振华, 等. 关于保障我国镍矿资源供应安全的思考[J]. *中国矿业*, 2020, 29(9): 35-38.
- WU Qi, CHEN Congxi, GE Zhenhua, et al. Perspective on the security of nickel resources supply in China[J]. *China Mining Magazine*, 2020, 29(9): 35-38.
- [26] 陈其慎, 张艳飞, 邢佳韵, 等. 矿产资源安全巨系统理论方法与实践[J]. *中国工程科学*, 2023, 25(6): 191-201.
- CHEN Qishen, ZHANG Yanfei, XING Jiayun, et al. Theoretical method and practice of giant system for mineral resource security[J]. *Strategic Study of CAE*, 2023, 25(6): 191-201.
- [27] 夏启繁, 杜德斌, 段德忠, 等. 中国稀土对外贸易格局演化及影响因素[J]. *地理学报*, 2022, 77(4): 976-995.
- XIA Qifan, DU Debin, DUAN Dezhong, et al. Evolution and influencing factors of China's foreign trade in rare earth metals[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(4): 976-995.
- [28] 熊琛然, 王礼茂, 屈秋实, 等. 地缘政治风险研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(4): 695-706.
- XIONG Chenran, WANG Limao, QU Qiushi, et al. Progress and prospect of geopolitical risk research[J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(4): 695-706.
- [29] 马琼, 郑海军. 论我国能源金属资源特性与新能源汽车的可持续发展[J]. *上海汽车*, 2022(4): 1-3.
- MA Qiong, ZHENG Haijun. On the characteristics of energy metal resources and the sustainable development of new energy vehicles in China[J]. *Shanghai Auto*, 2022(4): 1-3.
- [30] 崔守军, 李竺畔. 关键矿产“权力三角”: 基于全球镍产业链的考察[J]. *拉丁美洲研究*, 2023, 45(5): 96-118, 161.
- CUI Shoujun, LI Zhupan. The “power triangle” of critical minerals: based on the global nickel industry chain[J]. *Journal of Latin American Studies*, 2023, 45(5): 96-118, 161.
- [31] 段德忠, 杜德斌, 湛颖, 等. 中国城市创新网络的时空复杂性及生长机制研究[J]. *地理科学*, 2018, 38(11): 1759-1768.
- DUAN Dezhong, DU Debin, CHEN Ying, et al. Spatial-temporal complexity and growth mechanism of city innovation network in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1759-1768.
- [32] 孙涵, 王箫箫, 孟正豪. 战略性新兴产业关键金属供给安全吗?[J]. *地球科学*, 2022, 47(10): 3889-3890.
- SUN Han, WANG Xiaoxue, MENG Zhenghao. Is the supply of critical metals in strategic emerging industries safe?[J]. *Earth Science*, 2022, 47(10): 3889-3890.
- [33] 党牛, 林景曜, 王强, 等. 青藏高原地区能源碳排放时空格局及驱动因素[J]. *生态学报*, 2024, 44(18): 8033-8046.
- DANG Niu, LIN Jingyao, WANG Qiang, et al. Spatio-temporal patterns and driving factors of energy CO₂ emission in the Qinghai-Tibet Region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(18): 8033-8046.
- [34] 孙涵, 孟正豪, 成金华. 技术进步对关键矿产供应影响的实证研究: 以镍为例[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2023, 57(1): 13-23.
- SUN Han, MENG Zhenghao, CHENG Jinhua. Empirical study on the impact of technological progress on the supply of key minerals: taking nickel as a case[J]. *Journal of HuaZhong Normal University(Natural Sciences)*, 2023, 57(1): 13-23.