

本文发表在《价格理论与实践》2019年第8期。

## 北极能源开发与能源转型研究

魏蔚 陈文晖

### 摘要：

目前北极的能源开发逐步引起全球的关注。文献显示国际上对北极能源开发主要关注于能源的转型，中国对北极的研究则主要集中在如何开发北极能源方面。由于北极地区蕴藏着巨大的天然气、稀土、可再生能源及氢能源等开发潜力，这些资源能源的开发对全球能源的转型将具有重要的作用。同时，北极能源开发也面临着成本高、环保严和地缘政治复杂等问题。我国应制定全面的北极开发战略、加强与相关国家在北极的合作，重视北极能源公平问题、参加北极航道建设，推动我国能源顺利转型。

**关键词：** 北极、能源开发、可再生能源

近些年，随着全球气候变暖，北极冰雪融化和科学技术进步，促使北极的发展已从“科学探索”阶段逐步转向“商业开发”阶段。北极在国际事务中的重要性日益突出。特别是北极储量丰富的石油、天然气以及其他各种矿产资源，成为全球能源角逐的重点之一。

### 一、相关研究文献述评

国外对北极能源的研究不断深化。国外文献的研究主要集中在对能源价值的

测算、北极能源开发对环境的影响和对当地原住民造成的能源公平问题以及北极能源转型等方面。

Matthew J. Kotchena 等（2007）测算了美国阿拉斯加北极国家野生动物保护区的石油开发价值。结果显示，经济可采石油 70.6 亿桶，约 3740 亿美元（2005 年美元），其中开采和投放市场成本是 1230 亿美元，租金成本 900 亿美元，州和联邦税收分别为 370 亿美元和 1240 亿美元。但这也会带来一定的环境成本，当地居民愿意接受赔偿而允许钻井开工的价值平均为 1141 美元。John Byrne（2004）对美国太阳能光伏发电和北极能源开发潜力进行了比较，认为价格、技术、应用和市场是关键因素，应该从长期的角度对北极能源开发进行研究。太阳能光伏发电为美国提供能源服务的现实潜力是开发阿拉斯加石油的 8 至 15 倍，但美国北极地区石油的开发受到政策的高度影响。Roman Sidortsov（2016）认为，北极能源的研究应该具有更广泛和更具包容性的观点。在对北极的石油和天然气开发的社会、经济、政治和环境方面进行研究的同时，更应该重视对低碳时代北极能源的研究，北极可再生能源及渔业资源对世界来讲可能比化石燃料更重要。Darren McCauley 等（2016）认为，虽然全球升温和融化冰可能有助于开发北极的石油和天然气资源，使这些资源更易于接触和利用，但气候变化也对北极石油和天然气的发展提出了一系列挑战。北极地区能源基础设施包括石油和天然气钻机、可再生能源发电场、航运等，给地方、区域和国际社会带来了能源公正问题。提出北极的能源问题需要以基于利益攸关者为中心的能源政策和公正为基础，确保北极能源开发将人及其家园放在首要位置。Hans-Kristian Ringkjøb（2020）认为，北极偏远地区的能源系统通常以依赖进口化石燃料为特点，长期能量模型分析表明，向可再生能源系统过渡是可行的。建议在规划偏远北极社区未来发展时，要以可再生能源为基础，在北极地区利用风能和太阳能的潜力很大。同时，允许有限使用化石燃料，可以显著地降低系统成本、增加系统可靠性，总体仍可减少温室气体排放。

中国不是北极国家，国内对中国参与北极能源开发的研究则主要集中在参与北极开发的法律依据及战略对策等方面。唐尧，夏立平（2017）认为，《联合国海洋法公约》等国际法律制度为中国参与北极事务提供了国际法依据，特别是其争端解决机制已成为缔约国权利诉求的法律工具。中国应该加强与北极相关

国家和国际组织的双多边合作、加强对国际司法判例的研究，积极参与北极油气资源治理与开发。MA Xinmin (2019) 则从国际法的角度分析了中国第一份《北极政策白皮书》，全面阐述中国对北极法律地位和框架的认识、政策目标、基本原则、政策立场和参与北极事务的实践。中国的北极政策一是基于国际法，二是追求共同利益，体现了中国对维护国家共同利益和整个国际社会利益的承诺。中国在北极寻求合法利益的同时，追求的不仅是与其他国家的互利互惠，也是人类海洋政策的双赢成果。

朱明亚等 (2015) 认为，随着北极能源价值和战略价值的逐渐显现，该地区正日益获得国际社会的关注。未来北极油气资源开发前景广阔，转化为世界主要油源的可能性加大，这将深刻影响世界能源格局。为了维护能源安全，实现能源进口多样化，中国必须积极参与北极油气资源开发。通过制定以能源为核心的北极战略，加强与北极理事会各成员国的能源合作，共同开发北极能源，为中国未来的北极活动奠定基础。肖洋 (2016) 研究认为，北极气候变暖推动了北极能源开发，为中国能源进口多元化战略提供了保障。东北航道有望成为北极能源向欧亚运输的新通道。同步推进北极航道与北极能源开发，尽快建成“北极能源走廊”是俄罗斯北极战略的核心支柱。亚马尔液化天然气项目是俄罗斯最大的北极能源开发项目，也是“北极能源走廊”的支撑点。建议以北极能源、航运开发为基础，以中俄两国战略协作伙伴关系为保障，推动北极——东北亚能源物流一体化。孙凯，张佳佳 (2017) 认为，受气候变暖的影响，北极地区的经济潜力日益显现。能源、航运、渔业、旅游等企业纷纷在北极地区投资布局，但由于北极地区特殊的自然环境，企业在开发北极的过程中也呈现出了诸多问题。中国企业在参与北极事务的进程中，除了追求经济利益之外，还应加强公共外交功能，注重社会责任，进而提升中国的企业形象和中国北极事务中的话语权。崔白露，王义桅 (2018) 认为中国发布的《中国的北极政策》白皮书标志着中国北极政策的确立，是中国把握了世界发展变化、顺应中国发展形势和回应国际社会呼吁的需要。北极是“一带一路”在地理上的自然延伸，北极国际合作是拓宽“一带一路”的重要一环。未来北极国际合作的条件在于国家共同利益的形成，北极国际合作平台的构建，以及对责任和共同理念的认同。在“一带一路”框架下，中国需通过加强与北极国家以及北极利益攸关方政策对接、促进“一带一路”框架下北极沿线设施联通

与资金融通、推动北极经济领域合作和贸易畅通、促进北极文化科技交流和民心相通、提供“一带一路”北极合作新平台、改善北极治理机制等方式，为实现北极国际合作提供新的模式。

从这些研究可以看出，国外对北极能源的开发更关注环境保护及对原住民的影响，国内研究则更关注中国参与北极治理面临的法律环境和具体战略。相比于国外研究对能源转型和环境保护的关注，国内对于北极地区可再生能源发展以及油气开发对国内能源转型的研究较少，本文拟从这一角度进行分析。

## 二、北极能源开发现状及潜力

北极地区拥有丰富的能源资源，从全球能源转型的角度看，主要集中在天然气、稀土、可再生能源和氢能几个方面。

1. 天然气：目前北极地区主要开发的是石油和天然气。美国地质调查局的数据显示，北极圈内已探明并可开发的石油、天然气、天然气液储量分别为 900 亿桶、1669 万亿立方米和 440 亿桶，其中石油约占世界已探明储量的 13%、天然气占 30%、天然气液占 20%，84%的油气资源分布在近海区（EIA, 2008）。北极地区最早发现的大型油田是 1962 年在俄罗斯发现的储量在 5 亿吨油当量的塔兹湾油气田和 1967 年在美国阿拉斯加发现的普鲁德霍湾油田。尽管全球各大石油公司都在北极布局，但由于成本较高，在很长一段时间在低油价情况下无法盈利，许多跨国石油公司退出了北极的油气开发。但随着挪威 Johan Castberg 海上石油和阿拉斯加 Pikka Unit 陆上石油在油价 35 美元/桶的情况下就能盈利项目的出现，以及亚马尔液化天然气和阿拉斯加液化天然气出口项目的启动，使北极的油气开发开始变得并不遥远，也不昂贵。

亚马尔天然气项目采储量达到 1.3 万亿立方米，凝析油可采储量 6000 万吨。第一条生产线已于 2017 年 12 月投产，未来将建成 3 条年产量 550 万吨的液化天然气生产线。此外，俄罗斯诺瓦泰克公司主导开发的北极 LNG2 液化天然气项目，年产液化天然气 1980 万吨，LNG3 液化天然气项目也在运作中，天然气可开发达到 3200 亿立方米。这些液化天然气主要通过北方航道出口亚洲地区。美国阿拉斯加州年产 1500 万—1800 万吨液化天然气出口项目也在积极推进，用于出口。

2. 稀土：通常认为稀土是战略资源，但实际上稀土也是低碳技术应用的主要

参与者，用于可再生能源领域。北极有着丰富的稀土资源。目前测算北极地区的稀土氧化物资源大约 1.27 亿吨，是除中国以外稀土储量较多的地区。俄罗斯北极地区稀土储量 7226 万吨，列全球第二，格陵兰岛和加拿大北极地区的稀土储量分别为 4169 万吨和 1413 万吨，列全球第 5 和第六位，此外，瑞典拉普兰的稀土储量也进入全球前十位（Mikaa MERED, 2019）。可再生能源领域的太阳能电池板、直驱式风力涡轮机和电动汽车要提高利用效率，就会用到稀土磁体这一关键材料。尽管目前永磁材料的生产成本较高，但优势在于其后期维护成本较低。荷兰的研究显示，如果全球要达到《巴黎协定》所要求的温室气体排放目标，那么到 2050 年稀土材料的需求量还要增加 12 倍，稀土元素的供应会出现相当大的缺口。如果加上电动汽车上的应用，稀土金属需求量将进一步增加（Pieter Van Exter, etal. 2018）。为了满足不断增长的稀土需求，俄罗斯和加拿大已经计划 2023 年开始其北极稀土的开发和生产，格陵兰岛计划 2021 年开始开发，格陵兰岛、澳大利亚、中国（盛和资源）、美国和越南都参与其中。挪威石油公司理事会也对开发稀土非常感兴趣，准备在挪威海的扬马延海岭、中挪威海、叶尔马克深海高原等地进行镧等矿物的开发。

3. 可再生能源：北极具有丰富的水电、风电、太阳能光伏发电以及地热能等可再生资源，可供电力、取暖及交通的使用。北极目前开发的主要是水电，分布在北极的各个地区，装机容量达到 80 吉瓦，是可再生电力的主要来源。北极地区风电资源尤其丰富，开发潜力巨大。中国国家电网公司发布的《北极风电资源及开发研究》报告显示，白令海、楚科奇海、巴伦支海、格陵兰岛、喀拉海最具开发潜力。环北极地区六国处于沿海或位于北冰洋，常年风速较高，年理论发电量、年技术可开发量分别占全球风能资源的 18.5% 和 17.2%。北极地区风电技术可开发容量为  $110.6 \times 10^8$  千瓦，其中陆地  $73.1 \times 10^8$  千瓦，海域  $37.5 \times 10^8$  千瓦。如果去除格陵兰岛冰盖厚度超过 10 米的面积，可开发装机容量为  $88.9 \times 10^8$  千瓦，其中陆地  $51.4 \times 10^8$  千瓦，海域也具有同等规模的开发潜力。

北极国家也十分注重在北极地区对可再生能源的开发利用。美国、瑞典、挪威、加拿大、冰岛等都开展了针对北极地区偏远社区在可再生能源利用的研究和

实践，推广分布式可再生能源系统、离网微电网、储能等技术的应用，吸引可再生能源投资，促进北极地区能源系统向可再生能源转型，减少温室气体排放。

4. 氢能：氢能是理想的绿色能源，目前正处于技术探索开发阶段，其中无碳排放生产氢能，是氢能利用的关键。与可再生能源发电相比，氢能的优势在于能够储藏和运输。日本、德国、美国、英国、法国等发达国家先后发布了氢能发展战略及目标，意在推动氢能产业的快速发展。北极在氢能利用方面的最大优势，就是利用北极丰富的未开发的可再生能源生产绿色氢能，并通过液化、氨化等技术手段，把北极的氢能源运输到世界各地，增加全球氢能的供给。

冰岛和挪威正在考虑利用过剩水电及其具有巨大开发潜力风能、地热能等可再生能源生产绿色氢能，为全球输送绿色氢能。2017 年日本与挪威共同实施了利用水力发电生产氢能的示范合作项目，预计年制氢约 22.5--300 万吨。其最终目标是在挪威使用风力发电生产氢能，通过油轮将液化氢输送到日本，为日本向氢能社会转型提供绿色氢能。同时挪威也在和壳牌及瑞士的能源公司合作，启动了利用碳捕捉和存储技术从天然气的副产品中制氢的前期调研。一旦这些示范项目获得成功，将会快速推动全球的能源转型和氢能产业的发展。

需要强调的是，北极地区的天然气及天然气液储量极为丰富，无论是天然气还是稀土、可再生能源和氢能，北极这些能源资源的可持续开发和利用，都对未来全球能源的清洁化转型具有重要的意义，将会在能源转型中发挥关键作用。

### 三、北极能源开发需应对的风险

北极特殊的自然环境，使各种能源的开发面临着巨大的挑战。

#### 1. 北极油气资源开发成本高难度大

北极油气田的最终开发，取决于能否赢利。目前北极地区还有 15 个 1970 年代和 1980 年代发现的大型油气田在等待开发，主要原因是开发成本太高。天然气由于相对于石油的市场价值偏低，开发的难度更大。成本高的主要原因一是设备需要专门设计，以抵御寒冷的温度，恶劣的土壤条件需要额外的场地准备，以防止设备和结构下沉；二是从世界制造中心到北极的距离遥远，长供应线需要设备冗余和更大的备件库存，以确保可靠性，破冰船的使用也增加了成本；三是员工的对工资和薪水的要求更高。由于开发涉及技术和环境的复杂性，许多项目延迟和成本超支的风险也很高。

## 2. 北极能源开发对环境要求极严

北极环境的自我修复及调节能力极弱，北极国家都制定了严格的环境法律法规，减少能源开发的影响。环境问题涉及保护北极特有的动植物物种，特别是苔原植被、驯鹿、北极熊、海豹、鲸鱼和其他北极海洋生物。一旦出现油气泄漏，不但清理成本极其昂贵，还会对这些动植物造成毁灭性的打击，影响难以挽回。北极的航运业由于排放温室气体，也会对自然环境和生态系统造成影响。目前，芬兰、俄罗斯等北极国家已经开发出了以天然气或核能为动力的大型运输船和破冰船，意在减少对北极生态系统的影响。即便如此，北极地区的资源开发也一直面临着环境组织和原住民的反对，抗议活动持续不断。

## 3. 北极地区的地缘政治风险犹存

一是美国和俄罗斯非常重视在北极的利益。俄罗斯在北极部署军事基地，宣称北极航道的主权，美国予以密切关注。美国海军上将，欧洲/非洲和北约联合部队司令部指挥官詹姆斯·G·福戈在采访中表示，如果俄罗斯试图执行超出海洋法允许的范围，它可能为整个国际社会树立一个危险的先例。美国也在讨论推进北极战略的必要性，同时也加强了重型破冰船的研发。未来俄美在北极的对抗会不断持续，地缘政治风险逐步增大。二是北极国家之间领土争端会影响北极能源开发的正常进行，丹麦、加拿大、挪威、俄罗斯和美国等北极国家在北极水域边界争端一直存在，长期无法得到解决。三是在航道利用上，俄罗斯和加拿大宣称对北极东北航道和西北航道的主权，并通过各种法规对航道实行单方面控制，收取高昂的破冰和领航服务费和通行费，严重影响了北极航道的正常运转。四是北极国家对北极的治理模式一直具有“排他性”的思维，对北极治理的全球化模式有抵触，北极域外国家与北极国家在参与北极治理开发以及权益分配等方面的博弈将会持续较长时间。

# 四、对中国的启示

## 1. 亟需制定全面的北极能源开发战略

中国是近北极国家，也是北极理事会永久观察员国，北极的开发不能缺席。2018年1月发布的《中国的北极政策》白皮书表明，为了实现中国的北极政策目标，中国本着“尊重、合作、共赢、可持续”的基本原则参与北极科学考察和研究、与各方共建“冰上丝绸之路”、北极油气和矿产等非生物资源开发等事务。

北极的能源开发得到越来越多的关注，中国应及早制定全面的北极能源开发战略，从法律法规的完善、技术创新、国际合作、港口建设等多领域全方位确立北极开发战略。打通我国“冰上丝绸之路”的能源通道，保障我国能源安全，促进能源转型。

## 2. 加强与其他国家在北极的开发合作

与北极理事会成员国在能源相关领域的开发合作，对实现中国的北极利益非常重要。北极天然气开发，俄罗斯是关键。俄罗斯拥有北极最多的天然气储量，还经营着连接东北亚的北方海航道，对运输北极能源具有迫切的战略需要。乌克兰危机以后俄罗斯遭受美欧的经济制裁，天然气贸易的重心逐步转向亚太市场。同时，经济制裁也造成了俄罗斯在能源领域的资金和技术严重缺乏，这些都为中国加强与俄罗斯的天然气开发合作提供了难得的契机。中国在破冰船、抗冰油轮和搜救装备等技术装备领域需要和芬兰、挪威、俄罗斯等加强合作，提高技术能力。推动同日本、韩国在北极的合作，在科学研究和探索商业等方面分享相关政策、实践和经验。

## 3. 重视北极能源公平问题

北极地区非常注重能源公平问题，即在保护环境的前提下使原住民和当地社区能够获得安全、负担得起和可持续的能源。中国在北极的能源开发，需要更加北极对当地原住民的历史文化传统、人文地理信息、经济区划、北极经济开发对当地原住民的影响等问题的研究。在进行政府外交的同时，也需要重视对北极原住民社区的研究与交流，密切关注当地原住民的利益和需求，履行企业的社会责任，以利于在国际上树立良好的国家形象，在北极的开发中取得成功。

## 4. 参加北极航线建设

北极航线作为能源海洋运输的新通道，在距离、成本和安全性上更具优势，有望成为联系北欧、东北亚以及北美洲的黄金水道，也是我国“冰上丝绸之路”的关键通道。但目前尚未有明确的国际协调机制和原则，中国可充分利用北极理事会正式观察员国的身份，尽早介入北极理事会关于能源和航道开发国际机制的构建。积极参与北极航道基础设施建设，开展北极航道研究，依法开展商业试航，稳步推进北极航道的商业化利用和常态化运行。



## 主要参考文献:

1. Darren McCauley et al. Energy justice in the Arctic: Implications for energy infrastructural development in the Arctic. *Energy Research & Social Science* 2016 (16).
2. EIA, Arctic oil and nature gas resources, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=4650>
3. Hans-Kristian Ringkjøb, et al., Transitioning remote Arctic settlements to renewable energy systems—A modelling study of Longyearbyen, Svalbard. *Applied Energy* 2020(258).
4. Matthew J. Kotchena, Nicholas E. Burger, Should we drill in the Arctic National Wildlife Refuge? An economic perspective. *Energy Policy* 2007 (35) 4720 - 4729.
5. MA Xinmin, China's Arctic policy on the basis of international law: Identification, goals, principles and positions, *Marine Policy* 2019 (100) 265 - 276
6. Mikaa MERED, The Arctic: Critical Metals, Hydrogen and Wind power for the Energy Transition, IFRI Working Paper, 23 JANUARY 2019. [https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/mered\\_arctic\\_metals\\_2019.pdf](https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/mered_arctic_metals_2019.pdf).
7. John Byrne, The potential of solar electric power for meeting future US energy needs: a comparison of projections of solar electric energy generation and Arctic National Wildlife Refuge oil production *Energy Policy* 2004 (32) 289 - 297
8. Pieter van Exter, et al., METAL DEMAND FOR RENEWABLE ELECTRICITY GENERATION IN THE NETHERLANDS Navigating a complex supply chain, <https://www.metabolic.nl/publications/metal-demand-for-renewable-electricity-generation-in-the-netherlands/>.
9. Philip Budzik, Arctic Oil and Natural Gas Potential [https://www.eia.gov/analysis/studies/archive/2009/arctic/pdf/arctic\\_oil.pdf](https://www.eia.gov/analysis/studies/archive/2009/arctic/pdf/arctic_oil.pdf).
10. Roman Sidortsov, A perfect moment during imperfect times: Arctic energy research in a low-carbon era. *Energy Research & Social Science* 2016(16).
11. 白振瑞等, 北极地区油气资源潜力和勘探开发动向[J]. 当代石油石化, 2011(9)
12. 崔白露, 王义桅, “一带一路”框架下的北极国际合作: 逻辑与模式[J]. 同济大学学报(社会科学版) 2018(2).
13. 孙凯, 张佳佳, 北极“开发时代”的企业参与及对中国的启示[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版) 2017(2).
14. 唐尧, 夏立平, 中国参与北极油气资源治理与开发的国际法依据[J]. 国际展望, 2017(6).
15. 肖洋, 中俄共建“北极能源走廊”: 战略支点与推进理路[J]. 东北亚论坛, 2016(5).
16. 朱明亚, 平瑛, 贺书锋, 北极油气资源开发对世界能源格局和中国的潜在影响[J]. 海洋开发与管理 2015(4).

**声明:** 本报告非成熟稿件, 仅供内部讨论。报告版权为中国社会科学院世界经济与政治研究所世界能源研究室所有。未经许可, 不得以任何形式翻版、复制、上网和刊登。本报告仅代表研究人员的个人看法, 不代表作者所在单位的观点。