

分类号：

单位代码：10140

密 级：公开

学 号：4032030414

遼寧大學

硕 士 学 位 论 文

中文题目： “双碳”目标下东北亚能源转型研究

Research on Energy Transition in Northeast Asia

英文题目： Under the Dual Carbon Target

论文作者： 胡心怡

指导教师： 李淑云 教授

专 业： 国际关系

完成时间： 二〇二三年三月

申请辽宁大学硕士学位论文

“双碳”目标下东北亚能源转型研究

Research on Energy Transition in Northeast Asia
Under the Dual Carbon Target

作者： 胡心怡

指导教师： 李淑云 教授

专业： 国际关系

答辩日期： 2023年5月12日

二〇二三年五月·中国辽宁

目 录

绪论.....	1
0.1 选题背景和选题意义.....	1
0.1.1 选题背景.....	1
0.1.2 选题意义.....	2
0.2 研究现状.....	3
0.2.1 国内研究现状.....	3
0.2.2 国外研究现状.....	5
0.3 研究方法.....	8
0.4 创新点与难点.....	8
0.4.1 创新点.....	8
0.4.2 难点.....	8
1 “双碳”目标对能源转型的新要求.....	9
1.1 构建绿色能源转型体系.....	9
1.1.1 健全绿色社会生产体系.....	9
1.1.2 完善能源转型监管机制.....	10
1.1.3 推广绿色低碳生活方式.....	10
1.2 减少温室气体排放.....	11
1.2.1 减少化石能源消费比例.....	11
1.2.2 大力推进清洁能源发电.....	11
1.2.3 碳元素的回收与再利用的发展.....	12
1.3 能源转型技术创新.....	12
1.3.1 灵活运用清洁煤利用技术.....	12
1.3.2 广泛应用风能、太阳能技术.....	13
1.3.3 加快发展碳捕获、利用与封存技术.....	13
1.3.4 其他清洁能源与氢能的开发.....	14
1.4 深化国际合作与机制构建.....	14
1.4.1 加强国际责任与使命感.....	15
1.4.2 明确能源转型优先事项.....	15
1.4.3 政府加深对能源转型的支持.....	16
2 “双碳”目标下东北亚能源转型面临的新挑战.....	17
2.1 对化石能源的依赖.....	18
2.1.1 以化石能源为主的发电结构.....	18
2.1.2 工业对化石燃料的依赖.....	19
2.2 清洁能源技术的局限性.....	20

2.2.1	风光技术对环境的依赖.....	20
2.2.2	其他清洁能源发展低速.....	22
2.2.3	碳捕获、利用与封存与氢能技术推进缓慢.....	23
2.3	能源转型政策法规有待完善.....	24
2.3.1	能源安全政策还需更新.....	24
2.3.2	清洁能源立法有待健全.....	26
2.4	能源合作不稳定.....	27
2.4.1	能源合作模式单一.....	27
2.4.2	缺少有效的多边能源合作机制.....	28
3	东北亚能源转型路径.....	28
3.1	推动能源供应结构改革.....	28
3.1.1	减少对化石能源的依赖.....	29
3.1.2	提高清洁能源发电占比.....	29
3.1.3	推进低碳产业结构建设.....	30
3.2	推动清洁能源技术发展.....	30
3.2.1	增加清洁能源技术投入.....	30
3.2.2	推动清洁能源技术创新.....	31
3.3	推动能源合作机制建设.....	33
3.3.1	减少能源安全威胁.....	33
3.3.2	双边、多边能源互利合作.....	33
3.3.3	构建制度性合作基础.....	34
4	东北亚能源转型的展望.....	35
4.1	能源合作前景广泛.....	35
4.1.1	持续深化多元的能源合作.....	35
4.1.2	能源合作的外溢效应.....	36
4.2	构建低碳城市前景广阔.....	36
4.2.1	深化低碳理念对社会的影响.....	36
4.2.2	更绿色的低碳生活方式.....	37
5	结语.....	37
	参考文献.....	38

摘要

能源是资源，国民经济的重要基础。简单讲，能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源，人们从柴薪时代到以煤炭、石油以及天然气为主，能源利用的形式在不断发展。人类社会随着工业革命在不断进步，人类的发展在能源转型的推动下不断前进。化石能源的过度开采和利用，温室气体对自然环境造成的巨大污染，全球变暖、极端天气等越来越多的自然地质灾害不仅带来全球能源枯竭，还引发气候的极端变化，最终威胁到人类的生存。为应对气候危机，迫在眉睫的是向清洁能源转型，减少温室气体排放，摆脱以化石能源为主的能源消费体系。1992年6月里约热内卢联合国环境与发展大会上签署的《联合国气候变化框架公约》奠定了气候变化国际合作的法律基础，之后的《京都议定书》、“巴厘岛路线图”以及《巴黎协定》都推进了全球治理的脚步，标志人类面临的气候问题进入合作的新时代。世界各国也都相继制定各自的碳达峰碳中和目标（简称“双碳”目标），重构以新能源为主的能源消费格局。

东北亚地区在地缘政治上有着重要的战略意义，也是世界经济发展的重要地区，东北亚地区的发展不仅对亚洲地区有着重要影响，甚至在全球发展中都举足轻重。在应对气候危机的问题上，东北亚地区国家在应对气候危机也相继制订了能源转型目标，在能源转型中取得了一定进展。东北亚能源转型出现了新的转机，但也带来了新的难题，东北亚在向“双碳”目标前进的同时存在着诸多因素，阻碍着东北亚能源的顺利转型，因此，如何积极响应“双碳”目标，抓住东北亚地区“双碳”目标的新机遇，准确应对东北亚能源转型面临的难题和挑战，以及解决这些困难的转型路径是东北亚地区能源顺利转型的首要任务，本文从以下部分进行讨论和分析。

首先，分析在“双碳”目标下，从能源消费结构、温室气体排放、能源技术的视角分析能源转型所面临的新机遇，并根据东北亚能源发展现状分析东北亚能源转型的新方向新目标。其次，通过对东北亚主要国家能源转型发展的整理和归纳分析东北亚能源转型所面临的不同挑战，包括对化石能源的依赖、能源技术的局限性、能源转型政策法规以及能源合作机制构建等问题。再次，根据东北亚地区面临的能源转型困难的基础上，结合地区特点，提出应对能源供应结构、能源转型技术、能源合作机制的建议。最后，预测东北亚能源转型在能源结构和能

源合作以及构建低碳社会的发展趋势。

关键词：“双碳” 东北亚 能源转型 低碳发展

ABSTRACT

Energy is a resource, an important foundation of the national economy, to be simply, energy is a material resource in nature that can provide some form of energy for human beings. From the era of firewood to the focus on coal, oil, and natural gas, the forms of energy utilization are constantly developing. With the continuous progress of the industrial revolution in human society, human development is constantly advancing under the impetus of energy transformation. The excessive exploitation and utilization of fossil fuels, the enormous pollution caused by greenhouse gases to the natural environment, and the increasing number of natural geological disasters such as global warming and extreme weather not only lead to global energy depletion, but also trigger extreme climate change, ultimately threatening human survival. To address the climate crisis, it is urgent to transition to clean energy, reduce greenhouse gas emissions, and break free from the energy consumption system dominated by fossil fuels. The United Nations Framework Convention on Climate Change, signed at the United Nations Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro in June 1992, laid the legal foundation for international cooperation on climate change. Subsequently, the Kyoto Protocol, the Bali Road Map, and the Paris Agreement all advanced global governance, marking a new era of cooperation in climate issues facing humanity. Countries around the world have also successively formulated their own carbon peak carbon neutrality goals (referred to as "double carbon" goals) to reconstruct the energy consumption pattern dominated by new energy.

Northeast Asia has important strategic significance in geopolitics and is also an important region for world economic development. The development of Northeast Asia not only has a significant impact on the Asian region, but also plays a crucial role in global development. In response to the climate crisis, countries in Northeast Asia have also successively formulated energy transformation goals and made certain progress in

energy transformation. The energy transformation in Northeast Asia has seen new opportunities, but it has also brought new challenges. While Northeast Asia is moving towards the "dual carbon" goal, there are many factors that hinder the smooth transformation of Northeast Asia's energy. Therefore, how to actively respond to the "dual carbon" goal, seize the new opportunities of the "dual carbon" goal in Northeast Asia, and accurately respond to the challenges and challenges faced by Northeast Asia's energy transformation, The primary task for the smooth transformation of energy in Northeast Asia is to address these difficulties through transformation paths. This article will discuss and analyze from the following sections.

Firstly, analyze the new opportunities faced by energy transformation from the perspectives of energy consumption structure, greenhouse gas emissions, and energy technology under the "dual carbon" goal, and analyze the new directions and goals of energy transformation in Northeast Asia based on the current situation of energy development in Northeast Asia. Secondly, by organizing and summarizing the energy transformation and development of major countries in Northeast Asia, the different challenges faced by energy transformation in Northeast Asia are analyzed, including dependence on fossil fuels, limitations of energy technology, policies and regulations for energy transformation, and the construction of energy cooperation mechanisms. Once again, based on the difficulties faced by the Northeast Asian region in energy transformation, combined with regional characteristics, suggestions are proposed to address the energy supply structure, energy transformation technology, and energy cooperation mechanism. Finally, predict the development trend of energy transformation in Northeast Asia in terms of energy structure, energy cooperation, and building a low-carbon society.

Keywords: Dual Carbon Target Northeast Asia Energy Transition
Low Carbon Development

绪 论

0.1 选题背景和选题意义

0.1.1 选题背景

世界气象组织发布的《2022 年全球气候状况》（临时报告）显示，2022 年全球气温、海洋热量含量、海平面与 2021 年相较都有不同程度的升高；低温球体、冰川等都有着一定程度的减少；从 3 月开始的高温一直到 8 月到顶峰，南亚各地区经历的洪水让千万人受到了影响；非洲以及北半球夏季的高温与干旱气候影响了很多生产活动的进行。并且在科技高速发展的今天全球使用化石能源总量还是在不断升高，化石能源储量在不断的减少。极端气候与化石能源的匮乏无一不在提示人们，目前人类的生活方式给环境造成了巨大的负担。为此，世界各国承诺实现碳达峰和碳中和的时间，并且很快进入了实践阶段。

能源转型（Energy Transition）是能源系统中的重大结构变化。能源转型的目标取向是脱碳减排、高效、低成本和可持续利用。21 世纪能源转型的核心是以石油为中心的能源体系向以电力为中心的能源体系转变，并且逐渐开发太阳能、风能等清洁能源以减少碳元素的应用。脱碳是一个复杂的过程，需要对能源工业结构进行重塑，对新能源技术进行开发以及制定新能源政策和立法。完善能源转型政策能够在很大程度上保证能源安全和能源体系弹性；先进的新能源技术对新能源体系的构建和新能源立法具有推动作用。因此，能源消费结构清洁化、低碳化是世界能源体系发展的必然趋势^①，能源转型对碳达峰和碳中和目标的实现具有核心动力和主要的推动作用。

东北亚地区对能源转型有着极高的热情，1990 年成立的次级能源合作机制“能源工作小组、亚太能源研究中心、能源部长级会议”，以及在 2005 年成立的“清洁能源论坛”，还有同年成立的“东北亚能源合作政府间协作机制”，都展示了东北亚各国在能源转型的合作机制和新能源技术交流的努力。在“双碳”目标的承诺上，

^① 邹才能,何东博,贾成业,熊波,赵群,潘松圻. 世界能源转型内涵、路径及其对碳中和的意义[J]. 石油学报,2021,42(02):233-247.

我国承诺在 2030 年前，二氧化碳排放不再增长，达到峰值，并且努力争取 2060 年前实现碳中和。日本在 2013 年碳达峰，计划在 2050 年达到碳中和。韩国设立了《碳中和法》，包含了 2050 年实现碳中和这一国家目标的法律程序和政策手段。2021 年 10 月 13 日，普京在“俄罗斯能源周”上表示“俄罗斯将在 2060 年前实现碳中和”。无论是“东北亚能源互联网”能源机制的构建，还是对碳达峰和碳中和目标的承诺，东北亚能源转型都面临着诸多困难，存在着很多不确定性。由此可见，东北亚能源转型具有进一步的研究价值。

0.1.2 选题意义

在人类使用能源的历史中，能源转型一直都是很重要的课题。在能源短缺和极端天气肆虐的当下，人们又迎来了新一次的能源转型，即“可持续”的能源转型。在能源转型的时代，新能源产业能够为世界带来新的就业岗位，为社会发展和经济增长的新动力^①。东北亚地区是全球经济中举足轻重、发展最快的区域之一，且能源消耗量巨大，能源安全问题突出，了解东北亚能源转型的发展前景和面临的挑战，构建适合地区的能源转型秩序，不仅对东北亚地区能源转型有推动力，并且对履行《巴黎协定》要求、实现碳达峰碳中和目标以及应对全球气候危机和能源短缺意义重大。

0.1.2.1 理论意义

能源转型在能源研究的领域贯穿着每一次能源革命，是能源问题重要的一部分。东北亚地区作为全球发展重要的一部分，通过能源转型对能源安全问题的完善、地缘政治因素对能源贸易、能源格局以及能源权力的影响，对能源合作机制的理论构建具有完善和补充作用。能源理论的进一步完善不仅有利于东北亚能源转型以及能源问题的解决，对世界能源转型理论的建构也将具有一定的推动作用。

0.1.2.2 现实意义

东北亚能源转型的结果能够在一定程度上决定东北亚地区今后的地缘政治和经济发展等，在“双碳”目标下，对新能源技术的需要以及能源转型机制的探索使各国越来越需要稳定且长期的合作。因此对东北亚能源转型进行研究不仅仅对东北亚能源转型和能源机制构建提出对策和建议，而且通过东北亚能源供给安全、能源

^① 邹才能,何东博,贾成业,熊波,赵群,潘松圻. 世界能源转型内涵、路径及其对碳中和的意义[J]. 石油学报,2021,42(02):233-247.

系统弹性增强、能源技术对环境适应度增加等一系列举措能够对新能源以及能源转型技术具有建设性影响。

0.2 研究现状

0.2.1 国内研究现状

国内关于“双碳”目标下东北亚能源转型已有一些研究成果。主要体现为以下几个方面：

“双碳”目标内涵研究。我国针对气候变化提出了力争在 2030 年前二氧化碳减排达到峰值，锚定努力争取 2060 年前实现碳中和。碳达峰是指二氧化碳总量在达到了某个最高点时逐步回落，意味着碳排放脱离了与经济的关系；碳中和是指国家、地区、行业或部门在一定时间内，通过植树造林等方式吸收碳总量，达成排放和吸收的平衡，狭义上是指二氧化碳的排放量，广义指所温室气体净零排放^①。2005 年 8 月 15 日，习近平总书记在浙江省安吉县余村考察时首次提出了“绿水青山就是金山银山”的观点，这一观念表达了节约能源、保护环境、绿色发展的思想，正确处理环境与发展、生存与发展、生态与财富的关系，为中国特色“双碳”理论打下思想基础；在“绿水青山就是金山银山”理念引领下，生态文明观表达了碳达峰、碳中和的哲学思想观点^②，同时也表现了生态公正理念的伦理学观点^③，同时“双碳”目标本身也是气候安全的重要内容^④。“双碳”所提出的一系列行动，目的是为“打破资本主义主导下的空间逻辑”，“从人的自由与解放实现高度”并解决“空间交往和平衡问题，实现对传统思维空间新的超越”^⑤。刘菁婕认为公众生态意识是实现“双碳”的现实需要，也会促进形成绿色发展理念且能够提高参与“双碳”建设的积极性^⑥。

① 孙博. 碳达峰碳中和的科学内涵、价值意蕴和实践路径[J]. 厦门特区党校学报,2023,(01):75-80.

② 生态文明观：生态文明观是指人类处理人与自然的关系以及由此引发的人与人的关系、自然界生物之间的关系、人与人工自然的关系以及人的身与心（我于非我、心灵与宇宙）的关系的基本立场、观点和方法，是在这种立场、观点和方法指导下人类取得的积极成果的总和。

③ 生态公正：生态公正是指人类在处理人与自然关系以及由此引发的其他相关关系时，不同国家、地区、群体之间拥有的权利与承担的义务必须公正对等，体现了人们在适应自然、改造自然的过程中，对其权利和义务、所得与投入的一种公正评价。

④ 黄建,冯升波. “双碳”背景下, 气候安全的内涵与战略研究[J]. 中国能源,2022,44(04):36-43.

⑤ 常益敏. 党的二十大报告中推进“双碳”工作的逻辑进路、内涵要义与时代践履[J]. 环境与发
展,2022,34(09):1-6+21.

⑥ 刘菁婕. “双碳”目标下公众生态意识培养研究[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版),2023,20(03):28-32.

清洁能源技术发展现状研究。东北亚能源转型离不开能源转型技术的更新，只有不断的对能源技术进行更新，能源消费体系才会逐渐完善，才能够加快绿色经济转型、大力发展低碳产业。我国目前还是以化石燃料为主、煤炭消费很大占比的能源消费结构，因此在碳达峰和碳中和目标指引下，清洁能源技术的发展成为目前能源技术发展的主要部分。近年来我国对风能、太阳能、核能、碳捕获、利用与封存以及氢能等清洁能源技术的研究不断深入，意识到风能和太阳能发电的装机容量问题、发电机成本、发电技术分布^①以及产业链和产业规则的问题需要更加完善^{②③}；水电的发电效率、水电厂智慧化问题等^{④⑤}。与此同时，清洁能源技术还存在一些问题：核电的污染和泄漏问题一直存在；碳捕获、利用与封存技术中，对空气中二氧化碳的捕集、成本问题以及市场推广是阻碍碳捕获、利用与封存技术推进的原因；灰氢技术的使用不能保证完全无碳化，且与碳捕获、利用与封存技术结合应用的成本过高。

新能源政策研究。能源政策对能源消费、技术布局等具有顶层设计的作用，完善的能源政策能够提升能源转型效率。我国对能源转型政策的研究注重低碳消费结构、能源技术创新、能源安全以及能源发展路径^⑥，从能源政策中反映出能源转型的指导思想以及在不同时期的能源观^⑦。王婷、蔺洁、张汉军通过对美国、日本、德国、法国和欧盟等国家风能、太阳能和核能的能源政策的系统梳理，对我国新能源政策制定和改革提供了有益的借鉴^⑧。焦兵，许春祥结合国际能源发展局势、我国能源政策以及能源发展现状等，通过实证分析提出，“十四五”期间，“双碳”目标下我国能源政策未来发展趋势需要注意以供给侧改革为主、结合科技创新和体制改革，保障能源安全^⑨。梁栋、丛威、孙楚钰则通过对拜登的美国能源政策理念、2022年中期选举对美国能源政策的影响指出，在2023年美国能源对外政策将继续深化“俱乐部”模式，在不同领域对竞争国家进行打压，但俄乌局势将会成为影响

① 施鹏飞. 中国风电产业发展现状和展望[A]. 国际清洁能源论坛(澳门). 国际清洁能源产业发展报告(2019) [C]. 国际清洁能源论坛(澳门): 国际清洁能源论坛(澳门)秘书处, 2019: 54-80+582-583.

② 王静. 论太阳能在中国清洁能源之中的前景展望[J]. 化工管理, 2019, (01): 50-52.

③ 韦新东, 秦焯欣, 张天阳, 王禹崴. 太阳能区域供热发展现状综述[J]. 北方建筑, 2021, 6(03): 29-32.

④ 陈启卷, 高功正, 岳旭辉, 耿大洲, 徐磊. 水电与新能源机遇与挑战: 波浪能发电技术研究进展[J]. 水电与新能源, 2020, 34(08): 1-6.

⑤ 寇林, 马晨原, 刘诚威, 王现锋, 旦增西洛, 张灏, 吴易洋. 中国水电新技术现状及前景展望[J]. 电站系统工程, 2022, 38(05): 1-4.

⑥ 杜伟, 文腾. 《“十四五”现代能源体系规划》等多项政策出台 布局中国新型能源体系[J]. 国际石油经济, 2023, 31(01): 9-10.

⑦ 马超林. 新中国成立以来我国能源安全观及能源安全政策的历史演进[J]. 湖北社会科学, 2023, (02): 76-82.

⑧ 王婷, 蔺洁, 张汉军. 主要国家新能源政策进展及启示[J]. 全球科技经济瞭望, 2019, 34(06): 9-15+62.

⑨ 焦兵, 许春祥. “十三五”以来中国能源政策的演进逻辑与未来趋势——基于能源革命向“双碳”目标拓展的视角[J]. 西安财经大学学报, 2023, 36(01): 98-112.

美国能源政策最大的不稳定因素^①。贾劲松等人通过对欧洲国家的天然气供应、摆脱俄罗斯的能源政策以及对国际液化天然气市场的影响进行分析,认为欧盟的能源政策调整在短期内会使国际液化天然气市场供应紧张,打乱国际液化天然气市场,在中长期会导致液化天然气贸易增速“前快后慢”,改变供应格局以及亚洲国家进口液化天然气的速度^②。在能源贸易不稳定、能源竞争激烈的当今,新能源政策不仅要重视新能源技术和布局,更应重视能源供给安全、能源系统对环境 and 外界压力的弹性,以保证能源转型的顺利进行。

能源转型路径研究。我国在能源转型路径的研究分为化石能源节能减排、清洁能源发展、能源技术革新以及能源机制的重塑。曾诗鸿等^③认为“双碳”目标是立足我国发展实际,从经济社会长远发展出发提出的重大战略决策。实现“双碳”目标,需要推动传统能源结构的调整重构,推进低碳技术创新融合,构建起新的现代能源体系。因此,节能减排是实现能源低碳转型的首要选择、可再生能源发展是实现能源低碳转型的主要方式、清洁高效利用是实现能源低碳转型的重要途径、低碳技术创新融合是实现能源低碳转型的核心支撑、能源体制改革是实现能源低碳转型的重要保障。李世峰、朱国云认为我国从碳达峰到碳中和时间短任务重,且存在能源结构不合理、能源安全保障难度大、能源科技创新能力弱等诸多挑战。所以,为应对能源转型首先应打造多元化、有韧性的低碳能源供给体系,然后打造高效、清洁的能源消费体系,最后是促进我国能源转型的对策建议^④。范英、衣博文则认为,应了解各国的能源转型驱动机制,了解能源转型的内涵、能源转型的国际规律与驱动机制,才能够了解不同的转型路径,了解我国目前能源转型面临的机遇和挑战,找到属于中国特色的能源转型路径^⑤。荆克迪等人认为“双碳”战略是推动经济发展动能转换和能源产业高质量发展、催生绿色科技革命、加快共同富裕步伐、构建新发展格局的重要途径^⑥。

0.2.2 国外研究现状

① 梁栋,丛威,孙楚钰. 2023 年美国能源政策展望[J]. 国际石油经济,2023,31(02):63-67.

② 贾劲松,王建萍,孙曼丽,谢旭光. 欧盟能源政策调整及其对国际液化天然气市场潜在影响分析[J]. 国际石油经济,2022,30(08):64-71.

③ 曾诗鸿,李根,翁智雄,李腾飞. 面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J]. 环境保护,2021,49(16):26-29.

④ 李世峰,朱国云. “双碳”愿景下的能源转型路径探析[J]. 南京社会科学,2021,(12):48-56.

⑤ 范英,衣博文. 能源转型的规律、驱动机制与中国路径[J]. 管理世界,2021,37(08):95-105.

⑥ 荆克迪,刘宜卓,安虎森. 中国绿色治理的基本理论阐释、内涵界定与多维面向[J]. 改革与战略,2022,38(03):119-129.

低碳理念与概念界定。近年来由于“双碳”目标的制定，低碳理念一时间成为研究热潮，如何理解“双碳”以及低碳理念的内涵成为学者们的研究重点。有观点认为，低碳理念是一个很笼统的概念，需要将其细化成低碳发展、低碳经济、低碳社会、低碳城市、低碳社区和低碳生活这六个部分，并且低碳发展需要经过经济、社会、世界三个过程^①；还有观点认为低碳发展引发的思考是需要认真反思，此次能源转型发展的方向，合理地将气候变化纳入主流发展，降低化石燃料的投资项目、增加新能源投入，绘制低碳发展领域的路线图^②。因此，在广义的范围上，低碳理念包括了低碳发展、低碳经济等诸多定义；在狭义上低碳理念也可以单独指低碳发展以及发展模式与方法。

国别新能源发展研究。在对氢能的布局中，日本是对氢能发展最积极的国家，在2013年更是把氢能发展指定为国策。韩国也逐渐将氢能重视起来，2018年6月，韩国政府发布了《氢燃料电池汽车产业生态战略路线图》，旨在加快构建氢能产业系统，推动氢能电池的普及。2021年俄罗斯总理米舒斯京已批准了一份关于氢能发展构想的文件，根据文件，俄罗斯的氢能产业将分三个阶段实现，第一阶段是从2021年开始的三年半中，建成集生产、出口为一体的氢能项目产业集群，在俄罗斯国内推广使用氢能，2025年至2035年以及2035年到2050年这两个阶段，则主要用来建设以出口为导向的生产项目，在各个经济和工业领域系统使用氢能技术^③。

能源转型理论研究。海夫纳三世在《能源大转型》中，认为能源大转型是从过去不可持续的固体能源向未来无限的、清洁的可持续能源过渡。海夫纳三世将能源分为固体能源、液体能源和气体能源三大类，并且认为能源大转型就是一个在不断“去碳化”的过程，我们现在的能源转型正处于向气体能源转换、氢能刚刚起步的阶段。能源转型的推动力有三种：政府干预、领导力和个人行为。这其中除了领导力和个人行为，能源转型的进程与速率很大一部分来自于政府的倾向。海夫纳三世的结论是：目前的能源转型需要天然气这样的气体燃料进行能源转型的过渡，并且世界上天然气的储量比我们想象的可能要多很多。瓦科拉夫·斯米尔在《能源转型：数据历史与未来》中指出，“转型是技术创新和资源替代这两大普遍过程的具体分支”。能源转型可以改变社会的工业形式，不过人们对某种特定的能源或原动机的依赖程度越高，这种特定能源的转换程度就越高，与之相关的基础设施就越复杂，也更加持久耐用，因而在替代的过程中所需要花费的时间和精力就越多。

① Hu Yuan,Peng Zhou,Dequn Zhou. What is Low-Carbon Development? A Conceptual Analysis[J]. Energy Procedia,2011,5(C).

② Yacob Mulugetta,Frauke Urban. Deliberating on low carbon development[J]. Energy Policy,2010,38(12).

③ 俄罗斯“三步走”发展氢能，光明网。<https://m.gmw.cn/baijia/2021-08/19/1302497496.html>

能源转型路径研究。C. Gürsan 和 V. de Gooyert 对能源转型中过渡燃料的系统性影响进行了研究，发现天然气作为一种能源转型的过渡燃料，同时具有碳排放量低对环境污染低的直接影响和过渡投资天然气有可能会导​​致化石能源投资增加从而使能源转型步伐减缓的间接影响^①。Seeram Ramakrishna 等人研究了碳捕获和封存技术（CCS）在能源转型中的作用，不过这种技术实施的缓慢不乏令人担忧，原因在缺乏政府能源政策和碳捕获法规、公众接受度低、高额的资本投资等^②。Michel Noussan 等人也表示氢能技术的发展造成了一定的地缘政治后果^③。还有对能源转型最新技术的进展研究，在太阳能、风能资源评估以及沼气和生物质资源和技术方面对结果进行了总结。以及能源系统过渡问题等研究。Maria Mercedes Vanegas Cantarero 认为发展中国家不仅要面对能源转型以及环境问题，还有经济发展、社会包容以及环境可持续性的期望。因此，可以通过采用和实施已经商业化的技术来实现转型以提高能源系统效率、可负担性和可靠性^④。Bertrand Cassoret 在《能源转型》一书中认为由于新能源的供电方式取决于天气，难以储存，因此建立一个不间断的能源转型系统可以用来预防这一阻碍。

通过对国内外东北亚能源转型的相关研究进行整体分析。第一，明确“双碳”目标及其相关概念界定是以生态文明观、生态公正的理念为基础，并根据国家对实现低碳的层次、自然情况和能源消费结构锚定碳达峰和碳中和的时间以及具体内容；第二，目前东北亚能源转型技术研究中，减少碳排放、开发清洁能源等研究广泛，由于成本高、技术局限，一些研究在实际应用上较少，也因此成为了能源转型的一大难题；第三，通过不同国家能源转型政策和发展现状的梳理发现，能源转型政策和国际能源局势、能源市场情况等有关；第四，在能源转型路径上，目前国内外注重对化石能源节能减排、清洁能源发展、能源技术革新以及能源机制的重塑从而实现碳达峰碳中和。但在目前的东北亚能源转型研究中，“双碳”目标对东北亚能源转型的制度要求、市场要求等并不明确；缺少对东北亚能源转型技术和政策的整体性分析。因此，文章中以解决“双碳”目标对东北亚能源转型的挑战、解决路径为主进行研究。

① Gürsan C.,de Gooyert V.. The systemic impact of a transition fuel: Does natural gas help or hinder the energy transition?[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2020,(prepublish).

② Lau Hon Chung,Ramakrishna Seeram,Zhang Kai,Radhamani Adiyodi Veetil. The Role of Carbon Capture and Storage in the Energy Transition[J]. ENERGY & FUELS,2021,35(9).

③ Noussan Michel,Raimondi Pier Paolo,Scita Rossana,Hafner Manfred. The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition—A Technological and Geopolitical Perspective[J]. Sustainability,2020,13(1).

④ Maria Mercedes Vanegas Cantarero. Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries[J]. Energy Research & Social Science,2020,70.

0.3 研究方法

归纳分析法。通过对东北亚区域内国家的能源转型经验以及对一些双边、多边能源转型合作进行分析，归纳出东北亚能源转型面临的挑战。

文献分析法，通过对收集到的东北亚能源转型文献资料的研究梳理，分析东北亚能源转型现状、机遇及挑战。通过对“双碳”目标相关文献进行整理、归纳，分析探究“双碳”目标对东北亚地区此次能源转型的新要求。

0.4 创新点与难点

0.4.1 创新点

视角创新。能源转型在人类开始使用自然资源就一直存在，为了更好地生存下去，人们不断地将使用的能源进行转型，使用方式也不断变化，由柴薪时代走向煤炭时代再走向石油时代以及天然气，到现在的削减碳元素的能源转型，都是围绕着能源安全和地缘政治以及能源合作机制建设等问题进行讨论。东北亚地区也不例外，除了大多数是围绕着化石能源所展开，能源供给安全、地缘政治问题对能源合作的影响等问题以外，还有东北亚地区独特的能源竞争问题。能源转型之下的东北亚依然离不开这些问题的解决，但能源转型为东北亚地区带来了能源合作的新机会。以东北亚能源转型的地区性为切入点，从地区能源转型技术、合作机制、自然环境的视角探究双碳目标下的东北亚能源转型路径，是本文的创新之处。

0.4.2 难点

论文撰写过程中遇到的突出问题就是数据收集困难，最新数据不全。

蒙古和朝鲜并未对碳达峰和碳中和进行明确的目标承诺，蒙古和朝鲜的能源数据在研究过程中会有所缺失，导致文中的数据分析主要是以中、俄、日、韩为主，蒙古以及朝鲜的分析相对不足。与此同时，由于俄罗斯自 2022 年 4 月 8 日起无限期停止提供石油生产和出口的统计数据，导致俄罗斯能源数据不全。因此，在表 2 的数据对比中，未将俄罗斯、蒙古和朝鲜单独列表，不同国家数据更新时间不一致。

1 “双碳”目标对能源转型的新要求

在东北亚能源转型中，低碳是发展与成功转型的底气。低碳技术的创新是重要的核心动力，能源结构的更迭是转型重要的推动力，降低碳排放以及改变化石能源消费比例是转型成功的重要辅助力量。

1.1 构建绿色能源转型体系

为实现“双碳”目标，《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》强调要坚持“全国统筹、节约优先、双轮驱动、内外畅通、防范风险”原则，为的是不仅要保证高效快捷的能源转型，更要保证在转型过程中的稳定性与防范风险的能力。作为能源转型中的推动者，长期绿色循环发展结构能够为能源转型提供稳定属性，保障能源获取、能源消费以及能源安全问题，以及对可能发生的能源问题进行防范。实现“双碳”目标是世界各国长期完成的目标，能源转型最大的特点是“可持续发展”，即构建长期的、绿色发展的能源转型结构，即从能源的获取到消费使用以及排放都要秉持绿色、可持续发展的原则，覆盖整个社会面。

1.1.1 健全绿色社会生产体系

若要实现能源结构的大变革，最重要的是对社会生产体系的更新。低碳能源转型必须从根本改变社会生产结构与方式，加强绿色化工和农业生产，在工业上合理控制新增化石能源使用项目，将不必要的煤炭消费降到最低；在农业领域，高效利用农作物秸秆，减少燃烧农作物的碳排放；在服务业与供应链上，做到便捷、快速，扩大绿色工业农业覆盖范围，纵向发展绿色生产，实现城市、城镇、乡村的绿色产业一体化。完善绿色生产体系监督调控制度，完善顶层指导工作，为健全绿色社会生产体系提供完整的辅助体系；建设绿色能源供应链，通过对能源管道、运输电网、陆上能源运输道路的巩固、保养，以稳定能源供应来提高工农业生产的生产效率，从而促进能源系统的高效改革。

1.1.2 完善能源转型监管机制

“双碳”目标中一个重点则是将碳排放与经济发展实现脱钩，在发展能源转型技术与构建新型能源体系的同时，需要与之配套的能源监管机制密切协调能源安全、能源供给。《京都议定书》以减少温室气体排放的三大机制，即国际排放贸易机制（ET）、联合履行机制（JI）和清洁发展机制（CDM）^①来平衡发达国家和发展中国家之间的碳排放合作。因此，需要发达国家与发展中国家共同根据自然环境、经济发展以及技术研发多个角度，制定合理的能源转型监管政策与转型机制。

首先，为应对气候危机，应完善对天气变化的检测、自然灾害的处理机制。在极端气候事件发生之时，对受损情况进行监测汇报，将能源装置的磨损程度、报废数量进行统计，并及时进行上报，在损失处理过后对维修和处理方案进行记录，并将事件记录在案，以构建健全的能源系统；其次，能源转型的技术发展应由市场主要开发，政府在宏观进行关键节点的调控。例如政府和企业共同增加对新能源技术的示范项目的投入，开发新能源技术，降低成本，使能源技术尽早大规模部署，政府同时起到监督和防范恶性竞争和反垄断行为的作用。因此，完善能源转型监管机制能够为能源体系提供对意外事件的反应和处理能力，从而增加能源体系的弹性和稳定性。

1.1.3 推广绿色低碳生活方式

东北亚能源转型的另一个特点就是不仅要构建绿色低碳的生产体系，更要将绿色低碳融入社会生活的方方面面，推广绿色低碳的生活方式。例如共享经济，一般以获得一定报酬为主要目的，基于陌生人且存在物品使用权暂时转移的一种新的经济模式，在国际上较受欢迎的共享经济软件 Uber（优步）、Airbnb（爱彼迎），国内类似于美团、支付宝各种生活平台，通过低碳生活方式领取虚拟平台奖励，积分获取植树造林或捐助的机会。再例如勤俭节约，清洁的出行方式，国际能源署的“节能小贴士”中发布了“节省能源的七种方法”，包括选择公共交通，智能驾驶以及要根据家中的情况来调节空调或暖气来节省不必要的能源消耗。低

① 国际排放贸易机制简称（International Emissions Trading, IET）
联合履行机制（Joint Implementation,JI）
清洁发展机制（Clean Development Mechanism,CDM）

碳的生活建议亦或是生活平台，逐步构建公众的生态文明意识，通过加大人们对绿色低碳生活的参与度整体提高生态文明。

1.2 减少温室气体排放

《京都议定书》中规定了多种温室气体，包括二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫和三氟化氮。国际能源署统计，截至 2020 年，二氧化碳排放量达到了 33.9GT^①，尽管各国政府做出了许多承诺并努力解决全球变暖，但自 1992 年签署《联合国气候变化框架公约》以来，能源和工业的二氧化碳排放量增加了 60%，化石能源的二氧化碳排放达到了 80%^②。因此为了实现 2050 年净零排放这一目标，减少温室气体排放，增加清洁能源的投资建设比例变得尤为重要。

1.2.1 减少化石能源消费比例

根据《BP 世界能源统计年限（2021）》的数据，2020 年世界发电量 26823.2 太瓦时，其中石油、天然气、煤炭分别发电 758.0 太瓦时、6268.1 太瓦时和 9421.4 太瓦时；且根据 2020 年统计数据显示，化石燃料和土地利用产生的二氧化碳总量为 393.2 亿吨，化石燃料产生的二氧化碳量为 352.6 亿吨。从这些数据可以看出，化石能源仍然是世界能源消费的主体，且经济发展虽然根据发达经济体和发展中经济体的不同而存在着逐渐脱钩的现象，然而这种脱钩有着微小量的变化，并不能引起质的改变，因此在此次能源转型中要逐渐减少化石能源消费比例，减缓碳排放总量的增长，增加碳达峰速率。

1.2.2 大力推进清洁能源发电

在“双碳”目标的监督下，此次能源转型要逐渐减少化石能源的消费，逐渐向以电能为主要能源消费模式改变，但目前生产电能的方式仍然是以化石能源为主，因此提升清洁能源发电比例、能源运输的电力化成为主要的发展模式。能源

① GT：京吨

② 《2050 年净零排放》报告

环境独立智库 Ember 发布的《全球电力评论》中表示，在 2021 年，风能和太阳能发电量在全球电力中的占比为 10.3%，为世界第四大电力来源，也是 2021 年增长最快的清洁能源，其他清洁能源发电量增长在 2021 年停滞不前，水能、核能和生物能的增长微乎其微，从能源长期发展角度来看，虽然在技术上存在一定挑战，但太阳能、风能是具备大力开发潜力的清洁能源。

1.2.3 碳元素的回收与再利用的发展

国际能源署发布的《2050 年净零排放》报告中提到，想要快速达到碳达峰目标，除了减少化石能源的使用与发展清洁能源之外，还需要对碳元素进行回收再利用。目前可行的碳元素回收再利用有 CCS（碳捕获与封存）、CCUS（碳捕获、利用与封存）两种方法，但由于这两种方法都存在着开发成本大、现有技术不成熟、领域应用不全面以及各国政府对两种技术的立法进程与态度不一等等的困难，缺少此次能源转型能够切实可行的碳元素回收的方法，因此，大力推动碳元素回收与再利用，各国加快相关技术与商务合作的沟通，构建高效的碳元素回收利用体系。

1.3 能源转型技术创新

此次能源转型的核心与关键是清洁能源技术和温室气体处理技术的创新。从能源最根本解决碳排放与碳中和问题，且为了应对碳达峰与碳中和，新型能源技术需要克服新的能源安全问题，因此，本节分为三个部分来讨论能源转型技术的创新：灵活运用清洁煤利用技术；广泛应用风能、太阳能技术；加快发展碳捕获、利用与封存技术。

1.3.1 灵活运用清洁煤利用技术

2021 年，由于电力需求的反弹，世界煤电也出现了强劲反弹，排放增长与国际能源署的 1.5 摄氏度路径所需的从 2021 年到 2030 年电力行业排放量下降 60% 的目标形成鲜明对比。煤炭是人类工业社会不可或缺的一部分，由于煤炭的高强度排放、来自可再生能源等具有成本效益的清洁能源技术竞争的日益激烈，以及

与产煤地区就业和发展的密切联系，煤炭的地位是不可忽略的。因此，如何高效利用煤炭，煤炭消费如何在能源转型中摆脱“拖后腿”的形象，需要重视起来。目前清洁煤利用技术主要包括两个方面：一是煤直接清洁利用技术；二是煤转化为洁净燃料技术。因此进行针对性改造，在工厂内进行部分升级，保证煤炭转型的灵活性，过渡性更强。

1.3.2 广泛应用风能、太阳能技术

本次能源转型在发电技术上，风能、太阳能发电占比创了新高，在今后的发电技术上，风能太阳能还需拥有更大的应用空间。《2050年净零排放》报告中表示，2050年全球近90%的发电量来自可再生能源，其中太阳能光伏和风能合计占近70%，并且风能光能需要保持高增长率才能够达到国际能源署的1.5摄氏度的目标，因此需要增大风能、太阳能技术发电占比。

目前的太阳能技术有太阳能光发电和太阳能热发电^①。此次能源转型可以增加居民生活和社会交通上的太阳能应用比例，推动居民独立电源的发展；我国在2023年发布了《中国太阳能热发电行业蓝皮书2022》意味着太阳热能发电技术具有广阔的发展空间，因此积极推进太阳能热发电技术的研究与应用，对于太阳能更高效开发利用具有积极推动的作用。风能具有经济性好、建设周期短的优点，因此风能技术还需根据不同地区的地理环境设计合适的风电机扩大风电应用占比，并且根据城市用电需求以及风场分布选择风力发电场地方便电能运输。此次能源转型对于风光互补发电^②系统也有着一定需求，风光互补发电拥有着环境适应强的特点，因此在一些边防哨所、边远牧区、无电户地区及海岛，在远离大电网，处于无电状态、人烟稀少，用电负荷低且交通不便的地方可以利用这一特点来保持供电稳定。

1.3.3 加快发展碳捕获、利用与封存技术

① 太阳能光发电是指无需通过热过程直接将光能转变为电能的发电方式，吸收太阳的辐射能使之转化成电能，太阳能光发电应用领域广泛，可以用于居民发电、交通通信、气象海洋、卫星航天等等；太阳能热发电是通过水或其他工质和装置将太阳辐射能转换为电能的发电方式，目前太阳能热发电的应用处于起步阶段。

② 风光互补发电:风光互补，是一套发电应用系统，该系统是利用太阳能电池方阵、风力发电机（将交流电转化为直流电）将发出的电能存储到蓄电池组中，当用户需要用电时，逆变器将蓄电池组中储存的直流电转变为交流电，通过输电线路送到用户负载处。是风力发电机和太阳电池方阵两种发电设备共同发电。

碳捕获、利用与封存（CCUS）技术是碳捕获与封存（CCS）技术新的发展趋势^①，本次能源转型中碳捕获、利用与封存技术是减少碳排放、实现碳中和过渡的关键因素。因此为加快发展碳捕获、利用与封存技术，首先需加大技术研发投入，开展 CCUS 技术项目，克服成本与环境问题；其次，探索 CCUS 技术的商业化也激励政策以及标准体系；最后，加强国际 CCUS 技术交流合作，加快全球碳中和速率。

1.3.4 其他清洁能源与氢能的发展

在此次能源转型的过渡阶段，可再生能源是能源转型的核心，再前期阶段风能与太阳能作为转型的中坚力量打下了发展可再生能源的基础。因此，开发其他清洁能源，如生物质能、水力、地热能等新能源，增加其他清洁能源的开发投入以减少成本压力；增加新能源合作开发项目实现技术交流合作，为加快碳中和打好前期技术基础。

氢能被人们视为 21 世纪最具发展潜力的清洁能源，氢及其衍生物应在重工业、航运、航空和重型运输等行业的脱碳以及在代替其他清洁能源上发挥着重要作用。2022 年 3 月 23 日，国家发展改革委、国家能源局发布了《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》，部署了推动氢能产业发展的各阶段目标以及氢能产业高质量发展的重要举措；国际能源署的氢能跟踪报告中，氢能在当今的部署比例还很小，但在一些重要脱碳领域发挥着基础性作用。因此，在“双碳”目标的监督下，紧跟世界氢能发展态势，分享交流氢能技术经验，推动氢能发展与理论研究；增加氢能技术项目，加大研发示范力度。

1.4 深化国际合作与机制构建

“双碳”的直接目的是为应对气候危机，改善人类居住的环境，因此能源国际合作与合作机制构建为提高转型效率、加强能源转型沟通、深化能源转型的理

^① CCUS: (Carbon Capture, Utilization and Storage) 碳捕获、利用与封存是应对全球气候变化的关键技术之一，受到世界各国的高度重视，纷纷加大研发力度，在 CO₂ 驱油等方面取得进展，但在产业化方面还存在困难。随着技术的进步及成本的降低，CCUS 前景光明。

CCS: Carbon Capture and Storage 的缩写，是将二氧化碳（CO₂）捕获和封存的技术。CCS 技术是指通过碳捕捉技术，将工业和有关能源产业所生产的二氧化碳分离出来，再通过碳储存手段，将其输送并封存到海底或地下等与大气隔绝的地方。

念以及对能源转型的大国使命与责任担当。本节即从加强国际责任与使命感、政府加大对能源改革的支持以及加强能源合作的优先事项这三方面进行讨论。

1.4.1 加强国际责任与使命感

在应对气候危机这个全球性议题上，国际合作是能源转型成功的关键，突出的能源转型针对全球变暖等现象的优势，各个区域的主要国家也应秉持地区合作的理念共同面对地区气候危机，彰显国际责任担当以及大国使命，实现从点到面的能源转型格局。

第一，确定应对气候危机的决心。世界各国在许多领域已经采取了行动，但就目前的结果来看，远未实现国际商定的气候变化目标，并且在当今国际局势下，俄乌战争持续、国际竞争持续升级，国际局势不确定性愈演愈烈，以合作为基础的能源转型发展阻力重重。根据《联合国气候变化框架公约》所确定的应对气候危机的原则，各国应“尊重各缔约方的可持续发展权”，明确共同应对气候危机的决心。第二，明确必定实现全球碳中和的使命。为了更好的生存下去，解决全球变暖的问题，就要秉持着“人类命运共同体”意识，顾全共同应对气候危机的大局观，坚持“共同但有区别的责任”原则^①，遵循相互依存的国际权力观、共同利益观、可持续发展观和全球治理观，重视能源转型的关键问题，确定先后事项并采取有力的集体行动。第三，推进低碳责任教育。为推进世界的“双碳”工作，各国还应将绿色发展等理念深入到民众当中，应从个人到国家，国家到地区，地区到世界依照层次递进，实现从“低碳城市”到“低碳社会”到“低碳世界”的演变。加强整体的绿色责任意识，加强对低碳生活的宣传，加强民众的生态公正意识，协调人与自然的关系、社会与自然的关系等。

1.4.2 明确能源转型优先事项

目前世界上有许多国家承诺了碳达峰和碳中和的年份和目标，因此对能源转型的进程需要有明确的安排和计划，保证能源转型的平稳步调以及循序渐进的发展。明确此次能源转型的优先事项并落实，以保障能源转型的节奏稳定。

^① 《联合国气候变化框架公约》核心内容：一是确立了应对气候变化的最终目标；二是确立了国际合作应对气候变化的基本原则；三是明确发达国家应承担率先减排和向发展中国家提供资金技术支持的义务；四是承认发展中国家有消除贫困、发展经济的优先需要。

第一，发电方式、发电系统的变革。在全球变暖控制不超过 1.5°C 的进程中，电力在这条路上是前进的“主力军”，承担着最大的责任。2021 年 5 月，国际能源署（IEA）发布的《2050 年净零排放报告》中表示到 2040 年电力行业需要从 2020 年的排放量最高的行业转变为全球第一个实现净零排放的行业。且电力的比例不断增长，用电需求也在不断增高，因此电力系统和发电方式的脱碳是能源转型最首要的任务之一。因此在发电领域需要发达国家和发展中国家的共同努力，包括发达国家对发展中国家提供更多的技术支持、实践经验交流、电力系统灵活性以及事故解决方案的示范与测试等等，通过国际社会共同就发电能力和方式进行改革，电力系统快速转型。

第二，增加能源以及技术供应链的稳定性。世界目前能源消费还未完全与经济脱钩，有研究表明，世界经济大部分时间都表现出“疲弱的脱钩”，并且在地区范围内大多数经济体实现短暂的脱钩后出现了“负脱钩”，因此，保证能源获得性的同时提高能源供应链的稳定性，弱化脱钩情况的泡沫化，使能源转型稳步前进。不仅是能源本身，世界上能源转型技术分布也呈现出不均匀的状态，据世界能源署的《2023 年能源技术展望》分析，中国是当今全球领先的清洁能源技术供应商，也是其中许多技术的净出口国，中国拥有世界上至少 60% 的大多数大规模制造技术（例如太阳能光伏、风能系统和电池）制造能力，以及 40% 的电解槽制造能力^①，向清洁能源的过渡取决于清洁能源技术供应链，因此，能源技术的输出成为能源转型的一个重要项目，而稳定的能源供应链和能源技术供应链是能源转型的另一个重要的优先事项。

1.4.3 政府加深对能源转型的支持

能源转型最终目的是应对气候危机，改善人们生活的环境，若按照市场走向来控制最终会走向不确定，也有可能走向失控，那么需要政府对宏观大局走向进行调控，保障能源转型在正确道路上前行，不走“歪路”。

第一，政府与公司、银行等机构开展合作，商讨并加强对重点项目的投入。在能源供给方面，政府应该与国家企业与相关能源企业共同进行战略讨论，重点商讨能源供应链以及国际能源供应合作、能源供应链建设、能源定价以及行业标

^① IEA (2023), 能源技术展望 2023, IEA, 巴黎 <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>, 许可证: CC BY 4.0

准等相关事宜；在能源转型技术领域，能源技术的改进和成本下降需要能源系统的灵活性，因此政府应支持国际上能源技术的合作和交流，借鉴成功的能源技术的方法来支持官方对成功经验的整合并且提高能源系统稳定性。

第二，政府完善对相关能源部署政策法律的制定。能源转型的动力一部分取决于市场的发展，还有一部分是取决于政府对化石能源、清洁能源的指挥和布局，把握能源转型走向。相关能源立法能够保障清洁能源开发的规范性和强制性，例如西班牙 2021 年发布的《气候变化和能源转型法》中第三条规定“长期目标是到 2050 年通过 100% 可再生电力系统实现经济脱碳”，第十四条规定“到 2040 年，新乘用车和轻型商用车必须实现零排放”；又如美国 2021 年的综合拨款法中能源条款主要涉及对住宅和商业太阳能、风电、燃料电池汽车、生物燃料等基础设施税收的减免，增加对国际实验室的投资等条款。因此，政府加快对相关能源立法，通过减免一定的能源税收、强制性要求能源排放量、到交通工具的减排规定等进行目标框架的制定保障对能源转型的规范。

第三，加强政府间能源转型沟通合作。此次能源转型需要政府的推动和努力，因此加强政府间能源转型合作，促进沟通交流，为进一步构成能源转型合作机制达成所需的制度与合作基础。首先，政府间应就国际能源合作论坛以及合作机构达成一致意见，并根据政府间协调推进形成能源转型的合作平台，构建初步体制框架，为可持续的政府间能源转型合作打下制度基础；其次，资源丰富、技术先进的行为体对资源、技术匮乏的行为体进行国际援助，在了解双方差距的同时进行有针对性的帮助协调；最后，政府间对市场的恶性竞争、市场不稳定等现象应具备针对性沟通对话，在最短的时间内将对话重点放在需要解决的问题上，避免没有建设性解决办法的无效沟通。

2 “双碳”目标下东北亚能源转型面临的新挑战

东北亚地区是世界上重要的经济发展地区，人口众多，有巨大的能源需求，东北亚能源转型也是世界能源转型重要的一部分，东北亚的能源合作对于世界来说具有着深刻的推动作用，影响着世界能源结构的重塑。但由于东北亚地区国家的地理位置特点、能源结构以及能源消费特点等多种因素，在实现“双碳”目标的道路上有着诸多困难与挑战，因此，克服“双碳”目标道路上的阻碍，是东北亚地区能源实现顺利转型的核心要素。

2.1 对化石能源的依赖

目前，东北亚地区能源转型最根本的困难是东北亚地区对化石能源的依赖，东北亚地区国家多数对化石能源的能源需求依赖进口，化石能源消耗量大，在进入 21 世纪后经济腾飞使东北亚地区对化石能源的依赖加强，成为能源转型的一大挑战。

2.1.1 以化石能源为主的发电结构

电力作为需求量最大的二次能源具有广泛的用途，如何清洁高效的发电成为此次能源转型的重点。根据日本自然资源和能源署的报告，日本在很大程度上依赖石油、液化天然气、煤炭等化石燃料的进口，虽然在 2021 年来将清洁能源作为发展重点，但部分清洁能源存在能源供应稳定性差的问题；中国国家统计局的数据中，电力生产总量为 77790.6 亿千瓦时，火力发电 53302.5 千瓦时^①；在 2021 年俄罗斯和韩国化石燃料发电分别占比 60.0% 和 66.7%。目前，化石燃料发电相较于清洁能源成本更低，能源利用率更高，更便于存储，摆脱以化石燃料为主的发电结构具有一定的困难。

表 1. 化石燃料发电占比

中国	俄罗斯	日本	韩国
66.3%	60.0%	71.0%	66.7%

数据来源: Hannah Ritchie, Pablo Rosado and Max Roser , Fossil Fuels , Our World in Data.

用电价格一直影响着一次能源的消费占比，由于化石能源稀缺，日本出现电价受化石能源影响而变化的情况；清洁能源发电在成本、储存和稳定性上较弱于化石能源，这就拖延了原本推进的转型进度。

^① 火力发电：火力发电（thermal power, thermoelectricity power generation），利用可燃物在燃烧时产生的热能，通过发电动力装置转换成电能的一种发电方式。

2.1.2 工业对化石燃料的依赖

工业作为国民经济的支柱，包括轻工业和重工业，需要消耗大量能源来支持国家的经济发展。在东北亚国家中，中国、日本和韩国是大量依赖能源进口的国家，在经济飞速发展的当下，能源供应的稳定性在一定程度上保障了国家的稳定发展。

表 2. 工业化石能源消费及占比

2020 年中国

煤炭	天然气	原油	能源消费总量	消费占比
390891	2304	69477	498314	82%

单位：煤炭（万吨）；石油（万吨）；天然气（亿立方米）；能源消费总量（万吨标准煤）
换算：1 吨原油=1.43 吨标准煤；1 立方米天然气=1.33 千克标准煤；1 吨原煤=0.714 吨标准煤

数据来源：中国国家统计局，<https://data.stats.gov.cn/index.htm>

2021 年日本

煤炭&煤炭制品	天然气	城市燃气	原油&石油产品	能源消费总量	消费占比
48050	1047	15181	68259	12329632	36%

单位：煤炭&煤炭制品（千吨）；天然气（千吨）；城市燃气（兆立方米）；原油&石油产品（千升）；能源消费总量（兆焦耳）

数据来源：日本经济产业省自然资源和能源署 2021 年能源综合统计简表，

<https://www.enecho.meti.go.jp/>

2020 年韩国

无烟煤	天然气	石油	沥青	能源消费总量	消费占比
3217	3602	66483	26998	222563	45%

备注：韩国能源消耗数据的 2020 年统计数据为最新数据，单位已经换算为热量单位

数据来源：韩国能源经济研究所，<http://www.kses.net/main/mainEng.jsp>.

注：俄罗斯时间 2022 年 4 月 12 日俄罗斯能源部下属的燃料和能源行业中央调度办公室发出一份书面通知，称自 4 月 8 日起无限期停止提供石油生产和出口的统计数据，并拒绝做出进一步的解释。

从各国最新数据中可以发现，化石能源在工业领域消费依旧保持着很大的占比，工业对化石燃料的依赖程度依旧很大，实现碳达峰与碳中和存在着深层的问题与挑战。例如，我国一些老工业基地，城市的工业设施大多保持着几十年前的状态，如果进行能源转型则需要对设备整体进行逐步更新升级，这是对能源转型整体设计的一大挑战。

2.2 清洁能源技术的局限性

能源转型技术是本次能源转型的主要动力，也是能源转型的加速器，在高度依赖化石能源的东北亚地区的能源转型也离不开转型技术的利用。但能源转型技术在被广泛利用的同时也存在这一定的弊端阻碍着能源转型的进程，不仅仅是能源转型技术不及化石能源利用技术更加便利，更多的原因有可能是清洁能源本身特点带来的局限性。

2.2.1 风光技术对环境的依赖

本次能源转型风能和太阳能以环保、成本低和排放量低的优势使风能和太阳能成为能源转型清洁能源当中的转型主力，为能源转型带来新路径的同时也带来了许多不稳定性。

目前的风力发电技术是指利用空气流动产生动能，利用产生的动能通过风力发电机将风能转化为电能，服务于人类生产生活的一种新能源技术，具有着可得性高、成本低、无污染的优点，对东北亚地区此次的能源转型有着重要的推动作用。但风能是完全依赖着自然环境从而生产电能的一次能源，对环境的依赖性很高。风能技术在一定程度上存在着自身缺点，阻碍了风能利用的发展，也给能源转型带来一定挑战。

风电系统建设难度大。中国风力资源主要分布在“三北”地区风能丰富带、东南沿海地区风能丰富带以及内陆局部风能丰富地区^①，青藏高原地区虽然风能

① 全国风能资源区域分布情况及区位现状分析

密度相对较高，但空气密度小，有效风能密度低。我国风能系统建设存在风能分布不均的问题，连接电网的难度较大；日本风能由于东部大地震、海啸、福岛核电站事故给日本带来很大的能源损失，海上风电风险依旧很高，为解决能源供应稳定性的问题，日本风能建设依旧面临较大挑战；俄罗斯由于地理环境、风能的可用性、投资匮乏等原因造就了风能起步十分困难，难以构建基本风力发电系统；韩国的风力发电占比仅占新能源发电的 1.1%^①，从比例来看韩国风力发电系统建设具有很大的挑战性。

电机稳定性低。在我国，对于“三北”大多数为平原的地区来说，沙尘天气、秋冬季低温对电机的磨损与消耗很大，影响电机寿命。日本海上风电具有很大优势，但天气原因使得风力发电机的磨损以及消耗增多，风能带来的能源稳定性很低；俄罗斯的寒冷天气需要有抗寒性能优秀的电机。

蓄电池使用寿命低。风光互补发电可以有效的解决一些气候比较恶劣的环境的供电问题，但恶劣环境变化的不确定性很大，难以预测。蓄电池也有可能亏电，或者因恶劣天气影响导致电池受损，若是有极端大风天气还会导致风机磨损。

装机容量小。风力发电对环境的依赖度很高，且能源转型对电力需求很大，因此这也是一个重要的参考指标：

表 3. 2020 年风能装机容量

国家	中国	日本	俄罗斯	韩国
装机容量	282.0	4.2	0.9	1.6
世界占比	38.5%	0.6%	0.1%	0.2%

注：单位（吉瓦） 数据来源：BP

虽然从整体上看东北亚地区风能装机容量达到了 39.4%，但从国家角度来看中国装机容量占了绝大部分，其他国家的装机占比还是很小的，东北亚在对新能源需求量很大的情况下，各国的风能装机容量一定要保证国家电力供应稳定。

太阳能是通过太阳光线放射的辐射能，太阳能的应用技术是通过对辐射能的吸收利用使其转化为电能和热能；自地球上生命诞生以来，就主要以太阳提供的

^① 数据来源：韩国能源信息系统, http://www.ksesis.net/sub/subChartEng.jsp?report_id=40209&reportType=0.

热辐射能生存,但对太阳能真正的利用和研究是人们意识到能源短缺和环境问题之后才开始。太阳能具有易得、清洁、无害等优点,对东北亚地区摆脱对化石能源的依赖、顺利能源转型有着推动作用。

太阳能的环境依赖性。与风能类似,太阳能也是非常依赖自然环境的一次能源。当地气候的好坏直接影响着太阳能的利用效率,如中国年水平面总辐照量地区性差异较大^①;日本的地震、海啸等自然灾害以及俄罗斯的低温对发电板的伤害,都是导致太阳能利用受阻的一个因素。

太阳能利用设备的污染。太阳能本身不会对环境有太大的污染能力,但太阳能利用设备会对环境造成一定的污染。例如,太阳能板寿命一般在3-5年,更换下来的太阳能板上的晶体硅和产生的四氯化硅难以被自然分解,反而会给环境带来负担。

装机容量小。与风能面临的难题相似,目前东北亚区域太阳能的装机容量小,以及太阳能本身的不稳定性,通过完全依赖太阳能实现能源转型还有些困难。。

表 4. 2020 年太阳能装机容量

国家	中国	日本	俄罗斯	韩国
装机容量	253.8	67.0	1.4	14.6
世界占比	35.9%	9.5%	0.2%	2.1%

注:单位(吉瓦)

数据来源:BP

2.2.2 其他清洁能源发展低速

在清洁能源中,除了太阳能和风能之外,其他新能源技术也在能源转型中起到了辅助的作用。根据 EMBER《2022 年全球电力评论》,其他清洁电力发电量在 2021 年停滞不前;根据《BP 世界能源统计年限 2021》,除太阳能风能以外的可再生能源 2020 年增长率是 5.3%,东北亚地区的其他清洁能源发电量对世界其他清洁能源发电量具有正向的带动作用。

^① 2021 年中国风能太阳能资源年景公报,中国气象局。

表 5. 其他清洁能源发电量与增长率

	中国	日本	韩国	俄罗斯
2019 年发电量	112.7	32.2	14.9	0.5
2020 年发电量	135.5	34.9	17.3	0.5
增长率	19.9%	8.1%	16.4%	-1.8%

注：单位（太瓦时）

数据来源：BP

在其他清洁能源中，核电技术是可利用性高，是较有优势的清洁能源，在这几年的应用逐渐被更多国家重视起来，但核电的污染、废料的处理以及核事故等问题依旧存在，并且核能利用具有不透明、不稳定性；水电也是清洁能源中利用率很高的能源，但由于发电成本高、气候干旱以及强大气流等原因，东北亚地区水电利用增长率不太乐观。截至 2020 年，韩国水电增长率是-21.2%，中国水电增长率是-1.64%，日本为 0.29%，俄罗斯为 0.99%，这些原因干扰了水电项目的投入和进展^①；生物质能、地热能等清洁能源发电与能源利用技术的占比微乎其微，发展缓慢。除风能、太阳能之外，其他清洁能源的发展速率较低，还需研究开发。

2.2.3 碳捕获、利用与封存与氢能技术推进缓慢

能源转型中，如何降低碳排放成为碳中和的一个发展重点。碳捕获、利用与封存和氢能技术为实现碳排放提供了切实可行的方法，碳捕获、利用与封存（Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS）是应对全球气候变化的关键技术之一；氢具有燃烧热值高的特点，是汽油的 3 倍，酒精的 3.9 倍，焦炭的 4.5 倍，氢燃烧的产物是水，是世界上最干净的能源，能够为可持续发展提供强有力的动力。碳捕获、利用与封存技术和氢能技术的推广加速着碳中和的脚步，扫清碳捕获、利用与封存技术与氢能技术发展的障碍，有助于推动能源转型，推进碳

^① 数据来源：Renewable energy, Our World in Data.
<https://ourworldindata.org/renewable-energy#hydropower-generation>

中和进程。

东北亚地区对化石能源有着很高的依赖性，对碳捕获、利用与封存技术的重视程度很高，但目前的碳捕获、利用与封存技术并未成熟且大面积使用与推广。第一，高成本是阻碍碳捕获、利用与封存技术的重要原因，碳捕获、利用与封存技术成本主要产生在二氧化碳捕集环节^①，技术成熟可以克服高成本的问题，因此，加快碳捕获、利用与封存技术更新换代以降低投入成本；第二，二氧化碳封存容量的大小也决定了碳捕获、利用与封存技术的推广，二氧化碳的三种捕集技术在实际应用中由于地形原因还是会存在泄漏风险。

虽然各国目前氢能技术处于初步的发展期，但对氢能技术的关注与日俱增。氢及其衍生物在难以减少排放且替代解决方案不可用或难以实施的行业——重工业、航运、航空、重型运输——脱碳中发挥了重要作用。

由于东北亚地区在能源消费上依赖化石燃料，对氢能的应用是以灰氢为主^②，灰氢的成本也相对较低，但灰氢生产时还是会伴随温室气体排出，对环境造成一定的污染；另外，为减少氢能生产带来的二氧化碳排放所使用碳捕集技术，生产的氢燃料成本高于其他燃料。

2.3 能源转型政策法规有待完善

能源政策是能源体系发展的重要支柱，对能源消费有着方向性的引导作用。能源政策能够在不同层面上保证能源安全，在能源转型中，能源政策的设计更加重要。在“双碳”目标的监督下，对能源利用转型的同时，也需要对相关政策进行完善，做好对新能源技术的顶层设计，促进能源顺利转型。

2.3.1 能源安全政策还需更新

自然灾害和政府干预是导致能源问题发生的两大原因，能源安全可以包括供给多样性、能源系统的弹性、能源一体化以及能源信息的获得^③。完善的能源供

① 贾子奕,刘卓,张力小,郝岩. 中国碳捕集、利用与封存技术发展展望[J]. 中国环境管理,2022,14(06):81-87.

② 灰氢：是通过化石燃料（例如石油、天然气、煤炭等）燃烧产生的氢气，在生产过程中会有二氧化碳等排放。目前，市面上绝大多数氢气是灰氢，约占当今全球氢气产量的95%左右。

③ Ensuring Energy Security[J]. Foreign Affairs,2006,85(2).

应链能够确保能源的可获得性，从而保证能源的供应安全；健全的能源系统则保障了国家拥有应对自然灾害以及政府干预所带来的能源损失的能力；清晰的能源信息平台、明了的能源数据则能够确保国家对能源的分析、报告精确无偏差；完善的能源监管体系能够明确能源事件的责任以及防范能源问题的隐患。这些都是完善能源安全体系的构成因素，因此，拥有健全的能源安全政策对国家能源发展有着重要的意义。

表 6. 中日韩能源转型目标

	基本目标
《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》	<ul style="list-style-type: none"> • 到 2025 年，非化石能源消费比重达到 20% 左右，单位国内生产总值能源消耗比 2020 年下降 13.5%，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2020 年下降 18%，为实现碳达峰奠定坚实基础。 • 到 2030 年，非化石能源消费比重达到 25% 左右，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 65% 以上，顺利实现 2030 年前碳达峰目标。
《第六次能源基本计划》	<ul style="list-style-type: none"> • 新的战略能源计划关键主题是展示能源政策的路径实现到 2050 年碳中和（2020 年 10 月宣布），并减少温室气体排放，同时继续努力在挑战削减 50% 的减排目标（2021 年 4 月宣布） • 克服日本的能源供需结构所面临的挑战。在安全的主要前提下，在促进气候变化为主要对策的同时，努力提高能源安全和能源的经济效率（S+3E） • 战略能源计划主要包括：①福岛第一核电站事故后过去十年的进展；②到

	2050 年实现碳中和的挑战和应对，以及；③展望 2050 年对 2030 年的政策应对
《2050 年碳中和情景》	<ul style="list-style-type: none"> • 在工业领域，提议引入氢还原法，将水泥、石油、化学和炼油过程中使用的化石燃料和原料转化为可再生燃料和原料 • 在建筑/交通部门，提高建筑的能源效率（零能耗建筑、绿色改造等），将零排放车辆的供应扩大到至少 85%，扩大公共交通和个人出行的使用，并转变为环保交通模式 • 在农牧渔业领域，包含了通过减少化肥、改良耕作方式、分配低碳/无碳渔船、管理低碳排放等措施，最大限度地减少农田和渔业温室气体产生

中国在 2023 年先后发布了《2023 年能源监管工作要点》《能源行业信用信息应用清单（2023 年版）》和《2023 年电力安全监管重点任务》，构建了新一年能源国家能源安全、安全生产、市场秩序以及责任担当等目标；日本在 2022 年 3 月 19 日与印度宣布了“印日清洁能源伙伴关系（CEP）”，合作领域包括风能太阳能、清洁煤技术等多个领域；韩国在 2021 年宣布计划开发氨和氢作为火力发电的原料，逐步淘汰化石燃料，并最早在 2030 年将其引入燃料组合。东北亚国家目前能源消费模式是化石能源依靠进口并且大力发展清洁能源。在能源转型时期，东北亚国家如何顺利达到碳达峰、实现碳中和还需能源安全政策随能源转型进程而更新。

2.3.2 清洁能源立法有待健全

清洁能源立法是为了更好的消费、监管与记录。在能源转型的道路上，东北

亚国家对清洁能源的立法也在逐步完善：中国的《可再生能源法》中对风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源进行了法律层面的规定，但新能源、市场监管和电力安全监管的相关法律法规还未进行完善；日本国会参议院 2022 年 2 月 26 日正式通过修订后的《全球变暖对策推进法》，以立法的形式明确了日本政府提出的到 2050 年实现碳中和的目标；韩国 2022 年 3 月 25 日发布了《应对气候危机的碳中和和绿色增长框架法》（简称《碳中和法》）当中对气候变化、气候危机、气候正义、公正转型等进行概念界定，并且明确了各方责任以及能源转型的目标、规划制定、危机处理等多条规定。

2.4 能源合作不稳定

为了加速能源转型、提高能源转型速率，地区性能源合作成为能源转型的一个重要组成部分，有效且稳定的能源合作能够加速地区能源转型，提高能源转型效率。目前，东北亚地区的能源合作推进困难，分析原因所在，能够加速实现碳达峰，为地区能源互联网构建打下基础。

2.4.1 能源合作模式单一

近年来，东北亚地区的能源合作主要体现在：中日绿色援助计划、中日清洁发展机制项目、中日友好环境保护中心以及中日政府间科技合作联合委员会；《中韩气候变化委员会》《中韩环境合作规划（2018-2022）》以及中韩气候变化合作联合委员会；多方能源合作有中日韩三国合作秘书处（TCS）、中日韩三国环境部长会议（TEMM）、空气污染三方政策对话（TPDAP）、中日韩核安全监管会议（TRM）。绿色发展的竞争、地缘政治因素以及清洁能源技术挤压导致中日、中韩的双边能源合作、多方合作停留在贸易与投资层面，清洁能源合作发展机制进行缓慢。作为能源消费大国，中日韩三国都是需要化石能源进口的国家，在化石能源消费领域一直是以竞争为主，为保证能源供应安全而存在能源竞争并且缺少协商。因此，在中日韩的双边和多边合作中，合作模式略显单一，政府间机制构建交流不够。

2.4.2 缺少有效的多边能源合作机制

有效的合作机制具有服务、制约、规范、惩罚、示范等作用^①，有效的能源合作机制能够服务各国能源发展、制约规范成员国的行为、对突出能源发展具有示范作用，保证区域能源发展的以及合作顺利进行。

有效的能源合作机制则需要对话和沟通、安全机制以及争端解决共同构建。目前的东北亚缺乏有效的能源多边合作，中日韩与俄罗斯的油气合作之间互相存在竞争，对于清洁能源发展东北亚地区并未形成沟通交流的机制。2016年提出的东北亚能源互联网倡议实行起来困难重重，不仅地区各国对能源互联网建设的热情不一，也存在地缘政治问题的制约。东北亚能源合作机制的缺乏是东北亚能源转型所遇到的重要挑战之一。

3 东北亚能源转型路径

能源转型之路充满艰辛，存在能源结构、能源技术、能源政策法规及合作等各种挑战。探索能源转型路径是东北亚地区顺利能源转型、加快实现碳达峰碳中和的选择。为实现碳达峰和碳中和目标，摆脱对化石能源的依赖是能源转型最重要的任务。在能源供应上，主动脱离化石能源，提高清洁能源比例，在保障能源供应安全的情况下实现能源结构的转型；增加清洁能源投入、扩大清洁能源占比为清洁能源技术发展和清洁能源部署提供前进条件，加快实现碳达峰碳中和的脚步；扩大能源合作领域，推进能源沟通渠道的多样化，构建能源合作机制的基础，等等，值得深入研究。

3.1 推动能源供应结构改革

东北亚国家化石能源消费占很大比例，能源结构的改革对东北亚能源转型具有根本意义，有助于碳达峰的加速实现，并为实现碳中和打好前期基础。绿色低碳的能源供给结构能够降低二氧化碳的排放，促进绿色低碳经济的发展，打造绿色低碳良性循环。

^① 张健. 东北亚能源合作的路径研究[D]. 吉林大学, 2019.

3.1.1 减少对化石能源的依赖

为减少对化石能源的依赖，首要任务是要逐渐减少化石能源的发电占比，节能减排是优先方针。由于无法在短时间内完全用清洁能源代替化石能源，因此加大清洁煤的部署，坚持煤炭高效利用，增加碳捕获在发电和工业领域的应用，减少二氧化碳的排放；逐渐降低化石能源消费比例，在保证能源供应安全的情况下降低化石能源利用占比，做好化石能源与清洁能源的互补，逐渐控制化石能源汽车的生产，保证交通体系的低碳发展；限制高碳排放项目的立项并且严格监管，对不符合规定的项目进行禁止^①；加快对传统化石能源产业的改造与更新，推动传统产业体系向简约、低碳升级，可以提升能源的利用效率和节能化升级。

3.1.2 提高清洁能源发电占比

就目前清洁能源发展情况来看，风能、太阳能的部署与应用，影响着能源结构的重塑与改革^②，且风能、太阳能的开发利用比化石能源开发成本更低廉易得，因此，扩大以风能太阳能为主的清洁能源发电占比，核能、氢能等能源为辅的清洁能源发电模式，是化石能源向清洁能源的过渡衔接。对于陆地风能来说，在有效的风能密集区域大力部署风能电机，保证高效利用有效风能；对于风力条件较差、有效风能密度低或者环境恶劣的地区采用风光互补发电方式，确保不同环境的发电独立性。对于太阳能发电而言，增加太阳能板的使用比例是扩大太阳能发电的直接渠道，根据周边的地区特点和优势等条件来提高部署，推广先进太阳能技术应用的示范效应，从而促进太阳能立项，扩大太阳能的应用。

核电的应用虽面临着各种争议和巨大的挑战，但仍是重要的清洁能源，有着推动能源结构改革、实现发电脱碳的巨大潜力。在能源转型中推动国家科技重大专项工作，落实先进核能示范建设，提升核能未来的利用占比；对于水电、生物质能等其他清洁能源的发展来说，不呈现发展负增长、稳中求进是目前发展的第一要素。

① 曾诗鸿,李根,翁智雄,李腾飞. 面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J]. 环境保护,2021,49(16):26-29.

② 2022 年全球电力评论

3.1.3 推进低碳产业结构建设

东北亚能源转型应充分发挥市场在配置资源上的决定性作用,推动能源投资的多元化、构建公平的竞争机制等,从需求的角度出发,在保障能源供应安全的前提下建设多元化的能源供给体系^①;应打造高效且清洁的能源消费体系,发展清洁能源交通,加快提升建筑能效水平、优化用能结构,推进工业、电力等产业的低碳化,加大对城市清洁能源交通体系的投入,促进能源消费体系的减碳^②;重塑能源安全体系,增加电能装机以及电池的容量,构建清洁能源电力信息互联网络,确保电力供应安全和保证在大面积停电时以及需要电力调整时信息互通不闭塞,制定事故处理办法,能够对地震、台风等自然灾害造成的损失以及修复方法做出记录,增加能源安全体系的应对伤害的弹性。

能源结构的重塑与改革无法一蹴而就,欲速则不达,转型过程中需要提升清洁能源和化石能源消费,规划化石能源和清洁能源的有效衔接,以便为清洁能源的留出进一步开发的空间。

3.2 推动清洁能源技术发展

针对东北亚地区实现“双碳”目标时间紧、任务重的问题,应加强脱碳技术的创新以及全局性部署,实施清洁能源对化石能源的替代,加大对清洁能源技术的投入,增加清洁能源项目的立项推动清洁能源布局;进行技术创新,推动建设技术革新的示范区,做好技术创新的带头作用。

3.2.1 增加清洁能源技术投入

保障对清洁能源各种支持与投入,清洁能源发展才能够拥有可行性动力。增加清洁能源的资金投入,加大清洁能源技术设备的布置,扩大清洁能源技术创新实验空间,完善技术更新的相关配套设施,构建清洁能源创新技术设备体系;增

① 曾诗鸿,李根,翁智雄,李腾飞. 面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J]. 环境保护,2021,49(16):26-29.

② 李世峰,朱国云. “双碳”愿景下的能源转型路径探析[J]. 南京社会科学,2021,(12):48-56.

加大对人才的引进，保障风能、太阳能、核能、CCUS、氢能等清洁技术创新人才的多样化。加大对清洁能源创新技术的人才培养以及对人才管理的精细化，加大对经济、人才和设备这三方面才能够不断推动能源技术的创新，构建完善的清洁能源技术体系，保证技术不断革新从而构建新的电力系统，促进能源转型。

3.2.2 推动清洁能源技术创新

在能源转型进程中，东北亚地区主要是以碳捕获、利用与封存技术和氢能技术进行脱碳，以风能和太阳能发电为主的清洁能源，进一步开发核电从而逐渐代替化石能源发电以及对水电、生物质能等其他清洁能源的创新。

在风电的创新上，应克服东北亚地区风能受环境影响、风力分布不均、装机容量小的特点，为提升风能对环境的能力，增加风力发电的稳定性和安全性。

提升风轮的控制技术，有效增加风电的转化率。自然界的风速不是固定不变的，功率也在不断的变化。根据风力大小不同对发电机的功率与当时风力匹配，能够使风力得到最大化的应用，保持风力发电机在最佳状态，保持最大的发电率。在风力分布不均的情况下，电网一定会受到影响。为应对风力不均的情况，应对电网的安全水平有一个严格的要求，构建高效的国家风能管控系统，对不同地区风能进行有效检测，提升应对突然的自然灾害事件的能力，保障风电供应的可靠性；充分利用大数据在风电供给侧构建“智慧电源”，做好地方“智慧电源”和国家“智慧电源”的连接，促进风电技术和科技的良性发展关系，构建一个“地方—国家”的智能风电体系。在环境恶劣的地区构建风光互补发电机并联入“智慧电源”，在保证电力的有效供应的前提下能够对电机损耗进行实时数据记录，实现对风能的消耗、利用的有效管理^①。针对装机容量小的特点，可以增大单机容量，对单机风能实行存储，在实现风电存储的情况下能够适当降低风电成本，提高风能的使用率，提升风能的经济性；利用东北亚地区丰富的海上风力资源，加大海上风电的利用，促进风电技术多元化和风电系统的弹性^②。

太阳能属于可再生能源，资源丰富，发电运用灵活，不受资源和地理位置的限制。“太阳能+储能”的发电模式能够为解决太阳能不稳定提供解决方案，提升太阳能发电的稳定性和适应环境的能力。对太阳能进行大规模并网，成立光伏

① 秦永军. 新能源风力发电技术及其发展趋势分析[J]. 科技创新与应用,2022,12(19):162-165.

② 张明. 风力发电及其技术发展探讨[J]. 中国设备工程,2022,(04):200-201.

发电站,对太阳能发电效率进行检测管理,保证光伏发电系统运转的流畅性和完整性;扩大居民建筑太阳能发电以及微电网的应用范围,保证太阳能发电的高应用占比;完善扩大建筑光电产业基地的建设,完善太阳能发电自主创新的能力,能够对太阳能创新应用具有示范性。

在东北亚能源转型中,核能在清洁能源的发展中发挥着重要作用。提升核电安全水平,以减少核电事故的发生概率,对核燃料的后处理技术的革新有助于提高核电的安全性。国际上提出了后处理高放废液分离和全分离两种方案,全分离的方案是对 PUREX 流程的改进,后处理高放液分离能够基于现有的后处理厂来进行改造建设;应用快堆燃料循环技术,由于快堆燃料的燃耗很高,其释热率与放射性也很高,应用干法后处理的优势在于试剂具有更好的耐辐射性能,具有防扩散、经济性的特点,相关设备操作起来也比较简单^①。

为减少二氧化碳的排放,近年来碳捕获、利用与封存技术受到了世界的重视。对于以化石能源为主的能源结构来说,东北亚地区发展碳捕获、利用与封存技术可以快速帮助地区实现碳达峰以及能源结构的转型。但在发展阶段,碳捕获、利用与封存技术存在捕集经济型、封存安全性、创新性强、建设周期长等难题。因此,在二氧化碳捕集阶段,进行低能耗吸收剂的研发、捕集工艺优化及热集成技术以及燃烧前捕集技术的研发推进更新;对于二氧化碳的运输,应积极推动二氧化碳管道示范工程建设,建立适合地方和符合本国的管道标准体系;在二氧化碳的封存上,选择合适的封存地点、设计适宜的回注方案以及对二氧化碳的泄漏监测是关键^②。

氢能产业链分为制氢、储氢、运氢、用氢等环节。制造氢能的来源很广泛,可以从化石能源当中制氢,也可以从清洁能源当中制氢,既可以化石能源终端消费清洁化,也是实现碳中和的关键能源。但氢能技术存在着成本高、基础设施不足、技术发展偏滞后等特点。在氢能的创新上,灰氢的比例逐渐降低,依赖风能太阳能所产生的绿氢就成了以后制氢的主流,在海上风能资源丰富的东北亚,利用海上风电系统的制氢能够降低风电的运输成本^③;储氢的方式主要分为气态、液态、固态储氢以及氢基化合物储氢,有机液态储氢,醇类、甲酸、合成氨储氢等,高压气态储氢的成本低、技术成熟以及充放氢速度快因此是目前都将是主要

① 黄洁丝. 论我国核燃料循环技术发展战略[J]. 现代商贸工业,2022,43(16):232-234.

② 胡其会,李玉星,张建,俞欣然,王辉,王武昌,殷布泽,龚霖昱. “双碳”战略下中国 CCUS 技术现状及发展建议[J]. 油气储运,2022,41(04):361-371.

③ 孟翔宇,陈铭韵,顾阿伦,郭新国,刘滨,周剑,毛宗强. “双碳”目标下中国氢能发展战略[J]. 天然气工业,2022,42(04):156-179.

的储氢方式，单位质量储氢密度比较高的低温液态储氢和氢基化合物储氢，都能够达到 5.0% 以上，因此在未来随着关键问题的解决而得到推广；在氢能的应用上，氢燃料电池汽车是氢能应用的发展重点，增加氢能的应用场景与消费环境，构造氢能需求市场促进氢能技术创新以及氢能体系的发展^①。

3.3 推动能源合作机制建设

目前，东北亚能源合作方式单一，政治互信不足，地缘政治竞争强烈。但在碳达峰和碳中和的推动下，又出现了东北亚能源合作的新契机。若抓住此次能源转型带来的新机遇，明确东北亚能源合作的目标，根据地区能源消费的特点以及各国的能源需求情况，减少能源安全的威胁，通过互利合作弱化地缘政治的影响并且确认构建合作机制的制度性合作基础，有助于逐步实现东北亚能源互联的目标。

3.3.1 减少能源安全威胁

中日韩三国的能源结构极为相似，以依赖化石能源为主，开发清洁能源，能源供应安全是能源安全的首要威胁。俄罗斯的能源政策转向东方之后，丰富的化石能源供应能够缓解中日韩化石能源紧缺和依赖性的问题。能源供应的应对方式以及能源供应多样化在能源转型和能源结构重塑的今天，增加清洁能源的投入与合作，增加清洁能源的可获得性以及可用性，弱化中日韩的对化石能源供应的激烈竞争，保证能源供应的多样化，能够促进能源供应的可持续发展。

对于石油来说，中日韩三国的石油主要来自中东地区，但中东地区局势不稳定导致能源贸易充满了不稳定性。在俄乌局势的影响下，加强与俄罗斯之间的合作，促进能源供应链的多元化以保障能源贸易安全的弹性，将能源贸易中的竞争效应减弱，增强东北亚能源“供—需”结构的互相依赖性。

3.3.2 双边、多边能源互利合作

^① 邹才能,李建明,张茜,金旭,熊波,余晖迪,刘晓丹,王善宇,李轶衡,张琳,苗盛,郑德温,周红军,宋佳妮,潘松圻. 氢能工业现状、技术进展、挑战及前景[J]. 天然气工业,2022,42(04):1-20.

东北亚国家有各自的能源优势，能源互补性较高，能源合作收益要大于竞争收益。中国拥有着丰富的煤炭资源，日本的资本、科技与管理水平突出，俄罗斯拥有着丰富的煤炭、石油和天然气，能源优势互补有利于形成“东北亚能源市场”。

在 2022 年 9 月 3 日，日本经济产业省宣布在俄罗斯拉迪沃斯托克召开的东方经济论坛期间，签订了《日俄关于可持续能源领域合作的共同声明》，在双方会谈上，在节能与新能源、核能等现有合作之外，就推动氢、氨、碳捕获、利用与封存等相关合作达成一致。日本经济产业省计划之后与俄罗斯大型石油企业达成协议，推进日俄之间的快速合作。2017 年，在韩国“新北方政策”的推动下，韩俄关系不断加深，推动了韩俄之间天然气合作、炼油技术改造合作、核电合作，使得韩国造船业进入俄罗斯市场，体现了韩俄合作的规划性与系统性，俄罗斯的天然气获得新的合作方向，韩国的先进技术也获得市场^①，为韩俄能源深层次合作创造了机会。中俄作为战略协作伙伴，能源合作模式不断创新，成果多、范围广，中俄原油管道、中俄东线天然气管道、亚马尔液化天然气项目、田湾核电站 1 至 4 号机组等重大能源供应项目稳定运行，为两国能源贸易增长提供了持续、可靠的动力。据俄方统计，截至 2021 年 11 月底，俄罗斯通过中俄东线天然气管道向中国的供气量已累计超过 130 亿立方米。中俄政治互信不断深化，维护了地区稳定^②。

3.3.3 构建制度性合作基础

能源合作机制的建立不会一蹴而就。就目前的东北亚能源合作的进展来看，首要任务是要进行制度性基础合作，明确合作的原则和义务，构建能源数据交流互通机制。

没有规矩不成方圆，明确能源合作原则，保障能源合作的合理性。^①贸易互利原则，从东北亚的能源安全角度来看，保证能源供应，弱化能源供应的竞争，共同构建化石能源储备细则以及能源问题的应急机制；^②能源互补原则，东北亚各国在能源合作上“各司其职”，发挥各自的长处，优势互补，实现多方共赢；

^① 岳鹏. “新北方政策”提出以来韩俄北方合作的进程与挑战[J]. 东北亚经济研究,2022,6(06):57-71.

^② 中俄能源合作，一带一路能源合作网

③平等合作原则，各国一定要保持合作要在公平、合理的情况下进行，不能存在恶性竞争等问题；④能源主权原则，各国应以本国利益为首要出发点对本国的能源事务具有绝对的自主权，其他国家不能干涉。应构建地区性能源数据机制，如 IEA 和 OPEC，完整的能源机制不能没有区域能源数据的支持，及时向能源市场提供能源数据能够增加市场透明度，从而保证供需平衡。

4 东北亚能源转型的展望

尽管东北亚能源转型存在很多挑战和困难，但机遇与挑战并存。只要东北亚能源转型能够形成一个团结的整体，“能源互联”的愿景就有机会实现。

4.1 能源合作前景广泛

东北亚地区的能源转型状态是“能源竞争与能源合作并存”，但“能源竞争”占据主体。国家间地缘政治考量、能源国家主义等因素是造成能源合作项目停摆或无法实施的原因。因此，持续深化多元的能源合作，保证能源多样化供给，弱化地缘政治的矛盾，促进能源合作与良性竞争的外溢效应，为构建东北亚能源合作机制做好铺垫，东北亚地区的能源合作才有未来。

4.1.1 持续深化多元的能源合作

东北亚国家的能源需求有很大的互补性和互利性，已经初具能源多样化供给的雏形。在保证能源供应安全的同时，深化清洁能源技术合作交流，促进对化石能源的良性竞争，保持化石能源供应平衡，对清洁能源市场稳定发展、深化以市场为导向以政府为监管的能源合作、保证在良性竞争的同时避免出现垄断、极端化的效应具有重要作用。

东北亚地区的地缘政治和地缘经济的情况远比自然地理情况复杂，形成区域能源机制要更加困难。从能源合作的多元化来弱化地缘政治矛盾，能源供应目标、安全目标以及管理机制情况类似的前提下保持互补互利的能源合作，以求得与地缘政治因素的平衡。

4.1.2 能源合作的外溢效应

外溢效应的经济学解释是把社会成本大于私人成本的部分称为外溢成本,把社会效益大于私人效益的部分成为外溢效益。以欧盟的形成为例,从欧洲煤钢共同体到欧洲原子能共同体和欧洲经济共同体,再到1951年欧盟成立欧洲煤钢共同体的国家成本和经济成本造成了成本外溢,欧洲煤钢共同体的经济收益也具备效益外溢的条件,促进了欧洲原子能共同体的和欧洲经济共同体的形成。东北亚地区国家能源情况的互补性以及能源合作的互利性已经从化石能源和清洁能源合作上具备了成本外溢的效应,若能够良性竞争、保持能源合作的互信,其经济效益能够具备效益外溢的条件,从而促进区域能源一体化合作以及东北亚能源合作机制的构建。

4.2 构建低碳城市前景广阔

目前,东北亚能源正在向清洁能源转型,新能源汽车、太阳能热水器、可降解塑料袋等绿色环保的交通工具、家用电器等进入人们的生活。在碳达峰、碳中和目标下,不仅在能源转型上秉持着低碳原则,低碳理念也需要走近人们的生活和社会。

4.2.1 深化低碳理念对社会的影响

在广义的范围上,低碳理念包括了低碳发展、低碳经济等诸多定义。狭义的低碳理念单指低碳发展以及发展模式与方法,广义的低碳理念可将低碳理念的发展分为低碳经济、低碳社会和低碳世界三个阶段。

低碳经济是早期阶段,是减少经济发展中二氧化碳排放的主要目标。为了实现这一目标,国家需要制定明确的计划,以促进其经济发展中的低碳化,低碳旅游产业和低碳产业是低碳经济不可分割的组成部分,绿色复苏是一套旨在建立低碳经济的既定政策和措施。当低碳经济阶段完成后,低碳发展进入第二阶段,即低碳社会,其中包括低碳生活、低碳文化、低碳政治等。在这一阶段,政府应努力推广低碳生活方式和消费模式,如鼓励人们选择低碳运输模式,一旦一个城市在经济、日常生活、政治、文化等各个方面都实现了低碳的目标,它就可以被定

义为一个低碳城市。低碳社区是低碳城市的一个缩影，同样地，当一个社会的经济、日常生活和文化都达到了低碳水平时，它就会成为一个低碳社会。在世界上大多数国家成为低碳社会之后，低碳发展走向成熟，迈入“低碳世界”阶段。

4.2.2 更绿色的低碳生活方式

低碳生活方式是更加接近自然、更健康、更安全的生活方式。例如，尽量使用新能源汽车，使用公共交通或者使用自行车出行，减少交通方式的碳消耗；减少一次性用品的使用，一次性餐具、一次性塑料袋等，使用节能电器，在不需要电器工作时将其关掉，等等。低碳绿色的生活方式能够让生活更加节俭，低碳发展不仅仅是国家的事，更是关系到每个人。

5 结 语

本文就东北亚的能源转型问题进行了研究，从“双碳”目标的新要求进行分析，并且指出东北亚能源在新要求下转型所面临的挑战，从而分析东北亚能源转型的路径，并且得出以下结论：

东北亚能源结构具有互补性，有利于东北亚能源合作与转型，在保证能源供应安全的情况下推动清洁能源技术的创新，加深能源技术合作，构建能源技术交流的平台，能够促进能源技术的快速发展，进而弱化能源技术的成本问题，促进转型技术推广，实现从日常生活、工业体系再到整个社会的低碳转型，形成民众低碳意识强、工业体系绿色高效、社会生活低碳环保，从而加速实现碳达峰碳中和。

东北亚地区由于地缘政治问题并未形成整体的能源合作机制，可通过多元化的能源贸易弱化地缘政治的问题，但能源转型不是一蹴而就的，需要确认能源贸易的原则和义务，确保能源进一步合作的合理性，保证贸易中的良性竞争，在合作中逐渐显现外溢效应，实现政府层面对能源转型的合作交流，促进能源转型政策法规的颁布、落实，进一步促进地区能源转型“共同体”构建，更进一步促进东北亚地区碳达峰碳中和目标的实现。

参考文献

[1] United Nations. Carbon neutrality by 2050: the world's most urgent mission[EB/OL].[2022-6-29].

<https://www.un.org/sg/en/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-the-world%E2%80%99s-most-urgent-mission>.

Bertrand Cassorte.energy transition[M]. America :CRC Press, 2021. 124-125.

[2] Gürsan C.,de Gooyert V.. The systemic impact of a transition fuel: Does natural gas help or hinder the energy transition?[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2020,(prepublish).

[3] Lau Hon Chung,Ramakrishna Seeram,Zhang Kai,Radhamani Adiyodi Veetil. The Role of Carbon Capture and Storage in the Energy Transition[J]. ENERGY & FUELS,2021,35(9).

[4] Noussan Michel,Raimondi Pier Paolo,Scita Rossana,Hafner Manfred. The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition—A Technological and Geopolitical Perspective[J]. Sustainability,2020,13(1).

[5] Maria Mercedes Vanegas Cantarero. Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries[J]. Energy Research & Social Science,2020,70.

[6] Hu Yuan,Peng Zhou,Dequn Zhou. What is Low-Carbon Development? A Conceptual Analysis[J]. Energy Procedia,2011,5(C).

[7] Yacob Mulugetta,Frauke Urban. Deliberating on low carbon development[J]. Energy Policy,2010,38(12).

[8] Ensuring Energy Security[J]. Foreign Affairs,2006,85(2).

[9] 孙博. 碳达峰碳中和的科学内涵、价值意蕴和实践路径[J]. 厦门特区党校学报,2023,(01):75-80.

[10] 黄建,冯升波. “双碳”背景下,气候安全的内涵与战略研究[J]. 中国能源,2022,44(04):36-43.

[11] 常益敏. 党的二十大报告中推进“双碳”工作的逻辑进路、内涵要义与时代践履[J]. 环境与发展,2022,34(09):1-6+21.

[12] 刘菁婕. “双碳”目标下公众生态意识培养研究[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版),2023,20(03):28-32.

[13] 王婷,蔺洁,张汉军. 主要国家新能源政策进展及启示[J]. 全球科技经济瞭望,2019,34(06):9-15+62.

[14] 焦兵,许春祥. “十三五”以来中国能源政策的演进逻辑与未来趋势——基于能源革命向“双碳”目标拓展的视角[J]. 西安财经大学学报,2023,36(01):98-112.

[15] 梁栋,丛威,孙楚钰. 2023年美国能源政策展望[J]. 国际石油经济,2023,31(02):63-67.

[16] 施鹏飞. 中国风电产业发展现状和展望[A]. 国际清洁能源论坛(澳门). 国际清洁能源产业发展报告(2019)[C]. 国际清洁能源论坛(澳门):国际清洁能源论坛(澳门)秘书处,2019:54-80+582-583.

[17] 王静. 论太阳能在中国清洁能源之中的前景展望[J]. 化工管理,2019,(01):50-52.

[18] 韦新东,秦焯欣,张天阳,王禹崴. 太阳能区域供热发展现状综述[J]. 北方建筑,2021,6(03):29-32.

[19] 陈启卷,高功正,岳旭辉,耿大洲,徐磊. 水电与新能源机遇与挑战:波浪能发电技术研究进展[J]. 水电与新能源,2020,34(08):1-6.

[20] 寇林,马晨原,刘诚威,王现锋,旦增西洛,张灏,吴易洋. 中国水电新技术现状及前景展望[J]. 电站系统工程,2022,38(05):1-4.

[21] 杜伟,文腾. 《“十四五”现代能源体系规划》等多项政策出台 布局中国新型能源体系[J]. 国际石油经济,2023,31(01):9-10.

[22] 马超林. 新中国成立以来我国能源安全观及能源安全政策的历史演进[J]. 湖北社会科学,2023,(02):76-82.

[23] 曾诗鸿,李根,翁智雄,李腾飞. 面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J]. 环境保护,2021,49(16):26-29.

[24] 李世峰,朱国云. “双碳”愿景下的能源转型路径探析[J]. 南京社会科学,2021,(12):48-56.

[25] 范英,衣博文. 能源转型的规律、驱动机制与中国路径[J]. 管理世界,2021,37(08):95-105.

[26] 贾子奕,刘卓,张力小,郝岩. 中国碳捕集、利用与封存技术发展及展望[J].

中国环境管理,2022,14(06):81-87.

[27] 张健. 东北亚能源合作的路径研究[D]. 吉林大学,2019.

[28] 曾诗鸿,李根,翁智雄,李腾飞. 面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J]. 环境保护,2021,49(16):26-29.

[29] 秦永军. 新能源风力发电技术及其发展趋势分析[J]. 科技创新与应用,2022,12(19):162-165.

[30] 张明. 风力发电及其技术发展探讨[J]. 中国设备工程,2022,(04):200-201.

[31] 黄洁丝. 论我国核燃料循环技术发展战略[J]. 现代商贸工业,2022,43(16):232-234.

[32] 胡其会,李玉星,张建,俞欣然,王辉,王武昌,殷布泽,龚霁昱. “双碳”战略下中国 CCUS 技术现状及发展建议[J]. 油气储运,2022,41(04):361-371.

[33] 孟翔宇,陈铭韵,顾阿伦,郭新国,刘滨,周剑,毛宗强. “双碳”目标下中国氢能发展战略[J]. 天然气工业,2022,42(04):156-179.

[34] 邹才能,李建明,张茜,金旭,熊波,余晖迪,刘晓丹,王善宇,李轶衡,张琳,苗盛,郑德温,周红军,宋佳妮,潘松圻. 氢能工业现状、技术进展、挑战及前景[J]. 天然气工业,2022,42(04):1-20.

[35] 岳鹏. “新北方政策”提出以来韩俄北方合作的进程与挑战[J]. 东北亚经济研究,2022,6(06):57-71.

[36] 邹才能,何东博,贾成业,熊波,赵群,潘松圻. 世界能源转型内涵、路径及其对碳中和的意义[J]. 石油学报,2021,42(02):233-247.

[37] 韦新东,秦焯欣,张天阳,王禹崴. 太阳能区域供热发展现状综述[J]. 北方建筑,2021,6(03):29-32.

[38] 刘杰. 太阳能光伏发电系统及应用前景分析[J]. 新能源科技,2020,(09):31-34.

[39] 熊华文. 减污降碳协同增效的能源转型路径研究[J]. 环境保护,2022,50(Z1):35-40.

[40] 王静. 论太阳能在中国清洁能源之中的前景展望[J]. 化工管理,2019,(01):50-52.

[41] 马维唯. 国际太阳能发电产业现状及发展趋势[J]. 太阳能,2020,(01):5-12.

[42] 鲁博文,张立麒,徐勇庆,李小姗,罗聪,郭凡. 碳捕集、利用与封存(CCUS)

技术助力碳中和实现[J]. 工业安全与环保,2021,47(S1):30-34.

[43] 雷超,李韬. 碳中和背景下氢能利用关键技术及发展现状[J]. 发电技术,2021,42(02):207-217.

[44] 苗安康,袁越,吴涵,袁博鑫. “双碳”目标下绿色氢能技术发展现状与趋势研究[J]. 分布式能源,2021,6(04):15-24.

[45] 王双. 东北亚地区能源合作：问题、挑战及前景[D].上海社会科学院,2012.

[46] 田兰蓝. 东北亚国家能源安全评价与能源合作[D].福建师范大学,2018.

[47] 李霞. 东北亚区域能源安全与能源合作研究[D].吉林大学,2012.