

# 能源转型重塑地缘政治的逻辑与研究展望

杨宇<sup>1,2</sup>, 夏四友<sup>1,2</sup>, 金之钧<sup>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. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 北京大学能源研究院, 北京 100871)

**摘要:** 化石能源向可再生能源的转型将改变全球能源地缘政治的权力结构、国家关系, 以及地缘政治博弈的驱动因素, 对能源地缘政治产生深远的影响。本文在梳理能源与地缘政治渊源的基础上, 阐述能源转型重构地缘政治的内在逻辑, 并对能源转型地缘政治的研究进行展望。研究认为: ① 不同时代能源的内涵、属性, 以及与地缘政治关联的差异, 决定了能源地缘政治的表征及激烈程度明显不同, 导致能源地缘政治呈现明显的代际转换特征。② 能源转型将改变油气资源的地理依附性, 引发关键矿产争夺和可再生能源技术博弈, 重塑全球能源地缘政治格局和能源治理体系。其中, 关键矿产争夺和可再生能源技术博弈, 是能源转型重塑地缘政治的“因”; 而地缘格局重构是能源转型重塑地缘政治的“果”, 全球能源治理是应对因果变化所需要采取的行动与措施。③ 未来亟待加强能源转型重构地缘政治的理论与技术创新, 构建全球能源治理的路径与模式, 并加强“碳中和”背景下能源安全研究, 以更好地推动能源地理学科发展和服务国家能源安全重大战略需求。

**关键词:** 能源转型; 地缘政治; 关键矿产; 可再生能源技术; 地缘格局; 能源治理

DOI: 10.11821/dlxb202309012

## 1 引言

当前世界正处于百年未有之大变局, 叠加气候变化背景下全球性能源转型与“碳中和”行动, 全球能源市场、能源安全面临的风险呈现新特征。尤其是自2020年以来, 在COVID-19全球肆虐、大国地缘政治博弈加剧等因素影响下, 全球能源战略和供需格局进入深度调整变革期。以风能、太阳能等为代表的可再生能源以前所未有的速度和规模在逐步替代化石能源, 加速推进第三次全球性能源转型<sup>[1-2]</sup>。能源转型并非仅仅是能源利用和消费结构的简单替代, 其将广泛地拓展到社会、经济和政治等领域, 与权力、公平、能源治理、国家关系和利益分配等议题相联系<sup>[3]</sup>。能源转型将重建油气时代国家和地区之间的地理联系和依赖关系, 改变油气出口国和进口国之间的相互关系, 重塑新的国际能源权力结构和世界能源秩序<sup>[4-6]</sup>。然而, 2022年初爆发的俄乌地缘冲突, 冲击了全球尤其是欧洲雄心勃勃的能源转型计划, 凸显了能源安全在能源转型中的重要性。毫无疑问, 新旧能源交替期的全球能源市场动荡, 将对能源安全、能源贸易、国际能源合作与

收稿日期: 2023-02-08; 修订日期: 2023-08-13

基金项目: 国家自然科学基金项目专项项目(72348003); 国家自然科学基金优秀青年科学基金项目(42022007)

[Foundation: Special Fund of the National Natural Science Foundation of China, No.72348003; Excellent Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China, No.42022007]

作者简介: 杨宇(1984-), 男, 山东威海人, 研究员, 博士生导师, 主要从事能源地理与区域发展研究。

E-mail: yangyu@igsnr.ac.cn

通讯作者: 金之钧(1957-), 男, 山东青岛人, 中国科学院院士, 博士生导师, 主要从事能源发展战略研究。

E-mail: jinzhj1957@pku.edu.cn

能源治理等方面影响深远<sup>[7-8]</sup>。能源转型与地缘政治、区域冲突、国家安全等交织在一起,强化了能源转型地缘政治的复杂性,成为能源地理学关注的前沿热点问题。

20 世纪 70—80 年代,美国学者就指出开发和利用太阳能、风能等可再生能源对美国能源安全具有重要的战略意义,认为开发利用分散的可再生能源不仅可以降低美国的能源脆弱性和发生战争的可能性,还可以避免或缓解与化石能源消耗相关的国际能源危机,率先提出了可再生能源的地缘政治问题<sup>[9-12]</sup>。21 世纪以来,能源转型引发的地缘政治问题受到了政治学、国际关系学、地理学等众多学科的广泛关注<sup>[13-16]</sup>,尤其是来自德国、荷兰、比利时和卢森堡等国家的学者对能源转型的地缘政治进行了大量研究,成为该领域的代表<sup>[17-19]</sup>。2018 年 Scholten 主编了《可再生能源的地缘政治》(The Geopolitics of Renewables),该著作从化石能源资产搁浅的风险、既有能源大国和新兴经济体的双边能源关系、可再生能源基础设施发展和能源治理对策等多方面阐述了可再生能源的地缘政治及其对全球权力关系的潜在影响<sup>[20]</sup>,被认为是能源转型地缘政治研究的经典著作。同时,国际可再生能源署在德国、挪威和阿拉伯联合酋长国政府的支持下,召集成立了能源转型地缘政治全球委员会(Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation),旨在推动能源转型背景下的能源地缘政治研究。该委员会于 2019 年发布研究报告《新世界:全球能源转型与地缘政治》(A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation),指出能源转型将改变全球地缘结构和国际关系,也将改变冲突风险和地缘政治动荡的驱动因素,重构基于化石能源的地缘政治<sup>[6]</sup>。无独有偶,2019 年英国皇家国际事务研究所发布报告《未来石油需求的地缘政治影响》(The Geopolitical Implications of Future Oil Demand)指出,能源转型将削弱石油的地缘政治影响,改变以石油为主导的能源地缘政治格局<sup>[21]</sup>。通过梳理发现,学者们对能源转型地缘政治的研究主要集中在能源转型的地缘安全与冲突<sup>[22-24]</sup>、能源转型的地缘政治角色转换<sup>[15, 25-26]</sup>、能源转型重塑国家间关系<sup>[27-30]</sup>、可再生能源技术和关键矿产对地缘政治的影响<sup>[14, 31-33]</sup>和能源转型与网络安全<sup>[6, 34-35]</sup>5 个方面。

国内对能源转型地缘政治的研究起步较晚,目前仅有少数学者对能源转型地缘政治进行探讨。比较有代表性的观点认为能源转型与国家崛起之间存在互为条件的“正向关系”,全球能源转型正在引发国家间的新型竞争,产生新的“赢家”和“输家”<sup>[36]</sup>。能源转型完成后,能源地缘政治博弈将转移到与可再生能源利用高度相关的关键矿产领域和与电能使用紧密相关的全球能源互联网领域<sup>[37]</sup>。此外,能源转型将导致全球力量结构以多种方式发生变化,重新平衡国家间的关系;能源转型将缓解因能源引发的区域冲突,国家力量将变得更加分散,最终重构 21 世纪的能源地缘政治版图<sup>[38]</sup>。随着研究的逐步深入,有学者从资源控制权、贸易控制权、资本控制权和技术控制权构建了“地缘能权”理论,指出能源转型促进了能源地缘政治博弈的焦点由资源控制权和贸易控制权向技术控制权和资本控制权转变<sup>[39-40]</sup>。其中,颠覆性技术将带来新的能源替代,可再生能源技术控制及其空间转移将改变全球能源地缘政治格局<sup>[41]</sup>。

总结发现,尽管关于能源转型地缘政治的文献非常丰富,但现有成果以研究报告居多,研究方法多以历史资料和新闻热点事件的定性描述为主<sup>[6, 13]</sup>,系统性阐述能源转型重构地缘政治内在逻辑的研究相对较少。事实上,能源转型将推动世界能源地缘政治内涵及格局的调整,所引发的地缘政治内涵与发生机制都发生了深刻变化<sup>[42]</sup>。在全球化、信息化时代,能源转型引发的地缘政治较传统能源地缘政治更加多元化、综合化和复杂化<sup>[43]</sup>,基于化石能源的地缘政治理论与研究范式将无法适应能源转型地缘政治研究的需求,亟待构建能源转型重构地缘政治的理论逻辑。基于此,本文在梳理能源与地缘政治历史渊源的

基础上, 从关键矿产竞争, 可再生能源技术博弈, 能源秩序重组和全球能源治理4个方面阐述能源转型重构地缘政治的内在逻辑, 并提出研究展望, 以期丰富能源地理学的学科理论, 为能源转型地缘政治研究提供新视角。同时也为能源安全、“碳中和”行动、全球能源治理等国家重大战略决策提供参考。

2 能源与地缘政治的历史渊源

能源贯穿于人类社会发展过程的始终<sup>[44]</sup>。根据主导能源的不同, 世界能源史大致可分为前化石能源时代、煤炭时代、油气时代和可再生能源时代。能源兼具商品、金融和地缘政治等多重属性, 其中地缘政治属性取决于能源是否成为国家间权力、利益和安全博弈的媒介与载体<sup>[39]</sup>。不同时期的主导能源类型、资源特征、消费特征和运输特征明显不同, 所引发的冲突类型、地缘政治结构也存在显著差异, 能源地缘政治呈现出代际转换特征(图1)。

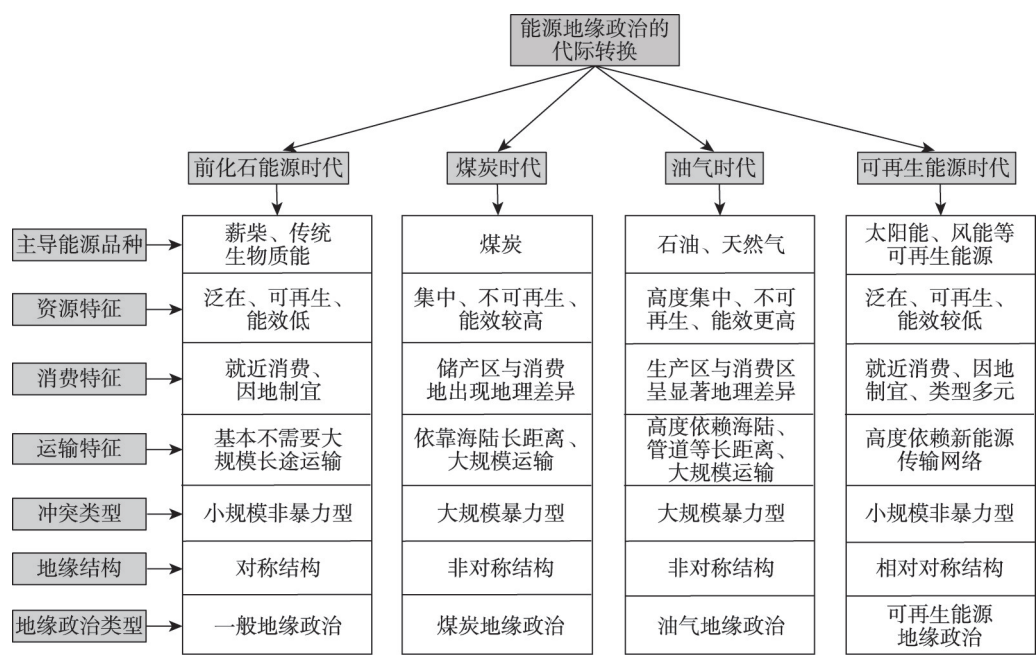


图1 能源地缘政治的代际转换

Fig. 1 The energy geopolitics transition between generations

2.1 前化石能源时代

18世纪以前称为前化石能源时代。该时代人类社会的主导能源主要涵盖生物肌力(包括人力、畜力)和薪柴, 这些能源主要依附于自然界的光合作用和植被生长, 具有泛在和可再生的属性。社会经济发展对能源总量和能量密度的需求极为有限, 各区域内出现的能源短缺问题, 往往与其他短缺问题重叠交叉, 并常常被其他问题掩盖。能源市场缺少通过长距离、大规模运输而连成一体的主客观动力, 因而并不存在覆盖全球的能源市场, 也就未形成影响和控制其他行为体的权力。因此, 该时期的能源尚不具备独立的地缘政治属性。



## 2.2 煤炭时代

18世纪中后期至20世纪中期为煤炭时代,该时代以煤炭为代表的化石能源开始具备地缘政治属性。工业革命以来,蒸汽机的发明带来生产力的重大跃迁,以煤炭为主的高密度、高能量能源成为支持工业体系运行的重要保障,主要工业化国家对煤炭的需求量急剧上升,1800—1940年煤炭在全球能源结构中的占比由1.7%上升到50.7%。然而,煤炭具有地理分布不平衡性,主要集中在少数国家和地区。煤炭主产区与消费区之间的地理错位现象,使得煤炭资源的供应安全在国际政治经济中发挥了重要作用。为满足经济社会发展对煤炭的需求,荷兰、英国、法国、德国等通过建立殖民地或排他性势力等方式,开采利用非洲、美洲和亚洲的煤炭资源,并凭借发达的长途海运优势运至母国或海外生产基地。这时期以煤炭为主的世界能源市场开始形成,地缘政治随着世界能源市场的深入发展而不断加深影响,煤炭在深层次上塑造着全球地缘政治格局。如英国凭借丰富的煤炭资源,及较大规模地开发利用,奠定了日不落帝国的地位。同样,在19世纪中后期爆发的普法战争,战胜方均提出对德国鲁尔区的占领,该地区正是德国乃至欧洲煤炭资源最丰富的地区之一,这极大彰显了这时期煤炭对国家间政治关系的塑造作用。总体而言,煤炭的不可再生性、供需之间的地理错位与其消费需求不断高涨之间的矛盾,赋予煤炭鲜明的地缘政治属性。围绕煤炭资源的地缘政治博弈形成了非对称、对抗性的地缘政治结构,这催生了煤炭地缘政治的基本逻辑。

## 2.3 油气时代

20世纪中期,世界经济进入战后恢复的黄金时代。油气作为能量密度和能源效率更高的能源类型,成为保障世界各国发展的战略性资源。在科技革命的推动下,全球经济发展对油气的需求剧增,1950—2000年石油和天然气在全球能源结构的比重分别由19.1%和7.3%上升到35.1%和19.7%。与煤炭相比,油气产消的地理集中度更高,全球油气生产和消费呈现“两带三中心”的地理分布格局。美国页岩革命和能源独立战略改变了全球油气生产格局,最终形成“中东—独联体”和“美洲”两大油气生产带。消费格局则涵盖了美国、日本、韩国和欧洲等发达国家(地区)以及中国、印度等亚洲新兴工业国,形成北美、亚太和欧洲三大油气消费中心<sup>[2]</sup>。从油气的资源特征看,油气资源具有不可再生性、地理分布集中性以及产消不平衡性,这些属性是催生油气地缘政治的基本逻辑,导致油气的地缘政治属性压倒性超越其商品属性而成为塑造世界政治经济格局的关键性要素。油气生产与消费的地理错配与贸易联系使得国际重要战略通道成为油气地缘政治博弈的筹码,马六甲海峡、霍尔木兹海峡、印度洋航线等全球重要的石油战略通道成为大国博弈的焦点。同时,随着石油市场与金融市场相互结合,石油的金融属性日益彰显。特别是1973年爆发第一次石油危机后,美国通过建立“石油美元”体系进而在全球范围内形成以石油定价权为战略支撑的金融霸权,美元成为唯一的石油计价与结算货币。在“石油美元”体系中,美元锚定石油,获得了在全球石油市场和金融体系中的主导地位,与国际政治经济,尤其是与国际石油政治和经济互为影响,形成了很强的联动性。20世纪80年代,西方国家全面控制了石油在现货和期货交易领域的定价权,“石油美元”也具备更多金融属性。全球石油市场与金融市场的联系更加紧密,成为美国维护自身霸权,影响全球政治经济局势和地缘政治关系的一项重要国际机制。毫无疑问,该阶段的石油已成为地缘政治博弈中的最大筹码。正如剑桥能源研究会主席丹尼尔·耶金所言,“石油与地缘政治之间的密切关系,是其他任何原材料都无法企及的。这一点在中东、俄罗斯、中国、拉美……乃至世界任何地区都可以得到证实”。在这样的逻辑下,深刻理解了石油与地缘政治的渊源,也就理解了美国的石油霸权、中东石油战争和美国

的“世界新秩序”,也就理解了“谁控制了阿拉伯—波斯湾的石油,谁就控制了全球的经济命脉”和“控制石油以控制世界经济增长,这就是地缘政治的核心问题”等著名的石油地缘政治论断。可以说,油气资源是国家发展和大国崛起的重要筹码,无论是血雨腥风的石油战争,还是没有硝烟的油气价格博弈,对抗性的油气地缘政治都被阐释得淋漓尽致,围绕油气资源、价格和金融衍生品等各环节,世界各国展开了激烈的对抗性博弈,成为大国地缘政治博弈的重要根源,形成了油气时代非对称的地缘政治结构。

值得注意的是,21世纪以来,石油定价被大量金融因素左右,处于历史上价格波动最为动荡的时期。在此背景下,各产油国为摆脱美元剥削开始尝试“去美元化”。如伊朗、委内瑞拉等产油国,已率先在石油交易中采用人民币结算,美国的石油美元霸权受到挑战。同时,在应对气候变化的背景下,相比石油的高碳排放,天然气是更清洁的低碳能源,是化石能源向可再生能源转型的过渡能源,2021年天然气消费在全球一次能源消费结构中占比为24.42%。2022年俄乌地缘冲突导致的能源危机使得国际社会更深刻地认识到能源转型的长期性和复杂性,推动了传统能源地缘政治博弈向天然气博弈倾斜。相较于石油地缘政治博弈,俄乌冲突凸显并加剧了俄罗斯、美国和欧洲在天然气地缘政治中的激烈博弈,并且波及到中国 and 亚洲等许多国家的国际能源合作,国际能源运输安全通道由霍尔木兹海峡等海上咽喉之争转移到“北溪-2号”等陆地天然气管道之争。

## 2.4 可再生能源时代

随着各国加大减排力度,可再生能源正在全球扩大应用,成为当今世界能源地缘政治格局演变的重要驱动因子。2000—2010年全球可再生能源的份额仅增长1.1%,但2010—2020年可再生能源增长速度加快,份额由7.7%上升到11.2%,增长3.5%。2021年国际能源署发布的报告《2050净零排放:全球能源行业路线图》指出,预计到2050年,全球能源需求中约90%的电力来自可再生能源<sup>[45]</sup>。这意味着,人类将在21世纪中叶进入可再生能源时代。与化石能源不同的是,可再生能源与地缘政治之间的关系将发生重大转变。一方面,相较于地理位置高度集中的油气资源,可再生能源的潜力遍布全球,地理分布呈现“去中心化”的特征。理论上,可再生能源的遍在性和广谱性改变了油气资源的地缘政治属性,也改变了化石能源时代争夺和控制能源本身的地缘政治逻辑,最终导致围绕霍尔木兹海峡、苏伊士运河和马六甲海峡等海运咽喉要道的地缘政治博弈得到缓解。另一方面,可再生能源兼具分布式与集中式的生产和消费模式,这种开发利用的弹性将改变油气资源的地缘政治冲突与博弈,在油气时代围绕中东和北非等地区的地缘政治博弈将得到缓解,石油美元的霸权体系受到挑战。总体而言,由可再生能源引发的地缘冲突以小规模的非暴力冲突为主,能源的对抗性博弈趋于缓和,地缘政治博弈将更加扁平化<sup>[4-5]</sup>,这有别于油气争夺引发的激烈对抗甚至区域战争<sup>[13]</sup>。但这并不意味着能源地缘政治的终结,可再生能源时代的地缘政治更加复杂化、多元化和隐蔽化。

可再生能源贸易极大地重塑了既有的世界能源贸易版图。从贸易产品看,可再生能源贸易表现为两种形式,一是太阳能光伏板等可再生能源工业制成品,这些制成品的贸易争端主要表现为经贸摩擦,并以关税壁垒、反倾销等手段为主。二是电力成为可再生能源的核心载体,风电、光伏等可再生能源大规模、大比例地介入电力系统,但可再生能源存在波动性、随机性和不可调度性等特点。因此,可再生能源电力的存储、间歇性及基础设施管理的技术及成本是导致能源地缘政治的关键市场因素。能源系统的电气化、网络化和智能化发展,导致网络安全成为可再生能源地缘博弈的新形式。从可再生能源技术所需的关键矿产来看,可再生能源技术所需的稀土、钴、硅等关键矿产具有稀缺性、不可再生性与新的地理依附性,这成为引发地缘政治博弈的关键,拥有这些关键

矿产的国家或将成为可再生能源地缘政治中的焦点。此外，资本与技术控制权在能源地缘政治中发挥越来越重要的作用，大国之间围绕可再生能源技术、基础设施和国际投资的博弈将得到凸显。总体而言，在可再生能源时代，能源地缘政治将被分散到新的技术、资本、关键矿产、基础设施等多个维度的博弈中，其地缘政治将更加多元化和复杂化。

3 能源转型重构地缘政治的理论逻辑

随着可再生能源的崛起，必须要重新审视以化石燃料为主的能源地缘政治<sup>[46]</sup>。能源转型将改变化石能源地缘政治博弈的焦点，重构基于化石能源的能源地缘政治<sup>[6]</sup>，亟需构建能源转型重构地缘政治的理论逻辑（图2）。油气地缘政治的核心逻辑是以资源控制为核心，无论是石油美元霸权，还是中东战争、海湾战争等武装冲突和油气贸易通道博弈等，都是直接或间接影响并控制资源的占有、贸易和运输等环节，进而塑造油气地缘政治格局。然而受能源转型影响，能源地缘政治的逻辑更加的多元化，拓展到关键矿产和可再生能源技术领域。

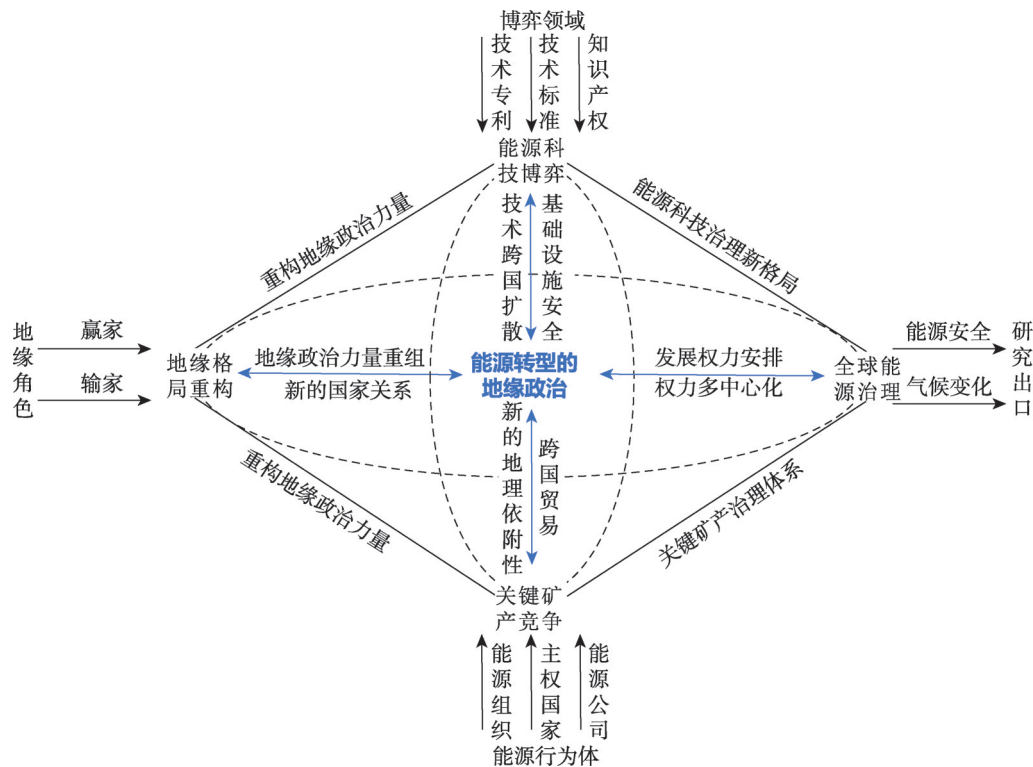


图2 能源转型重构地缘政治的逻辑框架

Fig. 2 Logical framework of energy transition reshaping geopolitics

尽管能源资源稀缺性在化石能源中引发地缘政治的逻辑并不适用于可再生能源本身，但这并不意味着能源地缘政治中的资源博弈消失。可再生能源发展依赖于稀土、锂和钴等关键矿产的大规模投入，这些矿产表现为不可再生、地理分布不均及不可替代等属性。这些属性本质上沿袭了油气地缘政治博弈的逻辑，将可再生能源时代的地缘政治



博弈嵌入到种类更加丰富、分布更加集中的关键矿产供应链之中。能源转型引发大规模的可再生能源装机需求将加剧关键矿产的争夺,并推动关键矿产供应链成为大国争相布局 and 能源地缘政治博弈的焦点。

能源技术进步是能源转型成败的关键。可再生能源技术的突破将拓展能源的品种,提升可再生能源效率,并降低开发与利用的经济成本。只有在技术经济方面实现对油气的全面替代,可再生能源才能够大规模地发展并推动能源转型。然而,并非所有的国家都具备技术研发的能力,国家之间在可再生能源技术研发上的差异,将直接影响其在全球能源市场上的话语权与控制力。因此,能源转型地缘政治博弈归根到底就是可再生能源技术的博弈,围绕可再生能源技术、专利、标准、知识产权、基础设施等的竞争将成为新一轮大国博弈的热点领域,并重塑全球能源地缘政治格局。

由关键矿产和可再生能源技术引发的地缘政治博弈将推动地缘政治力量重组和角色转换,这必将重构基于化石能源的地缘政治格局。为了防止关键矿产的无序争夺,缓解可再生能源技术博弈导致的地缘冲突,需要构建可再生能源时代的能源治理体系。基于此,本文从关键矿产竞争、能源科技博弈、地缘格局重构及全球能源治理4个方面阐述能源转型重构地缘政治的逻辑与路径。其中,关键矿产争夺和能源科技博弈,注重分析能源转型引发能源地缘政治权力的嬗变,是能源转型重塑地缘政治的“因”,地缘格局重构是能源转型重塑地缘政治的“果”,全球能源治理是应对因果变化所需要采取的行动与措施。

### 3.1 能源转型将加剧关键矿产的地缘政治博弈

能源转型改变了传统能源地缘政治所依赖的油气资源地理集中化与不平衡性,其引发的地缘政治已经不局限于能源本身,而是转移到与可再生能源技术发展密切相关的<sup>[37]</sup>关键矿产领域,使关键矿产成为能源转型地缘政治权力的重要来源<sup>[37]</sup>。

能源转型背景下,可再生能源技术的大规模部署催生了关键矿产的巨大需求。研究表明,在可持续发展情境下,2040年约90%的锂、70%的钴、60%的镍及40%以上的铜和稀土元素将被用于清洁能源技术<sup>[47]</sup>。然而,这些关键矿产的储量与生产能力相对有限,其供应将面临波动甚至中断的风险,关键矿产能否支撑未来能源低碳转型被视为全球重大挑战<sup>[48-50]</sup>。一方面,关键矿产表现出高度的地理依附性赋予其天然的地缘政治属性,多数关键矿产的开采和加工分布具有集中性,这种集中性甚至不亚于油气资源。在全球范围内,关键矿产的分布和供应高度集中在少数国家和地区,如中国供应了全球95%的稀土、87%的锑、87%的镁、85%的镓,美国供应了全球90%的铍,玻利维亚、智利和阿根廷构成的“锂三角地区”锂矿储量超5000万t,占比全球锂矿总证实储量超60%<sup>[51]</sup>。这意味着关键矿产供应链将受到少数国家的控制并可能导致“资源争夺”和地缘政治竞争<sup>[52]</sup>。另一方面,关键矿产的价格波动、资源国家的政治局势、国家间的地缘政治关系等都会对关键矿产稳定供应产生巨大影响,甚至会引发新形态的冲突和动荡<sup>[53]</sup>。刚果(金)是全球最大的钴矿生产国,贡献了全球70%的钴产量,但该国政局动荡、治理不稳定,导致全球钴上游供应扰动加剧。俄罗斯和乌克兰都拥有丰富的矿产资源,2022年俄乌地缘冲突爆发导致关键矿产资源市场价格飙升,并改变全球关键矿产市场的供需格局。

美国、欧盟等历来重视海外矿产资源开发与投资,近年来关键矿产资源外交也日趋活跃,企图通过构建关键矿产供应链协议、联盟推动关键矿产“政治化”“武器化”,这必然会加剧关键矿产的地缘政治博弈。此外,全球化时代关键材料地理分布不均所赋予的能源转型地缘政治已不局限于属地化,在关键矿产生产与消费的空间错配下,以关键矿产跨国贸易为代表的“流”空间在能源转型地缘政治中趋于明显<sup>[39]</sup>。关键矿产贸易控

制着全球矿产资源的再分配过程,影响国家间的关系,进而重塑可再生能源时代的地缘政治关系。基于关键矿产的能源转型地缘政治研究亟需从探究关键矿产新的地理依附性,到研究关键矿产全球贸易关系以及其不同组合关系的传导效应。

### 3.2 可再生能源技术是能源转型重构地缘政治的新焦点

重大能源技术变革将带来能源利用的迭代升级,将有可能改变从能源生产到消费的全链条权力关系。能源技术分为两类,一类是增强型能源技术,如美国页岩气为代表的非常规能源开发,其调节的是油气时代内各行为体之间的供需关系,地缘政治的逻辑尚未发生显著变化;另一类是颠覆性的技术创新,如石油加工利用技术、可再生能源技术、小型可控核聚变技术等,这些技术的控制权将直接改变油气时代所形成的地缘政治基础,改变一个国家/行为体控制和影响其他国家与行为体的能力。换言之,颠覆性的能源技术创新改变了当前能源地缘政治的游戏规则,从而塑造新的地缘政治格局。同时,能源转型并非孤立存在,而是与机器学习、区块链、云技术、物联网等数字技术结合起来并应用于能源生产、运输和消费等不同环节,建立更加智能化、互联化和去中心化的全球能源系统,将改变能源权力的分配过程。在这样的过程中,关键能源技术博弈将决定一个国家/行为体在全球能源产业链和供应链中的位势,塑造新的全球影响力。

具体来看,可再生能源技术对于地缘政治影响,表现为资源权力的分散化、地缘政治对抗的柔性化以及科技权力的集中化。首先,可再生能源技术将极大地突破油气时代的地理限制,改变油气地缘政治所依赖的主体及其地理空间<sup>[39, 41]</sup>。因可再生能源具有“遍地性”和“易获得性”,因此可再生能源本身作为地缘政治武器和工具的价值将大大降低。依赖于油气进口的国家可以通过可再生能源技术寻求更加多元化的能源替代以实现能源独立,降低其对油气资源国的依赖,改变其在油气地缘政治中的劣势。同时,一些可再生能源富集的国家可凭借可再生能源技术实现能源出口并成为全球可再生能源价值链的一部分,改善其能源外交策略并拓展战略空间。其次,能源技术创新将促使能源地缘政治的博弈方式从控制资源、贸易通道等“硬手段”向控制技术、标准、产业链等“软措施”转变<sup>[54]</sup>,这将减弱油气地缘政治的对抗性博弈色彩。可再生能源商业模式、核心技术及知识产权、技术标准和规范、健全的可再生能源产业链等控制权正成为国家参与全球竞争、占据优势地位的柔性工具。先发国家为维护其在全球能源市场的话语权,会设置涵盖生产、储存、转化等方面的可再生能源技术型贸易壁垒;后发国家因获取可再生能源技术将会对先发国家形成新的依赖关系<sup>[55-56]</sup>。

再次,掌握可再生能源关键技术的国家塑造其新的全球影响力,影响甚至控制其他国家的能源迭代。因此,对可再生能源关键技术控制权的争夺,成为大国能源转型地缘政治博弈的焦点,在中美之间尤为突出。能源转型背景下,中国正逐步摆脱油气时代的被动局面,成为全球最大的可再生能源技术研发国,并在太阳能电池板、风力涡轮机、电池和电动汽车等方面处于世界前列。无论是基于制造业的可再生能源产品领域,还是可再生能源技术研发领域,中国都具有重塑全球可再生能源版图的竞争优势<sup>[6]</sup>。然而,中国在核心零部件和关键技术等方面仍然落后于欧美等发达国家,如太阳能光伏板中,中国晶硅太阳能技术最成熟,占全球主要市场份额,但是美国在技术壁垒较高的碲化镉(CdTe)领域具有绝对优势。在光伏并网系统中,美国的微型逆变器等技术也远远领先于中国。可再生能源技术的竞争可能引发关键技术的寡头垄断并产生激烈的技术对抗,乃至政治制裁。这种情形在移动技术和芯片领域已有体现,中国华为公司遭到美国打压就是技术博弈引发政治与经济制裁的典型。

最后,能源转型是一项系统性工程,可再生能源技术发展将带来系列连锁反应并渗



透到其他安全方面。如能源转型将推动能源系统的电气化和网络化发展,使网络安全成为能源转型地缘政治博弈的新形式。在极端情况下,网络攻击可以造成电网在内的能源基础设施的运行中断、损毁或者破坏。因此,中国国家电网公司在竞购澳大利亚、德国、比利时等国家的电力基础设施时常以“国家安全”为由被叫停,这跟中海油并购优尼科的失败如出一辙。因此可再生能源关键技术发展,不仅仅会引发能源权力嬗变,其技术传递与扩散所产生的间接权力博弈也是能源转型重构地缘政治的重要体现。

### 3.3 能源转型重构化石能源所塑造的地缘政治格局

能源转型本质上是涉及国际能源利益和能源权势重新分配的能源系统重构,其直接的后果是重新分配地缘政治力量,导致地缘政治角色转变,产生新的“赢家”和“输家”<sup>[57-58]</sup>。从能源转型的政治经济属性看,能源转型意味着对可再生能源系统的大规模技术和资本投入,因此在可再生能源领域投入大量资金的行为体将会成为能源转型的领导者,逐步进入国际能源市场的中心。同时,对关乎能源利用效率的战略资源的提前布局与深度控制,将推动可再生能源领导者的崛起。有3类国家有望成为新的可再生能源领导者,第一类是可再生能源开发潜力巨大的国家,如智利、巴西等南美洲国家拥有丰富的太阳能、水能,未来有可能借助大规模的可再生能源装机和跨区域的电网基础设施实现电力的跨国贸易,成为全球可再生能源贸易网络中的新节点,成为能源转型“赢家”。第二类是关键矿产储量丰富的国家,如玻利维亚、蒙古和刚果(金)等这些在传统能源地缘政治中处于边缘地带的国家,将因可再生能源技术对关键矿产的巨大需求而受益,甚至有可能凭借资源优势形成垄断“卡特尔”集团,生产和出口大量可再生能源发电设备和关键矿产占据广阔能源市场,从能源转型中获得最大收益,提升这些国家的能源地缘政治影响力。第三类是可再生能源技术发展大国和经济体,如中国、美国、日本和欧盟等可凭借其掌控的可再生能源技术巩固并扩大全球影响力,成为全球能源转型的领导者。仅2022年上半年,全球可再生能源投资达到创纪录的2660亿美元,中国占比43%,成为该领域的“领头羊”。

而中东、北非、俄罗斯和独联体国家等高度依赖化石能源收入,在化石能源领域占据主导地位,在能源转型后将不可避免地失去其原有的国际优势,这既包括能源资源优势,也包括交通运输优势,还包括国际交易的制度机制优势等。原本由这些优势所衍生的国际特殊权益也将丧失,在国际能源市场上的地缘政治影响力将会被稀释。从国际层面看,能源转型意味着国家间能源权力关系的大规模重新调整,造成国际能源格局的剧变;从国内层面看,能源转型意味着那些原本拥有显著化石能源优势的国家,将不得不对国内能源行业进行调整,甚至会导致因能源转型迸发政治经济动荡的后果。为缓解能源转型造成的冲击,化石能源大国一方面固然可能加快在可再生能源领域的部署,以期在未来同样保持领先优势。另一方面,这些行业的游说团体干预国家层面的决策过程或通过各种方式阻挠能源转型,推动包括技术乐观主义在内的非变革性解决方案,以巩固、维系和尽量延长其传统能源强国地位<sup>[59]</sup>。通过地缘政治力量重组,最终形成新的国际能源新秩序和国家能源依赖关系。

### 3.4 全球能源治理是缓解能源转型地缘政治博弈的路径

能源治理是贯穿能源勘探、开发、生产、贸易和消费等过程的一系列规范、规则、制度和组织机构等集合,其核心任务是利益相关各方采取集体行动和切实可行的能源政策,防止能源相关问题扩散成为国际性危机<sup>[60-61]</sup>。从能源治理的内在逻辑看,能源治理是一个建立在地缘政治与全球市场两个逻辑之上的复合型体系,在能源转型的影响下,全球能源治理的内涵和外延发生变化,基于地缘政治和全球市场的能源治理的逻辑与路径将被重构<sup>[62]</sup>(图3)。

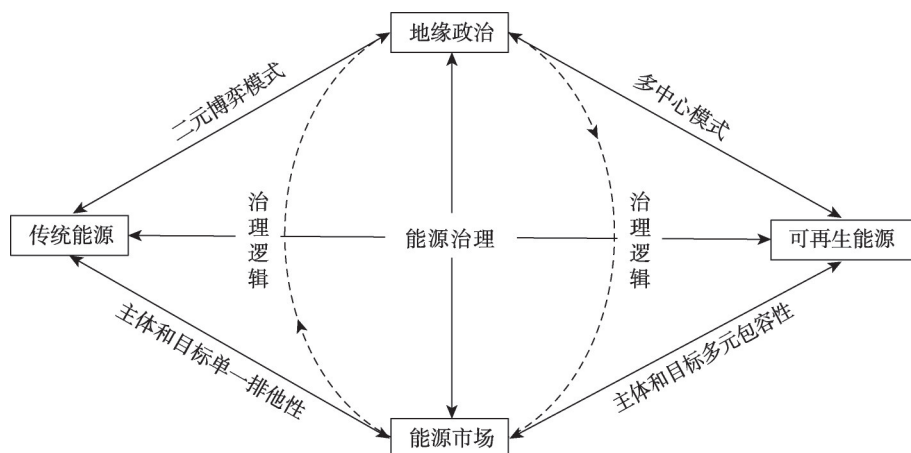


图3 能源转型重构能源治理的逻辑

Fig. 3 Energy transition reconstructs the logic of energy governance

首先，能源地缘政治贯穿了能源治理体系运行的全过程，基于地缘政治的能源治理一直在全球能源政治经济中扮演重要角色。在传统能源地缘政治视角下，全球能源治理的核心问题是由于化石能源的地理分布不均引发的能源生产国与消费国之间的权力关系安排，由此衍生出来的地缘政治博弈表现为“二元博弈”模式。相应地，化石能源治理面临消费和生产两大经济集团博弈、极端政治事件、跨境供应干扰等挑战，这些成为传统能源地缘政治的重要内容。其中，石油输出国组织（OPEC）和国际能源署（IEA）是全球最重要的两个以化石能源为核心的对抗性集团，在全球能源市场具有强大话语权，并围绕全球能源供应、能源贸易和能源价格等展开博弈。然而，能源转型将催生出国际太阳能联盟、全球地热联盟、可再生能源署等新的可再生能源组织联盟，这将直接削弱化石能源组织的功能，重构基于地缘政治的全球能源治理逻辑和路径，推动能源治理相关的地缘政治博弈转向“多中心化”模式<sup>[62]</sup>。尤其是在转型期，可再生国际能源组织和传统能源组织、可再生能源领导国与油气资源主导国、非政府组织、跨国油气公司与电网公司等围绕不同的能源权力形成多层次的相互交织、错综复杂的能源治理网络和新的权力博弈关系，这将会加剧能源转型地缘政治博弈的复杂性与多元性，重构全球能源治理体系与格局<sup>[40]</sup>。

其次，全球化时代的能源问题是超越国家边界的全球性问题，单个主权国家无法垄断能源合作开发的谈判、签约、开采、争端解决的全过程。随着推动能源转型以应对全球气候变化的深入推进，全球能源市场不断发展，能源贸易密集化、能源金融大量转移、能源产业和投资频繁扩张等趋势日益明显。基于市场化转向的全球能源治理体系也在不断演进，主要体现在多利益攸关方深度参与，以及市场路径下能源治理目标朝多元化和包容性方向发展。此外，可再生能源时代的全球能源治理体系不仅强调通过市场手段实现能源市场繁荣，还要通过市场机制探索兼顾弱势群体的公平性、可持续性能源转型路径。这在一定程度上推动可再生能源时代能源治理形成一个多元主体参与、治理目标多元的新格局。

#### 4 能源转型重构地缘政治的研究展望

通过正确识别能源转型的地缘政治风险并提供解决方案，可以推动能源公正、和平

和可持续的转型<sup>[63]</sup>。为了丰富可再生能源时代世界能源地理的学科内涵,推动能源转型地缘政治的理论与技术方法创新,同时服务国家“双碳”目标、能源安全与能源治理等重大战略需求,未来亟需加强能源转型地缘政治前沿领域的研究。

#### 4.1 能源转型重构地缘政治的理论创新

对能源转型重构地缘政治的理论创新不仅是可再生能源时代能源地缘政治研究的基础,还指引着世界能源地缘政治的研究走向。能源作为世界地理研究和地缘政治研究的核心要素,在全球能源转型的影响下,“能源”与“地理”的关系不断转变,这将重构建立在化石能源基础上的能源地缘政治理论模式与能源权力结构,推动能源地缘政治研究的内容、对象和科学问题等发生转变,为能源地缘政治赋予更多元、更丰富的理论内涵。同时,能源转型地缘政治作为世界地理学、地缘政治学、国际关系学及资源学等众多学科交叉的前沿领域。未来迫切需要从地理学空间与关系的视角出发,注重多学科的理论融合与创新,通过集多学科智慧,整合多学科理论来构建更加完善的以“地缘能权”及其关联为核心的理论体系,形成一套逻辑体系完备、理论解释力强的能源转型地缘政治理论框架。通过博众学科之长,从学理层面推动能源转型地缘政治的理论创新和理论构建,为能源转型地缘政治研究提供理论指导。

#### 4.2 能源转型重构地缘政治的量化分析与模拟

目前,复杂网络、大数据、卫星遥感、机器学习等技术方法已经广泛应用到全球油气地缘政治风险源、风险链和风险效应等研究。这些跨学科的技术手段能够有效监测和评估全球油气风险格局与地缘政治动向、油气贸易关系、油轮运输实时轨迹、可再生能源贸易网络关系等<sup>[64-67]</sup>。能源转型背景下,传统油气地缘政治与可再生能源地缘政治相互交织,博弈的主体日趋多元化,既包括油气生产国、消费国、国际石油公司、欧佩克和国际能源署等国际组织,也包括可再生能源技术和装备的进口国与出口国、电网集团等可再生能源公司和组织等。能源资源类型日趋多样化,既包括石油、天然气,也包括可再生能源技术发展所依赖的稀土、锂、钴、镍等多种关键矿产。风险传导过程日益复杂化,既包括直接的贸易关系、投资关系和政治关系,也包括间接的关键矿产产业链传导关系。权力的类型也不仅是某一种权力,而是表现为资源控制权、贸易控制权和技术控制权等不同权力的相互叠加,形成错综复杂的全球能源权力网络。在这样的复杂关联网络中,权力与风险的主控要素、关联机制与传导模式等往往牵一发而动全身。未来迫切需要集成地理信息科学、经济地理学、复杂性科学等多学科的方法,综合复杂网络、大数据探测、卫星遥感、机器学习等技术方法体系,整合基于统计数据和多源异构的能源地理大数据进行方法适用性改进,提升对多元化和复杂化能源转型地缘政治的量化分析能力,尤其是要提高面向未来的模拟和预测能力。

#### 4.3 全球能源治理的路径与组织模式

当前全球缺乏权威、统一和协调的能源治理框架,各能源机构间职权重叠、目的相悖,导致能源治理体系一直处于碎片化状态,难以适应全球能源安全面临的新挑战。一方面,能源转型背景下亟需构建全球能源治理的组织关系网络,刻画能源治理结构特征,识别全球能源治理网络的集团化结构与组织模式,并对构建更加公平合理的能源治理路径、方案等前沿议题开展研究,着力构建惠及全球的国际能源治理体系新机制和新格局。另一方面,全球能源互联网对建立新型能源治理格局将发挥全方位、根本性的战略作用。通过全球能源互联网能够促使全球能源治理中传统化石能源相关的治理功能弱化,治理主体与对象的多元化有助于功能各异的全球能源治理国际机制进行融合,建立有效的机制程序,协调各组织机构的政策与行动。为有效引领全球能源转型,未来亟需



推进全球能源互联网建设,加强全球能源互联网的模式与机制研究。同时,中国在可再生能源投资、技术、装机容量等方面位居全球前列,但目前中国相关国际能源合作尚缺乏实质的能源合作框架,在世界能源市场话语权和在全球能源治理体系中的影响力与其经济、政治的影响力不相称<sup>[68]</sup>。未来中国亟需深度参与全球能源治理,在全球能源市场中构建能源资源配置体系和能源合作体系,加强中国在全球能源治理体系中的影响力及其变化评估,构建中国参与全球能源治理的路径与模式。

#### 4.4 “碳中和”背景下能源转型对能源安全的影响

推进能源低碳转型与保障能源供给是关乎国家发展和安全的重大前瞻性問題<sup>[69]</sup>。随着全球“碳中和”目标的确立,能源安全更是体现出前所未有的重要性,能源安全将是长期存在的“敏感点”和“风险点”,也是容易被利用的地缘政治“杠杆点”,牢牢端稳能源的饭碗意义重大、影响深远。“碳中和”、能源转型和能源安全的关系密切且复杂<sup>[70]</sup>。一方面,推动“碳中和”行动和能源转型有望实现能源安全目标。“碳中和”背景下能源转型将优质丰富、清洁低碳的可再生能源转化为能源供应,促进能源系统向更经济、更环保和更安全的状态转型,对优化能源结构,建立多元化能源供应体系和保障能源安全意义重大。但另一方面,“碳中和”和能源转型也给能源安全带来新的挑战<sup>[42]</sup>。“碳中和”背景下能源转型推动能源安全观念从能源供应安全转向系统的安全观,能源安全朝着更加广阔的社会、经济、环境、气候等安全方向扩展,涵盖能源系统稳定、技术安全、网络安全、关键矿产安全、能源治理和国际合作等多个维度的系统安全。未来亟待加强“碳中和”行动和能源转型对能源系统安全的影响,从科学研究层面为实现能源安全提供战略支撑。

## 5 讨论与结论

### 5.1 讨论

能源转型与地缘政治是能源地理领域关注的热点话题。当前俄乌地缘冲突及能源市场的动荡对能源三角关系中的能源公平、能源安全和环境可持续性都造成了不利影响。能源转型会受到重大环境、经济和地缘政治事件的影响,这凸显了能源转型的复杂性、艰巨性与长期性。这些重大不利事件表明,必须实现有韧性的能源转型来提高其对变化的准备、适应、减缓能力,持续不断的政治、社会经济、环境破坏和冲击要求能源部门做出迅速且合理的决定和调整,以抵消风险和能源的脆弱性和不安全性,才能实现长期的气候目标与能源安全。

地理科学是自然科学和社会经济科学之间的交叉学科,对于能源转型和地缘政治这样涉及到环境、经济、安全和政治的综合性问题,更需要地理科学来开展相关研究工作<sup>[71]</sup>。同时,作为一个跨学科的议题,能源转型的地缘政治的基础理论和实证研究也迫切需要相关学科领域的学者合力推进,在学术研究和服务国家战略需求中经受反复的理论探索和实践。面对国际国内能源转型和地缘政治博弈等新形势新问题,要不断创新和发展能源转型地缘政治的基础理论,开展能源转型地缘政治效应研究,同时明晰能源转型对全球地缘格局的重构效应,构建可再生能源时代多元参与和多中心的全球能源治理新格局,防止可再生能源时代与能源相关的问题演变为全球性危机。

同时,正如中国著名科学家刘东生先生<sup>[72]</sup>所倡导的那样,一门新的学科或一个新的研究方向能否成长壮大,取决于人才队伍建设。能源转型和能源地缘政治是一个跨越区域边界的全球性问题,深化和发展能源转型地缘政治研究需要平台支持与国际合作,建

议国内能源地理学界联合国际可再生能源机构、国际能源署、欧佩克等国际能源组织或平台,开展能源转型与地缘政治研究,加强国际学术研究和人才交流,为应对全球气候变化和保障能源安全贡献地理学学科智慧和方案。

## 5.2 结论

本文深入剖析了能源与地缘政治的渊源,阐述了不同时代能源地缘政治的代际转换特征。在此基础上,从关键矿产争夺、可再生能源技术博弈、地缘格局重构和全球能源治理4个维度阐述了能源转型重构地缘政治逻辑与路径,并提出了未来能源转型地缘政治研究中的4个前沿领域。研究认为,能源与地缘政治具有悠久的历史渊源,并呈现明显的代际转换特征。不同时代的主导能源品种、资源特征、消费特征和运输特征等存在差异,所导致的地缘政治结构和类型显著不同。在能源转型重构地缘政治的过程中,关键矿产争夺、可再生能源技术博弈、地缘格局重构和全球能源治理是相互关联、互为影响的4个方面,能源转型将加剧关键矿产的地缘政治博弈,可再生能源技术是能源转型重构地缘政治的新焦点,能源转型将重构基于化石能源的地缘政治格局,亟需构建可再生能源时代的能源治理体系与路径以缓解能源转型地缘政治博弈。在全球气候变化、“碳中和”行动、俄乌地缘冲突等众多因素的影响下,能源转型的地缘政治后果具有复杂性和诸多不确定性,未来亟待加强能源转型重构地缘政治的理论创新、能源转型重构地缘政治的量化分析与模拟研究,构建全球能源治理的路径与模式,探究“碳中和”背景下能源转型引发的能源安全问题,以服务能源地理学科发展与国家重大战略需求。

## 参考文献(References)

- [1] Yang Yu, Yu Hongyuan, Lu Gang, et al. Interview on the unprecedented changes of energy geopolitics and national energy security. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(11): 2803-2820. [杨宇, 于宏源, 鲁刚, 等. 世界能源百年变局与国家能源安全. *自然资源学报*, 2020, 35(11): 2803-2820.]
- [2] Zou Caineng, He Dongbo, Jia Chengye, et al. Connotation and pathway of world energy transition and its significance for carbon neutral. *Acta Petrolei Sinica*, 2021, 42(2): 233-247. [邹才能, 何东博, 贾成业, 等. 世界能源转型内涵、路径及其对碳中和的意义. *石油学报*, 2021, 42(2): 233-247.]
- [3] Zhang Rui. Political research on energy transformation: Discussion based on the abandonment of coal in Germany. *Deutschland-Studien*, 2020, 35(4): 20-38, 186-187. [张锐. 能源转型的政治学研究: 基于德国弃煤的探讨. *德国研究*, 2020, 35(4): 20-38, 186-187.]
- [4] Yang Yu. Energy globalization of China: Interaction logic and spatial transition. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(2): 295-314. [杨宇. 中国与全球能源网络的互动逻辑与格局转变. *地理学报*, 2022, 77(2): 295-314.]
- [5] Yang Y. Energy globalization of China: Trade, investment, and embedded energy flows. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, 32(3): 377-400.
- [6] IRENA. A new world: The geopolitics of the energy transformation. Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation, 2019.
- [7] Yang Yu, Liu Chengliang, Cui Shoujun. "Centennial changes, energy situation, global perspective and national identity": Album release of "World energy geography and national security". *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(11): 2569-2571. [杨宇, 刘承良, 崔守军. “百年变局、能源风云、世界眼光、家国情怀”: “世界能源地理与国家安全”专辑发刊词. *自然资源学报*, 2020, 35(11): 2569-2571.]
- [8] He Ze. Research on power, structure organization and evolution mechanism of international energy network [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2021. [何则. 国际能源网络的权力、结构组织与演化机制研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2021.]
- [9] Omo-Fadaka J. Alternative sources of energy: Indigenous renewable resources. *Alternatives: Global, Local, Political*, 1980, 6(3): 409-417.
- [10] National Science Foundation, NASA Solar Energy Panel. An assessment of solar energy as a national energy resource. University of Maryland, 1972. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730018091>.
- [11] California Academy of Sciences. Dispersed, decentralized and renewable energy sources: Alternatives to national

- vulnerability and war. 1980.
- [12] Williams J R. Solar Energy: Technology and Applications. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers Inc. 1974.
- [13] Vakulchuk R, Overland I, Scholten D. Renewable energy and geopolitics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 122: 109547. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109547.
- [14] Blondeel M, Bradshaw M J, Bridge G, et al. The geopolitics of energy system transformation: A review. *Geography Compass*, 2021: e12580. DOI: 10.1111/gec3.12580.
- [15] Overland I, Bazilian M, Uulu T I, et al. The GeGaLo index: Geopolitical gains and losses after energy transition. *Energy Strategy Reviews*, 2019, 26: 100406. DOI: 10.1016/j.esr.2019.100406.
- [16] Hafner M, Tagliapietra S. *The Geopolitics of the Global Energy Transition*. Cham: Springer, 2020.
- [17] Krewitt W, Nitsch J, Nienhaus K. Bedeutung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in verschiedenen globalen Energieszenarien. Annual Meeting of the Forschungs Verbunds Erneuerbare Energien in Cooperation with the Agency for Renewable Energy, 2009.
- [18] Casertano S. Risks of new energy: Risks posed by renewable energy and climate protection. Brandenburg Institute for Society and Security (BIGS), 2012.
- [19] Scholten D, Bosman R. The geopolitics of renewable energy: A mere shift or landslide in energy dependencies? *Politicologenetmaal*, 2013. DOI: 10.13140/2.1.1460.8648.
- [20] Scholten D. *The Geopolitics of Renewables*. Cham: Springer Nature, 2018.
- [21] Stevens P. The geopolitical implications of future oil demand. <https://www.chathamhouse.org/publication/geopolitical-implication-future-oil-demand>, 2019-08-14/2020-05-01.
- [22] Scholten D, Bosman R. The geopolitics of renewables: Exploring the political implications of renewable energy systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 2016, 103: 273-283.
- [23] Månsson A. A resource curse for renewables? Conflict and cooperation in the renewable energy sector. *Energy Research & Social Science*, 2015, 10: 1-9.
- [24] Hoggett R. Technology scale and supply chains in a secure, affordable and low carbon energy transition. *Applied Energy*, 2014, 123: 296-306.
- [25] Jaffe A M. The role of the US in the geopolitics of climate policy and stranded oil reserves. *Nature Energy*, 2016, 1: 16158. DOI: 10.1038/nenergy.2016.158.
- [26] Smith S K. Redrawing the geopolitical map: International relations and renewable energies//Scholten D. *The Geopolitics of Renewables*. Cham: Springer Nature, 2018: 75-95.
- [27] Gullberg A T. The political feasibility of Norway as the 'green battery' of Europe. *Energy Policy*, 2013, 57: 615-623.
- [28] Gullberg A T, Ohlhorst D, Schreurs M. Towards a low carbon energy future: Renewable energy cooperation between Germany and Norway. *Renewable Energy*, 2014, 68: 216-222.
- [29] Guler B, Çelebi E, Nathwani J. A "Regional Energy Hub" for achieving a low-carbon energy transition. *Energy Policy*, 2018, 113: 376-385.
- [30] Eicke L, Goldthau A. Are we at risk of an uneven low-carbon transition? Assessing evidence from a mixed-method elite study. *Environmental Science & Policy*, 2021, 124: 370-379.
- [31] Habib K, Hamelin L, Wenzel H. A dynamic perspective of the geopolitical supply risk of metals. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 133: 850-858.
- [32] Exner A, Lauk C, Zittel W. Sold futures? The global availability of metals and economic growth at the peripheries: Distribution and regulation in a degrowth perspective. *Antipode*, 2015, 47(2): 342-359.
- [33] Månberger A, Johansson B. The geopolitics of metals and metalloids used for the renewable energy transition. *Energy Strategy Reviews*, 2019, 26: 100394. DOI: 10.1016/j.esr.2019.100394.
- [34] Dignum M. Connecting visions of a future renewable energy grid//Scholten D. *The Geopolitics of Renewables*. Cham: Springer Nature, 2018: 257-276.
- [35] Handke S. Renewables and the core of the energy union: How the pentilateral forum facilitates the energy transition in western Europe. *Lecture Notes in Energy*. Cham: Springer International Publishing, 2018: 277-303.
- [36] Wu Lei. The impact of new energy development on energy transition and geopolitics. *Pacific Journal*, 2021, 29(1): 62-70. [吴磊. 新能源发展对能源转型及地缘政治的影响. *太平洋学报*, 2021, 29(1): 62-70.]
- [37] Miao Zhongquan, Mao Jikang. A study on the geopolitics of energy in the era of electric power. *Journal of Global Energy Interconnection*, 2020, 3(5): 518-525. [苗中泉, 毛吉康. 电能时代的能源地缘政治初探. *全球能源互联网*, 2020, 3(5): 518-525.]



- [38] Zhang Suoxu. The impact of energy transition on geopolitics. *Land and Resources Information*, 2019(8): 26-33. [张所续. 浅析能源转型对地缘政治的影响. *国土资源情报*, 2019(8): 26-33.]
- [39] Yang Yu. On geo-power of energy. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(11): 2572-2584. [杨宇. 论地缘能权. *自然资源学报*, 2020, 35(11): 2572-2584.]
- [40] Yang Yu, He Ze. Energy geopolitics and power. *Progress in Geography*, 2021, 40(3): 524-540. [杨宇, 何则. 能源地缘政治与能源权力研究. *地理科学进展*, 2021, 40(3): 524-540.]
- [41] Cui Shoujun, Cai Yu, Jiang Moqian. Critical technology change and energy geopolitics transition. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(11): 2585-2595. [崔守军, 蔡宇, 姜墨骞. 重大技术变革与能源地缘政治转型. *自然资源学报*, 2020, 35(11): 2585-2595.]
- [42] Zhao Hongtu. Carbon neutrality and the new landscape of international energy politics. *Contemporary International Relations*, 2022(2): 29-37, 64, 63. [赵宏图. 碳中和与国际能源政治新变局. *现代国际关系*, 2022(2): 29-37, 64, 63.]
- [43] Yang Yu, Xia Siyou, Qian Xiaoying. Geopolitics of the energy transition. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(8): 2050-2066. [杨宇, 夏四友, 钱肖颖. 能源转型的地缘政治研究. *地理学报*, 2022, 77(8): 2050-2066.]
- [44] Wang Yadong. Energy and international politics [D]. Beijing: Party School of the CPC Central Committee, 2002. [王亚栋. 能源与国际政治[D]. 北京: 中共中央党校, 2002.]
- [45] IEA. Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector. <https://www.iea.org/events/net-zero-by-2050-a-roadmap-for-the-global-energy-system>.
- [46] Mercure J F, Salas P, Vercoulen P, et al. Reframing incentives for climate policy action. *Nature Energy*, 2021, 6(12): 1133-1143.
- [47] IEA. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/24d5dfbb-a77a-4647-abcc-667867207f74/The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/24d5dfbb-a77a-4647-abcc-667867207f74/The%20Role%20of%20Critical%20Minerals%20in%20Clean%20Energy%20Transitions.pdf).
- [48] International Energy Agency. Clean Energy Progress after the Covid-19 Crisis Will Need Reliable Supplies of Critical Minerals. Paris: International Energy Agency, 2020.
- [49] Akcil A, Sun Z, Panda S. COVID-19 disruptions to tech-metals supply are a wake-up call. *Nature*, 2020, 587(7834): 365-367.
- [50] Sovacool B K, Ali S H, Bazilian M, et al. Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. *Science*, 2020, 367(6473): 30-33.
- [51] European Commission. Study on the Review of the List of Critical Raw Materials Critical Raw Materials Factsheets. Brussels: European Commission, 2017.
- [52] Dong Xuesong, Huang Jianbai, Zhong Meirui, et al. A review on the impact of technological progress on critical metal mineral demand. *Resources Science*, 2020, 42(8): 1592-1603. [董雪松, 黄健柏, 钟美瑞, 等. 技术进步对关键金属矿产需求影响的研究综述. *资源科学*, 2020, 42(8): 1592-1603.]
- [53] Wang Peng, Wang Qiaochu, Han Ruru, et al. Nexus between low-carbon energy and critical metals: Literature review and implications. *Resources Science*, 2021, 43(4): 669-681. [汪鹏, 王翘楚, 韩茹茹, 等. 全球关键金属—低碳能源关联研究综述及其启示. *资源科学*, 2021, 43(4): 669-681.]
- [54] Cui Shoujun. Global clean energy transition and the construction of China's technical standard discourse power. *People's Tribune*, 2022(9): 50-54. [崔守军. 全球清洁能源转型与中国技术标准话语权建构. *人民论坛*, 2022(9): 50-54.]
- [55] Katharine Kláčanský. China vs. US: The Green Energy Race Overview of China's and America's green investment plan and what that means for the future of fossil fuels. Brussels: Europeum, 2021.
- [56] Wu Qiaosheng, Zhou Na, Cheng Jinhua. A review and prospects of the supply security of strategic key minerals. *Resources Science*, 2020, 42(8): 1439-1451. [吴巧生, 周娜, 成金华. 战略性关键矿产资源供给安全研究综述与展望. *资源科学*, 2020, 42(8): 1439-1451.]
- [57] Sweijs T, de Ridder M, de Jong S, et al. Time to Wake Up: The Geopolitics of Eu 2030 Climate and Energy Policies. The Hague: The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS), 2014.
- [58] Mecklin J. Introduction: International security in the age of renewables. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 2016, 72(6): 377. DOI: 10.1080/00963402.2016.1240927.
- [59] Matthews H D, Wynes S. Current global efforts are insufficient to limit warming to 1.5 °C. *Science*, 2022, 376: 1404-1409.
- [60] Florini A, Sovacool B K. Bridging the gaps in global energy governance. *Global Governance: A Review of Multilateralism and International Organizations*, 2011, 17(1): 57-74.
- [61] Lesage D, Van de Graaf T. *Global Energy Governance in a Multipolar World*. London, UK: Routledge, 2016.

- [62] Yu Hongyuan. Geopolitics and global market: Two logics of global resource governance. *Chinese Journal of European Studies*, 2021, 39(1): 102-122, 7. [于宏源. 地缘政治与全球市场: 全球资源治理的两种逻辑. *欧洲研究*, 2021, 39(1): 102-122, 7.]
- [63] Goldthau A, Westphal K, Bazilian M, et al. How the energy transition will reshape geopolitics. *Nature*, 2019, 569(7754): 29-31.
- [64] Yang Y, Dong W. Global energy networks: Insights from headquarter subsidiary data of transnational petroleum corporations. *Applied Geography*, 2016, 72: 36-46.
- [65] Guo Y, Yang Y, Wang C. Global energy networks: Geographies of mergers and acquisitions of worldwide oil companies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 139: 110698. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110698.
- [66] Peng P, Poon J, Yang Y, et al. Global oil traffic network and diffusion of influence among ports using real time data. *Energy*, 2019, 172: 333-342.
- [67] Fu X, Yang Y, Dong W, et al. Spatial structure, inequality and trading community of renewable energy networks: A comparative study of solar and hydro energy product trades. *Energy Policy*, 2017, 106: 22-31.
- [68] Yang Yu, He Ze. China's overseas oil and gas dependence: Situation, geographical risks, and countermeasures. *Resources Science*, 2020, 42(8): 1614-1629. [杨宇, 何则. 中国海外油气依存现状、地缘风险与应对策略. *资源科学*, 2020, 42(8): 1614-1629.]
- [69] He Ze, Zhou Yannan, Liu Yi. System dynamics simulation on China's energy consumption in 2050: Based on the policy scenarios of key industries. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(11): 2696-2707. [何则, 周彦楠, 刘毅. 2050年中国能源消费结构的系统动力学模拟: 基于重点行业的转型情景. *自然资源学报*, 2020, 35(11): 2696-2707.]
- [70] Zhang Rui, Xiang Junyong. Carbon neutrality and global geopolitical realignment. *Global Review*, 2021, 13(4): 112-133, 156-157. [张锐, 相均泳. “碳中和”与世界地缘政治重构. *国际展望*, 2021, 13(4): 112-133, 156-157.]
- [71] Wang Wentao, Liu Yanhua, Yu Hongyuan. The geopolitical pattern of global climate change and energy security issues. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1259-1267. [王文涛, 刘燕华, 于宏源. 全球气候变化与能源安全的地缘政治. *地理学报*, 2014, 69(9): 1259-1267.]
- [72] Liu Dongsheng. Global change and sustainable science. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(1): 1-9. [刘东生. 全球变化和可持续发展科学. *地学前缘*, 2002, 9(1): 1-9.]

## Energy transition reshapes geopolitics: Logic and research frontiers

YANG Yu<sup>1,2</sup>, XIA Siyou<sup>1,2</sup>, JIN Zhijun<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Energy, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** The transition from fossil energy to renewable energy will change the structure of global energy geopolitical power structure, national relations, and the driving factors of geopolitical game, which will have a far-reaching impact on the geopolitical shaped by fossil energy. On the basis of combing the origin of energy and geopolitics, this paper expounds the internal logic of the energy transition to reconfigure geopolitics and provides an outlook on the geopolitics of the energy transition. The conclusions are as follows: (1) The connotation and attributes of energy, as well as the differences between energy and geopolitics, determine that energy geopolitics presents significant intergenerational transformation characteristics. (2) The competition for key minerals, the game of low-carbon technology, the reconstruction of geopolitical pattern and the global energy governance are the four dimensions of the geopolitics of energy transformation reconstruction, of which the competition for key minerals is the basis of the geopolitical game of energy transformation, the game of low-carbon technology is the new focus of the geopolitics of energy transformation, and the reconstruction of geopolitical pattern is the direct characterization of the geopolitics of energy transition, energy governance is the path to ease the geopolitical game of energy transformation. (3) In the process of energy transformation and reconstruction of geopolitics, the competition for key minerals, the game of low-carbon technology, the reconstruction of geopolitical pattern and global energy governance are interrelated and interacted, which aggravates the complexity and uncertainty of energy geopolitics in the era of renewable energy. (4) Looking forward to the future, to better promote the development of energy geography and serve the major strategic needs of national energy security, the geopolitical research of energy transformation urgently needs to strengthen the theoretical innovation of energy transition reshaping geopolitics, promote the quantitative research of the geopolitical impact of energy transformation, construct the path of China's deep participation in global energy governance, and pay attention to the energy security issues caused by energy transformation under the background of "carbon neutrality".

**Keywords:** energy transition; geopolitics; critical mineral; renewables technology; geopolitical pattern; energy governance