

重大技术变革与能源地缘政治转型

崔守军, 蔡宇, 姜墨骞

(中国人民大学国际关系学院, 北京 100872)

摘要: 技术进步是能源地缘政治演进的物质基础, 重大技术变革驱动能源利用形式的迭代升级。从能源转型的历史与现实出发, 初步建立技术变革与地缘政治研究的理论分析框架。重大技术变革是推动能源转型的动力, 而能源转型引发能源供需关系的改变, 进而催生新的能源地缘政治格局。技术变革是能源地缘政治博弈的焦点。随着第四次工业革命的到来, 在地理变量维度中稀土、钴、锂等能源关键元素成为大国争夺核心, 而在科技变量维度中颠覆性能源技术则成为引领能源产业变革的关键。技术竞争、新供需关系与新地缘关系一同重塑了新能源地缘政治格局。新能源技术的发展对能源安全产生重大影响, 一方面能源大国的博弈格局发生变化, 能源外交的运用方式随之改变; 另一方面与油气相关的地缘冲突将趋于减少, 但电力断供将成为地缘政治博弈的新武器。

关键词: 技术变革; 颠覆性技术; 能源转型; 能源关键元素; 能源地缘政治

能源作为人类社会生存与发展的基本要素, 对国际政治经济发展起着极为重要的推动和塑造作用。就人类利用能源的历史来看, 进入石油时代以来, 油气能源的稀缺性、不可再生性、分布不均性及不可替代性成为能源地缘政治博弈的基础, 能源地缘政治被狭义地定义为石油地缘政治。但随着常规油气资源的枯竭、全球气候变化的影响以及清洁能源技术的进步, 各国开始聚焦风能、太阳能、核能等新能源的发展。世界经济论坛创始人 Schwab^[1]在2016年预测, 第四次工业革命的到来将使技术与数字化深度融合, 带来可再生能源领域的重大变革。鉴于传统油气能源与新能源在属性上迥异, 向新能源时代的转型势必会导致能源在生产、传输和分配结构上的重大变化, 全球能源地缘政治格局也会呈现出全新的面貌。

尽管如此, 技术与能源地缘政治间相互关系的研究仍相对匮乏。学界基于能源市场供求关系与国际能源产业分工两种作用机制, 认为技术变革改变地缘经济因素, 进而影响能源地缘政治。第一种作用机制认为, 技术变革带来能源供给技术的突破和能源消费形态的转变, 改变了国际能源市场供求关系进而影响国际能源地缘政治格局。吴磊等^[2]认为以页岩油气开采为代表的非常规油气革命使能源市场供应多元化, 同时技术变革使新能源部分替代了传统化石能源的消费量, 国际能源体系的变革促使国家调整自身能源战略; 张有生等^[3]指出低碳化、分布式、智能化、电气化等能源消费结构的变化推动国际能源结构转型, 建议我国实现能源转型发展。但这种作用机制研究并未探究技术对能源变革的影响, 亦未展望新能源技术对能源地缘政治的影响。第二种作用机制认为, 能源技

收稿日期: 2020-02-01; 修订日期: 2020-09-09

基金项目: 国家社会科学基金项目 (19BGJ061)

作者简介: 崔守军 (1978-), 男, 山东淄博人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为中国外交、能源地缘政治、中国与发展中国家关系、国际组织等。E-mail: cuishoujun@ruc.edu.cn

术实力决定一国在全球能源产业链和贸易链中的优劣地位,技术演进也推动全球能源生产结构和消费结构发生变革。刘昱阳^[4]认为在全球稀土产业链中,中国掌控着稀土开采、冶炼、精加工与深加工的核心技术,在产业布局和产业链中处于中枢地位;邹才能等^[5]指出具备新能源技术的国家,清洁能源在一次能源消费结构中的比例将增大;张锐^[6]探讨了拉美地区能源互联网实施的现状与困境,认为电网作为跨境能源贸易新形式将改变传统能源贸易格局;余家豪^[7]指出发达国家通过设立知识产权壁垒限制颠覆性能源技术转移至发展中国家,从而保持能源贸易优势地位,造成“南北鸿沟”。第二种机制着眼于国家在全球能源产业链和贸易的相对位置,但并未系统研究技术对能源地缘政治格局的影响。本文旨在将技术变迁作为核心变量纳入能源地缘政治演变的脉络中,以颠覆性能源技术的地缘政治属性为切入点,论述新能源地缘政治的变迁及其时代特征。

1 技术变革与地缘政治研究的理论框架

从能源发展的内在机理看,围绕能源供需关系,获取满足发展所需要的能源是能源地缘政治的核心,尤其是在石油地缘政治时代,以供应安全为核心的能源地缘政治逻辑被演绎得淋漓尽致。从整个能源发展史来看,重大技术变革往往带来能源利用形式的迭代升级,催生新的能源地缘政治逻辑。Tushman等^[8]把技术进步区分为“能力增强型”和“能力摧毁型”两类。“能力增强型”是缓慢的、渐进式的技术变迁,通常表现为原有技术的提升或原有用途的扩展。从当前能源利用的实践看,以美国页岩油气开发为代表的非常规能源和以清洁燃煤发电技术等为代表的应用型技术属于“能力增强型”的技术创新。“能力摧毁型”的技术变革是激进式的技术创新,它创造一个新的产品族群代替已有的产品,新技术上的突破会带来老技术的淘汰。在激进的技术进步过程中,技术变革呈现“集群”式(Constellation)涌现,也就是通常所说的技术革命^[9]。在能源领域以风能和太阳能等可再生能源和以新材料技术、储能技术为代表的应用型技术的发展则属于“能力摧毁型”的颠覆性技术创新。本文的理论框架重点阐述颠覆性的能源技术创新所引发的能源地缘政治格局及其改变(图1)。

从薪柴时代、煤炭时代到石油时代,以及新能源时代的能源代际转换过程中,颠覆性技术变革将改变既有能源地缘政治基础,引发能源供需关系重构,产生新的能源地缘政治博弈焦点。首先,颠覆性技术变革将改变一国对既有能源的依赖程度,彻底改变能源供需关系。油气资源不再是国家发展高度依赖的首要能源,寻求更多元化的新能源替代将是能源转型后一国维护能源安全的重要措施。其次,颠覆性技术变革将改变能源地缘政治的地理依附性。传统油气资源的地缘政治基于油气资源地理分布的不平衡,产生能源生产、消费的空间分离,进而衍生出对油气资源争夺、油气运输通道博弈和大国区域

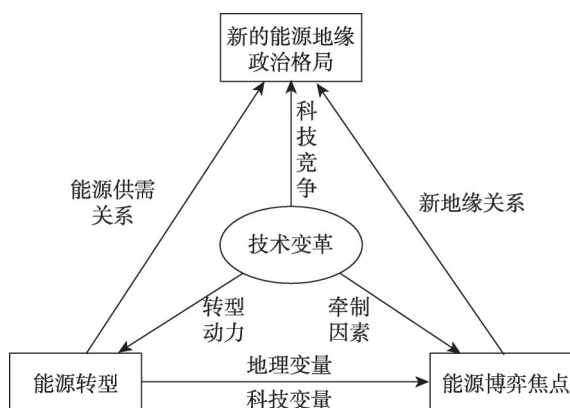


图1 技术变革与能源地缘政治理论框架

Fig. 1 Mechanism of technology change and energy geopolitics

战略牵制等能源地缘政治行为。而颠覆性技术将带来新的能源替代，新能源发展所依赖的关键原材料、新能源技术控制及其空间扩散模式将引发新的能源地缘格局变化。最后，能源博弈的主要手段和能源安全的内涵也将发生新的变化。能源外交的基本逻辑将从围绕产油国、油气消费国和国际石油组织等的政治经济博弈，改变为围绕能源科技的竞争，油气所引发的冲突等将随之降低，中东、北非、中亚、里海等地区性地缘政治冲突或将减少，而新能源基础设施的安全性，包括跨洲际电网、智能电网等的安全将成为能源安全的重要内容。因此，本文将以技术变革为核心构建技术变革与地缘政治研究框架，从技术变革所引发的能源转型、地缘格局、新形势下能源安全及其相互之间的关系为核心维度展开论述。

2 重大技术变革推动能源转型

“能源转型”这一概念由德国学者 Krause 等^[10]在《能源转型：没有石油与铀的增长与繁荣》一书中首次提出，认为未来能源将从石油和核能转向可再生能源。一般认为，能源转型是指能源结构与能源系统层面的重大变革。前者表现为在能源消费结构中一种新的能源逐步取代原有能源的主导性地位，后者表现为能源生产、储运、消费相关的物理设施、技术、知识体系以及与能源治理相关的政策、制度与规则的变化。

人类历史经历了三次能源转型。第一次是19世纪末从“薪柴时代”向“煤炭时代”的转型。随着煤炭的发现和煤炭利用技术的提高，煤炭被广泛应用于蒸汽机领域，并取代薪柴成为世界的主要能源。第二次是20世纪中叶从“煤炭时代”向“石油时代”的转型。内燃机的发明推动了石油开采业和石油化工业的突飞猛进，石油作为更高效的能源成为主导的能源形式。到20世纪30年代末，美国和苏联成为主要的石油出口国，石油贸易也开始在全球能源贸易中占据重要位置，并动摇了煤炭在国际能源市场中的主体地位^[11]，工业社会正式进入“石油时代”。第三次是当前从化石能源向可再生能源的转型。随着油气资源的枯竭和全球低碳发展的需要，为摆脱化石能源燃烧所带来的温室气体排放危机，替代化石能源的新能源，包括太阳能、风能、生物质能以及可控核聚变技术等成为应对全球气候变化的关键。

各国的能源转型主要围绕两条主线开展：一是能源供给的清洁替代，即大力发展可再生能源，以太阳能、风能、水能、生物质能等清洁能源替代化石能源；二是能源消费的电能替代，即增大电能在能源消费中的比例，以电代煤、以电代油、以电代气，大力发展储能技术和区域能源互联网。国际可再生能源署在2019年1月发布的报告^[12]中认为，技术进步正驱动新能源在全球范围内快速发展。技术推动可再生能源的成本下降。国际可再生能源署预计2025年全球陆上风电的全球平均成本将下降26%，海上风电下降35%，聚光太阳能发电成本（CSP）下降37%，太阳能发电（PV）下降59%，成本的下降将为可再生能源大规模装机成为可能^[13]。太阳能和风能生产和储存技术的发展导致可再生能源利润空间持续放大，推动了商业投资的增加。中国、印度等缺乏化石能源储备的大国通过发展可再生能源降低能源进口的依赖；阿联酋、俄罗斯等产油国也在制定目标，增加可再生能源在能源结构中的比例。从全球专利申请数量看，清洁能源技术领域的突破远超出化石燃料和核能等传统能源领域。智能电网、物联网、大数据和人工智能等数字技术正应用于能源行业，能源效率提升加速可再生能源的部署步伐。技术进步正

推动可再生能源市场不断扩大。据国际能源署(IEA)在2019年1月发布的可再生能源市场预测报告^[14],可再生能源将在未来五年快速扩张,覆盖全球能源消费增长的40%。可再生能源在电力部门的使用量继续以最快的速度增长,到2023年将占世界总发电量的近三分之一。无独有偶,2019年8月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》^[15],明确指出能源机构低估了可再生能源的发展速度。全球能源向新能源大规模开发利用的方向加速迈进,可再生能源的发展正在促进全球范围内的能源转型。

3 重大技术变革改变能源地缘政治博弈焦点

3.1 能源地缘政治核心变量的变化

能源地缘政治包含两个不同性质的核心变量,一个是地理变量,另一个是技术变量。地理变量,即大国围绕能源资源地理分布而争夺维系本国政治经济发展所需的能源资源,这是既有油气地缘政治的基本逻辑。在此逻辑下,国家安全与国家所占有和支配的能源资源密不可分。在全球化背景下,能源地缘政治被定义为国际政治中围绕能源这种战略资源的占有、使用、控制、交易,由地理分布以及与地理密切相关因素而引起的,不同国际行为体之间的相互关系与涉及重大国际政治及国际关系的战略和策略问题。能源安全取决于一国对化石能源依赖的脆弱性与敏感性。国家基于其地理位置与资源禀赋的区别,可划分为化石能源的进口国、出口国和过境国,在国际能源格局中享有不同的权力。美国前总统尼克松提出“资源的中心就是地缘政治的中心”论断,基辛格也提出了“谁控制了石油,谁就控制世界”的著名论断,都反映了油气地缘政治时代对地理变量的重大考量。技术变量,即工业革命引发的技术进步带来能源利用形式的变革,可再生能源的发展对原有油气地缘博弈格局形成巨大冲击。由于技术进步的过程充满了不确定性,在一个较长的变革周期中技术进步的过程往往是缓慢的、不均衡的、非线性的。在取得重大技术突破前,技术变量所起到的推动作用往往较为有限,因而容易被忽视。由传统化石能源转向可再生能源,意味着依靠化石能源开采为基础的能源行业将转变为一个主要由技术创新驱动部门。随着2030年国际石油开采量预计达到峰值与第四次能源革命的到来,能源安全的核心将从对化石能源的争夺转变为对能源关键元素和颠覆性能源技术的争夺,技术变量对能源地缘政治格局的重塑效应逐渐凸显。

3.2 新能源关键元素控制权成为大国争夺焦点

能源关键元素(Energy Critical Elements)是由美国物理协会于2011年提出的概念,用来描述一类对能源技术发展起到重要驱动和催化作用的化学元素,是先进的能源生产、传输和存储所不可或缺的元素,主要包括稀土、锂、钴等。稀土是镧系元素和钪、镱、铈、镨、钕、钐和铀等共17种金属元素群的总称,被称为“工业维生素”,具有无法取代的优异磁、光、电性能,对新能源和高科技产业发展极为关键。美国能源部认定钪、镱、铈、镨、钕五种稀土元素是影响新能源技术发展的关键性元素。沈镭等^[16]认为全球低碳能源系统转型必将导致金属矿产资源需求上升,但这些关键金属供应能力有限,可能改变世界能源和矿产资源的传统地缘政治格局。而其中稀土金属、稀有金属、分散元素等“三稀”中的矿产资源,因广泛利用于新能源、新材料和新产业,需要加快科技创新以保障国家资源供给安全^[17]。稀土资源本身的储量并不稀缺且分布较为广泛,全球总储量为1.2亿t,排名前四位的国家依次为中国、俄罗斯、澳大利亚和美国,分别占全球总储量

的36.7%、10%、2.8%和1.2%^[18]。稀土外观酷似“土壤”，其分布分散且提取难度极大，对开采加工的工艺流程要求极高，是一种典型的“资源贱、技术贵”产业。目前，中国拥有世界上85%的稀土生产能力，“回流串级萃取”技术的突破使中国的稀土提取和精炼产业链在世界上处于领先和主导地位^[19]，其他国家开采的稀土一般要出口到中国进行加工后再从中国进口。随着对可再生能源技术的需求不断增加，主要资源国对稀土资源的管控日趋严苛，大国对稀土的地缘争夺不断加剧。中国拥有全球不到40%的稀土资源，却供应了全球90%以上的稀土需求。出于资源和环保的考虑，中国政府出台政策加强了对稀土开采及出口的管控，于2010年7月宣布削减40%的稀土出口份额。中国出口配额的削减导致钕元素的出口价格当年上涨近两倍，到2011年11月其出口价格上涨约7倍^[20]，引发了美国等西方国家的一系列连锁反应。由于美国80%稀土资源依赖从中国进口，美国认为中国限制稀土生产和出口，将对美国的新能源、国防和高科技产业造成巨大冲击。为此，美国加强与澳大利亚及加拿大等国之间的合作，寻求稀土进口的替代资源国，试图建立一条新的稀土供应链。然而，美国审计署在其2010年发布的报告中称，美国重构一个可靠的稀土供应链将至少要花费15年的时间，在此之前难以改变对中国稀土的进口依赖格局，无法撼动中国在全球稀土产业中的主导性地位^[21]。

针对关键元素中稀缺金属元素，Giurco等^[22]认为广泛应用于新能源产业发展的钴和锂的需求量将大幅超出其储量，供需失衡不可避免地将引发激烈的地缘政治竞争。非洲将成为能源关键元素控制权争夺的焦点地区。广泛用于新能源电池技术的钴元素，其世界产量的一半集中于刚果民主共和国^[23]。在供给侧，刚果的政局动荡对钴价格波动产生重要影响。中国在钴元素产业链中占据突出地位，世界上半以上的成品钴，以及世界锂电池生产所需化学钴元素的近四分之三都由中国生产。在需求侧，欧洲对钴进口的依赖度达到32%。为了确保钴元素的稳定供应，大众汽车等欧洲跨国公司采取措施分散供应风险，积极与澳大利亚、加拿大等资源少但政治稳定的国家进行合作。2017年，特朗普政府加大美国对钴元素的开采力度，以减少对国际钴供应链的依赖，欧盟也采取相关政策防范钴元素短缺风险。锂元素对可再生能源技术的发展同样至关重要。在供应侧，智利、玻利维亚和阿根廷占世界易开采锂储量的50%以上。津巴布韦也是锂元素的重要供应国，锂元素的规模化开采与出口是姆南加古瓦政权的重要财源。津巴布韦政权的腐败与不透明令国际社会担忧锂元素供应的稳定性。在需求侧，随着电动汽车产业的扩张，2024年锂元素的需求量有望再次翻倍。中国作为世界锂电池最大的生产商，对锂元素的需求量最大^[24]。预期到2030年，印度30%的电动交通工具都依赖锂电池。为确保全球范围内锂元素的供应安全，印度和玻利维亚签署锂元素出口合作协议^[25]。作为绿色能源转化的推动者，欧盟同样对精炼锂有重大需求。欧盟一方面有计划地发展锂元素开采与精炼产业，满足其电动汽车产业链发展的需求；另一方面也积极与锂元素原材料的供应者和产业链的主导者——南美国家与中国保持良好的贸易伙伴关系^[26]。对于能源关键元素控制权的竞争在很大程度上与石油主导的地缘政治相类似，地理分布不均、供需不平衡和高开采提炼难度在很大程度上决定了能源关键元素是新能源地缘政治竞争的关键之所在。

3.3 颠覆性技术成为能源地缘政治竞争的关键

美国哈佛商学院教授认为颠覆性技术是“改变游戏规则”“重塑未来格局”的革命性

力量。可再生能源技术和关键设备制造技术是能源转型中的颠覆性技术，正在改写全球能源地缘政治竞争格局。全球能源大国以颠覆性技术为目标开启新一轮的地缘政治竞争，以减少因化石能源依赖所带来的地缘政治脆弱性。美国是率先从国家层面支持颠覆性技术创新的全球性大国。早在1958年，美国国防部就成立国防高级研究计划局（DARPA）推动高风险、高回报技术的研发，旨在“避免技术突袭并谋求对对手的技术突袭”，使美国在军事和科技领域获得绝对的、不对称的技术优势。美国学者强调颠覆性技术在能源转型中的突出作用，美国大西洋委员会资深研究员 Manning^[27]撰文指出，2035年技术革命将使新能源的价格降低，效率提高。2035—2040年能源储存技术、大数据、先进材料等新型科技将迎来转折点，太阳能、风能等新能源将取代化石能源，开启“后石油时代”的世界转型进程。在太阳能发电领域，第三代太阳能电池技术、能源储存技术和智能电网技术，将使太阳能应用步入数字化与电子化。在风力发电领域，制陶技术、碳纤维、石墨烯等新材料的应用，以及风轮机和传感器技术的创新，将减少地理因素对风力发电的制约，降低风力发电的成本。在储能领域，中国和美国有望在未来十年内升级当下的锂电池技术，为民用和商用电能储存带来巨大突破。

在风能、光能等产能技术和设备制造技术外，氢能与核能是最具颠覆性的能源技术。氢能源是来源广泛并廉价的清洁能源。国际可再生能源组织2019年发布报告称，质子交换膜电解装置和氢燃料电池技术已足以实现大规模经济投产，氢能将在工业与交通运输业发挥重要作用^[28]。可控核聚变又被称为“人造太阳”，可为人类提供清洁、安全而且原料取之不尽的能源，是颠覆性能源技术的又一体现。美国麻省理工学院的一项研究认为，核聚变技术的突破已经逼近临界点，有望在未来15年内接入电网。目前，美国、中国、欧盟、日本、俄罗斯、韩国和印度正在合力建设国际热核聚变实验堆，核聚变的商业化利用有望在21世纪中叶实现。

美国颠覆性技术的培育模式引起了各大国的广泛借鉴。中国于2016年首次将“颠覆性技术”写入2016年中国共产党中央委员会和中华人民共和国国务院联合印发的《国家创新驱动发展战略纲要》及《“十三五”国家科技创新规划》，并指定中华人民共和国科学技术部和中国工程院等作为颠覆性技术研发的主管和牵头单位。2016年中国国家发展改革委与国家能源局联合印发的《能源技术革命创新行动计划（2016—2030）》及《能源技术革命重点创新行动路线图》提出能源领域的11项颠覆性技术创新任务，涉及光热发电、核聚变、先进储能、氢能与燃料电池、能源互联网等重点领域，将颠覆性能源技术创新提到了战略高度^[29]。

4 重大技术变革重塑能源地缘政治格局

全球能源系统正在发生根本性变化，这将对几乎所有国家产生影响，并将产生广泛的地缘政治后果。传统油气格局中的“集团化”博弈格局趋于分散，能源大国之间的博弈重点转向能源技术竞争。与油气资源不同，可再生能源作为地缘政治武器和工具的价值将大大降低，各能源大国纷纷调整自己的能源外交战略。随着新能源的发展与普及，与油气相关的地缘冲突将趋于减少，但电力断供将成为地缘政治的新武器。

4.1 能源大国“集团化”的博弈格局发生变化

能源技术控制权的影响力逐渐上升，甚至超越资源控制权。在博弈格局方面，在传

统油气格局中，世界油气资源不平衡的空间分布格局使能源出口国和能源进口国围绕国际能源定价权进行“集团化”的政治斗争，例如由能源出口国组成的石油输出国组织（OPEC），以及由能源进口国组成的国际能源署。而在新能源格局中，风能、太阳能、水能与核能等分布式可再生能源在各国广泛分布，使传统“集团化”的国际博弈结构趋于分散化。能源关键元素出口国与能源技术装备制造国围绕稀土元素、锂、钴等资源控制权的博弈，将成为国际新能源地缘政治格局的常态。在能源权力方面，能源技术控制权、能源金融控制权成为能源博弈的核心。在全球层面，中美能源“新技术”与“新基建”将成为新一轮大国博弈的主线。国家维护自身能源安全的策略，从传统上的分散石油进口来源与渠道，转向发展新能源技术，以提升自身的能源供给安全。

4.2 能源外交的运用方式发生变化

石油在能源外交中的权力下降，新能源基础设施建设与上下游产业合作将引领能源外交新风向。在以往的石油地缘政治中，国家往往将石油作为能源外交的武器和工具，这被称之为“能源治国术”（Energy Statecraft）。而当世界主要由新能源驱动时，可再生能源作为地缘政治武器和工具的价值将大大降低。正如美国前总统吉米·卡特说：“没有人能禁运太阳或者阻止太阳能的传递”。同时，不同国家对电力、生物质能、氢能源等新兴能源以及能源关键材料等的适应力不同，将创造新形态的依赖性和脆弱性。为谋求在新能源格局中的主动权，各能源大国纷纷调整自己的能源外交策略。德国在2009年主导建立了国际可再生能源署（IRENA），这是一个超过150多个国家的全球性能源组织。传统的石油生产国阿联酋注重可再生能源的研发，不但将首都阿布扎比设定为国际可再生能源署的永久总部所在地，还通过阿布扎比发展基金投资发展中国家及发达国家的新能源项目。此外，一些新兴联盟和倡议组织正在推动新能源多边合作的开展。2015年巴黎气候变化大会推动了国际太阳能联盟、国际地热联盟、创新使命（Mission Innovation）等政府间国际组织的成立。尽管这些旨在推动新能源科技合作的组织仍处于早期阶段，但其未来的地缘政治影响不可小觑。在2018年国际太阳能联盟成立大会上，印度总理莫迪称，“未来国际太阳能联盟将起到与欧佩克同等重要的作用”^[30]。

4.3 油气地缘政治冲突将趋于减少

在向新能源转型的过程中，化石能源的重要性相对下降，地缘政治冲突的概率和地点将随之发生变化。在过去几十年间，石油是引发国内族群冲突或国际地缘冲突的一大根源。在一些非洲产油国，争夺油气资源的控制权往往诱发国内族群冲突。因中央与地方政府石油财富分配不均，油气开发造成的不平等会引发暴力与冲突，并为外国势力介入创造机会，从而滋生严重的国内冲突与混乱。中东一直是世界油气生产的“心脏地带”，由于油气争夺而导致的地区冲突与战争频发。随着能源转型的加速，未来中东与非洲地区与油气相关的冲突会趋于减少，而霍尔木兹海峡等一些海上咽喉要道的战略重要性也将下降。在这种意义上讲，能源转型将会为国际社会带来和平^[31]。

4.4 电力断供将成为地缘政治新武器

大多数新能源以电力传输，区域电网将成为新能源传输的主要方式。新能源的推广将推动电气化水平的提升，促进电力跨境交易。将风能、太阳能等转化为电能，需要灵活的电力系统以适应现实情景中能源供需的均衡。智能电网、储能技术以及特高压直流输电技术的创新应用，能够有效适应电力传输灵活性的需求。有学者认为，切断电网将

成为国家实施制裁的新武器。在地缘政治冲突中,电力输出国可以通过切断跨国电网的方式制裁电力输入国,从而起到与油气制裁一样的政治效果^[32]。例如,2015年乌克兰切断了通往俄罗斯占领的克里米亚的输电线路。数字技术的发展将促进智能电网的发展和普及,但也带来网络安全的脆弱性风险。2019年3月,委内瑞拉控诉美国对其电网进行网络攻击,从而爆发全国范围持续数日的大断电。在缺乏国际规范约束的前提下,能源领域数字化技术的发展可能带来安全担忧。中国倡议构建的“全球能源互联网”、欧盟国家正在构建的“北海近岸电网”(North Sea Offshore Grid)等大规模的电网设施可能会因网络攻击而遭受严重安全冲击。全球性的能源网络传输将产生“短板效应”,即整个能源网络中网络安全建设最为薄弱的国家将容易成为攻击目标,并将产生连锁、扩散效应,甚至摧毁整个互联网所连接的各个国家的能源供应。

5 结论与讨论

能源地缘政治的演进由地理因素和技术因素共同决定。当前第四次能源革命已经拉开帷幕,以重大技术变革为核心的新一轮科技革命,极大地提升了技术因素在能源地缘政治转型中的支配性地位,对新能源技术主导权与控制权的争夺成为大国能源地缘政治竞争的焦点议题,并渗透到科技、经济和军事的方方面面。Proskuryakova^[33]指出,国家间的能源竞争将从一次能源的竞争转变为技术竞争。在军事领域,美国国防部早在2010年制定了到2025年可再生能源使用量占总能源使用量25%的目标,利用可再生能源来减少石油消耗^[34];北大西洋公约组织也在2014年颁布绿色防御框架,提升可再生能源在军事领域中的应用比例^[35]。太阳能电池、小型风力涡轮机、核动力源、智能微电网等新能源技术装备均被纳入大国军事装备的转型建设议程。在经济领域,绿色低碳科技的研发也需要国家为企业稳定安全的投资环境,以应对新能源技术市场化前的窗口期。以能源去碳化、清洁化、互联化和智慧化为特征的第四次能源革命也将带来世界能源和经济发展格局的变革。

与化石能源时代不同,在新能源时代,以化石能源为核心的地缘政治竞争将转向以颠覆性技术为核心的竞争,技术变革与新的能源地缘政治格局间存在三种作用机制:第一,技术变革是能源转型的动力,可再生能源的大规模开发利用将改变一国对既有能源的依赖程度,彻底改变能源供需关系结构,由此形成新的能源地缘政治格局;第二,技术变革带来新的能源替代,传统油气地缘政治的“地理依附性”大大降低,新能源发展所依赖的关键原材料、新能源技术控制及其空间扩散模式将引发新的能源地缘政治格局;第三,技术变革引发的国家间科技竞争将重塑能源地缘政治格局,进而影响能源大国之间的冲突与合作关系。面临能源技术变迁带来的新变化,全球能源大国纷纷调整自身的能源外交战略,传统油气格局下的国家“集团化”格局趋于式微,推动新能源科技合作的多边国际能源组织则日益增加。一方面,随着化石能源向可再生能源转型的加速,因争夺油气控制权而引发的国内与国际冲突风险趋于减弱。另一方面,大多数新能源以电力互联的方式进行传输,电网作为能源传输的主要方式具有易受网络攻击的脆弱性,而电力断供则成为主权国家实施制裁的新武器。有关能源地缘政治转型在国家能源安全层面产生的影响,还需进一步研究探讨。

参考文献(References):

- [1] SCHWAB K. The Fourth Industrial Revolution. New York: Crown Business, 2017: 33-34, 86-87.
- [2] 吴磊, 曹峰毓. 论世界能源体系的双重变革与中国的能源转型. 太平洋学报, 2019, 27(3): 37-49. [WU L, CAO F Y. On the dual changes of the world energy system and the energy transition of China. Pacific Journal, 2019, 27(3): 37-49.]
- [3] 张有生, 苏铭, 杨光, 等. 世界能源转型发展及对我国的启示. 宏观经济管理, 2015, 25(12): 37-39. [ZHANG Y S, SU M, YANG G, et al. Global energy transitional development and its implications on China. Macroeconomic Management, 2015, 25(12): 37-39.]
- [4] 刘昱阳. 我国稀土资源在地缘经济中的技术困境: 基于稀土产业相关专利全球分布的视角. 资源信息与工程, 2020, 35(1): 142-151. [LIU Y Y. Technological predicament of China's rare earth resources in geo-economy: From the perspective of global distribution of patents related to rare earth industry. Resource Information and Engineering, 2020, 35(1): 142-151.]
- [5] 邹才能, 赵群, 张国生, 等. 能源革命: 从化石能源到新能源. 天然气工业, 2016, 36(1): 1-10. [ZOU C N, ZHAO Q, ZHANG G S, et al. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. Natural Gas Industry, 2016, 36(1): 1-10.]
- [6] 张锐. 拉美能源一体化的发展困境: 以电力一体化为例. 拉丁美洲研究, 2018, 40(6): 109-123. [ZHANG R. The development dilemma of Latin American energy integration: Taking power integration as an example. Latin American Studies, 2018, 40(6): 109-123.]
- [7] 余家豪. 全球新能源转型带来的地缘政治风险. 能源, 2019, 8(3): 90-91. [YU J H. Global energy transition and its geopolitical risk. Energy, 2019, 8(3): 90-91.]
- [8] TUSHMAN M, ANDERSON P. Technological discontinuities and organizational environment. Administrative Science Quarterly, 1986, 31(3): 439-465.
- [9] 黄琪轩. 大国权力转移与技术变迁. 上海: 上海交通大学出版社, 2013: 1-7. [HUANG Q X. Major Power Competition and Technological Revolution. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2013: 1-7.]
- [10] KRAUSE F, BOSSEL H, REIBMANN K F M. Energy Transition, Growth and Prosperity without Oil and Uranium. Frankfurt: Fischer, 1980.
- [11] 张仕荣. 世界能源技术的三次革命与中国国际地位的变迁. 内蒙古大学学报, 2008, 40(2): 80-85. [ZHANG S R. The third world energy revolution and China's international status evolution. Journal of Inner Mongolia University, 2008, 40(2): 80-85.]
- [12] The Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation. A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation. <http://www.geopoliticsofrenewables.org>, 2019-01/2020-05-01.
- [13] International Renewable Energy Agency. Renewable power generation costs in 2017. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018_summary.pdf?la=en&hash=6A74B8D3F7931DEF00AB88BD3B339CAE180D11C3, 2018-01/2020-05-01.
- [14] International Energy Agency. Renewables 2018: Analysis and forecasts to 2023, Executive Summary. <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>, 2018-10/2020-05-01.
- [15] 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.
- [16] 沈镭, 钟帅, 胡舒涵. 新时代中国自然资源研究的机遇与挑战. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1773-1788. [SHEN L, ZHONG S, HU S H. Opportunities and challenge of natural resources research of China in the New Era. Journal of Natural Resources, 2020, 35(8): 1773-1788.]
- [17] 沈镭, 张红丽, 钟帅, 等. 新时代下自然资源安全的战略思考. 自然资源学报, 2018, 33(5): 721-734. [SHEN L, ZHANG H L, ZHONG S, et al. Strategic thinking on the security of natural resources of China in the New Era. Journal of Natural Resources, 2018, 33(5): 721-734.]
- [18] United States Geological Survey. Rare earth statistics and information. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information>, 2019-02/2020-05-01.
- [19] 余玮. 徐光宪: 举重若重的“稀土之父”. 人民日报海外版, 2009-12-30(07). [YU W. XU Guang-xian: The "found-

- ing father" of the rare earth. *People's Daily Overseas Edition*, 2009-12-30(07).]
- [20] HOME A. Boom, bust and boom again for rare earths? <https://www.reuters.com/article/us-china-rareearths-ahome/boom-bust-and-boom-again-for-rare-earths-idUSKCN1BC4OF>, 2017-09-01/2019-12-23.
- [21] U.S. Government Accountability Office. Rare earth materials in the defense supply chain. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information>, 2010-04-14/2019-12-24.
- [22] GIURCO D, DOMINISH E, FLORIN N, et al. Requirements for minerals and metals for 100% renewable scenarios. In: TESKE S. *Achieving the Paris Climate Agreement Goals*. Switzerland, Springer Nature Switzerland AG, 2019: 437-457.
- [23] U. S. Geological Survey. Mineral commodity summaries. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/cobalt-statistics-and-information>, 2019-02/2020-05-01.
- [24] CHURCH C, CRAWFORD A. Green conflict Minerals: The Fuels of Conflict in the Transition to a Low-Carbon Economy. International Institute for Sustainable Development. <https://www.iisd.org/publications/green-conflict-minerals-fuels-conflict-transition-low-carbon-economy>, 2018-08-13/2020-09-05.
- [25] SARANGI S. President of India's Visit to Bolivia and Chile. <https://usiofindia.org/publication/cs3-strategic-perspectives/president-of-indias-visit-to-bolivia-and-chile/>, 2019-04-06/2020-05-01.
- [26] SIMON F. Race for lithium illustrates EU drive for 'strategic' raw materials. <https://www.euractiv.com/section/circular-economy/news/race-for-lithium-illustrates-eu-drive-for-strategic-raw-materials/>, 2018-11-22/2019-12-23.
- [27] MANNING R A. Renewable Energy's Coming of Age: A Disruptive Technology. Atlantic Council, <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/issue-brief/renewable-energy-s-coming-of-age/>, 2015-12-01/2020-9-5.
- [28] International Renewable Energy Agency. Hydrogen: A Renewable Energy Perspective. <https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective>, 2019-09/2020-06.
- [29] 杜明俐. 紧握战略机遇, 向创新谋突破: 就推动电力行业科技创新专访国家能源局科技司负责人. *中国电力*, 2018, 2(10): 6-9. [DU M L. Taking strategic opportunities, seeking for breakthrough in innovation. *China Electric Power*, 2018, 2(10): 6-9.]
- [30] MOHAN V. ISA could replace OPEC as key global energy supplier in future: PM Modi. <https://timesofindia.india-times.com/india/isa-could-replace-opec-as-key-global-energy-supplier-in-future-pm-modi/articleshow/66044985.cms>, 2018-10-03/2019-12-15.
- [31] GOLDTHAU A, KEIM M, WESTPHAL K. The geopolitics of energy transformation: Governing the shift: Transformation dividends, systemic risks and new uncertainties. In: GOLDTHAU A, KEIM M, WESTPHAL K. *SWP Comment No. 42*, Berlin, German Institute for International and Security Affairs, 2018: 1-10.
- [32] O' SULLIVAN M, OVERLAND I, SANDALOW D. The geopolitics of renewable energy, HKS working paper No. RWP17-027, 2017-06-26/2020-5-2.
- [33] PROSKURYAKOVA L. Updating energy security and environmental policy: Energy security theory revisited. *Journal of Environmental Management*, 2018, 29(19): 203-214.
- [34] United States Department of the Navy, Energy Program for Security and Independence. https://navysustainability.dod-live.mil/files/2010/04/Naval_Energy_Strategic_Roadmap_100710.pdf, 2010-10/2020-5-2.
- [35] North Atlantic Treaty Organization. NATO green defense framework. http://www.natolibguides.info/ld.php?content_id=25285072, 2015-02-14/2020-05-01.

Critical technology change and energy geopolitics transition

CUI Shou-jun, CAI Yu, JIANG Mo-qian

(School of International Relations, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: Technology change is the material foundation of energy geopolitics transition. Different from the traditional view that "energy politics is equal to resource politics", this article argues that resource endowment and technology breakthrough are equally important in determining energy geopolitics dynamics. Energy technology can be divided into two categories, namely competence-enhancing technology and competence-destroying technology. For example, shale oil and shale gas extraction technology belongs to the first category and renewable energy technology belongs to the second, while the breakthrough in renewable energy technology will significantly reconstruct global energy structure. Tracing the history of technological transition, the dominant energy resource evolved from wood to coal, to oil and gas and then to renewables. The energy technology innovation cycles are closely intertwined with great powers' geopolitical competition, while major technology shift triggers the upgrade of energy utilization. The technology leading state could always exert its geopolitical advantages in each energy transition process, and the success of challenging state in replacing hegemonic state is always being supported by new energy technology innovation. With the arrival of the fourth industrial revolution, renewable energies, such as wind power, solar power and controllable nuclear fusion will substantively transform and reshape global energy geopolitics. Currently, two geopolitical consequences in new energy transition could be observed. (1) Accessibility and availability to critical elements, especially the rare earth, cobalt and lithium in renewable energy sector, will become the new battle fields of energy geopolitics. (2) Disruptive technology will be the linchpin in leading energy industry upgradation. Global powers such as China, US and EU have set up their roadmaps in promoting renewable energy development. Geopolitical competition among great powers will accelerate the evolution of the present round of energy transition. The progress of new energy technology will substantively affect energy security. On the one hand, the structure of major powers game and the implementation of energy diplomacy will largely differ from the past. On the other hand, the oil and gas related geopolitical conflicts will be largely decreased. In the meanwhile, the cut-off of grids will be a new weapon in global geopolitical game.

Keywords: technology change; disruptive technology; energy transition; energy critical elements; energy geopolitics