

# 电能时代的能源地缘政治初探

苗中泉\*, 毛吉康

(国网能源研究院, 北京市 昌平区 102209)

## A Study on the Geopolitics of Energy in the Era of Electric Power

MIAO Zhongquan\*, MAO Jikang

(State Grid Energy Research Institute, Changping District, Beijing 102209, China)

**Abstract:** The dominant energy resource of the world is transforming from fossil fuels, such as oil, natural gas, and coal, to renewable fuels, such as solar energy, wind power, and nuclear energy. Scholars have discussed changes of energy geopolitics in energy transition but have not drawn any conclusions. Very few studies have discussed the future of energy geopolitics, although it is an important factor for energy transition. When this transition completed, the core energy of society will be electric power. The energy geopolitics in an electric power era will be different from oil and gas geopolitics. Energy geopolitics will shift to the competition of important mineral resources, which are strongly related to the effective use of renewable energy, and to the power grid industry, which will have at least four aspects based on geopolitical characteristics: there will be higher requirements for political and economic cooperation among nations; games will be played around the planning and construction of the global energy interconnection; the competition for key technologies and standards of the global energy interconnection and large power grids will become fiercer; and the non-traditional security of the global energy interconnection will become an important issue that should not be ignored even if traditional security is considered. This paper provides certain suggestions to accelerate the construction of the global energy interconnection and promote energy transition.

**Keywords:** global energy interconnection; energy transition; geopolitics of energy

基金项目: 国家电网公司科技项目(“一带一路”重点地区电力建设与产能合作的国家信用动态评价与投融资决策技术研究, SGFJJY00JJJS1800026)。

Science and Technology Foundation of SGCC (Research on State Credit Dynamic Evaluation and Investment and Financing Decision Technology for Cooperation in Power Construction and Capacity in Key Areas of “the Belt and Road”, SGFJJY00JJJS1800026).

**摘要:** 当前人类社会的主导能源正处于从石油、天然气、煤炭等化石能源向太阳能、风能、核能等非化石能源转型的历史进程之中。学界对这一进程中的能源地缘政治发展进行了探究,但尚无定论,更未有人系统分析未来转型完成后的能源地缘政治特征,而这恰是影响能源转型的重要前景之一。未来能源转型完成后,人类社会将进入电能时代。电能时代的能源地缘政治博弈依然存在,但与油气时代的具体表现有所不同,至少体现在两个方面,一是转移到与有效使用非化石能源高度相关的关键矿产资源领域,二是转移到与电能使用紧密相关的全球能源互联网领域。这将衍生至少4个方面的电能地缘政治特性:对各国政治经济合作提出了更高的要求;各国将围绕全球能源互联网尤其是骨干网架的建设展开博弈;全球能源互联网尤其是大电网关键技术、核心操作规程等将成为重要的能源地缘政治博弈对象;针对全球能源互联网的非传统安全将压倒传统安全成为国际社会不可忽视的重大议题。在此基础上,提出了加快全球能源互联网建设、推进能源转型的相应建议。

**关键词:** 全球能源互联网; 能源转型; 能源地缘政治

## 0 引言

地缘政治指地理因素与政治因素叠加于一国或者地区的影响,尤其强调地理对政治的影响<sup>[1]</sup>,涉及国家利益界定、主要交通线路、关键战略枢纽<sup>[2]</sup>、国家间力量对比的空间位置及其调整变化<sup>[3]</sup>等内容。能源地缘政治就是指围绕着“能源”这一关键对象而产生的地缘政治,是对能源、地理和国家间政治关系的一种综合描述,强调三者之间的复杂关联<sup>[4-5]</sup>。当前正处于国际能源转型的历史进程当中,主导能源从煤炭、石油、天然气等化石能源向太阳能、风能、核能、潮汐能、地热能、生物质能等非化石能源转变<sup>[6]</sup>。针对能源转型进程中的地缘政治,学者已经进行了较多的

研究。一种观点认为能源转型将大幅缓解油气时代高度紧张的地缘政治博弈，减少因能源问题而产生的国际纷争<sup>[7]</sup>；也有观点认为能源转型将促使地缘政治博弈更加激化<sup>[8]</sup>。这两种截然相反的观点实际上涉及一个根本的问题，即能源转型完成后，当太阳能等非化石能源成为人类社会主导能源时，是否还会存在围绕着能源而产生的地缘政治博弈？如果答案是否定的，那么完全可以认为能源转型的最终结果就是消弭能源地缘政治纷争；反之，就不能轻言能源转型会缓解能源地缘政治冲突。鉴于能源转型是一个漫长、复杂的历史过程<sup>[9]</sup>，本文将主要以演绎推理的方法，对转型完成后的能源地缘政治，即电能时代的能源地缘政治问题展开分析，初探其基本特征，以便更加深刻地认识和理解正在进行的能源转型问题。

## 1 相关文献综述

学界自20世纪70年代始以“能源地缘政治”作为专业术语开展针对性研究<sup>[10]</sup>，当前主要成果集中在以下几点：分析各国能源地缘政治环境和战略<sup>[11]</sup>、国际能源合作与博弈情况<sup>[12]</sup>；利用地缘政治理论分析能源安全问题<sup>[13]</sup>；世界能源地缘政治格局的变迁<sup>[14]</sup>及其内在机理分析<sup>[15]</sup>；构建具有理论雏形的能源地缘政治分析框架<sup>[16]</sup>。关于能源转型的地缘政治分析，则集中聚焦于研究能源转型的地缘政治影响方面，主要观点包括：能源转型将弱化围绕着不可再生的化石能源展开的国际地缘政治竞争<sup>[17]</sup>；能源转型的过程不可能一蹴而就，而会伴有传统油气国家的持续抵抗，从而加剧地缘政治动荡<sup>[18]</sup>；能源转型将重塑主要国家在能源领域的结构性优势，为此需提前做好应对<sup>[19]</sup>等。这些研究，主要集中于讨论能源转型的当下地缘政治影响，而对转型完成后的国际能源地缘政治关注不够。事实上，未来的场景是当下自然演进的历史结果。在确定能源转型完成后的基本场景基础上，演绎该场景下能源地缘政治博弈特征，能够非常清晰地辨识出正在进行的能源转型究竟是否能够消弭因能源问题而引发的国际地缘政治冲突，进而为更深刻地理解国际能源转型、更前瞻地部署和参与该历史进程提供科学指导。

## 2 能源地缘政治的历史演进

### 2.1 主导能源的演进

能源转型是由能量原动机推动的、伴随着能源体

系深刻变革的、一次能源长期结构发生变化的过程<sup>[20]</sup>。在人类能源历史上，曾经经历了多次能源转型，每次能源转型完成后，都会出现新的主导能源，形成相应的能源时代。能源原动机，即能够产生适合人类使用的动能（机械能）的能量转换设备，决定着人类社会能源的主要利用形式<sup>[6]</sup>。自有社会文明开始至今，人类社会的能源原动机经历了“人→驯化动物→简易机械（风帆、水车等）→蒸汽机→内燃机、汽轮机”的更替，由此分别推动着“肌力（人力、畜力）→自然力（薪柴、风力、水力）→煤炭→石油、天然气”成为社会运转的主导能源，并相应地形成了前煤炭时代、煤炭时代、油气时代等3个能源时代<sup>[6]</sup>。电动机的发明与普及，以及主要由爱迪生对电力系统商业化做出的大胆改进<sup>[6]</sup>，拉开了电能时代的大幕。电能卓越的能量转换效率、无与伦比的灵活性使其在现代经济社会之中得到了广泛的应用<sup>[21]</sup>；随着信息化、数字化技术的深入发展，唯一能够为现代经济社会的电子数据监控、采集和自动化控制等系统提供能量的电能，将越发成为人类社会有序运行的基本必需品<sup>[6]</sup>；加上当前人类社会为解决日益突出的气候变暖、化石能源污染等问题而大力推进的绿色能源、清洁能源替代化石能源的项目，从能源形式上看，几乎都要转换为电能才可以得到更大范围的应用——因而发展绿色能源、清洁能源实际上不啻为进行“再电气化”<sup>[21]</sup>。未来将进入以“电”为主导的电能时代。目前正处于“油气时代”向“电能时代”转型的历史进程之中。

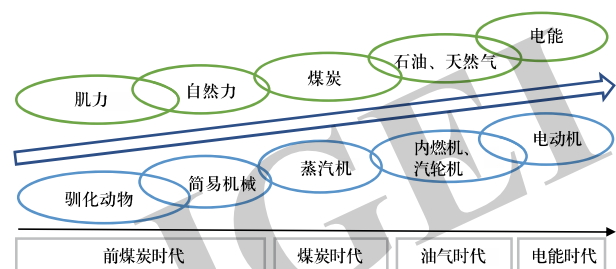


图1 人类能源时代演进简图

Fig. 1 Evolution of energy age

### 2.2 能源地缘政治的演进

结合能源地缘政治演进史看，每个能源时代均形成了相应的能源地缘政治，并呈现出各有差别的地缘政治特性。以煤炭为分界点，可将其分别概括为前煤炭能源地缘政治、煤炭能源地缘政治、油气能源地缘政治和电能能源地缘政治。

### 2.2.1 前煤炭能源地缘政治

前煤炭时代，人类社会对能源的使用尚处于原始阶段，主导能源主要是生物肌力（包括人力、畜力）、薪柴、水、风等自然力。两大缘由决定着这一阶段围绕着主导能源的地缘政治竞争烈度极低，并且与更一般意义上的地缘政治博弈几乎完全重合：一是这些主导能源往往并非单独作为社会动力的来源而存在的，它们同时还是社会物质财富的直接创造者。二是前煤炭时代人类社会尽管经历了从原始社会经奴隶社会到农业社会的演进，但整体上对能源的需求仍然较小，对能源效率的要求也比较低<sup>[6]</sup>，能源问题往往被其他更具紧迫性的问题压倒。因而在前煤炭时代，人类社会整体上不存在以掠夺能源为唯一目的的地缘政治博弈。能源地缘政治博弈往往是与其他更宏大的政治博弈高度重合的，作为后者的次要目的出现，这是前煤炭时代能源地缘政治的基本特性。

### 2.2.2 煤炭地缘政治

18世纪末改良蒸汽机和汽轮机的广泛应用，以其数倍于前煤炭时代的能源效率<sup>[6]</sup>，推动煤炭迅速发展成为欧洲先进国家最重要的能源产品。但煤炭作为远古植物在地壳中经历漫长复杂生物化学和物理化学作用的产物，其自然分布完全受限于天然的地理作用，并且一旦消耗，在很长一段时间内无法得到补充；而开采、炼化与大规模高效率地运输和使用煤炭，更是只有若干发展最快的欧洲国家才掌握的核心技术。迟至19世纪中后期、第一次工业革命接近尾声之际，煤炭已经成为全球范围内工业使用最广泛的能源品种。至此，煤炭作为能源资源的稀缺性与其消费区域的普遍性和消费总量的不断高涨之间出现尖锐矛盾，煤炭的主产区与消费区之间出现显著的地理错位，全球范围内统一的能源市场开始逐渐形成，而围绕着煤炭资源的地缘政治竞争也越发显著，煤炭地缘政治开始浮现。对这一时期的国家间竞争而言，尽可能多地占有高品质的煤矿资源，建设强大的全球能源资源运输能力，成为决胜的关键：大英帝国的世界殖民帝国，正是建立在其丰富的煤炭资源基础上<sup>[22]</sup>，而对欧洲最重要的煤炭资源产区——德国鲁尔地区和法国阿尔萨斯洛林地区的争夺，则成为法德两国在19世纪中期直至二战结束长达一个世纪的时间内多次战争的重要缘由<sup>[23]</sup>。煤炭成为决定国家工业发展水平的重要能源基础，煤炭地缘政治成为塑造国家间关系和世界政治结构的重要因素，这是煤炭时代能源地缘政治的具体特征。

### 2.2.3 油气地缘政治

19世纪中后期，能源转化效率比蒸汽机更高的内燃机的发明和汽轮机的改进推广<sup>[6]</sup>，推动石油在人类社会中发挥越来越大的作用，并在二战之后与天然气一道，取代煤炭成为主导能源。与煤炭相似，油气资源同样具有鲜明的地理特征，其分布地域更加集中，集中分布在包括俄罗斯—中亚—中东—北非—西非的常规资源线和北美—南美的非常规资源线<sup>[16]</sup>。其开采、利用的技术和资本门槛更高，只有极少数具备坚实工业基础和科技能力的发达国家才能建成系统完整的油气勘探、开采、炼化、运输部门。这也意味着在油气时代，只有这些国家才可能真正在全球范围内自由开采、加工、使用和交易油气资源。油气时代的能源地缘政治，集中表现为油气地缘政治，其核心则是“油权”，即油气成为一种权力，包括对油气资源的控制权、油气通道的控制权和油气市场的控制权<sup>[16]</sup>。

油气地缘政治具有三大特征。一是油气资源的战略属性压倒能源属性，对国家间关系的塑造更加明显、更加突出。1973年10月，中东地区产油国联合减产，引发全球范围内的第一次石油危机，并级联导致经济危机，迫使美英等国放弃在中东战争中支持以色列的立场，凸显油气资源在国际政治博弈中的战略特性<sup>[24]</sup>；此举同时还迫使美国时任总统尼克松不得不重新修订其能源政策，将实现“能源独立”作为一项基本的战略目标<sup>[25]</sup>。自此，在油气时代的国际地缘政治秩序中，国家的地位已经不再简单地由核弹头、军舰、大炮等决定，而是在更深层次上取决于一国所拥有的和所能掌控的石油、天然气等主要能源资源的储量，或者以其他财富形式购买或者占有富油国资源的能力<sup>[26]</sup>。

二是世界油气地缘政治格局经历了从寡头格局到两方博弈、再到一超多强的演变。在20世纪60年代之前，全球油气市场主要由英美两国七大石油公司垄断，油气地缘政治呈现跨国公司寡头支配的格局<sup>[26]</sup>；1960年9月，中东地区的主要产油国发起成立石油输出国组织（OPEC）；1974年11月，欧美发达国家发起成立国际能源署（IEA），标志着当代世界能源地缘政治进入两方博弈阶段<sup>[27]</sup>；进入21世纪以后，美国凭借其油气资源侧、运输侧和消费侧的突出优势，成为唯一拥有绝对优势“油权”的超级强国<sup>[16]</sup>，而俄罗斯、欧盟、日本、中国等，则成为油气地缘政治博弈中的主要强国，全球油气地缘政治呈现出一超多强的格局<sup>[27]</sup>。

三是美国始终在全球油气地缘政治博弈中占据优势地位，拥有最大权益。美国以现实主义外交政策为指导，通过占领或者扶持代理人控制重要油气产区、建立与国际油气贸易紧密联动的石油美元体系、严格控制先进能源技术外流和外资对本国能源领域的投资等措施，确保美国在世界能源领域的霸权优势。2016年特朗普当选美国总统后，公开宣布实施以“美国优先”为目标的“能源新现实主义”政策，美国丰富的油气资源成为其重要的霸权护持工具。

### 3 电能时代的能源地缘政治特征分析

当前阶段，尽管电能作为现代社会用能的一部分，重要性已经不言而喻，但各国电能的产、消主要以国内为主，跨国电力互联的规模较小、程度较低；加之当前电能主要由化石能源转化而来，围绕电能的能源地缘政治博弈尚不明显，电能的地缘政治属性并未充分彰显。在能源转型完成后的电能时代，以电为核心的能源地缘政治博弈将呈现新的特征。

#### 3.1 电能地缘政治重塑油气地缘政治的基本格局

电能时代的能源地缘政治博弈依然存在，但其直接表现将与油气等化石能源时代有较大不同。从电能时代能源供给侧、消费侧、运输通道侧看，国际能源地缘政治结构出现重大而深刻的调整。

就能源供给和消费侧而言，在电能时代，泛在、可再生的一次能源将不再完全受限于地理分布，可获取性大幅提升，能源储产区的泛在与消费区的泛在形成调适关系，以二者之间的地理空间错位谋求政治战略上的利益将不再是一个有效的手段，这会直接大幅削弱能源产地的地缘政治意义，最显著的表现是当前油气资源丰富、产油能力强劲的地区如俄罗斯、中东产油国等将失去其在全球能源地缘政治博弈中的强势地位。当然，这并不意味着能源主产区和消费区的地缘意义消失了，正如有学者已经注意到的那样，全球50多个国家将水电作为主要能源，在此背景下，已经出现上下游国家围绕水资源而发生的国际纷争，有些国家甚至展现出“为了水资源不惜一战”的姿态<sup>[28]</sup>。可以推定，电能时代包括水资源在内的具有经济价值且可开发的风、光、地热等可再生资源，都可能在不同层面上成为国家间争夺的对象。但同样可以肯定的是，与油气时代全球争夺储量有限且地理分布高度集中的油气资源相比，对新能源及其丰富储产

区的争夺烈度将大为缓解。

就运输通道侧而言，电能时代将产生新的能源运输通道和地理枢纽，这些通道和枢纽将具备新的地缘政治意义。油气时代被地缘政治博弈者和研究者视为“能源生命线”的远洋航道、运输管道等，被视为能源地理枢纽的重要港口、码头、中转站等，被视为权势来源的油气储产区等<sup>[16]</sup>，将丧失其原有的重要性，围绕这些内容的国家间博弈、政治谋划等<sup>[29]</sup>，也将失去原有的意义。

#### 3.2 电能地缘政治博弈将转移至能源产业链的其他环节

这至少体现在两个方面，一是关乎能源转换的关键矿产资源环节，二是能源尤其是电能的大规模运输，即大电网环节。

##### 3.2.1 关键矿产资源环节

地缘政治博弈从能源资源本身转移到与多样化能源的充分利用紧密相关的矿产资源之上<sup>[30]</sup>。研究已经指出，能源转型过程中需要建造大量的基础设施和设备，如太阳能电池板、风力发电机组、电动汽车、耐高温高压材料等，因而需要消耗大量矿产和金属资源<sup>[31]</sup>。从能源转型过程中依赖的绿色能源技术群角度而言，风能发电技术主要使用稀土、铂族金属、金和银等<sup>[32]</sup>；太阳能发电技术主要使用铜、银、铂族金属、钢等<sup>[33]</sup>；电动车技术主要使用钢铁、铜、铝、稀土、镍、锂、钴等<sup>[34]</sup>；燃料电池主要使用锂、钴、铂族金属等；照明技术主要使用镓、锗、铟等<sup>[33]</sup>。这些关涉能源转型的矿产资源，尤其是稀土、铂族金属、钴、锂等关键矿产资源，与石油和天然气一样，在自然界的分布具有鲜明的地理特征，高度集中于少数国家和地区（表1）<sup>[35]</sup>，这决定了未来能源系统将再次与化石能源时代一样，具有显著的地缘特性。固然，随着技术的进步，对某种特定矿物元素的需求会有变化，但无论该具体矿产资源是什么，只要不是同样泛在、可再生的，就势必会高度依赖自然地理，天然具有地缘属性。围绕着这些关键矿产资源的地缘政治争夺，就势必会成为电能地缘政治的重要内容。

表1 能源转型涉及的关键矿产及主要供应国

Table 1 Types and supplies of critical minerals

关键矿产	应用领域	主要供应国
稀土	电动汽车、风力发电机组	中国、澳大利亚
铟	光伏电池板、发光二极管	中国、日本、韩国、加拿大

续表

关键矿产	应用领域	主要供应国
铂族金属	氢燃料电池	南非、俄罗斯
钴	锂电池	刚果共和国、加拿大、菲律宾、印度尼西亚、俄罗斯
锂	锂电池	智利、阿根廷、澳大利亚、中国
镓	薄膜光伏、发光二极管	中国、德国、乌克兰
锗	光伏电池板、发光二极管	中国、美国、俄罗斯、加拿大
硒	光伏电池板	智利、俄罗斯、秘鲁、美国
钨	耐高温高压材料	中国、加拿大、俄罗斯
银	光伏电池板、核能、太阳能浓缩技术	墨西哥、秘鲁、中国

### 3.2.2 能源运输环节

电能地缘政治竞争将从能源供给、运输、消费全环节更加集中到运输这一环节，围绕大电网及其控制系统而展开的地缘政治博弈将成为未来世界能源地缘政治的重要内容<sup>[19]</sup>。绝大部分新能源都必须转化为电能才能得到大规模的使用，而包括风能、太阳能、潮汐能等在内的新能源，其转换为电能的过程受到自然条件的天然限制，无法实现全时、稳定发电；电流、电压的波动亦比传统能源发电时更为剧烈<sup>[19]</sup>。对此，电力领域大致有两种解决思路：一是建设规模巨大、泛在互联的储能系统，在新能源发电高峰期将多余电能储存起来，而在其发电低谷或者停止发电时放电，通过储能系统实现削峰填谷；二是建设规模巨大的输电网络，将不同地区的电网连在一起，由于电能传输速度与光速相近，因而可以实现实时调度，当联网范围足够大时，便可以通过地域空间补偿，实现新能源发电的全时和实时调度<sup>[36]</sup>。

从中长期来看，储能技术得到突破后，大规模建设储能装置固然可行，但其成本要远大于建设大电网系统，而且其削峰填谷能力有待检验；而以特高压输电技术为核心的大电网系统不仅早已实现了技术突破，而且在实际生产中已经得到了较为充分的检验。通过建设洲际乃至全球能源互联网，以特高压输电技术将全球大电网充分连接起来，辅之以必要的储能设备建设，从经济技术上看将是未来世界能源发展的一个重要趋势<sup>[21]</sup>。由此判断，在未来能源转型完成后，尽管能源产地是泛在的，能源消费地是泛在的，

但受限于新能源无法克服的自然特性，能源转化与调度将高度依赖大电网系统，依赖特高压输电技术。这将至少在4个方面衍生出具有电能时代特性的能源地缘政治。

### 3.3 电能地缘政治特征

1) 大规模建设以电为中心的全球能源互联网将大幅提升国家间的相互依赖，从而对更加深入的国际政治经济互信与合作提出更高的要求。电能产-消同步的特性决定着在全球能源互联网时代，一旦电能供给国切断供应，则输入国将几乎同步陷入无电、缺电状态，这对高度依赖电能的现代经济社会将会造成极其严重的打击<sup>[37]</sup>，其烈度甚至不亚于一场军事战争。因此，建设全球能源互联网，本质是将各个国家纳入以清洁、绿色电能互联互通为基础的人类命运共同体之内。需要在达成共识的前提之下，创建新的、以国际社会共同安全为目标的更高等级的全球安全规范，通过国际立法禁止以全球能源互联网为手段或对象谋求不正当政治利益。这对习惯以能源为工具要挟或讹诈他国的传统霸权国和能源大国将形成根本性挑战。

2) 在互信与合作的基础上，全球能源互联网建设将使参与的各国更加注重地缘经济获益，从而围绕着电网规划、调度中心建设、枢纽变电站建设等展开高强度非暴力博弈，以谋求本国利益最大化。与化石能源时代油气管网建设要受到过境国地缘制约相似，大电网建设同样要受到过境国的地缘制约，这将大大突出重要网关节点、关键枢纽区域的地缘政治意义。网线密集穿过的地区、多层网架交汇互联的地点、国与国之间电网相连的节点，以及不同层次的电网有序运行所依赖的各级调度控制中心、大型变电站等，都将成为决定区域乃至更大范围电网安全运行的重要地缘枢纽，成为电能地缘政治博弈的重要场域。同样与油气管网建设及枢纽站建设将会为有关国家带来重要油气过境收益相似，全球能源互联网主干网架通过的国家、地区，枢纽变电站、尤其是大区域内的调度中心等，将会为所在国家和地区带来稳定的、额外的经济收益，并同时提高其在全球能源互联网事业中的话语权与主动性。因而，在电能时代，全球能源互联网尤其是大电网的规划建设将成为不可忽视的地缘博弈对象。

3) 电能时代的全球能源互联网技术竞争尤其是大电网技术竞争将成为能源地缘政治博弈的重要内容。在信息技术的深层改造下，以智能大电网系统为基础

的能源系统将兼具工业装备基础设施网络与虚拟信息网络的双重属性，成为能量流、信息流、价值流“三流合一”的能源互联网系统。尽管目前学术界对该系统仍处于探索阶段，但就其运维管理而言，将与目前国际互联网、电信通信网具有较大的一致性：高度强调国际合作同时又充满了相互竞争，管理运营的基础逻辑和技术标准全球高度统一，拥有技术和标准优势的先发国家掌握着最大主动权。国际互联网领域的国家权势之争正在如火如荼，电信通信领域围绕5G技术的国家间竞争已经引发了全球范围内新兴国家与传统霸权国家之间激烈的权势争夺<sup>[38]</sup>；未来全球能源互联网的技术标准、运维规范、调度规程等，将成为整个能源系统有序运行的基础，拥有最多先进专利技术、最系统完善的调度制度、最高水平的运维管理经验的国家，将可能成为未来全球能源互联网运行规范的最大贡献者，从而最大程度地提升本国相关产业的全球竞争力，助力本国在国际政治经济博弈中更好地占据主动性。因此，以电为中心的全球能源互联网的大规模发展，在为国际社会创造广阔合作空间的同时，也势必成为各国努力争夺的新的地缘场域。谁率先掌握大电网的关键技术、核心管理规程，谁就能影响整个产业生态系统，成为全球能源互联网的主导者，抢占未来能源系统的价值制高点，进而成为电能时代能源地缘政治博弈的胜出者。

4) 电能时代针对全球能源互联网等关键基础设施的恐怖袭击等非传统安全问题将变得更加突出，并将产生更严重的级联后果，能源地缘政治领域或将呈现出非传统安全压倒传统安全的特征。电网具有天然的脆弱性，在与数字技术深度融合后，电网同时具有了信息网的属性。这意味着无论是攻击电网的物理网架，还是攻击电网的信息网络，都将给其造成难以估计的损失。据研究，针对欧洲电网，只要攻击其10%的节点即可使整个电网系统损失90%的完整性<sup>[39]</sup>；另有案例显示，早在2000年，一名心怀不满的黑客仅仅依靠1台电脑和1台无线电发射机，通过控制工业数据采集与监控系统（SCADA），就成功控制了澳大利亚昆士兰阳光海岸的污水处理厂142个泵站长达3个月之久，严重扰乱了污水厂的有序运转，并给当地居民的生活造成重大影响<sup>[40]</sup>。在全球能源互联网时代，骨干网架的范围将远远超过一国疆域，扩展至洲际乃至全球，这不仅意味着骨干网架的接入点将大大增多，而且意味着所配套的SCADA系统亦将覆盖全球。即便在国际社会通过并接受了全面禁止攻击全球能源互联

网的立法后，对政府和社会不满的恐怖分子，乃至并无任何政治诉求的互联网黑客等，都有可能对骨干网架的接入点和SCADA系统发起攻击。一旦得逞，则其影响范围将远比前述案例更为广大，对国际社会的正常运转亦将具有无法估量的后果。因此，在电能时代，大电网的安全，尤其是电网SCADA系统的安全将成为重中之重。能源地缘政治中的非传统安全将压倒传统安全成为各国不可轻视的内容。

## 4 结论与建议

当前正在进行的国际能源转型是一个长期复杂的历史过程，但转型完成后，电能将成为经济社会的主导能源，人类真正全面进入电能时代。与油气时代相比，电能时代的能源地缘政治博弈并未因为用以发电的太阳能、风能等一次能源的泛在、可再生而彻底消弭，而是表现出新的特征。本文认为这至少体现在两个方面：一是能源地缘政治竞争将转移至与新能源技术紧密相关的关键矿产领域；二是以大电网工业系统为基础的全球能源互联网成为经济社会的基础能源系统，其建成与有序运营为各国创造了新的、广阔的竞争与合作空间。这将衍生至少4个方面的电能地缘政治特性：对各国政治经济合作提出了更高的要求；各国将围绕全球能源互联网尤其是骨干网架的规划建设展开博弈；全球能源互联网尤其是大电网关键技术、核心操作规程等将成为重要的能源地缘政治博弈对象；针对全球能源互联网的非传统安全将压倒传统安全成为国际社会不可忽视的重大议题。

基于此，本文提出如下政策建议。

1) 要加强对国际能源转型的政治经济分析，尤其是要更加深刻地认识国际能源转型过程中和完成后的能源地缘政治博弈发展趋势与基本特点，避免在这一重大问题上认识简单化。

2) 基于能源转型完成后社会主导能源将是电能，与电力相关的行业、产业，尤其是电网将成为电能时代最重要的部门之一。各国政府与相关能源电力企业、国际组织应加快电力技术创新，加强在电网技术、行业规程、管理标准等领域的全面合作，为加快能源转型、加速实现电能替代提供有效支撑。

3) 中国是全球能源互联网事业的发起者、推动者和积极践行者。今后要进一步深入研究、推进全球能源互联网事业，继续与能源转型、应对气候变化、缓解环境生态压力、促进科技创新、构建人类命运共

同体等人类重大普遍性议题相结合, 加强理论宣传, 使建设全球能源互联网成为国际社会普遍接受、真心认可的基本共识和积极参与的宏大事业。

4) 要高度重视能源转型完成后国际社会可能面临的普遍的安全威胁问题, 一方面要通过构建高度互信机制, 呼吁、推动以国际立法方式将全球能源互联网列入明令禁止攻击的关键基础设施范畴之内, 尽可能减少全球能源互联网建设推进发展的政治担忧; 另一方面, 主要国家应加紧针对全球能源互联网非传统安全威胁的研究与防范, 尤其是要进一步改进和提升电网物理安全和SCADA系统网络安全能力, 保障能源转型的快速、稳定、安全推进。

## 参考文献

- [1] BRZEZINSKI Z. The grand chessboard: American primary and its geostrategic imperatives[M]. New York: Basic Books. 1997.
- [2] DEUDNEY D H. Geopolitics[EB/OL]. (2019-06-10)[2019-12]. <https://www.britannica.com/topic/geopolitics>.
- [3] 徐忠, 张云菊, 娄大韬. 地缘政治新变化与中国的战略选择[J]. 世界地理研究, 2011, 20(2): 15-19.  
XU Zhong, ZHANG Yunju, LOU Datao. Geopolitical new change and China's strategic choice[J]. World Regional Studies, 2011, 20(2): 15-19(in Chinese).
- [4] 袁胜育, 金胤静. 中亚能源地缘政治析论[J]. 河南师范大学学报(哲学社会科学版), 2012, 39(5): 81-85.  
YUAN Shengyu, JIN Yinjing. An analysis on central Asian energy geopolitics[J]. Journal of Henan Normal University (Philosophy and Social Sciences), 2012, 39(5): 81-85(in Chinese).
- [5] 伍福莲. 论当今能源地缘政治的特征[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2015, 36(2): 198-202.
- [6] 斯米尔. 能源转型: 数据、历史与未来[M]. 高峰, 江艾欣, 李宏达, 译. 北京: 科学出版社, 2018.
- [7] Global powers need to take the geopolitics out of energy[N/OL]. The Economist, 2018-03-15[2019-12-10]. <https://www.economist.com/special-report/2018/03/15/global-powers-need-to-take-the-geopolitics-out-of-energy>.
- [8] Clean power is shaking up the global geopolitics of energy[N/OL]. The Economist, 2018-03-15[2019-12-10]. <https://www.economist.com/special-report/2018/03/15/clean-power-is-shaking-up-the-global-geopolitics-of-energy>.
- [9] 苗中泉. 能源转型的非线性与复杂性[J]. 电力决策与舆情参考[J]. 2018(39): 5-13.
- [10] CONANT M A, GOLD F R. The geopolitics of energy[M]. Boulder: Westview Press, 1978.
- [11] 郎一环, 王礼茂. 俄罗斯能源地缘政治战略及中俄能源合作前景[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 201-206.  
LANG Yihuan, WANG Limao. Russian energy geopolitic strategy and the prospects of Sino-Russia energy cooperation[J]. Resources Science, 2007, 29(5): 201-206(in Chinese).
- [12] 戴永红, 秦永红. 中国与南亚能源合作中的地缘政治战略考量[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2010(2): 77-84.  
DAI Yonghong, QIN Yonghong. The strategic considerations of geopolitics in the energy cooperation between China and south Asia[J]. Journal of Sichuan University (Social Science Edition), 2010(2): 77-84(in Chinese).
- [13] 赵畅. 从资源地缘政治角度分析中东石油安全问题[J]. 中国石油大学学报(社会科学版), 2012, 28(5): 5-10.  
ZHAO Chang. Analysis of oil security in the Middle East from the perspective of resource geopolitics[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Social Sciences), 2012, 28(5): 5-10(in Chinese).
- [14] 李红强, 王礼茂. 中亚能源地缘政治格局演进: 中国力量的变化、影响与对策[J]. 资源科学, 2009, 31(10): 1647-1653.  
LI Hongqiang, WANG Limao. Evolution processes of energy geopolitical pattern in central Asia: changes and impacts of China's power and its countermeasures[J]. Resources Science, 2009, 31(10): 1647-1653(in Chinese).
- [15] 李红强, 王礼茂, 郎一环. 能源地缘政治格局的演变过程与驱动机制研究: 以中亚为例[J]. 世界地理研究, 2009, 18(4): 56-65.  
LI Hongqiang, WANG Limao, LANG Yihuan. Evolution process and driving mechanism of energy geopolitical pattern: a study of central Asia[J]. World Regional Studies, 2009, 18(4): 56-65(in Chinese).
- [16] 徐建山. 论油权: 初探石油地缘政治的核心问题[J]. 世界经济与政治, 2012(12): 115-132.  
XU Jianshan. Oil power: the core of oil geopolitics[J]. World Economics and Politics, 2012(12): 115-132(in Chinese).
- [17] IRENA. A new world: the geopolitics of the energy transformation[R/OL]. (2019-02)[2019-06-10]. <https://www.geopoliticsofrenewables.org>.
- [18] Switching to renewables will not be as rapid as many hope[N/OL]. The Economist, 2018-03-15[2019-12-10]. <https://www.economist.com/special-report/2018/03/15/switching-to-renewables-will-not-be-as-rapid-as-many-hope>.
- [19] SCHOLTEN D. The geopolitics of renewables[M]. Berlin: Springer, 2018.
- [20] 朱彤, 王蕾. 国家能源转型: 德、美实践与中国选择[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2015.
- [21] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.  
LIU Zhenya. Global energy interconnection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2015(in Chinese).
- [22] 俞金尧. 近代早期英国经济增长与煤的使用: 西方学者研究经济史的新视角[J]. 科学文化评论, 2006, 3(4): 49-63.  
YU Jinyao. Economic growth and the use of coal in early modern Britain[J]. Science & Culture Review, 2006, 3(4): 49-63(in Chinese).

- [23] 帕尔默, 科尔顿, 克莱默. 现代世界史[M]. 何兆武, 孙福生, 董正华, 等译. 北京: 世界图书出版公司, 2009.
- [24] LOVINS A B, LOVINS L H. Brittle power: energy strategy for national security[M]. Massachusetts: Brick House Publishing Co., 2001.
- [25] PASCUAL C, ELKIND J. Energy security: economics, politics, strategies, and implications[M]. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 2009.
- [26] 克莱尔. 石油政治学[M]. 孙芳, 译. 海口: 海南出版社, 2009.
- [27] 鲁刚, 毛吉康. 全球能源治理: 理论、趋势与中国路径[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018.
- [28] 张锐, 寇静娜. 全球清洁能源治理的兴起: 主体与议题[J]. 经济社会体制比较, 2020(2): 182-191.  
ZHANG Rui, KOU Jingna. The rise of global clean energy governance: subjects and issues[J]. Comparative Economic and Social Systems, 2020(2): 182-191(in Chinese).
- [29] MAHAN A T. The influence of sea power upon history (1660-1783)[M]. Boston: Little, Brown, and Company, 1898: 29-35.
- [30] O'SULLIVAN M, OVERLAND I, SANDALOW D. The geopolitics of renewable energy[M]. New York: Columbia University, 2017.
- [31] VIDAL O, GOFFE B, ARNDT N. Metals for a low-carbon society[J]. Nature Geoscience, 2013, 6(11): 894-896.
- [32] KIM J, GUILLAUME B, CHUNG J, et al. Critical and precious materials consumption and requirement in wind energy system in the EU 27[J]. Applied Energy, 2015, 139: 327-334.
- [33] GRANDELL L, LEHTILÄ A, KIVINEN M, et al. Role of critical metals in the future markets of clean energy technologies[J]. Renewable Energy, 2016, 95: 53-62.
- [34] STEINBUKS J, SATIJA G, ZHAO F. Sustainability of solar electricity: the role of endogenous resource substitution and cross-sectoral responses[J]. Resource and Energy Economics, 2017, 49: 218-232.
- [35] 徐德义, 朱永光. 能源转型过程中关键矿产资源安全: 回顾与展望[J/OL]. 资源与产业, 2020. <https://doi.org/10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20200226.001>.  
XU Deyi, ZHU Yongguang. Critical mineral resource security in process of energy transition: review and prospect[J/OL]. Resources & Industries, 2020. <https://doi.org/10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20200226.001>.
- [36] TAGLIAPIETRA S. The geopolitical implications of the global energy transition[EB/OL]. (2019-03-07)[2019-06-20]. <https://www.bruegel.org/2019/03/the-geopolitical-implications-of-the-global-energy-transition/>.
- [37] CLARKE R A, KNAKE R K. Cyber war[M]. New York: Ecco, 2010.
- [38] Defense Innovation Broad. The 5G ecosystem: risk and opportunities for DoD[R/OL]. (2019-04-03)[2019-06-10]. [https://media.defense.gov/2019/Apr/03/2002109302/-1/-1/0/DIB\\_5G\\_STUDY\\_04.03.19.PDF](https://media.defense.gov/2019/Apr/03/2002109302/-1/-1/0/DIB_5G_STUDY_04.03.19.PDF).
- [39] SCHNEIDER C M, MOREIRA A A, ANDRADE J S, et al. Mitigation of malicious attacks on networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011, 108(10): 3838-3841.
- [40] SHAKARIAN P, SHAKARIAN J, RUEF A. Introduction to cyber-warfare: a multidisciplinary approach[M]. New York: Elsevier Inc., 2013.

收稿日期: 2020-04-03; 修回日期: 2020-08-10。



苗中泉

作者简介:

苗中泉(1988), 男, 法学博士, 研究方向为国际地缘政治经济、国际能源治理、比较政治研究。通信作者, E-mail: zhongquan100@126.com。

毛吉康(1981), 男, 法学博士, 研究方向为国际能源治理、国际政治与亚太研究, E-mail: maojikang@sgeri.sgcc.com.cn。

(责任编辑 李锡)