

世界能源百年变局与国家能源安全

杨宇^{1,2,3}, 于宏源⁴, 鲁刚⁵, 王礼茂^{1,2}, 赵媛^{6,7,8},
郝丽莎⁶, 任东明⁹, 方伟^{10,11}, 安海忠^{10,11}, 蔡国田¹²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 区域可持续发展分析与模拟实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 粤港澳大湾区战略研究院, 广州 510070; 4. 上海国际
问题研究院比较政治与公共政策研究所, 上海 200233; 5. 国网能源研究院有限公司能源战略与规划研究
所, 北京 100052; 6. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 7. 南京师范大学金陵女子学院, 南京
210097; 8. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 9. 中国宏观经济研究院能源研究
所, 北京 100038; 10. 中国地质大学(北京)经济管理学院, 北京 100083; 11. 自然资源部资源环境承载力评
价重点实验室, 北京 100083; 12. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640)

摘要: 在百年未有之大变局的背景下, 我国当前所面临的能源形势日趋复杂, 能源安全愈加成
为攸关国家经济发展的重大战略。新形势下, 无论是学科层面上世界能源地理与国家能源安
全的科学问题、研究对象、研究方法等, 还是国家现实需求上全球能源治理体系与国际能源合
作等问题, 都亟待专家学者们深入交流与讨论。通过“一问一答”的访谈方式, 展示主持人与九
位学界或业界访谈嘉宾基于不同视角的问答内容。分别围绕能源安全的内涵与全球能源治理
模式、我国能源安全面临的挑战与对策、全球能源地缘政治形势的新变化、世界能源生产空间
和消费空间不平等地理格局下的能源安全、全球能源低碳转型趋势下的中国能源高质量发展、
重大突发公共卫生事件影响下的全球能源供需格局变化、未来能源地理学的研究前景与重要
研究方向等一系列内容发表观点。以期达成一定共识, 从而更好地研讨世界能源地理学的关
键问题, 并积极应对世界能源的百年变局, 提出保障国家能源安全的应对措施等。

关键词: 世界能源地理; 能源地缘政治; 能源安全; 百年变局; 能源革命

主题主持人:

杨宇, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 博士生导师, 经济地理与区域发
展研究室副主任, 中国科学院青年创新促进会会员, 中国地理学会经济地理专业委员会
委员。研究方向为能源地缘政治与国家能源安全、经济地理与区域发展等。

访谈主题:

能源是现代文明和经济发展的重要物质基础, 其生产、分配和利用已成为世界政治
经济结构中不可缺少的组成部分。能源安全成为攸关国家经济发展的重大战略, 我国所
面临的能源形势日趋复杂^[1,2]。一方面, 油气资源仍然是全球能源市场的主体, 是新兴工
业化国家最依赖的能源。2018年全球石油和天然气在能源消费中的比例接近60%。我国
作为工业化大国, 能源消费和“富煤、贫油、少气”的能源生产结构决定了海外油气资

收稿日期: 2020-09-12; 修订日期: 2020-09-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871118, 42022007, 41842056); 国家重点研发计划项目(2017YFF0211903)

作者简介: 杨宇(1984-), 山东威海人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事能源地缘政治与国家能源安全、经
济地理与区域发展研究。E-mail: yangyu@igsnr.ac.cn。其他为共同第二作者。

源供应保障需求的长期性。然而,世界油气富庶之地多是地缘政治不稳定的地区,中东等世界油气主产区的地缘政治局势持续动荡,同时美国凭借页岩气革命实现了能源独立目标,近百年来,油气地缘政治博弈错综复杂,国家权力的争夺更多地表现为对战略资源的控制^[3]。另一方面,新能源正在以前所未有的速度成为技术与经济可行的可持续性选择,在气候变化与低碳经济发展的背景下,全球能源供应体系将持续向可再生能源转型^[4]。新能源的基础设施建设和新能源发展所依赖的关键原材料成为新的地缘政治博弈焦点。同时,逆全球化思潮与重大突发公共卫生事件等黑天鹅事件,对全球能源生产与供应体系产生了巨大的冲击。传统上以北美和欧洲为主导的能源领域机制设计需要变革,中国应积极参与构建全球能源治理体系^[5]。

全球可再生能源迅速发展,其影响远远超过能源品种之间的替代,也将超越能源本身的范畴,拓展到国际政治、全球贸易、工业与经济等领域,成为重塑21世纪地缘政治格局的重要驱动力之一。国际可再生能源署(IRENA)在2019年出版的报告《新世界:全球能源转型与地缘政治》中,指出正如石油、天然气等化石能源塑造了过去两个世纪的地缘政治格局一样,全球能源的转型将改变全球地缘结构和国际关系,也将改变冲突风险以及地缘政治动荡的驱动因素,已影响世界超过百年的石油和天然气地缘政治或将发生根本性变化^[6],世界正处在百年未有之能源大变局之中。

这些新的形势对世界能源地理的科学问题、研究对象、研究方法等影响深远,对全球能源治理体系、能源安全与国际能源合作等影响广泛。《自然资源学报》编辑部与国家自然科学基金委员会地球科学部学科发展战略研究项目“能源地缘政治学与国家能源安全研究”联合策划了此次能源安全专刊。在学科理论方面,聚焦新时代世界能源地理的理论与技术方法体系,在服务国家战略需求方面,关注如何应对世界能源形势变化,保障我国能源安全。

为了更加深刻地理解世界能源百年变局与国家能源安全,我们邀请了来自学界和业界的知名专家就能源安全的内涵及其变化、全球地缘政治新形势、全球能源供需格局变化及其对我国能源安全影响等相关议题进行访谈。

主持人:

不同时代的能源安全内涵及其全球治理模式是不同的。当前正处在传统油气资源和新能源代际转换的关键时期,我们应该如何去理解能源安全的核心内涵和全球能源治理的趋势?

访谈嘉宾:

于宏源,上海国际问题研究院比较政治与公共政策研究所所长,研究员,未来地球计划中国国家委员会委员。研究方向为全球能源治理、能源地缘政治等。

(1) 能源安全的内涵

能源安全一般指的是能源供应的安全,即能源的可获得性,可以理解为不对某些产油国或产油区的石油形成能源依赖,也可以指国家或地区的能源储量充足,且生产和供应安全。能源安全和地缘政治相关,约瑟夫·奈在1980年的《能源与安全》报告中提出了能源对地缘政治和国际安全的影响;麦克·克莱尔认为国际市场供求双方博弈的结果构成了能源安全,同时能源安全也是“大国”关于石油利益分配的政治安排。现代世界是一个“碳化”(以碳为核心的能源)的世界。

(2) 全球能源安全受到两个外部逻辑的制约

能源安全会受到两个外部逻辑的制约，既包括基于地缘政治的权力逻辑，也包括基于全球治理的建章立制逻辑^[7]。出于在维护能源安全方面的共同利益，在参与能源治理建章立制的过程中，主要大国之间合作与竞争并存。能源地缘政治包括两个尺度：其一是空间尺度上基于地缘政治的竞争与合作^[8]；其二则是时间尺度上基于技术和市场的能源治理转型^[9]。而全球治理既关乎国际体系稳定，又影响各行为主体的权力和利益^[10]。晚近以来，能源已经成为全球治理的关键领域。在全球化时代，能源问题呈现出“公共化”和“复杂化”的特质=全球能源治理的参与主体逐渐抛弃“零和博弈”思维，尝试通过国际合作来治理能源生产、运输和消费过程中的技术、规则等复杂问题^[8]。国家间能源竞争存在一系列地缘策略，包括在产地和海洋通道上的军事部署、外交和盟友的建设、资源国的代理人战争或政权更迭，以及对恐怖主义和核扩散的打击^[9]。阿尔弗雷德·赛耶·马汉认为：争霸世界的关键在于争夺能源的能力。从地缘政治逻辑出发，霸权国的战略布局、地区大国的资源民族主义，以及资源通道的地缘风险都为能源安全增添了不确定性因素。当前的全球能源体系转变对中东的地缘政治博弈的影响深远。主要大国围绕能源战略通道的控制、国际能源价格市场的影响等展开激烈的竞争^[8]。

(3) 全球能源格局正经历着地缘和市场的深刻变革

既有世界能源版图将发生根本性变化。①全球石油和天然气的生产表现为“多中心化”的特征，且重心呈现出“东降西升”的趋势，多种新兴供应源相继出现，美国页岩气革命实现了能源独立的重大战略性转折，改变了国际能源地缘政治的基本格局，而全球能源供需结构变化还体现在能源需求向东移，新兴的工业化国家能源需求旺盛^[8]；②颠覆性能源技术的突破使得化石能源的可替代性逐步增加，清洁能源发展迅猛，低碳技术突飞猛进；③全球能源市场进入了低油价时代，国际能源价格震荡的根源在于国际能源的结构性转变；④全球能源供应格局深受地缘政治的影响，欧佩克的地位下降，能源供应国通过维持较高的能源价格和较为稳定的出口渠道来保障其能源利益，能源供应国之间往往可以通过协调采取较为一致的能源生产政策以影响国际能源市场。

(4) 能源致力继续呈现金融化深入发展态势

传统化石能源在消费过程中造成的环境负外部性问题愈发严峻，而随着技术进步及其生产成本的降低，可再生能源逐步成为具有可替代性的新热点。全球能源的供需结构继续出现明显调整，发达国家的能源需求已出现结构性减少趋势，而新兴工业化国家的能源需求则大增^[11]。然而，在新时代全球能源治理过程中，能源金融领域仍然被以美国为代表的西方国家所主导，通过能源金融衍生品掌控能源价格的主动权。此外，以美国为首的西方发达国家还垄断着全球主要能源交易市场，石油等能源产品在西方发达国家投机者的操纵下，严重脱离供需基本面，能源价格波动性增大^[12]。

主持人：

在百年未有之能源大变局背景之下，您认为我国能源安全面临的最大挑战是什么？未来应对这种挑战的策略是什么？

访谈嘉宾：

鲁刚，国网能源研究院有限公司能源战略与规划研究所所长，教授级高级工程师，

国家电网公司专业领军人才, 国家电网公司优秀工程技术专家。研究方向为能源战略、能源互联网、电力体制改革、企业经营管理等。

全球形势正在出现历史性、转折性的重大变化, 复杂程度和不确定性正向纵深发展。百年未有之大变局这一深邃的历史判断可能表现出更为不同的历史进程、更为大开大合的世界格局、更为剧烈的国际秩序调整。这是认识我国能源安全问题的最大实际, 要求能源不能成为大国竞争、政治博弈的掣肘。能源革命应该首先着力解决这一战略性挑战。

从中长期来看, 我国能源安全面临较为复杂的挑战。这主要包括油气对外依存度长期处于高位的资源安全, 运输通道集中度高的能源运输安全, 缺乏国际定价话语权的价格安全, 碳排放总量世界第一、环境承载力不足背景下的高碳能源结构所面临的生态安全, 以及先进能源技术“卡脖子”的能源科技安全。从系统视角出发, 保障我国能源安全, 有必要立足长远, 在总体国家安全观下多管齐下, 以能源科技突破为引领, 以加快非化石能源高质量发展为中心, 以加强能源互联互通和国际能源市场影响力为保障, 深度参与全球能源治理, 走开放条件下保障能源安全的道路。

具体而言, 缓解油气对外依存度过高的现状是当前最为迫切的重大战略任务。“富煤、贫油、少气”是我国能源资源基本特征, 2019年石油、天然气对外依存度分别达到70.8%和43%。随着能源地缘政治风险急剧上升, 有必要以底线思维做好保能源安全预案。在东北、西北和西南陆上油气通道运营相对平稳、可增加一定进口规模的情况下, 加强勘探投资、储备能力建设, 还有必要在极端特殊时期进一步挖掘交通民生用油调节潜力, 优化油气使用方式, 优先满足军事和重要领域需求。

(1) 治本之策必须立足国内能源自给, 这才能掌握能源安全的主动权。从美国等主要国家能源战略演进特点看, 能源自给均为优先选择。“十四五”及更远期, 有必要加速实施能源发展电气化战略, 以清洁低碳能源转型来降低油气对外依存度, 保障我国能源安全。鉴于非化石能源只有转换为电力才能实现高效利用, 因此能源低碳转型过程就是能源生产和消费电气化加速过程。随着能源低碳转型深入推进, 电力将在提升能源自给水平中发挥独特的关键作用, 以多元化有力提升能源供给体系的韧性。一方面, 坚定实施节能战略, 加快能源消费电气化, 构建绿色高效的消费模式, 推动2025年终端电气化水平超过30%; 另一方面, 推动能源生产电气化, 促进一次能源清洁高效开发和合理布局, 有力推动非化石能源大规模开发利用, 减少化石能源利用与碳排放。初步测算表明, 电气化加速下, 我国非化石能源占一次能源消费比例到2025年可超20%, 能源行业二氧化碳排放预计于2025年左右提前5年达到峰值。特别地, 应充分考虑国情, 着力推进煤炭清洁高效利用战略, 发挥煤电在保障能源安全中的“压舱石”作用, 促进煤炭更多用于发电。预计电煤比例由2020年的52%左右持续提升至2025年的59%左右。有必要围绕如何实施能源生产与消费电气化来提升国家能源安全, 开展电气化加速发展路线图设计。

(2) 走创新驱动发展道路, 加速壮大绿色低碳发展国际竞争能力。世界主要国家和地区近年来纷纷实施并适时调整中长期能源发展战略, 积极借助清晰的产业布局 and 科技创新努力抢占能源发展制高点, 以增强国家能源安全、加速绿色转型。能源行业要坚定推进能源颠覆性技术研发创新, 以重大“卡脖子”能源技术为攻关重点, 抓紧布局国家能源实验室, 以新型举国体制助力重大科技创新, 力争引领世界能源技术和产业格局发展方向。

(3) 坚定以能源互联互通突破能源地缘政治格局, 优化能源安全格局。油气对外依存度高的情况下, 我国保证能源安全的挑战将集中于地缘政治动荡导致的能源运输安全

风险，对海上咽喉要道的依赖是我国近期能源安全的最大薄弱环节。实际上，寻求提高对海上战略通道影响力、绕开咽喉要道以及陆路能源通道地缘博弈，始终是大国重要战略的考量，如中亚—里海地区油气管道走向的竞争，印度2014年确定其海上战略“东进、西出、南下”的远景目标。互联互通已成为全球战略博弈的新范式，油气管道、电网等的互联互通正在奠定能源未来格局。能源互联互通范围、密度、承载能力等的持续提升，将有利于促进各国加强能源对话与合作，提升能源共治理念，推动世界更适应当今多极化和多元文明秩序。

(4) 努力推动构建绿色、低碳的全球能源治理格局。全球能源治理格局本质上是一种秩序，是以全球能源格局为核心的物理秩序、以能源地缘政治为核心的区域秩序与以相关国际制度为核心的全球秩序的相互作用关系。其中，世界能源格局是物理层面的秩序，发挥着基础性、决定性影响。从能源品种视角来看全球能源地缘政治博弈，主要有化石能源或可再生能源在世界能源格局中主导权的博弈。长远看，一个绿色、低碳的世界能源格局，有利于弱化能源政治属性等特殊性质、增强能源普通商品化，促进能源回归一般全球经济治理框架，进而降低全球能源的各类博弈。因此，大力促进能源清洁低碳转型，加快以电为核心能源文明的到来，逐步改变主导能源格局、全球能源贸易格局，丰富国际机制类能源安全公共产品，促进实现能源秩序、区域秩序、全球秩序的绿色低碳化。

(5) 特别是要融入“一带一路”，打造能源“命运共同体”，调整能源地缘政治。首先是以“打造能源利益共同体、能源命运共同体”为纽带，以能源基础设施网络、市场体系、区域治理为抓手，促进互联共赢。其次推动建立“一带一路”能源市场，充分发挥我国巨大能源消费市场的规模优势，扩大能源投资贸易人民币计价，进一步提升能源定价话语权。最后，提供“一带一路”沿线国际机制类能源安全公共产品，持续提升负责任大国的影响力。

站在百年未有之大变局的历史关口，疫情等黑天鹅、灰犀牛事件发生概率大幅增加，大国关系、全球产业链分工全面重塑。我国正全面发展国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新格局，经济发展长期向好趋势不变，但挑战、风险和不确定性均显著增加。“十四五”确保能源安全、推动能源转型意味着要加快突破一系列理念、技术、模式、体制机制等挑战，以更大的创新来突破发展惯性。① 要突破未来技术研发和产业化瓶颈；② 要突破能源基础性到驱动型定位转换；③ 要突破实现能源数字化、智慧化转型；④ 要突破能源治理体系与治理能力现代化；⑤ 要突破当前全球能源治理格局。

主持人：

能源地缘政治一直是世界大国博弈的核心焦点问题。您可否谈谈全球能源地缘政治形势的新变化，尤其是当前全球和中国能源安全相关的地缘政治重大事件及其对我国能源安全的影响？

访谈嘉宾：

王礼茂，中国科学院地理科学与资源研究所研究员，博士生导师，现为中国自然资源学会理事、政策研究专业委员会副主任，中国国土经济学会理事。研究方向为能源安全与地缘政治、新能源与气候变化政策等。

全球和中国能源安全相关的地缘政治重大事件，主要是中美全面对抗和中伊长期合

作协议的签署。中美对抗全面升级,在台海、南海军事对峙,在贸易、科技、外交领域冲突加剧。随着美国大选临近,不排除下一步美国在能源安全及相关领域对中国进行打压的可能。中美、中伊、美伊之间的能源和地缘政治大博弈,对中国能源安全影响深远,需要认真加以研判。

(1) 中美对抗全面升级,不排除美国将对抗扩大到能源领域的可能

美国已成为影响中国能源安全的最大变量,美国有将中美对抗升级,并将南海问题和能源运输通道问题纠缠在一起,对中国进行牵制的企图。美国对南海争端从不持立场,到宣布中国在南海的主权不合法,同时联合澳、日在南海军演,对南海岛礁安全构成威胁,更对中国海上能源运输通道安全构成现实威胁。不排除美国在非传统的能源安全领域对中国进行试探,对中国在南海、马六甲的能源和贸易运输通道安全进行骚扰,对油轮、货船进行拦截的可能性。同时,美国具备在能源安全领域对中国的不对称优势,可以在对中国能源安全造成实质威胁和损害的同时,自身不受太大影响,而且中东地缘政治动荡,有利于美国的页岩油气出口。美国不仅有企图,而且有控制和制约中国能源运输通道的能力。美国已成为世界最大的油气生产国,基本实现能源独立,其国际能源地位更加强势;全球主要油气运输线由美国军事力量所控制;美元是目前国际油气市场的主要结算工具。美国“能源独立”使全球石油地缘政治不确定性显著增多。美国必然会根据其国家战略需要,改变其在维护全球油气供应地稳定和运输通道(如霍尔木兹海峡与马六甲海峡)安全上的传统角色,甚至会主动挑起地区局势动荡。对中东石油依赖的降低,使美国在对中东地区的干预和军事介入会更少顾忌;同时搅起地缘政治冲突,引起油价上扬,对美国页岩油气的出口有利。

(2) 中国与伊朗的长期合作协议对中国能源安全的影响总体上利大于弊,但要关注可能的不利影响

2020年7月初伊朗宣布正在与中国谈判一项涵盖贸易、能源、基础设施、电信,甚至军事合作的25年协议。对伊朗来说,与中国建立战略合作伙伴关系,对其应对美国制裁和缓解重大突发公共卫生事件对经济的巨大冲击十分必要。对中国来说,中伊合作从地缘政治和能源安全战略上看,都十分必要。伊朗是一个重要的地区大国,拥有丰富的能源和经济潜力,是中国“一带一路”倡议的重要节点国家,在当前中美大博弈的背景下,中伊合作也是恰当的时机。但要注意中伊合作的潜在地缘政治和能源安全风险:

① 伊朗在历史上一直不愿与任何一个大国走得过近,更不愿意在经济上过度依赖。当前伊朗与中国的关系,已经成为国内争议的焦点之一,协议能否在议会顺利通过,以及能否切实得到落实,还有待观察;② 与伊朗结成战略伙伴关系,并投资伊朗的油气和基础设施,可能会受到美国的制裁;③ 与伊朗的合作对中国与以色列和沙特阿拉伯的合作关系,对中东能源和地缘政治都会带来潜在影响。

(3) 未来一段时期中国能源安全的应对策略

① 要重视南海在我国能源安全和国家安全战略中的重要地位,要防范美国对我国能源运输通道安全的威胁;在南海除加强岛礁防御外,对能源和贸易运输通道安全受到的威胁要有应急预案。中国能源安全的几个最重要的问题或多或少都与南海相关:首先,中国油气供需矛盾突出,对外依存度高,陆上潜力不大,未来国内油气资源接替主要靠南海。南海油气和可燃冰等储量丰富,可以在很大程度上缓解我国油气短缺的状况。南海争端和近期中美在南海的角力,使得中国希望通过加强海上油气开发弥补陆上油气产量

下降、减少油气对外依存度的希望难以落实。其次，中国能源运输安全主要在马六甲和南海这条线路，南海争端使得中国的能源运输通道安全难以得到有效保障。美国介入南海争端，宣布中国在南海的主权非法，导致中国南海及周边安全形势恶化，能源运输通道安全面临严重的威胁。美国在南海的挑衅，既可以影响中国的地缘政治安全，打压中国的海洋权益，同时也能威胁中国的能源通道和贸易运输线的安全。美国对南海岛礁军事攻击的可能性不大，但美国有可能在南海针对中国能源运输通道进行骚扰和破坏，尤其要防备美、澳、日在南海、美印在印度洋联手，东西呼应，对中国的能源运输通道进行战略钳制。对此要引起足够重视，并加以防范。

② 要积极谋划和推进从伊朗到中国新疆的陆上油气运输通道。在中伊战略合作大背景下，中国应积极谋划建设将伊朗油气输往中国新疆的陆上油气通道。这条油气通道的建设，不仅可以绕开马六甲海峡，也可以绕开波斯湾，直接将伊朗的油气通过陆上管道输送到新疆。可考虑建设一条从伊朗到中国新疆的油气管线，备选方案包括伊朗—阿富汗—新疆油气管线；伊朗—巴基斯坦—新疆油气管线；伊朗—阿富汗—巴基斯坦—新疆油气管线。具体线路走向，待可行性论证后加以确定。

③ 应对美国可能发动的能源和金融战，要积极提高人民币在能源交易中的比例，借助石油贸易结算提升人民币国际化水平。美国借助石油美元的金融霸权对俄罗斯、伊朗等产油国实施金融制裁，加之美国已经实现“能源独立”，使得美国联合使用石油和金融手段的可能性越来越高。要防止美国继续利用石油美元和金融结算体系上的主导地位，对中国与伊朗、委内瑞拉等国家的能源合作进行打压，应充分利用我国巨大油气需求市场的优势，推动交易以人民币结算，提高人民币国际化水平和我国的国际能源话语权^[13]。

主持人：

世界能源生产空间和消费空间具有不平衡性，您认为在这样的地理格局之下，决定能源安全的核心问题有哪些？

访谈嘉宾：

赵媛，南京师范大学金陵女子学院院长，地理科学学院教授，博士生导师，全国高校中国地理教学研究会副理事长，中国自然资源学会资源生态专业委员会副主任。研究方向为能源地理与区域可持续发展等。

郝丽莎，南京师范大学地理科学学院副教授。研究方向为能源地理与区域可持续发展等。

能源安全是当前能源地理与地缘政治研究的热点之一。随着研究的不断深入，学界对“能源安全”概念内涵的理解也不断拓展，从最初主要关注地区能源供需关系平衡，到综合考虑能源运输、经济发展、政治稳定等对区域能源供应安全的影响，再到将能源使用的环境安全纳入评价框架，其研究角度日益宽泛，多学科交叉渗透^[14]。

然而，有限、不平衡和错位是世界能源地理摆在世人面前的一道难题。世界能源资源的赋存和供给格局始终是有限而不平衡的，世界能源资源的需求空间与供给空间往往存在着巨大错位，因此世界能源资源流动是解决这道难题的必由之路；但另一方面，世界能源资源流动又不是简单的移多补少、按需分配，还受控于各方的能源权力。世界能源流动中的各国不仅角色和地位多样，其间的关系更是错综而多变；能源供需双方对于

构筑多元化能源运输线和维护通道安全的需求也与日俱增,“配得平、买得到、运得回”成为能源供应安全的三大命题,而这三大命题又均与世界能源资源流动研究紧密相关。

“配得平”是指根据世界能源资源的赋存和供给分布格局,合理确定一定时期内能源资源来源国构成和进口比例,基于能源资源流动的视角,可以从节点和域面两个层次研究世界能源资源流动的源地及其流场格局^[5]。首先将世界能源资源供给国看作源地节点,利用空间等级分布图、重心及标准差椭圆分布图、箱线图、频率分布图等方法,分别考察源地节点的探明储量、生产量和出口量的总体分布态势,以明确各种能源资源的主要源地、供给能力、供给潜力及其空间分布格局^[6];其次针对主要源地,分析各源地现有供给对象的空间分布范围和分流格局,并结合相应的流动通道条件模拟各源地间理想的市场区界限。在此基础上,综合考虑各主要源地的现有供给能力、未来供给潜力等,以确定备选来源国序列及相应的进口比例,实现理论上的供需平衡。

“买得到”与世界能源地缘政治以及能源竞合关系紧密相关。一方面,供给国积极争夺能源市场的供给控制权和定价权,以期将能源资源优势最大化地转化为经济优势,或利用能源作为“武器”提高自身的国际地位和话语权,从而影响着国际能源市场的供给变化和价格波动,且易产生波动关联性;另一方面,需求国也纷纷对有限的能源资源展开争夺和竞价,引发局部市场的供给紧张和溢价。从能源资源流动研究视角来看,为衡量供给波动风险,可建立源地能源出口量的波动相关性矩阵,求得源地之间所有可能的能源出口量波动相关程度,以确定波动高发国集团和供给稳定国集团。为厘清纷繁复杂的能源竞合关系,可从复杂网络分析视角研究世界能源资源贸易网络,综合考虑供给波动风险和竞争强度,确定可选和替代来源国及其比例构成,以分散供给风险、避免过度竞争、降低能源溢价。

“运得回”主要涉及运输通道的经济性和安全性。从保证供需平衡、分散供给风险与竞争的角度确定来源国结构,往往使能源来源国趋于多元化和分散化,但这又不仅增加了运输距离和成本,还易受到运输通道上的岛链封锁、海峡扼喉、海盗侵扰和霸权控制。世界能源资源流动研究可从基于现有运输通道的来源国优化和基于既定来源国的运输通道优化两个方面提出解决方案,为能源运输通道建设和通道安全提供建议。

由此可见,无论从能源源地及其流场格局分析、能源供给风险与竞合关系分析,还是从能源运输通道优化分析等方面,能源资源流动研究都在能源供给安全研究中发挥重要作用,是能源安全研究的重要视角。

主持人:

全球能源正经历着低碳转型,这是一个大的趋势。我国也明确提出了推动能源生产和消费革命,构建清洁低碳、安全高效的能源体系总体战略。请您结合全球能源转型的大趋势,谈谈未来中国能源实现高质量发展应着重关注的关键领域与重大问题。

访谈嘉宾:

任东明,博士,研究员,中国宏观经济研究院能源研究所可再生能源发展中心主任。研究方向为能源发展战略、能源发展规划和可再生能源政策等。

在应对全球气候变化的大背景下,全球能源正在朝着低碳化方向加快转型。世界各国积极制定各自的能源转型战略,纷纷提出雄心勃勃的目标以推动本国低碳能源发展进

程。我国“十九大”也明确提出“推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系”的总体要求，标志着我国能源发展开始进入新的历史发展阶段。为顺应全球能源发展大趋势，加速推动我国传统能源体系向高效化、清洁化、低碳化和智能化转型，为建设“美丽中国”提供安全可靠、可持续的能源保障^[17]，有必要对全球能源转型发展大趋势、能源地缘政治格局出现的新变化、新一轮能源革命演进的总体方向、能源体系建构中的新业态选择及应开展的战略行动等能源发展的重大问题进行深入研究。

(1) 全球能源转型发展大趋势

在世界各国积极应对全球变化的大背景下，全球能源转型呈现以下四个方面的发展趋势：

① 应对全球气候变化行动正在推动全球能源向清洁低碳方向转型。“巴黎协定”生效后，以“国家自主贡献”为基础的减排机制正在推动各国自觉制定各自的能源转型战略，提出更高的清洁目标，制定更加积极的低碳政策，以实现本国能源结构向低碳方向转变。例如，德国提出2020年、2030年、2050年其终端能源消费中可再生能源比例分别达到18%、30%、60%，可再生能源占电力总消费量的份额将分别达到35%、50%、80%。丹麦早在2010年就发布了能源转型发展国家战略，制定了2050年100%可再生能源路线图，目标是到2050年将完全摆脱化石能源消耗。根据IEA的研究成果，预计到2040年，全球非化石能源发电量比例将提高到45%，将形成煤炭、石油、天然气、非化石能源“四分天下”的能源新格局^[18]。

② 新能源产业快速崛起成为全球能源低碳发展的重要支柱。据REN21发布的数据显示，2019年可再生能源在全球发电中的占比已高达26.4%。2009—2019年的十年间，全球风电装机从1.5亿kW增加到6.2亿kW，光伏发电装机从240万kW增加到5.9亿kW。从全球一次能源消费结构变化来看，包括水电、风电、光伏、核电、天然气等清洁能源占比已经由1965年的20.5%上升到2019年的39.9%，而煤炭占比则由1965年的37.5%下降到2019年的27%。石油占比则由1965年的42%下降到2019年的33.1%，可见，随着风能和太阳能等新能源产业的快速崛起，全球能源结构已明显朝清洁低碳方向演进。

③ 能源领域多种新技术融合发展将持续为全球能源转型提供动力。进入21世纪以后，全球能源领域的技术创新速度明显加快，具体表现为：风能、太阳能、生物质能、新能源汽车等技术快速成熟，成本快速下降，市场规模持续扩大。大规模储能、氢燃料电池、第四代核电、天然气水合物开采等技术有望获得明显突破。新能源技术与现代信息、先进制造、智能电网等技术日益深度融合，不断产生能源利用新产品、新模式、新业态，将持续推动全球能源低碳转型，其结果必然会引发人类生产生活方式的革命性改变。

④ 逐渐成为主体能源的可再生能源最终会重塑全球能源地缘版图。不同于化石能源仅集中在特定区域，可再生能源具有遍在性，几乎所有的国家和地区都能获得，从而降低能源的可获取性，基本可忽略类似油气贸易中的地理节点的影响。其次是其具有可再生性。相比化石能源，可再生能源取之不尽用之不竭。三是其开发的灵活性。既可以集中开发，也可以分布式的形式开发，这决定了其普及效果远远大于传统能源。四是其边际成本几乎为零。其盈利潜力远远大于化石能源，且开发成本正在快速下降。依靠可再生能源的开发利用，全球大多数国家都有实现能源独立的可能，从而拥有更强的能源安全保障，那些严重依赖化石能源进口的国家将可利用可再生能源开发获得战略和经济效益。正如传统化石能源曾改变了过去两个世纪的地缘政治版图一样，以可再生能源为主

导的全球能源转型也必将彻底改变全球能源治理结构和国家之间的关系,极大地降低全球地缘政治动荡风险出现的可能性^[17]。

(2) 全球能源安全形势和能源地缘政治格局呈现出的新变化

最近几年,由于某些能源大国在能源领域的博弈趋于激烈,给原本不平静的国际能源安全形势又平添了更多不确定性。例如,美国和俄罗斯分别支持下的沙特阿拉伯与伊朗两大中东阵营博弈加剧,中东地区争端呈现白热化,针对油轮、油田设施的袭击频繁发生,亚洲地区面临的石油供应中断风险显著提高。再如,欧盟为提高自身能源安全,一直在努力谋求油气供应多元化,曾积极开展与俄罗斯的油气合作,但由于乌克兰危机的出现所引发美欧与俄罗斯对抗,严重影响了俄罗斯与欧盟的能源贸易。为突破美国及其欧洲盟国的围堵,俄罗斯采取了灵活措施进行应对:首先,通过主动与土耳其修好,修建了绕开乌克兰通往欧洲的“土耳其流”管线;其次,通过极力拉拢德国,保证了“北溪2号”管线修建的持续推进。尽管如此,由于美国的极力阻挠,俄罗斯与欧盟间的油气贸易绝不会一帆风顺。大国之间的能源博弈加剧,必然对全球,特别是类似中国这样的油气对外依存度极高的大国能源安全带来不利影响。

在全球能源转型持续推进过程中,由于各国所选择的转型路径不尽相同,这也是造成世界能源供需格局出现一系列新变化的直接原因。其中,美国的表现更应引起各方面的关注,主要原因是:通过《清洁能源计划》和《气候行动方案》的实施,美国的各类可再生能源实现了跨越式发展,在提高新型清洁能源比例的同时,也明显降低了对传统能源的需求。特别是通过所谓的“页岩气革命”,美国目前已基本实现了多年前提出的“能源独立”目标,一跃成为了号称集“油气生产大国、油气消费大国和油气出口大国”于一身的“能源新美国”。在美国能源独立的背景下,其保障油气出口地区局势稳定和海上能源运输通道顺畅的意愿必然降低,在“美国优先”的理念下,美国完全可能把能源作为其掌控国际能源市场,进而重塑全球地缘政治和开展大国外交的重要工具和武器,这势必影响相关国家的能源安全^[19-21]。

(3) 新时代中国能源体系建构中的新业态选择

为顺应全球能源向高效、清洁、低碳和可再生为主要特征的新能源系统演进的大趋势,新时代中国能源体系的建构,在产业选择方面应注意形成以下三类新的能源新业态:

① 形成绿色能源新业态。在煤炭、石油、天然气等传统能源开发利用中,不断提高产业的清洁度,降低煤炭和各类燃油使用中的污染物含量,限制散煤直接燃烧使用,推广高效清洁煤炭利用技术,使传统的“黑色”能源产业变为“绿色”能源产业。

② 形成低碳能源新业态。应推动煤炭和石油消费能尽早达峰并快速降低。作为过渡,初期可有序扩大天然气利用量和利用领域,加快页岩气、可燃冰资源的开发利用。提高非化石能源利用比例,稳步发展核能、积极发展氢能、加快发展风电、太阳能等可再生能源,形成有利于能源结构由高碳向低碳化转型的能源产业。

③ 形成智慧能源新业态。加快能源与现代信息产业的融合发展,应用智能传感、智能控制、大数据、云计算、人工智能、区块链等技术,推进电力网、燃气网、热力网基础设施建设,实现电力、燃气、热力等能共同响应、多能互补和快速转换。推进电力网、互联网、通信网、光电网的多网融合互通,形成高效配置的智能化平台,为实现能源和信息的双向互动,实现集中式与分布式能源系统结合,为高比例开发利用风能、太阳能等清洁、低碳的可再生能源提供条件,推动传统能源产业向智能化能源产业转变。

(4) 新时代中国能源体系的建立应采取的行动

为保障新时代中国能源体系顺利向高效、清洁、低碳和可再生为主要特征的新能源系统过渡，应采取以下四个行动。

① 制定以新能源为主导的能源革命路线图。在已公布的《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》^[22]基础上，制定我国以新能源为主导的能源革命路线图，提出各阶段切实可行、可量化考核的目标及保障目标实现的科技研发、市场培育、制度建设等方面的推进措施。

② 强化科技创新体系建设并加强能源基础科学研究。瞄准世界能源科技前沿和我国能源革命需求，创新能源高效洁净利用的基础科学理论、加强高性能热功转换及高效节能储能、电网安全稳定和经济运行关键科技问题的应用基础研究；应大力培养和引进优秀能源科研人才。加大投入，大力培养能源科研、技术工程、管理专业人才，锻炼和集聚一批推进能源革命的领军人才，同时加强引进优秀国际人才和积极鼓励留学生回国工作。

③ 坚定不移地推进体制机制创新。坚持市场化改革导向，充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，放开竞争环节，改革能源价格形成机制，使能源资源和能源产品价格能够反映稀缺程度和市场供求关系。同时，建立支持能源革命的管理体制，理顺相关监管机构的关系。

④ 要加强国际合作。积极开展能源双边及多边合作，积极参与国际能源组织与国际事务，争取在应对全球气候变化、改善生态环境、推动能源革命等重大国际合作协议和全球性规划制定中发挥更大的影响力^[17,19]。

主持人：

具有全球影响力的重大突发事件会导致全球能源的供给和需求发生重大变化。请您谈谈2020年突发公共卫生事件后全球能源供需格局的主要变化，以及新的经济和产业发展业态对能源转型趋势和我国能源安全的影响。

访谈嘉宾：

方伟，中国地质大学（北京）经济与管理学院副教授，博士生导师，中国系统工程学会能源资源系统工程分会理事，中国高校能源管理创新战略联盟副秘书长、理事。研究方向为资源环境管理、能源经济等。

安海忠，中国地质大学（北京）经济与管理学院院长，教授，博士生导师，自然资源部资源环境承载力评价重点实验室副主任，中国自然资源学会资源环境承载力研究会主任，中国系统工程学会能源系统工程分会副主任。研究方向为管理科学与工程、矿产资源经济管理等。

2020年初，重大突发公共卫生事件在全球范围内迅速蔓延，对全球经济和人民生活产生了巨大的影响。国际货币基金组织（IMF）今年连续两次下调了全球经济增长的预测，最终将今年全球GDP的增长率下调为-4.9%^[23]。根据世界银行的《全球经济展望》预测，2020年全球经济将萎缩5.2%^[24]，这必将对全球的能源市场和供需格局产生巨大的影响。中国作为主要能源消费国和生产国，如何在这场变局中维护自身利益，是当前亟待解决的重要问题。

(1) 重大突发公共卫生事件对全球能源供需的巨大冲击

为了控制重大突发公共卫生事件的发展,各国实施了不同程度的停工停业,限制出行、交通限流等社交隔离策略,旅游、交通、娱乐、餐饮等各行各业对能源的需求呈现断崖式下跌。根据国际能源署(IEA)的预测,2020年世界能源需求将同比下降6%,创70年来最大降幅;预计石油需求下降9%,恢复到2012年前的水平;煤炭需求下降8%,为二战以来最大降幅;天然气需求将下降5%,为有统计以来最大降幅^[25]。

由于需求急速下降,国际能源市场处于严重的供过于求局面,能源价格不断走低,迫使能源出口国进行减产。在本次重大突发公共卫生事件前期,原油供给严重过剩,使得原油价格一度下跌到13.28美元/桶(2020年4月21日的布伦特Dtd原油现货价格)。虽然欧佩克+最终达成了新一轮的减产计划,但前期供给严重过剩所积累的高库存至少需要2021年以后才能回到正常水平^[26]。与此同时,由于美国、印度、巴西等主要能源需求国的确诊人数居高不下,复工复产和居民出行等活动受阻,对能源需求的恢复缓慢。在多种因素的影响下,IEA预测2020年全球能源投资可能比上年减少20%,创史上能源投资最大降幅,其中,油气投资减少32%、煤炭投资减少15%、电力投资减少10%^[27]。

(2) 传统化石能源的全球供需格局变化

① 原油的供需格局变化。美国页岩油革命之后,逐渐从石油的第一进口国变为最大生产国。2019年原油出口排名前五的国家分别为沙特阿拉伯、俄罗斯、伊拉克、加拿大和美国,美国成为名副其实的石油出口大国。美国能源信息署(EIA)的数据显示,美国页岩油产量从2007年12月的50万桶/日增至2019年12月的830万桶/日,逐渐挤占了欧佩克和俄罗斯等非欧佩克产油国的市场份额^[28]。但是,本次重大突发公共卫生事件发生以来,油价长时间低位,使得高成本的美国页岩油难以为继,页岩油公司受到了沉重打击。美国油气公司大幅裁员和削减预算,甚至申请破产,钻井平台数量下滑至历史最低水平,新钻井的投资也大幅削减。需求方面,以中国、印度为代表的亚洲新兴经济体贡献了全球石油消费增长的2/3。2019年美、中、印的石油消费合计占世界消费总额近40%,但由于美国长期受重大突发公共卫生事件的影响,印度自5月以来疫情大范围暴发,只有中国二季度GDP增长为3.2%,成为全球石油消费的主要增长点。

② 天然气的供需格局变化。全球天然气产量最大的国家主要是美国、俄罗斯和澳大利亚。2019年美国、俄罗斯天然气产量全球排名前两位,合计占全球比例超过40%。卡塔尔和澳大利亚居全球LNG出口前两名。本次重大突发公共卫生事件期间,作为主要出口国的美国、俄罗斯、卡塔尔和澳大利亚的竞争加剧,天然气价格创下历史新低。美国的页岩气价格不再具有优势,其抢占欧洲和亚洲市场份额的战略受阻。

从需求端来看,天然气消费量排名前三的国家为美国、俄罗斯和中国。中国同时也是全球最大的天然气进口国,最近几年受国内“煤改气”政策和能源结构调整的影响,2016—2018年天然气的进口一直保持20%以上的增长率,但在2019年降为6.5%。同时,受重大突发公共卫生事件的影响,美国、俄罗斯、中国的天然气消费下降幅度较大,使得全球天然气市场供过于求的局面加剧,库存量急剧增大。欧洲天然气存储设施已接近满负荷运行,液化气库存超过储气总产能的60%。美国天然气库存亦在2020年创下历史最高水平^[29]。根据IEA预测,今年的天然气总消费将下降4%,其中75%的下降来自于欧洲和北美市场^[30],这将会加剧欧洲市场供应过剩的态势。亚太市场的天然气消费增长则以中国为主,其进口来源主要是俄罗斯管道天然气和澳大利亚的LNG。2019年底投产的中俄东线天然气管道于2020年开始供气,预计每年供气380亿m³,占中国进口天然气总

量30%以上，这将进一步挤压澳大利亚对中国天然气出口份额。

③煤炭的供需格局变化。中国是煤炭第一生产大国，第一消费大国，也是第一进口大国。2019年中国煤炭产量、消费量和进口量分别占全世界的47%、52%和21%^[31]。全球煤炭产量一直保持增长，但增长幅度逐渐缩小，其增量主要来自于中国、印度等亚太发展中国家。煤炭消费量在新兴国家特别是中国、印度、印尼、越南等国仍保持增长，而在发达国家，消费量降至1965年有统计数据以来的最低水平。总体而言，煤炭的全球消费量呈下降趋势。由于疫情影响下石油和天然气的价格下降，使得煤炭价格大跌，极大地刺激了煤炭的进出口。2019年煤炭出口排名前三的国家分别为印度尼西亚、澳大利亚和俄罗斯，其出口总量占全球70%以上。煤炭进口大国分别为中国、印度、日本和韩国，其进口总量占全球60%以上。受疫情影响，中国煤炭产销量在第一季度显著下降，但在第二季度增长势头良好。

(3) 非接触经济的发展加快了能源转型

非接触式经济是2003年重大突发公共卫生事件时期提出的概念，是指为了减少人群聚集带来的感染风险，人们以信息技术和网络平台为依托的线上工作和生活方式所催生的新兴产业或商业模式。国际航空运输协会(IATA)的统计数据显示，2020年1-4月的全球航班数量下降了80%，并预计2020年全球航空客运需求将比2019年降低48%，2023年之前需求不会超过2019年的水平^[32]。这种行为方式的改变对经济和能源带来两个方面的影响：首先，由于限制出行和减少人群聚集，传统行业的复工复产受到了很大的负面影响，使得作为工业原料和燃料的化石能源的消费量大幅下降；其次，以非接触为特征的新兴产业，如远程办公、在线教育、电子商务、人工智能、工业机器人等得到了很大的发展，促进了电力消费的增长。

作为二次能源的电力，其装机容量主要来自于煤炭和天然气，但各国政府在气候变化和碳减排的考虑下，有意识地推动新能源的研发和应用，其在发电中的比例越来越大。全球可再生能源新增装机2019年达到12%的增长率，太阳能实现了过去四年来最为强劲的增长。重大突发公共卫生事件则加快了这一变化，根据国际能源署的预测，可再生能源将是2020年唯一增长的能源，而且也是所有能源投资中唯一保持正增长的能源。由于自2008年全球金融危机以来，可再生能源技术的发展，使得其发电成本已经下降了90%以上，全球很多国家的可再生能源发电成本已经低于化石燃料，如中国和印度的光伏发电成本，美国、巴西和澳大利亚的风力发电成本等等^[33]。在各国政府政策扶持和成本降低的双重驱动下，可再生电力装机有望在2019—2024年装机扩张50%，仅太阳能光伏将占据可再生能源增长量的60%，陆地风电将可能增长25%^[34]。中国作为可再生能源的主要引领者，也作为最早从疫情中恢复经济的主要经济体，2020年的新增装机容量中非化石能源的装机容量占比将高达61%^[35]。

(4) 我国的能源安全应对策略

根据国际货币基金组织6月份的预测，中国将是今年唯一保持经济正增长的主要经济体。在当前全球重大突发公共卫生事件发展难以看到拐点的情况下，中国作为世界第一大能源消费国和世界第二大经济体，其经济增长将为全球能源市场提供动力和支撑，同时也将在能源市场中得到更多的主动权。

①充分利用买方市场的地位，争取谈判主动权。在石油和天然气市场上，为了保证买卖双方的长期稳定供应，存在长期的采购合同。一般而言，长期供应合同中的供应价

格大多采取随行就市的方式,而疫情期间的价格下降,使得供给方难以承受履约所带来的损失;采购方也因需求下降和库容有限的原因,难以按合同接收足量的石油和天然气。因此,一些石油公司以“不可抗力”为理由,提出对这种“照付不议”的长期合约进行减少供应、不履行或者修改合同的要求。中国作为全球最大的石油和天然气进口国,则可以在当前供大于求的情况,以不可抗力为由与供应商谈判,修改长期协议或者更换供应商与进口国,争取更多的利益和长期的油气供应安全。

② 增加战略能源储备,提高应对突发事件的能力。2019年,我国石油和天然气的对外依存度分别达到72%和43%,严重依赖进口。由于疫情影响下传统化石能源市场严重供过于求,石油和天然气的价格探底,中国可以趁此机会增加油气的战略储备。但由于石油和天然气库容不足,当前处于较高水平,难以进口更多的石油和天然气。因此,中国有必要增加国家油气战略储备库的建设,提高油气战略储备能力,以应对中美贸易摩擦、油价波动较大对我国经济的冲击和国防安全的影响。

③ 加大对可再生能源和储能技术的投资。非接触经济的迅速发展。以及民众对环保和健康的重视为我国能源转型提供了良好契机。我国在新能源研发和应用上处于世界前列,但其在能源消费结构中的占比仍然很低。因此,需要重点解决新能源如何替代传统行业中的化石能源,从国家和行业的层面推动转型和应用推广。同时,大力发展储能技术,提高新能源供电的稳定性和利用率,解决我国长期以来对境外能源供给的高度依赖。

主持人:

在全球能源变局之下,世界能源地理的研究对象和核心科学问题发生了显著的变化。您可否谈谈在能源革命、能源转型等背景下,世界能源地理学的研究前景与重要的研究方向?

访谈嘉宾:

蔡国田,中国科学院广州能源研究所研究员,博士生导师,能源战略与低碳发展研究室副主任,中国自然资源学会青年工作委员会副主任。研究方向为能源战略、能源地理、低碳经济等。

(1) 能源革命背景下能源地理学的前景

2014年中国提出能源“四个革命、一个合作”的战略构想,即推进能源消费、能源供给、能源技术、能源体制革命以及加强国际合作,标志着我国进入能源生产和消费革命的新时代,从过去的数量扩张为主转变为结构调整和改善质量为主。作为能源行业智能化升级的关键基础设施,5G技术将渗透到能源行业勘探、生产、消费、输送、销售、服务等各个环节,促进能源系统的扁平化、协同化、高效化,相邻的生产、存储和消费主体通过信息聚合后形成自平衡体。作为实现能源革命的重要抓手,能源互联网将通过能源系统与信息通信系统的深度融合,构建安全、高效、清洁、低碳的能源体系,由不同的利益主体在具体空间上实施,不同空间和时间尺度的能源空间布局 and 有效空间管理变得更加重要。

能源地理学以能源的空间优化布局和科学空间管理为重要方向,利用地理学独特的“立体思维模式”和3S集成技术,能够实现时间、空间与人类能源活动研究的有机结合,探索在资源约束、总量和强度约束、碳排放约束等条件下跨时间、跨空间的各种能源生产、消费和运输如何发生和相互影响,提出一定时间、空间、技术和政策约束条件

下能源供应和消费的动态平衡策略。目前，我国能源地理学在能源战略方面研究尺度多集中于国家、省、市宏观层面，对区（县）、工业园区、能源功能集聚区等微观层面的研究不足，不同空间尺度融合、能源整体解决方案等研究还难以满足国家能源战略的需要。能源革命新形势下，能源地理学需要对能源利用过程中的资源基础、空间优化配置动力、组合模式、空间效应、空间管理等进行系统研究，在国家能源战略方面提出高水平、可操作的系统解决方案。

（2）能源革命背景下能源地理学的重要研究方向

能源互联网的发展将使人类逐渐进入智慧能源时代，能源的时间、空间配置越来越精准，能源地理学需要突破一些重要研究方向，为能源革命的整体解决方案提供空间落地方面的支撑。

① 研究不同空间尺度能源利用的区域差异和联系，开发能源利用空间组织调控关键技术。研究全球、国家、省、市、区（县）、功能区等不同空间尺度能源利用区域差异和联系格局及演进过程，深刻理解不同区域能源利用相互依赖和作用机理，通过“横向流动”和“纵向流动”研究从空间方面厘清能源从哪里来和到哪里去的完整线索。开发能源利用空间组织调控关键技术，将宏观尺度、中观尺度、微观尺度的能源空间优化布局技术进行融合，实现不同尺度的能源系统空间自上而下、自下而上的逐级联动优化和反馈，提高能源集约利用效率。

② 研究多种能源技术的空间组合模式及效益，建立能源空间生态系统范式。在能源技术全生命周期评价研究基础上探讨不同能源技术高效利用的空间组合模式，需要对不同地区的自然条件、社会经济的差异性进行价值化，把空间差异考虑在技术集成的成本效益分析过程中；建立能源空间生态系统研究范式，从空间层面研究地区能源产业链特点和演进规律，探索能源企业空间上相互联系方式、程度和特点，分析重点能源企业的规模效应、集聚效应和示范效应。

③ 研究能源政策的组合及效益，建立利益主体协调机制。能源体制革命需要理顺改革各个利益相关方的关系，体制革命各项措施都将落实到具体的空间，需要深入研究基于能源流动、信息流动、价值流动等耦合形成的政策空间组合方式及其效益评价，做好国家、省、市等不同空间尺度能源战略、规划和实施方案的有机衔接，建立宏观、中观、微观层面的传导机制，打破地区、行政、行业和市场壁垒，实现能源发展的尺度、技术和产业的融合。

④ 开发能源利用空间智能技术，构建空间辅助决策系统。依靠地理学强大的空间分析和空间探索功能，开发能源利用空间智能技术，基于能源精细化管理需求建立由空间决策主体、空间数据库、支持体系等元素构成的能源战略空间辅助决策系统，为不同来源和格式的社会、经济、能源、人口、城市和地理信息等海量数据进行集成和分析，建立灵活、实用的能源地图，提取出隐含于空间数据中的能源发展事实、关系和内在规律，构建能源空间大数据模型体系，开发能源战略空间多尺度集约利用和布局优化决策方法，为能源项目的合理空间布局和科学管理提供辅助决策^[9]。

主持人总结：

通过与以上九位专家进行访谈交流，我们对世界能源地理的了解进一步加深。世界能源资源的赋存和供给格局始终是有限而不平衡的，其需求空间与供给空间存在错位，

因此能源资源的流动必然存在,同时又受控于世界大国的能源权力。能源安全一直是世界大国博弈的核心焦点问题,中美、中伊、美伊等国家之间的能源地缘政治博弈,对中国能源安全影响深远,需要认真加以研判。

能源安全的内涵及其全球治理模式在不同的时代也是不同的。能源安全受到基于地缘政治的权力逻辑和基于全球治理的建章立制逻辑的制约。我国能源安全面临较为复杂的挑战,不仅包括传统油气资源面临的供给安全和运输安全等,还包括能源转型与新的全球能源治理体系下的能源博弈。在未来能源转型中,能源生产和消费电气化加速过程是能源低碳转型的重要过程,电力在提升能源自给水平中可能发挥更大的作用。

在应对百年未有之能源大变局方面,需要立足国内能源自给,提升能源供给体系的韧性,建构新时代中国能源体系中的新业态,加速壮大绿色低碳发展国际竞争能力,以能源互联互通突破能源地缘政治格局,推动构建绿色、低碳的全球能源治理格局打造能源“命运共同体”。在能源革命新形势下,世界能源地理学科的发展,在国际层面需要针对能源地缘政治与国家能源安全进行探讨,而在国内层面则需要对能源利用过程中的空间配置动力、组合模式、空间效应等进行系统研究,为国家能源战略提出高水平、可操作的系统性解决方案。

参考文献(References):

- [1] 管清友,何帆. 中国的能源安全与国际能源合作. 世界经济与政治, 2007, (11): 45-53, 4-5. [GUAN Q Y, HE F. China's energy security and international energy cooperation. World Economics and Politics, 2007, (11): 45-53, 4-5.]
- [2] 沈镭,薛静静. 中国能源安全的路径选择与战略框架. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(10): 49-54. [SHEN L, XUE J J. China's energy security and international energy cooperation. China Population, Resources and Environment, 2011, 21 (10): 49-54.]
- [3] 徐建山. 论油权: 初探石油地缘政治的核心问题. 世界经济与政治, 2012, (12): 115-132, 159-160. [XU J S. Oil power: The core of oil geopolitics. World Economics and Politics, 2012, (12): 115-132, 159-160.]
- [4] 马丽梅,史丹,裴庆冰. 国家能源低碳转型与可再生能源发展: 限制因素、供给特征与成本竞争力比较. 经济社会体制比较, 2018, (5): 70-79. [MA L M, SHI D, PEI Q B. National energy low-carbon transformation and renewable energy development: Restricted factors, supply characteristics and comparison of cost competitiveness. Comparative Economic and Social Systems, 2018, (5): 70-79.]
- [5] 徐斌. 市场失灵、机制设计与全球能源治理. 世界经济与政治, 2013, (11): 78-95, 159. [XU B. Market failure, institution design and global energy governance. World Economics and Politics, 2013, (11): 78-95, 159.]
- [6] International Renewable Energy Agency. A new world: The geopolitics of the energy transformation. <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/A-New-World-The-Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>.
- [7] 于宏源. 美国的能源政治: 一种全球战略体系. 人民论坛·学术前沿, 2016, (16): 86-94. [YU H Y. American energy politics: A global strategic system. Frontiers, 2016, (16): 86-94.]
- [8] 于宏源. 全球能源治理: 变化趋势、地缘博弈及应对. 当代世界, 2019, (4): 18-23. [YU H Y. Global energy governance: Changing trends, geopolitical games and responses. Contemporary World, 2019, (4): 18-23.]
- [9] 于宏源. 地缘安全中的体系均衡: 新时期中国能源安全的挑战与应对. 西亚非洲, 2019, (4): 143-160. [YU H Y. System equilibrium in geo-security: Challenges and responses to China's energy security in the New Era. West Asia and Africa, 2019, (4): 143-160.]
- [10] 于宏源. 二十国集团与全球能源治理的重塑. 国际观察, 2017, (4): 129-143. [YU H Y. The reform of global energy governance: Role of the G20. International Review, 2017, (4): 129-143.]
- [11] 于宏源. 中国如何应对全球能源格局震荡?. 探索与争鸣, 2015, (5): 26-30. [YU H Y. How does China respond to the shocks in the global energy landscape?. Exploration and Free Views, 2015, (5): 26-30.]
- [12] 中国银行国际金融研究所课题组. 全球能源格局下我国的能源金融化策略. 国际金融研究, 2012, (4): 32-41. [Research Group of the Institute of International Finance of Bank of China. China's energy financialization strategy under the global energy landscape. Studies of International Finance, 2012, (4): 32-41.]
- [13] 赵硕刚. “十四五”时期全球油气格局变化对我国能源安全的影响及对策建议. 发展研究, 2020, (4): 40-44. [ZHAO

- S G. The impact of global oil and gas pattern changes on China's energy security during the 14th Five-Year Plan period and countermeasures. *Development Research*, 2020, (4): 40-44.]
- [14] 郝丽莎, 赵媛. 中国石油资源利用的区域经济效应差异分析. *自然资源学报*, 2016, 31(2): 187-201. [HAO L S, ZHAO Y. Differentiation of regional economic effects of oil resource utilization in China. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(2): 187-201.]
- [15] 赵媛, 杨足膺, 郝丽莎, 等. 中国石油资源流动源—汇系统空间格局特征. *地理学报*, 2012, 67(4): 455-466. [ZHAO Y, YANG Z Y, HAO L S, et al. The evolution of spatial displacement pattern of China's crude oil flow source-sink system. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(4): 455-466.]
- [16] 赵媛, 沈绿筠, 郝丽莎. “丝绸之路经济带”在世界石油供给格局中的地位及演变. *自然资源学报*, 2016, 31(5): 732-742. [ZHAO Y, SHEN L J, HAO L S. The status of Silk Road Economic Belt in the world oil supply pattern and its evolution. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(5): 732-742.]
- [17] 高世宪. 推动能源生产和消费革命研究. *当代石油石化*, 2014, 22(7): 1-4. [GAO S X. Research on promoting the energy production and consumption revolution. *Petroleum & Petrochemical Today*, 2014, 22(7): 1-4.]
- [18] 国家可再生能源中心. 中国可再生能源产业发展报告2018. 北京: 中国经济出版社, 2019. [China National Renewable Energy Center. *China Renewable Energy Industry Development Report 2018*. Beijing: Economic Press China, 2019.]
- [19] 任东明. 能源革命辨析. *中国能源报*. 2013-12-9(2). [REN D M. Analysis of energy revolution. *China Energy News*. 2013-12-9(2).]
- [20] 任东明, 谢旭轩, 刘坚. 推动我国能源生产和消费革命初析. *中国能源*, 2013, 35(10): 6-10. [REN D M, XIE X X, LIU J. Preliminary analysis of promoting energy production and consumption revolution. *Energy of China*, 2013, 35(10): 6-10.]
- [21] 高世宪, 任东明, 等. 推动能源生产和消费革命研究. 北京: 中国经济出版社, 2014. [GAO S X, REN D M, et al. Promote the revolution in energy production and consumption. Beijing: Economic Press China, 2014.]
- [22] 国家发展和改革委员会, 国家能源局. 能源生产和消费革命战略(2016-2030). <http://www.ndrc.gov.cn>. [National Development and Reform Commission, National Energy Administration. *Energy production and consumption revolution strategy (2016-2030)*. <http://www.ndrc.gov.cn>.]
- [23] International Monetary Fund. World economic outlook. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEOupdateJune2020>.
- [24] The World Bank. World development report 2020. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2020>.
- [25] International Energy Agency. Global energy review 2020. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>.
- [26] 柯晓明. 后疫情时代世界石油市场变化趋势研判. *国际石油经济*, 2020, 28(5): 27-34. [KE X M. Trends in the world oil market after the pandemic. *International Petroleum Economics*, 2020, 28(5): 27-34.]
- [27] 单卫国, 张姗, 程熙琼, 等. 后疫情时代国际能源格局变化前瞻. *国际石油经济*, 2020, 28(6): 1-4. [SHAN W G, ZHANG S, CHENG X Q, et al. Potential changes in the international energy landscape in the post-epidemic era. *International Petroleum Economics*, 2020, 28(6): 1-4.]
- [28] Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2020. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>.
- [29] 富景筠. 新冠疫情冲击下的能源市场、地缘政治与全球能源治理. *东北亚论坛*, 2020, 29(4): 99-112, 128. [FU J Y. Energy market, geopolitics, and global energy governance under the impact of COVID-19 pandemic. *Northeast Asia Forum*, 2020, 29(4): 99-112, 128.]
- [30] International Energy Agency. Gas 2020. <https://www.iea.org/reports/gas-2020>.
- [31] BP. Statistical review of world energy 2020: A pivotal moment. <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-statistical-review-of-world-energy-2020-published.html>.
- [32] International Air Transport Association. COVID-19 puts over half of 2020 passenger revenues at risk. <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-04-14-01/>.
- [33] International Energy Agency. Clean energy innovation in the Covid-19 crisis. <https://www.iea.org/articles/clean-energy-innovation-in-the-covid-19-crisis>.
- [34] International Energy Agency. Renewables information overview (2020 edition). <https://webstore.iea.org/renewables-information-overview-2020-edition>
- [35] 国网能源研究院有限公司. 中国电力供需分析报告2020. 北京: 中国电力出版社, 2020. [State Grid Energy Research Institute Co., Ltd. *China Power Supply and Demand Analysis Report 2020*. Beijing: China Electric Power Press, 2020.]
- [36] 蔡国田, 李沛, 赵黛青. 中国能源战略研究的经济地理学视角探讨. *世界地理研究*, 2018, 27(1): 94-103. [CAI G T,

LI P, ZHAO D Q. China's energy strategy research: From the perspective of economic geography. *World Regional Studies*, 2018, 27(1): 94-103.]

Interview on the unprecedented changes of energy geopolitics and national energy security

YANG Yu^{1,2,3}, YU Hong-yuan⁴, LU Gang⁵, WANG Li-mao^{1,2}, ZHAO Yuan^{6,7,8},
HAO Li-sha⁶, REN Dong-ming⁹, FANG Wei^{10,11}, AN Hai-zhong^{10,11}, CAI Guo-tian¹²
(1. Institute of Geographic Sciences 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 Strategy Research for Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area, Guangzhou 510070, China; 4. Institute for Comparative Politics and Public Policy, Shanghai Institutes for International Studies, Shanghai 200233, China; 5. Energy Strategy and Planning Research Institute, State Grid Energy Research Institute Co., Ltd., Beijing 100052, China; 6. School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 7. Jinling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 8. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 9. Energy Research Institute, Chinese Academy of Macro-Economy Research, Beijing 100038, China; 10. School of Economic and Management, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 11. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, Ministry of Natural Resources, Beijing 100083, China; 12. Guangzhou Institute of Energy Conversion, CAS, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In the context of unprecedented changes of energy geopolitics, China's current energy situation is becoming increasingly complex, and energy security has become a major strategy for national economic development. Under the new situation, not only the scientific issues, research objects, and research methods of the world energy geography and national energy security at the interdisciplinary perspective, but also the global energy governance system and international energy cooperation based on the actual needs of China are worth discussion among experts and scholars. This article uses the form of "question and answer (Q&A)" to provide a panoramic view of the host and nine academic interviewees based on different perspectives. Experts express their opinions in a range of content, including energy security and global energy governance model, the challenges and countermeasures of China's energy security, the new changes of global energy geopolitics, the energy security under the geographical pattern of unequal world energy production and consumption space, the high-quality development of China's energy under the trend of global low-carbon transformation, changes in the global energy supply and demand pattern affected by major public health emergencies, and future research prospects and important research directions of energy geography. We hope that a certain consensus can be reached, so as to better promote the development of the discipline of world energy geography, as well as actively respond to issues such as the unprecedented change of energy geopolitics and national energy security.

Keywords: world energy geography; energy geopolitics; energy security; unprecedented changes; energy revolution