

新世界

——全球能源转型与地缘政治



GLOBAL COMMISSION
ON THE GEOPOLITICS
OF ENERGY TRANSFORMATION



IRENA
International Renewable Energy Agency

新世界

——全球能源转型与地缘政治

本出版物的内容由全球能源转型与地缘政治委员会全权负责，并不代表IRENA或其成员国的观点。

www.geopoliticsofrenewables.org

此中文版本为“A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation” ([新世界-全球能源转型与地缘政治]) (© IRENA 2019; ISBN 978-92-9260-097-6) 的非官方译文。致谢中国国家发展和改革委员会能源研究所翻译此报告（中文版组译翻译：刘坚、钟财富、戢时雨、刘建国、谭琦璐、郭敏晓、惠婧璇；审校：高世宪、任东明、朱跃中、高翔、赵勇强）。如有异议，以英文版为准。

以下单位提供支持：



Federal Foreign Office



Norwegian Ministry
of Foreign Affairs



UNITED ARAB EMIRATES
MINISTRY OF ENERGY & INDUSTRY

© IRENA 2019

ISBN 978-92-9260-118-8

目录

编者的话	2
IRENA总干事Adnan Z. Amin致辞	6
委员会主席Ólafur Ragnar Grímsson致辞	8
前言	12
第一部分：全球能源转型	14
一、能源转型	15
二、转变的动力	18
三、为什么可再生能源将改变地缘政治	23
第二部分：重塑地缘政治格局	26
一、影响力的转变	26
二、新型国家关系	45
三、能源与冲突	55
第三部分：应对地缘政治不稳定的根源问题	62
一、经济和社会的紧张关系	63
二、气候、水和食物安全	65
三、新的发展路径	67
结束语	72
参考文献	76
缩写表	84
致谢	86
照片来源	88



编者的话

可再生能源的飞速发展已引发全球能源转型，并将进一步重塑世界地缘政治。为此，国际可再生能源署（IRENA）总干事Adnan Z. Amin在德国、挪威、阿联酋政府的大力支持下，于2018年1月召集成立了全球能源转型与地缘政治委员会。

该委员会由冰岛前总统Ólafur Ragnar Grímsson担任主席，汇集来自政界、能源、经济、贸易、环境和发展领域的杰出代表。本委员会是独立机构，其成员以个人身份任职。

本报告分析了可再生能源驱动的全球能源转型对地缘政治的影响。报告融汇了委员会十个月的研究分析，在柏林、奥斯陆、雷克雅未克和阿布扎比的4次会议成果，以及商界领袖、学者和政策制定者的前沿见解，并参考了能源、国家安全和地缘政治领域专家的相关文献。

委员会对报告内容负全部责任，本报告仅代表委员会成员的观点。

委员会成员



Ólafur Ragnar Grímsson
主席，冰岛前总统



Adnan Z. Amin
国际可再生能源署
(IRENA) 总干事
(肯尼亚)



Anatoly Chubais
RUSNANO执行董事会
主席 (俄罗斯)



Carlos Lopes
开普敦大学发展政策与实践
研究院教授；前联合国
非洲经济委员会执行秘书
(几内亚比绍)



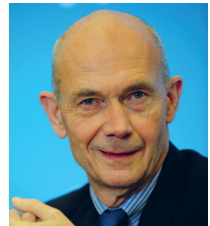
Christiana Figueres
前联合国气候变化框架
公约执行秘书
(哥斯达黎加)



Joschka Fischer
德国前外交部长



Fu Chengyu
联合国全球契约中国网络
主席；前中国石油化工集
团公司 (SINOPEC)
董事长



Pascal Lamy
雅克德洛尔研究所名誉主
席；前世界贸易组织总干
事 (法国)



Murray McCully
新西兰前外交部长



Mari Pangestu
印度尼西亚前贸易部长；
前旅游和创意经济部长
(印度尼西亚)



Andris Piebalgs
佛罗伦萨管理学院高级研
究员；前欧盟能源与发展
委员 (拉脱维亚)



Lapo Pistelli
ENI国际事务执行副总裁；
意大利外交部前副部长

**Bill Richardson**

理查森全球接触中心主席；
前美国能源部长和前新墨西哥州州长（美国）

**Khalid Bin Mohammad Al-Sulaiman**

前阿卜杜拉国王核能和可再生能源城可再生能源副主席（沙特阿拉伯）

**Izabella Teixeira**

前巴西环境部长

**Masakazu Toyoda**

日本能源经济研究所所长兼首席执行官（日本）

**Maria Van Der Hoeven**

前国际能源署署长（荷兰）

**Eirik Waerness**

Equinor高级副总裁兼首席经济学家（挪威）

支持国代表

**Peter Fischer**

德国政府代表

**Hans Olav Ibrekk**

挪威政府代表

**Fatima AlFoora AlShamsi**

阿联酋政府代表

IRENA总干事Adnan Z. Amin致辞

能源为现代文明和国家繁荣之基础。能源的生产、分配和利用已成为世界经济结构中不可缺少的支柱，并影响着国际关系的发展。

驱动社会车轮滚滚向前的能源正在经历巨变。可再生能源逐步成为技术、经济可行的可持续发展的选择，满足了越来越多的国家、企业和公民的能源需求。当应对气候变化问题越来越棘手与紧迫，可再生能源稳步助力提高能源供给能力，全球能源供应将持续加速向可再生能源转型。

而且，由于可再生能源资源分布较广，开发利用可再生能源还可以保障国家能源安全，提高其能源独立性。因此，可再生能源技术的迅速发展及其广泛开发应用肯定会对地缘政治形成产生重大的长期影响。国际可再生能源署（IRENA）的建立为可再生能源的发展提供了一个重要的国际合作平台，但对于这种发展将如何影响国际地缘政治尚未进行全面系统地研究。

因此，我发起了全球能源转型与地缘政治委员会，关注能源转型的地缘政治问题。委员会聚集了不同国家、不同领域关注国际能源问题的著名学者，于2018年1月在IRENA年度大会上正式成立。经过一年多的研究讨论，广泛吸收了学者和利益相关方的宝贵意见，最终形成此报告。

我谨向所有为这项工作付出辛劳工作的人员表示衷心的感谢。并致谢德国、挪威和阿联酋政府提供的大力支持，让委员会的目标得以实现，以及Grimsson总统作为委员会主席，兢兢业业地领导了委员会的工作。

委员会成员积极参与委员会的各种讨论，并从各专业领域提供令人信服的观点。此外，小而精的秘书处为委员会提供了工作的便利和支持，并整理汇集了成员的观点和研究。

本报告是这一领域的首次重要尝试，加深了我们对能源转型引发广泛地缘政治变化的理解。它让我们重新思考能源对于国家治理的重要意义，描绘了能源发展趋势及其对权力结构、贸易、地缘冲突的潜在影响。报告也同时指出，由于能源转型的复杂多变，未来事态发展难以准确预测。

报告认为，积极为新的能源时代及地缘政治格局做好充足准备十分必要。同时，也应加强创新驱动，促进社会经济和能源结构协同转型，并加强相关领域的国际合作，创建公平包容的能源新系统。政府和行业领导者今天所做出的前瞻性选择将创造一个更加繁荣的未来，并可在全球层面促进经济持续增长、改善民生、促进社会和谐稳定。

我希望此报告可以帮助各国决策者预测和应对迅速变化的全球能源格局，并对新型地缘政治环境有所把握，进而降低潜在风险，并从转型的机遇中获益。



委员会主席Ólafur Ragnar Grimsson致辞

近年来，我们目睹了全球能源系统的重大变革，并将打破数十年来的世界地缘政治格局。

可再生能源的技术发展和成本下降使其逐步具有传统能源一样的竞争力，从而推动了从化石能源向可再生能源的转型。而政府、企业、城市和民间社会的政策和行动支持，以及制定出的全球应对气候变化和治理大气污染的各项措施，均有力地推动了能源转型。

全球能源转型已成为一股重要的地缘政治力量。而这种力量正在改变着地区和国家之间的势力结构，在国家或社区层面带来能源独立的希望，保障国家能源安全并提高民主质量。

为理解和分析未来的地缘政治，国际可再生能源署（IRENA）总干事Adnan Z. Amin前瞻性地向150多个成员国发起号召，建立了独立的全球委员会，现已形成一份分析全球能源转型重塑地缘政治格局的报告。

对能够担任委员会主席，并组织一批在各自领域有独特见解的杰出人士进行深入交流和思想碰撞，为我们共同的成果注入丰富的营养，我感到十分荣幸并且非常自豪。

此报告是描述可再生能源革命塑造新地缘政治格局的首次尝试。因此，它不仅具有历史意义，更值得进一步探讨分析。

我们希望此报告能够帮助政府、企业、高校、智库、民间社会组织和媒体，以及世界各地的公民更好地了解并适应正加速变化中的地缘政治。

感谢委员会成员的精诚奉献与通力合作，并对IRENA秘书处的出色工作表示感谢。商界领袖及专家对委员会的指点迷津也让我们受益匪浅。德国、挪威和阿联酋政府提供的支持对我们的成功也至关重要。

我亲历了冰岛从化石能源消费国转变为世界上最成功的可再生能源国之一。可再生能源转型创造了国家的繁荣，并成为冰岛与亚洲、非洲、欧洲和美洲国家广泛建交的基础。国家转型的经验指导我努力做好本项目的主持者。

在任冰岛总统期间，我亲历了可再生能源帮助国家成功同各国建立新的、有活力的伙伴关系、稳定同盟并借此同更多国家建立新关系。

作为委员会主席，我希望在我的祖国变革经验指引下，能为世界崭新的未来拉开序幕。

A handwritten signature in black ink, appearing to be Ólafur Ragnar Grímur, the former President of Iceland. The signature is fluid and cursive, written in a dark ink on a white background.



前言

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，并将引起广泛的地缘政治变化。可再生能源已成为全球能源格局的核心。技术进步和成本下降使可再生能源的增长速度超过其他任何能源品种。即使不考虑可再生能源的环境效益如对降低空气污染和缓解气候变化，当前许多可再生能源技术在成本方面已经具有与电力行业的化石能源竞争的能力。

这些趋势正在为全球能源转型形成不可逆转的动力。尽管风能、太阳能和其它可再生能源的增长主要在电力部门，但技术创新正在推动其他部门的转型。电动汽车和热泵正加强可再生能源在交通、工业和建筑行业中的市场应用。数字化和储能技术的创新正在以十年前难以想象的方式推动着可再生能源蓬勃发展。

可再生能源的加速开发推动了全球能源转型，并将产生深刻的地缘政治变化。正如化石燃料塑造了过去两个世纪的地缘政治格局一样，能源转型将改变全球势力结构、国家关系，也将改变冲突风险以及地缘政治动荡的驱动因素。

此前，任何国际组织或论坛都未曾全面解析可再生能源快速发展的深远影响。为了对此提高认识并加深理解，IRENA在德国、挪威和阿联酋政府的支持下成立了全球能源转型与地缘政治委员会。



第一部分

全球能源转型

过去十年，以风能和太阳能为代表的可再生能源发展速度超乎预期。尤其是在电力领域，可再生能源发电的增速已超过石油、煤炭和天然气发电。当前可再生能源已经与能效一起成为引领全球能源转型的中坚力量¹。

全球可再生能源迅猛发展，其影响超越了能源品种之间的简单替代，而是引发一场将对政治、经济与社会都产生深远影响的能源变革。

正在进行的这次面向可再生能源的能源转型不仅仅是能源品种之间的简单替代，其所产生的深远影响将超越能源范畴进而扩展至社会、经济、政治等领域。本报告将这种更广泛的影响用“能源转型”予以概括²。

全球能源转型地缘政治带来的冲击尤为明显，将成为重塑二十一世纪地缘政治格局的重要驱动力之一。影响世界超过百年的传统能源地缘政治也将由此发生根本变化。

长久以来，全球能源体系、社会经济和现代化生活方式的发展与演变一直都是建立在化石能源的基础之上。过去两个世纪，全球化石能源消费增长了五十倍，建立了当代的世界地缘政治环境。化石能源资源集中分布对各国经济发展和能源安全均产生了重要影响。而可再生能源带动的能源转型将对化石能源所塑造的全球地缘政治格局产生广泛和深远的影响。

世界上大多数国家可以凭借可再生能源提升能源自给率，而面临国际能源商品供应安全及价格波动风险的经济体将减少。传统石油、天然气和煤炭出口国则需要提前对能源转型做出相应调整以减轻可能面临的严重的经济后果。许多发展中国家因此将有机会超越化石能源和集中电网为基础的传统能源时代，直接过渡到新型能源系统。换言之，可再生能源将促进能源供应的去中心化，支撑城市、社区、居民的能源独立，从而最终实现能源民主。

一、能源转型

毫无疑问，可再生能源的快速发展已经对全球能源格局的变化产生了不可逆转的影响。与此同时，当前的能源转型仍然存在某种不确定性。正如可再生能源的发展一样，我们正处于一个快速变革的时代，到底哪一种科技创新会加速能源转型仍难以预测。政策选择将影响能源转型的进程和节奏，能源转型在各国和各行业的推进速度也将千差万别，但贯穿这次能源转型的基本点可以概括为以下三个方面：能效、可再生能源和电气化。

能效提升将以较低的能源消费实现经济增长。在二十世纪，全球平均能源需求增速为3%，与GDP增速相近。然而近几十年来，能效的提高打破了能源消费与经济增长之间的关联。预计从目前到2040年，全球一次能源消费将以1%的速度增长³。

可再生能源。可再生能源目前已经成为增速最快的能源品种⁴，其主要包括生物能、地热能、水能、海洋能、太阳能以及风能，其中太阳能和风能增速尤为突出，两者的特征也相当明显，即风能和太阳能的发电量受不同季节和一天内不同时段的影响。也正因为如此，风能和太阳能才被成为具有波动性可再生能源。

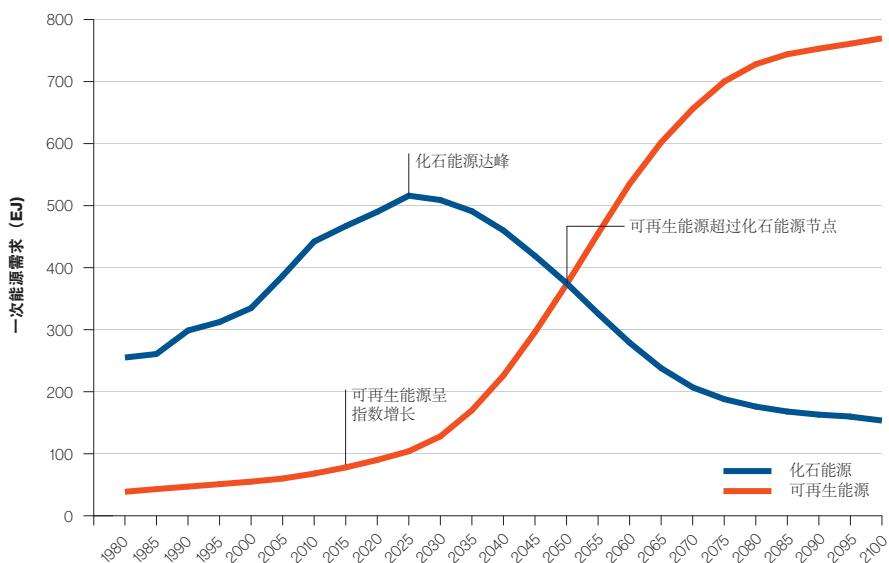
可再生能源的快速发展对电力行业的影响最为直接。自2012年起，可再生能源发电装机容量增速就超过了传统电源⁵。2017年太阳能发电装机容量超过煤电、天然气发电和核电装机增量的总和⁶，风电和太阳能发电量在全部发电量中的比例从2000年的0.2%上升到了2017年的6%。各类可再生能源发电量已占到全球总发电量的四分之一⁷。

丹麦等国波动性可再生能源发电占比已超过50%⁸。在2017年，哥斯达黎加实现了300天中完全依靠可再生能源发电来满足其电力需求。在过去的一年中，德国、葡萄牙和丹麦等国也实现了某些时段内100%的可再生能源电力供应。

电气化。目前电力占全球终端能源消费的19%。随着终端部门的电气化技术不断成熟，该比例还将持续增长⁹。热泵、电动汽车为代表的电气化技术不断普及使得电力进入供热、制冷和交通领域。自2000年以来，电力消费增速超过能源消费增速平均水平60%以上，成为增速最快的终端能源消费品种。自2016年起，电力领域的总投资规模已超过上游石油、天然气等传统能源投资领域，反映了全球经济的电气化趋势¹⁰。

能源转型的速度存在不确定性。由于能源系统的复杂性，未来能源发展存在诸多情景和可能性。但如果对比各种满足巴黎协定的能源情景预测模型，则不难发现其存在的某些共性，即化石能源消费峰值将快速到来，可再生能源快速增长，以及化石能源消费的长期下行¹¹。图1反映了本世纪化石能源和可再生能源二者此消彼长的变化格局。虽然该图不代表一种精确预测，但却展示了实现巴黎协定中“温升低于2摄氏度”目标的一种可行路径。

图1. 能源转型框架



注：图中数据源于壳牌 Sky Scenario (2018)，其中对本世纪至2100年的能源转型进行了展望，相比其他能源转型情景该展望的时间尺度更长。国际能源署（IEA）的可持续发展情景（SDS）只展望至2040年。国际可再生能源署（IRENA）的REMap情景延续至2050年。壳牌对可再生和化石能源占比的展望与国际能源署的SDS情景、DNV GL以及Equinor Renewal 2050年情景在结果上有些类似。IPCC 1.5摄氏度中间情景和国际可再生能源署REMap情景中的2050年可再生能源占比明显偏高，且化石能源消费峰值出现时间更早。

资料来源: Shell Sky Scenario, 2018

尽管核电是一种低碳能源，但其未来发展似乎仍然受到制约。自从二十世纪七十、八十年代快速发展的浪潮过后，核电在过去的30年里一直处于低谷。核电在总发电量中的比重也从2000年的17%下降至2017年的10%¹²。发达经济体大约三分之二的核电项目已有超过三十年的运行时间，在可预见的未来或将逐步关停¹³。中国、印度、俄国、阿联酋等国仍在部署新的核电厂，而德国、瑞士、西班牙和韩国正在计划逐步退出核电项目。

总而言之，以太阳能和风能为代表的可再生能源快速发展是全球能源转型的主要特征。石油、天然气和煤炭行业因各自特点和应用领域的差异将受到不同程度的影响。

二、转变的动力

六种驱动力推动了可再生能源的快速部署。

（一）成本下降

随着可再生能源技术成本的下降，可再生能源商业化已成为变革的主要驱动力。水电和地热等成熟的可再生能源技术，在其多年的运营中具备成本竞争力。然而，在技术进步和投资增加的推动下，太阳能和风能等技术也获得了竞争优势。可再生能源和储能技术的成本下降速度之快令最激进的预测都黯然失色。当市场化不再受到成本限制，即使没有补贴，太阳能和风能也能够许多世界顶级市场上以成本优势击败传统发电技术¹⁴。

自2010年以来，光伏和风电的平均电力成本分别下降了73%和22%¹⁵。在智利、沙特阿拉伯、印度和美国等国家，可再生能源电力价格最低已降到约30美元/兆瓦时的水平。招标价格表明，到2020年，太阳能和风能的平均电力成本将低至化石燃料电力成本的下限¹⁶。用于电动汽车的锂离子电池的成本相比2010年已经下降了80%¹⁷。由于成本下降，可再生技术的投资越来越多地受到竞争性商业模式和利润的驱动。

预计在未来十年内可再生能源电力的成本仍将持续显著降低。IRENA预测，到2025年，全球加权平均电力成本中，陆上风电将下降约26%，海上风

电约下降35%，聚光太阳能热发电（CSP）技术将至少下降37%，另外太阳能光伏发电（PV）将下降59%¹⁸。固定电池储能成本可能下降高达60%¹⁹，而且人们越来越相信电动汽车和传统车辆的售价会在2020年代的中期达到同一水平²⁰。

（二）污染和气候变化

化石燃料引发的大范围的空气污染以及气候变化，让政府、企业、投资者和公众开始认识到对全球经济脱碳的必要性。石油和煤炭燃烧造成的污染使得新德里、北京和巴黎等许多城市空气重污染。据世界卫生组织估计，世界上每10人中就有9人在呼吸污染的空气，这些污染的空气损害了人的健康和权益，每年有700万人死于空气污染，成为第四大死因。²¹

气候变化对人类和地球的生态系统构成了生存威胁。除非采取紧急措施使能源部门脱碳，否则世界将无法实现“巴黎协定”确定的目标，即“把全球平均温度上升幅度控制在与前工业化时代相比不超过2°C的水平，并努力限制温升不超过前工业化时代1.5°C的水平”。IPCC最近的一份报告提出了更具说服力的科学证据，证明必须将温度上升限制在1.5°C，以防止长期或不可逆转的变化，甚至生态系统遭到严重破坏²²。目前，世界正处于使全球平均温度相对于工业化前水平提高3°C的进程中²³。最近的另一项科学研究给出警告，如果全球气温上升超过2°C，突然发生的多米诺骨牌效应可能会使地球陷入“温室”状态²⁴。

鉴于能源部门排放量占全球的三分之二，实现低碳经济的大多数途径则是需要快速开发利用可再生能源，并同时将能源效率提高一倍²⁵。IRENA的分析表明，快速开发利用可再生能源同提高能源效率相结合，是实现“巴黎协定”目标最具成本效益的方式，并能够将能源相关的排放量减少90%²⁶。

联合国2015年9月会议上世界领导人通过了可持续发展目标（SDGs），其中包含一个特定的能源发展目标，即广泛开展现代能源服务，将能源效率提升的速度提高一倍，并在2030年前大幅增加可再生能源在全球能源结构中的占比。

（三）可再生能源目标

受强化可再生能源发展的商业案例以及实现能源部门脱碳需求的影响，许多政府已经提出了富有雄心的目标，并采取措施加快可再生能源的部署。到目前为止，已有57个国家制定了电力部门完全脱碳的计划，另外有179个国家制定了国家或州的可再生能源目标²⁷。政府最初通过补贴和强制配额制的方式支持可再生能源，但后期越来越多地转向竞争性拍卖的方式以获得更低的电价²⁸。

许多国家缺乏石油和天然气资源，希望减少对能源进口的依赖，正大力发展可再生能源转型。例如，印度将越发依赖昂贵的能源进口，除非它改变传统的能源消费方式²⁹。这也是印度提出远大可再生能源发展目标的一个原因。

一些主要的石油生产国也为可再生能源在其能源结构中的占比制定了目标。例如，阿拉伯联合酋长国的能源战略中设定了到2050年，可再生能源在电力供应中占比44%，以及碳排放量减少70%的目标。俄罗斯在2017年拍卖了2GW装机容量的可再生能源电力，并计划在2018年再拍卖1GW额度。

在部分国家，虽然中央政府在制定可再生能源目标方面进展缓慢，但地方政府和市政当局已采取积极行动。美国加州提出了到2030年可再生电力占比60%的目标，此外墨西哥城、马德里等多个城市也都提出了禁止柴油车的计划。

（四）技术创新

技术创新，包括更高的太阳能光伏（PV）组件效率和更高的风力发电效率，在加速电力部门可再生能源部署方面发挥了重要作用。专利数据表明在清洁能源技术领域的技术创新比化石燃料和核能等传统能源领域更多³⁰。从长远来看，下一代生物燃料和可再生能源电力电解产生的氢能将使可再生能源的应用扩展到越来越多难以通电的行业，如航运、海运和重工业³¹。

数字化和储能创新也开辟了新的领域。智能电网、物联网、大数据和人工智能等新数字技术在能源行业正逐步得到应用，这将有助于提高能源效率，加速可再生能源在新兴智能发电和配电系统中的使用。

新能源技术在储能方面也得到了发展，这对风能和太阳能等波动性可再生能源至关重要。电池，包括电动汽车中的电池，有望成为重要的存储技术。电力也可以使用锅炉、热泵或冷冻水以热量形式储存。对于长周期储能，还有其他技术选项，包括压缩空气储能或储氢。

（五）企业和投资者的行动

企业的行动也在推动变革。Divest Invest和CA100 + ³²等投资集团正在向企业施加压力，以减少其碳排放足迹。2018年12月在波兰举行的被称为“COP24”的国际气候大会上，一个代表超过32万亿美元资产的415位投资者群体，再次重申了他们对“巴黎协定”的全力支持，并承诺改善与气候相关的财务报告。他们呼吁各国政府制定碳排放价格，取消化石燃料补贴，逐步淘汰燃煤电厂³³。

挪威主权财富基金以及包括汇丰银行在内的一些私人银行，正在采取措施剥离煤炭。许多主要的多边开发银行，如世界银行，不再为煤炭投资提供

资金。Allianz和AXA等全球保险公司已宣布将逐步取消特定煤炭项目的保险范围。

此外，一些世界领先的公司正在努力可再生能源完全供电目标，并鼓励他们的供应链也这样做。苹果和微软最近宣布其生产设备完全由可再生能源提供电力。其他公司，包括宜家、塔塔汽车和沃尔玛，都承诺未来将100%从可再生能源中获取电力³⁴。

包括化石燃料公司在内的大型企业现在都认识到其运营中的碳风险³⁵。例如，在不断增长的投资压力下，壳牌制定了一项计划，通过控制消费者的排放量，将来降低2035年净碳足迹减少约20%³⁶。埃克森美孚，Equinor和其他石油巨头支持引入碳价。

（六）公共舆论

公共舆论也是能源变革的重要力量。在世界各国，消费者越来越倾向于购买碳足迹较小的产品和服务，民间社会活动正在向政府和企业施加压力，以减少空气污染和碳排放。宗教领袖正在加入对气候变化采取行动的道德辩论。例如，教皇弗朗西斯已经批准在教皇通谕Laudato Si'中呼吁逐步淘汰化石燃料³⁷。

公众舆论不仅通过言论，还通过直接行动来表达。北京、伦敦等许多城市都发生了抗议空气污染活动。大约15000名澳大利亚学龄儿童参加了学校罢工，要求政府采取行动应对气候变化³⁸。“人类灭绝抵抗运动”和“日出运动”等新运动层出不穷，人们正开展激烈的示威行动以反对气候变化³⁹。

气候变化引发的法律诉讼也在增加。海牙一家法院命令荷兰政府到2020年将荷兰的温室气体排放量相比1990年的水平至少减少25%⁴⁰。世界上一些

主要的石油和天然气公司卷入了与城市、州甚至儿童关于其在全球变暖中扮演的角色的法律纠纷⁴¹。

在上述这些动态的变革力量的推动下，全球能源转型正在积聚力量并加速发展。

三、为什么可再生能源将改变地缘政治

能够反映能源转型趋势的主要事件有两个，一是可再生能源产业的崛起，特别是太阳能和风能的发展，二是未来化石能源市场的萎缩。可再生能源在许多方面有别于化石能源，而正是这些差异产生了地缘政治上的变化。

首先，不像化石燃料集中在特定的地理位置，可再生能源与之不同之处是其资源分布的广谱性，每一个国家都或多或少拥有某种或某几种可再生能源资源。这便降低了当前能源运输通道的重要性，例如对全球石油供应至关重要的海上航线中的关键海峡。

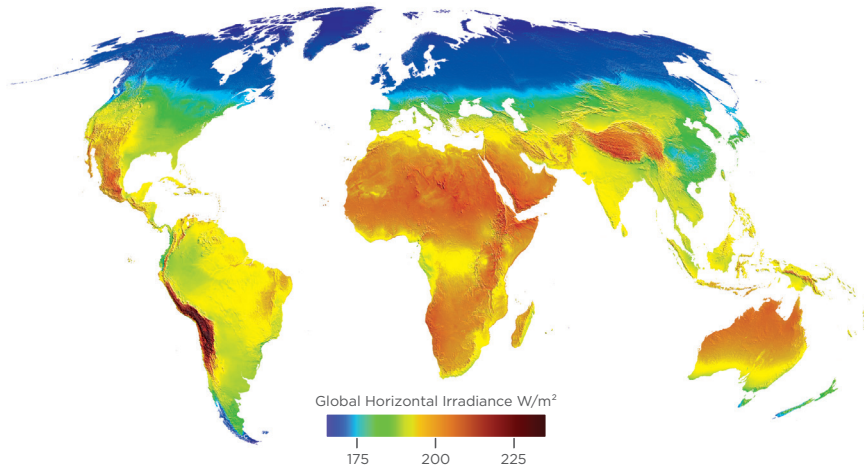
其次，大多数可再生能源资源都是连续生成的，而化石能源则是以储存性的。可以存储的化石能源，虽然方便使用，但它们只能一次性使用。相比之下，可再生能源取之不尽、用之不竭。

第三，可再生能源规模可大可小，更适合分布式的能源生产和消费。这也就提高了可再生能源利用的广泛民主性。

第四，可再生能源的边际成本几乎为零，其中如太阳能和风能，每扩大一倍的规模，其成本可以降近20%⁴²。这增强了他们推动变革的能力，但需要相应的监管方案以确保稳定性和电力部门的盈利能力。

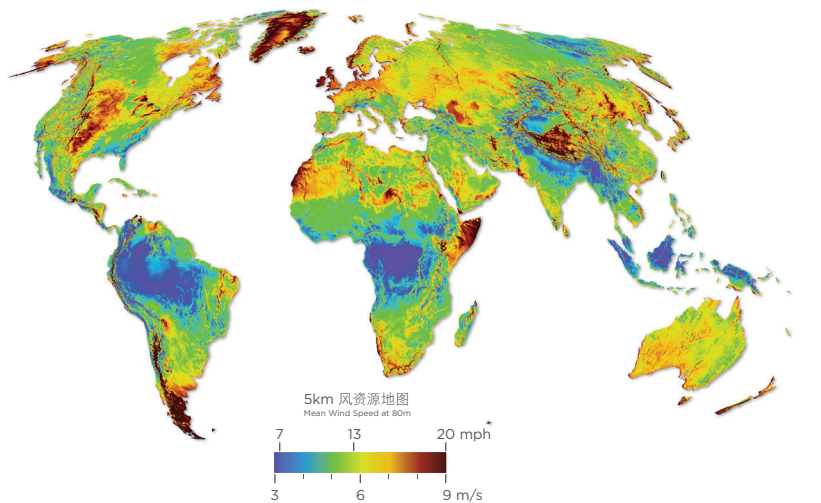
能源转型将是重塑21世纪地缘政治的主要因素之一，同时也影响主要国家的人口、不平等、城市化、技术、环境可持续性、军事能力和国内政治的发展趋势。

图2 全世界太阳能资源潜力



资料来源：Vaisala

图3 全世界风资源潜力



资料来源：Vaisala



第二部分：

重塑地缘政治格局

一、影响力的转变

两个世纪以来，石油、天然气和煤炭储量的地理分布格局一直影响着国际地缘政治格局的演变。煤与蒸汽驱动了工业革命，也塑造了19世纪的地缘政治。石油生产与贸易则成为20世纪强权政治的核心。从化石能源向可再生能源的转型将再次重塑全球地缘政治格局，其影响将不低于从薪材转向煤炭，以及从煤炭转向石油的影响。

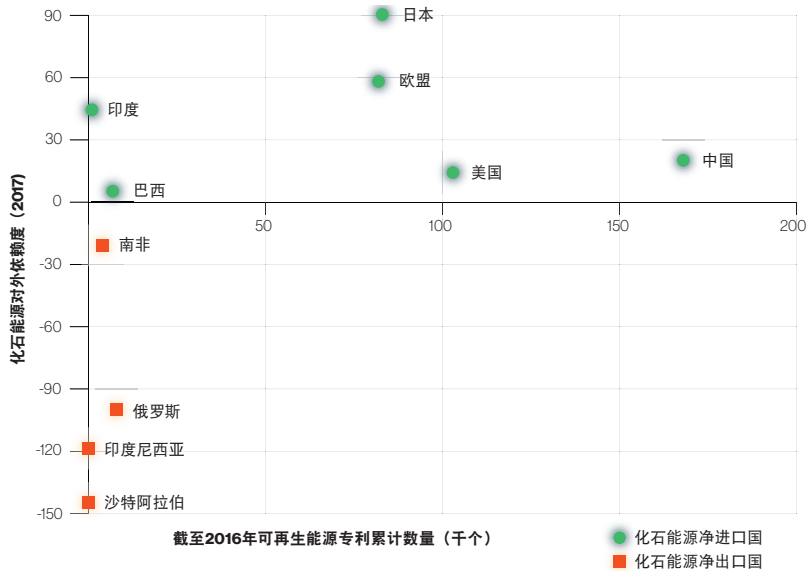
（一）国家地位的再定位

一个国家在国际上的地位取决于GDP、人口、国土面积、自然资源、地理位置、军事力量和软实力等一系列因素。拥有丰富的能源资源储备，并对市场有足够的掌控力，不仅有利于维护国家利益，也可对国际经济政治产生足够的影响。反之，则在全球经济政治波动中处于被动地位，且更易遭受损失。

可再生能源的快速发展也因此吸引了化石能源稀缺国家的关注，21世纪地缘政治格局或将因此重塑。

不同国家实现能源转型的成本在很大程度上取决于对化石能源的依赖程度，同时也受其清洁能源发展和可再生能源商业化水平决定。转型之路虽然艰难，唯有创新是引领变革走向成功的决定因素。图4展示了清洁能源转型的影响。

图4. 部分国家和地区能源转型影响



资料来源：BP, IRENA。

- **Y轴**描绘了几个以化石能源消费为主的经济体2017年化石能源的对外依存情况。数值越高，表示国家化石能源对外依存度越高。化石能源净出口国的数值为负。
- **X轴**表示的是截至2016年底各个经济体累计的可再生能源技术专利数量。该指标为评价一个国家或地区在清洁能源领域的发展水平提供依据。

图4右上方的经济体化石能源高度依赖进口，但同时也处于清洁能源发展的前沿，因此可从能源转型中获得最大收益。

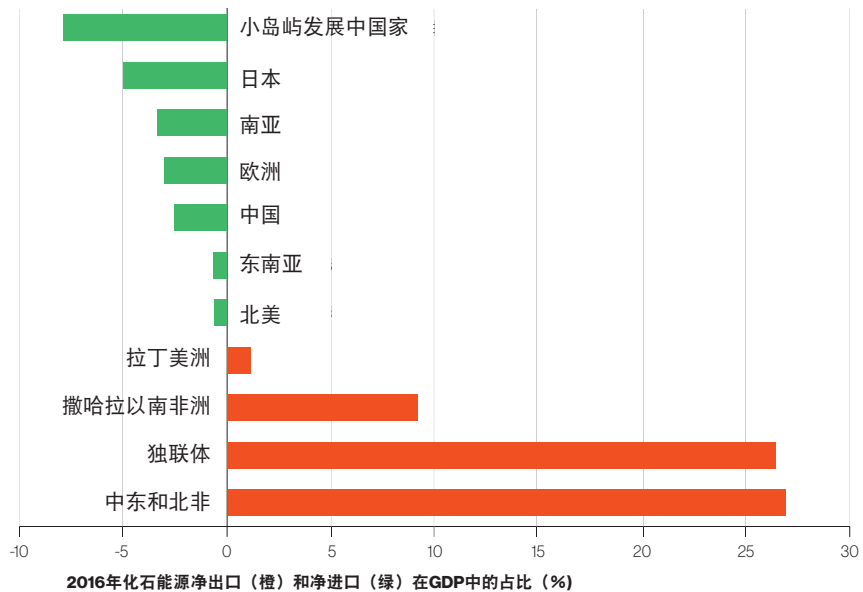
从图4中还可以发现：

- **美国**受益于页岩革命，几乎实现了能源自给自足。2017年美国已成为天然气净出口国，预计将在21世纪20年代初成为石油净出口国。美国在机器人技术、人工智能和电动汽车等新兴技术中占据领先地位，这些技术将支撑清洁能源发展。
- **中国**的能源安全问题将在能源转型后得到极大缓解。中国在制造业、创新和可再生能源技术部署方面均处于世界前列，是可再生能源投资最集中的地区。2017年投资量超过全球总量的45%⁴³。然而当前中国石油仍高度依赖进口，并且进口量不断增加。
- **欧洲和日本**是高度依赖化石能源进口的主要经济体。他们在可再生技术方面也处在领先地位。德国拥有近31000项可再生能源专利，国内能源转型使其成为可再生能源发展的领跑者。
- **印度**在过去几年中，一直是世界上经济增长最快的经济体之一，数百万人已经摆脱了贫困。预计到2024年将成为世界第一人口大国⁴⁴，并有望在2020年底之前超过中国成为世界上最大的新增能源市场⁴⁵。印度制定了一个雄伟的目标：到2022年可再生能源装机达到175GW⁴⁶。而2018年10月印度的总装机容量仅为346 GW，实现上述目标面临着巨大挑战⁴⁷。
- **俄罗斯**是世界上第一大的天然气出口国和第二大石油出口国，在可再生能源快速发展的环境中将面临诸多挑战。俄罗斯的经济体量相比任何中东产油国都更大、更多元，但油气利润是国家财政预算的重要组成部分，约占财政收入的40%⁴⁸。尽管俄罗斯正在积极推进可再生能源开发，并

加大相关研发投资，但其可再生能源技术专利数量仍远远落后于中国和美国。

图5展示了各地区化石能源净进出口占GDP的比重。这些数据可以帮助评估能源转型对不同地区的影响。

图5. 能源转型的区域影响



资料来源：世界银行，IMF。

虽然上图未能体现地区内部国家间的差异，但它仍揭示了地区和国家之间化石能源进出口的主要情况。

- 中东、北非、俄罗斯和独立国家联合体（独联体）的其他国家**，高度依赖化石能源收入的地区⁴⁹。平均而言，这些地区化石能源净出口占其国内生产总值超过四分之一。化石能源出口收入减少将对其未来的经济增长和财政预算产生不利影响。为了避免经济陷入停滞，这些地区需调整经济结构并减少对化石能源出口的依赖。

- **撒哈拉以南非洲（SSA）**的大多数国家将受益于化石能源进口的减少以及将开发可再生能源，以拉动当地就业和经济增长。然而，该地区的两个最大的石油生产国尼日利亚和安哥拉的境况则截然不同，它们严重依赖化石能源收入，未来将面临较大风险。由于两国体量和化石能源出口量较大，拉高SSA的整体数值，导致SSA的数据并不能体现该地区的真实情况。尽管非洲国家最近探明了更多油气储量，但从长远来看，可再生能源转型为非洲国家提供了突破传统能源发展模式的机会。
- **小岛屿发展中国家（SIDS）**如果大力发展可再生能源，将是全球收益最大的地区。目前，化石能源进口占其GDP的8%左右。其中许多国家也极易受到气候变化的影响。小岛屿发展中国家拥有充足的可再生能源，可再生能源技术可支持其大部分的能源需求。能源转型将削减其能源进口成本，促进可持续发展，并增强其发展的韧性。支持小岛屿发展中国家可再生能源目标的国际合作项目正在大幅增加，已有13个小岛屿发展中国家设定了将可再生能源占比提升到60-100%的发展目标。
- **南亚地区GDP**中超过3%用于进口化石能源，并且当前对能源的需求量仍然较低，未来将迅速增长。这些国家可以借助能源转型降低化石能源进口成本，减少因大量进口化石能源对经济造成压力。
- **欧洲、中国和日本**目前严重依赖化石能源进口，但随着可再生能源占比的增加，能源自给率也将逐步增加。其中，日本对进口化石能源的依赖度最高，其化石能源净进口额占GDP的5%。
- **北美和拉丁美洲**整体看是化石能源进出口平衡的地区。从资源储量和国际能源贸易数据看，化石能源进出口额变化对这一地区经济发展影响很小。

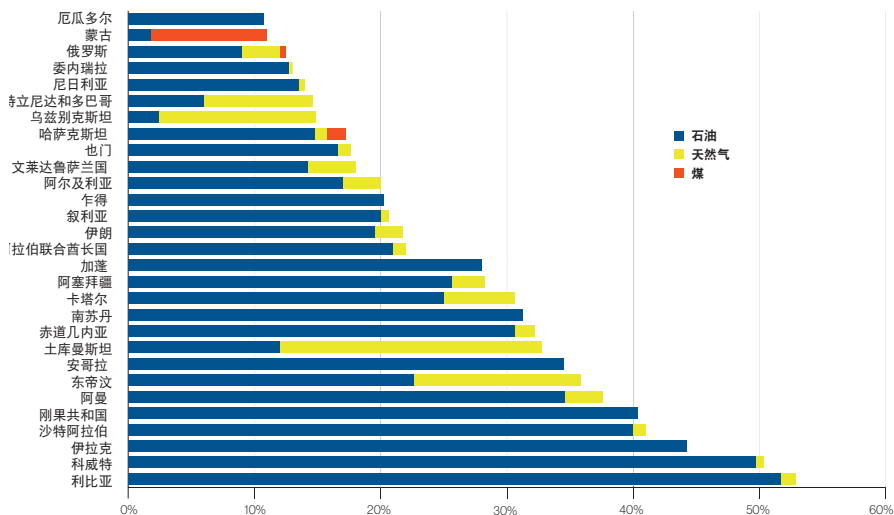
（二）化石能源出口国的脆弱性

长久以来凭借化石能源供应而享有地缘政治影响力的国家，若不在新的能源时代中调整经济结构，其全球影响力将逐渐减弱。

化石能源储量丰富的国家往往拥有强大的国际影响力。他们可以利用化石能源收益（生产成本与市场价格间的差异）促进社会经济发展、推动经济多元化，甚至可以强化军事能力或开展境外投资，例如购买美国国债。

能源转型预计将对化石能源价格和化石能源生产国的收益造成压力⁵⁰。化石能源收益下降，将推动能源生产国调整国家发展战略。图6列出了化石能源收益占GDP比重较高的几个国家情况。

图6. 化石能源收益在GDP中的占比（2007-2016年平均值）



资料来源：世界银行。

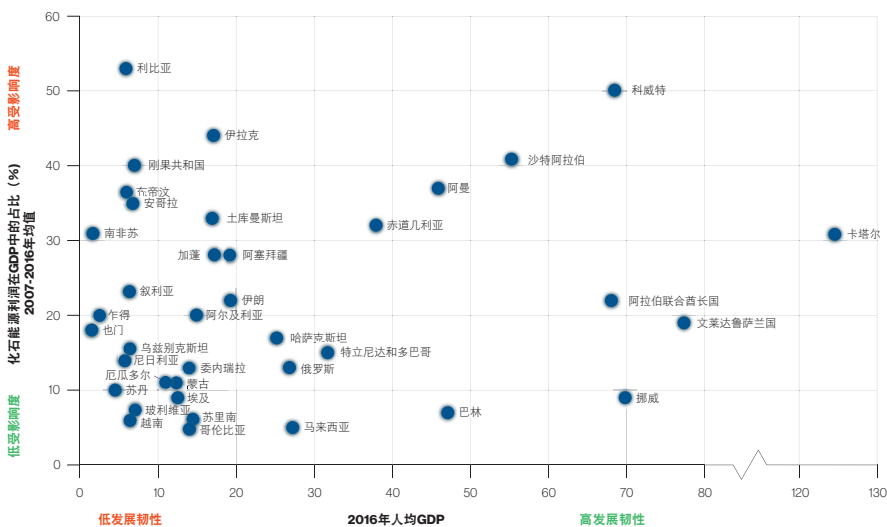
图6清楚地表明，石油的收益通常远高于天然气和煤炭。在化石能源收益占GDP比重超过10%的国家中，天然气收益高于石油的只有三个国家：土

库曼斯坦、乌兹别克斯坦、特立尼达和多巴哥。同时只有在蒙古国，煤炭收益超过石油和天然气。而其他所有国家，包括俄罗斯等大型天然气出口国，石油收益是化石能源收益的主体。

化石能源收益下降将使没有完备应急预案的国家发展严重动荡。对于那些治理能力较差的国家，石油收益损失将导致社会崩溃和政治不稳。20世纪80年代油价下跌是造成苏联衰落和最终解体的因素之一。此后冷战结束，可以说油价下跌间接造成了自二战结束以来最大的地缘政治变革。

图7是基于受影响度和发展韧性分析的化石能源出口国的准备情况⁵¹。受影响度表示各国依赖化石能源收益的程度⁵²。发展韧性表示人均收入水平，它反应了一个经济体应对能源转型带来的风险的能力⁵³。

图7. 化石能源生产国能源转型的相对准备程度



注：图中仅包含化石能源出口收益在GDP中占比超5%的国家。叙利亚的数据自2010年起算。

资料来源：IMF世界经济展望数据库（2018.4），世界银行。

国家可以分为四组：

- **高受影响度，低发展韧性的国家**

包括利比亚、安哥拉、刚果共和国、东帝汶和南苏丹在内的这些国家高度依赖化石能源收益，通常占其GDP的20%以上。由于人均GDP较低，且财政缓冲能力有限，因此抵御由于能源变革所带来波动的能力也就比较弱。

- **高受影响度，高发展韧性的国家**

沙特阿拉伯、卡塔尔、科威特、阿拉伯联合酋长国（阿联酋）和文莱达鲁萨兰国等海湾国家高度依赖化石能源收益，但有足够的收入和能力重塑国家经济，可以适应能源转型。

- **一般受影响度，一般发展韧性的国家**

俄罗斯、伊朗、阿尔及利亚和阿塞拜疆虽高度依赖化石能源收益，但它们的经济具有一定抗波动能力即发展韧性。因此，只要他们实施有效的政策以实现经济多元化，就可以实现能源转型。

- **相对低受影响度国家**

马来西亚、巴林、哥伦比亚和挪威的化石能源收益不到GDP的10%，因此它们不易受到能源转型的影响。

在石油生产国中，有一条约定俗成的规律，即国家提供的福利越多，国家政权越稳定。一旦石油收入持续下降，这些国家将难以实现社会经济发展目标。财政紧缩可能会破坏国家的稳定，导致社会动荡、政治内斗甚至暴力。此外，一国的政治动荡可能会跨越国界，对邻国产生影响。石油出口国的政权不稳可能是能源转型带来的最大地缘政治风险⁵⁴。

对石油收益的依赖度越高且青年失业率高的国家，越难以平稳度过这场变革。最近中东动荡暴露了中东国家治理存在严重问题，随着石油收入下降，这些挑战将变得更加严峻。尼日利亚也有类似的风险。长期以来其一直在努力提高国家治理水平，解决贫困问题。但其当前全国平均年龄仅为18岁，面临着严重的年轻人口膨胀问题。预计到2050年，尼日利亚将超过美国，成为世界上人口第三大国⁵⁵。

石油收益降低将引起短期阵痛，但从长远来看，长期高度依赖化石能源的国家可抓住机遇降低石油高依赖进口带来的安全风险，进而为其公民创造更加稳定、公正、具有生产活力的未来。已有研究表明，大量石油收益可能限制国家进步、扭曲经济、破坏民主制度、造成腐败、阻碍国内产业发展并加剧冲突⁵⁶。尽管提高国家治理水平可在一定程度上避免上述问题，但对于多数石油资源丰富的国家而言，政策法规方面仍将存在重大风险⁵⁷。

加强经济多元化以减少对石油收益的依赖，一直是许多石油出口国的长期政策目标。阿联酋经济多元化和脱碳战略是积极降低风险的典型案例。阿联酋的能源政策目标要求到2050年，清洁能源占比达到44%，且70%的经济生产实现脱碳。然而，像这样成功投资开发资源并建立了强大多元经济的国家并不多。除马来西亚和阿联酋外，石油出口国中很少有国家遵循哈特威克的规则——以消费在代际间不下降作为衡量可持续性的准则，开采不可再生资源得到的收益必须全部储蓄下来作为再生产的物质性资本投入，以推动实现可持续发展⁵⁸。

近年来，一些石油输出国已看清当前形势，制定了促进经济多元化的规划，以提高国家的发展韧性（见表1）。

表1. 海湾合作委员会（GCC）国家经济多元化计划

年份	国家	计划
1995	阿曼	阿曼2020：阿曼经济的愿景
2008	巴林	2030年经济愿景
2008	卡塔尔	卡塔尔2030年国家愿景
2009	科威特	科威特国家愿景2035
2010	阿联酋	愿景2021年
2016	沙特阿拉伯	沙特阿拉伯愿景2030
2017	科威特	新视野2035

油气储量丰富的国家若尽早加强经济多元化，可提高国家经济的长期增长能力，保护经济免受国际能源价格波动的影响，进而保持国家宏观经济稳定⁵⁹。开放经济和竞争性市场环境将促进国家可持续增长。同时还将创造更多生产性就业，这对拥有大量年轻失业人口的国家是一大利好。此外，多样化同样有助于这些国家为石油达峰做好充足准备。

不同国家有各自特有的国情和挑战，因此应紧密结合各自国情与需求，量身定制平稳渡过能源转型与经济多元化进程的政策方案。政策引导方式也应多管齐下，包括财政货币政策、人才培养、基础设施建设、以及私营部门扶持计划等⁶⁰。

（三）化石能源进口国的能源安全

在第一次世界大战前夕，温斯顿·丘吉尔做出了一个大胆的决定：他将英国舰队使用的燃料从国内开采的煤炭替换为进口的石油。自那时起，能源安全（以可承受的价格不间断地供应能源）便成为所有能源进口国的关键战略问题。当前世界上超过80%的人口生活在化石能源净进口国家⁶¹。

对能源安全的关注在一定程度上影响了国际关系的发展、联盟的形成、国家利益的保护以及国防规划。几十年来，石油贸易也塑造了美国与中东之间的关系⁶²。同样，中国为确保石油和其他自然资源充足供应，积极同亚洲、非洲和拉丁美洲国家建立新的更深的合作关系，同时也在国内大力发展可再生能源，使国内能源供应多元化。

在未来可再生能源经济中，大多数国家都将实现能源独立：他们将拥有更强的能源安全保障，在制定能源政策时也更游刃有余。由于大多数国家都存在经济可行的可再生能源开发潜力，目前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收益。

从战略角度来看，化石能源进口国很容易因石油和天然气出口国的政治动荡、恐怖袭击或武装冲突造成的供应中断和价格波动产生能源供应安全问题。较小的能源进口国也可能在能源供应方面受到压力，因此，这些国家在制定能源政策目标时往往束手束脚。

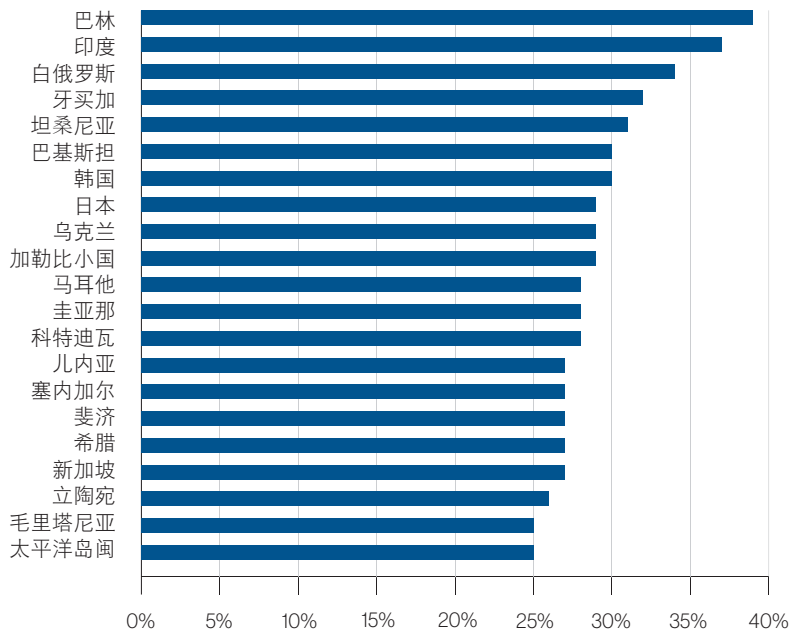
相比之下，发展可再生能源可以更好地保障能源安全。例如：巴西在1973年的石油危机之后实施的乙醇计划，旨在减少该国的石油进口，并保护经济不受能源价格波动和供应中断的影响。该计划在巴西实现能源独立进程中发挥了至关重要的作用，并帮助其成为了世界第二大乙醇生产国和最大的乙醇出口国。

从经济角度来看，高度依赖进口将提高成本并增加风险。油气进口国家面临汇率变化和油气价格波动，这将影响其国际收支。20世纪70年代石油价格波动冲击了许多工业占比较高的经济体，并为许多发展中国家在随后十年遭受债务危机播下了种子，带来严重的社会经济后果。增加可再生能源在能源结构中的比例可以降低此类风险并提供新的经济增长点。

冰岛是借助发展可再生能源推动国家经济转型的一个成功案例。20世纪，它从欧洲最贫穷的国家（高度依赖煤炭和石油进口）发展成一个生活水平较高的国家，其国内电力全部来自水电和地热能⁶³。合理有效发展可再生能源使冰岛提高了能源安全水平，夯实了经济发展基础，并吸引了电解铝、大数据和温室农业等新产业进入冰岛⁶⁴。

进口化石能源也可能对一些进口国的贸易平衡造成巨大负担。世界贸易组织（WTO）的数据显示，2015年，尽管油价大幅下跌，但全球化石能源进口总成本为1.9万亿美元⁶⁵。图8显示最依赖化石能源进口的国家依次为：巴林、印度、白俄罗斯、牙买加、坦桑尼亚、巴基斯坦和韩国。

图8. 所有商品进口中化石能源进口份额（2007-2016年平均值）



资料来源：世界银行。

若依靠化石能源进口的国家调整国家能源战略，转向开发国内可再生能源，将大幅改善贸易平衡。若按当前情景发展，印度将超过中国成为2020年后最大的新增能源市场。其化石能源进口费用占出口总收入的比例，从2000 - 2001年的35%增加到2012 - 2013年的60%，同期化石能源进口产生的贸易逆差达1900亿美元⁶⁶。

从消费者的角度来看，大量的能源进口将巨额资本转移到海外⁶⁷。地缘政治事件发生时，能源进口商很容易受到价格波动的影响。高油价也可能通过引入通胀、抑制消费支出和提高经营成本来抑制经济增长。相反，较低的石油价格可以使进口方获益⁶⁸。

化石能源储量匮乏的发展中国家可以通过开发可再生能源获得益处。例如，小岛屿发展中国家（SIDS）严重依赖进口燃料来满足其电力需求⁶⁹。小岛屿发展中国家也是受气候变化危害最大的地区，却几乎没有做好应对准备。为增强抵御极端天气的能力，加强能源安全保障并减少能源进口成本，包括佛得角、库克群岛、斐济、圣文森特和格林纳丁斯、萨摩亚和瓦努阿图在内的13个小岛屿发展中国家已发布计划：将可再生能源电力提高到电力消费总量的60%-100%⁷⁰。

在一些可再生能源丰富的地区已实现100%可再生能源供电，并且电网也可承受可再生电力的波动性。阿尔巴尼亚、埃塞俄比亚、莱索托、挪威、巴拉圭和塔吉克斯坦几乎全部电力来自水力发电。还有国家同时利用多种可再生能源实现了类似效果。例如，巴西、哥斯达黎加、新西兰和肯尼亚通过水电、地热、风能、生物质能和太阳能发电提供了80%以上的电力⁷¹。

智利、约旦和摩洛哥等国也在减少对国外能源进口，以提高能源安全，减缓能源进口加剧带来的结构性贸易失衡。摩洛哥目前进口的能源占其消费的90%以上⁷²。它计划开发持续的太阳能资源和强风资源来减少能源进口，并最终成为欧洲和非洲市场的电力净出口国。到2030年的发展目标是，将可再生能源在电力结构中的占比提升至52%。

能源独立并不意味着完全自给自足或独立于全球市场之外⁷³。即使一个国家的能源需求完全自给自足，通过参与全球产业链，共享、技术、商品和服务也将带来更低成本和更高收益。

通过发展可再生能源提高能源安全可能改变能源出口国和进口国之间的相互关系，它还将削弱石油和天然气在国际政治中的作用。确保能源供应安全更多的是国内治理问题，而非国际问题。实现能源独立的国家也将不再受制于能源供应方，因此能够更加独立地实现其能源战略和外交目标。

（四）可再生能源领导者的崛起

掌控可再生能源技术的国家可借此扩大其全球影响力。有三类国家可能成为新的可再生能源领导者。

第一类：有些国家的可再生能源开发潜力的巨大，如果能够成为可再生电力或燃料的重要出口国，则将在此机遇期获益。澳大利亚的太阳能和风能资源理论上比其煤、天然气、石油和铀资源的总和还要高75%⁷⁴。在阿塔卡马沙漠，智利拥有世界上最丰富的太阳能资源，以及大量风能、水电、地热和海洋能源。然而，在这两个地区，由于地理位置偏僻限制了电力出口，也阻碍当地可再生能源发展。

一些国家已经是可再生电力的净出口国。巴西已成为水电的主要出口国。挪威向邻国和荷兰出口电力，并正在铺设通往德国和英国的电缆。老挝和不丹也将水电出口到邻国。不丹向印度出口电力，使政府收入提高了27%以上，占不丹国内生产总值的14%⁷⁵。

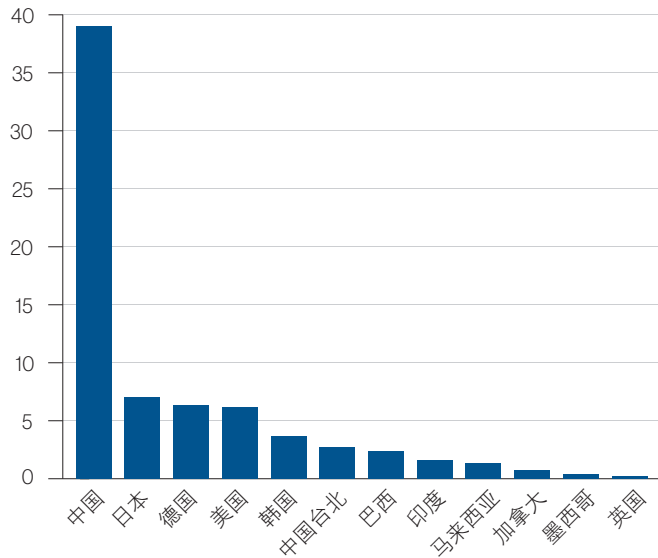
第二类：玻利维亚，蒙古和刚果民主共和国（DRC）等矿产丰富的国家为可再生技术提供必需的矿产资源，从而成为全球可再生能源价值链的一部分。此类国家若制定合理的政策和规划，国家经济将因此得到快速发展。

第三类：可再生能源技术领导者将从全球能源转型中获得最大收益。中国最有潜力成为全球可再生能源超级大国。当前，它是世界上最大的太阳能电池板、风力涡轮机、电池和电动汽车的生产商、出口商和安装商，处于全球能源转型的最前沿。

图9展示了风电机组件、晶体硅光伏组件、LED封装和锂离子电池四种清洁能源技术制造业的总经济增加值。数据显示，中国是迄今为止全球最大的清洁能源技术制造国，并在可再生能源专利方面领先世界（见图10）。

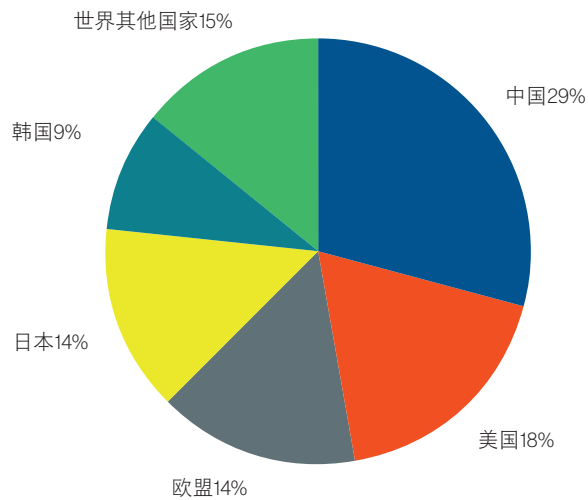
中国正同时加强可再生能源领域的研究、开发和投资，当前在汽车和能源设备等领域占据全球主导地位，有望取代美国和欧洲企业的市场地位。此后，中国在全球能源贸易中将具有比较优势，并为中国的经济增长提供新动能。

图9. 清洁能源制造业经济增加值（2014年，10亿美元）



资料来源：清洁能源制造分析中心⁷⁶

图10. 2016年底可再生能源专利的累计占比



资料来源：IRENA

中国发展可再生能源提高了地缘政治地位。提高能源自给自足的能力，进而减少对进口能源的依赖，降低能源安全风险，同时也会放缓中国一味追求经济增长的脚步。中国在可再生能源方面的技术优势使其成为清洁能源技术的重要出口国，让中国在全球能源贸易中处于有利位置。

清洁能源技术竞争可能引起技术垄断。这种后果可在移动技术领域已有体现：仅有少数公司（华为，三星，苹果）占据了全球领导地位。如果少数参与者以类似方式主导清洁能源技术，产业过于集中将不利于市场健康竞争，抑制创新甚至扭曲市场。不掌握关键能源技术的国家可能会严重依赖少数国家和企业。在这种背景下，产业政策的制定实施则越发重要；各国需要在公平、规则完善的贸易系统中，围绕关键技术，搭建具有竞争力的产业链。

除了技术垄断风险之外，由于可再生能源无处不在，可再生能源领导者不太可能获得像化石能源领导者一样享有极高的市场影响力。

（五）公民，城市和企业扮演新角色

可再生能源倾向于将能源系统分散化和自主化，因而可再生能源转型将重塑全球政治经济格局。随着光伏、风力发电以及智能配电系统成本的下降，几乎所有拥有屋顶或土地的人都可以自行发电并将其上网。能源生态系统正趋于多样化。国家级能源部门在能源系统中的作用将发生变化，许多新的参与者和新的商业模式可能因此出现并蓬勃发展。与集中式电网相比，分布式能源生产为家庭和社区提供了更多的自主权。在这个“消费者”的新时代中，能源资产将不再仅由中央电力公司或国家所有。

随着太阳能电池板、电池和智能软件在人群中的普及，以前的电力消费者可以转被动为主动，成为电网中的生产者。市场和智能技术的创新，可以提高电网中可再生电力的稳定性。通信技术的进步将推动“能源互联网”的

出现，使数亿人实现在家、办公室和工厂生产并共享电力⁷⁷。连接在电网中的智能设备数量预计将从2017年的260亿增加到2025年的750多亿，实现需求侧管理智能化⁷⁸。

在集中式能源系统中，能源收益也往往集中在企业和政府手中。相比之下，分布式可再生能源系统为消费者提供了真正的能源选择和经济收益，同时提高了社会对可再生能源投资的接受度。2016年，德国私人拥有的可再生能源装机占全国总量的31.5%，成为该行业最大的“集团”投资者⁷⁹。

分布式可再生能源也有助于提高当地抵御环境灾害的能力。2011年，受地震和海啸影响的日本东岛东松岛决定以微电网和分布式可再生能源为核心改造其能源基础设施。在美国，飓风桑迪中断21个州共850万人的电力供应后，开始推广微电网⁸⁰。

城市在能源转型中发挥着核心作用。到本世纪中叶，预计全世界70%的人口居住在城市中⁸¹。城市消耗的能源达三分之二，造成了世界70%的碳排放量。城市易于受到气候变化的影响，遭受城市热岛效应或沿海海平面上升⁸²。但是，城市也可借此机会重塑能源体系。到2030年，五十个全球最大的城市的经济提了将超过许多中小国家，成为国际经济政治舞台上主要的参与者。

城市已经对此采取行动。2017年，超过100个城镇的电力由超过70%的可再生能源供应，其中包括奥斯陆（挪威），达累斯萨拉姆（坦桑尼亚），基多（厄瓜多尔）和惠灵顿（新西兰）等几国首都，而2015年这一数量仅为42个⁸³。日本第二大城市横滨正在推行智能城市项目，该项目应用了智能电网、太阳能光伏和电动汽车⁸⁴。在红海和亚喀巴湾附近新建的超大型城市Neom将完全依靠可再生电力⁸⁵。

城市和地方自治市也正积极形成全球联盟，例如C40，ICLEI和全球市长契约等⁸⁶。加上其它非国家行为者的行动，如加利福尼亚州2018年9月的全球气候行动峰会，参与者努力构建新全球治理中新的一环，推动发展可再生能源，实现脱碳、可持续并提高发展韧性。

在当前能源转型的背景下，私营企业纷纷通过重组、结构调整或增加可再生能源发电来适应发展环境。随着市值大幅下滑，德国最大的公用事业公司RWE和E.ON将业务分为两部分，一部分专注于可再生能源，另一部分专注于火电。丹麦石油天然气公司（DONG）在出售其石油和天然气业务后更名为Ørsted。道达尔正在多元化发展太阳能和电池技术。壳牌正在增加其天然气份额。英国石油公司和其他石油公司正在购买电动汽车充电基础设施股份。2017年，在首次公开发售股票仅7年后，特斯拉成为最有价值的美国汽车制造商，超过了拥有100多年历史的通用汽车公司。一些全球科技公司已经100%使用可再生电力⁸⁷。这些趋势表明，全球科技公司正在成为新能源领域的重要参与者。

简而言之，向可再生能源的转型与权力分散化密切相关。现代民族国家和化石能源发展相辅相成，在日益电气化的时代，化石能源的衰落和分布式发电的崛起也将对民族国家产生深远的影响。

二、新型国家关系

可再生能源不仅会影响各国之间的权力平衡，它还将形成新的国际集团和贸易流动格局，并围绕电网和其他新兴事物形成新的相互关系。

（一）结盟组织的变化

如果全球对化石能源的需求下降，建立在化石能源上的集团组织可能会松散瓦解。虽然也会出于其他原因维持，但能源将不再是组织的核心。

石油输出国组织（欧佩克）是以化石能源为核心的典型集团。它创建于1960年，是石油出口国交流信息、与国际石油公司相互协调的组织。欧佩克国家从20世纪80年代初开始协调其石油生产政策。

欧佩克对包括成员国之间的一系列价格危机和冲突等表现出极强的抵抗能力。欧佩克与非欧佩克国家目前的合作，以沙特阿拉伯与俄罗斯之间的合作为基础。尽管它们具有不同的地缘政治诉求，但在美国页岩气大幅增产的情况下，加强合作是维护利益最有效的方式。欧佩克可能会作出调整，但在这个替代能源日益增多的时代，其重要性将逐步降低⁸⁸。卡塔尔近日宣布退出欧佩克，更加重视天然气出口，这体现了欧佩克在市场快速变化和结构性重组中面临重重挑战。

国家之间的双边关系也将发生变化。美国和沙特阿拉伯的联盟是石油在国家战略关系中发挥关键作用的典型例子。这个联盟可以追溯到1945年，当时国王阿卜杜勒·阿齐兹·伊本·沙特和美国总统富兰克林·罗斯福形成共识，美国将获得沙特石油并为其提供军事援助。随着全球经济对石油的依赖程度降低，两国之间的关系可能会发生重大变化。

各国也开始重新思考能源外交。日本的能源外交战略不仅要保障化石能源的进口充足，而且还关注可再生能源⁸⁹，特别是氢的发展⁹⁰。2009年，德国推动建立了IRENA，并与一些处于可再生能源发展前沿的国家建立了双边能源伙伴关系⁹¹。阿拉伯联合酋长国（阿联酋）是一个主要的石油出口国，作为IRENA的总部所在地以及借助阿布扎比发展基金为发展中国家的可再生能源项目提供资金⁹²，并投资于发达国家的可再生能源项目等，在可再生能源领域站稳主导地位。

为促进多边合作并推动可再生能源技术发展，许多新的联盟和倡议逐渐形成。仅2015年巴黎气候大会就诞生了国际太阳能联盟（the International Solar Alliance）⁹³、全球地热联盟（the Global Geothermal Alliance）⁹⁴和使命创新组织（Mission Innovation）⁹⁵。由政府或政府间实体发起，这些机构将政府、企业 and 非政府组织聚集在一起，共同推动可再生能源开发利用。

虽然其中许多联盟仍处于起步阶段，并侧重于技术合作，未来他们将发挥地缘政治影响。在国际太阳能联盟（ISA）第一届大会启动仪式上，印度总理纳伦德拉·莫迪表示，“ISA将在未来发挥欧佩克的作用”⁹⁶。尽管ISA尚处于形成阶段，印度希望通过太阳能外交与发展中国家建立更深厚的贸易和政治联系⁹⁷。

（二）贸易新格局

可再生能源将重建国家和地区之间的地理联系和依赖关系。从广义上讲，能源依赖的意义将从全球尺度降到区域尺度。当前石油进口国家将寻求开发国内可再生能源，并将致力于搭建跨国电网和区域性电网。

在可再生能源发展的过程中，电力逐渐成为终端能源消费的主要品种。与石油和液化天然气（LNG）的全球性交易不同，电力目前只是区域性交易

商品。仅靠现有技术长距离运输时会损失大量电力。因此，全球能源市场可能会变得更具区域性。加强特高压输电技术的发展将有助于减少长距离电力贸易产生的电力损失。

目前，化石能源贸易占有商品贸易近15%⁹⁸。如果化石能源贸易减少，那么与能源相关的贸易将不再是燃料贸易，而是包括可再生能源技术和电力的贸易。燃料贸易或只涉及（由可再生能源和传统能源产生）氢气、合成燃料和生物质等（见专栏1）。

与化石能源贸易不同，可再生能源贸易格局主要受综合优势而非资源本身影响。当一个国家拥有丰富而可开采的化石能源资源时，它具有天然的资源优势。而由于可再生能源在地理上不具备明显的集中性，一个国家的技术水平、相对价格和运输成本等综合优势才是未来可再生能源贸易中的比较优势。

随着能源贸易流动格局变化，相应的新地缘政治格局也随之形成。在一个各地皆能生产能源的时代，一个霸主将不再能通过控制公海或战略要塞（如霍尔木兹海峡或马六甲海峡）对全球能源贸易带来影响。因此，一些海上贸易路线也变得不再重要。

掌控电网基础设施对于国家安全和提升全球影响力至关重要。电网基础设施包括物理资产，如电缆和储能设施，以及随着各部门数字化而倍增的虚拟互连。一个国家的电网的互联互通可以补充强化其陆上、海上和空中力量⁹⁹。

专栏1.可再生能源如何重绘贸易格局

可再生能源转型将重绘贸易格局。尽管化石能源贸易量将下降，但至少以下三个领域的贸易量将增长：

1. **可再生能源相关商品和技术的贸易。**这些产品包括一系列商品和技术，从太阳能光伏板到智能设备和电池，以及它们的零部件（例如，用于风力涡轮机的叶片或用于水力发电的水轮）和相关服务（例如：工程和安装服务）。
2. **电力贸易**将增加，这是因为电网互联可以实现相互之间的电力传输，即增加了交易量，又增强电网的抗波动性和稳定性。如太阳能和风能等波动性可再生能源，需要灵活互联的电力系统实时调峰。电力系统的互联互通可以在邻近国家之间、在地区范围内甚至跨越大陆实现。
3. **可再生能源燃料**的贸易也将显著增长¹⁰⁰。例如，在拥有大量可再生能源（如巴塔哥尼亚或澳大利亚沙漠）的地区可通过电解水制氢。除了氢之外，还可以从可再生电力中产生许多合成燃料，包括氨、甲烷和甲醇。这种燃料允许季节性储存可再生电力（迄今为止只有抽水蓄能可以实现类似目的），并借助现有的基础设施传输（如天然气管道）。它们还有助于减少航空和部分难以电气化的工业过程中的排放¹⁰¹。

与此同时，近年来与可再生技术相关的贸易争端数量也有所增加。可再生能源产品贸易可能受到关税、差别性补贴和不一致的技术标准所阻碍。世贸组织成员已开始进一步开放环境商品和服务贸易的谈判。未来，为确保可再生能源公平贸易，协调治理能力亟待加强，特别是标准和规则的制定亟需统一。

中国“一带一路”倡议（BRI）是一项全球性战略计划，已在近80个国家开展项目。项目实施至今已得到超过一万亿美元的专项融资支持，成为世界上最具雄心的基础设施发展计划之一。BRI旨在建立涵盖港口、铁路、公路、管道和工业园区的网络，将中国与远在曼谷和鹿特丹的城市连接起来。中国国家电网公司力图建立“全球能源互联网”（GEI），将每个大陆通过海底传输电缆连接起来，为全世界提供绿色电力¹⁰²。

BRI和GEI有战略意义。中国希望减少对经过马六甲海峡和南海等要塞进口的商品和能源的依赖。中国的基础设施外交于21世纪的地缘政治，如同美国在20世纪维护海上航线控制权。尽管BRI已被许多国家所接受，但它也使一些国家对中国日益增长的影响力感到不安¹⁰³。此外，还有对债务、透明度、中国企业持股较大以及项目的环境可持续性问题的质疑¹⁰⁴。

近年来，其他主要国家都在推行自己的基础设施计划。日本，美国和印度已经推进了“自由开放的印度太平洋”战略¹⁰⁵，其中美国将投资1.135亿美元用于基础设施和互联互通。东南亚国家联盟（ASEAN）制定了一项名为“互联2025”（Connectivity 2025）的战略¹⁰⁶，欧盟最近也公布了“连接欧洲和亚洲的战略”¹⁰⁷。

鉴于各国战略的雄心和覆盖广度，基础设施和互联网可能成为权力竞争的新战场。它们也可能成为地缘政治的粘合剂，将各国及其公民在新的相互依存关系中更加紧密地联系在一起。网络的搭建和维护需建立在高度的信任上，人、物共联将成为合作共存、稳定繁荣发展的重要基石。

（三）重新思考能源外交

长期以来，能源资源作为一种外交的手段，即能源文件。在一个主要由可再生能源驱动的世界中，能源资源将失去成为地缘政治工具的功能。用美国前总统吉米卡特的话说：“没有人可以阻止太阳向我们供能”。与此同时，依赖电力、生物燃料、氢气等或关键材料也会产生新的依赖性和脆弱性。

石油和天然气——外交工具

能源转型的一个可能结果是降低石油和天然气作为地缘政治工具的重要性。当前各国分别采取手段干预全球油气市场，以进一步实现其外交目标¹⁰⁸。一种方式是通过供应商禁运来实现。例如，1973年10月，阿拉伯石油输出国组织（OAPEC）成员国在阿以冲突后宣布对一些西方国家实施石油禁运。另一个例子是对种族隔离时代南非的石油禁运。

一些国家也通过禁运措施对石油出口国施加压力。最近的一个例子：特朗普总统决定退出2015年达成的伊朗核协议后，美国政府再次对伊朗实施石油制裁。这次制裁并未完全阻止伊朗出口，因为这样做会提高全球能源价格并对消费国造成同样的痛苦。相反，制裁的目标是阻碍其未来开采能力的增加。这种方法承袭了西方国家和日本在2014年对俄罗斯实施石油制裁的思路。

各国有时试图发挥地缘政治影响力，但并非通过中断石油和天然气供应或单方面提高价格，而恰恰采取相反的做法。例如，在2014年石油价格大幅下跌之后，欧佩克没有采取措施削减产量，因为在美国页岩产量不断增长的情况下，欧佩克更倾向于维持其市场份额。

石油和天然气不仅被用作“棍棒”来伤害或阻止敌人，而且还被用作奖励盟友并确保其忠诚的“胡萝卜”。例如，委内瑞拉能源协定对加勒比小国的原油和石油产品的价格给予大幅折扣，以抵消美国在该地区的影响。

不仅能源资源本身，其运输通道也成为了地缘政治竞争的对象。例如，在20世纪90年代，美国以牺牲俄罗斯和伊朗为代价，推动巴库-第比利斯-杰伊汉（BTC）管道建设，加强其在该地区的战略影响力。十多年来，欧盟一直支持建设南方天然气走廊，以减少对俄罗斯天然气的依赖，而俄罗斯和一些欧洲国家都纷纷建设了其他天然气运输设施，如Nord Stream，以绕过现有运输路线。

切断电力供应——地缘政治武器

可再生能源的普及将增加电气化水平并带动跨境电力交易。包括太阳能和风能在内的具有较高波动性的可再生电力，需要灵活的电力系统针对供需变化进行实时调峰。市场设计、智能电网和储能技术的创新，以及各国之间的高压直流电互连，将有效地满足这种灵活性需求。

有人提出，主导电网的国家可能对其邻国实施恶意控制，国家间断电将成为重要的外交工具，战略应用效果将与油气制裁相似¹⁰⁹。

然而需要强调的是，电力交易往往比石油和天然气贸易更为互惠。石油和天然气只从出口国到进口国单一方向流动，而各国之间的电力贸易双向流动。一个依赖太阳能的国家可能需要在下雨时从邻国输入电力，但在太阳照射时也可向邻国输出电力。

与需要固定运输设施（如管道或液化天然气终端）的天然气贸易不同，电力卖方与买方相对灵活。2009年俄罗斯切断乌克兰的天然气供应打击了欧洲下游的消费者，欧洲各国难以在短时间找到替代来源。然而，在未来，随

着越来越多的国家生产清洁电力并建立互联电网，各国将不易受到他国能源制裁，各国将更可能在本地生产更多电力或有多种替代来源。

即使可再生电力出口国对进口国拥有主导地位，这种不对称也不能轻易被用于施加地缘压力。各国具备多种替代方案：它们可以自己生产电力，例如在国内发展可再生能源，或从邻国进口电力¹¹⁰。因此，可再生能源出口国将永远只是复杂能源网络中的一小部分，电力也难以成为地缘政治武器。

另一种观点认为，跨境电力交易将为区域合作提供机遇。北欧各国已经开展跨境电力传输十余年。亚洲（东盟电网）、非洲（五个次区域电力池）、中美洲（SIEPAC¹¹¹）和中东（海湾合作委员会电网）也正在形成区域电网。近年来，亚洲超级电网、北非沙漠电力电网（Desertec）项目和北海海上电网等可再生能源超级电网已进入摸索阶段¹¹²。

缺乏信任是在各国建立区域电网的主要障碍。为了在奥斯陆和平进程中建立信任，曾提出了在以色列与其阿拉伯邻国之间建立传输电网，但因为双方之间的信任不足，这些计划并没有实现¹¹³，至今以色列仍是一个“电力孤岛”。此外，波罗的海国家希望将他们的电网与欧洲大陆的电网相连，以便与俄罗斯电力系统分离，这一举动也充满地缘政治色彩¹¹⁴。

政府需要制定专门方案管理跨境电网，使电力在管理良好和透明的市场中自由流动¹¹⁵。在欧洲，欧盟能源监管机构合作机构（ACER）有助于确保欧洲电力市场运作正常。IRENA的非洲清洁能源走廊（CEC）倡议被纳入非洲发展新伙伴关系非洲基础设施发展计划，旨在促进能源市场的跨境电力贸易¹¹⁶。非洲正在开发的大陆自由贸易区也为区域和次区域一体化与互连提供了新的机会。

生物燃料贸易风险

生物燃料已成为世界市场上的重要商品，并且自2006年以来成为一些国家能源转型战略的一部分。数十年来，生物乙醇燃料在全球范围内大量交易。但生物柴油贸易仍不成熟，仍停留在原料贸易（如大豆和植物油）而非燃料贸易¹¹⁷。业内对生物燃料的环境影响以及生物燃料与食品之间的潜在冲突提出了一些担忧，但许多国家正积极采取措施解决这一问题，包括开发基于农业剩余物或藻类的下一代生物燃料等。

尽管存在上述问题，但生物燃料贸易的以下特点，使其不太可能成为地缘政治武器：

- 一些原料（如甘蔗）不可交易或易腐烂。
- 只有小部分生物燃料在国际上进行交易。
- 最大的生物燃料生产商也是最大的消费者。
- 关税和非关税壁垒继续阻碍一些国家的市场准入。
- 农作物产量或监管的突然变化可能会改变贸易流量的方向和数量¹¹⁸。

（四）关键稀缺材料的瓶颈效应

可再生设备和电池需要某些矿物质来生产，例如钴，锂和稀土元素¹¹⁹。有人担心关键矿物储量丰富的国家会以此向矿物稀缺国家施加压力。

这种猜想在2008年得到了证实。当中国限制对外供应稀土时，市场恐慌，国际价格飙升，因为中国掌控了全球大部分稀土矿产的供应。

事实上，17种稀土矿物中大多地质储量丰富且分布广泛，但它们价格昂贵，并且矿山开采过程会造成环境污染。也因此，美国一直没有和中国竞争稀土生产主导地位。

稀土的稀缺性部分由于稀土市场的周期性。当需求增加时，新的采矿项目开展需要较长时间，供应需要时间调整，时间滞后导致价格飙升；高价格可能引发企业过度投资，因此繁荣之后价格崩溃，新的周期开始。这正是中国出口限制之后发生的事情：随着价格上涨，投资流入采矿项目，导致价格在2012年崩溃¹²⁰。

此外，在可再生技术中稀土和其他关键金属存在替代品。无钴电池正处于研发进程中，并且只有少数风力涡轮机（在美国不到2%）采用稀土元素制造。一些矿物质也可以回收、再利用和储存，从而进一步降低它们的稀缺程度¹²¹。

这些因素综合在一起，不太可能出现以控制这些关键材料为核心的卡特尔垄断集团。卡特尔垄断集团不易形成，也不易持续。在20世纪，即使在锡、咖啡、糖和橡胶行业中广泛存在卡特尔垄断集团，石油也是唯一一个价格没有在卡特尔垄断存在的条件下降低的大宗商品。同时，国际贸易规则也阻碍了卡特尔垄断组织的形成。2014年，美国、日本和欧盟向世贸组织提出上诉，成功地影响了中国限制稀土出口的决定。

总之，由可再生能源驱动的能源转型将削弱传统意义上的“能源外交”，即利用能源资源作为外交的工具。电力、生物燃料和对新能源系统至关重要的材料不太可能像石油和天然气一样具备较高的地缘政治作用。

三、能源与冲突

可再生能源的快速发展可以缓解各国对石油、天然气、水以及粮食等自然资源的竞争，降低一些冲突的发生概率。但同时也会带来网络安全风险，以及针对一些重要矿产品开采的争夺。

（一）因油气资源而产生的冲突将有所减缓

化石能源，特别是石油，是过去一百年中地缘冲突的重要影响因素。随着全世界范围可再生能源使用越来越多，化石能源的重要性将相对下降，未来因资源而引发冲突的地区和发生概率也将产生变化。南海和地中海东部等地因油气资源竞争而产生的摩擦将会减少或降低等级。从这个角度看，全球能源转型可能产生和平红利¹²²。

化石能源一般不是国家间冲突的直接原因，但它们往往是一国内部军事冲突的“助燃器”。近几十年来，一些非洲产油国就因此经历了严重的内部动荡以及军事冲突。石油加剧了当地的不平等，而当中央政府重新分配因石油带来的财富时，外部势力则以此为借口，进一步加剧石油产区的不满。此外，武装团体也通过开采自然资源以及参与资源运输，为其活动提供资金支持。当然，钻石、热带木材等其他自然资源也可能引发局部冲突，但是有证据表明，与石油相关的冲突表现的更为激烈¹²³。

如果石油和LNG对能源安全的影响度降低，包括霍尔木兹和马六甲海峡在内海上能源运输咽喉重要性也将降低（见图11）。霍尔木兹海峡是世界上最重要的石油运输通道，它连接着中东产油国和主要的石油需求市场。其最

窄的地方只有21英里宽，而且任何一个方向的航道最多只有2英里宽。但是该海峡每天运输了全球30%左右的海上原油以及大量的LNG。霍尔木兹海峡曾发生过几起军事冲突。特别是2018年，伊朗曾表示为了应对美国的石油制裁，可能会封锁霍尔木兹海峡，造成了全球能源市场的恐慌¹²⁴。

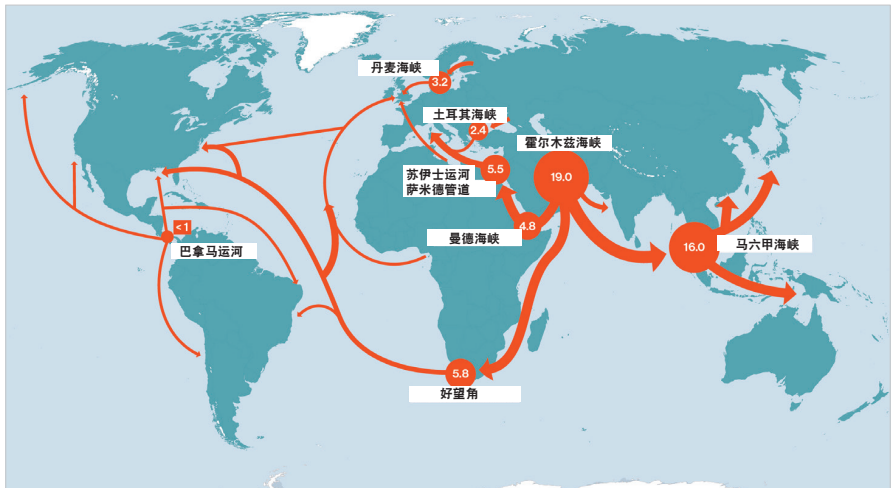
专栏 2. 可再生能源与军事

全球能源转型可能会影响军事行动和军事基地的运行方式。在一些国家，因担心风力发电机对雷达信号产生干扰，曾发生军方阻止风机部署的事件。但是，近些年军方逐渐认识到发展可再生能源也是一个机会。美国国防部正在通过提高能源效率、扩大可再生能源使用、以及推广储能、小型电网以及替代燃料等方式来提升能源系统韧性。并制定了到2025年可再生能源在其能源消费中占比达到25%的目标¹²⁵。

国防和军事发展需求推动可再生能源发展。美国军队是世界上最大的石油消费组织之一。2017年，其消耗了超过8500万桶燃料，这些燃料为船舶、飞机、航空母舰、战斗车辆以及基地应急提供动力¹²⁶。大量的燃料消耗不仅费用高昂，也因供应链容易受到攻击而带来风险，特别是在前方作战区这种风险更大。同时，美国国内的军事基地也越来越多地受到网络攻击以及因气候变化导致的频繁极端天气事件影响。2018年10月，飓风迈克尔摧毁了佛罗里达州的廷德尔空军基地。

美国国防部并不是唯一一个支持可再生能源发展的军事组织。2014年2月，北大西洋公约组织（北约）通过了“绿色国防”提案，同时包括英国和韩国在内的多国军队也计划加大可再生能源使用。

图11. 主要海上运输通道每日石油运输量



注：单位为百万桶每天。包括原油和液体石油。图中数据基于2016年的数据计算。

资料来源：美国能源信息署。

（二）网络攻击造成的能源安全风险增加

当前，能源转型与另一个革命趋势 - 数字化 - 正在同时发生。数字化技术正在使能源特别是电力部门更加联通、智能、高效、可靠和可持续。随着波动性和分布式能源占比的增加，数字化技术在保持电网稳定方面发挥着的作用将更加关键。它可以实现对电力需求的智能响应，也将使电力供应者和消费者的区分更加模糊。

然而，在缺乏国际规则情况下，数字化技术的发展也可能增加能源部门的安全风险以及客户对于个人隐私的担忧。犯罪团伙、恐怖分子或敌对国家的安全部门可能会利用网络入侵公用事业和电网，从事欺诈、盗窃，亦或是出于军事或商业目的的间谍活动。在极端情况下，网络攻击可以造成包括电网在内的工业基础设施的运行中断、损毁或破坏。

“物联网”（允许用户连接家用电器、电动汽车、通信设备和能源基础设施）的发展也为网络攻击提供了更多的切入点和入侵目标。

2015年12月，乌克兰西部电网遭受网络攻击，是一个典型的网络入侵能源设施的案例。黑客通过在配电中心的计算机系统上安装恶意软件，使30个变电站停止给电网供电，造成超过23万人长达6个小时的无电可用。这是网络入侵第一次造成能源设施受重大影响的事件，这次事件也敲响了警钟，提醒各国注意电力系统存在的潜在网络攻击风险¹²⁷。

最近，中国国家电网（全球最大的公用事业公司和中国最大的国有企业）在竞购澳大利亚最大配电网络Ausgrid、比利时最大的能源配电网公司Eandis以及德国四大输电系统运营商之一50Hertz股份时，均被这些国家以“国家安全”为由予以叫停。原因虽然未能详尽披露，但可能出于担心存在包括网络安全在内的风险，这些国家不愿将本国重要能源基础设施的控制权交于他国企业。

网络攻击的威胁是真实存在的，但也应客观的看待。网络犯罪风险在能源转型之前即存在，传统电网同样也有被网络入侵的风险，而包括银行、互联网在内的其他网络系统同样易于遭受攻击。实际上，与互联网相连的一切事务本质上都容易受到黑客和网络武器的攻击。

安全漏洞和网络攻击风险始终存在，但可以通过制定和实施有效的应对措施保护电网和相关能源基础设施免受攻击。世界各地的电网设备供应商已经开始采取措施，防止出现未经授权访问能源系统的行为。系统运营商也制定了保护电网的标准，能源公司同样更为重视对网络攻击的防范，开始制定应急方案。同时，网络安全也成为新一代智能电网系统设计中优先考虑的因素。为了进一步降低风险，未来全球应共同努力，制定通用的网络安全规范和规则。

（三）矿物资源或将成为新的资源争夺点

太阳能光伏、风力发电机、电动汽车以及储能技术等可再生能源和相关技术的广泛采用将增加对一系列矿物资源和金属的需求（见表2）。

理论上，此类矿物储量丰富的地区应该因能源转型而受益。拉丁美洲拥有丰富的铜、铁矿石、银、锂、铝、镍、锰和锌储量。非洲则在铂、锰、铝土矿和铬等方面储量丰富。在亚太地区，中国拥有大量的金属储量；印度有丰富的铁矿石、钢铁和钛；印度尼西亚、马来西亚和菲律宾拥有大量的铝土矿和镍；新喀里多尼亚拥有巨大的镍储量¹²⁸。

勘探技术的发展使开采海底矿物成为可能，这也引发了新的主权争端和治理难题¹²⁹。随着深海采矿范围的扩大，需要制定国际规范和标准来减轻因此带来的环境问题并降低冲突风险。

然而，可再生能源开发中所需的金属和矿物产品主要储存于治理欠佳的国家。其中，全球钴供应量的60%以上的来自刚果民主共和国。不负责任的国外开采商有时会导致或加剧在一些矿物产品富集地区的不稳定性局势，对其经济、社会、政治和环境造成一系列不利后果。哥伦比亚正在经历长期的国内武装冲突，其国内不同武装团体通过控制和非法开采锡、钨、钽和金矿等资源，为其提供资金支持。

国际社会已经开始着手解决所谓的矿物冲突问题，其中最主要的措施是提高全球矿物产品供应链的透明度并实行问责制。例如，经合组织制定了针对采矿企业和矿产商的问责制度¹³⁰，联合国安理会也要求在科特迪瓦、刚果民主共和国、苏丹以及其他受冲突影响的国家采取这一措施¹³¹。良好的监管以及矿产资源开采过程中的透明化可以推动这些矿产资源储量丰富国家的经济发展。

表2. 绿色能源技术所需矿产品

	太阳能	风能	电动车及储能
铝土矿和铝	x	x	x
镉	x		
铬		x	
钴		x	x
铜	x	x	x
镓	x		
锗	x		
石墨			x
钢	x		
铁	x	x	x
铅	x	x	x
锂			x
锰		x	x
钼		x	
镍	x		x
稀土		x	x
硒	x		
硅	x		x
银	x		
碲	x		
锡	x		
钛			x
锌	x	x	

资料来源：IISD，绿色冲突矿物产品，2018年8月



第三部分：

应对地缘政治不稳定的根源问题

社会、经济和环境因素往往导致地缘政治不稳定和冲突的根本原因，而全球能源转型对这些因素均会产生影响。具体而言，气候变化、快速城镇化、高失业率、歧视与不平等，以及其它的主要发展趋势都可能会加剧贫困和排外主义，引进大规模群众运动以及暴力冲突和政治极端主义，故此，影响缘政治的稳定性。虽然可再生能源的特点和其快速增长的态势也会产生一些新的风险，但能源转型可以创造新的契机来克服上述这些挑战。

一、经济和社会的紧张关系

能源变革涉及深刻的经济、工业和社会变革，它对社会繁荣、就业和社会组织的影响俨然如同第一次工业革命。全球能源向可再生的转型能给宏观经济带来若干益处，比如到2050年，能源成本将由现在GDP的5%降到2%。然而，这也会产生新的社会分层和新的金融风险，从而引发国际体系的危机，因而，这样的能源变革在地缘政治领域也意义重大¹³²。

（一）减轻社会混乱

据测算，到2050年，向可再生能源的转型为全球能源部门创造约1100万新的就业岗位¹³³，尽管如此，可再生能源发展同时也会导致某些行业，如煤炭开采业就业岗位的流失。化石燃料采掘和煤炭行业等劳动最密集的部门在全球范围至少雇佣了900万人，其中一半以上为在中国的劳动力¹³⁴。煤炭开采业受到各类结构性市场力量的威胁，包括更便宜的替代燃料，自动化操作以及政府出于健康和环境保护目的出台的各种规章条例。

中国作为全球最大的煤炭生产国，2016年煤炭开采行业的就业人数约为500万人，而当年全国总劳动力为8亿人¹³⁵。由于煤炭行业在某些地区十分集中，劳动力成为生产中最不流动的要素。频繁关闭煤矿对当地社会和经济产生了深远影响，包括造成边缘化、社会混乱、雇佣双方的争议等问题。

全球能源转型可能加剧现有政治分歧，并促使新的政治派别轮番登场，持续产生地缘政治影响。在2016年美国总统选举中，煤炭工人是唐纳德·特朗普（Donald Trump）当选最大的支持声音之一；而最近澳大利亚和法国内阁的调整也被认为与能源转型的争议分歧直接相关¹³⁶。2013年，在抗议高电

价的民众游行示威活动逼迫下，保加利亚政府集体辞职，这部分归咎于政府对可再生能源上网电价的高补贴。在中国，民众对于空气污染的不满促使政府将保护蓝天、保护环境作为第一要务¹³⁷。在那些试图逐步取消化石燃料消费补贴的国家，反对这项变革的示威游行活动经常发生¹³⁸。2018年底，超过25万法国民众抗议政府因为征收碳税而提高燃料价格。

有证据显示，虽然实践起来存在困难，但在政策中强化“能源的转型公平性”的说法能够帮助煤矿工人及其家庭，以及其它随着新技术涌现逐渐被淘汰的工种面对并解决严重的社会经济困难¹³⁹。这类政策措施包括建立国家或区域的转型机构、基金、在岗继续培训项目、基础设施投资、新技能拓展项目、教育项目及帮助安置流失劳动力¹⁴⁰。在开明领导和先进政策下能够实现什么效益，西班牙给我们展示了很好的例子。西班牙政府同工会达成一项协议：在2018年底前关闭所有的煤矿，作为补偿，在未来十年给那些受影响的矿区投资2.5亿欧元。

（二）搁浅资产

目前，全球化石能源拥有约25万亿美元资产¹⁴¹，而且仍以每年1万亿美元的速度增加¹⁴²。一个涵盖油井、煤田、电厂、输油管道、油罐、炼厂的庞大的网络延伸至全世界各角落。然而，如果来实现《巴黎协定》设定的将全球气温升幅控制在比工业化前“低于2度”的目标，煤、油、气等化石能源最多只能开采利用其现储量的四分之一¹⁴³。

在减少化石燃料利用相关政策和可再生能源技术成本降低的影响下，部分化石能源资产可能变成“搁浅的资产”。当资产投资由于某些意外因素或提前减记资产账面价值、资产贬值或转为债务时¹⁴⁴，即形成资产搁浅。国际可再生能源署（IRENA）预测，对于全球主要化石燃料发电地区，到2020年

可再生能源发电会比新增化石燃料发电便宜¹⁴⁵。因此，全球绝大范围的绿色电力发电成本低于化石燃料发电成本只是时间问题，届时，关停化石燃料发电厂（或设备机组）将是一个不错的选项。

资产的搁浅其实已经开始。从2010年起，欧洲电力部门已经遭受了资产价值贬损，其中火电装机容量的减记价值超过1500亿美元¹⁴⁶。苏伊士环能集团（Engie）在过去的五年报废了约350亿欧元的化石燃料资产¹⁴⁷。

对那些采掘、加工、运输和分配化石燃料的公司而言，搁浅资产的风险也许并不能完全在公司价值中体现出来，但在国家层面计算总资源时这些搁浅资产就会被核算进来。一旦上述风险被充分反映出来，这些公司的市场价值以及某个国家的信用评级会经历骤跌。考虑到涉及的资本总额巨大，这会造成系统性的后果，甚至出现气候变化领域的“明斯基时刻”¹⁴⁸。研究发现，全球超过12万亿美元的金融价值将以搁置资产的形式损失掉¹⁴⁹。要知道，2008年全球经济危机是由规模仅有2500亿美元的美国次级房贷市场损失引发的。

国际机构如“金融稳定理事会”，鼓励公司增强披露它们同气候变化相关的风险¹⁵⁰。截止到2018年9月，对“气候相关金融资产披露工作组”（TCFD）倡议表示支持的机构，其管理的资产总计已经超过100万亿美元。

二、气候、水和食物安全

可再生能源也将通过减缓气候变化产生地缘政治影响。气候变化将带来国防和安全专家称为“威胁倍增因子”的广泛影响，因为这些影响可以加剧食物和水的匮乏、增加贫穷、加重冲突和政治不确定性的风险。联合国安理会对2007年以来气候变化对国际和平与安全的影响进行了回顾。

气候变化通过一系列方式威胁国家稳定。它引起降雨异常、干旱、洪涝、飓风和火灾。政治和社会动乱会带来食品价格上升和用水短缺。海平面上升已经在威胁许多小岛屿发展中国家的生存。气候变化造成的不稳定影响还包括导致迁徙和移民的增加，因为人们需要躲避极端天气，寻找水、食物、土地、工作和更安全的生活。这种情况已经在一些国家发生，并且与国家的发展水平和地缘政治立场无关。

加剧的气候变化将会显著增加由水和食物带来的地缘政治竞争。快速增长的经济和人口导致对水和食物资源的需求快速增加，发展中国家尤甚。到2050年，水和食物的需求预计会增加50%¹⁵¹。在气候变化加剧的时代，水、能源和食物供应系统之间的相互影响——“关联”（或“耦合”）——对国家产生了重大的地缘政治挑战。

水力发电是世界上最大的可再生电力来源，有着自己的地缘政治形成机制，特别是当涉及到一些跨国河流和水资源时。这些特有的地缘政治形成机制正在持续受到气候变化影响。例如，大型河流的筑坝可以使上游国家的能源安全获益，但是可能损害下游国家的水资源供应、农业生产和渔业养殖。这些下游国家目前可能已经感受到水资源压力的增加。尼罗河、湄公河、底格里斯河和喜马拉雅河流系统上规划的大坝都将对下游水资源的获取产生重大影响，从而造成滨河国家之间的紧张关系。也有因水力发电获益的例子，例如伊泰普水电站使得巴西和巴拉圭进行电力贸易、共享水资源，从而增加了次区域间的合作与稳定性。

可再生能源可以帮助缓解水资源紧缺压力。可再生能源的耗水量只有传统化石能源的1/200¹⁵²。研究发现，到2030年，如果发电工业将可再生能源与改进的冷却技术相结合并用，中国发电厂能够降低42%的用水强度和37%的污染排放强度¹⁵³。对于很多干旱地区的国家，包括海湾合作委员会的成员

国来说，电力供应中的海水淡化是关键问题，而可再生能源技术同样也能够给电厂海水淡化提供持续有吸引力的解决方案。

水和能源供应的脆弱性同样给食品安全带来重要风险。这是因为严重干旱和能源价格的波动可以随着时间影响食物的来源、价格、运达、储存及使用。在农业生产中引入可再生能源（例如，利用太阳能泵进行灌溉或者利用地热干燥食物）可以增加农业产出，减少收获后的损失，并且最终提高食品安全。

当对食物、水、土地、清洁空气和其他生命必需资源的竞争显著增加时，会造成社会和经济的紧张关系，进而产生地缘政治影响。这些可能提升国家之间的紧张关系，但是也可能会催生新的合作形式，以共同应对上述挑战。

三、新的发展路径

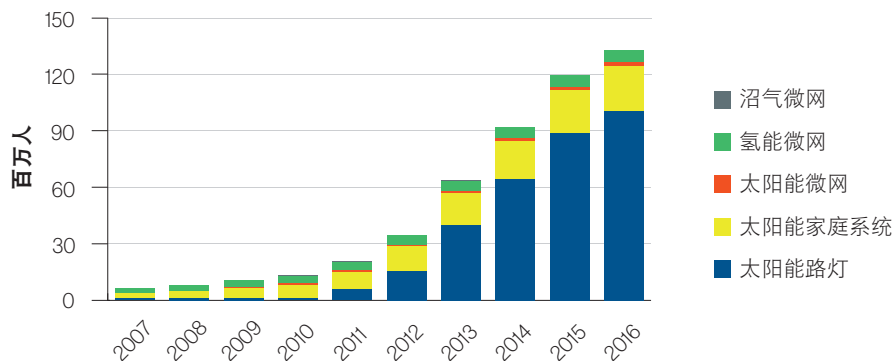
如果一个国家的经济增长不是普惠众生，精英优先享有服务，导致地区发展不平衡的工业化，这个国家的社会和经济之间的紧张关系就会恶化。为了实现长期的稳定和繁荣，一个国家的发展需要具有包容普惠性和可持续性。从这个意义上来说，和平和发展是辩证的统一，两者都需要在政策与体制来应对环境风险、减少不平等及确保公平和社会凝聚力。

能源在人类发展的核心。它是经济活动中的一个关键要素，也是满足人类必需品，如充足的食物、住所和医疗保健等的必要因素。能源还可以为更广泛的经济生产活动提供动力，包括农业、工业和商业活动。在过去的二十年中，数百万无电人口使用上了电力。以中国和印度为首的亚洲发展中国家在能源可及性方面取得了重大进步。然而，如果要达到联合国提出的可持续发展目标（SDGs）中“到2030年人人享有可持续能源”的目标，上述努力

还需加强。按照目前的发展趋势，到2030年全球仍将有约6.74亿人（主要在非洲）无法获取电力¹⁵⁴。

历史上，国家主要依靠大规模、集中化石能源发电和输电线路的延伸来供应电力。然而自2011年以来，随着可再生能源成本下降和手机移动支付方式的发展，可再生能源在无电地区已成为一种切实可行的替代方案。目前，一场利用离网式可再生能源系统为家庭和农村企业提供照明和电力的能源革命正悄然兴起（图12）。预计到2030年，现有全球电力供应和普及能源服务目标之间的缺口有60%可以通过离网方式（利用独立电网和微电网）填补¹⁵⁵。

图12. 使用离网可再生能源解决方案的人数



数据来源：IRENA

提高能源可及性可以为全人类发展的众多方面带来益处，从而促进实现地缘政治稳定。对个人和社区而言，由于能源贫困会降低生活质量和剥夺发展机会，所以能源贫困通常被认为是一个发展问题。然而与此同时，能源贫困也会产生诸多安全问题：能源贫困会对那些每天需要收集生活所需薪柴的妇女和儿童构成直接威胁，这是因为他们在收集薪柴时存在受伤或遭受暴力的风险。所以更广泛地说，能源贫困是一种“威胁倍增因子”¹⁵⁶，它导致或加剧了包括贫困、边缘化、社会动荡、人口流离失所和环境脆弱等在内的多种社会问题。

可再生能源还为发展中经济体提供了跨越式发展的机会，即它们不仅可以越过化石能源时代，而且在一定程度上，还可以跳过集中式电网发展阶段。非洲和南亚的部分国家就有这样的黄金机会，它们可以采用微电网以及分布式离网的太阳能和风能，从而避免昂贵的化石燃料发电和电网建设相关的固定投资——就像它们直接跳到手机使用阶段，避免了昂贵的铜线固定电话网络铺设投资。

最重要的是，可再生能源可以提高那些无法通过GDP统计数据反映的人类福祉。如果设计得当，可再生能源可用于提升社会公正、提高人类福祉，激发活力和财富创造，有助于气候安全的保障，改善公众健康，推动性别平等和教育普及。从这个角度讲，可再生能源的利用将有助于实现不仅仅是普及能源服务这一目标，而是联合国可持续发展的所有17个目标¹⁵⁷。



结束语

本报告提出,近年来可再生能源的迅猛发展推动了全球的能源转型,这将对国际地缘政治产生至深至远的影响,并将重塑国与国之间的关系,而且也将从根本上改变社会和经济的结构。因此,一个以可再生能源为能源基础的未来世界将与我们当今仍以化石能源为主体的能源体系截然不同。

各国在能源地缘政治上的博弈力量与组织结盟将在多个层面发生改变,而其国内关系架构形成的动力因素也在发生变化。未来全球能源治理去中心化和分散化将日益明显。以中国为代表的一些国家对可再生能源技术的大力投入将为其未来发展营造新的机遇。与之相反,那些依赖传统化石能源且能源转型较慢的国家将面临逐渐失去国际影响力的风险。

由于全球大多数国家都将有潜力实现能源独立,提高其社会发展和安全水平,因此,少数几个国家将不能再掌控未来全球能源供给。

虽然我们难以精确预测能源转型的广度和进展的速度,但可以肯定的是,其对国家、社会与企业必将产生十分深远的影响。

这次全球能源转型将会创造许多机遇与效益,提升大多数国家的能源安全并推进其能源独立进程,提供就业机会,更好地保障食品和水的供应安全,促进可持续发展和社会的公平。若干国家将跨越化石能源时代,与此同时,由于能源而引发的冲突很可能将会大大减少。

各国必须未雨绸缪,制定相应的能源转型战略,以求平稳过渡。能源转型将带来新的挑战,化石能源出口国若不与时俱进,制定适应新能源时代的各项方案,其将会面临发展的不稳定。但化石能源的过快退出也可能会对金融部门带来冲击,进而严重影响全球经济发展,化石能源相关从业人员和社区也将受到负面影响。另外,能源转型引发的网络信息安全以及关键稀缺矿产资源供应风险等问题也不容忽视。

尽管面临挑战,全球能源转型将通过应对气候变化、控制大气污染、促进经济的可持续发展和社会的繁荣昌盛,必将最终引导世界向正确的方向发展。

随着各国积极准备应对能源转型对地缘政治的影响,本报告可作为各国政府、商业组织以及社会各界的讨论基础,为后续政策和行动的制定提供参考。

参考文献

- 1 IRENA, OECD/IEA and REN21, *Renewable Energy Policies in a Time of Transition*, International Renewable Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018.
- 2 We use the term 'energy transition' to refer to the shift from fossil fuels to renewable energy sources. We use the term 'energy transformation' to refer to the broader implications of this shift.
- 3 IEA, *World Energy Outlook 2018*, New Policies Scenario, International Energy Agency, 2018. Global GDP growth in the same period is now forecast to grow at 3.4 % per year.
- 4 IEA, *Global Energy and CO₂ Status Report*, International Energy Agency, March 2018.
- 5 IRENA, *Renewable Energy Statistics 2018*, International Renewable Energy Agency, 2018.
- 6 IRENA, *Renewable Energy Statistics 2018*, International Renewable Energy Agency, 2018; UNEP and BNEF, *Global Trends in Renewable Energy Investment 2018*, UN Environment Programme and Bloomberg New Energy Finance, 2018.
- 7 IRENA, *Renewable Energy Statistics 2018*, International Renewable Energy Agency, 2018.
- 8 IRENA, *Renewable Energy Statistics 2018*, International Renewable Energy Agency, 2018.
- 9 IEA, *World Energy Outlook 2018*, International Energy Agency, 2018.
- 10 IEA, *World Energy Investment 2018*, International Energy Agency, 2018.
- 11 See, for example, Shell Global, *Sky Scenario 2018 – Meeting the goals of the Paris Agreement*, Shell Global, 2018; IEA, *Sustainable Development Scenario*, International Energy Agency, 2018; Equinor (2018), *Energy Perspectives 2018*; IRENA, *REmap – Renewable Energy Roadmaps*, International Renewable Energy Agency, 2018; DNV-GL, *Energy Transition Outlook 2018*, DNV-GL, 2018; and "Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development", Chapter 2 of IPCC, *Special Report: Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.
- 12 IEA, *World Energy Outlook 2018*, International Energy Agency, 2018, p. 292.
- 13 IEA, *World Energy Outlook 2018*, International Energy Agency, 2018.
- 14 BNEF, *New Energy Outlook 2018*, Bloomberg New Energy Finance, 2018; Marteka, M., A. Slaughter, C. Amon, "Global renewable energy trends: solar and wind move from mainstream to preferred", Deloitte Insights, Deloitte, Sept. 13, 2018.
- 15 IRENA, *Renewable power generation costs in 2017*, International Renewable Energy Agency, 2017.
- 16 IRENA, *Renewable power generation costs in 2017*, International Renewable Energy Agency, 2017.
- 17 BNEF, *New Energy Outlook 2018*, Bloomberg New Energy Finance, 2018.
- 18 IRENA, *The power to change: solar and wind cost reduction potential to 2025*, International Renewable Energy Agency, 2016.
- 19 IRENA, *Electricity storage and renewables*, International Renewable Energy Agency, 2017.
- 20 Hodges, J., "Electric cars may be cheaper than gas guzzlers in seven years", Bloomberg, 22 March 2018, at: www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-22/electric-cars-may-be-cheaper-than-gas-guzzlers-in-seven-years.
- 21 WHO, *How Air Pollution is Destroying Our Health*, World Health Organization, 2018, at: www.who.int/air-pollution/news-and-events/how-air-pollution-is-destroying-our-health.

- 22 IPCC, *Special Report: Global Warming of 1.5°C*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.
- 23 UNEP, *Emissions Gap Report 2018*, UN Environment Programme, 2018.
- 24 Steffen W. et al., "Trajectories of the Earth System in the Anthropocene", in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 9 August 2018.
- 25 IPCC, *Special Report: Global Warming of 1.5°C*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.
- 26 IRENA, *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050*, International Renewable Energy Agency, 2018.
- 27 REN21, *Renewables 2018 – Global Status Report*, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018.
- 28 IRENA, *Renewable Energy Auctions: Analysing 2016*, International Renewable Energy Agency, 2017.
- 29 IEA, *World Energy Outlook 2018*, International Energy Agency, 2018.
- 30 EPO, UNEP and ICTSD, *Patents and clean energy: bridging the gap between evidence and policy*, European Patents Office, UN Environment Programme and International Centre for Trade and Sustainable Development, 2010, p. 30.
- 31 IRENA, *Innovation outlook: advanced liquid biofuels*, International Renewable Energy Agency, 2017; IRENA, *Hydrogen from renewable power: technology outlook for the energy transition*, 2018; Energy Transitions Commission, *Mission Possible: Reaching net-zero emissions from harder-to-abate sectors by mid-century*, 2018.
- 32 CA100+ has the support of 310 investor groups, representing over 32 trillion US dollars in assets under management.
- 33 2018 Global Investor statement to governments on climate change.
- 34 RE100 website; IRENA, *Corporate sourcing of renewable energy: market and industry trends*, International Renewable Energy Agency, 2018.
- 35 Today, over 7,000 of the world's largest companies, representing some 55% of global market value, disclose information on climate change. See: www.cdp.net.
- 36 "Shell yields to investors by setting target on carbon footprint", *Financial Times*, 3 December 2018.
- 37 *Encyclical letter Laudato si' of the Holy Father Francis on care for our common home*; Vatican, 2015, para. 165, at: http://w2.vatican.va/content/dam/francesco/pdf/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si_en.pdf.
- 38 "Climate change strike: thousands of school students protest across Australia", *Guardian*, 30 November 2018.
- 39 www.sunrisemovement.org; <https://rebellion.earth>.
- 40 www.urgenda.nl/en/themas/climate-case.
- 41 Nachmany, M., J. Setzer, "Global trends in climate change legislation and litigation: 2018 snapshot", Policy Brief, Grantham Institute on Climate Change and the Environment, at: <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2018/04/Global-trends-in-climate-change-legislation-and-litigation-2018-snapshot-3.pdf>; Hasemeyer, D., "Fossil Fuels on Trial: Where the Major Climate Change Lawsuits Stand Today", *Inside Climate News*, 6 November 2018, at: <https://insideclimatenews.org/news/04042018/climate-change-fossil-fuel-company-lawsuits-timeline-exxon-children-california-cities-attorney-general>.
- 42 DNV-GL, *Energy Transition Outlook 2018*, DNV-GL, 2018.
- 43 Frankfurt School-UNEP Centre and BNEF, *Global Trends in Renewable Energy Investment 2018*, Frankfurt School-UN Environment programme Centre and Bloomberg New Energy Finance, 2018.
- 44 UN DESA, *World Population Prospects: The 2017 Revision*, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017.

- 45 IEA, *World Energy Outlook 2018*, International Energy Agency, 2018.
- 46 IEA/IRENA joint policies and measures database.
- 47 Government of India, Ministry of Power, Central Electricity Authority, Installed capacity, October 2018, at: www.cea.nic.in/monthlyinstalledcapacity.html.
- 48 IEA, Outlook for Producer Economies, in *World Energy Outlook 2018*, International Energy Agency, 2018, p. 38.
- 49 Under the World Bank's classification system, the CIS includes Armenia, Azerbaijan, Belarus, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Russian Federation, and Tajikistan.
- 50 IEA, Special excerpt: outlook for producer economies, in *World Energy Outlook 2018*, International Energy Agency, 2018.
- 51 Two indicators have been selected to show the relative position of different states, while recognizing that many factors influence a country's preparedness for the energy transition. For a more detailed analysis of this issue, see World Bank, *Crossroads - Climate strategies of fossil fuel-dependent countries*, World Bank, 2018.
- 52 Fossil fuel rents are calculated as a percentage of GDP. To normalize the effect of volatile oil prices, average rents in the last 10 years (2007-2016) were used.
- 53 GDP per capita was used, calculated in terms of power-purchasing parity in 2016.
- 54 Remark made by General Tom Middendorp, former Chief of Defence of the Armed Forces of the Netherlands, Oslo, June 24, 2018.
- 55 UN DESA, *World Population Prospects*, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017.
- 56 Sachs, J. D., and A. M. Warner, "The curse of natural resources" in *European Economic Review*, 2001, 45(4-6), 827-838; Ross, M., *The Oil Curse: How petroleum wealth shapes the development of nations*, Princeton University Press, 2012; Colgan, J. D., *Petro-aggression: When oil causes war*, Cambridge University Press, 2013.
- 57 Norway, a significant producer of oil and gas, tops international league tables for its economic performance and the quality of its governance.
- 58 World Bank, *The Changing Wealth of Nations - Measuring Sustainable Development in the New Millennium*, The World Bank, 2011.
- 59 Lederman, D. and W. Maloney, "Trade Structure and Growth", in D. Lederman and W. Maloney (eds.), *Natural Resources: Neither Curse nor Destiny*, The World Bank, 2007.
- 60 Ross, M. L., What do we know about economic diversification in oil-producing countries? (Unpublished manuscript, 2017).
- 61 Authors' calculations based on data from the World Bank.
- 62 Evidence for this includes the Eisenhower Doctrine of 1957 and the Carter Doctrine of 1980. Under the Eisenhower Doctrine of 1957, the US offered economic and military aid to Middle Eastern countries if another state threatened them with armed aggression. This was motivated in part by the Soviet Union's growing influence in the region after the Suez crisis of 1956. The Carter Doctrine of 1980 was a response to the Soviet invasion of Afghanistan. It proclaimed: "An attempt by any outside force to gain control of the Persian Gulf region will be regarded as an assault on the vital interests of the United States of America, and such an assault will be repelled by any means necessary, including military force".
- 63 Iceland National Energy Authority.
- 64 Exports of electricity may become a new source of revenue. A proposal to connect Iceland's electricity grid to Scotland via a submarine cable is one of the European Union's key energy infrastructure projects. European Commission, *Projects of Common Interest*, April 2018.
- 65 WTO, *International Trade Statistics*, World Trade Organization, at: data.wto.org.
- 66 Pachauri, R. K. et al. *Building the Future we want*, New Delhi: TERI, 2015.

- 67 IMF Research Department, *The Impact of Higher Oil Prices on the Global Economy*, International Monetary Fund, December 2000.
- 68 For example, the large drop in oil prices in 2014 generated a one-off boost to the EU economy and an estimated GDP increase of 0.8% in 2015 and 0.5% in 2016. Source: European Commission, Energy Prices and costs in Europe, Report from the European Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2016) 769 final, 30 November 2016.
- 69 UNCTAD, *The Least Developed Countries Report: Transformational energy access*, UN Conference on Trade and Development, 2017.
- 70 IRENA, Finding a way to transform energy on islands, 13 January 2017, at: www.irena.org/newsroom/articles/2017/Jan/Finding-a-Way-to-Transform-Energy-on-Islands.
- 71 IEA, *Electricity Information: 2018 Edition*, International Energy Agency, 2018.
- 72 World Bank, World Development Indicators. At: <http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>.
- 73 Autarchy implies a complete absence of foreign trade.
- 74 Beyond Zero Emissions, *Renewable Energy Superpower: Zero carbon Australia*, Beyond Zero Emissions, 2015.
- 75 IHA, *2016 Hydropower Status Report*, International Hydropower Association, 2016.
- 76 www.manufacturingcleanenergy.org/images/cemac-benchmarks-figures/es-3.jpg.
- 77 The trend is gathering momentum. Consider, for instance, swarm electrification in Bangladesh, which allows owners of solar home systems to trade power with their neighbours.
- 78 IHS Markit, *The Internet of Things: A movement, not a market*, IHS Markit, at: https://cdn.ihs.com/www/pdf/loT_ebook.pdf.
- 79 Agentur für Erneuerbare Energien, "Bürgerenergie bleibt Schlüssel für erfolgreiche Energiewende", Press Release, 1 February 2018.
- 80 Microgrids are energy networks that can operate even when the grid cannot.
- 81 UN DESA, *2018 Revision of World Urbanization Prospects*, UN Department of Economic and Social Affairs, 16 May 2018.
- 82 UCCRN technical report, *The future we don't want: How climate change could impact the world's greatest cities*, Urban Climate Change Research Network, C40 Cities, Global Covenant of Mayors, and Acclimatise, 2018.
- 83 www.cdp.net/en/cities/world-renewable-energy-cities.
- 84 www.city.yokohama.lg.jp/ondan/english/yscp.
- 85 www.neom.com.
- 86 www.c40.org; www.iclei.org; www.globalcovenantofmayors.org.
- 87 IRENA, *Corporate sourcing of Renewables: Market and Industry Trends*, Remade Index 2018, International Renewable Energy Agency, 2018.
- 88 Van de Graaf, T., "Is OPEC dead? Oil exporters, the Paris agreement and the transition to a post-carbon world", in *Energy Research and Social Science*, 2017, 23, pp. 182-188.
- 89 Opening remarks by Taro Kono, Minister for Foreign Affairs of Japan, at an International Seminar on 'The Age of Renewable Energy Diplomacy and Japan's Course' (Tokyo, 12 March 2018).
- 90 Nagashima, M., *Japan's hydrogen strategy and its economic and geopolitical implications*, Etudes de l'IFRI, Institut français des relations internationales, October 2018.
- 91 Westphal, K., "Globalising the German Energy Transition", SWP Comments, Stiftung Wissenschaft und Politik, December 2012; Roehrkasten, S and K. Westphal, "IRENA and Germany's foreign renewable energy policy", SWP Comments, Stiftung Wissenschaft und Politik, September 2013; Van de Graaf, T., "Fragmentation in Global Energy Governance: Explaining the creation of IRENA", *Global Environmental Politics* 13(3), pp. 14-33.

- 92 Weatherby, C., B. Eyler and R. Burchill, *UAE Energy Diplomacy: Exporting Renewable Energy to the Global South*, Trends Research and Advisory and the Stimson Centre, 2018.
- 93 <http://isolaralliance.org>.
- 94 www.globalgeothermalalliance.org.
- 95 <http://mission-innovation.net>.
- 96 "ISA could replace Opec as key global energy supplier in future: PM Modi", *The Times of India*, 3 October 2018, at: <https://timesofindia.indiatimes.com/india/isa-could-replace-opec-as-key-global-energy-supplier-in-future-pm-modi/articleshow/66044985.cms>.
- 97 "Will India find its place in the sun with solar power?", *Stratfor*, 22 August 2018.
- 98 This share includes trade in mining products. WTO, *World Trade Statistical Review*, World Trade Organization, 2018, p. 11.
- 99 The European Commission defines 'connectivity' as follows: "Connectivity is essentially about networks. These can be in the form of transport links: by air, land or sea. Connectivity can be digital networks: mobile or fixed, from cables to satellites, from the internet backbone to the last mile. Connectivity also includes energy networks and flows: from gas, including liquefied natural gas (LNG) to electricity grids, from renewables to energy efficiency. Finally, connectivity has a very obvious human dimension: from cooperation in education, research and innovation to travel and tourism." European Commission, Explaining the European Union's approach to connecting Europe and Asia, *Fact Sheet*, European Commission, September 2018.
- 100 In general, these green fuels are often referred to as 'power-to-X', where 'X' stands for any fuel or feedstock from renewable power via electrolysis.
- 101 The World Energy Council Germany estimates that a mature global market for synthetic fuels can supply between 10,000 and 20,000 TWh per year by 2050. This corresponds to about half today's global demand for crude oil. Frontier Economics, International aspects of a power-to-X roadmap, World Energy Council Germany, October 2018.
- 102 For more information, see the website of the Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization (GEIDCO), at: www.geidco.org/html/qqnycoen/index.html.
- 103 Andrew Small. "The Backlash to Belt and Road," *Foreign Affairs*, Feb. 16, 2018.
- 104 Hillman, J., China's Belt and Road Initiative: Five Years Later, Statement before the US-China Economic and Security Review Commission, US Senate, January 25, 2018; Hurley, J., S. Morris, G. Portelance, "Examining the Debt Implications of the Belt and Road Initiative from a Policy Perspective", CGD Policy Paper, Center for Global Development; "China's Belt and Road Initiative is falling short", *Financial Times*, 29 July 2018.
- 105 US Department of State, "Advancing a Free and Open Indo-Pacific", press release, 30 July 2018.
- 106 ASEAN, Master Plan on ASEAN Connectivity 2025, Association of Southeast Asian Nations, August 2016.
- 107 EU, Joint Communication: Connecting Europe and Asia – building blocks for an EU Strategy, European Union External Action, 19 September 2018.
- 108 These points are inspired by Carlos Pascual, *The new geopolitics of energy*, Center on Global Energy Policy and School of International and Public Affairs, Columbia University, 2015.
- 109 O'Sullivan, M., I. Overland, D. Sandalow, *The Geopolitics of Renewable Energy*, Working Paper, Columbia Center on Global Energy Policy and Harvard Belfer Center for Science and International Affairs, 2017.
- 110 Scholten, D. and R. Bosman, "The geopolitics of renewables; exploring the political implications of renewable energy systems", in *Technological Forecasting and Social Change*, 2016, 103, pp. 273-283.

- 111 Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central.
- 112 IEA, *Large-scale electricity interconnection: Technology and prospects for cross-regional networks*, International Energy Agency, 2016. See also, Scholten, D., R. Bosman, "The geopolitics of renewables: Exploring the political implications of renewable energy", in *Technical Forecasting and Social Change*, Volume 103, February 2016, pp. 273-83.
- 113 Fischhendler, I., L. Herman, J. Anderman, "The geopolitics of cross-border electricity grids: The Israeli-Arab case", in *Energy Policy*, 2016, 98, pp. 533-543.
- 114 European Union, "Synchronisation of the Baltic States' electricity grid with the continental European system", press release, 14 September 2018.
- 115 IEA, *Electricity security across borders*, International Energy Agency, 2016.
- 116 It has been endorsed at the highest level in Eastern and Southern Africa (ACEC), in West Africa (WACEC) and in Central America (CECCA). See: www.irena.org/cleanenergycorridors.
- 117 UNCTAD, *The state of the biofuels market: regulatory, trade and development perspectives* UN Conference on Trade and Development, 2014.
- 118 UNCTAD, see note above.
- 119 The term 'rare earths' refers to 17 elements often found in the same ore deposits: cerium, dysprosium, erbium, europium, gadolinium, holmium, lanthanum, lutetium, neodymium, praseodymium, promethium, samarium, scandium, terbium, thulium, ytterbium and yttrium.
- 120 Overland, I., "The geopolitics of renewable energy: Debunking four emerging myths*", in *Energy Research & Social Science*, 49, pp. 36-40.
- 121 Lovins, A., "Clean energy and rare earths: why not to worry", *Bulletin of the Atomic Scientists*, 23 May 2017.
- 122 Goldthau, A., M. Keim and K. Westphal, *The Geopolitics of Energy Transformation: Governing the Shift - Transformation Dividends, Systemic Risks and New Uncertainties*, Comment No. 42, German Institute for International and Security Affairs, October 2018.
- 123 Ross, M., "A closer look at oil, diamonds, and civil war", in *Annual Review of Political Science*, 2006, 9, pp. 265-300.
- 124 "Strait of Hormuz: the world's most important oil artery", *Reuters*, 5 July 2018.
- 125 National Defense Authorization Act of 2010, Section 2842
- 126 www.acq.osd.mil/eie/OE/OE_index.html.
- 127 Overland, I., "The geopolitics of renewable energy: Debunking four emerging myths*", in *Energy Research & Social Science*, 49, pp. 36-40.
- 128 World Bank, *The growing role of minerals and metals for a low-carbon future*, World Bank, 2017.
- 129 The 1982 UN Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) declared that the seabed area beyond national jurisdiction and its mineral resources are the "common heritage of mankind". All mineral exploration and exploitation activities must be approved by the International Seabed Authority, which has begun to develop regulations and guidance to govern the future exploitation of seabed minerals.
- 130 OECD, *Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas*, Organization for Economic Cooperation and Development, 2016.
- 131 www.oecd.org/corporate/mne/mining.htm.
- 132 DNV-GL, *Energy Transition Outlook 2018*, DNV-GL, 2018.
- 133 IRENA, *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050*, International Renewable Energy Agency, 2018.
- 134 World Bank, *Crossroads - Climate strategies of fossil fuel-dependent countries*, World Bank, 2018.

- 135 National Bureau of Statistics of China, *China Statistical Yearbook*, 2017.
- 136 “French environment minister Nicolas Hulot resigns”, *Financial Times*, 28 August 2018; “Australia’s recent climate change policy: A brief history of seven killings”, *ABC news*, 22 August 2018.
- 137 2018-20 Three Year action plan for winning the blue sky war, 2018. At: www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm.
- 138 Skovgaard, J., H. van Asselt, *The Politics of Fossil Fuel Subsidies and Their Reform*, Cambridge University Press, 2018.
- 139 ILO, *Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all*, International Labour Organization, 2015.
- 140 Sartor, O., *Implementing coal transitions: Insights from case studies of major coal-consuming economies*, Climate Strategies and the Institut du développement durable et des relations Internationales (IDDRI), 2018.
- 141 Shell, Presentation by Brian Davis in Oxford (June 2017).
- 142 IEA, *World Energy Investment*, International Energy Agency, 2018.
- 143 The total amount of carbon in fossil fuel reserves amounts to 3,500 Gt (BP, *Statistical Review of World Energy*, BP, 2018). The IEA and IRENA estimate the total carbon budget for the energy sector to be 790 Gt, if we want to have a 66% chance of staying below 2°C. See IEA and IRENA, *Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system*, International Energy Agency and International Renewable Energy Agency, 2017, p. 48. Significantly, the most recent IPCC report has increased the carbon budget for the 66% 2°C scenario to 1320 Gt. See IPCC, *Special Report: Global Warming of 1.5°C*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. This is nevertheless 2.5 times smaller than the carbon content of existing fossil fuel reserves. On the different impact on specific fuels and regions, see McGlade, C., and Ekins, P., “The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 C°”, in *Nature*, 2015, 517 (7533), p. 187.
- 144 Caldecott, B., Howarth, N., P. McSharry, *Stranded assets in agriculture: Protecting value from environment-related risks*, Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford, 2013. See also: IRENA, *Stranded Assets and Renewables - How the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock*, International Renewable Energy Agency, 2017.
- 145 IRENA, *Renewable power generation costs in 2017*, International Renewable Energy Agency, 2018, p. 3.
- 146 IEA, *World Energy Investment Report*, International Energy Agency, 2017.
- 147 Thierry Lepercq, Executive Vice President of Engie, presentation in Oslo to the Commission in June 2018.
- 148 “Mark Carney warns of climate change threat to financial system”, *Guardian*, 6 April 2018. The term ‘Minsky moment’ refers to the work of the economist Hyman Minsky, who showed that a sudden major collapse of asset values can generate a credit or business cycle.
- 149 Mercure, J., H. Pollitt, J. Vinuales, et al., “Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets” in *Nature Climate Change*, 2018.
- 150 www.fsb-tcfd.org.
- 151 IRENA, *Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus*, International Renewable Energy Agency, 2015.
- 152 IRENA estimates that, if renewables are widely deployed, by 2030 the energy sector could reduce its water consumption by nearly half in the United Kingdom, by more than a quarter in the United States, Germany and Australia, and by more than 10% in India. IRENA, *Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus*, International Renewable Energy Agency, 2015.

- 153 IRENA, *Water Use in China's Power Sector: Impact of Renewables and Cooling Technologies to 2030, Brief*, International Renewable Energy Agency, 2016.
- 154 IEA, *Special Report: Energy Access Outlook in World Energy Outlook 2017*, International Energy Agency, 2017. See also: IEA, IRENA, UN Statistics Division, World Bank, WHO, *Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2018*, World Bank, 2018.
- 155 IEA, *Special Report: Energy Access Outlook in World Energy Outlook 2017*, International Energy Agency, 2017.
- 156 Bazilian, M. D., "Power to the poor: Provide energy to fight poverty", in *Foreign Affairs*, March/April 2015, pp. 133-139.
- 157 IRENA. *REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation*, International Renewable Energy Agency, 2017, p. 96.

缩写表

ASEAN	东盟
BRI	“一带一路”倡议
C40	C40城市气候领袖群
CA 100+	气候行动100+联盟
CIS	独立国家联合体
CSP	聚光式太阳能热发电
DRC	刚果民主共和国
EU	欧盟
GCC	海湾合作委员会
GDP	国内生产总值
GEI	全球能源互联网
GEIDCO	全球能源互联网发展合作组织
GW	吉瓦
ICLEI	倡导地区可持续发展国际理事会
IEA	国际能源署
IMF	国际货币基金组织
IPCC	政府间气候变化专门委员会
IRENA	国际可再生能源署
ISA	国际太阳能联盟
LED	发光二极管
LNG	液化天然气

MWh	兆瓦时
NATO	北大西洋公约组织
NEPAD	非洲发展新伙伴关系
OECD	经济合作与发展组织
OPEC	石油输出国组织
PV	光伏
REmap	可再生能源发展路线图
SDGs	可持续发展目标
SDS	可持续发展情景
SIDS	小岛屿发展中国家
SSA	撒哈拉以南非洲
UAE	阿拉伯联合酋长国
WHO	世界卫生组织
WTO	世界贸易组织
UN	联合国
US DoD	美国国防部

致谢

在报告审议过程中，委员会的许多成员做出了重要贡献。委员会对他们的支持和贡献表示感谢。

委员会特别感谢IRENA的三个成员国：德国、挪威和阿拉伯联合酋长国，他们为委员会的活动提供了重要的政治和财政支持。此外，我们还从荷兰政府得到了财政支持，在此一并感谢。

秘书处负责协调全球委员会的工作。由Ruth McCoy领衔，成员包括Kingsmill Bond、Heather Carney-Graham、Abas Moussa、Marcin Scigan和Thijs Van de Graaf。报告撰写由主撰稿人Thijs Van de Graaf和首席专家Kingsmill Bond主要完成。Ahmed Abdel-Latif、Nazik Elhassan、Ruth McCoy、Marcin Scigan和Adrian Whiteman也为报告做了大量工作。报告撰写过程中，IRENA的Ahmed Abdel-Latif和Mohamed El-Farnawany的也为秘书处提供了重要支持。

委员会感谢参与奥斯陆第二次会议，并与委员会成员进行积极对话，对本报告做出重要贡献的几位专家，他们是来自挪威船级社的Ditlev Engel、挪威国家电网的Auke Lont、苏伊士环能集团的Thierry Lepercq、意大利国家电力公司的Simone Mori、道达尔的Helle Kirstoffersen、挪威国家电力公司的Henrik Sætness、荷兰王国武装部队前国防部长Tom Middendorp将军以及落基山研究所的联合创始人兼首席科学家Amory Lovins。委员会还要感谢雷克雅未克市市长、信息部长、科学部长、雷克雅未克能源公司和蓝湖温泉公司在冰岛第三次会议期间的盛情接待。

本报告在撰写过程中还参考了以下专家的报告和文献，他们是Dolf Gielen、Adil Najam、Indra Overland、Daniel Scholten、Kirsten Westphal、Morgan Bazilian、Meghan O’Sullivan、Henning Wuester、Andreas Kraemer、Frank Radtke和Karen Smith Stegen，对他们表示感谢。同时要感谢Luiz Barroso、Rafael Ferreira、Sebastián Kind、Bent Erik Bakken、Sven Behrendt和气候政策倡议提供的资料。还要感谢报告审阅过程中，提供宝贵意见的Anna Charles、Rabia Ferroukhi、Neil MacDonald、Indra Overland、Elizabeth Press、Daniel Scholten、Kirsten Westphal和Adrian Whiteman。感谢Robert Archer对本报告的编辑以及Fairouz El Tom的设计排版。

委员会还感谢阿布扎比IRENA团队的支持，他们是Damian Brandy、Daria Gazzola、Zoheir Hamedi、Manuela Stefanides、Sina Tabrizi，以及来自包括通信、金融、总务、ICT和治理等部门的工作人员。还要感谢三个支持国的助理Reshma Francy、Kerstin Klee、Kirsten Hammelbo以及来自北极圈秘书处的Ástríður Jónsdóttir。

图片来源

- 第1页 **陆地风电场，西班牙** (lkpro/Shutterstock.com)
- 第11页 **输电线** (konstantinks/Shutterstock.com)
- 第13页 **太阳能发电厂** (hlopex/Shutterstock.com)
- 第25页 **电动汽车充电站** (Sopotnicki/Shutterstock.com)
- 第61页 **地热发电站，冰岛** (IRENA)
- 第71页 **Noor 太阳能发电站，摩洛哥** (IRENA)

