



科学和技术促进发展委员会

第二十一届会议

2018年5月14日至18日，日内瓦

临时议程项目 3(a)

科学、技术和创新在到 2030 年大幅增加可再生能源比例
方面的作用

秘书长的报告

内容提要

本报告重点论述了科学、技术和创新如何助力提升可再生能源在全球能源结构中的比例。报告审视了使用可再生能源技术的最新趋势，指出了可再生能源部署的障碍和推动力，并介绍了新兴技术。报告还探讨了使用可再生能源方面的重要问题，包括市场和政策制定、可再生能源接入电网、离网和小电网装置方面的技术挑战以及可再生能源入户。报告强调，各国将根据各自的背景因素和优先事项走出不同的可再生能源道路。报告认为，支持可再生能源部署需要合适的政策组合。报告末尾突出强调国际合作对于知识共享、政策学习、能力建设和技术发展以及改善电网基础设施互联的重要作用。



导言

1. 科学和技术促进发展委员会 2017 年 5 月在瑞士日内瓦召开的第二十届会议选定“科学、技术和创新在到 2030 年大幅增加可再生能源比例方面的作用”作为 2017 至 2018 年闭会期间的优先议题。

2. 为促进更好地理解这一议题并协助委员会第二十一届会议的审议工作，委员会秘书处于 2017 年 11 月 6 日至 8 日在日内瓦召开了闭会期间小组会议。本报告参考了委员会秘书处编写的问题文件、¹ 小组会议的结论、委员会委员提供的国家案例研究、相关文献和其他资源。

3. 本报告围绕科学、技术和创新在到 2030 年大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例方面的作用(尤其是在发展中国家)，指出、分析并为讨论目的介绍了相关重要问题。报告强调了成员国提出的运用科学、技术和创新促进可再生能源技术部署方面的良好做法与经验。第一章介绍了近来全球可再生能源部署的挑战和趋势、技术和非技术障碍与推动力以及新兴技术。第二章介绍了可再生能源技术的创新和部署相关重要问题。第三章突出强调政策制定者如何驾驭科学、技术和创新以提升可再生能源比例。第四章介绍了讨论结果与建议，供成员国和其他相关利益攸关方考虑。

一. 背景情况

A. 清洁能源是可持续发展中的跨界问题

4. 据估计，当今全世界 11 亿人用不上电，占世界人口的 14%。还未用上电的人口约 85% 居住在农村地区，主要是在非洲。此外，28 亿人无法获得清洁炊用能源。² 使用传统生物质和低效技术给健康、社会和环境带来严重后果。加强清洁能源的提供可极大地促进实现 2015 年 9 月达成的《2030 年可持续发展议程》和可持续发展目标。目标 7 主旨是确保到 2030 年普遍获得负担得起的、可靠、可持续的现代能源服务。其具体目标之一是到 2030 年“大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例”。

5. 实现普及能源获取和增加可再生能源可能对可持续发展的其他方面和其他目标总体产生积极影响。³ 除其他外，消除贫困(目标 1)需要发展现代基础设施。可再生能源对发展此类基础设施可发挥重要作用。此外，贸发会议新近的研究强调，可再生能源对促进生产能力和创造创收机会也至关重要。⁴ 例如，可再生能源还可取代炊用和家庭照明用矿物燃料，减少与污染相关的健康风险，从而促进

¹ 问题文件和本报告引用的闭会期间小组会所有介绍和发言均可参阅 <http://unctad.org/en/pages/MeetingDetails.aspx?meetingid=1562>。

² 国际能源署(能源署)，2017 年 a，《2017 年世界能源展望》(经济合作与发展组织(经合组织)，巴黎)。

³ 国际科学理事会，2017 年，“可持续发展目标互动指南：从科学到实施”。

⁴ 贸发会议，2017 年，《2017 年最不发达国家报告：利用能源获取推动结构转型》(联合国出版物，出售品编号：E.17.II.D.6，纽约和日内瓦)。

健康与福祉(目标 3)。可再生能源还与性别平等(目标 5)相关。以现代形式可再生能源取代木材燃料等传统形式能源,可缩短妇女和女童拾柴的时间。⁵ 可再生能源系统照明还可让家务时间大为灵活,尤其是妇女的家务劳动时间。⁶ 此外,可再生能源与工业、创新和基础设施(目标 9)以及气候行动(目标 13)明显产生协同增效。很多国家创新政策和国际举措都包括重视可再生能源技术,缓解温室气体导致气候变化问题的国家战略也多以扩展可再生能源作为内容之一。

B. 全球可再生能源部署趋势

6. 近年来,一些相互关联的需求推动了增加使用可再生能源的努力,具体包括:提高能源安全;能源资源多样化;鼓励可持续经济发展;保护气候与环境免受使用矿物燃料的影响。⁷ 在这些需求的推动下,多种可再生能源技术的发展和部署发生了重大改变。此外,政策干预促使一些可再生电力技术成本大幅削减,并促进了这些技术的快速部署。

7. 可再生能源的来源包括太阳能、风能、地热能、水能和生物质。相应的技术也多种多样,按性质可分为:波动或可调度、中央或分布式、直接或间接、传统或现代。⁸ 某些可再生能源与技术(例如传统生物质)涉及直接(通常是低效)燃烧木材和木炭,因此不能视为“清洁”。可再生能源可在整个能源系统中发挥重要作用,可用于发电、交通、供暖、制冷或炊事。人们自能源系统出现以来就开始使用可再生能源,甚至早于使用矿物燃料。

8. 绝对意义上,过去几十年中,可再生能源对全世界一次能源总供给的贡献大幅增加,从 1990 年的 112.1 万吨增至 2015 年的 182.3 万吨。但其比例增幅略小,从 1990 年的 12.8%增至 2015 年的 13.4%。⁹

9. 国际能源署的数据显示,¹⁰ 2016 年,可再生能源占全球一次能源需求的 14%(若除去传统形式固体生物能则占 9%)。电力部门是可再生能源的主要使用者,占可再生能源用量的大约 60%。目前全世界 24%的电力来自可再生能源:16%来自水能;5%来自风能、地热能、太阳能和潮汐发电的总和;2%来自生物能和废物。可再生能源提供了工业和建筑用热能的 9%,在交通用能中所占比例则小得多,为 3%,后者多使用生物燃料。

10. 区域可再生能源使用的数据显示,不同国家之间差异巨大。这是由于使用可再生能源主要取决于国情,例如地理和环境条件、社会经济和发展要务、文化与体制条件、政策与监管框架。2015 年,经合组织国家一次能源总供给中可再

⁵ S Oparaocha and S Dutta, 2011, Gender and energy for sustainable development, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(4): 265–271.

⁶ M Millinger, T Mårlind, and EO Ahlgren, 2012, Evaluation of Indian rural solar electrification: A case study in Chhattisgarh, *Energy for Sustainable Development* 16(4): 486–492.

⁷ 能源署, 2011 年,《可再生能源:可再生能源部署的政策考虑》(经合组织/能源署,巴黎)。

⁸ 能源署, 2016 年,《2016 年世界能源展望》(经合组织/能源署,巴黎)。

⁹ 经合组织, 2018 年,经合组织数据,可再生能源,参阅 <https://data.oecd.org/energy/renewable-energy.htm> (访问时间:2018 年 3 月 7 日)。

¹⁰ 能源署, 2017 年 a。

生能源比例为 9.6%。相比之下，以下国家可再生能源比例为：巴西 40%、中国 8%、印度 25%。发展中国家使用可再生能源通常由传统形式生物能主导。一次能源总供给中可再生能源的比例千差万别，例如，这一比例在越南为 28%、哥斯达黎加为 53%、肯尼亚为 81%。¹¹

C. 可再生能源部署的技术与非技术障碍和推动力

11. 近年来，一些可再生能源技术的部署快速进展。促进或阻碍可再生能源发展部署的一系列因素有技术因素，也有非技术因素，包括成本与可承受性、融资、技术成熟度、接入电力系统、环境可持续和技能。

12. 直至最近，可再生技术的成本一直高于矿物燃料。由于越来越多的国家实行降低成本并鼓励部署的举措，目前成本差距已开始缩小，尤其是太阳能光伏发电和风能。例如，2008 至 2015 年，太阳能光伏发电平均成本降低了近 80%，陆地风能成本降低了 35%。¹² 另一方面，目前离网和小电网方案的成本往往令很多发展中国家的农村社区负担不起这些技术。

13. 多个国家削减成本以及数十年的政策支持为一些可再生能源技术创造了有利投资环境。2007 年以来可再生能源投资几乎翻了一番，从 1540 亿美元增至 3050 亿美元(2015 年)。2015 年，全球可再生能源投资多数(大约 90%)用于太阳能光伏发电和风能。¹³ 但资金对很多国家而言仍是影响部署的一大障碍，需要政策干预，以便为投资方提供更多确定性。这在很多发展中国家仍是一大挑战。

14. 太阳能、水能、风能和生物能目前被视为成熟技术。但地热能或生物能等技术尚未准备好推广，其可靠性与成本效益仍需重大发展和大量示范方可达到适足水平。例如，南非一个示范项目考察的是种植藻类并转化为能源产品的商业可行性。¹⁴ 此外，可再生技术有时给电力系统和市场带来一些新挑战，例如网络基础设施瓶颈和吸收波动性可再生能源的能力方面的限制。

15. 非技术障碍之一是，关于环境可持续的关切在使用某些可再生能源来源方面引起了争议。有些重要问题，例如：第一代生物燃料的生命周期排放量以及对土地使用的影响；大型水能发电厂对区域生态系统的影响；缺乏安装、运行和维护可再生能源技术的适当技能和能力；对可再生能源解决方案缺乏认识。此外，部署可再生能源技术并为此设计鼓励政策也需要新的技能和能力。

D. 可再生能源新技术和新兴技术

16. 可再生能源技术还有很大创新空间，可进一步提升技术并降低成本。具体领域包括：太阳能光伏发电电池的材料科学、电动车辆接入电网、能源系统启用数字技术等。

¹¹ 能源署，2017 年 b，《2017 年可再生能源信息》(经合组织/能源署，巴黎)。

¹² 能源署，2016 年，《下一代风能和太阳能发电：从成本到价值》(经合组织/能源署，巴黎)。

¹³ 国际可再生能源机构，2017 年 a，《2017 年能源再思考：加速全球能源转型》(阿布扎比)。

¹⁴ 南非政府提供的资料，参阅 http://unctad.org/meetings/en/Contribution/CSTD_2018_IPanel_T1_RenewableEnergy_con10_SouthAfrica_en.pdf (访问时间：2018 年 3 月 6 日)。

17. 硅基太阳能光伏电能可能继续占主导，同时材料科学领域新产生了多种前景看好的基于地球储量丰富的材料的第三代薄膜电池。¹⁵ 例如，钙钛矿太阳能电池光吸收能力强，制造成本较低，2012 到 2015 年间光电效应效率从 10% 提高至 20% 以上。但钙钛矿仍处于研发早期，大规模部署的长期稳定与可行性尚不确定。¹⁶ 第三代太阳能光伏发电电池的目标是集功率转换效率更高、成本和材料消耗更低、制造难度和成本更低于一身。实现所有三个目标仍比较遥远，但随着研发力度加大，太阳能光伏发电技术可实现更大规模部署。

18. 可再生能源部署的另一新兴领域是接入智能基础设施，例如车辆接入电网。自用车辆平均每天上路 1 小时，其余时间停在供电建筑附近的停车场或车库。¹⁷ 目前人们日益关注开发“车辆到电网”系统、在车辆和电网之间提供双向电流。有可能将电动车辆用作蓄电装置，在需求高峰期、车辆闲置时将电力回售给电网。这样做好处众多，例如产生新的商业模式，车主将获得额外收入作为奖励；扩大电动车辆使用规模，超越自用和接入智能基础设施及城市。国家逐步淘汰汽油柴油车辆日益成为趋势，为使用电动车辆带来了动力。例如，印度计划到 2030 年这样做；中国、法国和大不列颠及北爱尔兰联合王国计划到 2040 年这样做。¹⁸ 一些其他国家亦有各自的逐步淘汰目标日期。¹⁹

19. 可再生能源技术日益依靠数字技术，因此更加互联、智能、可预计和可持续的能源系统的数字化是未来一个重要研究领域。交通基础设施和电动车辆越来越多地成为自动化、互联、电动和共享出行的助推力。由于出行具有跨部门性质，智能电网可实现太阳能和风能等间歇性电力来源与交通系统匹配并广泛接入。潜在益处包括提高能效和优化能源消费。但自动化、互联、电动和共享出行取决于消费者的接受程度、政策措施和和技术进步。²⁰

20. 数字技术还关乎建筑，建筑用电占电力需求的 50%。能源在建筑中主要用于供暖、制冷和照明。使用数字技术的传感器可提供实时数据，由智能装置管理监控，从而有助于改善能源应对。另一新兴技术是使用学习算法预计用户行为，可有效平衡消费者需求和公用供电的能源负荷。但由于可见的消费者对个人信息的保留、网络安全与自动化对就业的影响，能源系统更加互联的潜在影响仍不确定。

¹⁵ 例如，铜锌锡硫、钙钛矿太阳能电池、有机太阳能光伏电池和量子点太阳能电池等纳米材料。

¹⁶ Massachusetts Institute of Technology, 2015, *The Future of Solar Energy*, Energy Initiative.

¹⁷ BK Sovacool, J Axsen and W Kempton, 2017, The future promise of vehicle-to-grid (V2G) integration: A sociotechnical review and research agenda, *Annual Review of Environmental Resources*, 42(1): 377–406.

¹⁸ World Economic Forum, 2017, Countries are announcing plans to phase out petrol and diesel cars. Is yours on the list? 26 September.

¹⁹ 能源署，2017 年 c，《2017 年全球电动汽车展望：两百万辆且在不断增加》(经合组织/能源署，巴黎)。

²⁰ 能源署，2017 年 d，《数字化与能源》(经合组织/能源署，巴黎)。

二. 可再生能源技术创新与部署方面的重要问题

21. 本章节重点探讨可再生能源的创新与部署方面的问题。这些问题并非孤立，而是相互关联。可再生能源技术的部署事关一个包含技术和非技术背景因素的创新体系，需要各国视自身条件确定最适合的可再生能源部署道路后出台政策组合。

A. 可再生能源市场与政策制定

22. 国际竞争与合作都可加速技术创新。政策制定中一个重要方面是肯定两者的价值以及肯定酌情鼓励竞争与合作的益处。可再生技术创新链内部的国际互动有助于经济专门化(例如制造业)，为所有参与国带来效率收益，还可让创新链尚未成熟的国家开始沿创新链进一步开展活动。但创新体系的国际化也可带来紧张局面，因为国际贸易的一大特点是竞争，此外一国某行业的成功可能为另一国同一行业带来灾难后果。

23. 一些国家的近期要务或许是提供能源，以便为人民改善健康、福祉和就业创收的机会。尽早提供能源的好处，令各国具有充足理由利用国际创新供应链，以便使用已成熟的技术和知识产权，从而迅速推广技术，而不必等待多年后创新链在国内建立。

24. 另一方面，可以十年为框架长远考虑一国的经济和产业战略。这样看来，在国内积累创新供应链的更多元素或许长期内将通过创造就业及相关宏观经济刺激给整个经济带来更大利益。插文 1 以发展太阳能光伏发电能源市场为例，说明了可再生能源创新的高度国际化，一国的驱动因素有可能给该国带来重大影响。

插文 1

太阳能光伏发电市场发展中的市场设计：案例研究

中国开始发展太阳能光伏产业时并不具备任何设计。该国重点发展劳动密集型下游制造而非国内研发。2000 年代，中国采取基于生产、出口驱动的光伏发电方针，目标市场是为使用光伏发电提供有力激励的市场。该国以创新基金、区域投资支持政策和贷款支持光伏发电制造业。近来，中国开始以相当大的规模制造和部署太阳能光伏发电系统。

德国的方针有所不同。该国自 1970 年代开始，借助联邦和区域资金投资研究机构、大学和产业的太阳能光伏电能研发。自 1990 年代，德国开始创立国内技术市场，例如，首先是屋顶安装技术，稍后是大规模安装技术。该国出台了上网电价，进一步支持市场创立。之后，主要受中国的制造活动影响，全球光伏发电模型成本迅速降低。德国随即改革了上网电价政策，光伏发电电池的生产安装随之大幅减少。

来源：S Jacobsson and V Lauber, 2006, The politics and policy of energy system transformation: Explaining the German diffusion of renewable energy technology, *Energy Policy*, 34:256–276; AL Polo and R Haas, 2014, An international overview of promotion policies for grid-connected photovoltaic systems, *Progress in Photovoltaics*, 22:248–273; HJJ Yu, N Popiolek and P Geoffron, 2016, Solar photovoltaic energy policy and globalization: A multi-perspective approach with case studies of Germany, Japan, and China, *Progress in Photovoltaics*, 24:458–476.

25. 上网电价是最常用于促进可再生能源的政策工具，它可以保证商定期限内每单位电价固定，这种形式的可再生能源价格支持十分具有吸引力，通常由高资本成本主导。上网电价促进了可再生能源成本迅速降低，尤其是陆地风能和太阳能光伏电能。保加利亚、德国、匈牙利、日本、肯尼亚、葡萄牙、土耳其和联合王国等国家采用了基于上网电价的方针。²¹ 但上网电价的风险是，政府可能长期需要补贴可再生能源，这对经济有不利影响。²²

26. 在此背景下，基于招标或拍卖的方针日益用作政策工具，以确定可再生能源的合同价格并大幅削减可再生能源的成本。近几年来，很多国家开始从政府管理的上网电价转向拍卖制度。智利和墨西哥已通过拍卖实现了低价太阳能光伏电能，德国、日本、葡萄牙和联合王国则在拍卖的基础上修订了合同或配送价格。预计未来五年，可再生电力总装机容量增加的将近 50% 将由拍卖推动，2016 年这一比例为 20%。²³

27. 政府通常在创新和部署过程中发挥关键作用，具体做法包括出资研发、以部署激励措施创造需求、改革能源市场和制定标准、执行其他措施以加强投资者信心等。例如，墨西哥设立了六家能源创新中心并为之投资，重点开发地热能、太阳能和风能，生物能，海洋能和智能电网。²⁴ 政府激励机制和采购政策还可鼓励使用本地技术设备，伊朗伊斯兰共和国就是这种情况。²⁵ 总体而言，政府可在设置法律和监管框架方面发挥重要作用，以确保引导私营部门的活动方式有益社会，帮助私营部门行为方明确情况并建立信心。

28. 融资是可再生能源技术部署的重要因素。插文 2 列出了可再生能源融资方面公共、私营和机构投资者的不同作用。

插文 2

可再生能源部署融资图景

公共融资机构：可再生能源通常有赖于公共融资机构，尤其是项目发展早期。国际金融机构的实例包括多边发展银行和发展融资机构(后者通常是双边发展机构)。公共融资工具通常以赠款、补贴和保证金的形式协助风险过大、私营部门难以支持的可再生能源项目。

私营投资方，包括资本市场新工具，如绿色债券：绿色债券在新兴经济体日益成为吸引可再生能源项目融资的重要创新机制。绿色债券可以是资助有积极环

²¹ 保加利亚、德国、匈牙利、日本、肯尼亚、葡萄牙、土耳其和联合王国政府提供的资料，参阅 <http://unctad.org/en/pages/MeetingDetails.aspx?meetingid=1562>(访问时间：2018 年 3 月 6 日)。

²² F Zhang, 2013, How fit are feed-in tariff policies? Evidence from the European wind market, Policy Research Working Paper 6376。

²³ 能源署，2017 年 e，《2017 年可再生能源：至 2022 年分析与预测》(经合组织/能源署，法国)。

²⁴ 墨西哥政府提供的资料，参阅 http://unctad.org/meetings/en/Presentation/cstd2017_p07_Mexico_en.pdf(访问时间：2018 年 3 月 6 日)。

²⁵ 伊朗伊斯兰共和国提供的资料，参阅 http://unctad.org/meetings/en/Contribution/CSTD_2018_IPanel_T1_RenewableEnergy_con05_Iran_en.pdf(访问时间：2018 年 3 月 6 日)。

境影响的项目的任意形式债券工具。它可用来以相对较低的成本筹集非银行来源的大规模长期融资。

机构投资者，包括养老基金：机构投资者是可再生能源的重要潜在资金来源。发达经济体的机构投资者(例如养老基金)越来越有兴趣向发展中国家投资。

来源：国际可再生能源机构，2016年，《释放可再生能源投资：风险缓解和结构融资的作用》(阿布扎比)；2017年a。

B. 可再生能源接入电网的技术挑战

29. 就技术和经济角度而言，随着部署的可再生能源增加，将更大比例的可再生能源接入电网也日益困难。重点是在促进波动性可再生能源接入电力系统的使能技术领域发展以下方面的创新技术：储存；广泛融入数字和所谓指数技术(例如人工智能)的智能电力系统；提高能源需求灵活性的技术。

30. 储存是一项关键的使能技术。但储存技术在输出、充放电率和存储能源时间方面千差万别。目前的电池技术恐怕难以实现大规模季节性储存，也就是夏季存储的太阳能电力冬季用于建筑供热。因此需要运行时标更长的其他类型供热或能源储存。同样，目前正在开发一系列储存技术，应用范围从小规模应用直到电网级规模应用，从快速放电应用到跨季节储存应用。

31. 波动性可再生能源与可调度可再生能源组合取决于一国拥有的资源和消费模式。例如，葡萄牙的能源组合中，水能和风能占有很大比重。该国一年间电力结构中可再生能源平均比重超过60%。2017年，该国供电曾连续六天100%来自于可再生能源。²⁶

32. 可再生能源因地制宜，太阳能/风能丰富的地区或许远离需求所在地。因此，发展基础设施对电力系统十分重要，这些基础设施投资意义重大，一旦到位，对电力系统供求平衡的变化具有重大的设限和引导作用。因此电网基础设施的未来在一些国家成为重大问题，这些国家以往投资于供求所在地周边主要基于化石燃料的电网，计划转向可再生能源密集系统则意味着发电地点将有重大变化(见插文3)。

33. 涉及不同类型可再生能源，例如集中式较于分布式可再生能源时，发展基础设施也是重要问题。中央电力系统的电网需要大量输电送电基础设施。与之相反，分布式系统(例如迷你电网或独立电网)规模较小，已证实更适合偏远农村地区。例如，太阳能入户就是高度分散的系统，大规模水能技术则用于世界上几个最大型的发电厂。这些因素反过来又影响着通过离网应用(例如太阳能入户系统)自下而上向大型电网级规模发电厂(例如水能发电厂、聚光太阳能发电厂或地热发电厂)部署可再生能源的规模。

²⁶ 葡萄牙政府提供的资料，参阅 http://unctad.org/meetings/en/Contribution/CSTD_2018_IPanel_T1_RenewableEnergy_con09_Portugal_en.pdf (访问时间：2018年3月6日)。

插文 3

调整电网基础设施，适应可再生能源部署：案例研究

德国的输电网络目前面临一项挑战：该国北部风能潜力巨大，但需求主要集中在南部。这意味着，在最多风的北部地区部署风能后，风能高峰和需求高峰期将有大量能源从北向南流动。因此该国的能源转型(Energiewende)包括电网基础设施升级计划。但这并非没有难度，因为公众更乐于接受地下缆线电力高速路，而这种方式成本较高。

日本的福岛沿海创新框架内容之一是扩建输电线路，以开发利用风能丰富的地区。

美利坚合众国也在努力开展电网现代化。能源部制定了一项电网现代化举措，重点行动是将能效、可再生能源及可持续输送技术融入电力系统。电网顺利消纳所需的技术包括：改善可再生能源预测；能源储存技术；先进的电力电子技术；适合电网的建造技术；车辆到电网技术；新型电网传感、控制与操作。

来源：德国、日本和美国政府提供的资料，参阅 <http://unctad.org/en/pages/MeetingDetails.aspx?meetingid=1562>。

C. 可再生能源对扩大供电的作用

34. 大约 11 亿人仍用不上电。大量证据显示，扩大供电可多方面提升整体社会经济发展。²⁷

35. 可再生能源技术迅速进步且成本降低，给农村地区通过离网和小电网解决方案实现电气化带来了机会，尤其是在发展中国家。贸发会议的近期研究表明，应通过能源和转型之间的纽带将供电计划及相关创收机会充分纳入一国的总体发展战略。²⁸ 这样可以整体处理能源供求问题，并且是培养经济多元化和创造就业的手段。

36. 以往，借助可再生能源扩大供电的干预多采取电网扩建，较少使用离网技术。基于电网的解决方案通常需要基础设施前期投资，由政府或公用事业公司支付，并由用户付费分摊。这种方案之下，愿意并有能力接入的个人用户需支付的前期成本相对较低，只需支付一小笔接入费再加上运行成本。但这种自上而下的方针需要时间才能惠及整个社会。这种情况下，较之电网电气化之能力所及，离网可再生能源有可能更快地为社区供电。国际能源署²⁹ 提出，离网解决方案，特别是太阳能光伏发电技术，有可能是实现撒哈拉以南非洲普遍电气化的成本效益最高的解决方案。

²⁷ 能源署，2017 年 f，《2017 年能源获取展望：从贫穷到繁荣》(经合组织/能源署，巴黎)。

²⁸ 贸发会议，2017 年。

²⁹ 能源署，2017 年 f。

37. 利用可再生能源扩大供电方面的另一重要考虑是可承受性。低收入社区或许无法预先支付所需投资，投资方或许同样不愿在需求用户密度低、回报不确定的情况下投资。新商业模式令这种方式变得可行并有助发展，例如利用微型金融或现收现付安排分摊成本。支持妇女创立微型太阳能企业的非政府组织 **Solar Sister** 就是有效利用了现收现付模式。有些情况下，分期支付可再生能源新技术可令它们的成本接近为其取代的能源，例如煤油。

38. 私营部门投资方并不总有兴趣在偏远地区发展离网应用。解决该问题的一个办法是项目集群合并以扩大规模。为私营部门主导投资小规模可再生能源项目扫除障碍的措施可包括：设置健全的治理框架，其中设定明确的监管措施和有利的政策环境、标准化许可程序、离网电价；利用低息信贷和微型融资解决前期成本问题(插文 4)。

插文 4

乌干达农村电气化：案例研究

乌干达农村电气化战略的经验显示，融资、建造初始基础设施能力和促进电气化相关的经济发展需要政府领导，之后才可由私营投资方和商业融资接手。

妨碍乌干达农村电气化快速扩大的主要风险因素是商业风险。需要采取新办法打造需求并快速积累用户。合作社及个人对个人贷款已证实为可用的概念。

此外，农村电气化以往的提供方群体因规模过小而处境艰难。农村必须有足够大的服务市场，创造的收入水平才能满足服务提供方资金成本的要求。

另一经验是，应集中规划管理可再生能源部门并简化方案执行。最佳道路是由负责可再生能源部门的领导机关集中权力，并确保电气化的道路符合国家经济社会发展的大规划。另外，一国电力基础设施发展中的农村因素与其他电力部门单位务必协调。

来源：乌干达政府提供的资料，参阅 http://unctad.org/meetings/en/Contribution/CSTD_2018_IPanel_T1_RenewableEnergy_con12_Uganda_en.pdf (访问日期：2018 年 3 月 6 日)。

D. 炊用可再生能源入户

39. 传统生物质占世界可再生能源总消费的 49%。³⁰ 约 28 亿人仍使用明火和简单炉灶做饭和取暖，燃料是传统生物质(木材、动物粪便、作物废物)和煤炭，由此产生严重的健康、环境和社会后果。³¹

40. 可持续发展目标 7 不仅事关提高能源结构中可再生能源的比例，还事关弃用传统、不清洁的生物质，这是很多发展中国家都面临的迫切问题。因此，迫切需要部署传统炊用生物能的替代能源和其他能源服务。

41. 解决这一问题方针有二：促进更有效且可持续的生物质使用(例如，生产配送生物可降解废物生产的生物甲烷及本地木质纤维素生物质生产的合成气)³² 或

³⁰ 国际可再生能源机构，2017 年 a。

³¹ 世界卫生组织，2016 年，《住家空气污染与健康》，概况介绍第 296 号。

鼓励住户转用现代炊事燃料和技术。已证实，改善清洁炊事能源的提供难以推进，原因包括可承受性(固体生物质通常免费，但改造炉灶和替代燃料并非免费)和文化抵触(对传统烹调食物口味的偏好)。³³ 有证据表明，应对这一挑战的政策方案务必融入相关社区的社会文化背景，并顾及社区当前的能源惯例、需求和预期，以及生产利用潜力。妇女参与这一进程尤为关键，因为她们通常负责家中与能源相关的事务，例如拾柴和炊事。妇女还可成为本地新能源系统管理维护的有效培训者和沟通者。

42. 加强提供清洁炊事设备的同时，不妨增加可再生能源部署，两者不一定在所有情况下都同步进行。但如插文 5 所示，一些解决方案可与增加可再生能源部署相配。

插文 5

孟加拉国的可再生能源炊事：案例研究

荷兰发展组织和德国复兴信贷银行支持孟加拉国家用沼气和粪肥国家方案在农村地区安装了逾 46,000 个使用动物废物的小型沼气系统。该方案一直在农村地区推广沼气技术，最终目标是在孟加拉国建成可持续的商业沼气部门。这些工厂生产的沼气用于农村住户炊事和照明，沼气发电厂的副产品泥浆则可用作有机肥料。45 个伙伴组织构成的网络目前正在实施该方案，包括私营公司、非政府组织和微型金融机构。方案每年可节省 44,300 吨木柴，减少使用 1,400 吨煤油。

来源：Infrastructure Development Company Ltd, 2014, Biogas and biofertilizer, 参阅 <http://www.idcol.org/home/dbiogas> 访问日期：2018 年 3 月 7 日)。

三. 主要政策考虑

A. 各国可再生能源道路不同

43. 一国的可再生能源道路是一项重要考虑，因为一旦就位，规模经济、沉没成本、学习效应、用户做法和生活方式等多方机制可能导致多年甚至十几年的“锁定”。这种锁定效应令各国难以更改道路。可再生能源道路及相关创收机会具有战略重要性，因此在国家发展战略中应占核心地位。

44. 必须将可再生能源创新体系放在国内和区域背景下审视，因此其部署受制于多种背景因素，包括地理和环境条件、宏观经济条件、社会经济与发展要务、文化和体制条件、政策与监管框架。与之相应，各国能源结构中可再生能源比例各异。例如，哥伦比亚一次能源总供给中可再生能源比例为 22%，其中多数是水能，水能是拉丁美洲可再生能源电力的重要来源。埃塞俄比亚这一比例将近

³² http://unctad.org/meetings/en/Contribution/CSTD_2018_IPanel_T1_RenewableEnergy_con08_Pakistan_en.pdf (访问时间：2018 年 3 月 7 日)。

³³ 能源署，2017 年 f。

93%，其中多数是生物质。菲律宾的可再生能源比例为 36%，来自地热能、太阳能、风能、生物质能的组合。³⁴

45. 政策制定者应平衡可再生能源部署的目标与要务。推广可再生能源有助于实现本地或国家目标，例如振兴与可再生能源生产和部署相关的产业、制造和商业部门以及为所有人创造就业。推广可再生能源还有助于为供电有限或间歇性供电的社区增加创收机会；减少妇女和女童拾柴用时，增加受教育机会，从而极大地促进男女平等；减少室内污染，从而改善健康。此外，可再生能源还可通过实现水泵灌溉等方式提高农业生产率。

46. 可见，部署可再生能源的优选道路并不唯一，而是存在大量可能。因此，部署道路不能一刀切，而是需要清楚了解背景因素和要务。

B. 需要以政策组合支持可再生能源部署

47. 科学、技术和创新政策应采取创新体系的方针，涵盖国家、区域和部门扶持可再生能源的创新体系。可再生能源创新是一个体系，需要创造明确的可再生能源市场需求辅助政策组合，以促进研发，打造本地技能，调度行为方和基础设施，统一规章和激励措施并调动资金。

48. 可再生能源创新有不同的范围和规模。渐进创新可改善现有技术，例如扩大陆地风力涡轮机的规模；激进创新则产生新发明和/或生产方式，例如发展更加灵活的智能电力系统，帮助接入更大比例的波动性可再生技术，或者使成本低于以往设想的水平。渐进创新和激进创新都关乎可再生能源技术，二者都可借助政策鼓励。

49. 运用政策组合需要有一套复杂的制度，包括长期共同发展演变而来的干预措施、行为方和程序。综合政策组合应视各国具体挑战、要务和技术成熟程度、纳入各类互补的工具，例如上网电价、国际标准、需求侧措施(例如公共采购)和激励措施(例如创新使命计划和自下而上的资金机制)。

50. 建设能力对于提高对可再生能源技术的认识和发展安装维护技能十分重要。农村能源应用应考虑社会经济因素，包括性别问题，以提高培训和能力建设的效力。贸发会议的近期研究强调了打造本地创新能力的重要性，包括发展和设计适合本地需求的技术。³⁵ 扶持本地创新能力的科学、技术和创新以及政策措施不妨包括支持重视可再生能源技术的大学和研究所或激励公司从事研发和示范。

51. 此外，为实现政策组合效力最大化，需要合适的政策程序和治理机制，包括协调、连贯、政策学习与协作。

³⁴ 能源署，2017 年 b。

³⁵ E/CN.16/2010/4。

C. 国际与区域合作的重要作用

52. 由于可再生能源供应链具有国际性，国际合作对于增加可再生能源部署作用关键。国际合作可聚集供应链上各类行为方，或帮助他们从共享自然资源和基础设施中获益。政府在构建市场、让私营行为方在竞争环境中适应市场的同时，还应知晓自身应发挥中间人作用，改善供应链运行或促成有效利用自然共享的资产，无论是自然资源、基础设施还是知识资产。

53. 区域间合作一个尤为重要的作用是缓和地理差异造成的邻国之间可再生能源潜力之差异。一些地区可再生能源潜力极大，一旦开发利用，可能超出能源所在国的需求。此外，如能通过接入跨国整合网络抵消不同地区可再生能源输出的昼间和季节性时间差，即可实现这些地区可再生能源输出的有效互补。这方面已有若干举措和计划，例如，北欧电网发展规划考虑新建区域间输电线，将某一地区的剩余能源输往消费中心。³⁶ 另一实例是国际可再生能源机构的“非洲清洁能源走廊”项目，该项目旨在加快发展可再生能源，包括东部和南部非洲电力联营体的可再生电能跨境贸易。³⁷

54. 合作还可包括技术转让。³⁸ 例如，中国正在协助阿根廷和巴基斯坦发展风力发电厂，³⁹ 印度则正在支持莫桑比克的可再生能源技术技能转让(插文 6)。主要挑战是设计政策与合作机制以便利发电厂之间的技术转让，尤其是在拥有新兴可再生能源部门的国家。但技术转让不应取代国内能力建设，而应与之互补。⁴⁰

55. 如插文 6 所示，国际合作(包括北南与南南合作)遍及多个领域：政策学习与能力建设、技术发展、改善电网基础设施跨境互联、发展制造能力或提供资助。资助方面，一个值得关注的实例是多民族玻利维亚国科维哈的太阳能光伏发电厂，该项目基本上由玻利维亚国家电力公司和丹麦各出资半数。⁴¹ 该厂的太阳能发电可满足科维哈日间能源需求的近一半，节省了大量柴油，同时减少了排放。

³⁶ Stattnet, Fingrid, Energinet and Svenska Kraftnat, 2017, Nordic Grid Development Plan 2017, 参阅 <http://www.statnett.no/Global/Dokumenter/Nyheter%20-%20vedlegg/Nyheter%202017/Nordic%20Grid%20Deleopment%20Plan%202017.pdf> (访问时间：2018 年 3 月 6 日)。

³⁷ Southern African Development Community, 2016, Renewable Energy and Energy Efficiency Strategy and Action Plan: REESAP 2016–2030 (Gaborone)。

³⁸ DG Ockwell J Watson, G MacKerron, P Pal and F Yamin, 2008, Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries, *Energy Policy*, 36(11): 4104–4115。

³⁹ J Gosens and Y Lu, 2013, From lagging to leading? Technological innovation systems in emerging economies and the case of Chinese wind power, *Energy Policy*, 60(C): 234–250。

⁴⁰ E/CN.16/2010/4。

⁴¹ 多民族玻利维亚国政府提供的资料，参阅 http://unctad.org/meetings/en/Contribution/CSTD_2018_IPanel_T1_RenewableEnergy_con01_Bolivia_es.pdf(访问时间：2018 年 3 月 7 日)。

插文 6

可再生能源方面的国际科学、技术和创新合作：案例研究

南部非洲太阳热能培训示范计划(SOLTRAIN)由奥地利开发署和石油输出国组织国际发展基金出资，于 2009 年启动。计划启动以来，在莱索托、纳米比亚、莫桑比克、南非和津巴布韦开展了提高认识和能力建设活动。计划前两期(2009–2016 年)安装了 187 个大小规模的太阳能供暖系统，培训了 2150 人。第三期将着重面向支持妇女和其他边缘化群体的组织开展示范项目。

莫桑比克和印度政府共同投资，在莫桑比克建设了一家太阳能板工厂。莫桑比克技术人员接受了培训，包括在印度接受培训。工厂目前雇佣了 33 人，经营规模虽小，却是一个值得关注的实例，说明技术和技能转让如何促成生产和快速部署可再生能源，从而惠及项目国。尽管莫桑比克研发背景薄弱，该项目仍体现了供应链制造阶段如何发展技能和就业。

创新使命是一项全球倡议，有 22 个国家和欧洲联盟参与其中，目标是加速全球清洁能源创新，以推广负担得起的清洁能源。倡议的七大创新挑战以合作研发与示范为重点。其中有些挑战重在可再生能源或相关创新，包括智能电网、离网供电、可持续生物燃料、将日照转化为能源的新技术和清洁能源材料。

全球清洁炉灶联盟是一个公共私营伙伴组织，它支持研究、设计和推广炉灶改良方案，包括生物燃料和太阳能炉灶。该组织强调，需要通过提高消费者认识并确保可及性与可承受性开发市场。该组织聚集了全世界来自私营部门、政府、非政府组织、慈善机构和捐助方以及学术界的 1,600 多个伙伴。

来源：奥地利、加拿大和联合王国政府提供的资料，参阅 <http://unctad.org/en/pages/MeetingDetails.aspx?meetingid=1562>(访问日期：2018 年 3 月 7 日)；Global Alliance for Clean Cookstoves, 2016, Clean Cooking: Key to Achieving Global Development and Climate Goals; Southern African Development Community, 2016。

56. 科学和技术促进发展委员会等国际组织和机构可发挥重要作用，支持这些形式的合作，为各国提供交流可再生能源部署经验和最佳做法的平台。它们还可协助发展中国家确立提升可再生能源能力的机制。具体能力包括：制定和落实扶持性政策组合；为能源部门制定灵活的计划和规章，纳入可再生能源激励措施；采取措施，提升根据本地情况吸纳、维护和调整可再生能源技术的能力。

四. 供成员国和科学和技术促进发展委员会在第二十一届会议上考虑的建议

57. 实现可持续发展目标在很大程度上有赖于提供更多清洁能源服务。增加可再生能源部署对于创造收入和其他发展成果(包括性别平等、健康和气候变化)意义重大。如本报告所述，各国国情不同，可再生能源道路也随之不同，地理模式、文化和体制条件、政策与监管框架都是制约因素。鉴于可再生能源政策对于促进可持续发展具有重要战略意义，各国应将其纳入国家发展战略。此外，本报告认为，提升全球能源结构中可再生能源比例需要借助政策组合和系统创新方针，包括针对可再生能源供求两侧的措施以及扶持性政策组合，以激励研发，打造本地技能，确保可承受性，并创造扶持性监管环境。最后，国际合作，包括北南与南南合作，对于到 2030 年大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例作

用重大。国际合作不仅有助于知识共享、政策学习、能力建设和技术发展，还可大力促进发展互联网基础设施。

58. 成员国不妨考虑以下建议：

- (a) 加大国家对可再生能源技术和使能技术研发活动的扶持，聚集政府、学术界、私营部门和民间社会参加这些活动，从基础研究到实施阶段；
- (b) 采用可实现灵活性的政策组合，以支持可再生能源创新和部署，加强政策协调性，并改善与科学、技术和创新等部门政策的政策一致性；
- (c) 确保可再生能源政策与一国整体国家发展议程的一致性；
- (d) 创造扶持性监管环境和价格体制，以发挥电网和离网方针的力量；
- (e) 考虑以可再生能源技术的政策增加创收机会，从而不仅有利于家用，也有利于工业、商业和农业部门；
- (f) 支持新的工商业和融资模型，以便分摊前期成本，从而确保可再生能源技术的可承受性；
- (g) 承认并考虑本地社区的社会文化背景，尤其是妇女的情况，扶持家用能源服务领域的技术创新、升级和部署；
- (h) 在可再生能源技术领域促进北南、南南和三角伙伴关系，并调研可能有效促进技术转让的协作研发机制；
- (i) 建设国内创新的能力，包括安装、养护和维修可再生能源技术的技能，并让本地社区(包括妇女)参与培训和系统维护。

59. 国际社会不妨考虑以下建议：

- (a) 协助国际和区域联合开展的可再生能源研究活动，包括趋势预测，并综合审视水、粮食、能源与环境的关系；
- (b) 鼓励在可再生能源领域开展科学、技术和创新国际协作；
- (c) 改善可再生能源电网基础设施的跨境互联。

60. 鼓励委员会采取以下步骤：

- (a) 在政策学习、能力建设和技术发展方面支持多利益攸关方协作；
- (b) 改善利益攸关方之间的协调，以促成可再生能源伙伴关系，从而利用利益攸关方的专长和兴趣；
- (c) 鼓励各国家各地区交流经验，同时认识到不同背景之间不可简单移植政策与政策组合；
- (d) 确认以何种机制提升发展中国家的可再生能源能力，包括制定政策、灵活的计划和规章的能力，以及通过何种措施提升根据本地情况吸纳、维护和调整可再生能源技术的能力。