



加快推进全球能源转型

执行摘要

可再生能源在持续推进全球能源转型中举足轻重，方兴未艾。

世界各国政府均对此正在达成共识。利用可再生能源，可帮助实现经济、可靠、清洁的现代能源服务，已成为各国政府的首选。

目前，已经有170多个国家确立了可再生能源目标，近150个国家制定了政策来促进可再生能源技术投资。很多国家正在寻求与日益活跃的私营企业建立合作。

国际可再生能源机构(IRENA)及其合作伙伴的近期研究清楚地表明，可再生能源拥有巨大优势，能吸引投资者，创造数以百万计的新的就业岗位。可再生能源呈现出一种很有吸引力的商业案例。

这一版《反思能源》报告是国际能源机构发布的第三版报告，调查了多个国家的能源领域正在发生的巨大变化。这些国家的可再生能源市场日趋成熟，与此同时，可再生能源技术不断取得进步，可再生能源政策逐渐完善。这些发展成果聚在一起，使我们能够建设一种能源系统，最终为可持续发展目标提供支持。

加快推进全球能源转型的基础已经建立起来，但是仍然需要付出更大的努力来实现长期转变。要实现新兴市场的逐步成熟，提高效率，进一步降低成本，仍需各国加强政策落实、促进更多投资、推动技术创新。

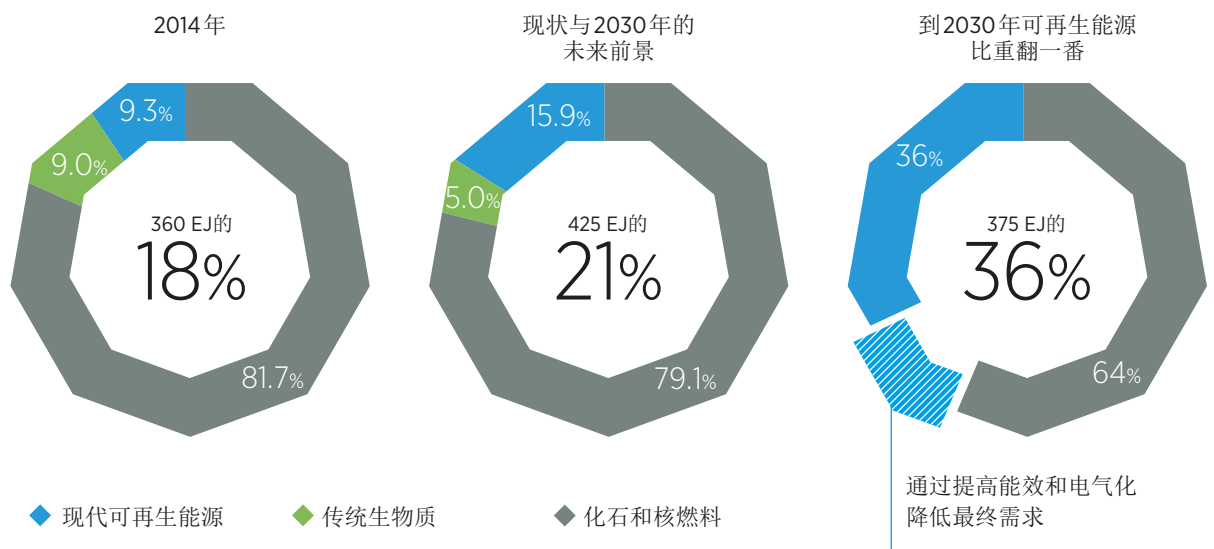
几乎所有的措施都表明，可再生能源正在蓬勃发展。如今，向消费者提供的能源中，有五分之一来自可再生能源。这在电力行业表现得尤为明显，可再生能源发电正以空前的速度飞快发展，远远超过传统技术的增长速度。从2012年起，可再生能源的新增发电容量就已经超过非可再生能源，增幅不断扩大。2015年，全球共新增发电容量154吉瓦(GW)，其中，可再生能源容量占61%。

目前，可再生能源是扩大和升级全球能源系统，以及推动全球能源系统实现现代化的首要选择。2015年的可再生能源投资中，对风能和太阳能的投资占90%。随着成本的大幅下降，目前这两种可再生能源发电技术可以和传统发电

方法一较高下。2009年起，风力涡轮机的成本就已经下降了三分之一左右，太阳光伏(PV)模块的成本降低了80%。这些发展成果可以在平准化电力成本上充分体现出来，一些可再生能源技术也已经达到平均上网电价水平。目前，尽管油价相对较低，但与煤、石油和天然气发电相比，陆上风电、生物质发电、地热和水力发电依然具有明显优势，并且更经济实惠，甚至无需资金支持。

可再生能源拥有巨大潜力。目前，可再生能源占能源总消耗量的18.3%，在这一比例中，约有二分之一属于现代可再生能源，其中一半用于发电，另一半用于直接供热应用。另外的一半属于传统生物质，专门用于取暖和做饭。假如只是贯彻执行目前的所有国家计划和政策，而不采取其他措施，到2030年，可再生能源在全球能源总消耗量构成中所占的比例只能略微上升，由18.3%上升至21%，所以，需要采取措施发掘尚未开发的潜力(见图1)。

图 1 根据现状和翻一番后的情形，预估2014年和2030年可再生能源在能源总消耗量中所占的比重





► 可再生能源将逐渐为全球各大发展中的城市提供电力。

国际可再生能源机构追求更为远大的目标，坚持执行所有可再生能源方案，不断提高能源效率，这个目标可以确保2030年可再生能源的比例翻一番，提升至36%。只要实施了可行的政策、投资和创新措施，就一定能实现翻一番的愿景，同时还能实现现代能源普及的目标，并且不会影响生物质的可持续利用。这一宏伟目标要求加快现代可再生能源的利用、提高能源效率等多种举措。

加快推进可再生能源利用有助于促进经济增长，创造新就业机会，提高人类福利，以及建设一个气候安全型未来。可再生能源已经成为新增就业机会的重要来源，2015年，可再生能源创造了大约940万个岗位(包括大型水力发电)。亚洲是主要区域，太阳能和生物能是主要技术。到2030年，如果可再生能源的比例上升至36%，就可以增加大约2440万个就业机会。

除就业外，可再生能源还将产生多种社会效益。2030年可再生能源比例翻一番可令全球GDP在基线预测的基础上增长一个百分点以上，相当于按照2015年货币价值增加1.3万亿美元，相当于目前智利、南非和瑞士的经济总和。这一比例翻一番还可以避免气候变化和空气污染相关支出，每年可节省4.2万亿美元。除此之外，能源相关的二氧化碳(CO₂)排放量总共可减少12千兆吨。

随着能源转型速度加快，需要更广泛、更深入地进行减碳工作。除电力产业外，还需要重点利用可再生能源为建筑和工业供热制冷，为交通提供动力。加大可再生能源在各大终端产业中的应用，需要一系列有利的环境，重点包括政策环境、金融环境、投资环境、技术环境和能源使用环境。一下分别介绍这些重点环境要素。



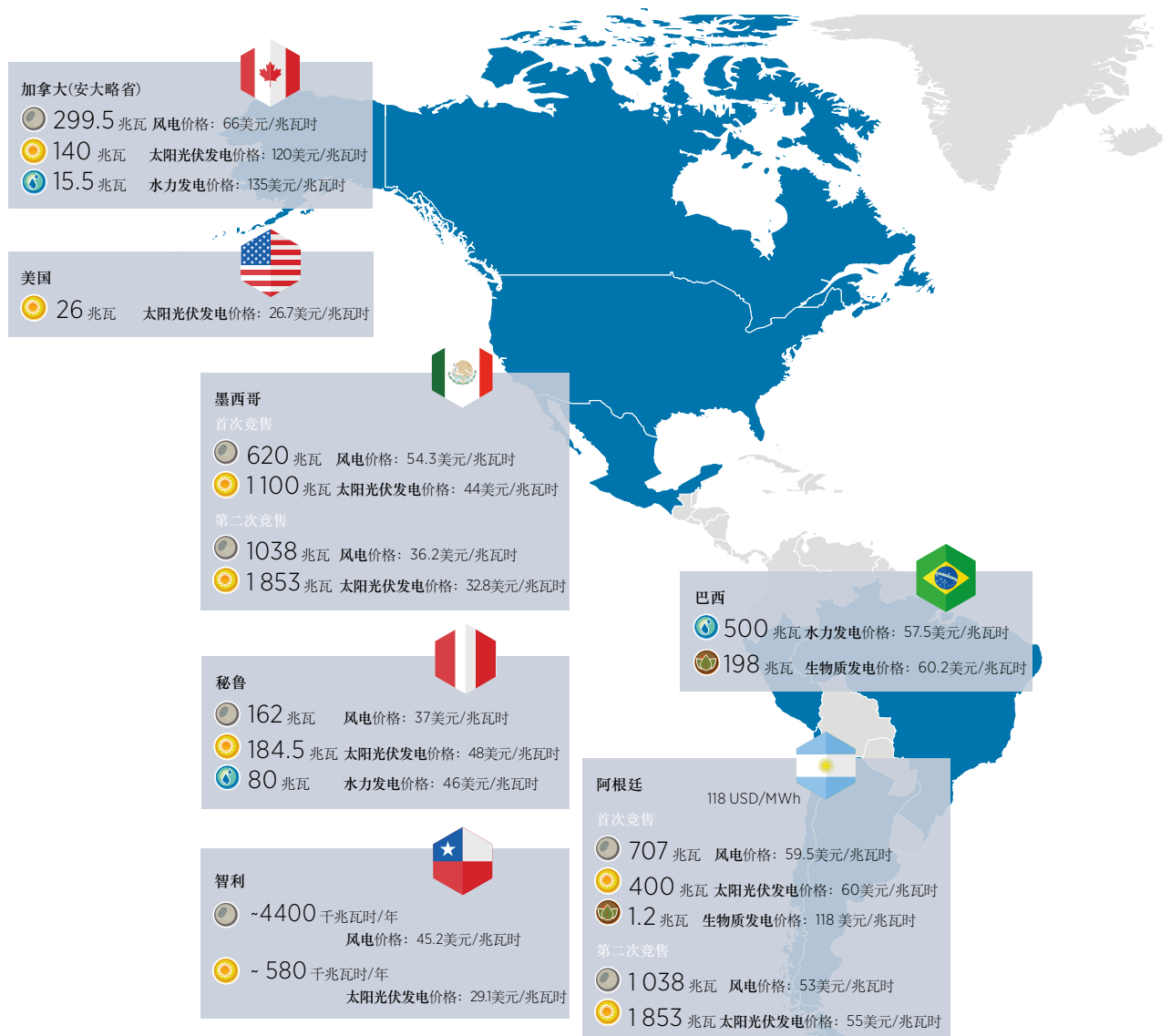
► 现代生物能在能源转型过程中起着至关重要的作用

通过政策加快推进能源转型

政策和法规对于促进市场发展仍然至关重要。随着可再生能源市场的日益成熟和扩大，政策也需要定期调整，以适应不断变化的市场状况。最近，电力产业政策的重心已经逐渐从定价机制转向竞价销售，在电力系统中，也需要采取更多的灵活性措施。

越来越多的国家采取竞价销的方式实现可再生能源上网，这是一种计划周详、灵活经济、透明公平的方式。2016年末，有至少67个国家采用此类竞售方式，而2005年只有六个国家。2016年的可再生能源竞售令太阳能光伏发电和风电的价格打破纪录，创下新低(见图2)。北非出现最低风电价格记录，比如，摩洛哥实现了每兆瓦时30美元的中间价格。有几个国家的太阳能光伏发电价格再创新低，打破了阿联酋(每兆瓦时29.9美元)的竞价记录。了解出现这些结果的原因，可以为未来的竞售设计提供支持，并加快推进实施。

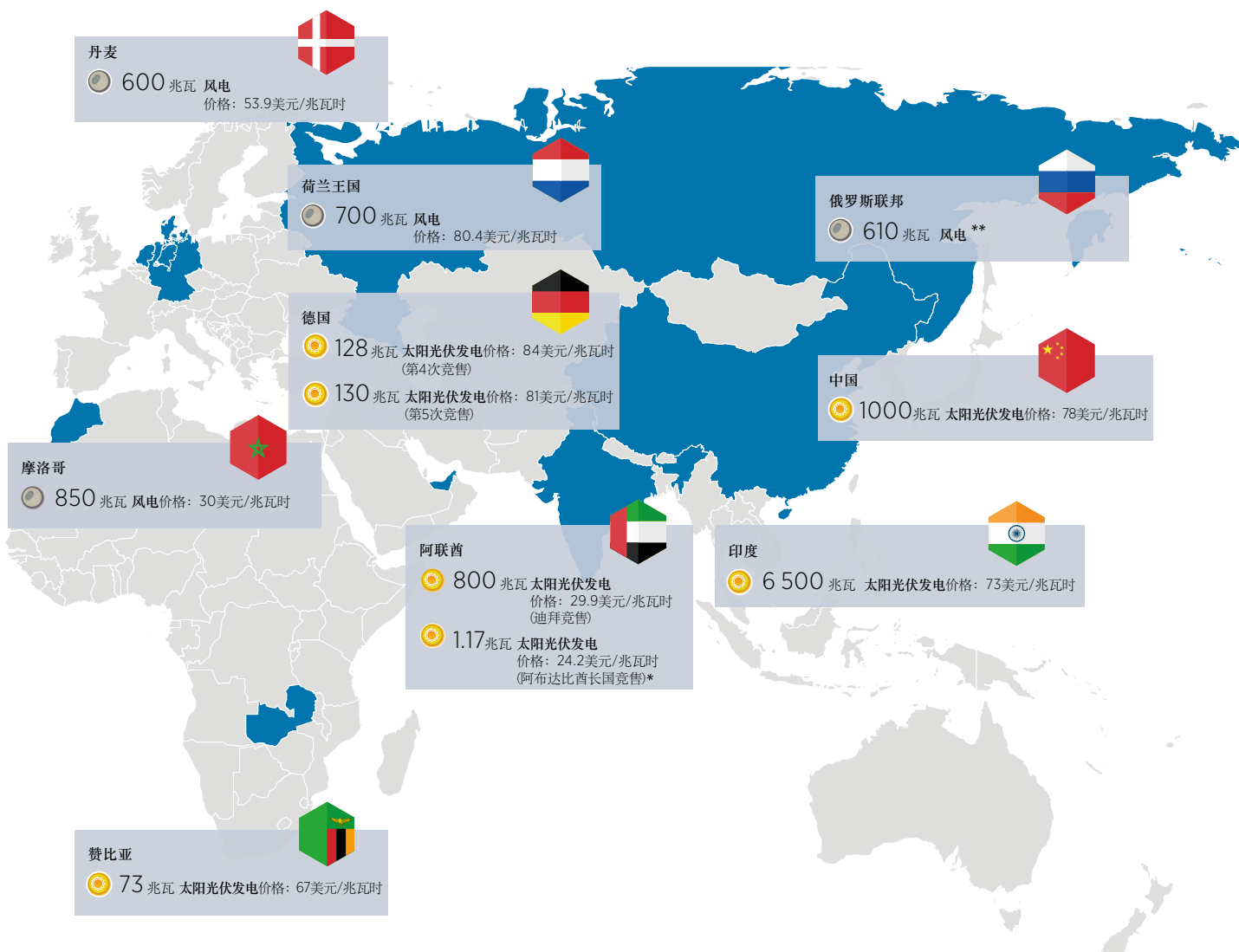
图 2 2016年可再生能源竞售集锦



合适的话，本文中所使用的术语“国家”也可指领土或区域。

可再生能源发电越来越多地来自波动性、分布式电源。随着太阳能和风电装机容量的突飞猛进，波动性和分布式发电面临一系列挑战和机遇。为了充分利用这些机遇，需要对电力市场设计、制度规范和操作规程进行调整。其中一些与基础设施有关，也有一些取决于市场设计规范。有些调整涉及到供应侧资源，也有些涉及到需求侧资源，还有一些兼具上述两种特点。

有些解决方案是长期性的，而有些措施只是权宜之计。它们的共同点是，都针对电力系统实施了一些更具灵活性的措施。可以将它们分为六大类：供应侧、需求侧、输电和配电网、储能、市场设计、系统运行及管理。一些为整合分布式波动性可再生能源(VRE)而设计的解决方案已经在某些国家实施，比如美国、丹麦、意大利和德国。



依据21世纪可再生能源政策网络(REN21)(2010年至2015年)和近期公布的数据；《2016年可再生能源竞售：分析》(即将发布)中有详细说明

■ 2016年举办可再生能源竞售的国家

~ 上述平均价格皆来源于竞售

* 2017年3月报告，遵循350兆瓦的初始竞价(2017年1月发布的《反思能源》报告中将其描述为“谈判中”)

** 竞售时未公布价格

MW 兆瓦
GW 千兆瓦
GWh 千兆瓦时

监管部门为满足大规模整合波动性、分布式可再生能源的需求，已经开始作出调整。迄今为止的经验表明，在技术方面，大规模整合波动性可再生能源并非如想象中的那样困难。电网运营商已经成功整合了30%以上的波动性可再生能源，并且没有明显增加储能系统。例如，德国电网运营商50 Hertz TSO运营的电网可以在没有储能系统的条件下吸收70%的VRE比例。丹麦、爱尔兰、意大利、葡萄牙和西班牙已经将波动性可再生能源顺利整合到它们的国家电网中。整合过程中，系统设计和运行必须量身打造，以适应不断增加的波动性可再生能源，而不是要求可再生能源来适应系统。与此同时，解决方案必须经济有效，保证系统可靠、备用系统充足，让所有消费者的公平公正地分担成本和收益。

政策制定部门需要更加重视建筑和工业供热制冷，发掘可再生能源在交通动力方面的潜力。这些终端应用产业是能源相关的二氧化碳排放量的主要(共占60%)来源。好消息是，一些成本效益高的可再生能源方案已经可以用来满足这些需求。电动汽车和可再生能源供热技术将在未来的能源体系中发挥至关重要的作用。除此之外，实现电力产业和终端应用产业之间的综效潜力，则需要对能源政策进行更为全面的分析。随着能源效率的不断提高，产业合作将很有可能成为整个能源体系中实现可再生能源全部潜力的关键。



► 波动性可再生能源可以大规模整合到当前的电网中

扩大投资规模，打造一个可再生能源的未来

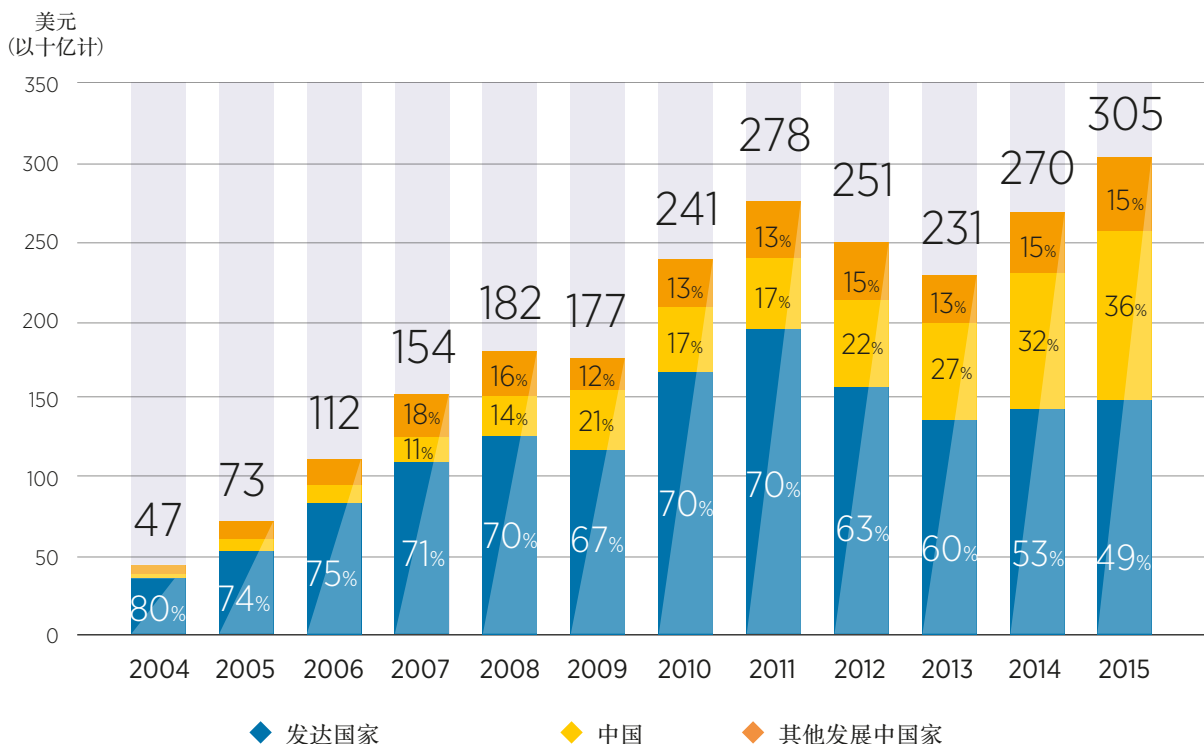
十几年来，全球可再生能源投资一直在稳步增长，从2004年的不到500亿美元增加到2015年的3480亿美元(BNEF, 2016a)，其中包括对大规模的水力发电的投资(见图3)。2015年，发展中国家首次吸引了超过一半的可再生能源投资，仅中国一个国家就吸纳了全球投资总额的三分之一。2015年的增长主要是来自太阳能和风力发电，这两项可再生能源共占全球投资总额的90%。

但是，若要实现全球气候目标，目前的投资水平还远远不够。为了实现可再生能源在全球能源结构中的比例翻一番的目标，2016年至2030年间，预计年平均投资额最低需达到7700亿美元，尽管2015年创下新纪录，但仍未达到上述年平均投资额。

公共资金主要用于早期融资以及为部分投资风险提供保障，这些资金的使用可以大大增加可再生能源产业对私人投资者的吸引力。为了实现扩大投资规模的重要目标，需要利用有限的公共资金实现私营资金的最大流动性，包括大规模机构投资人的资金。也就是说，公共资金需要从传统的公共金融工具(比如津贴和贷款)转变为风险消减工具，例如为政治、货币和电力购买等相关风险提供保证金。

新的资本市场工具为各投资企业提供对可再生能源的投资机会，有利于提高资金充足率。例如在过去的几年里，绿色债券发展迅速。2015年，在418亿美元的绿色债券收益中，有将近一半与可再生能源有关，其中印度和中国带头增发这种债券。收益公司(yieldco)是一种帮助调动可再生能源私募资金并提高市场流动性的工具。经过2015年的整合期后，市场似乎再次回暖。

图 3 2014年至2015年全球各地区可再生能源投资与所占比例



越来越多的机构投资者将投资目标转向可再生能源。尤其是欧洲，一些养老基金已经对大型风能项目进行了投资。一般来说，可再生能源是一种能够吸引机构投资者进行投资的资产类别，因为它们可以长期提供稳定的收益。但是，项目规模相对较小，以及新兴市场中可再生能源项目不多的问题必须克服。由于政策和法规的强力支持、巨大的资源潜力，以及其他因素的影响，某些机构投资人对新兴市场可再生能源的投资意愿越来越高。这些新兴市场中，国内养老金是一个重要的资金来源。只有不断集中精力搭建起大规模、投资级的项目框架，或通过小项目的资产组合，才能让国内外机构投资者抛开顾虑，大规模进行投资。

新的商业模式可能带来新的可再生能源融资方式。租赁的方式已经从美国太阳能市场扩大到欧洲、中国、印度和太平洋地区，最近已传到非洲。证券化或非证券化租赁可以在分散安装的太阳能发电设备投资者和用户之间搭建桥梁。

同样地，能源服务公司(ESCO)也在降低与大规模可再生能源供热制冷系统有关的金融风险和其他长期风险。另一种新兴的商业模式与企业可再生能源采购有关。越来越多的大型企业都倾向于直接采购可再生能源电力，通过签订购电协议满足企业运营及供应链的电力需求。



▶ 可再生能源带来了巨大的社会效益

经济实惠的新技术

技术进步和成本下降正在推动全球的可再生能源利用，电力行业一马当先。这些在太阳能光伏技术上表现最为明显。全球太阳能光伏装机容量从2010年的40吉瓦增加到2015年的219吉瓦，约占所有新增发电容量的20%。

成本的大幅下降开启了新兴市场快速发展的道路。未来十年，太阳能光伏的成本(目前的成本是2010年的一半)还可继续下降60%。电站级大型项目比新建化石燃料发电更加经济实惠，优势明显，即使在化石燃料资源丰富的地区，太阳能光伏发电也无需资金支持。太阳能光伏发电完全可以彻底改变电力系统，能够让消费者生产出满足自身需求的电力，还能让剩余电量接入电网。

在有些国家，小型分布式光伏发电成本已经低于电网供电，在偏远或无电网地区，光伏往往是最经济实惠的选择。更高效、更灵活、更轻便、更实惠的生产技术和科技开发让太阳能光伏不仅能用在地面和屋顶上，也能安装在建筑墙面、窗户、道路和其他表面——这些发展成果让太阳能光伏发电大规模出现全球各个城市和地区成为可能。

在产能产量方面，太阳能光伏发电将以最快的速度实现增长。到2030年，太阳能光伏发电在全球总发电量中所占的比重将高达7%，比目前增加六倍。坚持不懈的技术创新、经济规模的不断扩大、生产更加自动化，以及更大的经济压力，都会促进成本进一步下降。根据国际可再生能源机构估计，2015年至2025年，电站级光伏发电项目的平准化发电成本将会降低一半以上，到2030年，全球太阳能光伏电站的装机容量可达到1760吉瓦。

新的储能方式将开启波动性可再生能源发电快速发展的大门。储能系统可以让电力系统设施、运行和市场设计更加灵活，缩小供需在空间和时间上的差距。近年来，在各种储能技术中，电池的发展最快，这一现象主要是由快速发展的电动车市场和波动性可再生能源发电容量的部署造成的。将波动性可再生能源整合到现有电网的过程中，以及在解决千百万无电地区人口的用电问题中，电池将发挥重要作用。

根据国际可再生能源机构估计，到2030年，电池的总储电量将从目前的不到1吉瓦增加到250吉瓦。2015年，电池储能的市场价值达到22亿美元，预计到2020年将上升至140亿美元。相应地，电池储能的成本还在继续下降。例如，锂离子电池的成本已经下降到每千瓦时(kWh)350美元(与2010年相比下降了65%)，预计未来十年，这一成本将下降到每千瓦时100美元以下。通过制定标准，实施政策，扶持现有技术，发掘未来潜力，可全面推动储能技术的进一步发展。

全球共享现代可再生能源服务

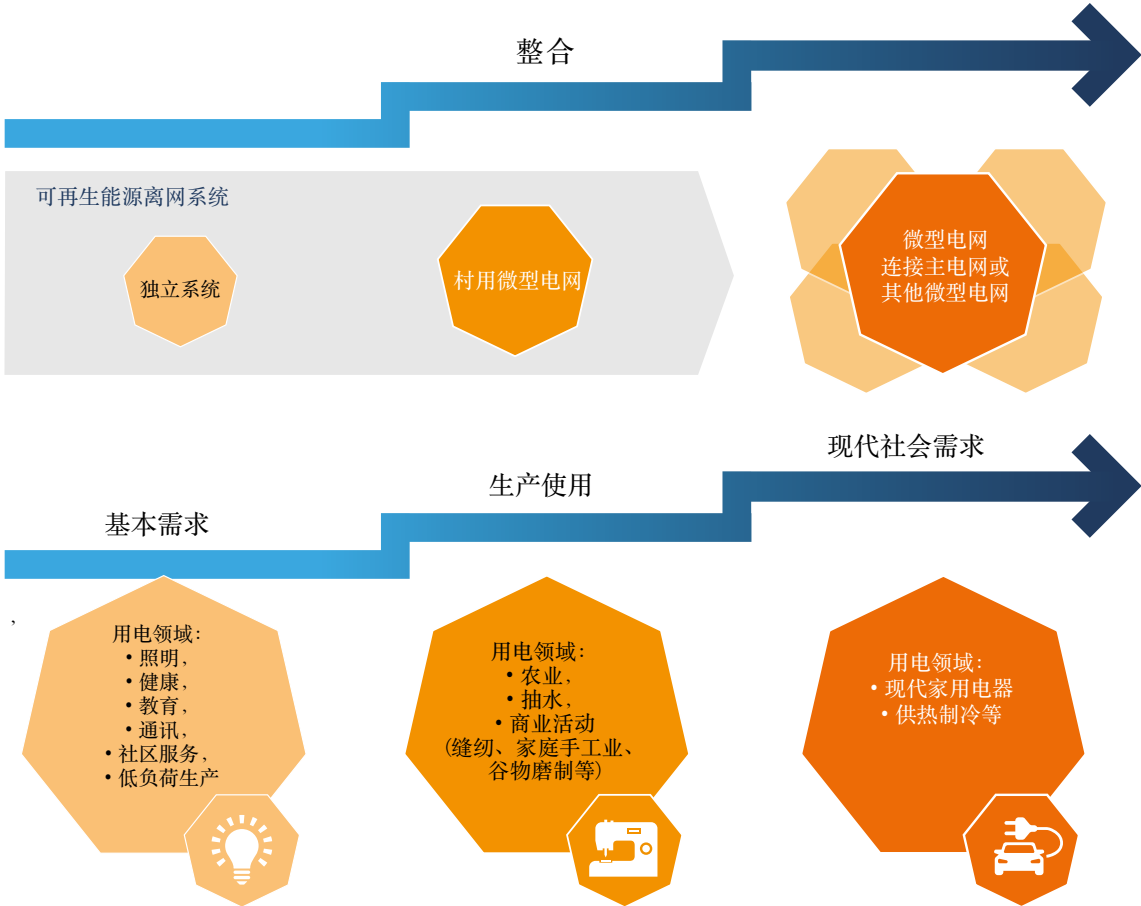
根据目前掌握的电网扩建进度，到2030年实现用电普及目标所需的60%的新增发电量将来自离网发电解决方案。独立和微型电网型的可再生能源解决方案已为近9000万人¹提供了电力，满足了从基本的照明到生产用电的多层次的用电需求，帮助人们攀登能源阶梯。这些方案成本效益高，并采用模块化安装方式，与电网扩建计划密切相关(见图4)。

离网发电的应用取决于政策、资金、技术和机构能力的有机结合。已取得的经验表明了针对离网发电市场制定稳定政策和规章制度的重要性；包括任务明确、能力充足且架构清晰组织

结构及流程；相关技能和培训；根据所需的电力服务和当地条件量身打造的融资和经营模式；以及能够充分利用可再生能源的规模化发展，抓住需求侧管理以及能效机遇而开发的创新技术。

近期关于微型电网的经验表明，政策和规章制度亟待改进。比如，法律条款和许可证制度应该以降低发展成本、减少不确定性为目标。应该将可靠的乡村电气化总体规划和严格定义的互连补偿机制相结合，以此来降低早期主电网项目开发商所面临的风险。此外，还需要采取政策措施，增加融资渠道，改进微型电网各个发展阶段的股权融资、举债融资和补助金融资。

图 4 离网可再生能源和能源的使用



¹ 彭博能源财经与“点亮全球” (2016 年) 华盛顿世界银行集团发布的《2016 年太阳能离网市场趋势报告》

可再生能源为可持续发展目标 (SDGs)²提供支持

可再生能源是确保实现“为全人类提供实惠、可靠、持续、现代能源”目标的关键(SDG7)。许多可再生能源方案都具有很高的成本效益，使用方便，并可以轻松定制，便于能提供能源服务，维持人类生活，提高人们的健康水平。

可持续能源利用为其他关键目标提供支持(见图5)。可再生能源可以减少因能源消耗对当地和全球环境造成的影响，从而推动环境可持续性。

可再生能源促使人类享受更多基本服务，改善人类健康，提高收入和生产力，为进一步推动人类发展创造了条件。可再生能源还创造了新的就业机会，并为当地带来新的产业。

图 5 经济清洁的能源为所有可持续发展目标提供支持



² 已被采纳为美国 2030 年可持续发展议程的一部分，并由巴黎气候协议提供支持。

可再生能源也为解决当地环境问题和推动全球环境可持续性提供了强有力的解决方案。从全球来看，能源生产和使用所造成的最重大环境影响是加剧了气候变化(SDG13)。可再生能源结合提高和能效，为将全球升温控制在2°C以内，同时减少空气污染提供了一个切实可行的机会。从当地角度来看，可再生能源在向可持续城市能源过渡(SDG11)的过程中发挥了关键作用，比如，为供热制冷、本地发电以及为电动车提供动力所需的能源。设计完善的可再生能源项目可以避免能源的生产和使用对生态系统以及生物多样性造成的负面影响(SDG15)。

可再生能源促进人类发展和健康。可再生能源以清洁、可持续的方式满足基本的能源需求，为人类健康、男女平等和教育机会带来更多好处。每年有400多万人因使用传统生物质和低能效厨灶做饭造成室内空气污染而患病致死。而使用家用离网可再生能源和改进后的厨灶就可以降低这种风险(SDG3)。对于目前居住在电力紧缺³的偏远乡村地区，并且需要使用健康设施的十亿人来说，可再生能源可以改善健康服务。现代可再生能源通过减少或节省砍柴的时间，为妇女和女孩腾出时间，让她们能接受教育(SDG4或5)或从事创收活动。电能还为学校和家庭提供高质量的照明服务，让学校和家庭能享用信息技术。

新的模式正在形成

可再生能源的飞速发展体现了各国政府积极应对严峻挑战和新兴机遇的决心。大多数国家都提出了各自国家目标、制定了雄心勃勃的政策，并对创新投资和技术策略进行了设计和规划。私营经济在提高促进可再生能源发展中发挥了至关重要的作用，让全球大多数国家都认识到，可再生能源技术将成为可持续经济增长和发展的动力。

加快推进能源转型，并将转型扩大到电力产业以外，这一举措将带来巨大的社会、经济和环境效益。借助可再生能源，就能以可持续、环保的方式实现经济增长，为在全世界消除贫困带来希望。没有可再生能源，国际社会为阻止气候变化所做的努力将无法取得成功。

我们已经踏上了全球能源系统转型的漫漫长路，这是一个历史性的机遇。如果我们能够在全球范围内达成广泛的约定，抓住一个史无前例的机会，通过一条在技术上可行、对经济有益的可持续未来发展道路来克服当今世界的发展、环境和社会问题，那么，我们就能够为子孙后代留下一个美好的未来。

查阅 **《2017年反思能源》** 报告: www.irena.org/rethinking

³世界卫生组织和世界银行(2014年)，《资源受限环境下的卫生设施现代能源服务》，日内瓦世界卫生组织