

风电的未来

—风电的开发利用、投资、技术、并网以及社会经济效益

执行摘要

全球能源转型论文

2019 年 10 月

执行摘要

通过实现能源部门的脱碳和减少碳排放来遏制气候变化，是国际可再生能源机构（IRENA）能源转型路线图的核心。这些路线图研究并提供了一条积极的、但在技术上和经济上可行的低碳技术部署途径，以实现可持续的清洁能源的未来。

在 2019 年版全球能源转型报告中，IRENA 探讨了两套面向 2050 年的能源开发方案。第一套方案是按照目前和规划的政策制定能源发展途径（参考案例），第二种是更清洁且适应气候变化的途径，主要基于对更为雄心勃勃但可实现的可再生能源和能源效率措施（可再生能源路线图(REMap)方案），这种发展路线与政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 2018 年报告的 1.5 摄氏度 (°C) 的碳预算水平保持一致。

本报告概述了基于 IRENA 的气候韧性途径 (REMAP 案例) 中风电在全球能源系统转型中所发挥的作用，尤其是未来 30 年为实现巴黎气候目标所需的风电增长规模。



主要结论:

- **加快可再生能源开发利用, 结合深度电气化和提高能效, 到 2050 年可实现巴黎气候目标所需的与能源相关的二氧化碳 (CO₂) 减排量的 90% 以上。** 在所有低碳技术选项中, 风电的加速部署加上深度电气化, 将有助于将 2050 年需要的总排量减少超过四分之一 (将近 63 亿吨 CO₂)。
- **要实现巴黎气候目标, 就需要在各个部门和技术领域显著提速。** 风能和太阳能将引领全球电力行业的转型。 陆上和海上风能装机量将超过总电力需求的三分之一 (35%), 到 2050 年成为主要的发电来源。
- **只有在未来 30 年内大幅增加风电装机容量, 才能实现这一转型。** 这意味着与 2018 年的装机容量 (542 吉瓦GW) 相比, 需要在 2030 年之前将全球陆上风电装机容量增加到三倍 (达到 1787 千兆瓦), 并在 2050 年之前将此装机容量增加到十倍 (达到 5 044 千兆瓦)。 对于海上风电, 到 2030 年, 累计发电量将增加近 10 倍 (至 228 千兆瓦), 到 2050 年甚至会有更大幅度增长, 2050 年海上风电总装机容量将接近 1000 千兆瓦。
- **风电行业需要为未来三十年风能市场的这种大规模增长做好准备。** 在未来 20 年内, 陆上风电的容量安装将增加超过 4 倍, 达到 200 千兆瓦, 而 2018 年仅为 45 千兆瓦。 每年增加的海上风电容量安装将具有更高的增长需求 – 从 2018 年的 4.5 千兆瓦 千兆瓦 增长添加到 2050 年的 45 千兆瓦, 增长约 10 倍。
- **在区域层面, 亚洲将成为推动风电装机容量发展的主导力量, 成为风电 (陆上和海上) 的世界领导者。** 亚洲 (主要是中国) 将继续主导陆上风电行业, 到 2050 年, 亚洲装机容量将占全球总装机容量 50% 以上, 其次为北美 (23%) 和欧洲 (10%)。 对于海上风电, 亚洲将在未来几十年内占据领先地位, 到 2050 年, 亚洲装机容量 60% 以上, 其次是欧洲 (22%) 和北美 (16%)。
- **扩大风能投资是未来几十年加速全球风电装机容量增长的关键。** 这意味着与 2018 年 (670 亿美元/年) 相比, 从现在到 2030 年, 全球平均每年陆上风电投资将增加一倍以上 (1460 亿美元/年), 而在 2030 到 2050 年的余下时间, 这一增长将达到三倍以上 (2 110 亿美元/年)。 对于海上风电, 与 2018 年的投资 (194 亿美元/年) 相比, 从现在到 2030 年, 全球平均年投资将需要增加三倍 (610 亿美元/年), 到 2050 年, 这一增长将达到五倍以上 (1 000 亿美元/年)。

- **规模经济的提高、更具竞争力的供应链和技术的进一步革新将继续降低风电的成本。** 在全球范围内, 陆上风电项目的总安装成本在未来 30 年将继续大幅下降, 与 2018 年的平均 1497 美元/kW 相比, 到 2030 年, 平均安装成本将下降至 800 美元 - 1350 美元/千瓦 (kW) 范围内, 到 2050 年降至 650 美元至 1000 美元/kW 范围内。对于海上风电项目, 全球加权平均总安装成本将在未来几十年内进一步下降, 到 2030 年将处于 1700 至 3200 美元/kW 之间, 到 2050 年将处于 1400 至 2800 美元/kW 之间。

与所有化石燃料发电源相比, 陆上风电的平准化电力成本 (LCOE) 已经具有竞争力, 并且随着安装成本和性能的不断改善, 将进一步下降。在全球范围内, 陆上风的 LCOE 将继续从 2018 年的平均每千瓦时 0.06 美元下降到 2030 年的 0.03 至 0.05 美元/千瓦时和 2050 年的 0.02 至 0.03 美元/千瓦时之间。海上风电的 LCOE 已经在某些欧洲市场具有竞争力 (例如在德国和荷兰实行零补贴拍卖, 法国实行较低价拍卖), 而在其他欧洲市场 (尤其是英国) 则即将进入竞争市场。到 2030 年, 海上风电将在世界其他市场中具备竞争力, 其费用将降至化石燃料 (煤和天然气) 的低成本范围。到 2030 年, 海上风电的 LCOE 将从 2018 年的平均 0.13 美元/千瓦时降至 0.05 美元至 0.09 美元/千瓦时之间, 到 2050 年将降至 0.03 美元至 0.07 美元/千瓦时之间。

- **持续的革新和技术改进早就了更大容量的风力涡轮机、增加的轮毂高度和转子直径, 这有助于增加同一地点的装机容量。** 陆上应用风力涡轮机尺寸的持续增长势头将继续, 从 2018 年的平均 2.6 兆瓦增加到 2025 年的 4 到 5 兆瓦。对于海上应用, 目前最大的涡轮机尺寸约为 9.5 兆瓦, 这一尺寸很快会被超越, 预计 2025 年投产的项目将包括额定功率为 12 兆瓦及以上的涡轮机 (尽管部分交货期较长的老项目可能有较低的额定功率)。研究和开发将有可能在未来 10 到 20 年内将这一数字提高到 15 到 20 兆瓦。结合改进的风力涡轮机技术、更高轮毂高度和更大扫掠面积的更长叶片的部署, 可以提高给定风资源的装机容量系数。就陆上风电场而言, 全球加权平均容量系数将从 2018 年的 34% 上升至 2030 年的 30% 至 55%, 以及 2050 年的 32% 至 58%。就海上风电场而言, 将取得更大的进展, 相较于 2018 年 43% 的平均值, 2030 年项目容量系数在 36% 至 58% 之间, 2050 年则在 43% 至 60% 之间。

- **风力涡轮机基台的技术发展是加快部署海上风力的关键因素, 这样有助于获得更好的风力资源。** 悬浮基台是一种有可能“改写规则”的技术, 可以有效地利用深水域中丰富的风电资源, 从而为海上风电市场的未来快速发展铺平道路。业内专家估计, 到 2030 年, 全世界可安装约 5 至 30 千兆瓦的海上悬浮装机容量, 根据各个地区的发展速度, 到 2050 年, 海上悬浮风电场可占据全球海上风电装机容量 (约 1000 千兆瓦) 的 5% 至 15%。

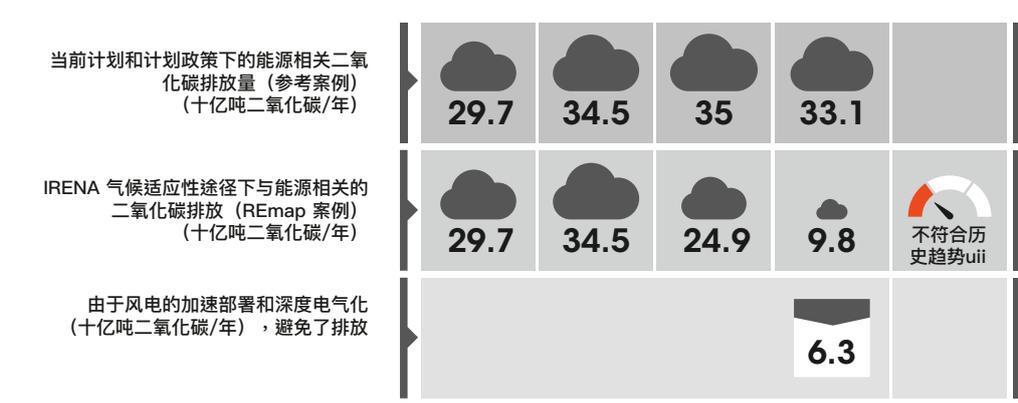
- **技术解决方案（运用适当的系统灵活性措施（例如储能）和电网的扩建和加固），以及改善的市场条件和商业模式，对为未来电网一体化不断上升的风电份额做好准备至关重要。** 为有效管理大规模可变可再生能源，必须在能源系统的所有部门灵活利用能源，包括从发电到输配电系统、储能（电能和热能）以及日益增加的灵活需求领域（需求侧管理和部门对接）。在全球范围内，要在 2050 年之前整合 60% 的可变可再生能源发电量（其中 35% 来自风电），相较于 2018 年在电网和电池存储方面的投资（2 970 亿美元/年），从现在开始到 2050 年左右，每年平均对电网、发电充裕性和一些灵活性措施（即储能）的投资将需要增加四分之一以上，达到 3 740 亿美元/年。
- **如果有健全的政策作为支持，这种转变可以带来社会经济效益。** 到 2030 年，风电产业可雇用 374 万人，到 2050 年可雇用超过 600 万人，与 2018 年的 116 万个工作岗位相比，分别高出近三倍和五倍。然而，为最大限度地获益于能源转型的成果，需要全面的政策框架。开发利用政策需要与并网和扶持政策协调一致。在扶持性政策的保护下，需要特别关注工业、劳工、金融、教育和技能政策，以最大限度地实现转型获益。教育和技能培训政策可以对石油和天然气部门的现有专业知识予以保留和重新分配，以便为海上风电基台结构的安装提供支持。同样，建立在国内供应链基础上的健全的行业和劳工政策，可以通过利用现有经济活动来支持风电产业发展，以促进收入和就业增长
- **释放风电的巨大潜力对于实现气候目标至关重要。** 只有通过缓解阻碍市场增长的当前障碍（在不同的规模上—技术，经济，社会政治和环境），通过制定正确的政策、战略、商业模式和金融工具，确保风能在未来三十年快速增长，才能实现向低碳可持续能源的未来过渡。



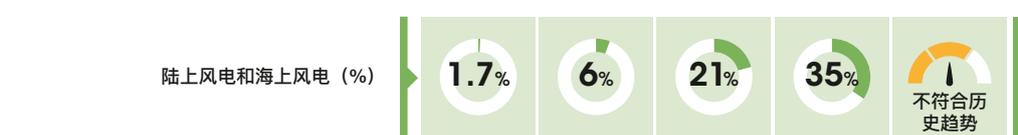
风的现状与未来 – 跟踪风能进展, 加快风能部署以实现巴黎气候目标



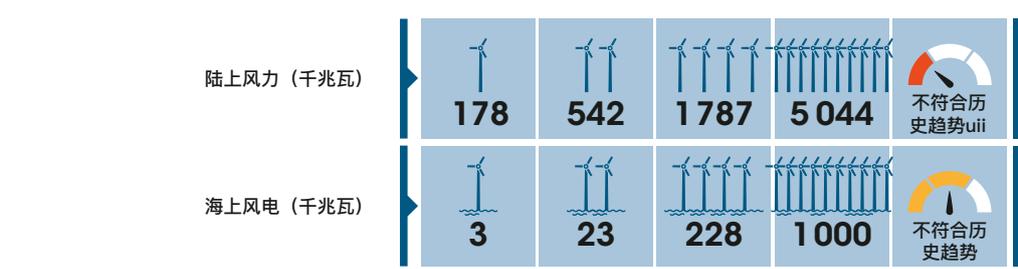
CO₂ 排放 (能源相关) 与风能减排潜力



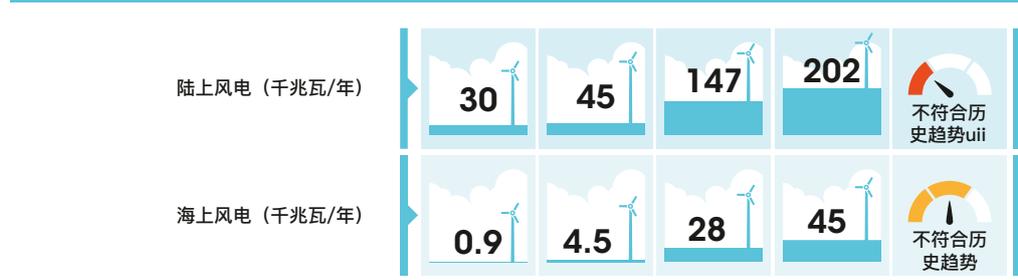
风电占总发电量的比例



总装机容量



每年部署 *



2010	2018	REMAP 案例 2030	案例 2050	历史趋势跟踪
------	------	------------------	------------	--------

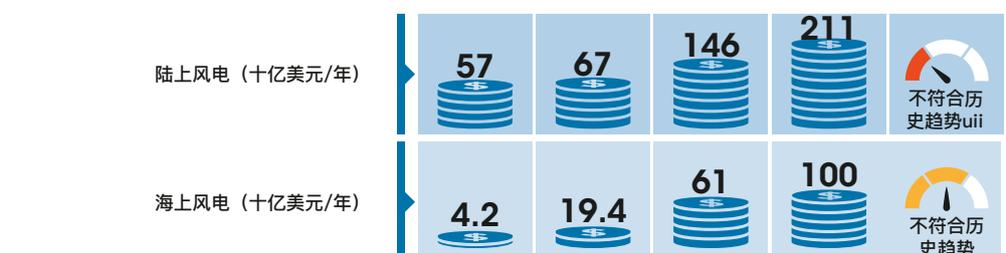
总安装成本



平准化电力成本 (LCOE)



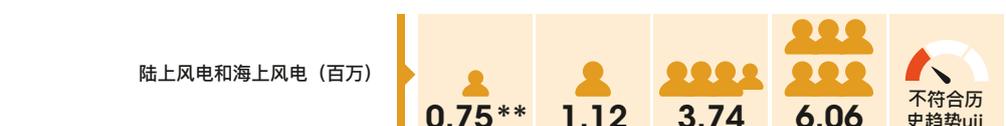
平均年度投资



容量系数



就业机会



* 数据包括新增加的容量和报废容量的替换

**该数据表示 2012 年风电行业的就业人数



这是一份基于 "IRENA (2019), Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi" 摘要的翻译文件。

www.irena.org

(ISBN 978-92-9260-155-3)

Copyright © IRENA 2019

