IRENA
International Renewable Energy Agency

2023 年可再生能源发电成本

执行摘要

© **IRENA 2024**

除非另有说明，否则任何人均可自由使用、分享、复印、复制、打印与/或存储本出版物中的资料，但须恰当注明 IRENA 为资料出处及版权所有者。本出版物中归属于第三方的资料可能会受到单独的使用条款和限制约束，在使用这些资料之前可能需要获得第三方的相应许可。

引用格式：IRENA (2024)，*2023 年可再生能源发电成本*，国际可再生能源机构，阿布扎比。

本执行摘要为“Renewable power generation costs in 2023”的译本，ISBN：978-92-9260-621-3(2024)。如果本译本与英文原本间有差别，应以英文原本为准。

关于 IRENA

国际可再生能源机构（IRENA）作为政府间国际组织，推动各国政府向以可持续能源为主导的未来转型，是可再生能源国际合作的主要平台与卓越中心，也是可再生能源政策、技术、资源以及金融知识的宝库。IRENA 致力于推动生物能、地热能、水电、海洋能、太阳能、风能等各类可再生能源的广泛采用以及可持续利用，以实现可持续发展、能源取用、能源安全以及低碳经济的发展与繁荣。**www.irena.org**

致谢

本报告在 Roland Roesch（IRENA 创新与技术中心主任）、Norela Constantinescu (IRENA) 和 Michael Taylor（前 IRENA）的指导下完成编写。

本报告由 Deborah Ayres 和 Lourdes Zamora (IRENA) 撰写。作者感谢 Adrian Gonzalez、Binu Parthan、Nazik Elhassan、Jarred McCarthy 和 Mohammed Nababa (IRENA) 在本研究的准备阶段做出的宝贵贡献。

本报告得到了很多专家的审阅与建议，包括 Alana Bilbao（国际能源署 [IEA]）、Ana Andrade（葡萄牙能源和地质总局 [DGEG]）、Gordon Edge（国际水电协会 [IHA]）、Guy Brindley（欧洲风能协会）、Jarett Zuboy（美国国家可再生能源实验室 [NREL]）、Jorden Dersch（德国宇航中心 [DLR]）、Matteo Bianciotto（国际水电协会 [IHA]）、Molly Morgan（东安格利亚大学气候研究中心 [CRU]）和 Rebecca Ellis（国际水电协会 [IHA]）。

Francis Field、Stephanie Clarke、Nicole Bockstaller 和 Daria Gazzola 提供了出版物、编辑和通讯方面的支持。本报告由 Jonathan Gorvett 编辑，由 Paul Komor 完成技术审查，由 Nacho Sanz 完成版面设计。本摘要中文版的校对由中国科学院数学与系统科学研究院刘德刚完成。

如需更多信息或提供反馈，请发送邮件至：**publications@irena.org**
如需下载本报告，请前往：**www.irena.org/publications**

免责声明

本出版物及所含资料均按“原样”提供。IRENA 已采取一切合理的预防措施对所含资料的可靠性进行了验证。但是，IRENA 及其任何官员、代理、数据或其他第三方内容提供者均不提供任何形式的明示或暗示保证，并且不会对使用本出版物或其中任何资料所产生的任何后果承担任何责任或义务。

本出版物所含信息并不一定代表 IRENA 所有成员的观点。提及特定公司、项目或产品并不表示 IRENA 推荐此类公司、项目或产品或为其背书，也不代表其优于未提及的其他类似性质的公司、项目或产品。本出版物所使用的名称或所列示的资料并不代表 IRENA 对任何地区、国家、领土、城市、区域或当局的法律地位，或对任何国界、边界的划定发表任何意见。

Goami © Shutterstock.com

执行摘要

亮点

- 2023 年，可再生能源新增容量创下纪录，新增装机容量 473 GW，较 2022 年增长 54%，是 2000 年以来最大的年度增幅。
- 2023 年全球可再生能源总容量增长 14%，从 2022 年的 3,391 GW 增至 2023 年的 3,865 GW。
- 2023 年，新投产的并网太阳能光伏 (PV)、陆上风电、海上风电、聚光太阳能 (CSP) 和水电的全球加权平均电力成本均有所下降（表 S1）。
- 2023 年，中国依旧是太阳能光伏 (63%)、陆上风电 (66%)、海上风电 (65%) 和水电 (44%) 的最大市场。这得益于 2023 年中国可再生能源大幅增加，从而推动了这些技术的全球加权平均成本下降。
- 2023 年，自 2000 年以来全球部署的可再生能源总量已经为电力行业节省了约 4,090 亿美元的燃料成本。
- 电池储能的年新增容量从 2010 年的 0.1 GWh 总储容量增加到 2023 年的 95.9 GWh 总储容量。2010 年至 2023 年间，电池储能项目成本下降了 89%，从 2,511 美元/千瓦时降至 273 美元/千瓦时。
- 尽管化石燃料价格已回落至接近 2010 年后的成本范围，但可再生能源技术依然有竞争力。
- 2010 年，陆上风电的全球加权平均 LCOE 比化石燃料的加权平均 LCOE 高 23%；而到了 2023 年，新建陆上风电项目的全球加权平均 LCOE 比化石燃料解决方案的加权平均 LCOE 还要低 67%。
- 2010 年，太阳能光伏的全球加权平均 LCOE 比最便宜的化石燃料解决方案的加权平均 LCOE 高 414%；然而，在成本大幅下降的推动下，2023 年，太阳能光伏的成本比成本最低的加权平均化石燃料解决方案还要低 56%。

表 S1. 2010 年和 2023 年若干可再生能源技术的总装机成本、容量系数和 LCOE 变化趋势

	总装机成本			容量系数			平准化度电成本		
	（2023 美元/千瓦）			（%）			（2023 美元/千瓦时）		
	2010	2023	百分比变化	2010	2023	百分比变化	2010	2023	百分比变化
生物能	3010	2730	-9%	72	72	0%	0.084	0.072	-14%
地热能	3011	4589	52%	87	82	-6%	0.054	0.071	31%
水电	1459	2806	92%	44	53	20%	0.043	0.057	33%
太阳能光伏	5310	758	-86%	14	16	14%	0.460	0.044	-90%
CSP	10453	6589	-37%	30	55	83%	0.393	0.117	-70%
陆上风电	2272	1160	-49%	27	36	33%	0.111	0.033	-70%
海上风电	5409	2800	-48%	38	41	8%	0.203	0.075	-63%

注： CSP = 聚光太阳能

2023 年，可再生能源的年新增容量创下历史新高，总装机容量同比增长 14%。

2023 年，太阳能光伏和陆上风电共占新增可再生能源装机容量 473 GW 的 95% 以上。[1] 2023 年，太阳能光伏新增 346 GW，增长 73%，陆上风电新增 104 GW，同比增长 48%。与此同时，海上风电新增容量达到 11 GW，较 2022 年增长 27%。然而，这仍然低于 2021 年该技术的创纪录新增容量。

其他可再生能源技术的容量增长则比较平缓，例如聚光太阳能 (CSP)、地热能、生物能和水电。2023 年，这些技术加起来的新增装机容量为 12 GW，其中 7 GW 为水电。聚光太阳能和地热能的年新增容量近年来一直持平，而 2023 年的水电和生物能新增容量与 2022 年相比有所下降。

可再生能源新增容量的增长反映了全球为提高可再生能源在电力行业中的占比所做的努力。然而，要实现 COP28 上阿联酋共识中达成的容量增至三倍的目标，目前的新增容量仍然低于所需水平。最重要的是，要实现可再生能源容量增至三倍的目标，必须有关键性的举措，特别是电网扩容和储能。

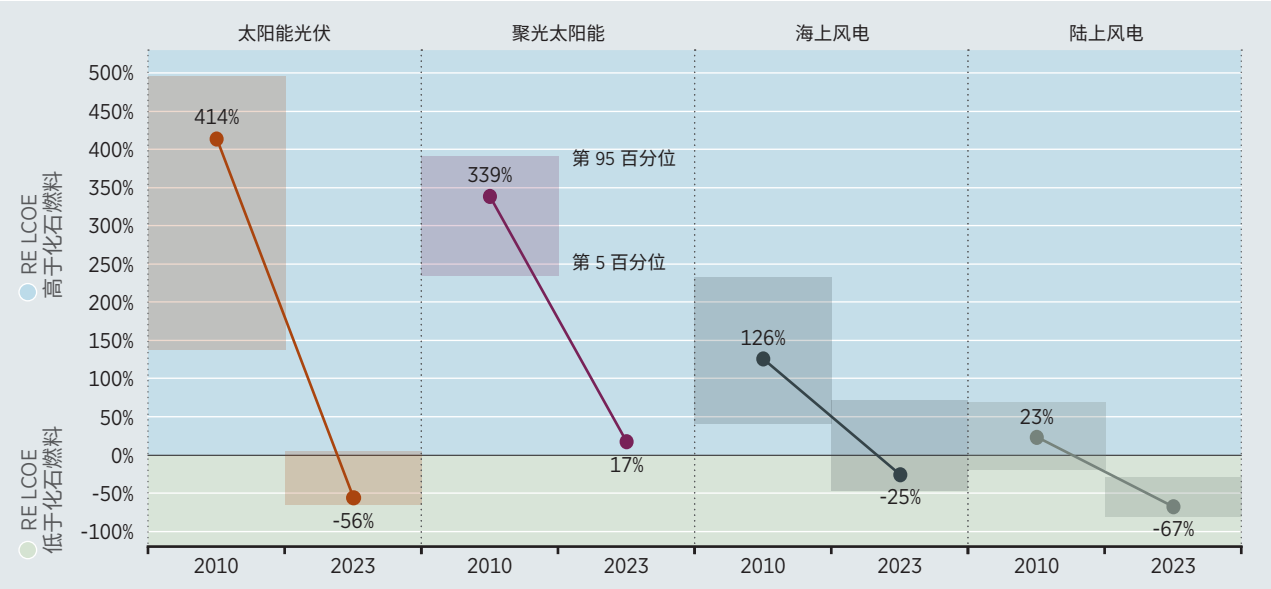
尽管如此，来自 *IRENA 可再生能源成本数据库*的数据以及对近期电力行业趋势的分析再次表明，可再生能源在实现气候目标方面发挥着重要作用，同时也证明了这些技术与化石燃料相比更具有经济优势。

[1] *在本报告中，“可再生能源容量”是指当年投产的发电厂及其他设施利用可再生能源发电的净发电装机容量。*

过去数十年来，太阳能和风能发电技术的成本不断下降，性能不断提高；除了社会效益、发展效益和环境效益外，可再生能源发电的经济效益也引人注目。

2010 年，陆上风电的全球加权平均 LCOE 为 0.111 美元/千瓦时，这比化石燃料新增容量的加权平均成本 0.090 美元/千瓦时高出 23%[2]。然而，到 2023 年，新建陆上风电项目的全球加权平均 LCOE 为 0.033 美元/千瓦时，比化石燃料的加权平均成本低 67%，而后者已上涨至 0.100 美元/千瓦时（图 S2）。同期，海上风电的全球加权平均 LCOE 从比化石燃料的加权平均成本高出 126% 降至低于 25%。成本从 0.203 美元/千瓦时降至 0.075 美元/千瓦时。

图 S1. 2010-2023 年太阳能和风能与化石燃料相比的全球加权平均 LCOE 变化



注： RE = 可再生能源。

与此同时，聚光太阳能的全球加权平均 LCOE 从 2010 年比化石燃料的加权平均成本高 339% 下降到 2023 年仅高出 17%。2010 年，并网太阳能光伏的全球加权平均 LCOE 为 0.460 美元/千瓦时，比化石燃料的加权平均成本贵 414%。而 2023 年这一成本却大幅下降至 0.044 美元/千瓦时，这使得太阳能光伏发电的全球加权平均 LCOE 比化石燃料的加权平均成本还要低 56%。

事实上，虽然 2023 年的化石燃料发电成本较 2022 年的高点有所下降（图 1.6 和图 1.7），但可再生能源发电的成本仍然低于化石燃料发电。2023 年，在新投产的并网可再生能源发电项目中，约 81% 的项目（382 GW）的电力成本低于加权平均的化石燃料发电成本（按国家/地区）。

2010 年至 2023 年间，LCOE 低于化石燃料加权平均 LCOE 的可再生能源发电总装机容量为 1690 GW。

[2] *本报告将可再生能源和化石燃料的加权平均 LCOE 进行了比较，而在前几年的报告中使用的是“最便宜”的化石燃料发电 LCOE。这是因为最近的化石燃料价格有所下降。*

可再生能源发电带来了经济效益。

2023 年，在 IRENA 已掌握详细数据的 20 个国家/地区中[3]，有 9 个国家/地区的并网太阳能光伏发电竞争力[4]的提升幅度超过了全球加权平均 LCOE。2022 年，有 8 个国家/地区实现了这一超越。

2022-2023 年期间，在所调研的 19 个国家/地区中，有 16 个国家/地区的陆上风电技术竞争力提升幅度超过了全球加权平均电力成本。在所有市场中，陆上风电都比化石燃料电力更具竞争力。

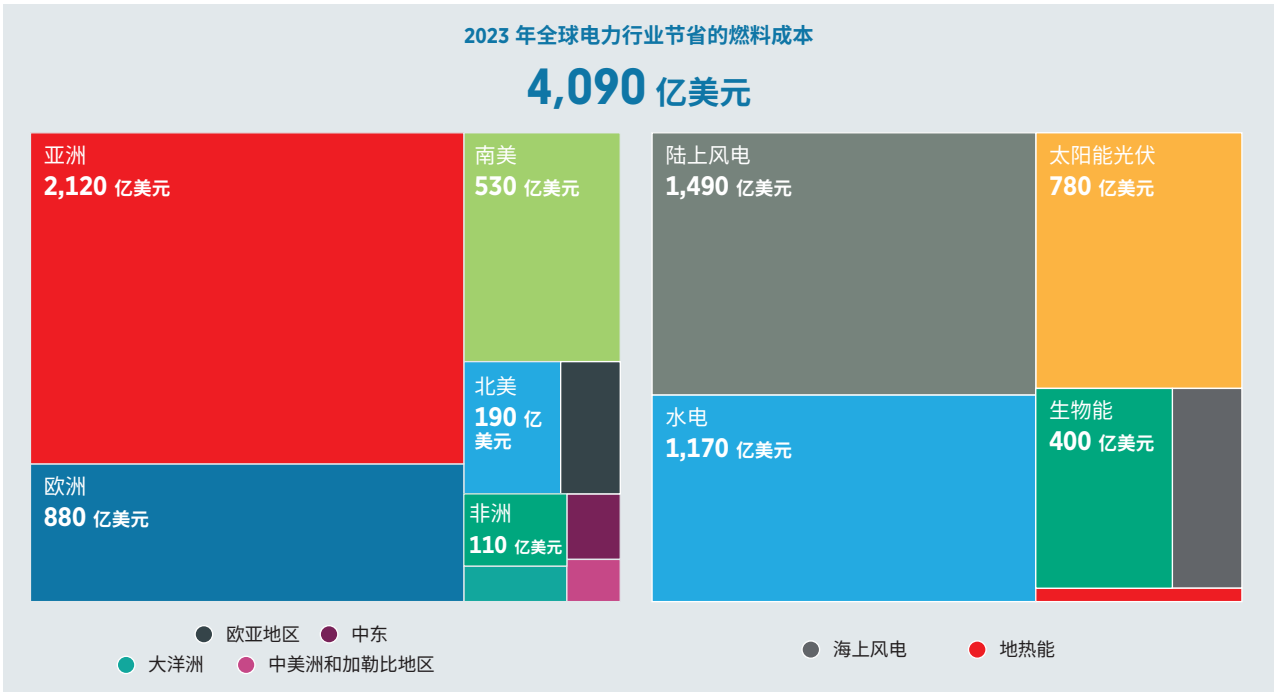
可再生能源正在持续为电力行业节省燃料成本。虽然化石燃料价格的下降导致太阳能和风力发电的竞争力相比 2022 年有所下降，但总体来说，这两种技术仍然保持积极态势。

2023 年，自 2000 年以来全球部署的可再生能源仅在电力行业就已经节省了约 4,090 亿美元的燃料成本（图 S3）。2000 年至 2010 年间，亚洲累计节省成本最多，估计为 2,120 亿美元。欧洲为 880 亿美元，其次是南美洲，其节省成本估计为 530 亿美元。

按可再生能源发电技术，陆上风电节省的成本最多，达 1,490 亿美元。水电节省的成本位居第二，为 1,170 亿美元，其次是太阳能光伏，为 780 亿美元。

2022 年至 2023 年间，新投产陆上风电项目的全球加权平均总装机成本下降 13%，从 1,322 美元/千瓦降至 1,154 美元/千瓦。同期，这些项目的全球加权平均 LCOE 下降 3%，从 0.035 美元/千瓦时降至 0.033 美元/千瓦时（图 S4）。

图 S2. 自 2000 年新增可再生能源发电在 2023 年为全球电力行业节省的化石燃料成本



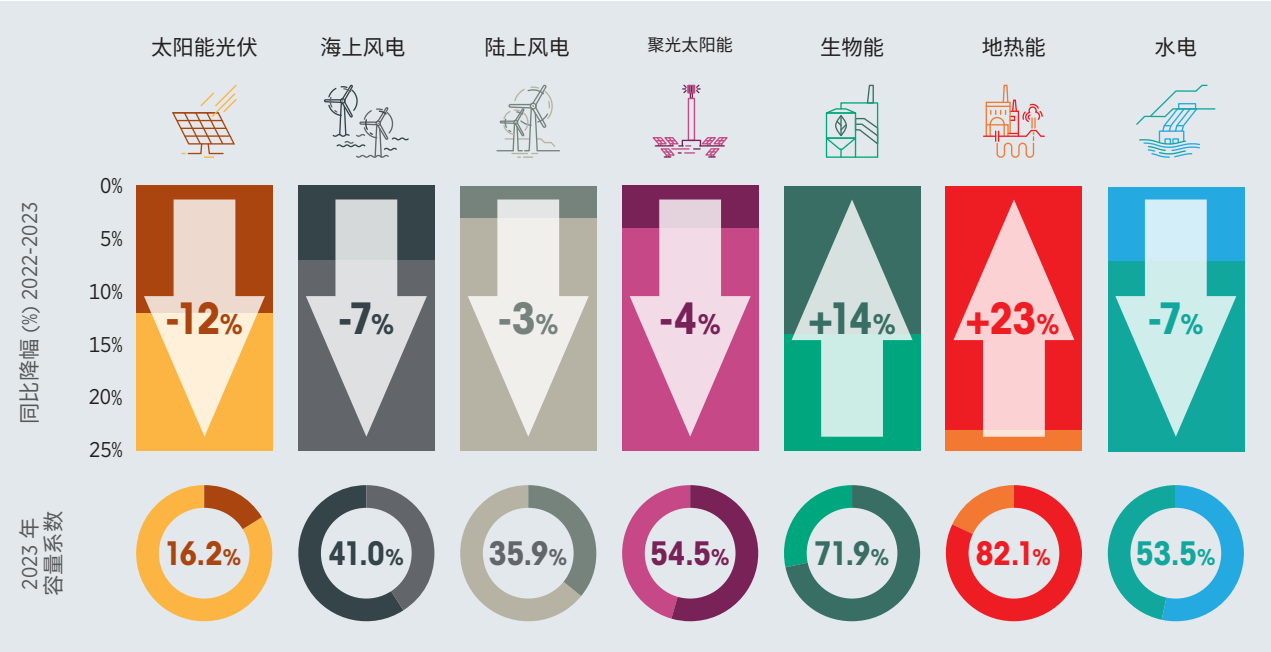
[3] *图 1.10 显示了详细数据，涵盖以下 20 个国家/地区：阿根廷、澳大利亚、巴西、加拿大、中国、法国、德国、印度、印度尼西亚、意大利、日本、韩国、马来西亚、墨西哥、菲律宾、南非、土耳其、英国、美国和越南。*

[4] *IRENA 计算了 20 个国家/地区的竞争力指标。该指标基于新型化石燃料的加权平均成本，这一成本根据项目级资本成本数据以及特定国家/地区供给发电企业的化石燃料气体和煤炭燃料的标价计算得出。竞争力指标为可再生能源发电的 LCOE 减去国家/地区加权平均化石燃料 LCOE，因此负值表示可再生能源发电的 LCOE 低于化石燃料的 LCOE。*

2023 年，中国再次成为新增陆上风电装机容量的最大市场，在全球新增装机容量中的份额同比从 50% 上升到 66%。这导致装机成本较高的市场所占的份额相对于 2021 年有所下降。假如将中国排除在外，这一时期陆上风电的全球加权平均 LCOE 曲线本来会升高 15%。

对于新投产的并网太阳能光伏项目，2022 年至 2023 年间，全球加权平均 LCOE 下降了 12%，降至 0.044 美元/千瓦时。这是由于该技术的全球加权平均总装机成本下降了 17%，从 2022 年的 908 美元/千瓦下降到 2023 年投产项目的 758 美元/千瓦。

图 S3. 2023 年新投产并网可再生能源发电技术的全球加权平均 LCOE 的降幅和容量系数



注：彩色阴影表示 LCOE 同比百分比变化（增加或降低），从顶部 (0%) 到底部 (25%)。

总体而言，2023 年主要市场的太阳能光伏总装机成本呈下降趋势。这主要是由于供应链缓解和商品价格通胀下降所致。欧洲国家/地区的装机成本降幅最大，其中希腊降幅为 48%，荷兰为 41%，德国为 29%。最大的市场也呈现出同样的下降趋势，包括中国 (10%)、美国 (4%) 和巴西 (5%)。印度是个例外，在 2023 年上涨 7%。

2023 年，海上风电市场新增装机容量 11 GW，仅次于 2021 年的涨幅。中国在海上风电总新增容量中的占比为 65%。事实上，由于中国在新增装机容量和新市场项目投产中的份额增加，与 2022 年相比，2023 年新项目的全球加权平均电力成本下降了 7%，从 0.080 美元/千瓦时降至 0.075 美元/千瓦时。

2022 年至 2023 年间，海上风电的全球加权平均总装机成本从 3,478 美元/千瓦降至 2,800 美元/千瓦，而新投产项目的加权平均容量系数略有下降，从 2022 年的 42% 降至 2023 年的 41%。

2023 年，仅有一个聚光太阳能发电项目完工。这导致该技术的全球加权平均 LCOE 只有 0.117 美元/千瓦时，与 2022 年相比下降 4%。

对于新投产的生物能发电项目，全球加权平均 LCOE 在 2022 年至 2023 年间上涨了 14%，从 0.063 美元/千瓦时上涨至 0.072 美元/千瓦时。

对于地热发电项目，在 2022 年至 2023 年间，7 个已投产项目的全球加权平均 LCOE 上涨了 23%，涨至 0.071 美元/千瓦时。

相比之下，新投产水电项目的全球加权平均 LCOE 在 2022 年至 2023 年间下降了 7%，从 0.061 美元/千瓦时降至 0.057 美元/千瓦时。同期，新建水电项目的全球加权平均总装机成本从 3,053 美元/千瓦下降到 2,806 美元/千瓦，降幅达 8%。

2010 年至 2023 年间，可再生能源成本大幅下降，表现出显著的降价趋势。

自 2010 年以来，太阳能光伏经历了最快速的成本下降。2010 年至 2023 年间，新投产的并网太阳能光伏项目的全球加权平均 LCOE 从 0.460 美元/千瓦时下降到 0.044 美元/千瓦时，降幅达 90%（图 S5）。LCOE 的降低主要是由于组件价格下降。在 2009 年 12 月至 2023 年 12 月期间，组件价格下降了约 93%。2018 年至 2023 年间，软成本 (59%)、组件和逆变器 (46%)、平衡系统 (BoS) 硬件 (39%) 和安装成本 (36%) 等方面也都出现大幅下降。2022 年至 2023 年间，并网太阳能光伏的全部运营和维护 (O&M) 成本中位数也下降了 5%。

对于陆上风电项目，2010 年至 2023 年间，全球加权平均电力成本下降了 70%，从 0.111 美元/千瓦时降至 0.033 美元/千瓦时。陆上风电成本的降低主要受到两个关键因素的推动：风力涡轮机成本的下降和涡轮机技术改进带来的容量系数的提升。

根据风力涡轮机价格指数，2010 年至 2023 年间，中国以外地区的风力涡轮机价格下降了 41%-64%。而同期中国的降幅为 73%。与此同时，新投产陆上风电项目的全球加权平均容量系数从 2010 年的 27% 提升到 2023 年的 36%。这凸显了技术进步和成本降低带来的优势，即使在风力资源较差的地区，涡轮机安装成本仍具有竞争力。

对于新投产的海上风电项目，2010 年至 2023 年间，全球加权平均 LCOE 从 0.203 美元/千瓦时下降到 0.075 美元/千瓦时，降幅为 63%。2010 年，中国和欧洲新投产的海上风电项目的加权平均 LCOE 分别为 0.196 美元/千瓦时和 0.205 美元/千瓦时。此后，这两组加权 LCOE 开始分化，尤其在 2021 年，欧洲新投产项目的加权平均成本为 0.057 美元/千瓦时，低于当年中国 0.085 美元/千瓦时的成本。到 2023 年，随着包括新市场在内的一系列造价更高的项目陆续完工，欧洲的加权平均 LCOE 增加到 0.066 美元/千瓦时。欧洲的 LCOE 仍比中国 2023 年完工的项目低 6% 左右，加权平均值为 0.070 美元/千瓦时。这种差异主要是由于两地的风力资源不同，欧洲的风速高于中国。

聚光太阳能发电的部署仍停滞不前，2023 年仅新增 300 MW，到 2023 年底全球累计容量为 7 GW。从 2010 年到 2023 年间，新投产的聚光太阳能发电项目的全球加权平均成本从 0.39 美元/千瓦时下降到 0.117 美元/千瓦时，降幅达 70%。尽管每年都有波动，但聚光太阳能发电的 LCOE 在 2010 年至 2020 年间迅速下降。然而，自 2020 年以来，由于一些项目的推迟或采用新设计的投入使用，该技术的全球加权平均电力成本停滞不前。

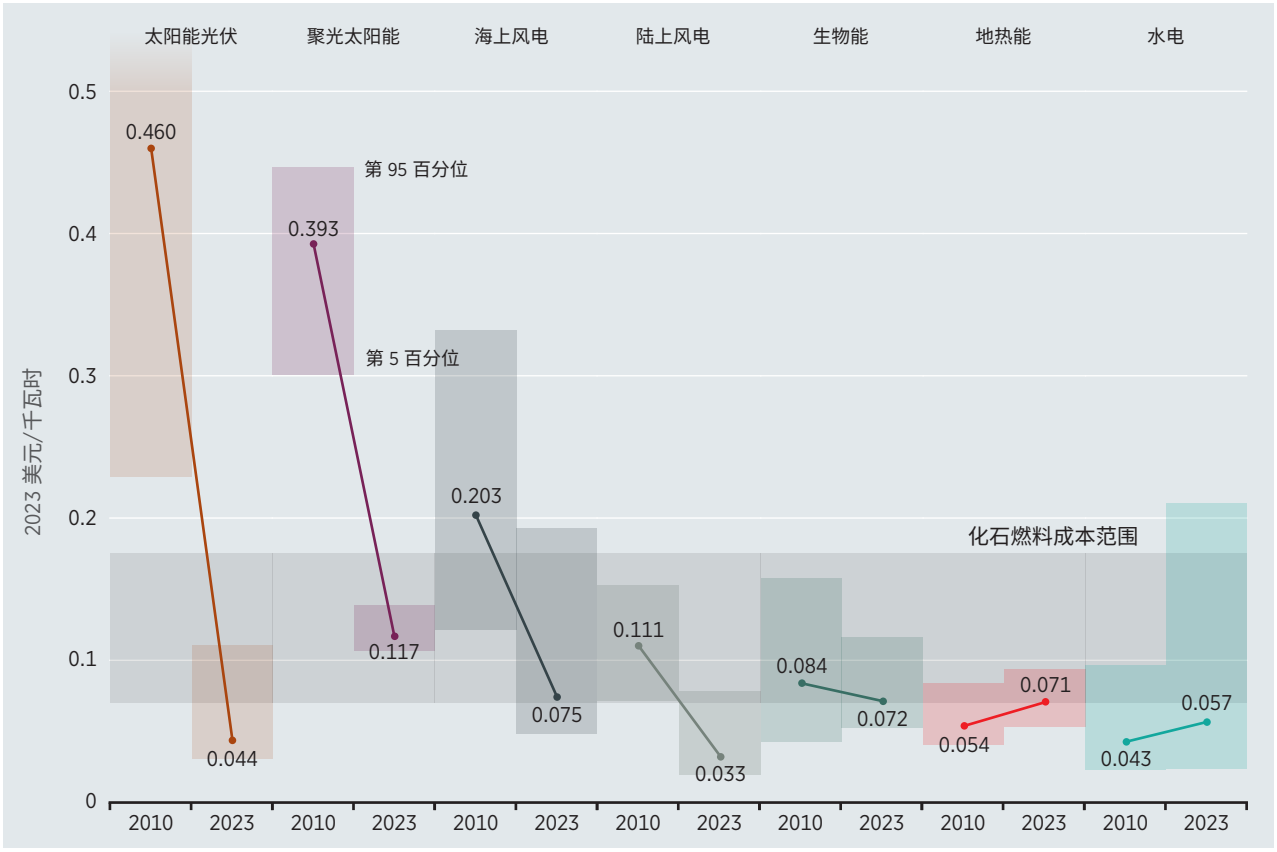
2023 年，生物能发电的全球加权平均 LCOE 为 0.072 美元/千瓦时，较 2022 年高出 14%，比 2010 年的 0.084 美元/千瓦时低 14%。出现这种上升趋势是因为自从 2022 年以来，市场份额开始转变，现在成本较高的市场占据了更大的份额。此外，2010 年至 2023 年间，生物能发电项目的全球加权平均 LCOE 经历了一定程度的波动，没有明显的上升或下降趋势。

对于地热项目，2023 年的全球加权平均 LCOE 比 2022 年高出 23%，达到 0.071 美元/千瓦时。这一价格仍然符合历史波动范围，比如 2017 年至 2021 年间的 0.077 美元/千瓦时至 0.074 美元/千瓦时。

2010 年至 2023 年间，新投产水电项目的全球加权平均 LCOE 上涨了 33%，从 0.043 美元/千瓦时上涨至 0.057 美元/千瓦时。这一价格仍然低于 2023 年的平均化石燃料发电成本。2022 年至 2023 年间，全球加权平均成本下降了 7%。2022 年的成本骤增主要是由于一些项目的投产，这些项目经历了非常严重的成本超支，尤其是在加拿大和美国。

2010 年至 2023 年间，电池储能项目的成本下降了 89%，从 2,511 美元/千瓦时降至 273 美元/千瓦时。成本的降低主要得益于生产规模的扩大、材料效率的提高以及制造工艺的改进。此外，年新增容量从 2010 年的 0.1 GWh 总储容量增加到 2023 年的 95.9 GWh 总储电量，其中中国占全球新增容量的近一半 (46.5 GWh)。

图 S4. 2010 和 2023 年全球新投产并网可再生能源发电技术的 LCOE



注：这些数据是投产当年的数据。粗线是全球加权平均 LCOE 值，来自于每年投产的各个电厂。LCOE 根据项目特定的装机成本和容量系数计算得出，而关于其他假设，包括加权平均资本成本 (WACC) 等，详见附件 I。灰色带表示 2023 年的化石燃料发电成本，而每种技术和每个年份的条带表示可再生能源项目的第 5 和第 95 百分位条带。

IRENA
International Renewable Energy Agency

www.irena.org

© IRENA 2024