

2022 年 可再生能源 发电成本

执行摘要



© IRENA 2023

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。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 (2023)，2022 年可再生能源发电成本，国际可再生能源机构，阿布扎比。

本报告为“Renewable power generation costs in 2022”的译本，ISBN：978-92-9260-544-5 (2023)。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) 和 Michael Taylor (IRENA) 的指导下完成编写。

本报告由 Michael Taylor、Sonia Al-Zoghoul 和 Pablo Ralon (IRENA) 撰写，Olga Sorokina (欧洲 Energy Link Group) 提供协助。

作者感谢 Erick Ruiz Araya、Francis De Jaeger、Juan Pablo Jimenez Navarro、Binu Parthan 和 Ludovico Del Vecchio (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 Ana Andrade (葡萄牙能源和地质总局 [DGEG])、Alex Campbell 和 Rebecca Ellis (国际水电协会 [IHA]) 以及 Manuel Quero (Sunntics)、Alexander Hogeveen Rutter (国际太阳能联盟 [ISA])、Christoph Walter (丹麦能源署 [DEA])、Yuetao Xi (中国水电水利规划设计总院 [CREI]) 和 Feng Zhao (全球风能委员会 [GWEC])。作者对本报告中的所有观点和错误负责。

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 和 Stefanie Durbin 编辑，由 Paul Komor 完成技术审查，由 Ignacio de la Concepción Sanz 完成版面设计。


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。



随着竞争力的不断增强，可再生能源发电仍然是全球能源系统脱碳的最引人注目的途径

亮点

2022年，尽管材料和设备成本不断上涨，新投产的并网太阳能光伏（PV）、陆上风能、聚光太阳能（CSP）、生物能源和地热发电的全球加权平均电力成本仍全部下降。

中国是全球太阳能光伏和陆上风力发电成本下降的主要驱动因素，而其他市场的结果则大相径庭，很多主要市场的成本都有所上涨。

对于新投产的陆上风电项目，全球加权平均平准化发电成本（LCOE）在2021年至2022年间下降了5%，从0.035美元/千瓦时降至0.033美元/千瓦时。对于并网太阳能光伏项目，2022年全球加权平均LCOE同比下降3%，降至0.049美元/千瓦时。对于海上风电，与2021年相比，新项目的电力成本增加了2%，从0.079美元/千瓦时上涨到2022年的0.081美元/千瓦时。

2022年的化石燃料价格危机时刻提醒着人们，可再生能源在能源安全方面可以提供巨大的经济效益。自2000年以来，到2022年，全球部署的可再生能源为电力行业节省了约5210亿美元的燃料成本。

由于化石燃料价格飙升，2021至2022年是过去20年来可再生能源竞争力提高幅度最大的时期之一。以下是2010年以来的变化趋势：

- 2010年，全球陆上风电加权平均LCOE比最低化石燃料成本高95%；而到了2022年，新建陆上风电项目的全球加权平均LCOE比最便宜的化石燃料解决方案还要低52%。
- 然而，成本降幅最大的要数太阳能光伏发电。2010年，这种可再生能源比最便宜的化石燃料解决方案贵710%；而在成本大幅下降的推动下，2022年的成本却比最便宜的化石燃料解决方案还要低29%。

表 H.1 2010 年和 2022 年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		
	(2022 美元/千瓦)			(%)			(2022 美元/千瓦时)		
	2010	2022	百分比变化	2010	2022	百分比变化	2010	2022	百分比变化
生物能	2904	2162	-26%	72	72	1%	0.082	0.061	-25%
地热能	2904	3478	20%	87	85	-2%	0.053	0.056	6%
水电	1407	2881	105%	44	46	4%	0.042	0.061	47%
太阳能光伏	5124	876	-83%	14	17	23%	0.445	0.049	-89%
聚光太阳能 (CSP)	10082	4274	-58%	30	36	19%	0.380	0.118	-69%
陆上风电	2179	1274	-42%	27	37	35%	0.107	0.033	-69%
海上风电	5217	3461	-34%	38	42	10%	0.197	0.081	-59%

执行摘要

尽管成本上涨，可再生能源的竞争力在 2022 年仍大幅提升。

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；除了环境效益外，可再生能源发电的经济效益也引人注目。

事实上，由于化石燃料价格飙升，2021 至 2022 年是过去 20 年来可再生能源竞争力提升幅度最大的时期之一。

在此期间，除中国以外的大多数市场都出现了太阳能光伏 (PV) 组件和风力涡轮机设备价格上涨，而且很多市场都出现了太阳能发电和风力发电整体成本的上涨。

2021 年，在 IRENA 已掌握详细数据的 20 个国家中，有 9 个国家的并网型太阳能光伏发电竞争力¹的提高幅度超过了当年全球加权平均平准化度电成本 (LCOE)。2022 年，有 8 个国家实现了这一超越。

对于陆上风电，情况更加明显。2021-2022 年期间，在所研究的 20 个国家中，有 15 个国家的竞争力出现了自获得详细数据以来最大幅度的绝对提升。其中包括总装机成本增加的市场，而同期化石燃料的价格涨幅已远超各种可再生能源的价格水平。

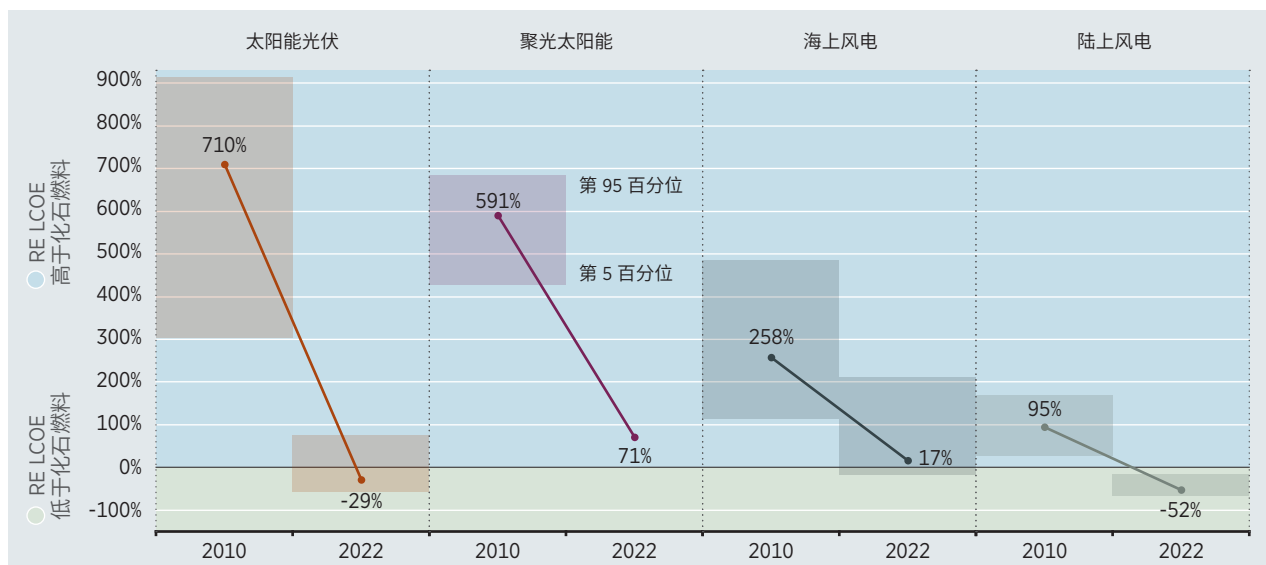
随着太阳能和风能发电成本的下降，太阳能电力和风电竞争力的提升速度也相当可观。

¹ IRENA 计算了 20 个国家的竞争力指标。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平准化电力成本 (LCOE) 减去国家加权平均化石燃料 LCOE，因此负值表示可再生能源发电的 LCOE 低于化石燃料的 LCOE。

2010 年，全球陆上风电加权平均 LCOE 为 0.107 美元/千瓦时。这比最低的化石燃料电力成本 0.056 美元/千瓦时高出 95%。到 2022 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，比最便宜的化石燃料电力项目低 52%，后者已上涨至 0.069 美元/千瓦时（图 S.1）。

同期，全球海上风电的加权平均 LCOE 从比最便宜的化石燃料成本高出 258% 降至仅高出 17%，成本从

图 S.1 2010-2022 年基于全球加权平均 LCOE 的太阳能和风能的竞争力变化（按国家/地区）



注：第 1 章详细介绍了全球加权平均 LCOE 数据（按技术）以及用于绘制该图表的化石燃料 LCOE 数据；RE = 可再生能源。

0.197 美元/千瓦时降至 0.081 美元/千瓦时。

聚光太阳能 (CSP) 的全球加权平均 LCOE 从 2010 年比最便宜的化石燃料电力高 591% 下降到 2022 年仅比最便宜的化石燃料电力高 71%。

然而，成本降幅最大的要数太阳能光伏发电。2010 年，这种可再生能源的全球加权平均 LCOE 为 0.445 美元/千瓦时，比最便宜的化石燃料电力成本贵 710%。而 2022 年的成本却大幅下降至 0.049 美元/千瓦时，这使得太阳能光伏发电的全球加权平均 LCOE 比最便宜的化石燃料电力成本还要低 29%。

事实上，由于化石燃料价格上涨，2021-2022 年期间化石燃料发电成本也出现上涨，在 2022 年新投产的并网级可再生能源发电项目中，约 86% (187 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）。这一数字比 2021 年预计的 174GW 高出 8%。

2010 年至 2022 年期间，LCOE 低于化石燃料加权平均 LCOE（按国家/地区）的可再生能源发电总装机容量为 1120GW。

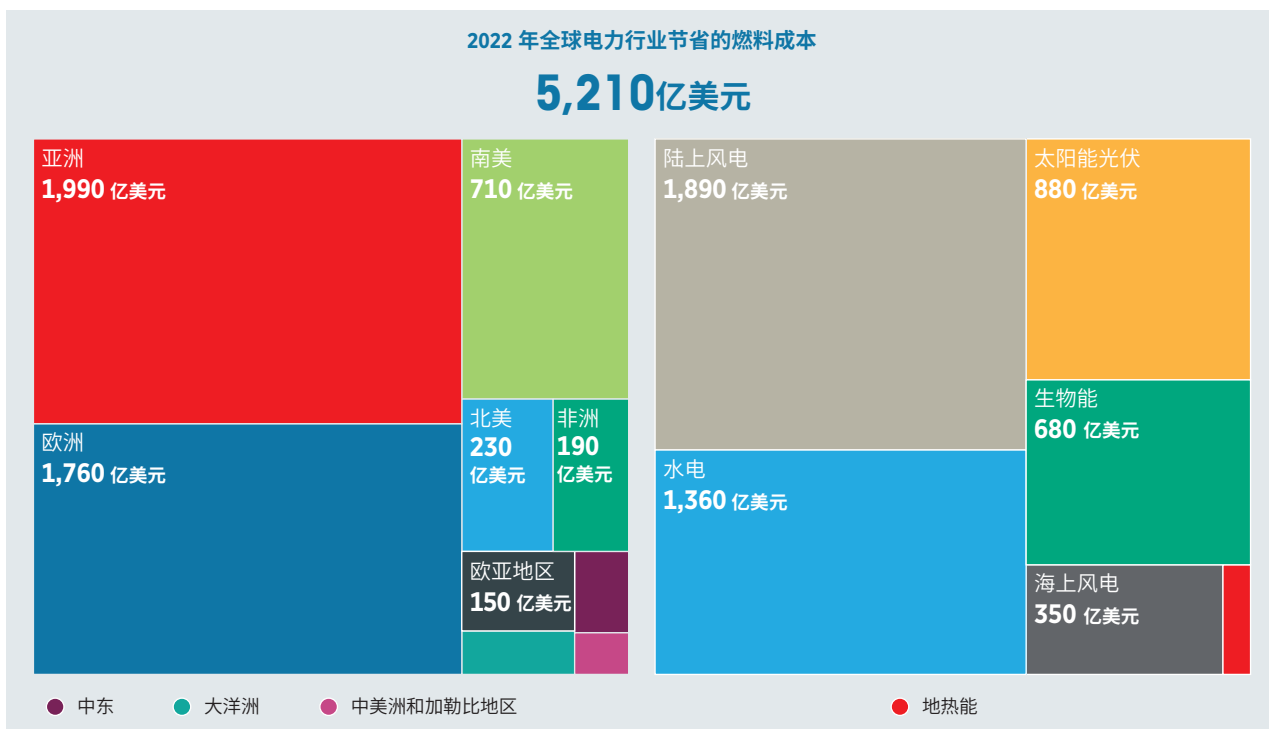
可再生能源将提供巨大的能源安全效益。

2022 年的化石燃料价格危机时刻提醒人们，就能源安全而言，可再生能源可以提供巨大的经济效益。事实上，可再生能源的能源安全效益在 2022 年引起了广泛关注。

与关注化石燃料供应的能源安全政策不同，可再生能源通过减少对化石燃料的需求和进口，降低了受化石燃料价格内在波动影响的经济成本。简而言之，作为化石燃料的替代品，可再生能源在整个生命周期内成本较为稳定，具有可再生、能源效率较高等优势，并且可以迅速部署，提供了迄今为止最高的能源安全效益。这些优势似乎显而易见，但在 2022 年化石燃料供应的争夺中，却往往是政策制定者²的次要考虑因素。

到 2022 年，自 2000 年以来全球部署的可再生能源仅在电力行业就节省了约 5,210 亿美元³的燃料成本（图 S.2）。在欧洲，这一数字为 1,760 亿美元。此外，自 2010 年以来大力兴建的可再生能源项目可能使欧洲大陆成功避免了经济危机的全面爆发，因为在没有可再生能源发电的情况下⁴，化石燃料价格上涨的直接经济成本将会高得多。

图 S.2 自 2000 年新增可再生能源发电以来全球电力行业在 2022 年节省的化石燃料成本



² 值得注意的是，2022 年化石燃料价格危机所带来的影响让政策制定者措手不及。因此，鉴于有限的制度资源和对政策制定者的广泛呼吁，优先考虑其他领域也就不足为奇。但是，这也确实表明错过了良机。

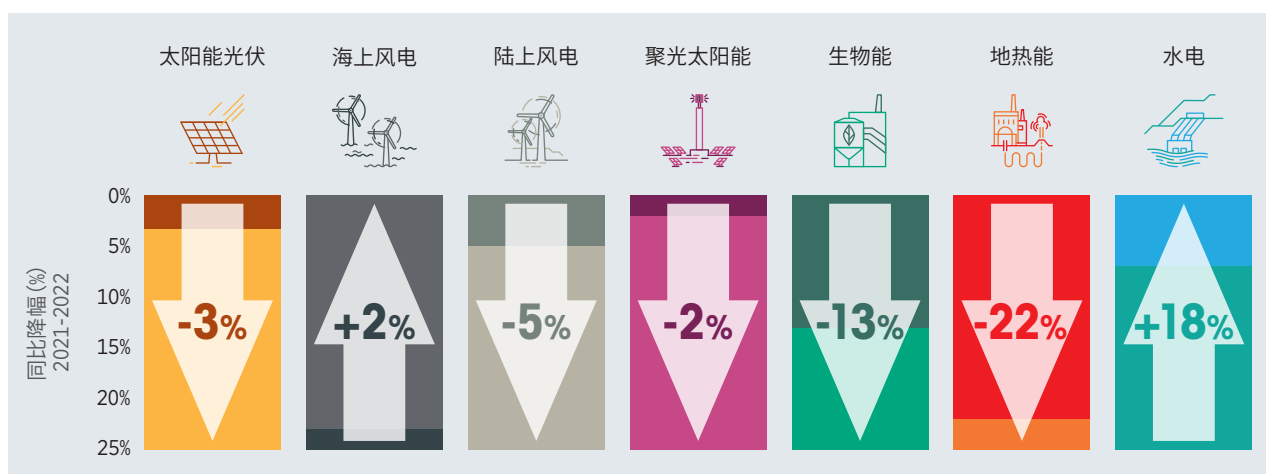
³ 这可能是一个较低的估计值。由于假设的可再生能源部署量减少，2022 年化石燃料需求增加很可能导致了价格进一步上涨，并使供应冲击更具破坏性。

⁴ 即在计入使用热泵、太阳能热水器和节能措施的影响之前。

2022 年，太阳能光伏、陆上风能、聚光太阳能、生物能和地热能发电的全球加权平均成本均有下降。

对于新投产的陆上风电项目，全球加权平均 LCOE 在 2021 年至 2022 年间下降了 5%，从 0.035 美元/千瓦时降至 0.033 美元/千瓦时（图 S.3）。2022 年，中国再次成为新增陆上风电装机容量最大的市场，在全球新增装机容量中的份额从 2021 年的 41% 上升到 2022 年的 50%。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 曲线则保持平坦。

图 S.3 2021-2022 年全球新投产并网可再生能源发电技术的 LCOE



对于新投产的大型太阳能光伏项目，从 2021 年到 2022 年，全球加权平均 LCOE 下降了 3%，降至 0.049 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 4%，从 2021 年的 917 美元/千瓦下降到 2022 年投产项目的 876 美元/千瓦。

总体而言，2022 年全球太阳能光伏市场喜忧参半，不同市场朝着不同的方向发展。2022 年 LCOE 的下降幅度小于 2021 年 13% 的同比下降幅度，因为 IRENA 详细数据显示，前 20 大并网太阳能光伏市场中有 11 个市场的实际总装机成本有所上涨，12 个市场的名义成本出现上涨。其中一些市场的上涨幅度很大；例如，法国和德国的成本上涨了 34%，而希腊在 2021 年底至 2022 年期间，由于光伏组件和商品价格的上涨，成本估计上涨了 51%。这一变化某种程度上反映了个别项目成本的正常变化，但很明显，商品和劳动力成本的上涨对某些市场产生了重大影响。

然而，2022 年新投产的并网级大型太阳能光伏发电的全球加权平均电力成本有所下降，这是因为中国的成本低于大多数市场，其在全球并网太阳能光伏发电部署中的份额从 2021 年的 38% 增加到 2022 年的 45%。

2022 年，海上风电市场新增容量 8.9GW，仅次于 2021 年史无前例的增长幅度，当时在中国新增容量激增的推动下，全球新增了 21GW。事实上，2022 年，由于中国在新增装机容量和新市场项目投产中的份额下降，与 2021 年相比，新项目的全球加权平均电力成本增加了 2%，从 0.079 美元/千瓦时上涨到 0.081 美元/千瓦时。全球加权平均总装机成本的上涨（从 2021 年的 3,052 美元/千瓦上涨到 2022 年的 3,461 美元/千瓦）部分被新投产项目容量系数的增大（从 2021 年的 39% 增加到 2022 年的 42%）所抵消。

对于新投产的生物能发电项目，全球加权平均 LCOE 在 2021 年至 2022 年间下降了 13%，从 0.071 美元/千瓦时降至 0.061 美元/千瓦时。这是由于 2022 年中国和巴西新投产的低成本项目份额有所增加。

对于地热发电项目，在 2021 年至 2022 年期间，10 个已投产项目的全球加权平均 LCOE 下降了 22%，降至 0.056 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 2021 年至 2022 年间上涨了 18%，从 0.052 美元/千瓦时上涨到 0.061 美元/千瓦时。2022 年，一些经历了严重延误和巨额成本超支的项目部分或全部投产。因此，新建水电项目的全球加权平均总装机成本从 2021 年的 2,299 美元/千瓦上涨到 2022 年的 2,881 美元/千瓦，涨幅达 25%。

2010 年至 2022 年间，太阳能发电和风力发电项目的成本大幅下降。

过去两年的经历改变了利益相关者对化石燃料市场价格预期的理解，同时也暴露了依赖化石燃料发电的国家的一些隐患。

然而，即使在 2022 年化石燃料价格危机之前，可再生能源的竞争力就已经超越了化石燃料。事实上，当 2021 年需要新增发电能力时，可再生能源选项大幅降低了对新建化石燃料项目的需求，而在很多地方，一旦剔除财政支持的影响，可再生能源甚至还会削弱现有电厂的竞争力。随着化石燃料价格的飙升，可再生能源的竞争力在 2022 年出现了大幅提升。

自 2010 年以来，太阳能光伏经历了最快速的成本下降。2010 年至 2022 年间，新投产的大型太阳能光伏项目的全球加权平均 LCOE 从 0.445 美元/千瓦时下降到 0.049 美元/千瓦时，降幅达 89%（图 S.4）。LCOE 的降低主要是由于组件价格下降。尽管在 2022 年有所上涨，但在 2009 年 12 月至 2022 年 12 月期间，价格下降了约 90%。此外，工厂成本、运营和维护 (O&M) 成本以及资本成本等方面也都出现大幅下降。

对于陆上风电项目，2010 年至 2022 年间，全球加权平均电力成本下降了 69%，从 0.107 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 2022 年间，中国以外地区的风力涡轮机价格下降了 39-55%，而中国的降幅更是接近三分之二，达到 64%。新投产项目的全球加权平均容量系数从 2010 年的 27% 提升到 2021 年的 39%。这一全球加权平均值随后在 2022 年回落至 37%，这是因为中国风力资源位置普遍偏远，新部署的份额有所增加。

对于新投产的海上风电项目，2010 年至 2022 年间，全球加权平均 LCOE 从 0.197 美元/千瓦时下降到 0.081 美元/千瓦时，下降了 59%。

2010 年，中国和欧洲新投产的海上风电项目加权平均 LCOE 分别为 0.189 美元/千瓦时和 0.198 美元/千瓦时。2021 年，欧洲新投产项目的加权平均成本为 0.056 美元/千瓦时，低于当年中国 0.083 美元/千瓦时的成本。到 2022 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 0.074 美元/千瓦时。然而，欧洲的 LCOE 仍比中国 2022 年完工的项目低 4% 左右，加权平均值为 0.077 美元/千瓦时。

聚光太阳能发电的部署仍令人失望，2022 年新增不到 0.1GW，到 2022 年底全球累计容量为 6.5GW。

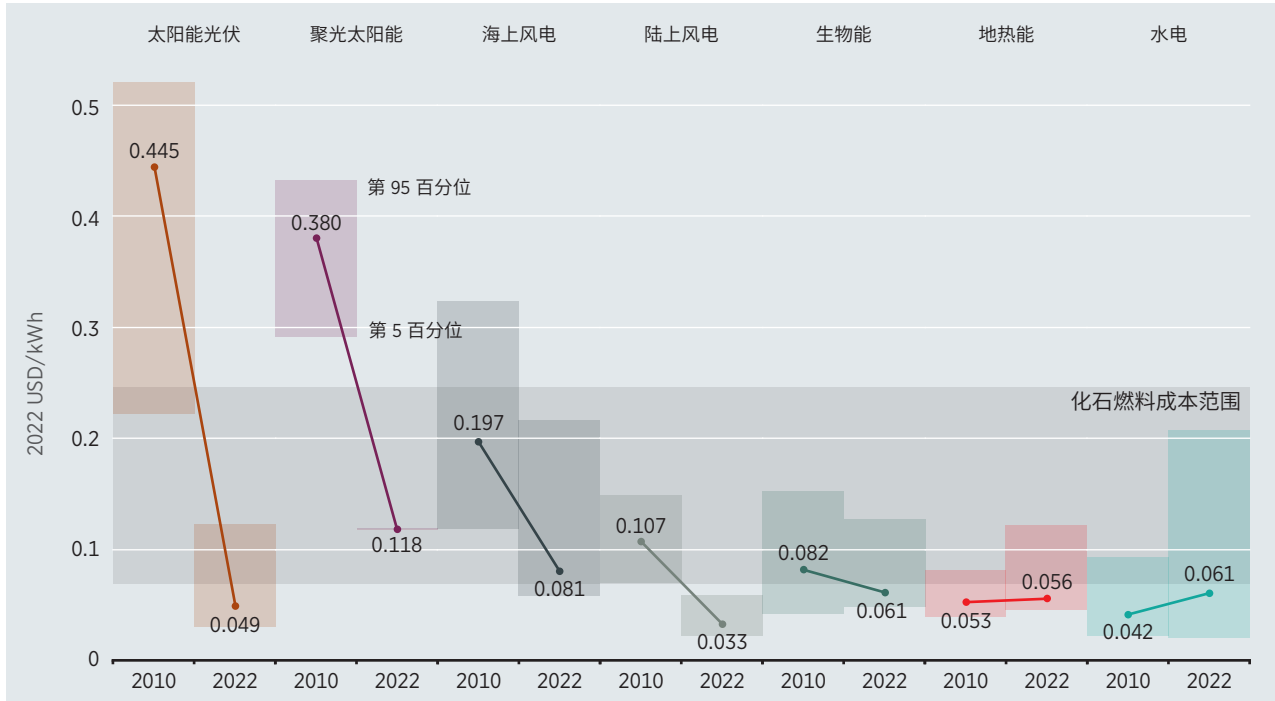
从 2010 年到 2022 年，全球新投产的聚光太阳能发电项目的加权平均成本从 0.38 美元/千瓦时下降到 0.118 美元/千瓦时，降幅达 69%。尽管每年都有波动，但聚光太阳能发电的 LCOE 在 2010 年至 2020 年间迅速下降。然而，自 2020 年以来，延期完工或包含新颖设计的项目的陆续投产使得该技术的全球加权平均电力成本停滞不前。聚光太阳能发电将受益于额外的政策支持，因为目前仅累计部署了 6.5GW 的发电项目，却实现了令人印象深刻的成本降低幅度。

2010-2020 年期间，**生物能源发电项目**的全球加权平均 LCOE 经历了一定程度的波动，没有明显的上涨或下降趋势。然而，2022 年，生物能源的全球加权平均 LCOE 为 0.061 美元/千瓦时，比 2021 年的值低 13%，比 2010 年的 0.082 美元/千瓦时低四分之一。

对于地热项目，全球加权平均 LCOE 在 2021 年至 2022 年期间下降了 22%，至 0.056 美元/千瓦时。这比 2010 年高出 6%，但在 2013 年至 2021 年期间，价格在 0.053 美元/千瓦时至 0.091 美元/千瓦时之间波动。

2010 年至 2022 年间，**新投产水电项目**的全球加权平均 LCOE 上涨了 47%，从 0.042 美元/千瓦时上涨至 0.061 美元/千瓦时。尽管全球加权平均成本在 2022 年上涨了 18%，但这一价格仍低于最便宜的新型化石燃料发电方案。与 2021 年相比，2022 年的成本上涨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。

图 S.4 2021 和 2022 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 2022 年的化石燃料发电成本，其中假设 2021 年的化石天然气价格为正确的生命周期基准，而不是 2022 年能源危机时的价格。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。



