

浮动光伏优化可再生能源结构： 浮动太阳能板初具商业可行性

在技术进步和经济改善的推动下，亚太地区率先部署浮动光伏阵列

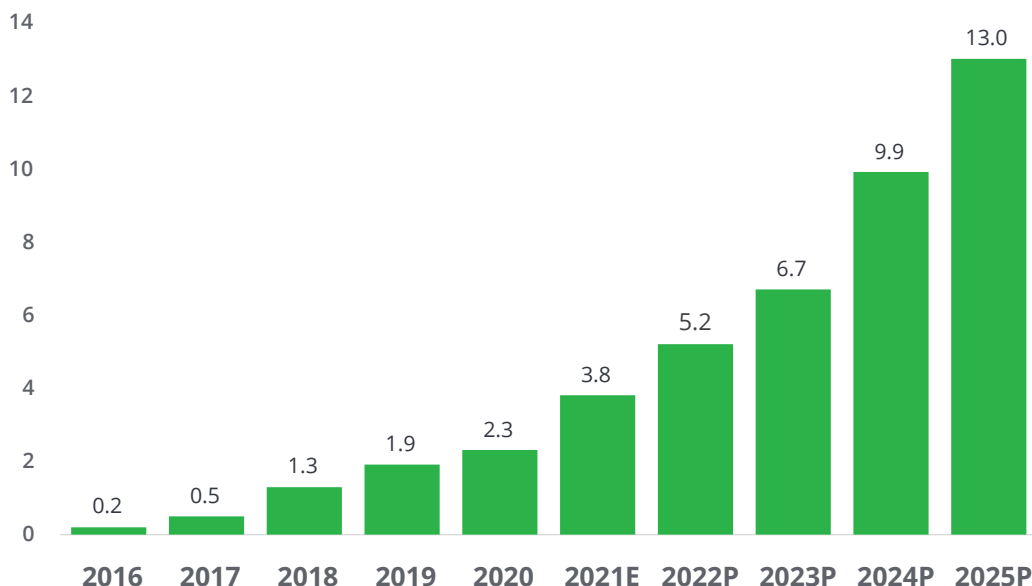
有些地区没有足够的土地可以修建大型光伏阵列，但很快就能在湖泊和水库上安装。根据德勤全球预测，全球浮动光伏发电总装机容量将在2022年底最高达到5.2吉瓦(GWp)¹，耗资40-50亿美元。²新的浮动光伏发电

也称为浮动太阳能技术，太阳能板浮动安装在水面而非土地上。预计新的装机量将在2021年和2022年总计增加2.9 GWp，超过2008年至2020年这13年的总量。³2025年，全球累计浮动光伏发电总量将达到13 GWp (图1)。

图1

全球浮动光伏发电总量将在2025年达到13 GWp

全球浮动光伏发电累计装机总量，2016年-2025年（GWp）



资料来源：基于公开来源的数据和信息的德勤分析。
注：E表示估值，P表示预期值。

浮动光伏为太阳能发电提供更多选择

我们预测，在经历较长时间的缓慢发展后，各地区将在多重因素的推动下实现浮动光伏发电持续增长。⁴在亚太地区，多个政府已制定宏大的可再生能源目标，而太阳能被纳入这些国家的计划以推动实现目标。然而，农业和房地产等领域争夺稀缺土地导致土地获取成本持续增加。⁵人口高密度也限制了土地供应，导致依赖土地的光伏发电面临商业化挑战。在这些情况下，对于拥有适宜水体的亚太国家，浮动光伏发电或将成为一种切实可行的方案。此外，该地区许多发展中国家存在电力短缺问题，加之经济有望实现强劲增长，这些国家将出现能源需求增加情况。⁶事实上，2020年亚太地区在全球浮动光伏发电总装机

量的占比超过90%，并且目前已率先采用浮动光伏发电，而未来三至五年内，绝大多数的新增浮动光伏发电总容量也将出现在该地区（图2）。

新的浮动光伏发电也称为浮动太阳能技术，太阳能板浮动安装在水面而非土地上。预计新的装机量将在2021年和2022年总计增加2.9 GWp，超过2008年至2020年这13年的总量。

图2

全球多数大型浮动光伏发电项目位于亚太地区

容量至少达到300 MWp的部分大型浮动光伏发电项目，2020年-2025年

项目及详情	国家	水体类型	容量 (MWp)	具体情况
杭州风凌电力科技有限公司—慈溪浮动太阳能发电场	中国	水库	320	2020年完工
Saemangeum 浮动太阳能项目 (一期)	韩国	河口潮滩 (黄海岸边)	1,200	一期—预计2022年末/2023年初完工
同奈省	越南	淡水池塘/湖泊	500	预计2023年完工
中央邦Omkareshwar大坝	印度	水电站水库	600	预计2023年完工
Manair大坝水库	印度	水电站水库	300	将于2023年完工 (可行性研究已完成)
巴丹岛南端的Duriangkang水库	印尼	水库	2,200	2022年启动, 将于2024年-2025年完工
Saemangeum 浮动太阳能项目 (二期)	韩国	河口潮滩 (黄海岸边)	900	二期—将于2025年完工
属于国家电力设施的水力设施	越南	水电站水库	400	开展竞拍
临近各种水电站的水库	葡萄牙	水库	500	开展竞拍

资料来源：基于公开来源数据和信息的德勤分析。

非洲将会成为另一个发展浮动光伏发电的成熟市场。多个非洲国家面临电力供应受损和干旱问题。此外，阳光照射过强导致水库水量蒸发严重，浮动太阳能板需要解决这一问题。一项科学研究发现，浮动光伏发电即使只覆盖1%的非洲水电站大坝水库，就能让非洲大陆的水电站发电量翻一番，达到58 GWp。⁷

欧盟颁布多项关于可再生资源的优惠政策，如“Fit for 55”计划⁸，因此浮动光伏发电也将在该地区迅速普及，从而加速浮动光伏发电等新兴可再生能源技术的采用。通过“Fit for 55”计划，欧盟致力到2030年将碳排放量降低55%。11月举行的《联合国气候变化框架公约》第二十六次缔约方会议 (COP26) 可能达成脱碳协定，这也将引发更多关注。西欧的可再生能源应用较为普及，目

前主要把浮动光伏发电作为现有可再生能源设施的补充，但欧洲早期试点表明他们的兴趣日渐加深。例如，葡萄牙、荷兰、法国和挪威计划在水电站大坝水库和海岸线边上部署浮动光伏发电设施。北海和亚得里亚海上也在进行试点，以评估采用浮动光伏发电辅助海上风电场的可行性。⁹

全球多个地区的政府为推动浮动光伏发电发展提供支持，包括独家招标/竞拍和电价补贴以鼓励加大光伏发电容量。然而，即使有这些激励措施，部分地区采用浮动光伏发电的速度也较为缓慢。例如，美国拥有辽阔的土地，将继续推动地面安装的太阳能光伏项目，尽管浮动光伏发电最初获得过一些关注 (例如，Fort Bragg宣布在2020年末启动1.1 MWp的浮动光伏发电项目)。¹⁰

浮动光伏发电为可再生能源项目开发商带来不同的运营和环境效益，因此具备商业可行性。一方面，相较于传统的地面太阳能系统，浮动光伏发电能够提供更多部署选择。浮动面板可以安装在湖泊、水域盆地、水处理厂、饮用水水库、大坝水库、河口潮滩，甚至是沿海岸。¹¹多个试点项目表明，浮动光伏发电还能安装在渔场上，并且不会对鱼类产生影响。¹²

水电站开发方和运营方也能获益于浮动光伏发电。多个亚太和欧洲国家计划在水电站大坝上安装100 MWp以上的浮动光伏发电系统，通过降低蒸发导致的水量流失，提高水能发电量。¹³由于水电厂已经并网，而且变电站和基础设施也可供使用，因此在大坝水库上安装浮动光伏发电的投入将会少于安装地面太阳能光伏。水力和太阳能混合发电系统也能在各个季节有效管控整体发电量。¹⁴一些水电站计划利用浮动光伏发电应对用电高峰，例如采用抽水蓄能水电站存储额外的太阳能发电量。¹⁵

浮动光伏发电也将是居民和小规模商业用户的一大选择，他们的能源需求在5-20千瓦（峰值），只要安装在水体附近就能提供电力。虽然屋顶太阳能板相较之下更容易安装，但浮动面板仅需安装在屋顶，就能克服屋顶角度导致的限制性，不解决这些限制性会影响能量获取及电量。¹⁶此外，在附近湖泊或水库上安装的浮动光伏发电设施能够产生足够的能量，以支持附近大范围居民和小规模商业单位的电量，比在每栋楼上安装面板上更方便。

当然，浮动光伏发电也存在风险和不确定性。少有技术人员熟悉浮动光伏发电的运营和维护程序，因此维护是一大挑战。长远的环境影响目前也尚不可知，而且浮动光伏发电项目的监管规定和许可往往都比较复杂。

浮动面板可以安装在湖泊、水域盆地、水处理厂、饮用水水库、大坝水库、河口潮滩，甚至是沿海岸。

从长期来看，浮动光伏发电厂商和运营方想要实现浮动光伏发电项目的自给自足，则需要整体需求的增加。可再生能源购电协议能够通过多年协定锁定容量，并将在确保资金和创造收入来源方面发挥至关重要的作用。地面太阳能光伏发电同样如此，浮动光伏发电项目的买方也将面临一些风险，例如天气波动以及多年购电协议的财务和成本影响。

鉴于这些因素，加之浮动光伏发电技术仍处于发展初期，能源生产商认为浮动光伏发电项目比更成熟的传统可再生能源技术的风险更大。尽管如此，一个特别的浮动光伏发电项目的运营、环境和技术效益仍能实现利大于弊，让项目能够吸引有能力提供资金支持的金主和银行。

小结

能源生态系统参与者包括太阳能和水电生产方和运营方、光伏系统开发方、企业、居民消费者、清洁能源公司以及技术解决方案提供商。根据他们各自在价值链上发挥的作用，这些参与者均有机会从浮动光伏发电中挖掘新价值。

技术公司可以帮助企业计划、开发和部署浮动光伏发电的基础设施，并且在部署后进行维护，评估和监督性能表现。半导体公司可以设计和开发太阳能板的核心生产设施和芯片组。软件提供商则帮助企业 and 政府利用基于人工智能的总览表，设计、计划、审查和大幅调整可再生能源来源（包括浮动光伏发电）的能效目标，他们还能开发产品监控天气，并在管理浮动光伏发电面板时提供情境感知服务。分析服务提供商可以和可再生能源终端用户合作，帮助他们了解面板安装地点和方式。他们还能支持浮动光伏发电运营商评估电网运营，尽早发现系统问题。

除了带来这些潜在的收入机会外，浮动光伏发电还属于企业通过购电协议承揽整体清洁能源结构投资的一部分。其中一个新的用例是，数据中心和云服务提供商利用浮动光伏发电为自己的业务运营提供能源供应。有些东南亚国家已经在试验潜水数据中心，利用周边的水体充当冷却剂。浮动光伏发电还可以安装在这些数据中心顶部或者附近，作为备用电力或者主要电力来源。¹⁷

随着技术进步和商业兴趣的提升以及采用范围的扩大，浮动光伏发电即将在可再生能源领域站稳脚跟。浮动太阳能板将与其他可再生能源来源一起，为创造更清洁的世界提供电力支持。

尾注

1. 峰值电量 (Wp) 是指一块光伏面板能够提供的最大电量 (基于标准温度和日照情况)。标准情况是指太阳辐射为1,000瓦/平方米、温度为25° C 或者77° F、晴天, 例如中午/正午。
2. 根据间接研究的数据和信息, 一个100 MW浮动光伏发电厂项目的平均成本为8,000万至1.2亿美元。因此, 2022年全球投资总额或将达到40亿至50亿美元。
3. World Bank Group, ESMAP and SERIS. 2019. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. Washington, DC: World Bank (published October 2018).
4. 尽管第一批浮动光伏发电装机项目于2007年完工, 但2018年全年全球装机容量仅为1 GWp左右。
5. 例如, 由于过度投入安装地面太阳能面板, 韩国面临土地相关问题。进一步阅览: Emiliano Bellini, Korea's South Jeolla province is becoming a solar hub, pv magazine, September 18, 2019.
6. 例如, 2021年至2025年期间, 韩国、印度、越南、泰国和中国计划累计增加超过5 GWp的浮动光伏发电容量。仅韩国就计划到2030年新增2.1 GWp的容量。浮动光伏发电较海上风电获得更多关注, 主要归结于在亚太地区相对较低的风速, 而北欧地区风力资源往往都比较丰富。
7. Fred Pearce, Floating solar ready for take-off, Eco-Business, May 21, 2021.
8. 为了推进欧盟的绿色协议, 欧盟还制定了到2050年实现碳中和的目标, 要求未来大幅降低温室气体排放量。为了实现碳中和, 欧盟采取阶段性措施, 提出2030年气候目标, 致力于到2030年将排放量至少降低55%。进一步阅览: European Council website, last accessed October 6, 2021.
9. 基于公开来源信息的德勤分析。
10. Jean Haggerty, Floating solar nearing price parity with land-based US solar, pv magazine, October 7, 2020.
11. EnergySage website, Floating solar: what you need to know, last accessed October 6, 2021.
12. Timothy McDonald, Could fish farms inspire the next wave of solar energy?, Tech For Impact, August 18, 2020.
13. Emanuele Quaranta, Floating solar + hydropower hybrid projects can benefit both technologies, Solar Power World, May 28, 2020.
14. 世界银行的一项研究揭示了水电和太阳能如何互补。太阳能光伏发电量处于最大值时, 水库将在夏季蓄水。而在雨季和冬季, 光伏发电处于低位和/或无论何时用电需求上升, 可以释放水源加大水电发电量。进一步阅览: "World Bank Group, ESMAP and SERIS. 2019. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. Washington, DC: World Bank."; 此外, 国际金融公司的一项报告表明, 葡萄牙水电站水库安装浮动面板后, 发现太阳能光伏阵列产生的额外电力有助于调节水电站的总发电量。
15. NREL News Release: Untapped Potential Exists for Blending Hydropower, Floating PV, September 29, 2020.
16. 基于学术论文: Techno-economic evaluation of a floating PV system for a wastewater treatment facility, KTH School of Industrial Engineering and Management (Stockholm), 2019.
17. 基于公开来源信息的德勤分析。

关于作者

Jeff Loucks | United States | jloucks@deloitte.com

Jeff Loucks is the founder and executive director of Deloitte's Center for Technology, Media & Telecommunications (the TMT Center). Using original research and deep industry expertise, Loucks and the Center develop insights that reveal emerging trends so executives can anticipate change rather than reacting to it.

Duncan Stewart | Canada | dunstewart@deloitte.ca

Duncan Stewart is the director of research for the Technology, Media & Telecommunications (TMT) industry for Deloitte Canada. He presents regularly at conferences and to companies on marketing, technology, consumer trends, and the longer-term TMT outlook.

Ariane Bucaille | France | abucaille@deloitte.fr

Ariane Bucaille is Deloitte's global Technology, Media & Telecommunications (TMT) industry leader and also leads the TMT practice and the TMT Audit practice in France. She has more than 20 years of experience and is a chartered and certified public accountant.

Gillian Crossan | United States | gicrossan@deloitte.com

Gillian Crossan is a principal in Risk & Financial Advisory, Deloitte & Touche LLP, and leads the global technology industry sector. She has been with Deloitte for more than 25 years and has worked across sectors including energy, health care, consumer products, and technology.

致谢

The authors would like to thank the following individuals for their contributions to this chapter: **Ankit Dhameja, Wendy Gerhardt, Sonal Shah, and Glenn Snyder.**

关于德勤科技、传媒和电信行业中心

德勤科技、传媒和电信行业 (TMT) 中心专注于研究并发表洞察, 以帮助企业领导者清晰了解其业务选择。在新技术和新趋势背景下, 本中心的研究将协助企业高管简化复杂的业务问题, 并提出明智策略, 提升企业长久竞争优势并赢得商业胜利。本中心将作为值得信赖的顾问, 帮助高管更好地识别风险, 获悉商业回报, 赢取关键机遇, 从而在快速变化的TMT环境中解决棘手挑战。

联系我们

了解有关科技、传媒和电信行业中心的更多信息并获取最新研究和洞察报告, 请访问 www.deloitte.com/us/tmtcenter。

订阅

如您想接收TMT行业电子邮件, 请访问<https://my.deloitte.com/subscriptions.html>, 选择您感兴趣的领域进行订阅。

关注我们

敬请关注 [@DeloitteTMT](https://twitter.com/DeloitteTMT)。

德勤科技、传媒和电信行业汇聚了全球最顶级的行业专家, 组成全球最大的专业团队之一, 协助各类形态和规模的企业在数字化时代蓬勃发展, 成就辉煌。德勤科技、传媒和电信行业专家致力于为企业丰富的定制化服务, 帮助他们顺应变革趋势, 抢占行业先机, 所服务的客户遍布全球, 覆盖全价值链。敬请联系作者或访问www.deloitte.com, 了解更多信息。

Deloitte.

Insights

敬请登陆 www.deloitte.com/insights 订阅德勤洞察最新资讯。



敬请关注 @DeloitteInsight

参与人员

编辑： Junko Kaji, Preetha Devan, Prodyut Ranjan Borah, Rupesh Bhat, Arpan Kumar Saha, Ribhu Ranjan, Emma Downey, Nairita Gangopadhyay, Blythe Hurley, and Aparna Prusty

创意： Jaime Austin, Sylvia Yoon Chang, Govindh Raj, Sanaa Saifi, and Rishwa Amarnath

推广： Maria Martin Cirujano

封面设计： Jaime Austin

关于德勤

Deloitte (“德勤”) 泛指一家或多家德勤有限公司, 以及其全球成员所网络和它们的关联机构。德勤有限公司 (又称“德勤全球”) 及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体。德勤有限公司并不向客户提供服务。请参阅 www.deloitte.com/about 了解更多信息。

关于本刊物

本通讯中所含内容乃一般性信息, 任何德勤有限公司、其全球成员所网络或它们的关联机构 (统称为“德勤组织”) 并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前, 您应咨询合格的专业顾问。

我们并未对本通讯所含信息的准确性或完整性作出任何 (明示或暗示) 陈述、保证或承诺。任何德勤有限公司、其成员所、关联机构、员工或代理方均不对任何方因使用本通讯而直接或间接导致的任何损失或损害承担责任。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体。

CQ-035SC-21

© 2021。欲了解更多信息, 请联系德勤全球。