

News & Highlights

水上太阳能电池板能否引发关注?

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

6300 km 的运河纵横交错，将水源源不断地输送到美国加州的肥沃农田以及洛杉矶等城市[1]。但从2024年开始，那些穿越加州中央山谷的旅行者们将会在莫德斯托市附近看到一些不同寻常的东西：在农业区蜿蜒而过的运河上覆盖着宽达33 m 的太阳能电池板，整个阵列长达3 km 以上（图1）[2]。这些太阳能电池板便是Nexus项目的核心，该项目为一项试点研究，耗资2000万美元，主要用于测试在运河上安装太阳能电池板的可行性以及其性能[3-5]。



图1. 加州中央谷地的一运河顶太阳能电池阵列在2024年完成后的样子（艺术家构想图）。该部分采用桁架设计横跨运河，宽约33 m。来源：Nexus项目（公共领域）

其他水上场所也正在被太阳能电池板所覆盖。漂浮光伏（图2），或称为浮动太阳能设施，正大量出现在世界各地的水库之上[6-7]。这些设施不仅数量越来越多，电池板的阵列规模也越来越大。2021年，一座位于泰国诗琳通水库的45 MW 太阳能设施开放，该设施阵列面积

72 hm²（1 hm²=10 000 m²），是当时世界上最大的漂浮光伏[8]。但在与印度尼西亚巴淡岛上面积1600 hm²、2.2 GW 的在建太阳能项目相比时，它便显得相形见绌，巴淡岛项目计划将于2024年完工[9]。



图2. 一座覆盖于美国加州纳帕谷的Far Niente酒厂内一个水池上的小规模漂浮光伏系统。该系统包含近1000块电池板，与一旁陆地上的电池板一起可产生高达400 kW 的电力，足以满足酒厂的电力需求。来源：SPG太阳能（CC BY-SA 3.0）。

尽管目前浮动太阳能电池板的发电量不足全球太阳能总发电量的百分之一[7]，但只要将全球水库总面积的10%覆盖上该类设备，便可产生4000 GW 的电力，相当于现有所有化石燃料发电厂生产的电力总和[7]。位于加拿大安大略省伦敦市的韦任敦大学（Western University）的电气与计算机工程教授Joshua Pearce说：“利用水基太阳能阵列为世界上相当大一部分人供电的想法是非常现实的。”将太阳能电池板安置于水面或水面上方还可以提高

发电效率，带来诸多环境效益，如减少陆地太阳能发电设施建设对农田以及野生动物栖息地的占用[10]。

但关于该项技术的关键工程、经济和环境问题仍未得到解决，包括如何让太阳能电池板在潮湿地区长期运行以及相关设施将对数百万人赖以生存的食物、饮用水和娱乐用水产生哪些影响[7]。就职于美国得克萨斯州爱丁堡市得克萨斯大学里奥格兰德河谷分校的地球、环境与海洋科学助理教授Rafael Almeida说：“水上太阳能的潜力是巨大的，但对该潜力的利用需要权衡。”

根据2021年美国能源部的报告，要想实现2050年的可持续发展目标，美国的太阳能发电能力需要提升近20倍[11]。这意味着美国需要扩建61 000 km²的太阳能电池板阵列，并找到面积与之相等的建造地[7]。其他空间更有限的国家，如日本和韩国，在推进太阳能的使用过程中将面临更大的挑战[7]。

漂浮光伏技术可以帮助减少太阳能项目所需的土地数量。该类项目有望在海洋上运行，例如，一家荷兰公司在北海对一座1 MW的示范模型进行了测试[12]。而水电站水库所具有的几个优势使其成为大多数现有以及计划中的漂浮光伏项目的首选地点。蓄水大坝利用涡轮发电机产生电能，而这些涡轮发电机已经接入电网，漂浮光伏可以将其生产的电力直接输入该输电系统，无需建设新的线路[7]。此外，由于一些水库会捕获有机物质，有机物质的分解会排放出大量的温室气体[13]。通过生产低碳能源，漂浮光伏可以帮助抵消温室气体的释放，Almeida道。同时相较于自然水体，漂浮光伏对水库造成的生态破坏相对来说不那么严重，或者说至少不那么容易引发各方反对。“水库本身已经是一个高度改造过的环境，为什么不通过漂浮光伏发电来对其进一步进行利用呢？”美国纽约州伊萨卡市康奈尔大学自然资源和环境副教授Peter McIntyre说道。

除了减少土地占用外，水上太阳能电池板还具有其他优势。高温会降低光伏电池的效率。将电池板安装在水体上方或水中，可以保持低温，从而提高能量产出[10]。冷却效果的大小取决于当地温度以及光伏板中半导体的材质[1]。在一项实地研究中，研究人员将漂浮太阳能电池板与陆地上的同类电池板进行比较后发现，在荷兰水上电池板产生的电力比陆地上的高出3%，在新加坡则高出6% [14]。

通过对水库表面部分阳光的遮挡，漂浮设施还可以抑制有害藻华[6,15]，减少蒸发造成的水损失。而水上太阳能电池板通过减少蒸发所节约的水量则取决于当地的温度和湿度等条件，以及水库被遮挡的比例。在一项2020年的研究中，Pearce和他的同事对安装于米德湖上的浮动太

阳能电池板的益处进行了估算。米德湖是美国西南部的一个水库，其水位由于干旱已经出现急剧下降[16]。他们计算出，覆盖50%的湖面可以防止 $6.33 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的水分蒸发损失，这足以满足500多万人一年的用水需求[17]。

尽管漂浮光伏具备这些潜在的益处，但其在“基本的工程以及维护方面依旧存在挑战”，而陆地设施并不存在该方面的问题，McIntyre道。波浪便是问题之一。风无阻地吹过水体的距离越大，产生的波浪就越强[18]。目前为止，大多数漂浮光伏设施均部署于平静的小型热带水库之上，在这些地方，电池阵列只需要系泊绳便能实现位置保持[7]。而大型水库上空的风暴所产生的波浪能量“几乎可以击碎任何漂浮系统，为在水面上安装电池板带来更多风险”，McIntyre道。在气候更恶劣区域安装漂浮光伏设施则需要更坚固的设计，以抵御冰层形成和隆起造成的压力，同时需要增加维护和修理预算，相较于陆地光伏阵列，这可能会降低漂浮光伏的经济吸引力[7,19]。

靠近水也会产生问题。潮湿的条件会加速微生物生物膜的生长，其累积会遮挡电池板，降低发电效率。McIntyre说：“越是潮湿的环境便越容易滋生这种生物膜。”为了清除生物膜和其他有机物质，需要对这些电池板进行比陆地电池板更频繁和更积极的清洁，他说道。

而覆盖大面积淡水的环境成本也尚未可知。作为漂浮光伏发电的潜在选择地点，水库身兼多项职能。除了储存饮用水外，一些水电站水库还用来发展渔业这一重要食物来源，并为其他野生动物提供栖息地[7]。对水库的大区域覆盖可能会破坏水域食物网，改变那些决定不同深度的营养物质和氧气供应的混合模式，并引起其他变化。McIntyre说：“如果将一个大型水库的大部分光线遮闭，我们不知道会产生什么后果。”

一项由美国地质调查局在美国纽约州伊萨卡市康奈尔大学纽约鱼类和野生动物合作研究组助理组长Steve Grodsky负责的研究试图寻找出该问题的答案。该研究项目为期两年，将对三种水平的太阳能电池板覆盖率——0%、25%和75%——进行测量，研究其对实验池塘的水生生态系统产生的影响。研究人员将对一系列变量进行测量，包括水化学、蒸发、微生物多样性、水生脊椎动物的丰度，甚至对池塘的声学特性进行研究，该方面研究很重要，因为鱼类和水生无脊椎动物常通过声音交流。Grodsky表示，这项研究以及其他研究可能会发现可以减少漂浮光伏系统不良影响的方法。他说：“使用社会学和生态学变量对工程设计进行考量可以使漂浮光伏成为更具可持续性发展的选择。”

覆盖于运河上的太阳能电池板阵列发展速度不像水库上

那样迅速。印度建设了几个覆盖于运河上的太阳能项目[20]，但Nexus项目是第一个在美国进行测试的该类项目。用太阳能电池板覆盖运河具有诸多与水库中的漂浮太阳能阵列一样的益处。在一项2021年报道的研究中，就职于美国加州大学默塞德分校的Nexus项目团队成员兼助理项目科学家Brandi McKuIn和他的同事对位于加州的八个安装点的潜在回报进行了估算[1]。研究人员对印度运河上使用的两种设计的效果进行了模拟。在第一种设计中，太阳能电池板由一个钢桁架固定在运河上方。在第二种设计中，固定太阳能电池板的框架矗立在运河中，并由拉索固定。

在只考虑发电成本的情况下，科学家们发现，在所有八个地点，建在运河旁边的标准阵列设计明显优于以上两种位于运河上方的设计。但当他们考虑到覆盖运河的其他好处时，结果便产生了反转，这些益处包括可减少水生杂草的生长，而这些杂草本身就需要完全清除；减少水蒸发；以及提高水冷却电池板的效率。在所有八个地点的更完整的核算表明，基于拉索的设计将会带来比附近陆上的阵列更高的回报，而更昂贵的桁架式设计仅在一个地点具有优势[1]。

在加州水资源部的资助下，Nexus项目将对覆盖运河的太阳能阵列能否真正带来这些好处进行测试[21]。在2024年竣工时，运河上将配备两段长度超过3.2 km的太阳能电池板。这个为期两年的项目将对不同的阵列设计进行评估，测量其对水生杂草生长、水温以及运河蒸发等变量的影响。

McKuIn表示，通过对土地的加倍利用，设置于运河上的太阳能设施可以节约农业用地以及野生动物栖息地。如果Nexus项目证实这些电池板具有净正面效益，加州可能会在更多的运河上安装这些电池阵列[21]。McKuIn说：“类似的项目非常重要，这表明我们可以通过充分利用已建成环境来实现能源目标。”

References

[1] Castelvocchi D. These ‘quantum-proof’ algorithms could safeguard against

- future cyberattacks [Internet]. London: Nature; 2022 Jul 11; [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01879-6>.
- [2] Boutin C. NIST asks public to help future-proof electronic information [Internet]. Gaithersburg: NIST; 2016 Dec 20 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://www.nist.gov/news-events/news/2016/12/nist-asks-public-help-future-proof-electronic-information>.
- [3] Palmer C. Google takes a big step toward quantum computing. *Engineering* 2020;6(4):381–3.
- [4] Palmer C. Quantum computing quickly scores second claim of supremacy. *Engineering* 2021;7(9):1199–200.
- [5] Shor PW. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. In: *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*; 1994 Nov 20–22; New Mexico. New York: IEEE; 1994. p. 124–34.
- [6] Vandersypen LMK, Steffen M, Breyta G, Yannoni CS, Sherwood MH, Chuang IL. Experimental realization of Shor’s quantum factoring algorithm using nuclear magnetic resonance. *Nature* 2001;414(6866):883–7.
- [7] O’Shea D. NIST picks initial post-quantum security standards [Internet]. New York: Fierce Electronics; 2022 Jul 7 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://www.fierceelectronics.com/electronics/nist-picks-initial-post-quantum-security-standards>.
- [8] Venables P. How Google is preparing for a post-quantum world [Internet]. Mountain View: Google; 2022 Jul 6 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://cloud.google.com/blog/products/identity-security/how-google-is-preparing-for-a-post-quantum-world>.
- [9] Smith DI. Data is vulnerable to quantum computers that don’t exist yet [Internet]. New York: IEEE Spectr; [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/post-quantum-cryptography>.
- [10] Westerbaan B, Rubin CD. Defending against future threats: Cloudflare goes post-quantum [Internet]. San Francisco: Cloudflare; 2022 Oct 3 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://blog.cloudflare.com/post-quantum-for-all/>.
- [11] Carlson EK. New standards release sets stage for 5G future. *Engineering* 2021; 7(3):275–6.
- [12] Leslie M. Legacy information technology compounds pandemic pain. *Engineering* 2021;7(4):415–7.
- [13] Grimes RA. All you need to know about the move from SHA-1 to SHA-2 encryption [Internet]. Needham: CSO; 2017 Jul 6 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://www.csoonline.com/article/2879073/all-you-need-to-know-about-the-move-from-sha1-to-sha2-encryption.html>.
- [14] Lomas N. Security researchers announce “first practical” SHA-1 collision attack [Internet]. San Francisco: TechCrunch; 2017 Feb 23 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://techcrunch.com/2017/02/23/security-researchers-announce-first-practical-sha-1-collision-attack/>.
- [15] Liu N. China, Russia to adopt ‘slightly different’ PQC standards from US [Internet]. Denver: SDX Central; 2022 Oct 19 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://www.sdxcentral.com/articles/analysis/china-russia-to-adopt-slightly-different-pqc-standards-from-us/2022/10/>.
- [16] Whalen J. Chicago scientists are testing an unhackable quantum internet in their basement closet [Internet]. Washington DC: Washington Post; 2022 Oct 9 [cited 2022 Oct 30]. Available from: <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/10/09/quantum-internet-chicago-argonne/>.
- [17] Leslie M. Quantum cryptography via satellite. *Engineering* 2019;5(3):353–54.
- [18] Ropek L. Supposedly quantum-proof encryption cracked by basic-ass PC [Internet]. New York: Gizmodo; 2022 Aug 2 [cited 2022 Nov 13]. Available from: <https://gizmodo.com/quantum-encryption-algorithm-nist-broken-single-core-pc-1849360898>.
- [19] Post-quantum cryptography: digital signature schemes. Gaithersburg: NIST; 2022 Aug 29 [cited 2022 Nov 16]. Available from: <https://csrc.nist.gov/Projects/pqc-dig-sig/standardization>.