



Task 13 光伏系统的可靠性和性能

S
P
V
P
S

摘要

双面跟踪

2024 年7月

作者: Stein, J., Maugeri, G.

Task 13 组长:

Ulrike Jahn, Fraunhofer CSP, Germany

Laura Bruckamn, Case Western Reserve University, USA

Giosué Maugeri, RSE, Italy



双面跟踪

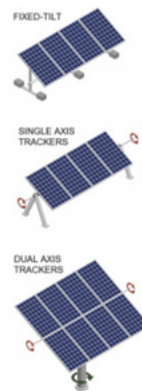
光伏（PV）组件的发电量不仅可以通过效率更高的太阳电池提升，还可以通过创新的系统概念来实现。

双面光伏组件：

新的电池设计使光线可以从背面进入电池，效率相比前表面从60%提升到90%以上。

跟踪系统：

单轴（1T）和双轴（2T）跟踪系统根据太阳位置调整光伏组件的方向，减少太阳入射光线与光伏组件平面法线的夹角。



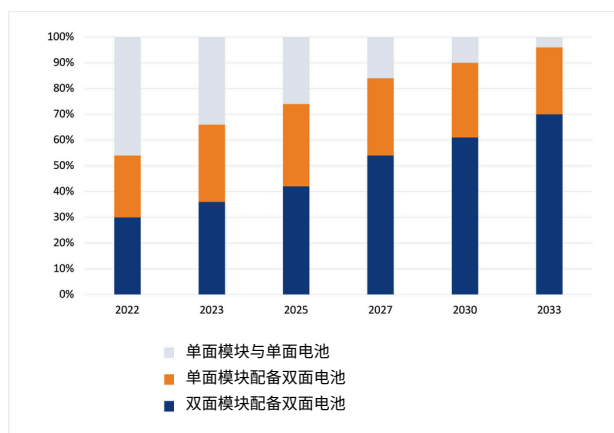
结合双面组件和单轴跟踪器可以使发电成本最低，并显著提高发电量（相比常规系统多35%的发电量）。

双面跟踪系统在全球超过90%的地区具有最低的平准化度电成本（LCOE）。其LCOE比常规系统低16%。

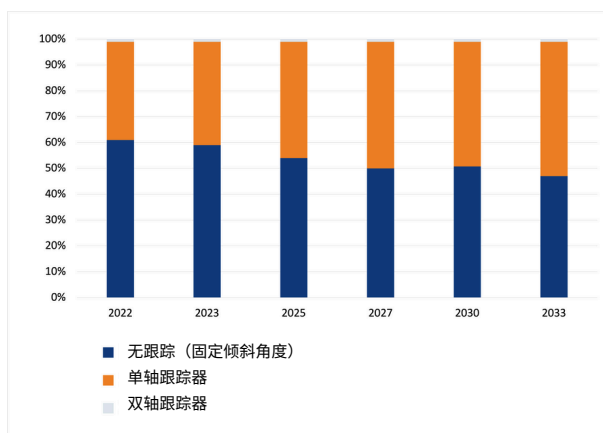
市场发展

双面光伏电池和组件技术正在迅速超越单面光伏技术的市场份额。跟踪器（特别是单轴跟踪器）的市场份额也在逐渐增长。

单面和双面组件的全球市场份额



晶硅光伏跟踪系统的全球市场份额



请参阅Fischer等人的《国际光伏技术路线图：2022年结果》，2023版。



市场趋势与驱动因素

- 价格取决于设计因素、地形拓扑和钢铁价格。单轴跟踪系统比固定支架系统增加约20%的年发电量。开发商重视可靠的交付时间表和设备的可用性，愿意支付更高的费用。
- 供应链问题和市场价格至关重要（例如钢铁——使用本地供应商可以抵消成本和碳排放）。
- 众多公司正专注于特定市场领域（例如农业光伏的双重用途，部署在非农业或可用土地上，以及山地地形）。但对土地利用和价值的评估尚有分歧。

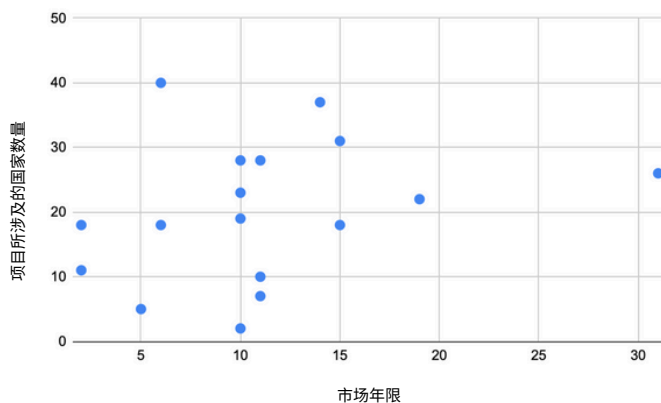
跟踪器概述

安装选项				跟踪器的长度	
1-up	2-up	倾斜	双轴	框架内的双轴	
安装方法				认证	
打桩	混凝土桩	其他类型（滑模成型；螺旋）		风	冰雹
运动的驱动因素				算法	
中央电机	独立架构			回溯法	极端天气响应方法
				回溯法 优化 坡度感知 清洁 安全	
				跟踪器控制器会响应风力、冰雹和雪等传感器或警报，并调整倾斜角度，以减少模块风险。	

国际能源署光伏领域第13工作组从与17家跟踪器公司的访谈（涵盖2012年至2021年全球市场份额超过 87%）和对2022年Wood Mackenzie全球太阳能光伏跟踪器报告综述中获取了数据结果。

跟踪器公司具有国际化特点：

- 70% 的公司至少经营了10年。
- 约50% 的公司在超过20个国家销售跟踪器。
- 超过80% 的公司在超过10个国家销售跟踪器。





优化发电量和价值的系统设计

回溯跟踪：

随着光伏组件之间出现遮挡，跟踪角度不再跟随太阳的路径，而是向后调整（减小），以防止遮挡。所有受访的跟踪器公司都提供回溯跟踪功能的产品。

复杂地形对某些跟踪器设计构成挑战。

- 垂直于光伏阵列方向的坡度变化需要调整每一行光伏跟踪器的倾斜角度。
- 平行于光伏阵列方向上的坡度变化需要在跟踪器扭矩管上使用柔性联轴器。

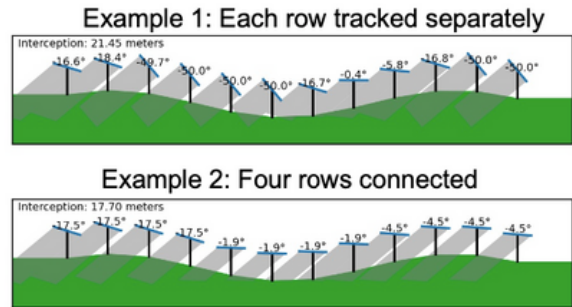


Figure by Kevin Anderson, Sandia

特定天气条件需要快速调整跟踪器：

- 跟踪器控制器接收现场的风力（有时是冰雹）传感器的信号。
- 倾斜跟踪器角度调整以保护系统和组件
 - 最大倾斜角度 - 例如，防冰雹或积雪
 - 水平位置 - 在阵风时减少帆船效应

性能建模和发电量评估

国际能源署光伏领域第13工作组（任务2.3）目前正在进行双面光伏跟踪系统实证研究。作为该任务的一部分，我们正在组织一项光伏性能建模研究的盲样对比，比较不同建模工具对于不同系统设计参数的性能预测结果。要求各参与单位根据提供的系统设计和天气数据，模拟一组六个虚拟的光伏系统性能。

建模对比中的情景定义

情景假设包括以下变化：

- 地表覆盖率
- 反射率
- 轮毂高度
- 配置
- 地表面

情景	地面覆盖	反射率	轮毂高度	配	地面表面
S1	0.4	0.2	1.5 米	竖版	横向
S2	0.25	0.2	1.5 米	竖版	横向
S3	0.4	0.5	1.5 米	竖版	横向
S4	0.4	0.2	3.5 米	竖版	横向
S5	0.4	0.2	1.5 米	竖版	向东倾斜10%
S6	0.4	0.2	1.5 米	竖版	向西南倾斜10%



国际能源署光伏领域第13工作组任务2.3：双面跟踪

第13工作组的目标是提供一个公共平台，开展光伏组件和系统在不同环境和应用场景下的质量、性能和可靠性能研究。为此，我们收集来自全球不同光伏系统及组件的性能模型和测试数据，包括每个国家多样化的案例，以及多种光伏技术和系统设计的经验。第13工作组的研究成果将以报告、技术论坛、研讨会、网络等形式进行发布。



任务包括：

1. 新型光伏材料、部件和组件的可靠性
2. 光伏技术应用的性能和耐久性
3. 技术经济绩效指标（KPI）



参考文献

- C. D. Rodríguez-Gallegos, H. Liu, O. Gandhi, J. P. Singh, V. Krishnamurthy, A. Kumar, J. S. Stein, S. Wang, L. Li, T. Reindl, 和 I. M. Peters. 2020. "双面和跟踪光伏系统的全球技术经济性能." *Joule*, pp. 1514-1541.
- J. S. Stein, C. Reise, J. B. Castro, G. Friesen, G. Maugeri, 和 E. Urrejola. 2020. "双面光伏模块和系统：国际研究和试点应用的经验和结果." 国际能源署光伏光伏技术任务13报告 IEA-PVPS T13-14:2021.
- M. Fischer 等. 2022. "光伏技术国际路线图：2022年结果." VDMA.
- A. Barbón, V. Carreira-Fontao, L. Bayón, 和 C. A. Silva. 2023. "单轴跟踪光伏电站的优化设计和成本分析." *可再生能源* 211: 626–646.
- Y.-M. Saint-Drenan 和 T. Barbier. 2019. "光伏电厂行间阴影效应的数据分析和建模." *太阳能能源* 卷 184: 127-147.
- N. AL-Rousan, N. A. Mat Isa, 和 M. K. Mat Desa. 2018. "太阳能光伏跟踪系统的进展：综述." *可再生与可持续能源评论*, vol. 82: 2548–2569.
- D. Fontani, D. Jafrancesco, P. Sansoni, A. Nicolini, A. D. Giuseppe, A. Pazzaglia, B. Castellani, F. Rossi, 和 L. Mercatelli. 2023. "双面模块的现场优化." *光学材料*, Vol. 138.