



任务13 光伏系统的可靠性与性能

SAVE

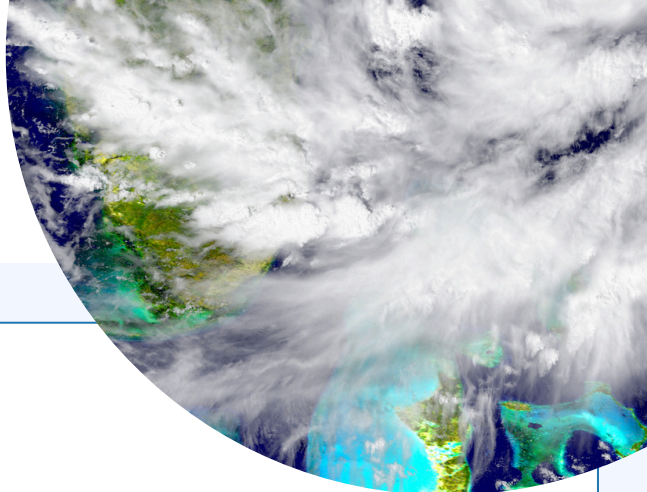
事实清单

针对不同气候的光伏系统优化

2025年7月

作者：

加布里·弗里森，瑞士苏黎世高等专业学院，瑞士 莱昂纳多·米切利，意大利罗马大学，意大利 乌尔里卡·扬恩，德国弗劳恩霍夫中德可持续能源技术中心，德国



为什么必须针对不同气候优化光伏系统？

全球光伏部署正迅速扩展到曾经被认为对太阳能而言挑战过于严峻的地区：沙漠、热带地区和雪量丰富的地区。这些环境提供了强大的光伏潜力，但也引入了独特的设计、运营和可靠性挑战。

国际能源署光伏系统计划第13任务“针对不同气候的光伏系统优化”报告为光伏开发者、规划者和运营商提供针对特定气候的指导，以提高系统性能、减缓衰减并增强可靠性。

气候特异性压力

每种气候都有其自身的压力源：



极端温度
波动



低温



机械应力
(Snow, Ice, Wind)



紫外线照射



湿度



高温



污染



盐雾

为什么特异性气候策略很重要



性能风险：

具有高太阳能潜力的地区可能会遭遇恶劣条件，这将加剧性能损耗，并增加系统压力和退化风险。



环境胁迫：

温度极端、紫外线辐射、湿度、雪、沙和生物膜直接影响能源产出和可靠性。



设计挑战：

针对特定气候的系统设计和减缓策略对于最大化光伏系统寿命和投资回报至关重要。





寒冷多雪气候

这些气候存在于高海拔和高纬度地区，具有长时间的低温期。它们的特点是日照季节变化大，在高中纬度地区太阳高度角低，或在海拔高处偶尔有高紫外线暴露。

积雪、结冰和冻融循环很常见，给光伏系统运行和维护带来了挑战。

压力源和典型问题

雪和冰的形成

积雪可能导致遮阳、增加污损损失，并产生使组件框架变形或导致玻璃破裂的重载荷。结冰会阻挡光线并增加机械应力，而解冻循环则存在进水和再结冰损伤的风险。

低温和热循环

低温会使封装和焊点变脆，使模块更容易开裂。昼夜温差大导致热循环，造成微裂纹和长期可靠性问题。

高强度辐照和紫外线暴露

在高海拔地区，由于高辐照度及雪在紫外波段反射80-90%，增加的紫外线照射会降解背板和封装材料。

风雪流沙

大风可能导致雪被吹移，造成负载不均，增加模块和结构的机械应力。风也可能导致安装系统的相关机械疲劳。

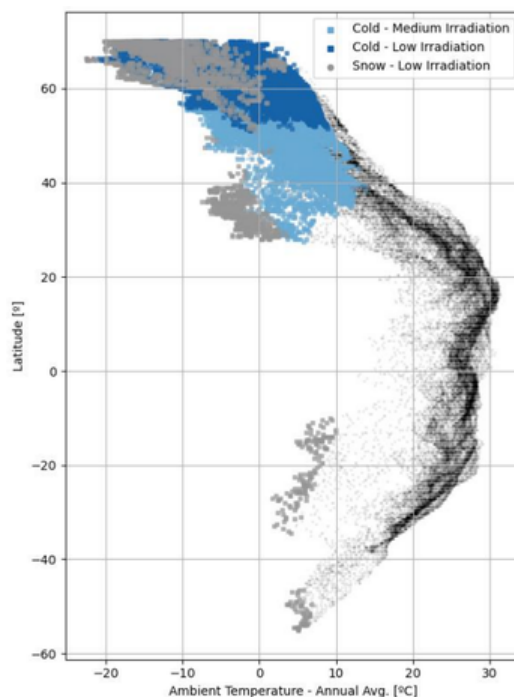


图 1：纬度与年平均环境温度的相关性，突出显示寒冷和降雪/极地柯本·盖革 PV (KGPV) 气候区。

最佳实践和缓解策略



执行详细的积雪荷载分析、风压评估和季节性辐照度研究。当地天气和历史积雪数据可用于预测积雪堆积模式和漂移。



模块应具有加固框架、更厚的玻璃和柔性封装材料，以应对雪载和低温。抗紫外线材料是理想的，用以承受高海拔紫外线辐射。



使用大的倾斜角度和足够的离地间隙来减少雪积，并采用坚固的支架来承受雪和风的载荷。在规划组件串时必须考虑来自雪的遮蔽。



☀️ 炎热干旱气候

极端高温增加模块工作温度，导致热点出现并加速封装材料和背板的降解。灰尘和沙尘导致污染和磨损，减少透光率并造成额外的表面磨损。

压力源和典型问题

污染

这种污染降低了能量转换效率，还可能造成部分遮光，在出现热点时会导致永久性损坏。

高温

模块和逆变器在暴露于高温时可能会受到严重影响，导致效率降低和性能损失。

热循环

高温变化可以在光伏板结构中诱导应力，可能导致分层、材料疲劳和断裂。

咸雾

在沿海地区，咸雾与含有高盐浓度的细颗粒物结合，会导致有害的腐蚀反应。

紫外线辐照度

紫外线诱导降解会导致表面开裂和分层，从而影响组件的性能和耐久性。

大风

风有利于污染物的运输，并造成强烈的机械负载应力和振动，可能导致损坏。

尘埃和沙尘暴

沙尘暴降低能见度，降低地表辐照强度，并加速光伏组件的积尘。

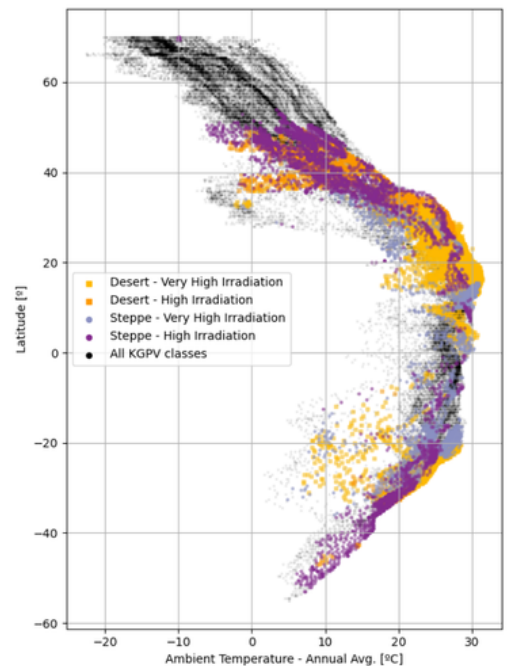


图 2：纬度与年平均环境温度的相关性，突出沙漠和草原 KGPV 气候区。

最佳实践和缓解策略



使用当地气候数据评估污渍率、粉尘成分、风模式和温度波动，以规划清洁需求并优化该场地的系统设计和运维策略。



模块应使用耐紫外线和耐热的封装材料和背板，使用更厚的玻璃以防止沙尘侵害，并使用防污涂层以最大程度地减少清洁频率和减少磨损。



为降低模组温度而设计的强化通风系统，为应对风沙风暴而构建的坚固结构，以及优化倾角和间距以减少污染并最大化能量捕获。



☁️ 炎热潮湿的气候

高湿度及频繁降雨会导致湿气侵入、接线盒和电气连接的腐蚀以及分层。温暖潮湿的条件会促进模块表面生物膜和藻类的生长，降低光捕获能力并增加清洁需求。持续高温也会导致热点并加速光伏组件的老化。

压力源和典型问题

高湿度和高温

高湿度会加剧高温的影响，因为热量不容易从模块中散发，水滴会积聚在太阳能电池板上。这种组合会加速光伏系统中的退化机制。

增强粉尘粘附力

在湿度高的地区，灰尘颗粒更容易、更牢固地粘附在组件玻璃罩上，因此需要彻底清洁。此外，露水也会导致灰尘颗粒发生凝固，使得它们难以通过自然清洁去除。

生物生长

有机生长在潮湿气候中是一个独特的挑战，会负向影响性能并增加维护成本。除了模块之外，紧固件、电缆和接线盒等组件也容易发生生物污染。

高辐照和云量变化

热带和亚热带地区由于云层变化频繁，导致辐照度快速且频繁地变化，这会造成光伏组件温度的快速、低幅度的变化。

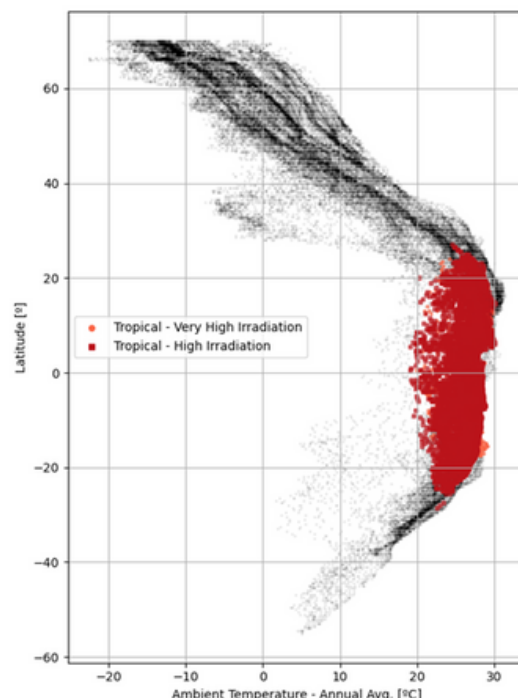


图3：纬度与年平均环境温度的相关性，突出了热带KGP V气候区。

最佳实践和缓解策略



使用天气数据和现场测量评估湿度、降雨强度、生物膜形成潜力和局部辐照度，以指导清洁策略和场地特定设计。



使用防潮封装剂、高阻隔背板、耐腐蚀接线盒和密封良好的边缘，以在高湿度气候中防止水分侵入、分层和腐蚀。



设计有效的排水和气流，以最大程度减少湿气积聚，使用高于最佳倾斜角度和坚固的货架，以减少积水及生物膜的形成，同时确保易于维护。



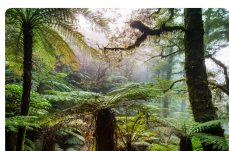
关键点

标准模块是不够的



在缺乏对特定场地要求了解和/或特定气候条件的光伏组件不可用时，通常部署标准产品。此外，对更便宜组件的追求推动了采用更大尺寸、更薄玻璃、更便宜封装材料和背板以及更薄边框的趋势，而这些在当今正增加严苛环境中的组件退化率和故障率。

针对气候的材料必须部署



加强前挡玻璃，改进框架几何形状，抗微裂纹互连，以及先进的封装材料（如POE或硅胶）增强了恶劣条件下的耐用性。正在研究用于防污、耐热、抗雪或防腐蚀的特种涂层，但需要进一步研究以确认其持久性和成本效益。

所有解决方案都需要彻底的测试和研究



通常情况下，旨在解决一个问题而采取的缓解措施可能会无意中加剧另一个问题，因此有必要进行彻底的测试或更深入地理解实际负载条件，以确定最有效的解决方案。

进一步收集数据将至关重要



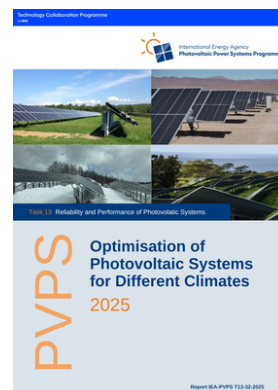
在气候优化的光伏组件方面经验仍然有限，需要在光伏界内交流更多的现场数据和经验教训。

想知道更多？

如果您想了解更多见解和详细数据，请查看完整报告：
[“针对不同气候的光伏系统优化”](#)

关于IEA PVPS任务13

任务13旨在通过总结技术方面、收集全球数据以及通过报告、研讨会、网络研讨会和网络内容传播结果，提高光伏组件和系统的质量、性能和可靠性。任务13的专业知识确保了利益相关者的相关分析，为光伏研究和技术进步、风险缓解和标准化做出了贡献。



关注并订阅！

