

TÜV北德马来西亚N-TOPCon实证：晶科N型双面组件对比P型发电增益高5.69%

为了比较不同类型的光伏组件在户外环境下的发电性能，TÜV北德在马来西亚进行了实证测试，对比 TOPCon 和 PERC 双面组件的发电量差异。

根据测试结果：

- 1、在对比**不同电池技术**对发电量的影响时，182 TOPCon 双面组件比 182 PERC 双面组件的单瓦发电增益高出 **5.69%**；
- 2、在比较**不同电池尺寸**对发电量的影响时，210 PERC 双面组件比 182 PERC 双面组件的单瓦发电增益低 **0.98%**。

1. 项目概述

1.1 项目简介

该项目位于马来西亚雪兰莪州的光伏试验基地。该地区是典型的热带雨林气候，平均温度为 28.2°C，极端最高温度为 38.5°C，年降雨量为 2628mm。

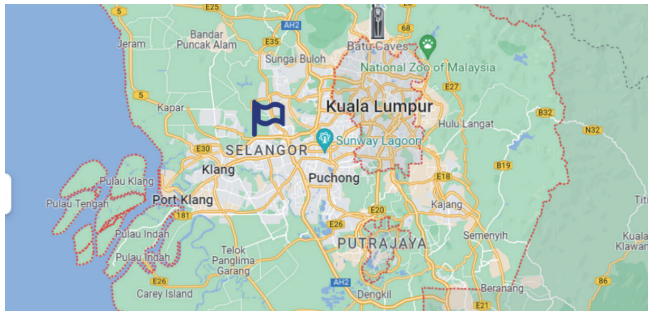


图 1. 电站位置

此次项目使用 6 块不同类型的组件，182 TOPCon 双面组件、182 PERC 双面组件和 210 PERC 双面组件，以 1P 固定支架安装，并通过 HM-1500 微逆变器上网发电。光伏组件基本信息如下：

产品名称	铭牌功率	组件类型	测试组件数量
182 TOPCon 双面	545W	JKM545N-72HL4-BDV	2
182 PERC 双面	540W	JKM540M-72HL4-BDVP	2
210 PERC 双面	645W	N/A	2

每个组件的输出端都安装了高精度传感器，以实时监测组件的发电情况，并通过阿里云平台数字监控系统聚合和计算数据。此外，云平台数字监控系统还可以实现对现场的实时气象数据监测，并计算光伏系统效率（PR 值）。本次研究提供的所有发电测试数据、气象数据和异常数据排除均通过 Python 程序完成，以提高数据处理速度，并减少手动 Excel 处理的低效性、复杂性和易出错性。

项目位置	马来西亚雪兰莪州光伏实验基地
GPS 坐标	北纬 3°2'，东经 101°47'
年太阳暴露小时数	2222.3 小时
年全球水平辐照量	5756.4 兆焦耳 / 平方米
年平均温度	28.2 摄氏度
年平均相对湿度	81%
并网日期	2022 年 12 月
安装方式	固定 1P，倾角 10°
方位角	正南，0°
地面高度	1 米
表面状况	混凝土表面

1.2 组件初始实验室功率

使用 HALM 太阳模拟器测试了 6 块测试组件的初始实验室电气性能参数。初始实验室功率如下所示。

组件类型	组件编号	序列号	Pm (W)
JKM545N-72HL4-BDV	01	E3FXJ1220529610003868729	548.70
	02	E3FXJ1220529610003868860	549.17
JKM540M-72HL4-BDVP	03	E3XXF2220607180074875160	542.87
	04	E3XXF2220609180075820880	544.61
210 PERC 双面组件	05	N/A	650.59
	06	N/A	650.08

1.3 采集设备信息

测试设备主要包括定制的直流侧组件级数据采集系统、气象站和辐照度传感器。监测系统配置如下：数据采集间隔为 5 秒，数据记录周期为 1 分钟。所有以下设备的数据采集精度都能满足试验要求。组件监测设备和气象站通过 RS485 通信电缆连接到数据采集设备。数据采集设备可以通过 4G 无线网络实现稳定的数据传输、本地存储和远程上传到阿里云平台。

设备类别	测量参数	单位	传感器类型	精度
组件级数据采集系统	直流电压	V	Acrel	≤0.5%
	直流电流	A		≤0.5%
	直流功率	W		≤0.4%
	组件温度	°C	T 型热电偶	±0.3 °C
气象站	平面正面辐照度	W/m ²	Kipp&Zonen CMP10	0.2%
	大气压力	Pa	SONBEST SM2182B	±2%
	风速	m/s	Metone034B 风传感器	±1.1%
	风向	°		±4°
	环境温度	°C	Campbell CS215 温度 / 湿度传感器	±0.4 °C
	相对湿度	%		±4%
	降雨量	mm	SR 50A CSE 声纳传感器	0.25mm
辐照度传感器	—	—	Campbell CR1000Xsensor	—

1.4 温度传感器信息

每种类型选择一个作为温度测量组件，并为每个选定的温度测量组件设置 6 个测温点。

2. 项目运营

2.1 异常数据检查

自 2022 年 12 月并网以来，测试系统一直稳定健康运行，未发生严重的系统故障。本报告涵盖从 2023 年 1 月 1 日到 3 月 31 日的测试数据。

2.2 气象数据

根据云平台数字监测系统中配置的气象传感器的统计数据，可以看出累计辐照度为 389.48 千瓦时 / 平方米。平均季度大气压为 994.74 帕斯卡，风速为 3.25 米 / 秒，环境温度为 28.34 摄氏度，相对湿度为 71.11%。

3. 组件运行数据分析

3.1 组件温度性能分析

根据本季度云平台数字监测系统收集的组件温度和输出功率数据，在其正常工作状态下，可以记录每个组件温度范围内的单瓦发电性能。具体不同组件温度范围内的单瓦发电量如下所示：

组件温度范围	JKM545N-72HL4-BDV (kWh/kW)	JKM540M-72HL4-BDVP (kWh/kW)	210 PERC 双面组件 (kWh/kW)
20~30 C	26.93	25.06	25.55
30~40 C	91.27	85.62	82.51
40~50 C	164.15	155.28	151.20
>50 C	91.68	87.92	91.16

不同组件温度范围内的单瓦发电量和增益

3.2 组件低辐照性能分析

根据本季度云平台数字监测系统收集的辐照度和输出功率数据，在其正常工作状态下，记录了每个辐照度范围内的单瓦发电性能，具体不同辐照度范围内的单瓦发电量如下所示：

辐照度范围	JKM545N-72HL4-BDV (kWh/kW)	JKM540M-72HL4-BDVP (kWh/kW)	210 PERC 双面组件 (kWh/kW)
≤200 W/m ²	31.44	34.32	34.55
200~400 W/m ²	61.81	66.28	66.33
400~600 W/m ²	65.45	69.37	69.22
600~800 W/m ²	54.85	57.49	57.01
800~1000 W/m ²	55.82	58.00	56.95
>1000 W/m ²	66.26	68.43	66.36

3.3 组件单瓦发电性能分析

根据 2023 年第一季度的统计数据，比较了每种类型组件的发电量，计算单瓦发电增益时，使用 182 PERC 双面组件 JKM540M-72HL4-BDVP 作为基准。

组件类型	累计发电量 (kWh)	累计单瓦发电量 (kWh)	累计单瓦发电增益
182 TOPCon 双面	205.32	374.03	5.69%
182 PERC 双面	192.42	353.88	BL
210 PERC 双面	227.89	350.42	-0.97%

4. 系统效率 (PR 值)

4.1 测试介绍

为了测试光伏电站的整体系统效率，使用高精度气象数据采集设备连续收集太阳辐照数据，并分析光伏电站的系统效率。

4.2 测试结果

2023 年第一季度每种类型组件的系统效率如下表所示。

组件类型	理论发电量 (kWh)	实际发电量 (kWh)	系统效率 (PR 值)
182 TOPCon 双面	213.80	205.32	96.03%
182 PERC 双面	211.77	192.42	90.86%
210 PERC 双面	253.29	227.89	89.97%

5. 总体评估

在马来西亚试验基地，三种组件在 2023 年第一季度成功完成了户外发电产能测试。测试结果显示，182 TOPCon 双面组件 JKM545N-72HL4-BDV，单瓦发电量为 374.03 千瓦时 / 千瓦，系统效率为 96.03%。182 PERC 双面组件 JKM540M-72HL4-BDVP，单瓦发电量为 353.88 千瓦时 / 千瓦，系统效率为 90.86%。210 PERC 双面组件，单瓦发电量为 350.42 千瓦时 / 千瓦，系统效率为 89.97%。

累计单瓦发电量结果显示：

- 1、在对比**不同电池技术**对发电量的影响时，182 TOPCon 双面组件比 182 PERC 双面组件的单瓦发电增益高出 **5.69%**；
- 2、在比较**不同电池尺寸**对发电量的影响时，210 PERC 双面组件比 182 PERC 双面组件的单瓦发电增益低 **0.98%**。