

光伏系统逆变器转换效率与辐照度综合测试解决方案

全套 DAQ 解决方案，尽在度纬科技

度纬科技 Application Notes-062-V1.0

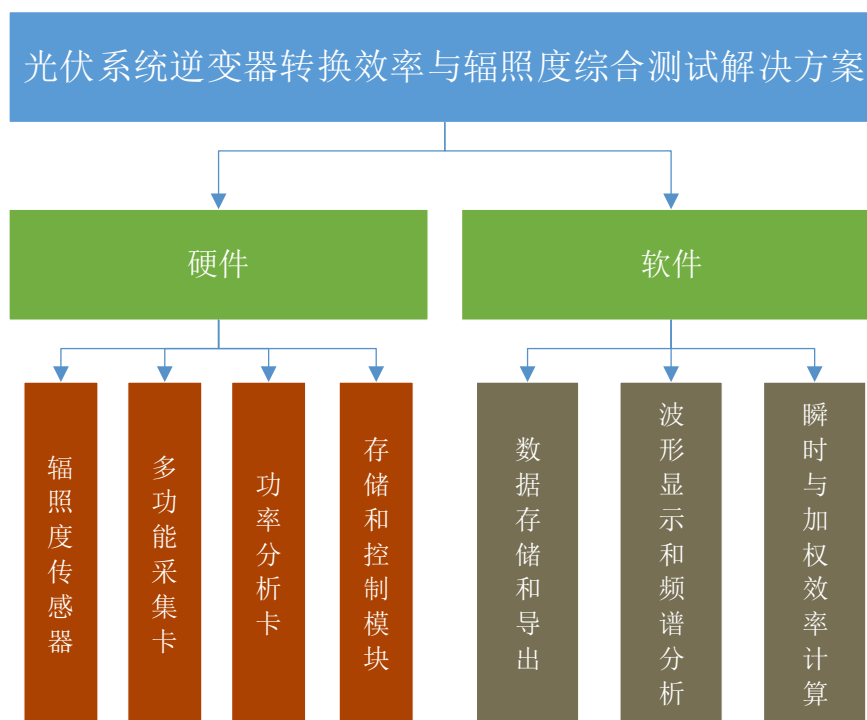
<https://www.doewe.com>

一、方案概述

在光伏电站的全生命周期内，逆变器的能量转换效率直接决定了每一瓦阳光能否高效地并入电网。辐照度的全天候波动——从晨昏低照到正午强照，再到阴云遮挡、尘土堆积或温度升高——都会引起光伏方阵输出电压和电流的动态变化。若未对逆变器在不同光照强度和温度波动下的实时表现进行系统化测试，容易低估功率损耗、误判散热设计裕度，甚至错失算法优化的最佳时机，最终导致平准化度电成本居高不下。此外，部分地区（如公路沿线设施）已对光伏产品制定了严格的检测要求，并出台了相应标准。例如，GB/T 24716-2023《公路沿线设施太阳能供电系统通用技术规范》对逆变器及光伏系统的性能指标提出了明确要求，因此为了满足这些标准，也需要进行相关测试。

因此，有必要搭建一套测试平台：在统一时基下，该平台可同步采集光伏方阵直流侧的电压、电流和瞬时辐照度，同时监测逆变器交流侧的输出电压、电流与功率，并将两侧数据实时对齐、对比分析。这一流程是评估逆变器效率曲线、优化控制策略、提升整体发电收益，并确保符合行业标准的关键步骤。

本方案聚焦光伏发电系统逆变器的转换效率与辐照度特性。通过在直流侧采集光伏方阵的电压、电流与辐照度信号，并同步监测逆变器交流输出端的电压、电流与功率，数据采集系统能够实时计算瞬时转换效率、I-V 曲线特性及功率损耗分布，帮助用户评估逆变器在不同光照工况下的性能极限与能量利用率。系统对 DC / AC 双侧电参量及光照强度的高精度同步采集，使测试人员能够在户外或实验室条件下，快速定位效率瓶颈、验证控制策略，并为组件选型和逆变器算法优化提供可靠数据支撑。测试系统整体结构图如下：



二、测试系统说明

2.1 测试系统原理

系统由硬件与软件两部分组成。硬件部分包括 PXIe 数据采集系统与辐照度传感器。系统配备两张功率分析板卡，可同步测量 8 路电压与 8 路电流，覆盖光伏阵列直流侧与逆变器交流侧的输入/输出功率；另配一张多功能采集卡，用于采集辐照度传感器发出的信号，并可按需扩展温度、应变等模拟量，实现环境量与电参量一体化采集。所有通道依托 PXIe 背板统一时基，数据直接写入采集系统内置的高速存储模块，确保长时高频测试数据完整、连续，并支持实时波形查看、效率计算和频谱分析。

软件平台提供“一站式”采集与分析环境：它与功率分析通道和辐照度通道联动，同步记录光伏方阵直流侧与逆变器交流侧的电压、电流、功率及光照强度，实时显示时域波形，必要时可切换到频谱视图进行谐波检查；系统自动计算瞬时与加权效率，并根据 NB/T 32004-2018、NB/T 32032-2016 等标准给出评估结果；测试结束后，可一键导出原始数据和效率曲线并生成简洁报告，方便后续分析与归档。

通过硬件与软件的协同，本系统可以对光伏方阵-逆变器-负载链路进行同步测量与分析。测试

时，辐照度传感器安装在组件阵列附近，将实时光照强度送入多功能采集卡；方阵直流侧的电压以并联方式引入电压通道，电流采用无扰动电流钳采样后接入电流通道；逆变器交流输出侧同样利用电压引线 with 电流钳获取输出电参量。所有 DC / AC 电参数和辐照度数据在 PXIe 机框内统一时基采集并高速存储，ASMC 软件即时生成功率曲线、I-V / P-V 特性和转换效率结果。用户可据此评估逆变器在不同光照条件下的能量利用率、损耗分布及控制策略效果，为组件选型和系统优化提供可靠依据。测试流程图如下：

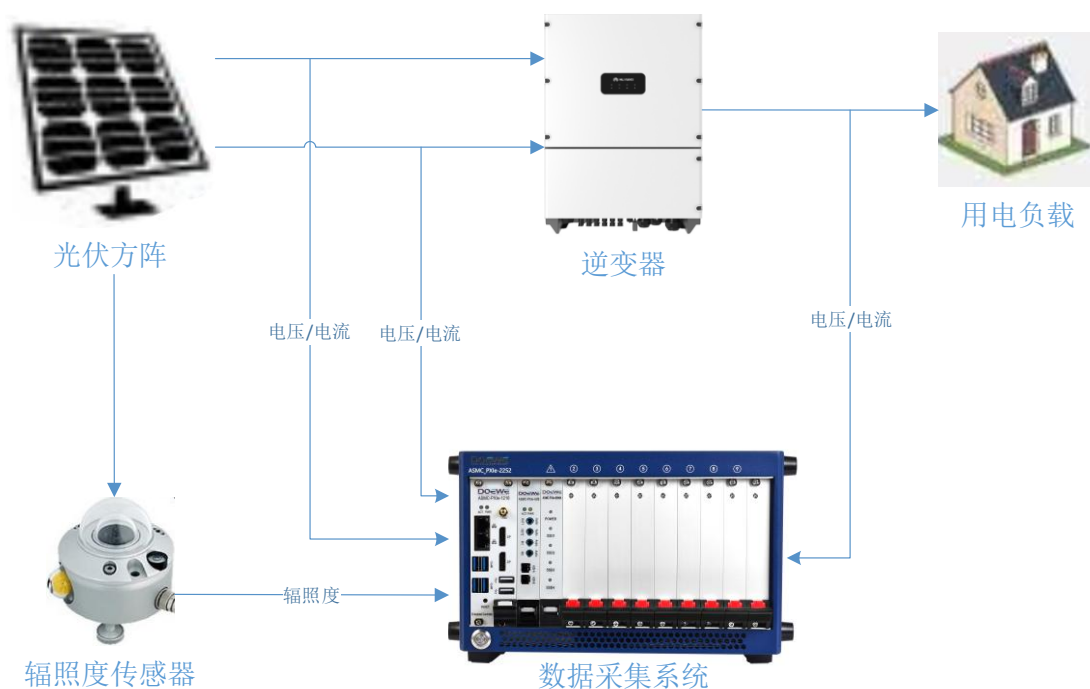


图 2 测试流程图

2.2 数据采集与测试分析软件 ASMC 功能

1. **同步采集与记录:**按统一时基同时采集直流侧和交流侧的电压/电流信号及辐照度通道数据，自动存入本地数据库，保证电参量与光照强度一一对应。
2. **自动化测试流程:**软件全程控制功率分析与辐照度通道，自动执行采集-分析等步骤并实时计算加权效率、MPPT 效率及最大效率，简化操作、降低人为误差。
3. **逆变器效率计算与合规判定:**根据实时输入 / 输出功率生成功率曲线,并按 NB/T 32004-2018、NB/T 32032-2016 自动判断是否达标，输出合规报告。
4. **时域波形与频谱分析:**所有通道支持实时波形显示；一键切换频谱视图，便于发现谐波、噪声尖峰等异常特征。
5. **I-V 曲线与最大功率点定位:**在线生成 I-V 曲线，自动标注 MPP 位置并给出对应功率值，

直观评估组件-逆变器匹配状况。

6. **可视化监控与告警：**主界面提供数值仪表、数据曲线叠加和分开显示等功能，帮助使用者及时发现测试异常（温度、功率、效率超限）。

7. **数据导出与自动报表：**测试结束后，一键导出原始数据与计算结果，自动生成包含效率曲线、I-V 图及关键统计量的报告，方便归档与后续对比分析。

注：软件具体功能以客户实际测试需求为准。



图 3 数据采集与测试分析软件示意图

2.3 测试系统核心参数

1. **高电压通道：**4 路固定输入，量程 1000 V RMS (± 2000 V PEAK)，采样率 100 S/s – 2 MS/s @ 24 bit，可扩展至 10 MS/s @ 18 bit。
2. **高电流通道：**4 路可插模块输入，支持钳形互感器或分流器，同步采样率与电压通道一致。
3. **测量精度：**DC $\pm 0.02\%$ 读数 $\pm 0.02\%$ 测量范围；0.5 Hz–1 kHz $\pm 0.03\%$ 读数
4. **功率分析带宽：**5 MHz，典型 THD -95 dB，CMRR > 85 dB @ 50 Hz
5. **功率分析隔离与安全：**通道-机箱 600 V CAT IV / 1000 V CAT III；过压保护 4250 V PEAK (1 min)
6. **功率分析数据缓冲：**512 MB FIFO，提高连续高频采集可靠性
7. **PXIe 时基同步：**DC、AC、电流及辐照度通道共享统一时基，保证效率与 I-V 计算同步一致
8. **机框占用：**PXIe 3U 单槽模块，可与其他测量板混插

9. **工作环境:** 0 °C–45 °C; 10 %–80 % RH 非冷凝 存储 -20 °C–70 °C
10. **多功能采集输入通道:** 8 路, 可切换电压、IEPE、电流、桥式应变、RTD、热电偶等
11. **多功能采集量程范围:** 电压 $\pm 2\text{ mV}$ – $\pm 100\text{ V}$; 电流 $\pm 30\text{ mA}$; 桥式 $\pm 1\text{ mV}$ – $\pm 1000\text{ mV}$; 电阻 $10\ \Omega$ – $30\text{ k}\Omega$
12. **多功能采集最大采样率:** 0 S/s–5 MS/s (每通道)
13. **多功能采集分辨率:** 0–2 MS/s 为 24 bit, > 2–5 MS/s 为 18 bit
14. **多功能采集带宽:** 2 MHz
15. **多功能采集隔离等级:** 通道-通道 / 通道-机箱 $\pm 350\text{ V DC}$
16. **参考校准端口:** 前面板 SMB (LEMO) 接口, 便于外部校准信号注入
17. **多功能采集卡输入连接器:** 8 × 0B-LEMO (可选 4 × D-SUB/BNC) 方便现场快速布线
18. **本地数据存储:** PXIe 机框内置高速固态存储, 支持长时高频数据无丢帧记录与快速导出

三、方案优势特点

1. **一体化采集平台:** 辐照度测量与功率分析集成于同一 PXIe 机框, 无需分置多台仪器即可同时记录光照强度与 DC / AC 电参量, 线路简洁、同步性好、稳定性高。
2. **多通道并行测试:** 单机框可提供 12 路电流、12 路电压及 16 路多功能输入通道, 最高 2 MS/s 采样速率, 支持对多串 / 多路逆变器进行并行效率测量, 大幅缩短整体测试时间。
3. **高精度电参数测量:** 直流测量精度 $\pm 0.02\%$ reading $\pm 0.02\%$ range, 交流 50 Hz–1 kHz 区间无量程误差; 配合隔离电流钳, 实现输入输出功率的高可信度对比。
4. **可扩展环境量采集:** 预留多功能通道, 可接入组件温度、环境温度、风速等传感器, 实现辐照度-温度-功率三维关联, 为户外实证或实验室模拟提供完整环境数据。
5. **自动效率计算:** 配套软件自动根据 NB/T 32004-2018、NB/T 32032-2016 等相关标准的要求完成瞬时效率、加权效率与最大效率计算, 并给出合规性判断。
6. **快速 I-V 曲线绘制:** 基于同步采样数据即时生成 I-V 曲线, 直观呈现最大功率点位置与偏移, 辅助评估逆变器 MPPT 及损耗分布。
7. **全流程自动化:** 数据的采集和分析均由软件一键完成, 减少人工介入, 降低操作误差, 提升测试一致性。
8. **一键数据导出与报告生成:** 数据采集和分析完成后, ASMC 软件可将电压、电流原始数据及频谱分析结果一键导出为常用文件格式, 并自动生成测试报告, 便于后续归档与共享。

四、硬件核心产品介绍

4.1 多功能采集卡

4.1.1 多功能采集卡概述

ASMC-PXIe-4054 多功能采集卡专为电压-电流动态特性测试而设计，单槽 3U PXIe 形态集成 4-8 路可编程输入，可按需切换为高精度电压 ($\pm 2 \text{ mV}$ - $\pm 100 \text{ V}$)、电流 ($\pm 30 \text{ mA}$)、IEPE、桥式应变或 RTD 热电阻测量，同卡即可同步接入热电偶与 LVDT 等辅助信号。每通道采样率最高 5 MS/s，其中 0-2 MS/s 保持 24 bit 分辨率，2-5 MS/s 为 18 bit，配合 2 MHz 模拟带宽和 512 MB 板载缓冲，可无丢帧记录瞬态冲击与稳态漂移。通道-通道及通道-机箱隔离等级达 $\pm 350 \text{ V DC}$ ，额定耐压 33 V RMS，确保在高共模噪声场景下依旧获得干净波形。板上预留 1 个高速 CAN 2.0 口用于同步采集外部总线数据；卡片工作温度 0°C - 45°C ，存储温度 -20°C - 70°C ，典型功耗 $\leq 15 \text{ W}$ （电压模式），是 PXIe 机框中实现多物理量同步采样、功耗计算与频谱分析的核心组件。

4.1.2 多功能采集卡核心参数

1. **输入通道**：4-8 路（可配置为：电压、IEPE、电流、桥式应变、RTD 等）
2. **信号量程**：电压 $\pm 2 \text{ mV} \sim \pm 100 \text{ V}$ ；电流 $\pm 30 \text{ mA}$ ；电阻 $10 \Omega \sim 30 \text{ k}\Omega$
3. **最大采样率**：5 MS/s（每通道）
4. **分辨率**：0 ~ 2 MS/s 时 24 bit；> 2 ~ 5 MS/s 时 18 bit
5. **模拟带宽**：2 MHz
6. **隔离等级**：通道-通道 / 通道-机箱 $\pm 350 \text{ V DC}$
7. **板载缓冲**：512 MB
8. **高速接口**：PXIe 3U 单槽，集成 $1 \times \text{CAN 2.0}$ 同步端口
9. **输出选件**：AOUT-8 版本提供隔离 $\pm 5 \text{ V} / \pm 10 \text{ V} / \pm 30 \text{ mA}$ 模拟输出
10. **工作温度范围**： $0^\circ\text{C} \sim +45^\circ\text{C}$ ；存储 $-20^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$

4.2 功率分析卡

4.2.1 功率分析卡概述

该功率分析板卡采用 3U 单槽 PXIe 形态，专用于四相电能测量与效率评估。卡上集成 4 路固定高压输入，量程 1000 V RMS ($\pm 2000 \text{ V PEAK}$, $\text{CF}=2$)，可选插拔电流子模块以适配钳形互感器或分流器，实现电压-电流同步采样。采样速率 100 S/s - 2 MS/s 时保持 24 bit 分辨率，可扩展至 10 MS/s (18 bit)，5 MHz 模拟带宽足以覆盖逆变器谐波及瞬态分析。直流精度 $\pm 0.02\%$ 读数 $\pm 0.02\%$ 量程，0.5 Hz-1 kHz 交流误差仅 $\pm 0.03\%$ 读数，典型 THD -95 dB ；通道-机箱隔离 $600 \text{ V CAT IV} / 1000 \text{ V CAT III}$ ，过压保护 4250 V PEAK ，输入阻抗 $5 \text{ M}\Omega$ ， 3750 V RMS (1 min) 绝缘耐压，确保高压环境下长期安全运行。板载 512 MB FIFO 与 PXIe x8 背板直通，可

在高采样率下无丢帧写入高速存储; SNR、ENOB 等指标随速率维持优异水平 (2 kS/s 时 SNR 126 dB, ENOB 20.6 bit) 。安全香蕉接口、可热插拔电流模块与整机模块化架构相配合, 为光伏逆变器效率、机车牵引及电机驱动等高压功率测试场景提供高精度、高带宽、易扩展的测量解决方案。

4.2.1 功率分析卡核心参数

1. **输入通道:** 4 路固定高压电压 + 模块化电流输入, 可组成 4 相功率测量
2. **功率分析量程:** 1000 V RMS (± 2000 V PEAK, CF = 2) , 电流子模块可选 40 A (或其他规格)
3. **采样速率 / 分辨率:** 100 S/s – 2 MS/s @ 24 bit; > 2 MS/s – 10 MS/s @ 18 bit
4. **模拟带宽:** 5 MHz, 可覆盖逆变器高次谐波分析
5. **计量精度 (典型) :** DC ± 0.02 % reading ± 0.02 % range; 0.5 Hz – 1 kHz ± 0.03 % reading
6. **隔离与安全:** 600 V CAT IV / 1000 V CAT III; 过压保护 4250 V PEAK; 绝缘耐压 3750 V RMS 1 min
7. **动态性能:** THD -95 dB; CMRR > 85 dB @ 50 Hz
8. **通道同步:** 多通道共用 PXIe 时基, 确保电压-电流相位测量误差最小化
9. **数据缓冲与传输:** 板载 512 MB FIFO, 通过 PXIe x8 背板直写高速存储, 连续高频采样无丢帧
10. **接口与接线:** 安全香蕉插座 (高压) + 可换电流子模块, 支持现场快速布线与维护



图 4 度纬 PXIe 采集卡产品图



图 5 度纬 PXle 机箱产品图