

# 模块化逆变器 光伏组串 I-V 智能诊断

技术白皮书





## 前 言    PREFACE

目前，阳光电源股份有限公司（以下简称“阳光电源”）基于模块化逆变器开发的“光伏组串IV智能诊断技术”已经进入工程应用阶段，莱茵技术（上海）有限公司（以下简称“TÜV莱茵”）对该技术进行综合验证与评审。结果表明，该技术的性能、可执行性、应用价值能够满足市场需求。

TÜV莱茵与阳光电源联合发布的《模块化逆变器光伏组串I-V智能诊断技术白皮书》，介绍了该技术的开发背景、技术方案及技术验证，旨在：

- 1) 便于光伏电站开发、运维等相关方了解该技术，为技术的实际应用提供参考依据；
- 2) 提供新的技术思路，供行业参考，共同促进行业技术创新和进步。

# 目 录 CONTENTS

## 01

|                  |    |
|------------------|----|
| 第一章 技术开发背景 ..... | 01 |
|------------------|----|

## 02

|                |    |
|----------------|----|
| 第二章 技术方案 ..... | 03 |
|----------------|----|

- 2.1 技术思路及原理
- 2.2 技术挑战及解决方案
- 2.3 技术应用方案

## 03

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第三章 验证与评价 ..... | 07 |
|-----------------|----|

- 3.1 方案评价
- 3.2 性能实证
- 3.3 综合评定

# 01 技术开发背景

“双碳”目标下，全球不断加速零碳转型，加速清洁能源对传统化石能源替代。光伏发电具有适用场景多、安装便捷、技术成熟等优势，装机容量不断攀升。据BNEF统计及预测：2022年全球光伏新增装机容量达到268GW，预计2030年新增677GW。

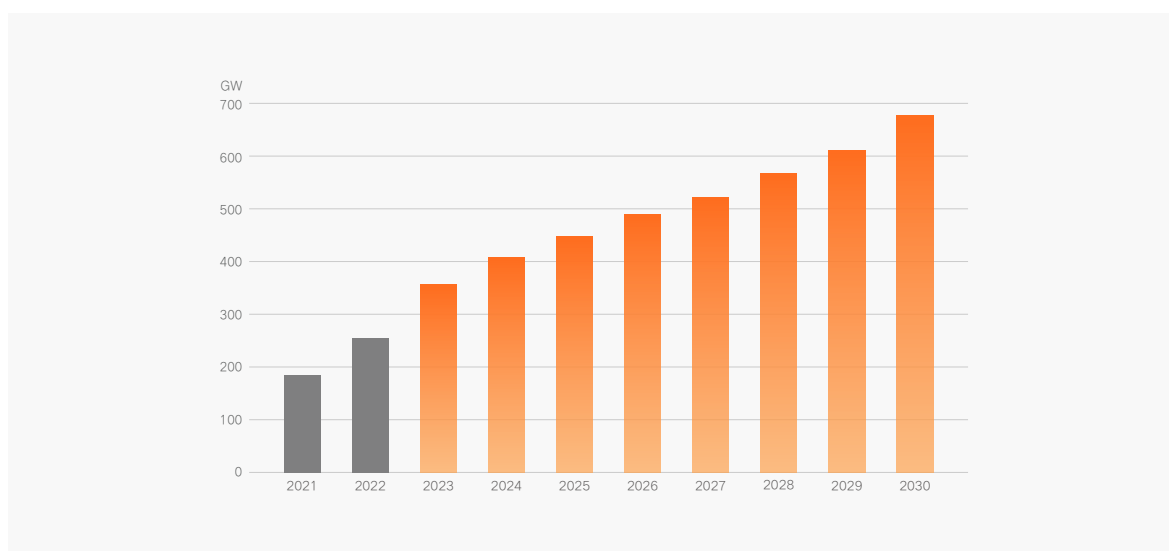


图1：全球新增光伏装机容量预测（数据来源：BNEF）

在光伏电站运行周期内，由于外部环境变化、设备老化等原因，光伏组串会出现如遮挡、PID、热斑等异常状态，影响电站发电量，带来安全风险。因此，需要定期排查光伏组串运行状态。传统的人工巡检方式效率低下，难以及时发现故障，增加运维难度和成本，市场亟需智能化诊断方案改变现状。



图2：光伏组串人工巡检

在大型光伏项目中，直流侧主要有一级汇流和二级汇流两种方案。在一级汇流方案中，业内基于组串式逆变器已实现光伏组串状态智能化识别。在二级汇流方案中，由于获取及分析组串IV数据的难度增加，行业内暂无可行的解决方案。

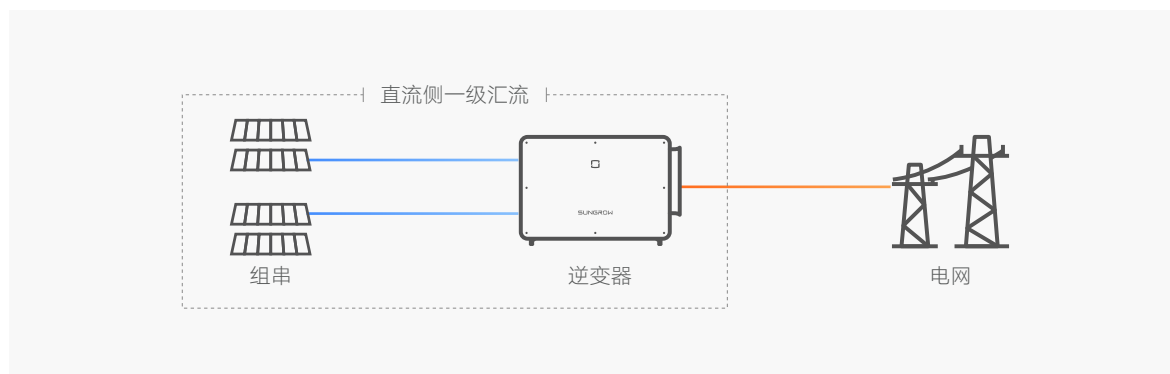


图3：光伏直流侧一级汇流拓扑图

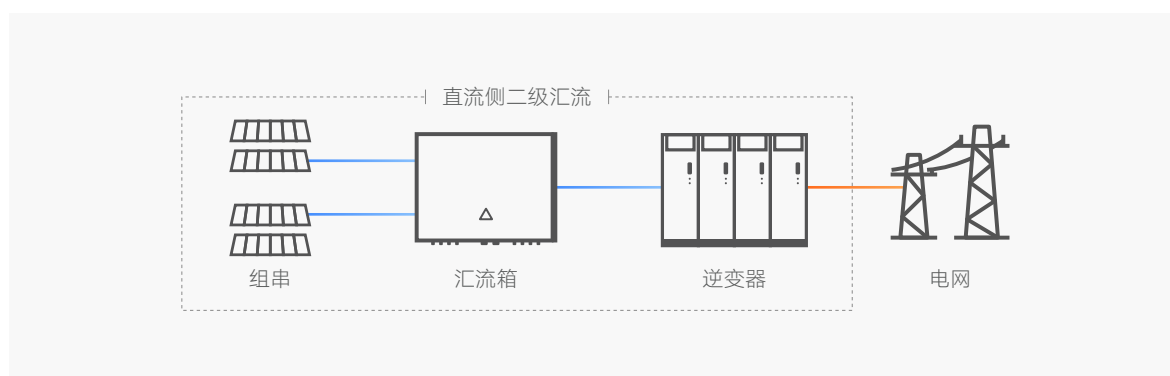


图4：光伏直流侧二级汇流拓扑图

多年来，阳光电源深耕光伏组串智能化诊断技术研究，基于“1+X”模块化逆变器实现此技术在光伏电站直流侧二级汇流场景下“0到1”的突破。

# 02 技术方案

## 2.1 技术思路及原理

基于模块化逆变器和智能汇流箱协同控制，精准获取组串电流、电压数据（以下简称IV数据），通过数据建模、故障模型对比，实现光伏组串智能化诊断。

### A、IV数据获取

该技术方案以智能单元为枢纽实现模块化逆变器与智能汇流箱的协同控制，智能单元控制模块化逆变器改变直流侧母线电压，同时向智能汇流箱发送IV数据采集指令。当所有组串的IV数据采集完成，智能汇流箱对数据进行筛选、分析并打包发送给智能单元，完成IV数据获取。

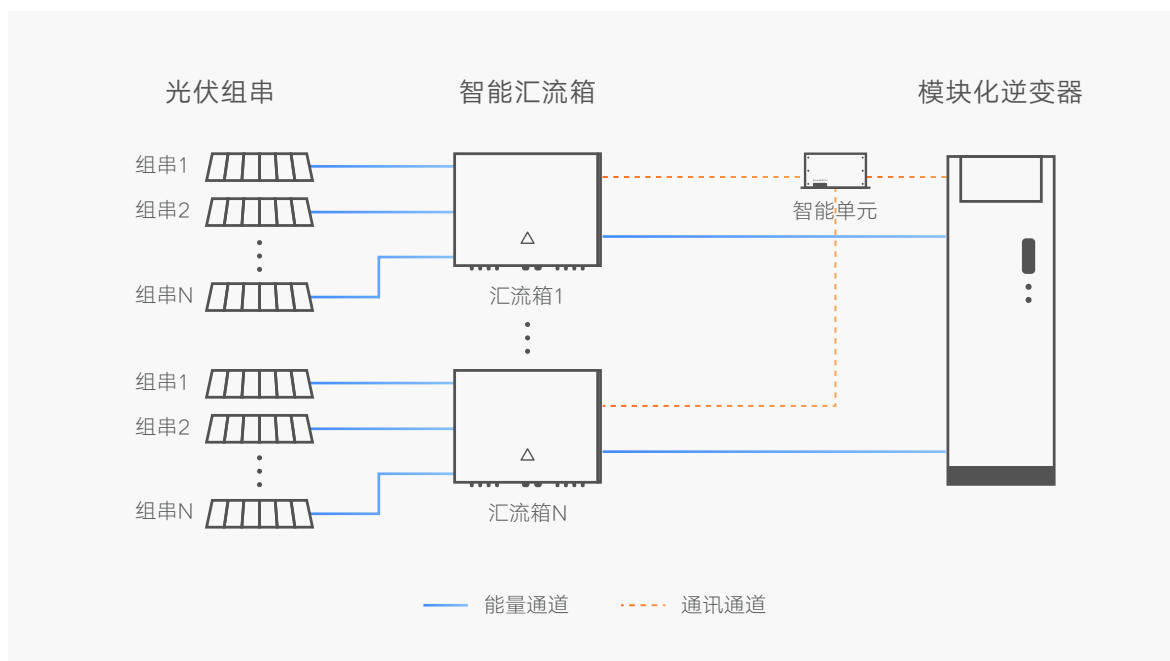


图5：IV数据获取拓扑图

## B、IV数据建模与诊断

根据光伏组件的等效电路模型及理想二极管电压电流方程可知，组件在正常运行时，IV曲线如下图6所示。模块化逆变器电路拓扑采用单极变换方案，直流工作电压在895-1500V之间，其获取的IV曲线如下图7所示。

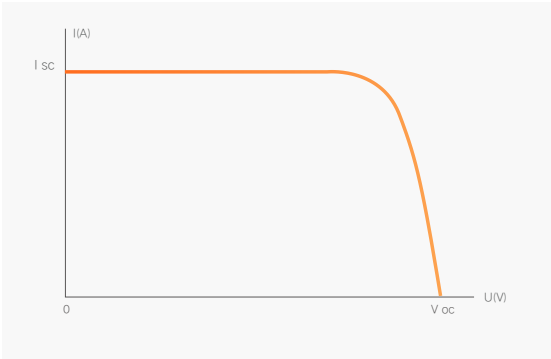


图6：光伏组串IV曲线图

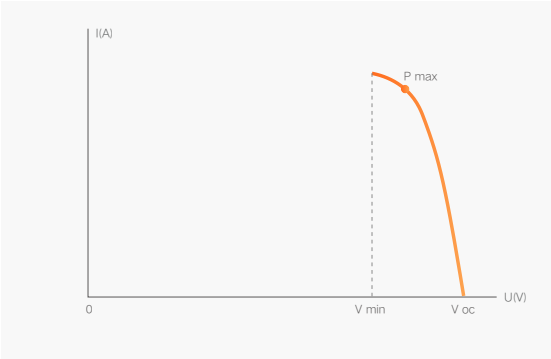


图7：模块化逆变器获取的IV曲线图

当组串出现如PID、遮挡等异常运行状态时，IV曲线呈现出开路电压低、最大功率点低等电气特性，如下图所示。

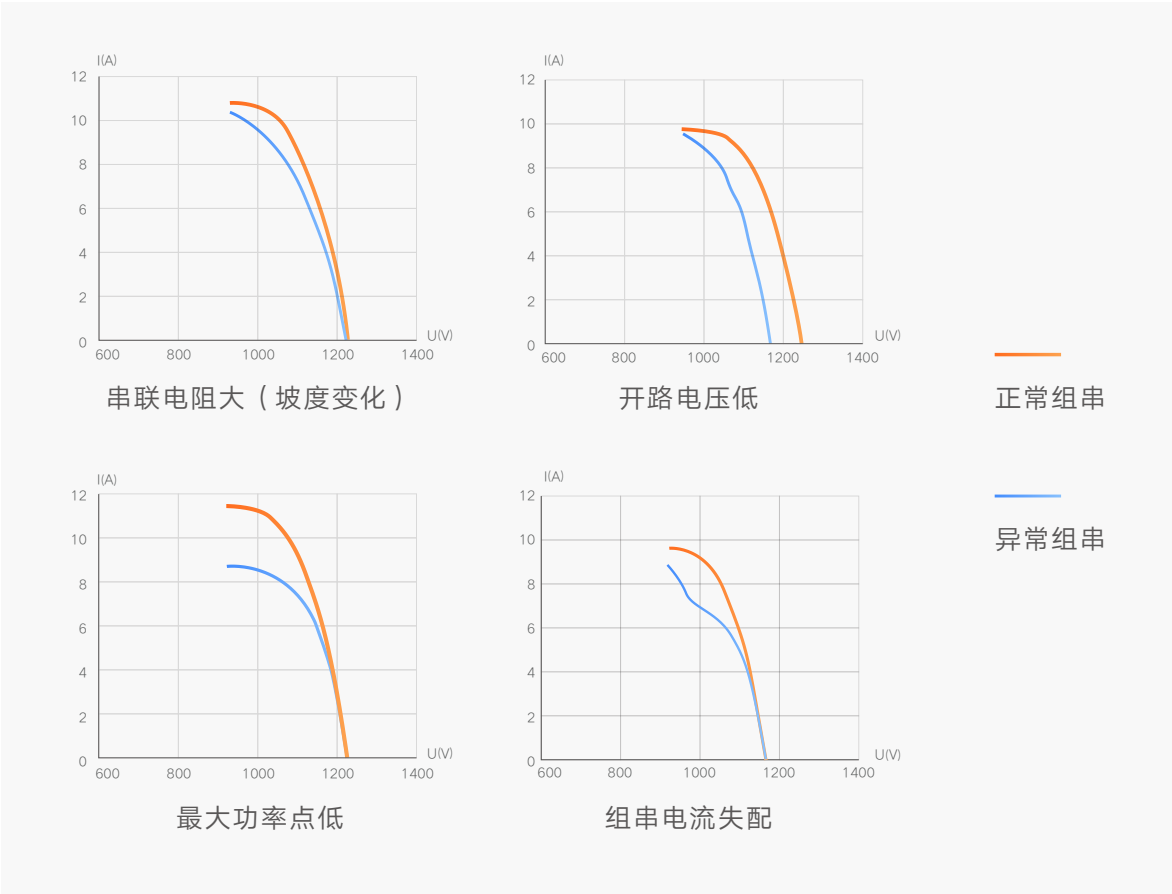


图8：异常组件与正常组件IV曲线对比

不同的电气特性对应着不同的组串异常类型，如下表所示。

| 电气特性       | 异常类型               |
|------------|--------------------|
| 组串开路电压低    | 二极管短路、栅线断裂、PID、热斑  |
| 组串串联电阻大    | 线缆老化、线缆过长过细、PID    |
| 组串电流轻微失配   | 阴影遮挡、热斑、污染物遮挡      |
| 组串电流严重失配   | 玻璃碎裂、严重隐裂、少量组件严重遮挡 |
| 组串最大功率点低   | 老化衰减、倾角差异大、灰尘遮挡    |
| 组串有电压，电流为0 | 组串开路               |

基于组串电气特性与异常类型对应关系，智能单元搭建故障模型数据库，将组串实时IV曲线与模型库对比分析，即可识别组串运行状态，实现光伏组串智能化诊断。

## 2.2 技术挑战及解决方案

**挑战1：**光伏组串IV诊断属于精细化诊断，对智能汇流箱的电压、电流采集精度要求高。

**解决方案：**阳光电源基于高精度shunt电流采样技术，实现全温度范围内采样精度误差小于0.5%，通过滤波算法消除噪音干扰，满足组串IV诊断对数据采样精度的要求。

**挑战2：**智能单元在获取IV数据的过程中，电压调节由模块化逆变器完成，IV数据采集由智能汇流箱完成，两者之间需要精准的协同控制才能保证数据的准确性。

**解决方案：**阳光电源基于模块化逆变器与智能汇流箱之间的高速同步机制，制定出IV诊断功能的协同控制方案，通过IV扫描功能同时启动电压调节及汇流箱数据采集进度同步等，保障IV数据的准确性。

**挑战3：**模块化逆变器系统应用方案中，单模块逆变器所有的直流组串并联在同一母线下，不同组串开路电压值难以识别。

**解决方案：**基于逆变器端口电压与组串端口电压模型，确定IV扫描启动点的电压值，并扫描至逆变器最低工作电压。智能汇流箱和智能单元基于IV曲线的特性及开路电压的唯一性对数据进行两级筛选、处理，最终分析出各组串对应的开路电压。



**挑战4：**光伏电站全场景智能诊断难。

大型光伏电站的应用场景及方案多，如地面与水面场景，跟踪支架与固定支架方案，单面组件与双面组件方案等，其IV曲线均不相同，基于一套模型无法实现全场景组串智能诊断。

**解决方案：**阳光电源基于超50GW光伏电站的运行数据，建立了丰富的组串故障数据库。依托机器学习算法进行建模，并对模型进行训练优化、实现自主智能迭代，能精准识别不同的组件故障，实现全场景下的光伏组串智能诊断。



图9：智能数据库

## 2.3 技术应用方案

光伏组串智能IV诊断技术应用方案主要由模块化逆变器、智能汇流箱和WEBHMI（嵌入式web平台）组成。WEBHMI下发诊断指令，模块化逆变器和智能汇流箱协同获取IV数据，由智能单元进行数据诊断，将结果发送至WEBHMI展示组串运行状态、故障原因及处理意见等信息，同时生成诊断报告，可下载查看。

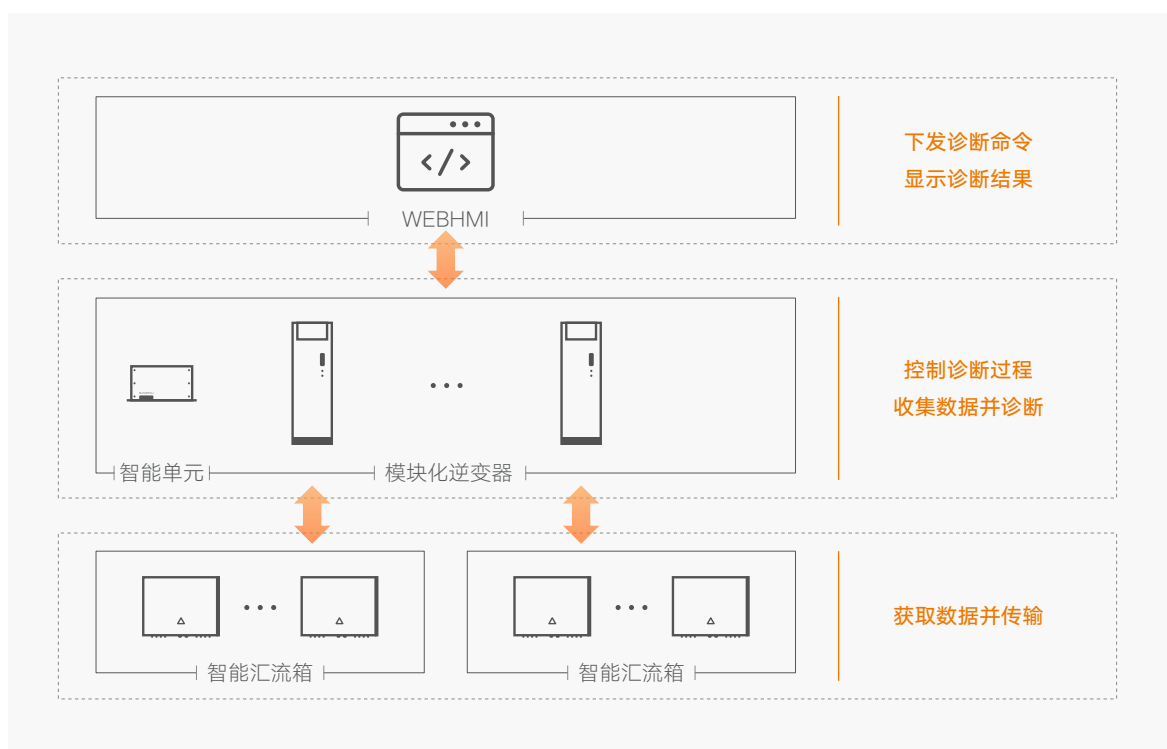


图10：智能IV诊断技术方案拓扑图

# 03

## 验证与评价

针对模块化逆变器光伏组串IV智能诊断技术性能水平及市场应用性，TÜV莱茵对技术方案、性能进行评审。评审流程如下所示：



### 3.1 方案评价

莱茵验证小组针对阳光电源提交的技术方案进行评审，经评定：

- 1、可有效解决大型地面电站中直流侧二级汇流应用方案的光伏组串智能诊断的难题；
- 2、对逆变器和汇流箱进行智能化升级，不改变目前大型光伏电站拓扑结构，可直接在光伏电站中进行应用，方案应用可行性高。

### 3.2 性能实证

莱茵验证小组前往实验基地进行认证。本次认证选取安徽省宿州市灵璧120MW地面光伏电站。逆变器采用阳光电源1+X模块化4.4MW的逆变器。



图11：实验基地图

#### A、实证步骤

- **场景模拟：**

在光伏子阵中模拟组串开路、阴影遮挡、串联电阻大等异常运行状态。使得实验的组串中既有正常运行的组串，又有各类异常运行的组串。

- **诊断实验：**

基于WEBHMI平台下发命令，记录每次诊断完成时间并导出诊断报告。

- **数据统计分析：**

根据组串实际运行状态与系统诊断出的状态进行统计、对比和分析，得出该技术的性能参数。

B、实证结果

4.4MW的模块化逆变器共接入480串组串，WEBHMI平台诊断出不同状态下的组串数量，以及组串异常时的原因和处理建议。



图12：WEBHMI平台诊断结果

根据实证数据分析，该技术的主要性能参数如下表所示：

| 参数    | 参数解释                 | 实证结果                               |
|-------|----------------------|------------------------------------|
| 诊断时间  | 从开始执行诊断命令到诊断出结果所用的时间 | 15分钟                               |
| 识别种类  | 可识别的组串运行异常状态种类       | 可识别6种电气特性，诊断出PID、遮挡、老化等16种主流组串异常状态 |
| 诊断准确率 | 测试样本中诊断正确的样本与总样本的比值  | 96.73%                             |

3.3 综合评定

- 模块化逆变器光伏组串智能IV诊断技术已进入工程应用阶段。方案评价和性能验证结果表明：
- 1、该技术的诊断速度快、种类多、准确率高，满足光伏电站中组串智能化诊断的应用需求。
  - 2、光伏电站中此技术可替代人工进行组串检测，减少组串诊断成本，提升电站的发电量；同时可提前发现组串的安全隐患，保障电站安全运行。







阳光电源股份有限公司  
中国合肥市高新区习友路1699号

+86-551-6532 7878  
[www.sungrowpower.com](http://www.sungrowpower.com)

