

# 智能组件控制器（优化器） 实证白皮书

---





# 目录 CONTENTS

<b>1 背景介绍 .....</b>	<b>01</b>
1.1 优化器发展背景 .....	01
1.2 市场现状和预测 .....	01
1.3 分布式光伏场景典型挑战 .....	03
<b>2 优化器整体解决方案介绍 .....</b>	<b>04</b>
2.1 优化器解决方案原理介绍 .....	04
2.2 优化器“3+1”价值特性总结 .....	05
<b>3 多装价值：增加直流装机容量，提高空间利用率 ..</b>	<b>08</b>
3.1 组件排布规则 .....	08
3.2 不同场景下优化器支撑案例 .....	09
3.3 多装价值总结 .....	10
<b>4 多发价值：避免木桶效应，提高整体发电量 .....</b>	<b>11</b>
4.1 典型无固定遮挡场景 .....	11
4.2 典型公共建筑屋顶场景（梯间遮挡） .....	13
4.3 典型工商业屋顶场景 .....	15
4.4 典型存量 / 长期运行电站（5 年老旧组件） .....	16
4.5 多发价值总结 .....	17
<b>5 运维价值：组件级监控，实现精细化管理 .....</b>	<b>18</b>
5.1 智能管理 .....	18
5.2 智能运维 .....	20
<b>6 安全价值：快速关断，主动安全 .....</b>	<b>21</b>
6.1 安全标准制定的需求和背景 .....	21
6.2 全球各国标准情况 .....	22
6.3 安全关断功能验证 .....	23
6.4 快速关断功能指标建议 .....	23
<b>7 总结 .....</b>	<b>24</b>
7.1 经济性分析 .....	24
7.2 总结描述 .....	27

## 背景介绍



# 01

## 背景介绍

### 1.1 优化器发展背景

目前全球各国正面临气候变暖和能源危机的世纪难题，随着各国相继提出减少碳排放的目标以最终实现碳达峰和碳中和，全球光伏也因此迎来了新一轮蓬勃发展。2021 年即使受到新冠疫情的影响，彭博新能源财经（BNEF）报告显示全球光伏新装机量依然达到 183GW<sup>[1]</sup>。比 2020 年增加超 40GW。国家能源局的最新统计数据显示，2021 年中国光伏装机 54.88GW，其中分布式光伏装机 29.29GW，占比 53%，历史首次突破 50%<sup>[2]</sup>，分布式光伏迎来规模化发展的市场空间。

近年来随着光伏装机量的不断增加，消费者对光伏系统的监控和管理水平要求也不断提高。面对更精细的管理需求和各类应用问题，各光伏行业引领者推出了不同的解决方案以提升光伏用户使用感受。组件级电力电子技术及产品（Module-Level Power Electronics, MLPE）逐渐进入市场。早在 2014 年美国超过 55% 的户用光伏系统已经使用了各类 MLPE 产品<sup>[3]</sup>。智能组件控制器（本文中统一称为优化器）便是一种采用了组件级电力电子技术的系统方案，主要功能是通过 DC-DC 电路进行功率转换最终实现更高的发电量以及组件级的智能管理。随着更多客户对于安全、高发电量等特性的重视，优化器的市场价值得到进一步发掘，市场接受度和份额快速提升。

### 1.2 市场现状和预测

#### 全球市场现状

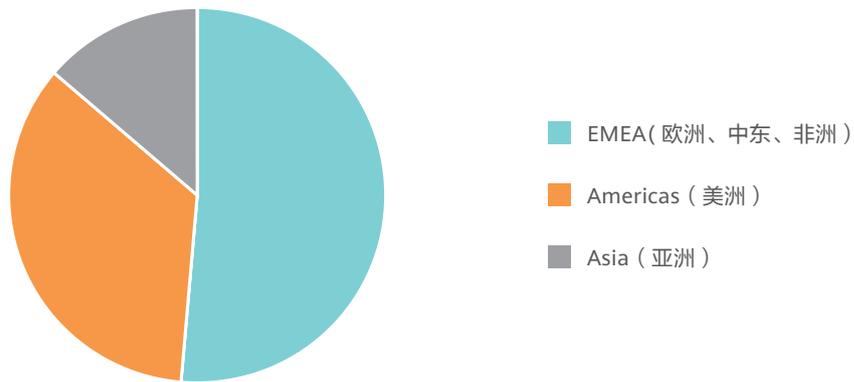
根据 IHS Markit 统计数据显示，2021 年全球优化器年出货量为 8,217MW。目前全球多数市场优化器均处在高速增长阶段。其中美国出货量占据各国第一，约占全球年出货量 32.8%。欧洲地区年出货量占总出货量约 45%。而亚太地区目前约占 13.7%。报告指出 2021 年户用场景优化器发货量占比约 38.3%，市场渗透率达到 15.7%。工商业场景优化器发货量占比约 58.8%，市场渗透率约 8.28%。

[1] 'New Energy Outlook 2021 | BloombergNEF | Bloomberg Finance LP', BloombergNEF. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/> (accessed Mar. 01, 2022).

[2] '2021 年光伏发电建设运行情况 --- 国家能源局'. [http://www.nea.gov.cn/2022-03/09/c\\_1310508114.htm](http://www.nea.gov.cn/2022-03/09/c_1310508114.htm) (accessed Mar. 22, 2022).

[3] 'Photovoltaic Systems with Module-Level Power Electronics', [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64876.pdf>

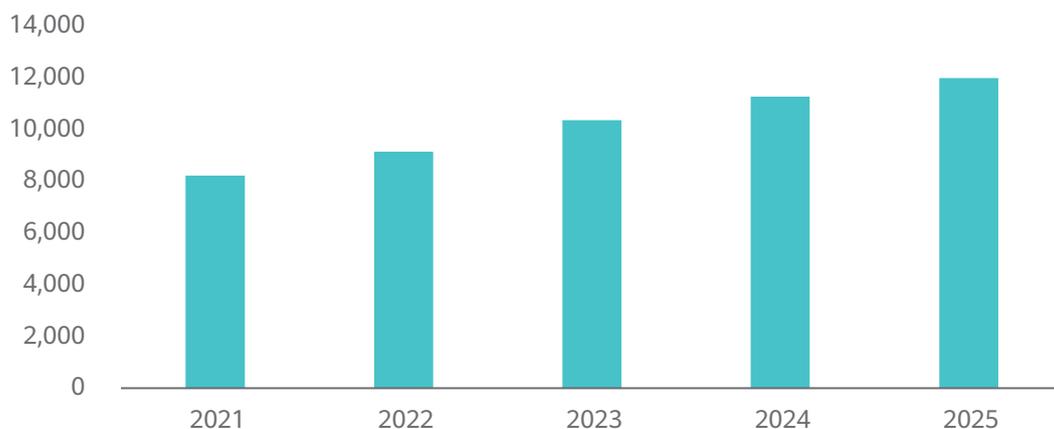
2021 年优化器发货量区域分布示意图



### 未来预测

IHS Markit 还对未来优化器市场进行了预测。据报告显示，2025 年全球优化器年出货量将达到 11,979MW, 2020-2025 年的全球年出货量复合增长率为 11.6%。其中亚太地区预计增长率为最高，达到 21.6%。欧洲地区将仍然保持约 45% 的年出货量占比。值得关注的是，中国大陆地区的复合增长率达到 46.6%，为单一国家最高增长率。

优化器全球发货量预测 (MW)



另外，针对不同的应用场景，IHS Markit 预测到 2025 年，不同规模的工商业场景优化器总出货量将达到 8085MW, 约占总出货量的 67.5%。值得注意的是大型地面电站场景下的优化器出货量也将快速增长，不同规模下的复合总增长率达到 23.2%。

## 背景介绍

### 1.3 分布式光伏场景典型挑战

分布式光伏市场迎来蓬勃的发展机遇期，但同时也面临诸多挑战：

#### 屋顶资源不足，遮挡场景广泛存在

光伏发电的主要收益来源于系统发电量，而分布式光伏通常选择优先建在拥有优质资源的屋顶上。良好的光照和气候条件，附近无遮挡等因素都是设计分布式光伏系统的首要考量。随着度电成本进一步降低，分布式光伏的普及程度也大大提升，优质屋顶资源愈发稀缺。面对有遮挡或者多朝向屋顶的光伏安装需求，如何更优更省的完成有遮挡场景光伏系统高质量设计逐渐成为业内普遍难题。

#### 直流高压带来安全隐患

光伏组件在光照下产生的是直流电，即使在未接通电路情况下依然存在电压，对人员安全构成严重风险。无论从前期的建设，到后期的运维甚至事故发生期间的救险，直流高压始终是光伏应用的重要安全隐患之一，一旦发生火灾，消防员不能采用常规灭火方式，无法及时抢救，威胁财产安全。

澳大利亚清洁能源监管机构（Clean Energy Regulator, CER）公布的统计证据警告说，光伏组件是一个严重的国家安全问题。消防和紧急服务机构通过澳大利亚事故报告系统报告的太阳能组件事故越来越多。

虽然光伏系统已经应用多年，但目前的标准操作程序仍然没有充分解决日益明显的安全差距。消防和紧急服务人员可能每天都面临太阳能组件事故，但如果如果没有足够的工具、程序或培训，危险情况可能会变得更加普遍，并越来越多地危及生命和财产安全。

#### 光伏电站运维黑盒

相较于地面电站，分布式电站的体量大、布局散、数量多、人员少等特点明显，这些也给后期的运维管理带来了不少困难。分布式光伏电站大多分布在屋顶、农业大棚、鱼塘等设施建筑上。依附于相应的设施建筑，如何才能使分布式电站运维管理更专业、更高效、更安全、更透明，从而保障它应有的发电量成为了另一大关注点。



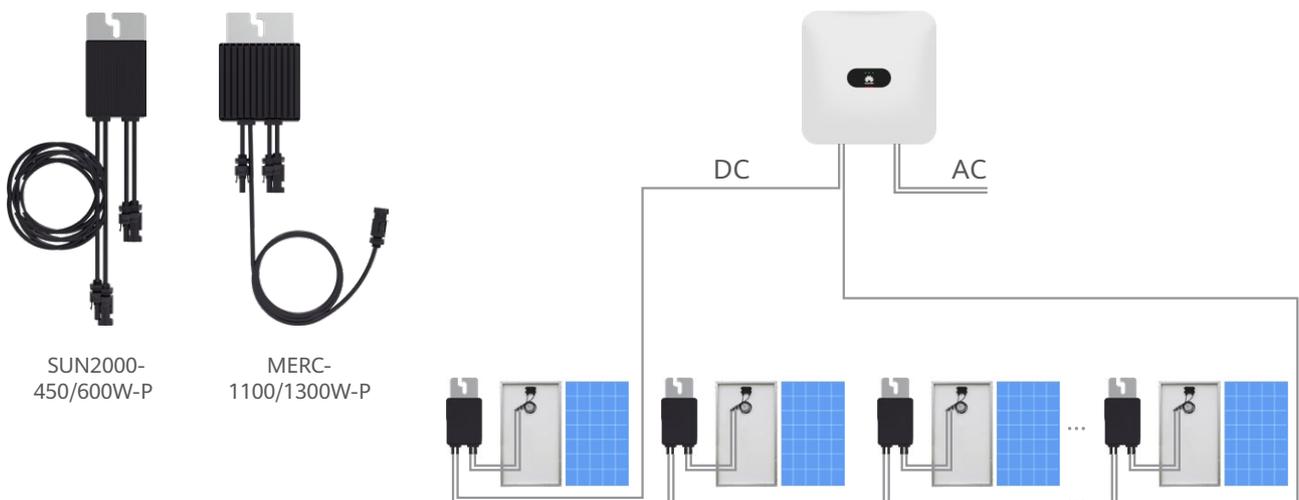
# 02

## 优化器整体解决方案介绍

### 2.1 优化器解决方案原理介绍

华为优化器解决方案以 Buck 电路为基础，采用“优化器 + 双级逆变器”架构，通过给每块组件加装优化器，可以实现组件级优化，使每块组件达到最优发电。

通过优化器内 DC-DC 电路，改变光伏组件输出 IV 特性曲线，使组件最佳功率点不再仅仅局限在单一一点，而变成了一个可以调节的范围曲线。组件在这个范围内都可以输出最佳功率，即使每块组件的最佳功率点不一致，却依然可以在最佳功率点工作。



## 优化器整体解决方案介绍

### 2.2 优化器“3+1”价值特性总结

#### 2.2.1 不挑屋顶宜建尽建，平均可多装 30% 以上

根据传统的光伏系统设计准则，屋顶组件的安装排布受到如障碍物阻挡，阴影遮挡等诸多限制。同一组串内的组件需保证朝向、倾角一致，否则会产生组串串联失配，导致组件整体发电量降低。此外，部分屋顶由于面积较小，可安装组件的数量无法满足逆变器接入的最低电压要求，导致无法进行安装，造成资源浪费。

目前，工商业场景中，大量优质屋顶资源已经开发完毕，剩余屋顶由于存在各类阴影遮挡物（女儿墙、广告牌、基站天线等），导致开发困难，大量屋顶区域无法使用，影响客户总体收益。

通过优化器解决方案可完全避免上述问题。优化器内电路可单独对每块组件的电流和电压进行调节，使组件之间发电互不干扰。因此，在复杂场景下，即使发电量不一致的组件也可连接到同一组串内，避免串联失配影响，提高系统直流容量，增加整体发电量。在施工设计中，可将不同朝向，倾角的组件均连接至同一组串内，实现灵活设计，最大化利用屋顶面积。

#### 2.2.2 组件级优化，更高发电，可提升发电量 5.5%-30%

光伏组件的输出电流和功率与组件的工作环境（尤其是光照）密切相关。由于串联在同一组串的组件的工作电流需保持一致，受失配影响的组件工作点会随电流减小而发生偏移，从而导致整条组串的输出功率降低，即光伏组件发电存在明显的木桶效应。

导致光伏组件出现功率失配的常见因素包括：

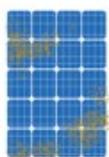
- » 组件本身出厂的制造公差（同一批次组件电气特性存在细小差异）
- » 随机的环境导致的失配（灰尘、云层、落叶、鸟类粪便等）
- » 系统设计中的固定遮挡（户用的烟囱、老虎窗、树木等，工商用女儿墙、梯间、高楼等）
- » 串并联失配
- » 组件在老化衰减过程中出现的相互的失配



树叶



阴影



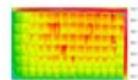
污物



鸟粪



组件制造公差

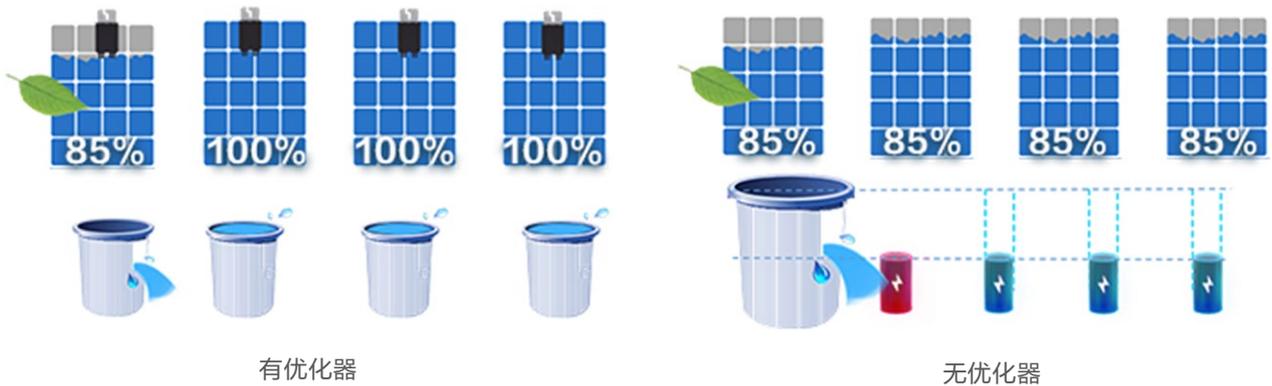


受热不一致

## 优化器整体解决方案介绍

通过采用优化器解决方案，可以独立追踪每一块组件的最大功率点，实现整个组串发电量最优。

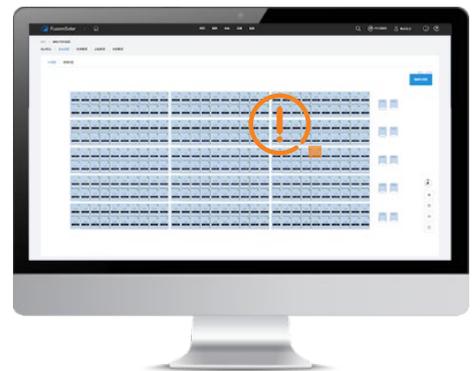
- » 保证被遮挡组件维持当前环境下的最大功率输出
- » 通过降低优化器电压输出，提高输出电流，从而匹配未被遮挡组件的最大功率点电流，保证整条组串的所有组件工作在各自最佳功率点（MPP），互不干扰。



### 2.2.3 组件级监控、精细化管理，实现智能运维

通过华为优化器，可实时监控每块组件的运行数据，包括电流、电压等特性参数。此外，对于组件运行状态，可以在物理布局图中进行实时查看与历史信息回溯。其中，物理布局图可通过 AI 图像识别 5s 快速生成。在优化器全配的光伏系统中，一旦优化器之间或与逆变器之间存在接线断开（包括电弧故障），都可以通过调试 APP 的监控界面准确显示断开位置，减少故障判断时间。

通过此功能，可精确定位故障组件，降低电站运维成本，减少上站时间以及频次。



## 优化器整体解决方案介绍



### 2.2.4 主动安全，0V 快速关断，保障人身、电气、财产安全

在屋顶光伏项目中，直流侧光伏板电压通常可达到 600V 至 1000V，给施工运维人员及业主带来潜在风险。当出现紧急情况时，如火灾等事故，由于光伏阵列携带高压，救援人员无法到屋顶进行救灾。

此外，由于屋顶高压带电，因此无法通过普通方式用水进行灭火，极大增加了救援难度，只能等待光伏板烧毁后再进行灭火，影响救援过程，造成了更多人身财产损失。

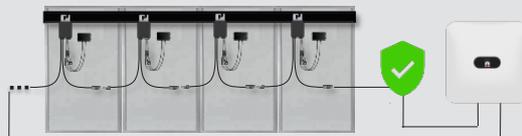
华为优化器具备组件级快速关断功能。在安装中将优化器连接至每块组件，可控制每块组件输出端。当出现紧急情况时，可采用电网断电、中断远程紧急开关通讯等自动触发条件，或手动断开直流开关来启动 0V 快速关断功能。



武汉中石油加油站  
(120kW)



内蒙古中石化秋岭加油站  
(110kW)



原屋顶电压：900V VS 安装后电压：0V



# 03

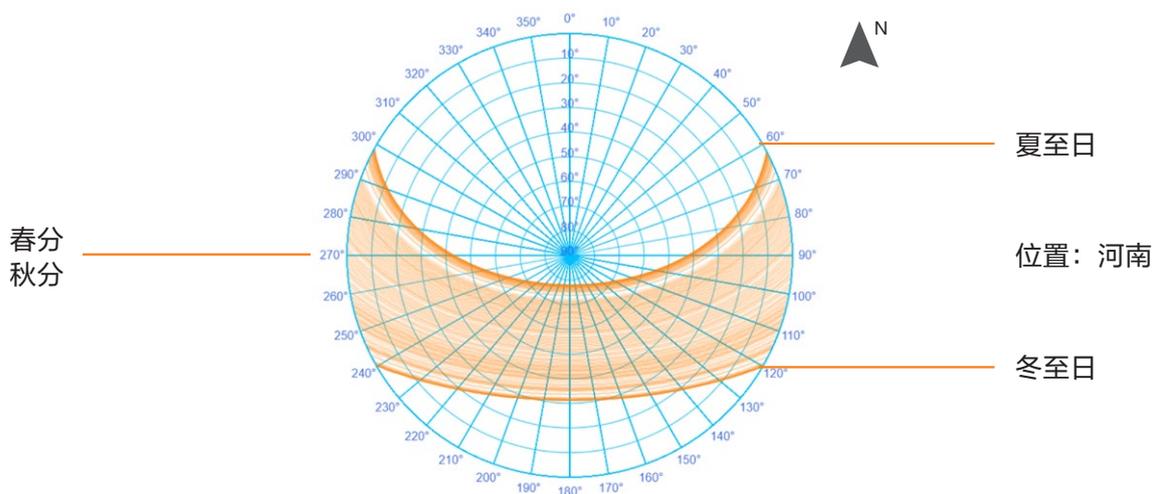
## 多装价值：增加直流装机容量，提高空间利用率

### 3.1 组件排布规则

#### 传统组件铺设方案：

根据 GB 50797-2012 规范：光伏方阵各排、列的布置间距应保证每天 9:00-15:00（当地真太阳时）时段内前、后、左、右互不遮挡。在传统光伏系统设计方案中，光伏组件的空间排布需排除屋顶阴影遮挡区域，以尽量避免在日照充足时由于部分组件受到阴影遮挡而导致系统整体发电量下降。

以河南省为例，全年的太阳轨迹如下图所示。



传统组串铺设方案缺点如下：

- » 分布式屋顶遮挡情况多，可铺设组件空间面积少，屋顶资源利用率低
- » 部分组件出现阴影遮挡情况时，会影响整路 MPPT 发电量；
- » 不同朝向、倾角的组件原则上不接入同一组串，导致设计复杂；

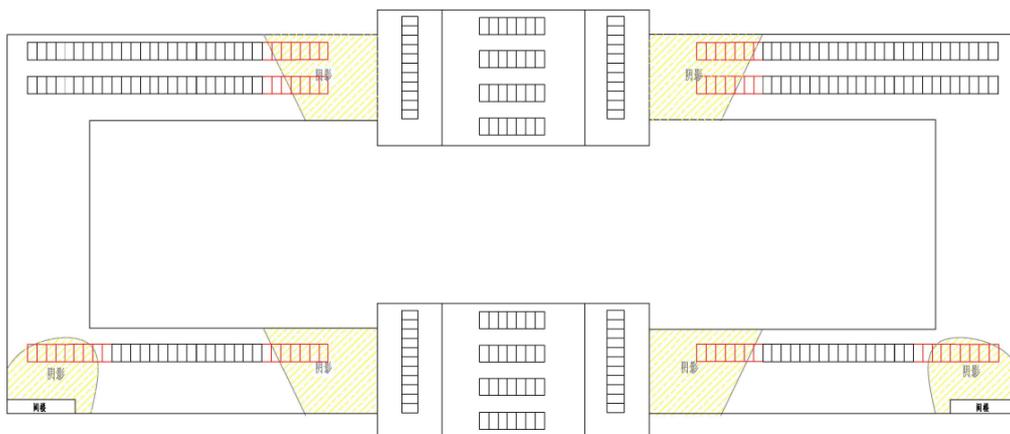
## 多装价值：增加直流装机容量，提高空间利用率

### 采用优化器的组件铺设方案：

通过优化器解决方案，每块组件可实现独立最优化发电，受阴影遮挡组件与无遮挡组件之间发电功率和发电量不会相互影响。通过优化器，可打破传统组件铺设规则，充分利用屋顶面积，在有限空间实现更高装机容量。采用此方案设计时，建议避开长期阴影遮挡区域，在临时性阴影区域加装光伏组件。

### 3.2 不同场景下优化器支撑案例

#### 案例一：某教学楼的屋顶场景可安装容量提升 25.9%



上图为某教学楼组件排布设计图，其中黑色组件为设计院根据传统规则设计的方案，总容量 125.28kW，红色组件是采用华为优化器可实现的多装部分，系统容量达到 157.68kW，提升了 25.9%。

## 多装价值：增加直流装机容量，提高空间利用率

## 案例二：某别墅的屋顶场景可安装容量提升 40%



上图为某别墅组件排布设计图，其中左图屋顶建筑区域 1 和区域 2 产生阴影遮挡，为了避免因为木桶效应影响整体发电量，传统方案中会避免在阴影区域安装组件。此外，由于逆变器两路 MPPT，按要求只能安装两个朝向。

右图为采用华为优化器解决方案，每块组件可进行独立最优发电。阴影区域安装组件，不影响组串其余组件发电量。同时，优化器可将不同朝向组件连接至同一组串内，简化系统设计，实现容量多装电量多发。

### 3.3 多装价值总结

华为智能优化器解决方案突破了传统组件排列设计规范，减小阴影遮挡对于组件布置的影响，充分利用了有限的屋顶空间。相较于传统设计规则，相同面积屋顶能够安装更多组件，可降低项目前期开发、勘察成本，同时摊薄施工和设备材料费用，最终降低单瓦建设成本。

此外，传统设计规范不满足开发条件的一些屋顶也能够通过优化器解决方案实现开发建设，充分利用有限屋顶资源，极大地拓展分布式光伏的市场深度与广度。



## 多发价值：避免短木桶效应，提高整体发电量



# 04

## 多发价值：避免木桶效应，提高整体发电量

华为优化器解决方案通过独立控制每块组件的电压电流，实现组件级功率优化，能够最大程度上解决包括组件制造公差、随机环境影响、系统固定遮挡及组件老化过程的衰减等多种因素导致的失配。

为验证优化器实际应用效果，华为联合权威的国际第三方认证机构 TUV 莱茵通过大量的实地调研，选择河南省襄城县数个分布式光伏中典型应用场景，设计测试方案并搭建测试系统，在 TUV 莱茵的全程目击与监督下完成相关测试验证和数据整理分析，获得可信的测试结果，为用户和相关方了解和应用优化器解决方案和优化器产品提供参考。

### 4.1 典型无固定遮挡场景

该场景下通常无固定阴影遮挡，但存在云彩、鸟粪、落尘、灰尘等随机遮挡，此类随机遮挡会导致约 2.5% 的失配。以下为无固定遮挡场景下多发价值实证案例。

测试地点：关帝庙户用屋顶



## 多发价值：避免短木桶效应，提高整体发电量

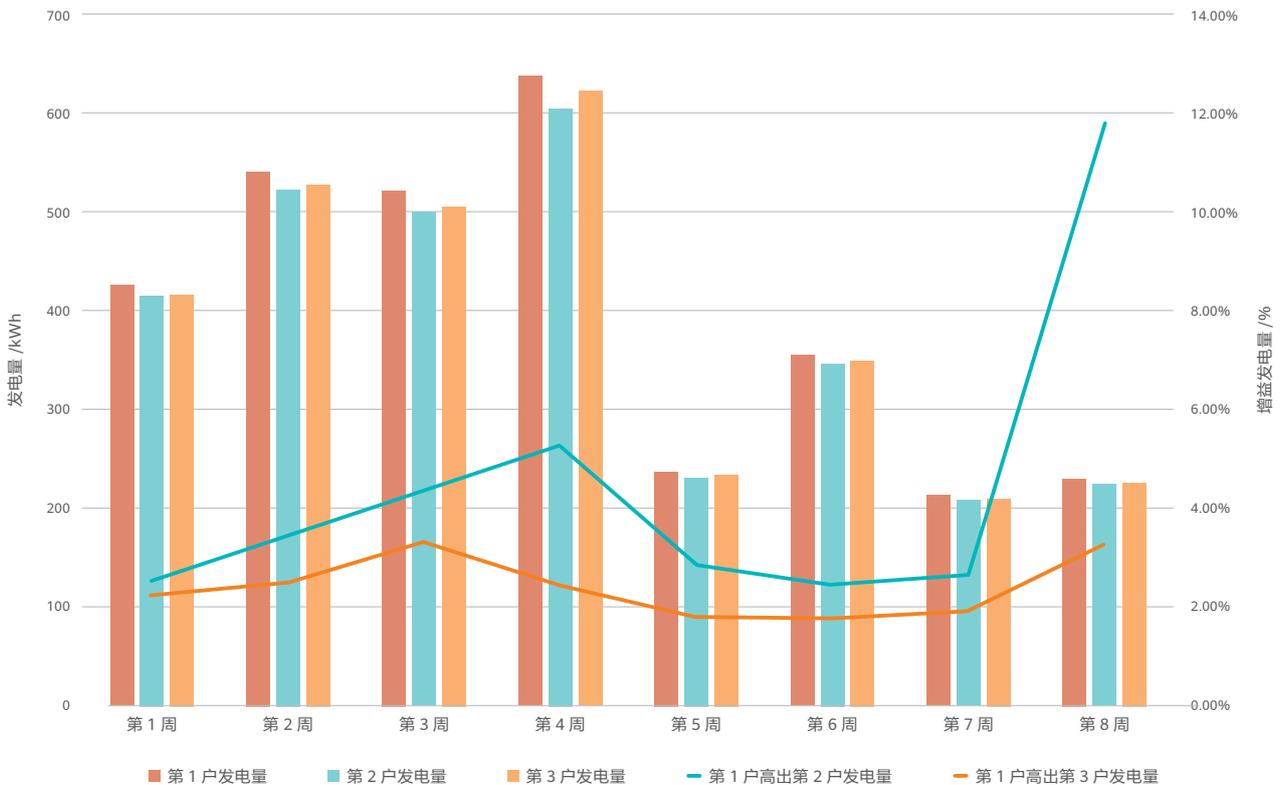
## 测试方案：

基本情况	2021年12月初投入运行的关帝庙农村户用屋顶光伏系统，三家农户房屋成东西走向一字排列，光伏系统朝向和倾角相同，均已安装电网公司校正后的交流电表，是典型的户用无固定遮挡场景。三户系统容量均是27kW，组件数量50块，采用540W单晶硅组件，搭配华为逆变器。
测试方法	采用对比实验，选择东侧户作为实验组，全配优化器，另两户作为对照组，不配优化器。
测试过程	确认系统调试完毕后开始正式测试，安排专人每日从交流电表读取每户系统发电量，并通过管理系统监控逆变器实验数据，保证系统连接稳定性和通讯良好性。同时记录测试阶段天气，如光照、温度等情况。
测试周期	2021年12月05日至2022年01月30日，共57天

## 测试结果与分析

在整个测试周期中，基于电表数据，加装优化器的第一户屋顶光伏的发电量相比于另外两户分别高3.56%和2.73%。

三户周发电量及对比



## 多发价值：避免短木桶效应，提高整体发电量

### 4.2 典型公共建筑屋顶场景（梯间遮挡）

学校、医院、村委会等公共建筑屋顶是开发分布式光伏的理想资源，对于此类场景，但普遍存在梯间、女儿墙、广告牌等遮挡。

地点：库庄镇初级中学主教学楼屋顶



### 测试方案

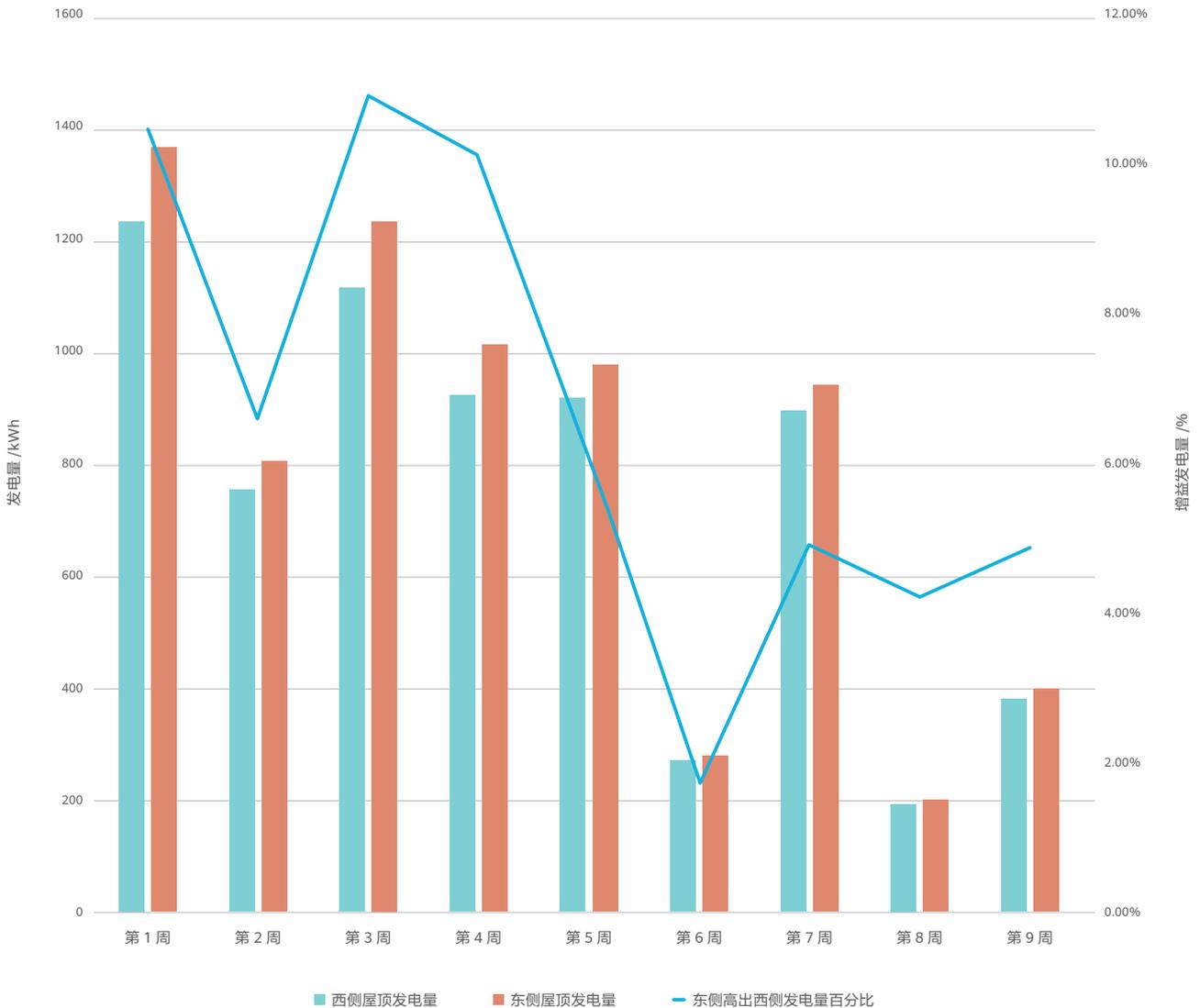
基本情况	库庄镇初级中学主教学楼为回字形主体结构，楼梯间位于南北楼的中间位置，存在梯间遮挡等情况。楼顶东西两侧分别安装 96 块组件，各 51.84kW，共 103.68kWp 直流容量。东西各连接 1 台华为 40kW 逆变器，每台逆变器四路 MPPT，每路 MPPT 两条组串，每条组串连接 12 块组件。该楼顶光伏系统于 2021 年 11 月底投入运行。
测试方法	采用对比实验，东侧屋顶全部组件加装优化器连接逆变器，作为实验组。西侧屋顶全部组件不配优化器与逆变器连接，作为对照组。两组分别在逆变器交流输出端口安装交流电表测量发电量。确保光伏系统并网后运行正常，通讯配置良好，管理系统日志可记录逆变器发电量数据。
测试过程	开始测试，安排专人记录交流电表发电量，管理系统观察逆变器实验数据，同时记录测试阶段天气，如光照、温度等情况。
测试周期	2021 年 12 月 01 日至 2022 年 01 月 30 日，共 61 天

## 多发价值：避免短木桶效应，提高整体发电量

## 测试结果

在 12 月 01 日到 01 月 30 日的测试周期中，东侧平均发电量较西侧高出 9.47%，可以看出优化器对于实际公共建筑场景发电量提升效果明显。

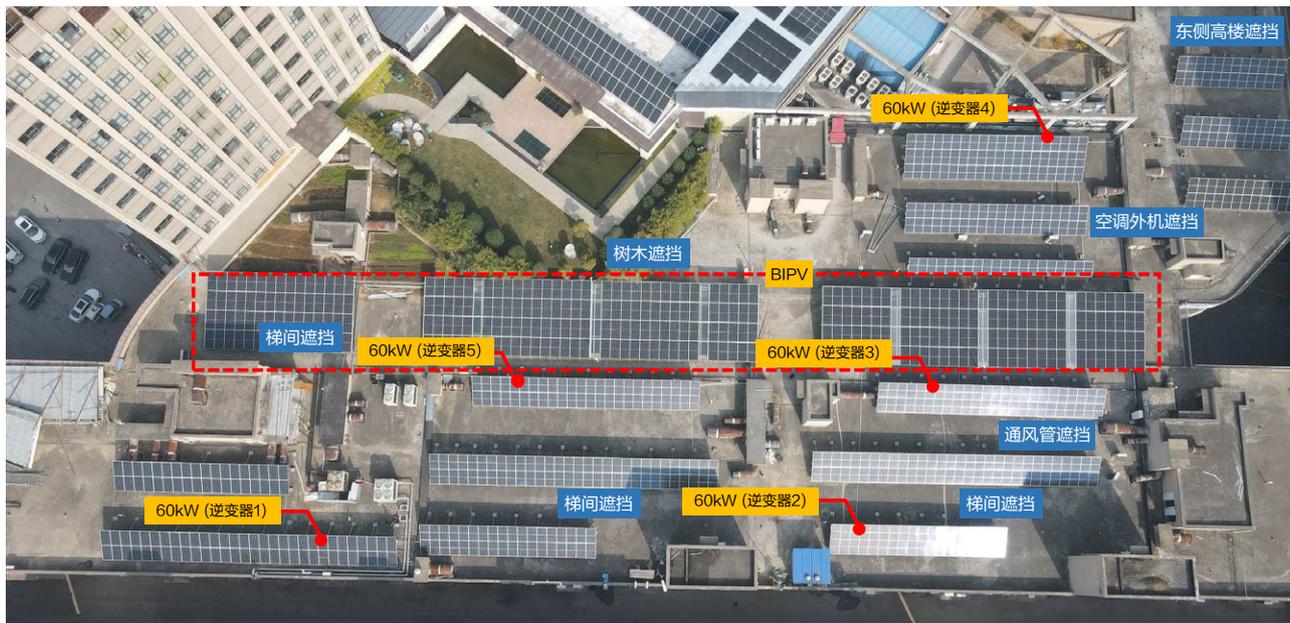
教学楼东西侧发电量及对比



## 多发价值：避免短木桶效应，提高整体发电量

### 4.3 典型工商业屋顶场景

地点：丹尼斯商场



测试方案：

基本情况	该屋顶初期建设两种光伏系统，均采用传统解决方案。其中 BIPV 采用 304 块 440/445W 组件，直流容量为 133.76kWp，配置两台 60kW 逆变器；支架联排光伏系统安装 560 块 310W 组件，直流容量 173.6kWp，配置 3 台 60kW 逆变器。项目投入运行约 3 年。项目初期规划时为保障规模，不可避免的存在女儿墙遮挡，梯间遮挡，树木遮挡，监控器遮挡，空调外机遮挡，附近高楼遮挡，通风管遮挡等，发电量明显偏低。
测试方法	采用基准测试加比对测试的方案。首先在各逆变器输出端加装已校正的电表进行基准测试，再选择单 kW 发电小时最低的一台逆变器改造为华为逆变器，全配优化器，再完成发电量提升验证测试。
测试过程	选择 4 台逆变器系统进行测试，编号 #1 ~ #4。基准测试进行 1 个月，基于交流电表记录发电量数据，选择在该真实环境中发电量损失最大的 #1 逆变器系统作为实验组，其余成为对照组。 将 #1 实验组 60kW 逆变器更换为 2 台华为 30kW 逆变器，加装二进一汇流箱，并全配优化器，对照组保持不变。进行发电量提升验证试验，记录每日电表发电量，并进行数据记录和统计分析。
测试周期	基准测试：2021 年 12 月 15 日至 2022 年 02 月 08 日 正式测试：2022 年 02 月 14 日至 2022 年 03 月 15 日

## 多发价值：避免短木桶效应，提高整体发电量

## 测试结果与分析

测试完成后，分别针对基准测试和正式测试进行数据统计，结果如下表所示：

基准 测试阶段	实验组单 kW 发电量 h	78.78		
	对照组单 kW 发电量 h	103.56	106.02	86.56
	对比比例 %	-23.93%	-25.69%	-8.99%
优化器 测试阶段	实验组单 kW 发电量 h	94.18		
	对照组单 kW 发电量 h	77.47	89.18	83.23
	对比比例 %	21.57%	5.61%	13.17%
提升比例 %		45.5%	31.3%	22.16%

#### 4.4 典型存量/长期运行电站（5年老旧组件）



## 多发价值：避免短木桶效应，提高整体发电量

地点：云特智能服装屋顶

### 测试方案

基本情况	该屋顶光伏项目投运期超过 5 年。选择 2 套逆变器系统进行试验，#1 系统直流系统容量 53.76kWp，配置 40kW 逆变器，#2 系统直流系统容量 52.08kWp，配置 40kW 逆变器。因投运时间较长，潜在具有随机环境遮挡、组件衰减失配、局部热斑、破损等发电量影响因素。
测试方法	采用基准测试加发电量提升验证测试的方案。首先进行基准测试，在发电较低的系统加装优化器之后进行正式优化器测试。
测试过程	确认系统调试完毕后开始正式测试，通过管理系统观察监控逆变器实验数据，保证系统连接稳定性和通讯良好性。同时记录测试阶段天气，如光照、温度等情况。
测试周期	基准测试：2021 年 12 月 16 日至 2022 年 02 月 08 日 正式测试：2022 年 02 月 26 日至 2022 年 03 月 13 日

### 测试结果与分析

在基准测试中，#1、#2 系统的单 kW 发电小时分别为 124.3h、120.6h，#1 系统相比于 #2 高 3.03%。

在改造后进行的正式测试中，#1、#2 系统的单 kW 发电小时分别为 58.0h、60.38h，#2 系统相比于 #1 高 3.94%。

因此剔除基准测试影响，综合评估通过更换为华为优化器，#2 系统相比于 #1 提升 6.94%。

## 4.5 多发价值总结

根据在分布式光伏开发中数个典型场景的应用测试结果可以看出，优化器解决方案能够消除各种组件级失配导致的发电量损失，相对于传统光伏方案带来可观的发电量提升和更高收益。

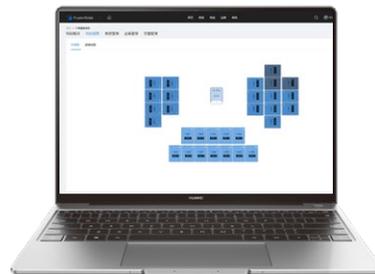
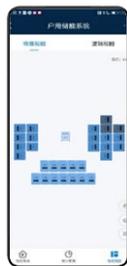


# 05

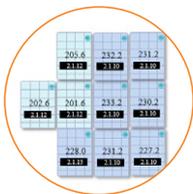
## 运维价值：组件级监控，实现精细化管理

### 5.1 智能管理

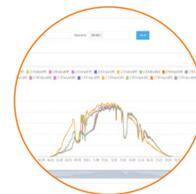
组件级电气参数监控：



支持当日、当月、当年及累计发电量查询



物理布局图通过颜色区分低效组件



可查询组件电压、电流、功率等信息

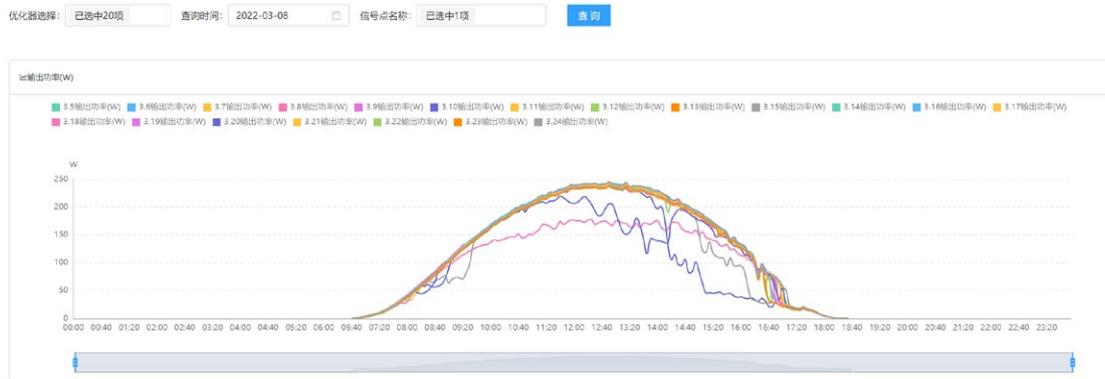
优化器解决方案中可以通过显示界面直观显示组件空间位置、组件发电功率、优化器输入输出电流电压等信息，实现智能化组件级监控与可视化管理。此方案可通过网页、APP 等方式访问电站视图，支持当前信息及历史信息查询。

每个组件的功率、发电量、电压、电流信息显示

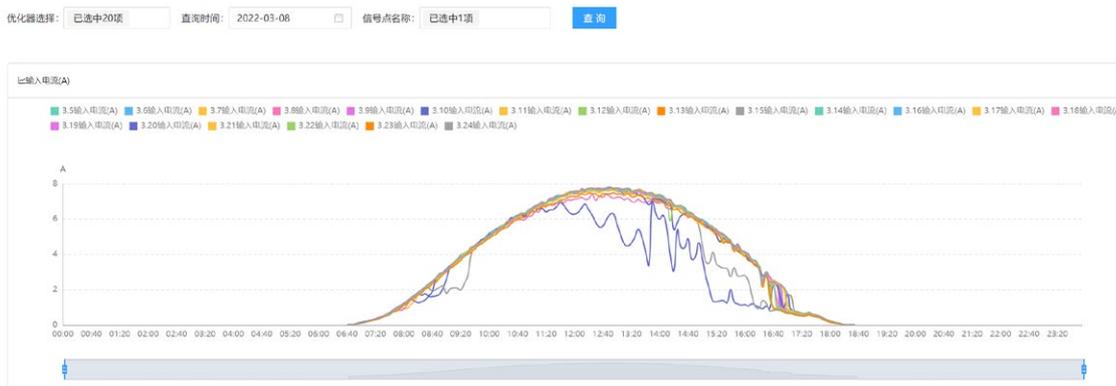


## 运维价值: 组件级监控, 实现精细化管理

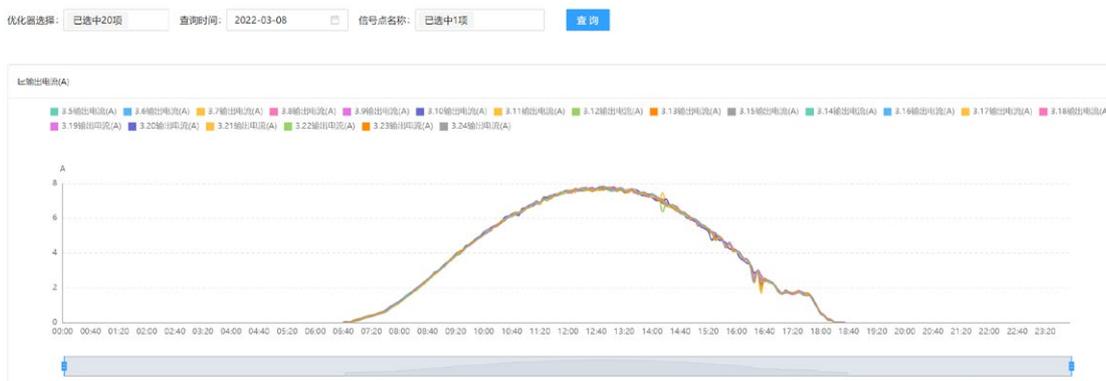
### 同一组串中所有组件的输出功率曲线



### 同一组串中所有优化器的输入电流曲线



### 同一组串中所有优化器的输出电流曲线



通过对比同一组串中优化器输入和输出电流曲线可以看出，组串中的部分组件由于遮挡以及老化等原因导致的失配，输出功率及输出电流偏低导致整个组串发电量偏低。组串输出电流转换成优化器的输入电流，经优化器后输出电流抬升，实现整个组串的统一高工作电流，提升整体发电量。

运维价值: 组件级监控, 实现精细化管理

扫码生成物理布局图展示

上传物理布局模板照片到管理系统, 通过二维码识别技术可实现快速识别组件物理位置, 并生成物理布局图。



5.2 智能运维

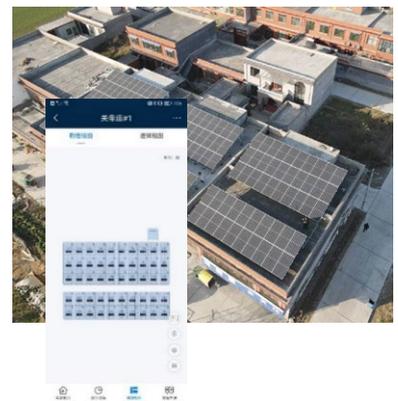


<p>优化器方案巡检 1次 / 季度</p>	<p><b>VS</b></p>	<p>传统巡检 2 ~ 3次 / 季度</p>
----------------------------	------------------	-----------------------------



通过优化器精细化管理减少盲目上站的巡检次数, 一个季度仅需 1 次。

<p>精确故障定位 0min 定位</p>	<p><b>VS</b></p>	<p>传统消缺 3 小时故障定位</p>
---------------------------	------------------	--------------------------



电站视图中组件的排布与实际环境呼应, 更加准确的体现设备真实环境中安装位置信息。设备数据实时上传, 状态实时反馈, 帮助用户精准定位问题点以及故障设备物理位置点, 实现虚拟现实管理。以 10kW 系统为例, 若某块组件发生故障, 传统方案通常需要 3 小时上站定位故障组件。华为方案可在电站视图中, 故障组件变红, 精确识别故障组件物理位置, 免上站排查时间。



# 06

## 安全价值： 快速关断，主动安全

### 6.1 安全标准制定的需求和背景

分布式光伏发电系统重点建设在居民、企事业、工商业单位的屋顶上。安全隐患成为各界普遍关注的问题，其中电气安全问题最为突出。随着“双碳”行动方案的实施和“整县开发试点”工作的推进，分布式光伏发电装机总规模快速扩大，火灾等安全事故发生的次数成倍增长。

沃尔玛从 2012-2018 年间，至少 7 间店铺都遭遇了光伏系统引发的火灾。而近些年国内分布式光伏发生过数十次较大火灾事故。

传统方案光伏组串在太阳光照下会持续带电，即使逆变器关机情况下仍存在 600-1100V 的直流高压，无法关断。更重要的是，屋顶电站发生火灾时，由于光伏线路所经之处都带有直流高压，消防员因存在触电风险而无法进行有效灭火，通常唯一的选择就是让建筑物以可控的方式燃烧，待全部光伏组件烧毁后开展灭火，这进一步增加了火灾的时长，并扩大了财产损失。采用综合性措施如快速关断技术结合智能电弧检测，“防消”结合，提高分布式光伏的安全防控水平，势在必行。



## 6.2 全球各国标准情况

### 国际相关标准



美国 NEC 2020 690.12 标准具体规定如下：在 1 英尺（30 厘米）范围以外，光伏输出电压在 30s 内降到 30V 以下；在 1 英尺（30 厘米）范围以内，光伏输出电压在 30s 内降到 80V 以下；要求组件级关断能力；强制可靠性急停，要求具备自检功能和单点故障快速关断功能不丧失。

德国 VDE-AR-E 2100-712 具体规定如下：光伏导线经过室内，电压需要小于 120V；要求组串级关断能力，进屋加装断路器；导线槽安装防火墙。

泰国 EIT 快速关断具体规定，遵循 NEC2020 标准 - 光伏阵列以内，30 秒内输出电压降低到 80V 以下，光伏阵列以外 30 秒内降低 30V 以下。

### 中国的标准和规范要求

T/CECS 941-2021《建筑一体化智能光伏系统技术规程》由住房和城乡建设部科技与产业化发展中心等单位编制，已批准发布，自 2022 年 4 月 1 日起施行。该规程指出建筑光伏发电系统直流侧应具备快速关断功能，即建筑光伏发电系统直流侧应具备组件快速关断功能，即紧急情况下，光伏方阵内任意两点的电压在 30 秒内应降到 120V 以下，光伏方阵范围 1 米外电压 30 秒内应降到 30V 以下。

浙江省整县推进屋顶分布式光伏开发工作导则明确鼓励商业建筑屋顶空间、新建建筑一体化光伏屋顶或光伏幕墙采用微型逆变器、组件优化器或其他能够实现组件级快速关断的装置。

上海市《建筑太阳能光伏发电应用技术标准》要求单块光伏组件或组串应采用快速关断的方式控制光伏方阵输出电压，应在 30 秒内，组串内任意两点的电压降到 80V 以下，光伏阵列 1 米范围外电压降低到 30V 以下。

安徽省《建筑光伏系统防火技术规范》要求直流侧输入电压 >80V，应安装直流电弧故障保护装置。当保护装置动作后，受控导线电压被限制小于 60V 或回路电流不超过 1mA。

### 6.3 安全关断功能验证



供应商 - 丹尼斯屋顶

#### 测试方案

基本情况	利用丹尼斯工商业屋顶搭建的华为优化器解决方案测试系统，系统容量，逆变器配置，全配优化器。
测试方法	用电压表测量逆变器输入一路 MPP 电压，通过电网断电、断开直流开关等多种触发方式模拟发生紧急情况时的场景，记录从触发到电压降为 0V 的时间。
测试过程	确认光伏系统正常运行，分别通过手动断开逆变器直流开关和交流侧配电箱的开关，记录从开关断开到直流电压降为 0V 的时间。

#### 测试结果与分析

使用断开直流开关和断开交流侧开关两种触发方式，测量逆变器 1 路输入 MPPT 电压降为 0V，关断时间分别是 25 秒和 11 秒，满足美国 NEC 2020 690.12 规定的要求。

### 6.4 快速关断功能指标建议

为了推动中国分布式光伏的部署，保障应用过程的人身财产安全，建筑光伏发电系统直流侧应具备组件快速关断功能，即紧急情况下，光伏方阵内任意两点的电压在 30 秒内应降到 120V 以下，光伏方阵范围 1 米外电压 30 秒内应降到 30V 以下。快速关断设备应能够将关断状态实时上传到指定的可视化管理系统，通过管理系统能够看到每块组件关断后的电压是否降低到安全电压以下。



# 07

## 总结

### 7.1 经济性分析

#### 7.1.1 经济性价值

优化器在整个光伏项目里带来的经济性收益包含以下三个方面：

- » 屋顶多装摊薄安装成本：经测算，优化器方案可提升屋顶约 30% 直流装机容量，可有效摊薄屋顶光伏的开发费、吊车费等成本，使得安装费下降 10-20%。一般情况下，各类场景存在的遮挡比例如下。

场景	存在遮挡的比例
政府及公共建筑	30-50%
工商业建筑	5-15%
农村户用屋顶	10-30%
别墅屋顶	30-50%

- » 系统多发提高电费收益：配置优化器的光伏系统可大幅减小组件之间的失配，从而带来比传统光伏系统更高的发电量和收益。在无遮挡场景下全生命周期可提高发电量 5.5%。对于有遮挡的场景，全生命周期发电量提高最高可达 30%。发电量的提升将降低光伏电站的度电成本（LCOE），增加 5.5%-30% 的电费收益。
- » 电站少运维减少维护成本：配置优化器的光伏系统从传统的组串级监控升级为组件级管理。通过精细化管理和组件级故障诊断技术，电站的运维效率可大幅提升，同时远程监控可减少进场运维次数，降低项目后期运维成本 15-25%。

## 总结

### 7.1.2 各类场景典型项目经济性对比分析

光伏项目的主要收益来自于光伏发电产生的电费收益。针对户用场景，通常采用“全额上网”的模式，根据电网公司上网电价产生收益。针对工商业场景，通常采用“自发自用，余电上网”的模式提高光伏发电的消纳和自发自用率，从而提高收益。

光伏发电的平准化度电成本（LCOE）=（初期投资 - 生命周期内因折旧导致的税费减免的现值 + 生命周期内因项目运营导致的成本的现值 - 固定资产残值的现值）/（生命周期内发电量的现值），即发一度绿电需要的成本投入。

基于光伏项目的电价和成本，结合系统初始投资和运行过程中每年的运维成本，可以得到全生命周期的项目现金流量表，从而计算光伏项目的经济性情况，如内部收益率 IRR 和回收期等。

户用场景典型项目经济性测算

户用场景典型项目	传统方案	华为优化器方案 (无多装)	华为优化器方案 (有多装)
屋顶面积	120 平方米	120 平方米	120 平方米
组件选型	500 W	500 W	500 W
直流容量	24 kWp	24 kWp	26.4 kWp
交流容量	20 kW	20 kW	20 kW
首年发电小时	1200 h	1266 h	1255 h
是否配置优化器	否	是	是
上网电价	0.3757 元 /kWh	0.3757 元 /kWh	0.3757 元 /kWh
用电电价	0.5 元 /kWh	0.5 元 /kWh	0.5 元 /kWh
自发自用率	0%	0%	0%
度电成本	0.2837 元 /kWh	0.2798 元 /kWh	0.2823 元 /kWh
内部收益率 IRR	7.42%	7.67%	7.55%
回收期	10.84 年	10.61 年	10.73 年
生命周期发电量	67.84 万度	71.57 万度	78.02 万度
生命周期总收入	25.49 万元	26.89 万元	29.31 万元
二氧化碳减排量 *	322.25 吨	339.97 吨	370.6 吨

\* 按照每 1 度绿电产生 0.475kg 二氧化碳减排计算

党政机关 / 公共建筑场景典型项目经济性测算

党政机关 / 公共建筑场景 典型项目	传统方案	华为优化器方案 (无多装)	华为优化器方案 (有多装)
屋顶面积	10000 平方米	10000 平方米	10000 平方米
组件选型	500 W	500 W	500 W
直流容量	1 MW	1 MW	1.3 MW
交流容量	880 kW	880 kW	1.1 MW
首年发电小时	1200 h	1266 h	1237 h
是否配置优化器	否	是	是
上网电价	0.3757 元 /kWh	0.3757 元 /kWh	0.3757 元 /kWh
用电电价	0.7 元 /kWh	0.7 元 /kWh	0.7 元 /kWh
自发自用率	60%	60%	60%
度电成本	0.285 元 /kWh	0.281 元 /kWh	0.2875 元 /kWh
内部收益率 IRR	13.56%	13.68%	13.3%
回收期	6.54 年	6.49 年	6.67 年
生命周期发电量	2826.7 万度	2982.18 万度	3788.65 万度
生命周期总收入	1611.2 万元	1670 万元	2160 万元
二氧化碳减排量 *	13427 吨	14165 吨	17996 吨

\* 按照每 1 度绿电产生 0.475kg 二氧化碳减排计算

## 总结

### 7.2 总结描述

在双碳大背景下，针对分布式光伏开发下沉市场中的各种因遮挡或老化造成的失配问题，华为基于组件级电力电子技术提出优化器解决方案，在第三方认证机构 TUV 莱茵的目击见证下通过典型场景的测试实证，相对于传统方案确实能够实现多装，提升发电量，根据经济性分析，验证收益提升明显。基于优化器采集的关键数据实现组件级智能监控，解决了分布式光伏由于站点分散造成的运维不方便，提高运维效率，降低了成本。而其具备的快速关断功能，也从根本上保证了运行和维护的安全性，降低了发生紧急情况带来的二次伤害，为提高分布式光伏的渗透率，尽早实现双碳目标打下坚实基础。



## 参考目录

- [1] ‘New Energy Outlook 2021 | BloombergNEF | Bloomberg Finance LP’ , BloombergNEF. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/> (accessed Mar. 01, 2022).
- [2] ‘2021年光伏发电建设运行情况---国家能源局’. [http://www.nea.gov.cn/2022-03/09/c\\_1310508114.htm](http://www.nea.gov.cn/2022-03/09/c_1310508114.htm) (accessed Mar. 22, 2022).
- [3] ‘Photovoltaic Systems with Module-Level Power Electronics’ , [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64876.pdf>



## 华为技术有限公司

深圳龙岗区坂田华为基地  
电话: +86 755 28780808  
邮编: 518129  
www.huawei.com

### 商标声明

 HUAWEI, HUAWEI,  是华为技术有限公司商标或者注册商标, 在本手册中以及本手册描述的产品中, 出现的其它商标, 产品名称, 服务名称以及公司名称, 由其各自的所有人拥有。

### 免责声明

本文档可能含有预测信息, 包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素, 可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此, 本文档信息仅供参考, 不构成任何要约或承诺, 华为不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。华为可能不经通知修改上述信息, 恕不另行通知。

版权所有 © 华为技术有限公司 2022。保留一切权利。

非经华为技术有限公司书面同意, 任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部, 并不得以任何形式传播。