

降低光伏LCOE的电池与组件技术方向探讨

冯志强 博士

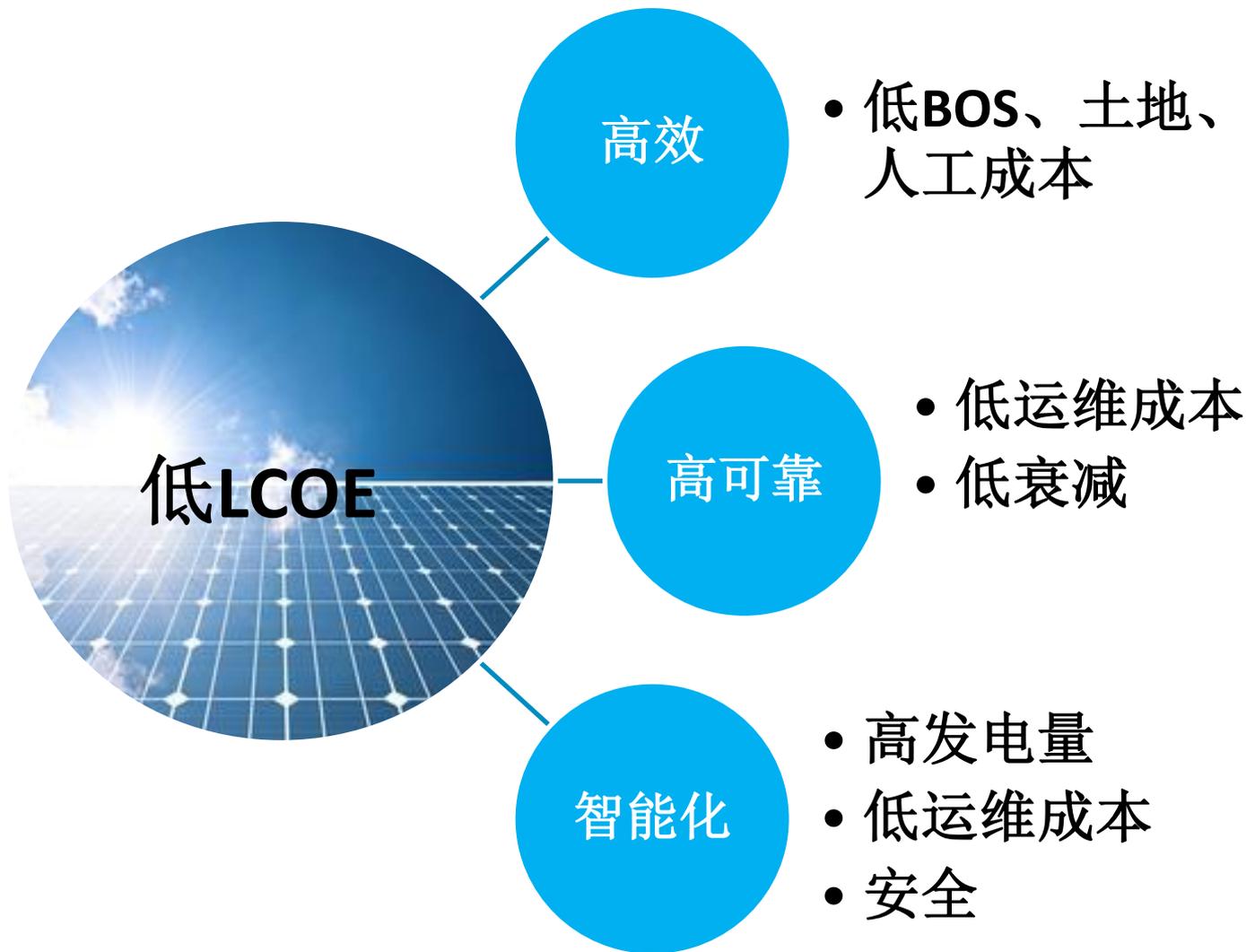
常州天合光能有限公司
光伏科学与技术国家重点实验室

2015年9月15日 北京

提升光伏组件效率降低效率衰减技术研讨会



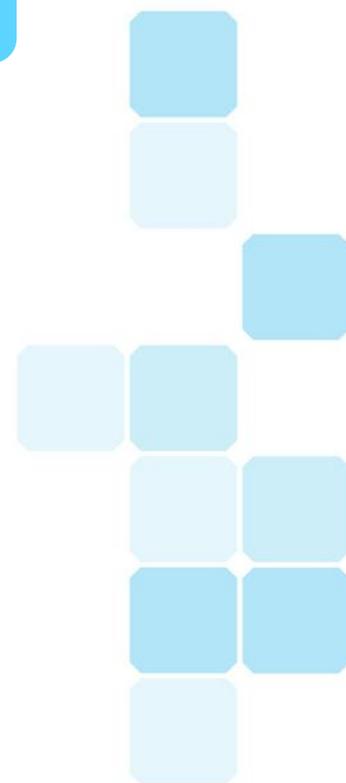
提升光伏竞争力的电池与组件技术方向



1. 高效光伏组件技术

2. 高可靠光伏组件方向

3. 智能化与易安装组件



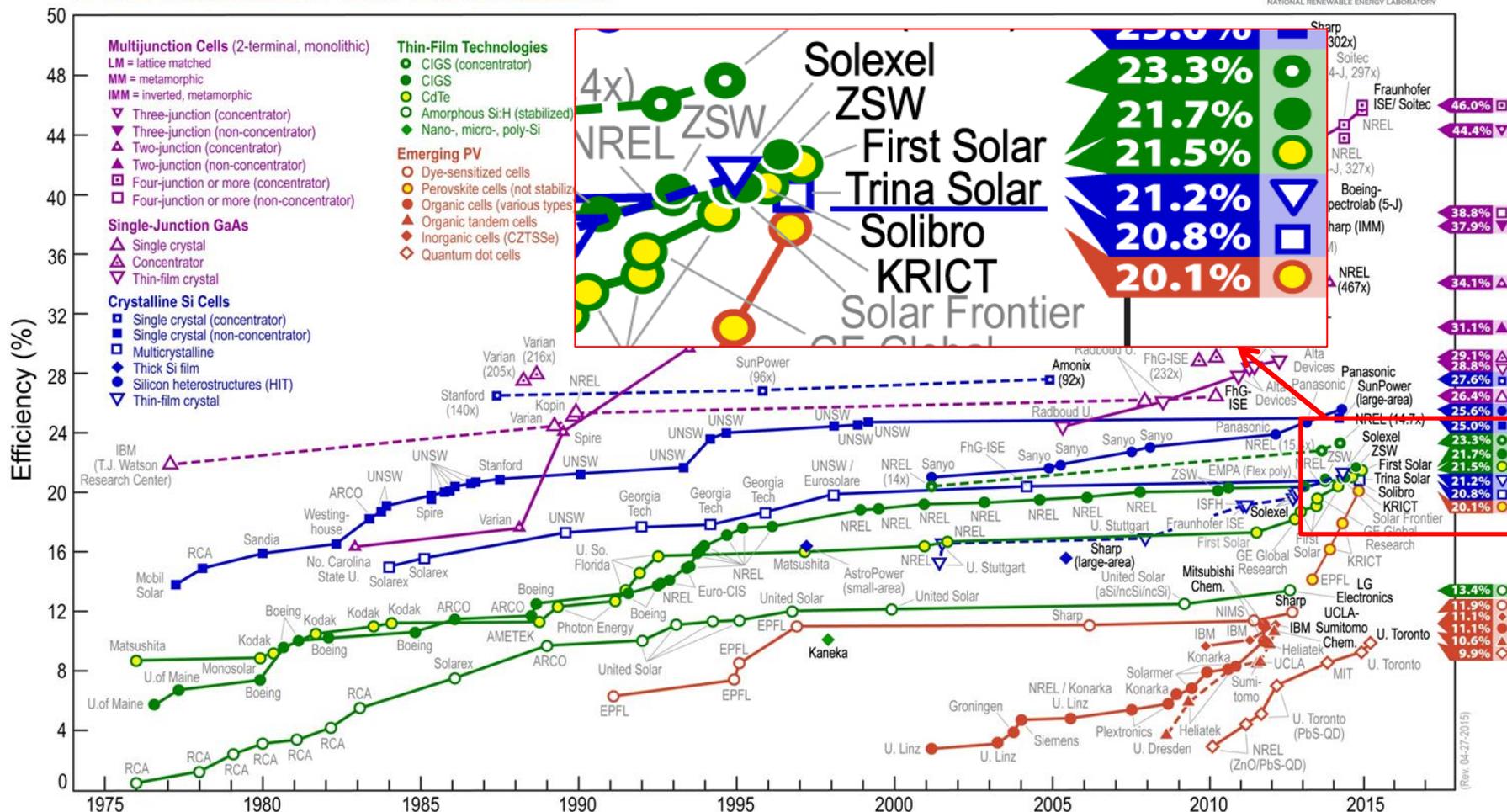
不同电池最高效率分布

- 晶体硅PERC电池
 - 天合光能: 20.76% (156 mm 多晶硅)
 - 新南威尔士大学: 25% (2 cm 单晶硅)
- 背接触IBC Cells:
 - SunPower: 25% (125mm wafer)
 - 天合光能: 22.9% (156 mm wafer)
- 背接触IBC + 异质结HJ:
 - 夏普: 25.1% (4 cm²)
 - 松下: 25.6% (143 cm²)
- CIGS:
 - Solar Frontier: 20.9%
 - Solibro: 21%
- CdTe:
 - First Solar : 21.0%
- 钙钛矿: 17.9% (Korea Res. Inst. of Chem. Tech., confirmed) and 21% (unconfirmed)
- 多结三五族电池:
 - 非聚光电池: 五结电池 : 38.8% (Spectrolab)
 - 聚光电池: 四结聚光297倍电池 : 46.0% (Fraunhofer ISE)



NREL公布的电池最高效率图

Best Research-Cell Efficiencies



Source: <http://www.nrel.gov/ncpv/>



太阳能电池组件效率提升方法

电池

- 光学 —— 减反射膜、绒面、背面电极
- 电学 —— 表面钝化、异质结

组件

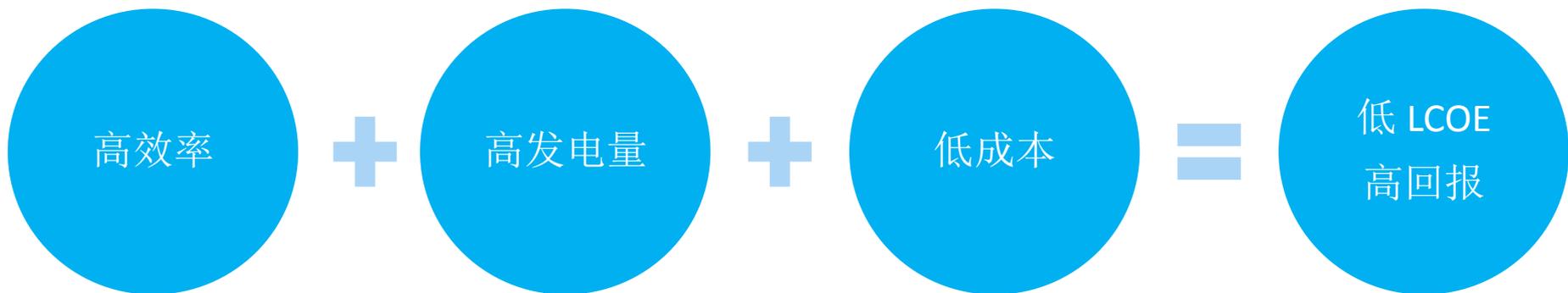
- 光学 —— 减反玻璃、高透封装材料、光谱匹配、微聚光
- 电学 —— 低电阻连接、电学匹配

系统

- 光学 —— 最佳倾角、聚光、跟踪、灰尘，光谱匹配
- 电学 —— 电学匹配、电阻损耗、MPPT、逆变与升压损耗
- 热学 —— 电池温度

高效组件对LCOE的影响

$$\text{LCOE} = \frac{\text{生命周期内总费用}}{\text{生命周期内总发电量}}$$



- 组件效率
- 系统效率

- 低衰减
- 高温性能好
- 低辐照性能好

- 安装成本
- 运营成本

产业发展方向——降低LCOE：

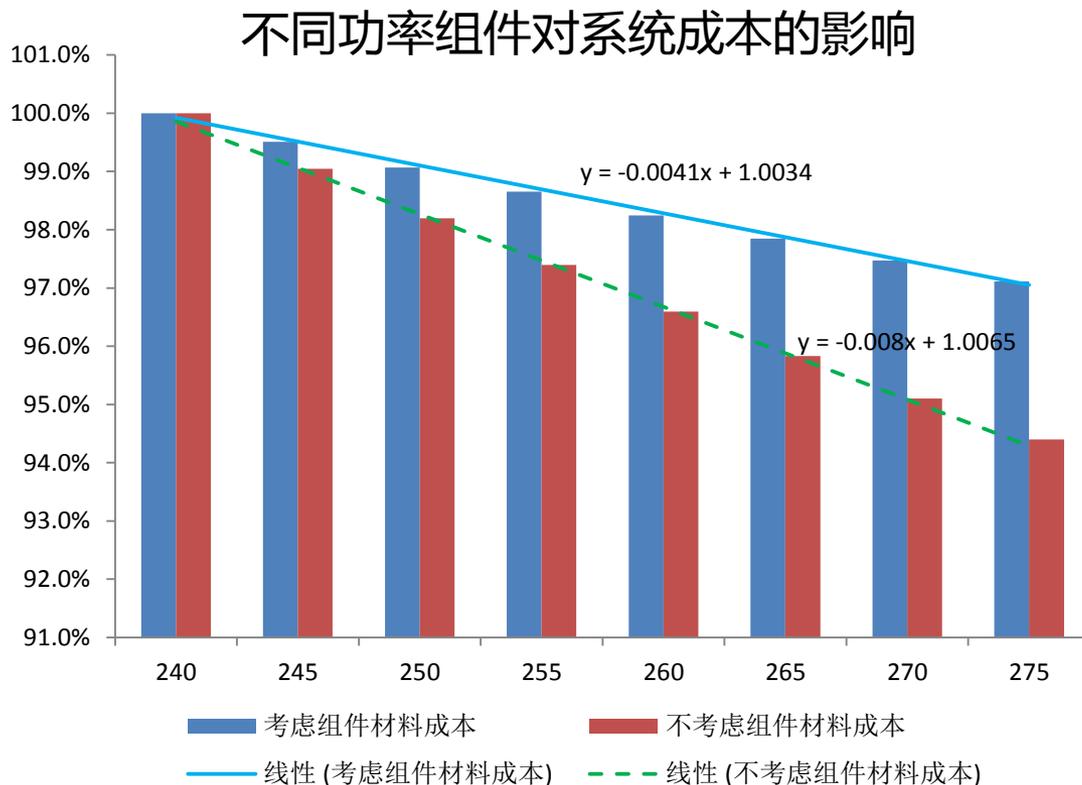
1. 通过持续创新提升效率、降低成本
2. 不断改善产品质量和可靠性

高效组件对成本的影响（电站）

□ 对于10MW的项目，效率每提升0.25%（功率约提升5W），可使BOS成本下降约0.8%（2~3分RMB）。

➤ 相同容量的系统：

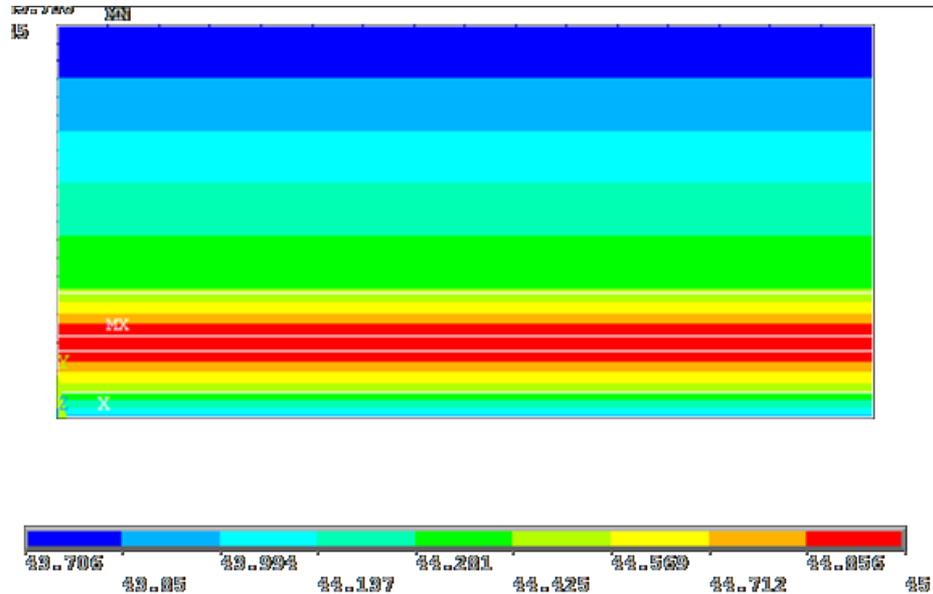
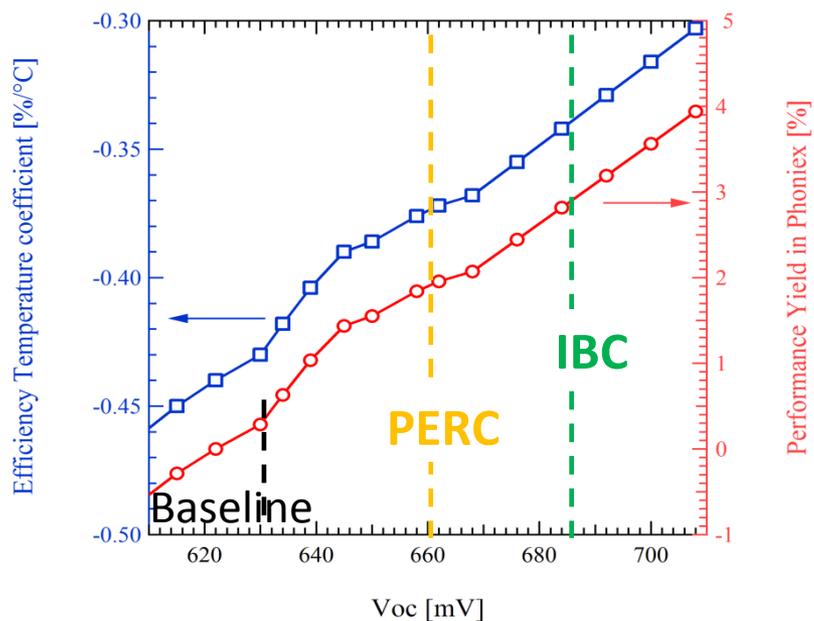
- ✓ 电缆、汇流箱减少
- ✓ 组串数量减少
- ✓ 组件数量减少
- ✓ 支架用量减少
- ✓ 占地面积减少
- ✓ 安装工时减少
- ✓



高效光伏组件发电性能—高温

□ 组件热损失

➤ 卓越的高温性能 = 高温度系数 + 低工作温度



□ 温度系数影响因素分析（图左）

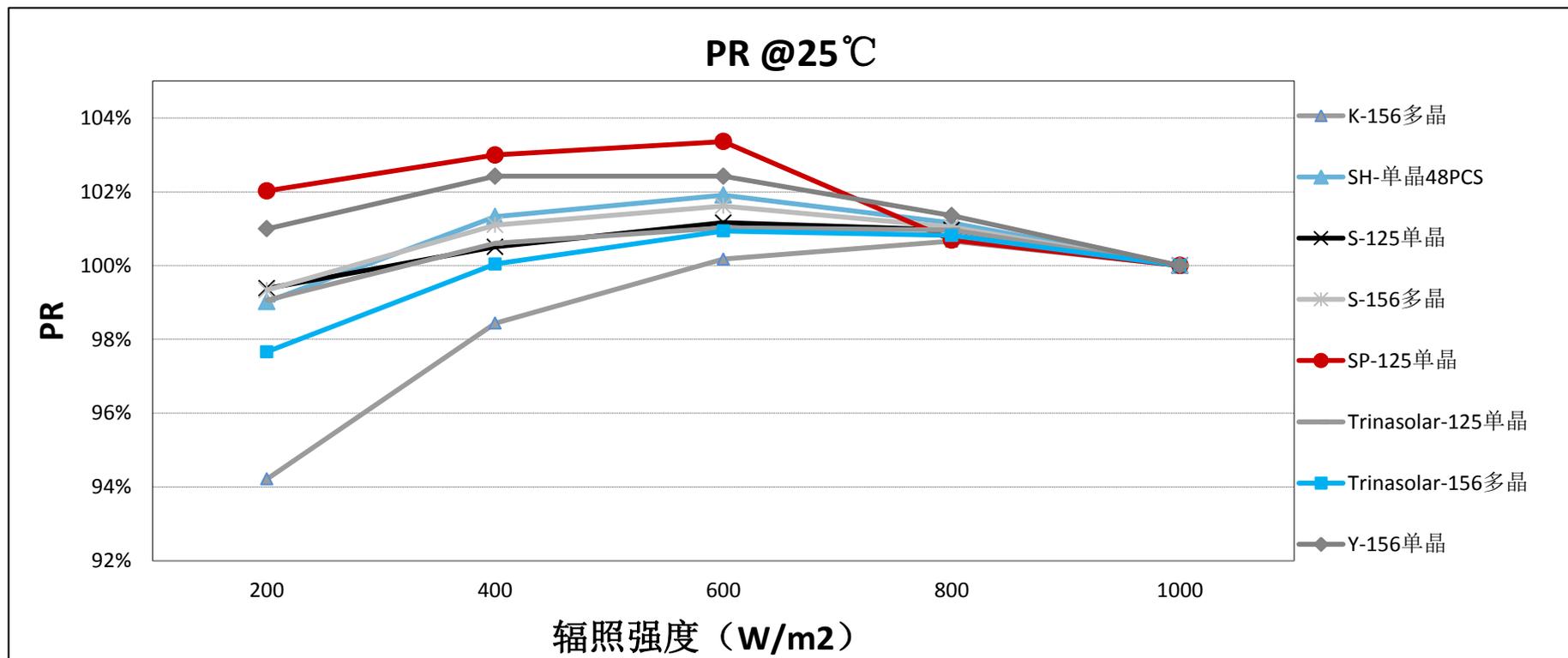
➤ 新电池技术如**PERC**、**IBC**等，有较高的 Voc 和温度系数，因此拥有更好的高温性能

□ 组件散热模型分析（图右）

➤ **高效双玻轻质组件**，电能转化率高，前后表面散热好，具有更低的NOCT（工作温度）

高效光伏组件发电性能—低辐照

□ 组件低辐照下的性能



IBC组件 (SP-125单晶) 低辐照性能最好 ;

1. Rsh大的高效电池低辐照性能好 ;
2. 不同组件低辐照性能差异较大 , 200W/m²时差异超过7%。

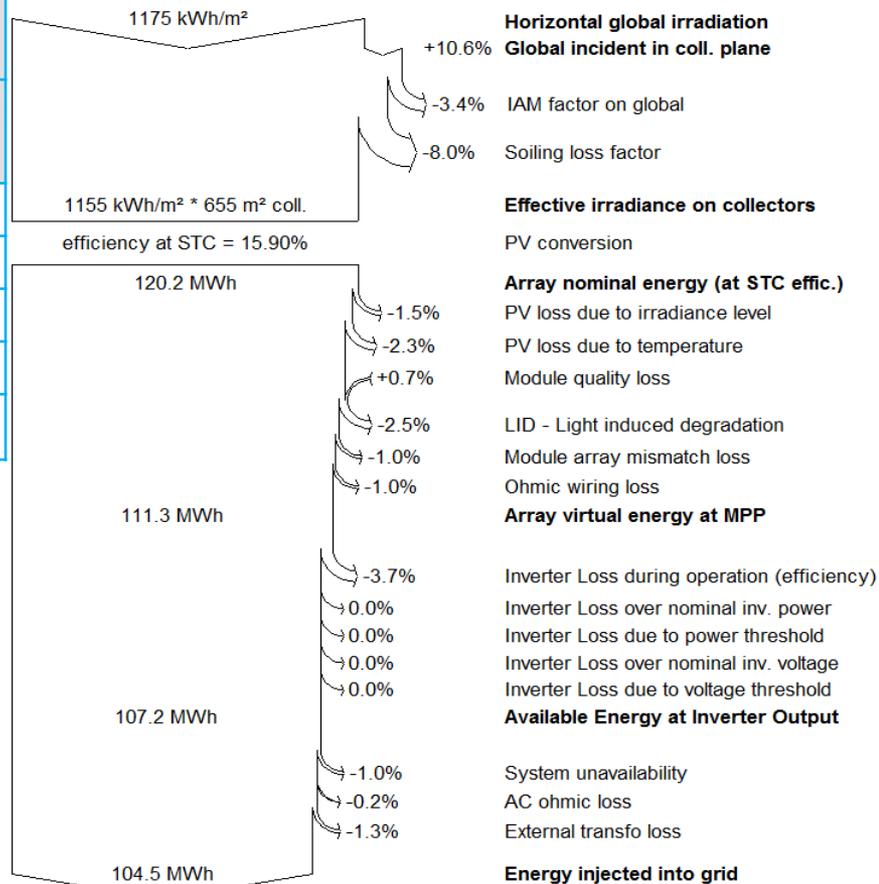
高效组件对发电量的影响

● 以常州地区为例：

➤ 高效组件能提升发电量约~2%

➤ 发电量影响方向（基于测试和模拟）

主要影响因子	普通多晶	高效组件 (包含电池和新材料技术)	
	规格值	规格值	理论发电量提升
温度系数	-0.45%/°C	-0.41%/°C	0.5~1%
工作温度	45°C	44°C	0.4%
低辐照性能	-1%	-0.50%	0.5%
LID	-2.5%	-2%	0.5%
汇总			~2%



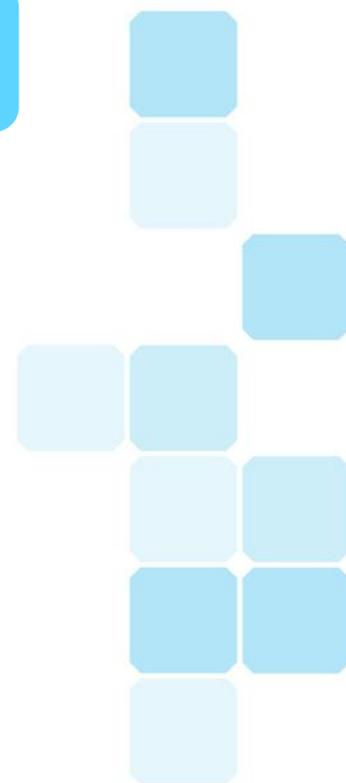
➤ 高效高发电量产品解决方案：

- ✓ 基于PERC、IBC、HIT等新型电池技术的研发和应用
- ✓ 基于低衰减类新产品（例如，双玻组件）研发

1. 高效光伏组件技术

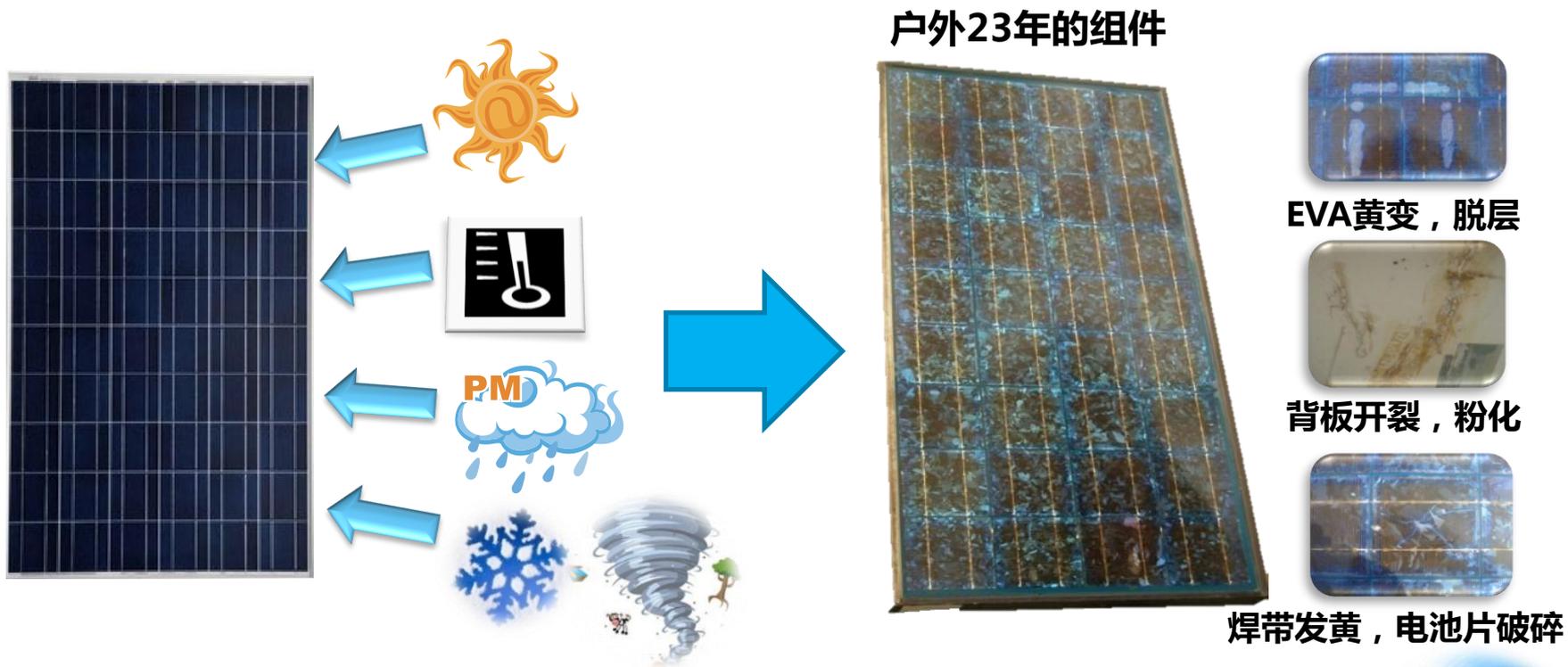
2. 高可靠光伏组件方向

3. 智能化与易安装组件



光伏组件可靠性问题

优化实验室内等效加速老化测试方法，保障组件使用寿命。

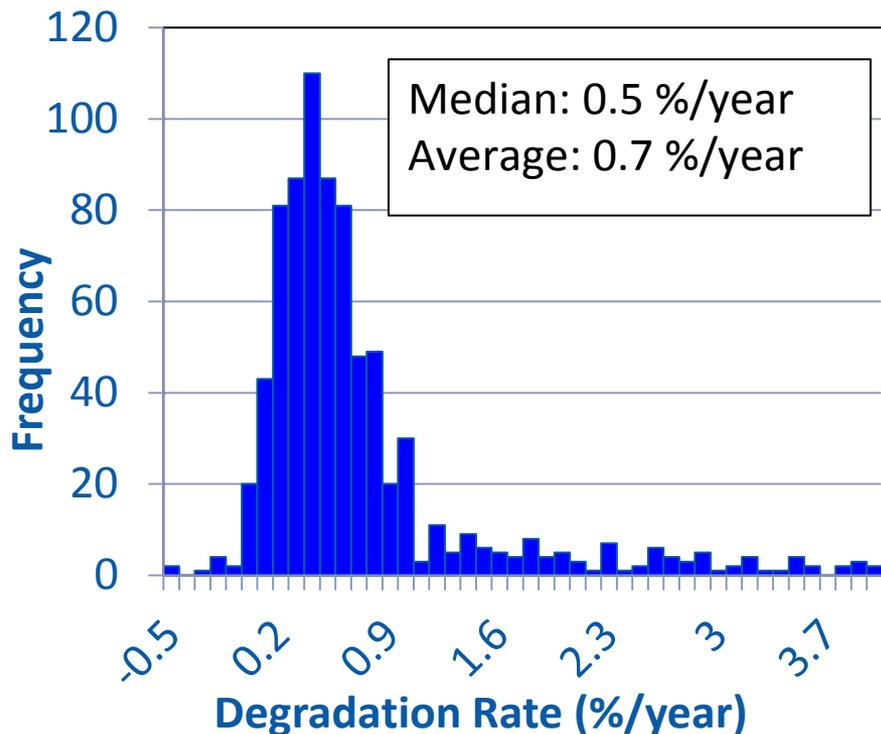


25年的组件质量保证如何实现？



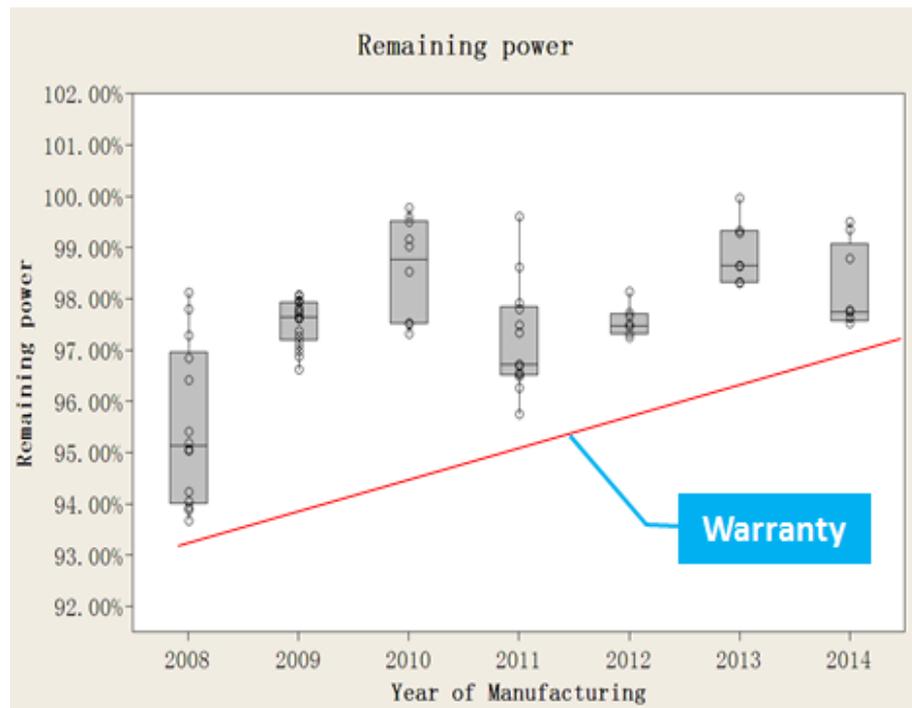
光伏组件室外实际衰减情况

国外 (NREL) 长期衰减研究数据



- 40种型号组件
- 最早组件为1993年安装

天合光能长期衰减研究数据



- 81片多晶组件样品长期并网运行
- 最早组件为2008年安装

根据国内外长期调研的数据，年平均衰减在0.7%以内

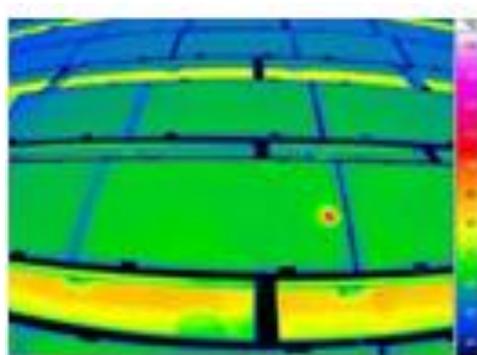
光伏组件功率衰减原因

- 影响组件功率衰减的**内部**因素：

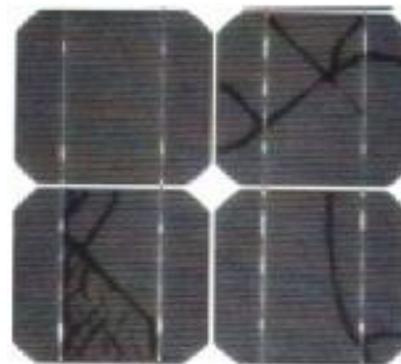
- 前期光衰减与电池强相关

- 1年后衰减受封装材料、工艺影响大

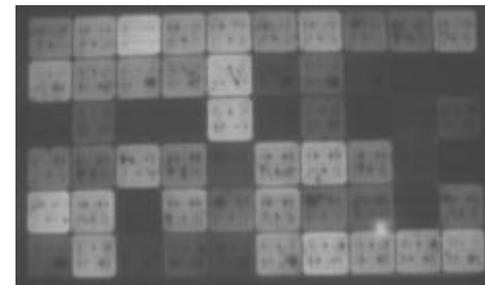
- EVA黄变----透过率降低
- 电极、焊带腐蚀---电阻增大
- 长期热斑造成电池衰减不一致---失配
- 水汽进入引起脱层---界面反射率大



热斑



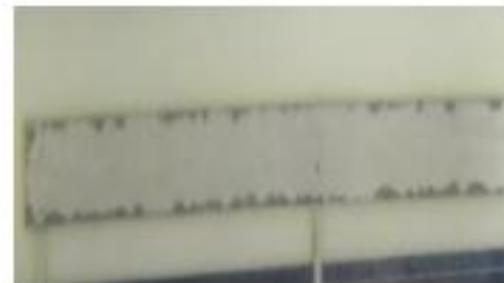
黑线



PID



背板开裂，裂缝



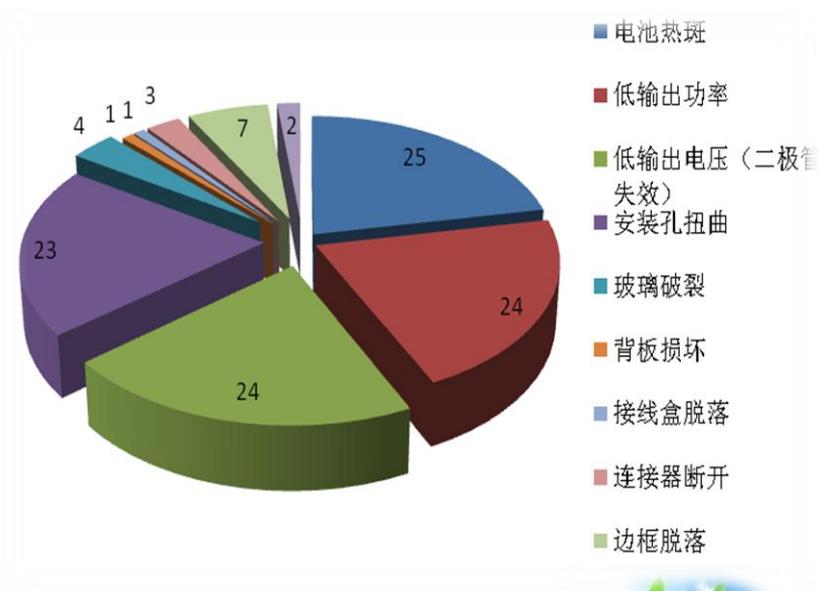
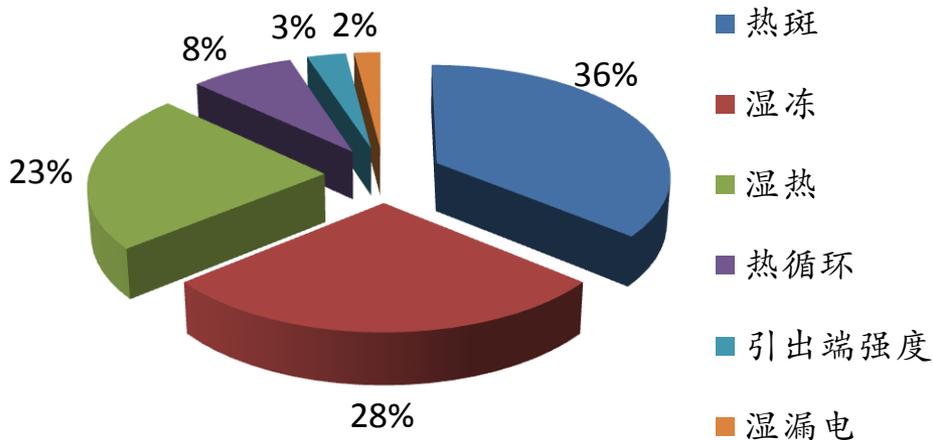
黄变焊带

光伏组件失效问题分布

- 针对常见的失效模式，开发高效高可靠性光伏材料与组件。

- 室内测试主要失效：湿热试验（42%），热循环试验（18%）等。
- 室外主要短期失效：热斑、PID占重要比例。
- 室外组件长期衰减与失效：EVA黄变、二极管失效

TUV中国认证组件的失效分布

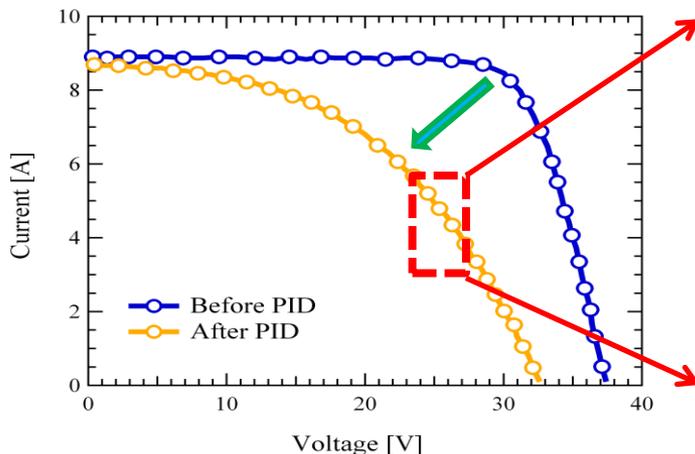


美国地区光伏组件1~3年短期失效模式分布图

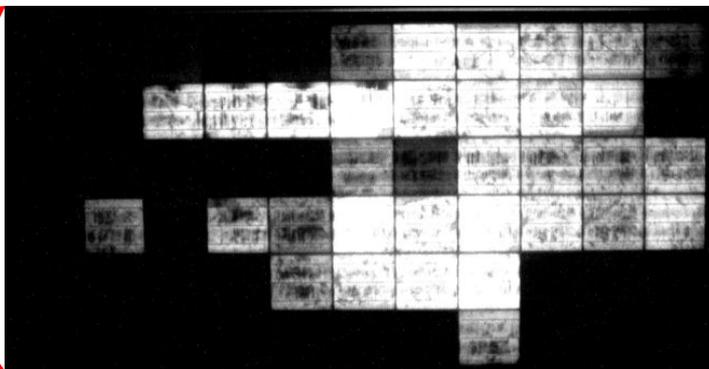


电势诱导衰减 (PID)

- 组件功率衰减会达到**30%**以上，甚至高达**70%**



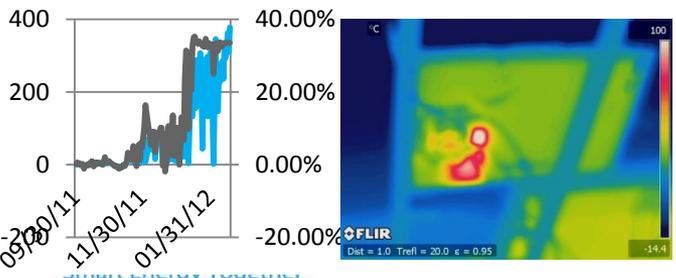
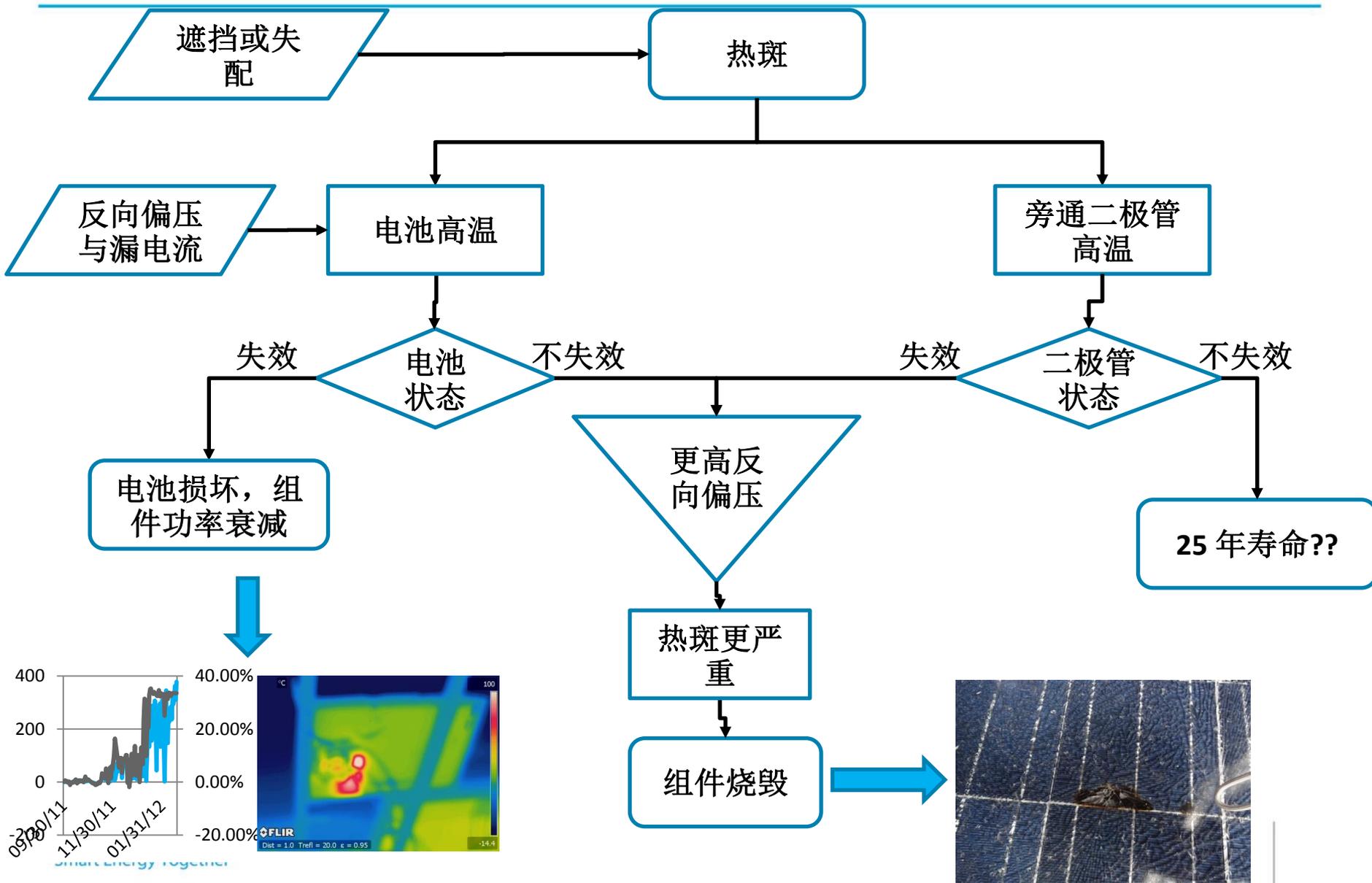
组件FF、 V_{oc} 大幅下降



组件EL亮度大幅下降

- 问题组件：90%出现在接近负极端5psc
- 问题组件：接近边框部分电池出现EL黑片，Voc明显下降
- 影响因素：系统电压与接地、组件绝缘性、电池ARC、环境温湿（盐）条件

光伏组件热斑



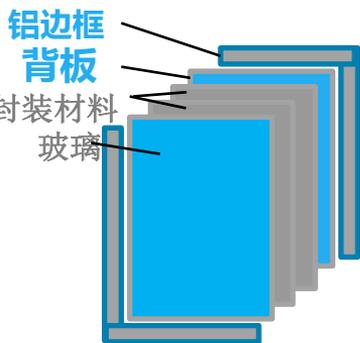
可靠性研究现状

- 国际NREL, AIST, Fraunhofer机构已在积极开展可靠性研究
- 中国光伏制造、应用市场全球最大, 具备测试硬件条件



高可靠光伏组件方向--耐湿热

双玻组件 — 在高湿高热下，能更好的保护电池片，提高组件寿命，同时降低运输和安装过程中的隐裂风险

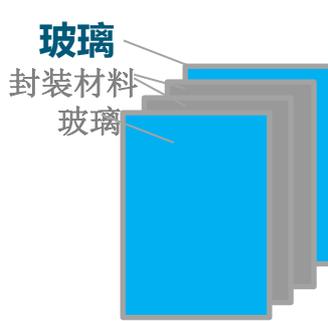


常规组件

使用传统高分子背板
铝边框，需要接地

(电池片的示意图此处省略)

1. 高分子背板的耐老化性能差
2. 背板有一定的透水率，高温高湿下，水汽渗入会降低组件功率
3. 重量轻
4. 需要接地
5. 改善EVA或电池片达到抗PID性能



双玻组件

背板使用玻璃
无边框，无需接地

(电池片的示意图此处省略)

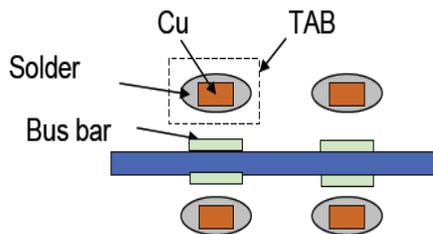
1. 无机材料玻璃的耐候性远优于高分子背板
2. 玻璃不透水，高温高湿下更好地保护电池片
3. 组件不接地，抗PID性能更加优异



高可靠光伏组件方向--耐热冲击

导电胶组件 — 提高机械载荷性能，结合聚光焊带提高功率

常规组件

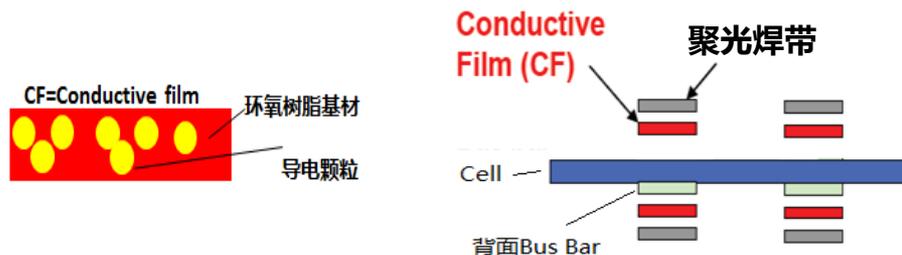


使用涂锡焊带

高温焊接，温度高达260℃

1. 损伤电池片
2. 能耗高
3. 高低温测试以及机械载荷后，容易出现电池片隐裂

导电胶组件



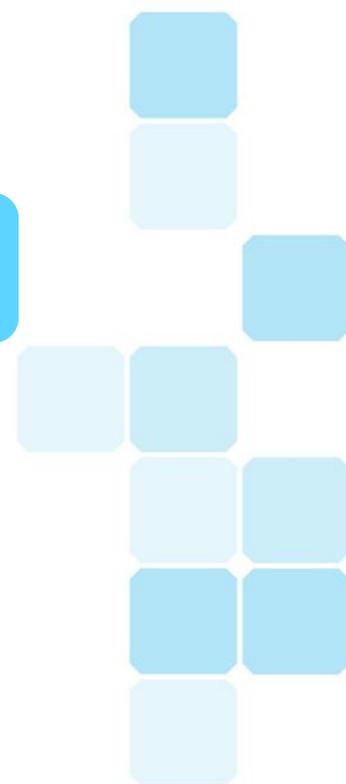
聚光焊带+CF粘结+无主栅电池

焊接温度仅170℃左右

1. 不破坏电极和焊带镀层，降低对电池片的损伤
2. 焊接工艺适应性强，对粘结金属无要求
3. 提高组件的耐高低温和机械载荷性能
4. 适用于对温度敏感的HIT电池和薄电池
5. 可实现电池无主栅线、无背银化

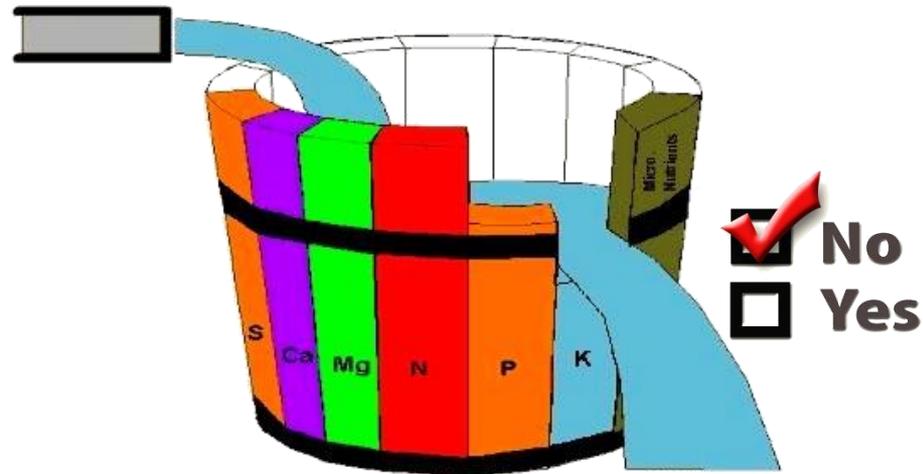


1. 高效光伏组件技术
2. 高可靠光伏组件方向
3. 智能化与易安装组件



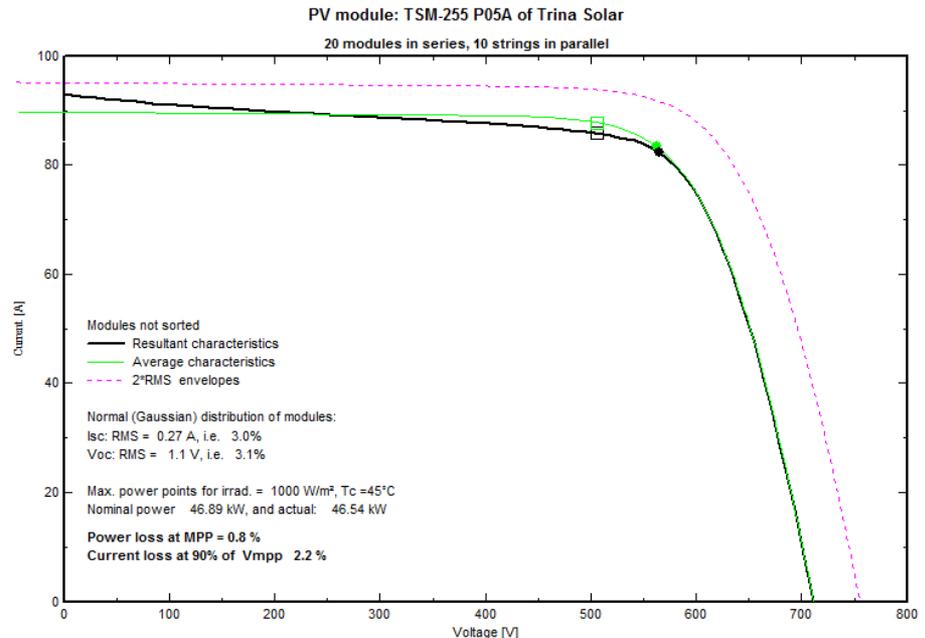
组件失配对系统发电量影响

失配损失 串联失配短板效应？



The element which is in shortest supply
(in this case K), limits the yield

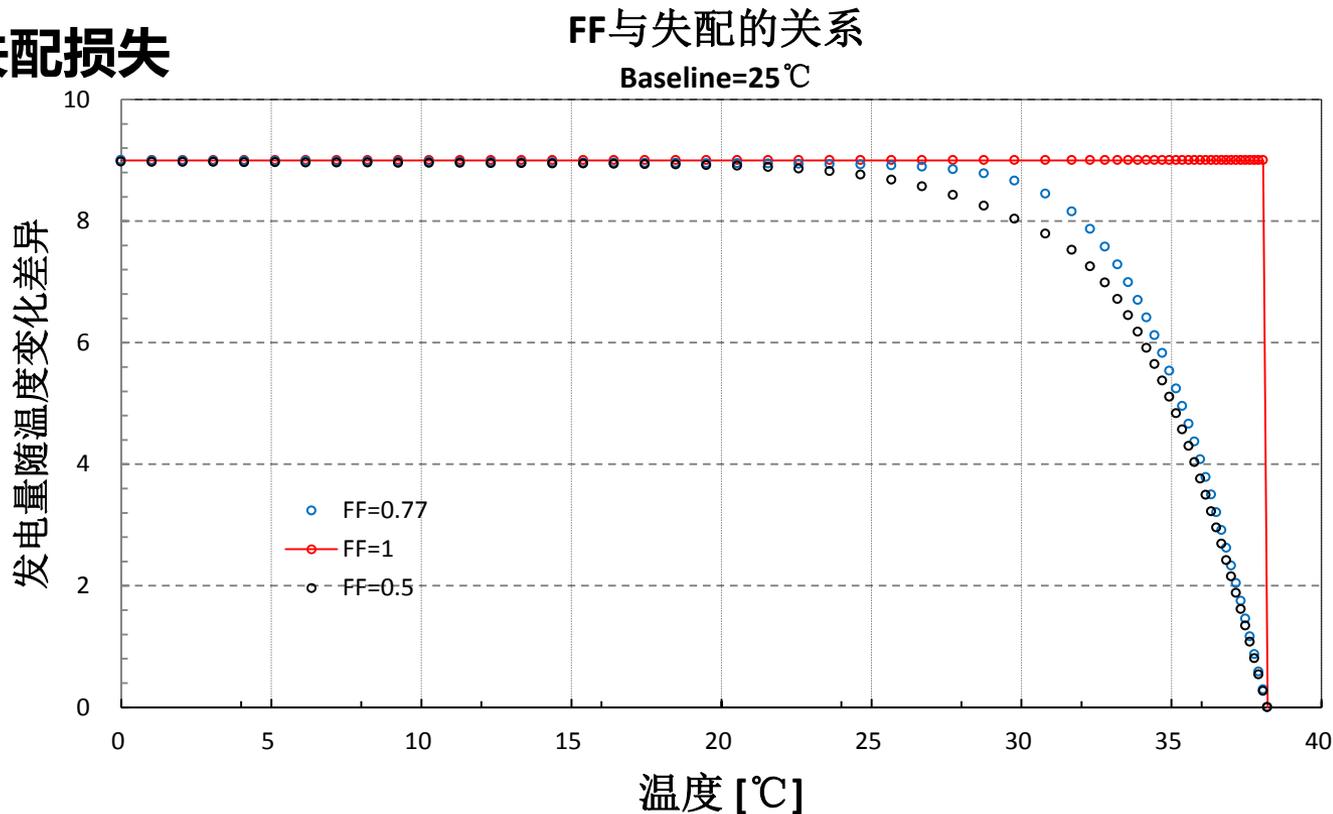
失配模拟



- 当失配比例约>10%时（即失配组件的短路电流比其他组件的正常工作电流更低时），才会对系统发电量造成较大影响
- 系统中，组件功率混档对系统发电量影响极小

组件失配对系统发电量影响

失配损失



- 出现失配时，组件中太阳能电池会不工作在最大工作点，产生功率损失；
- 只有当 $FF=1$ 时，才有所谓的短板效应；
- **FF越高失配影响越大。**

智能光伏组件发展趋势

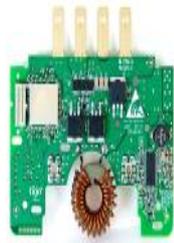
• 智慧能源管理是光伏发展趋势



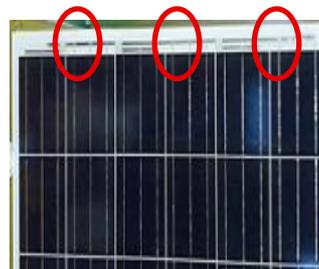
组串或集中式优化



组件级功率优化



子串级功率优化

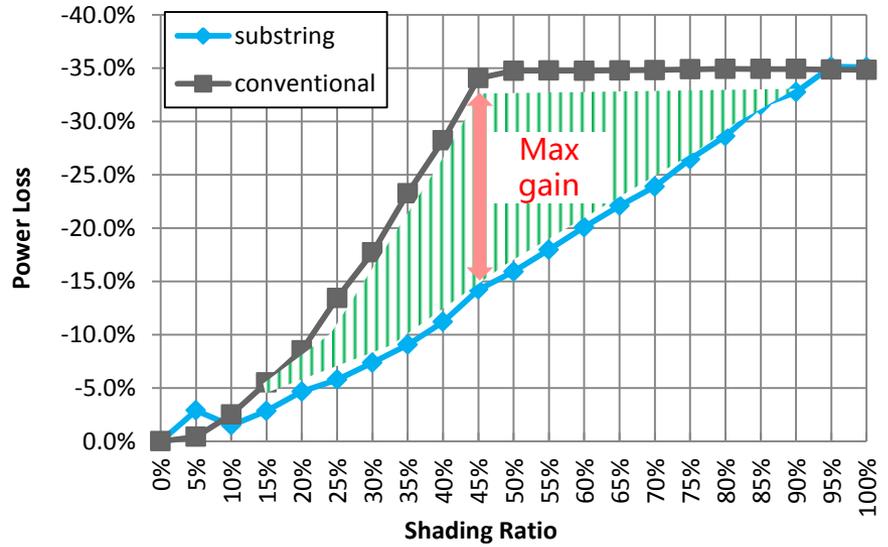
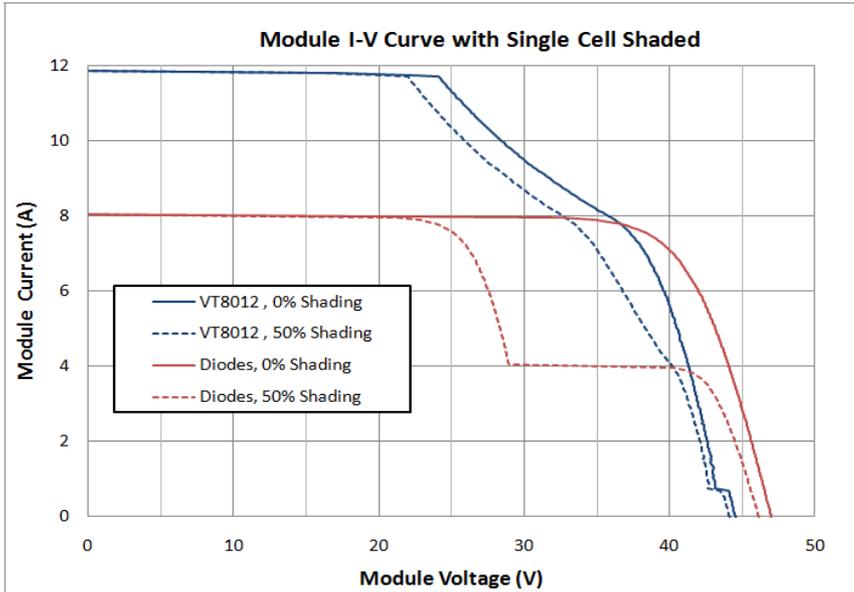


• 理想的智能组件产品特点：

- 功率优化
- 安全
- 单体监控
- 低成本
- 高效率
- 高可靠性

智能组件优化性能

- 单块电池片遮挡情形



- 智能组件在较大的电压范围内，均可输出最大功率
- 单片电池片遮挡时，智能组件功率优化最高可达 **20%** (50%遮挡时)

易安装组件结构



传统支架系统

- 10种配件以上，专业性较高，施工期较长；
- 抗风效果差，对屋顶载荷大，
- 破坏屋顶防水

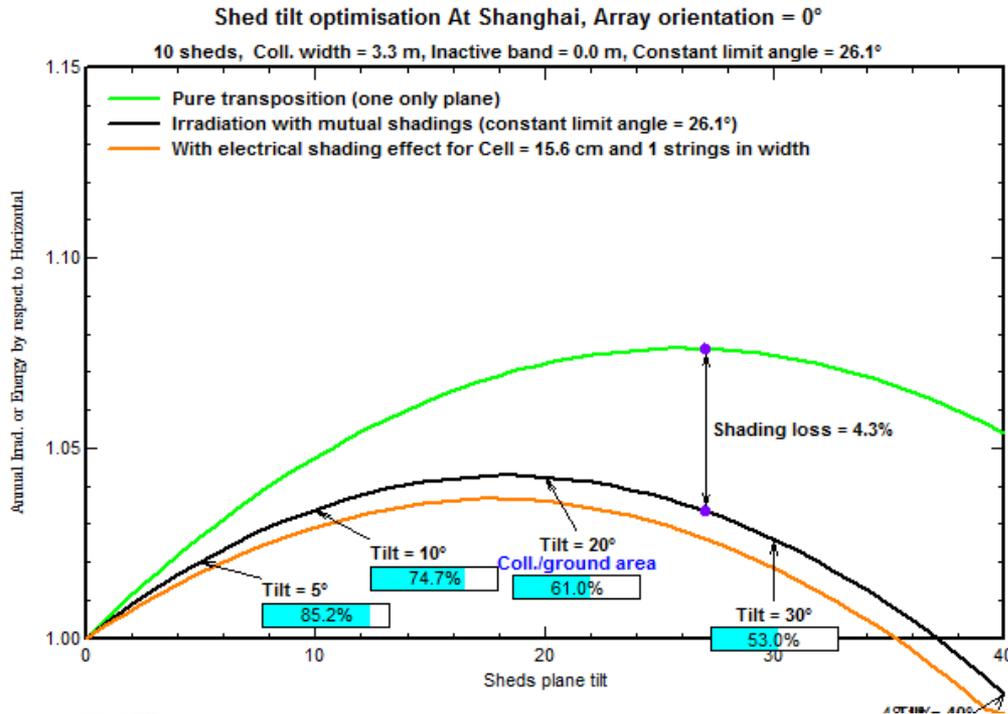


易安装组件

- 简单的配件设计（2种），快速安装；
- 对屋顶最低的载荷，提高屋顶可利用面积；
- 不破坏屋顶防水

分布式屋顶最佳倾角优化设计

- 最佳倾角设计需要考虑屋顶成本
 - 假设屋顶租金为 m , 屋顶长 a , 宽 b , 单个光伏面板面积长 k , 宽 t , 单个光伏方阵成本为 n , 单个光伏系统处于最佳倾角且无阴影遮挡时的全年发电量 Q_{\max} 。可变量为：光伏方阵的倾角 α , 前排对后排的遮挡百分比 x , 假设组件电池有 s 排。
- 模拟计算不同倾角和不同间距的遮挡损失

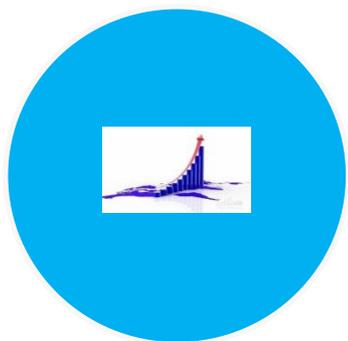


- 建立发电成本 y 与最佳倾角 α 的关系模型

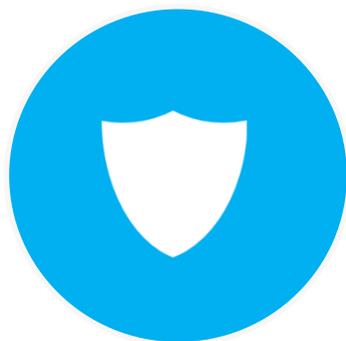
$$y = \frac{m + \frac{b}{t} \times \frac{a}{k} \times n}{\cos \alpha} \times \frac{b}{t} \times \frac{a}{k} \times \frac{1}{(1-x)} \times Q_{\max} \times \eta_{\alpha}$$

小结

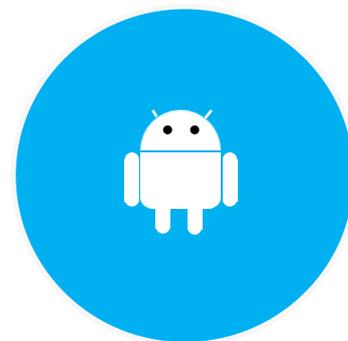
光伏组件的发展趋势



高STC效率



高可靠与高发电量



智能化与易安装



新一代高效
组件

CHINA

SINGAPORE

JAPAN

CANADA

CHILE

U.S.A.

U.K.

GERMANY

FRANCE

ITALY

SPAIN

SWITZERLAND

AUSTRALIA

THANK YOU

www.trinasolar.com

