



研发平台公益培训

光伏系统检测技术概况

薛永胜

solar811@126.com



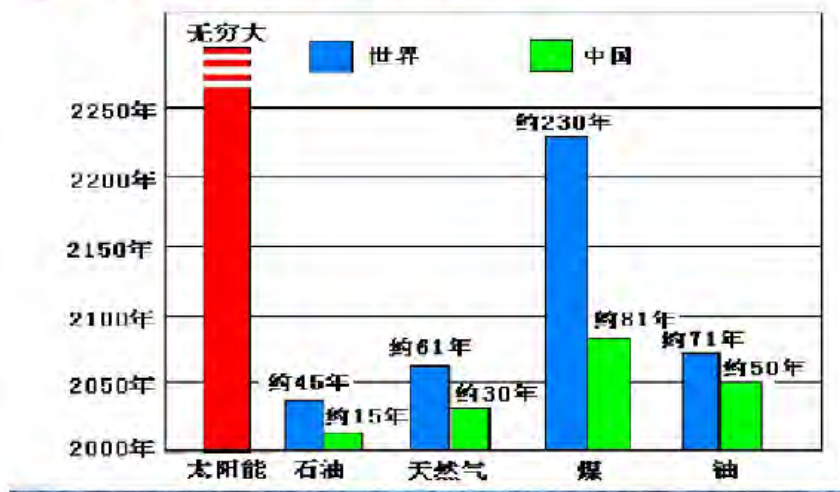
提纲

- 光伏系统发展现状
- 目前暴露的问题
- 检测技术现状
- 未来发展方向
- 小结



能源缺口

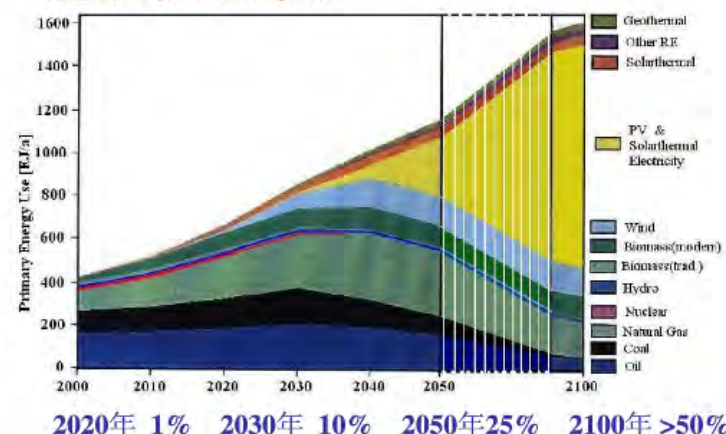
我国能源储量与世界比较



我国能源储量相对较少，煤81年

世界能源发展趋势 (PVNET2003)

(数据来源EU JRC PV Roadmap 2004)



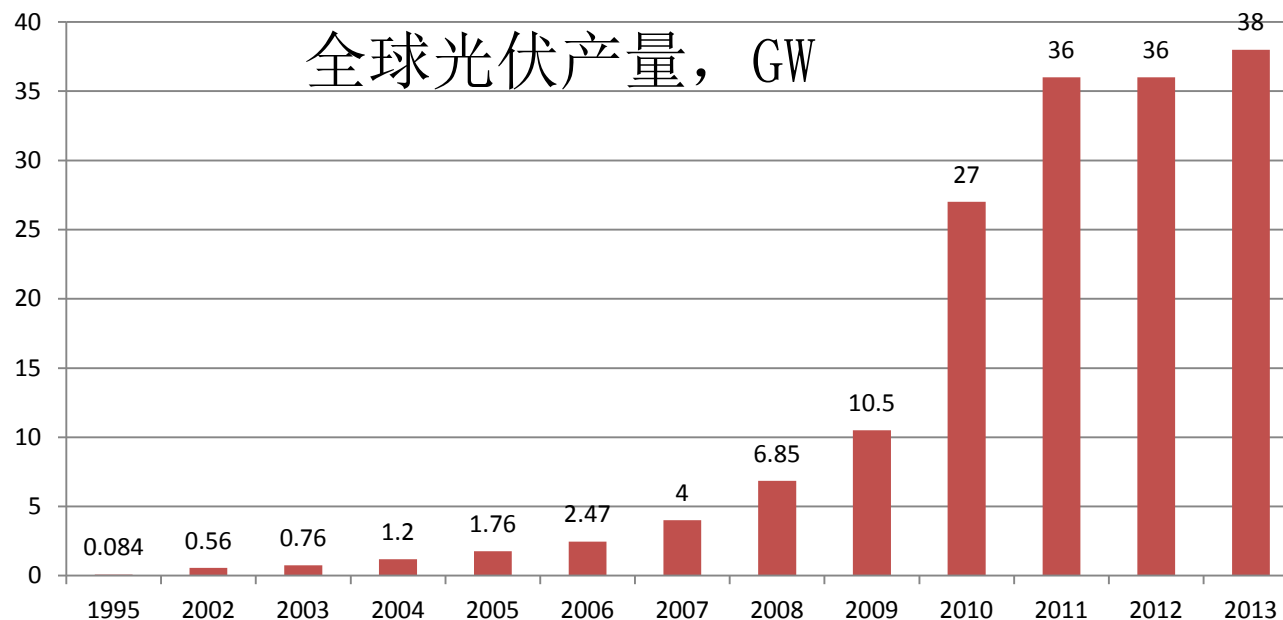
发展光伏是世界能源发展趋势



2012年中国能源消耗总量折合**36.2亿吨**标准煤, 占世界总消耗的**21.9%**, 为世界第一大能源消耗国, CO₂排放量超过百亿吨。以全球**21.9%**的能源消耗, 产出了**6%**的GDP, 百万美元能耗是世界平均水平的**2.4倍**。



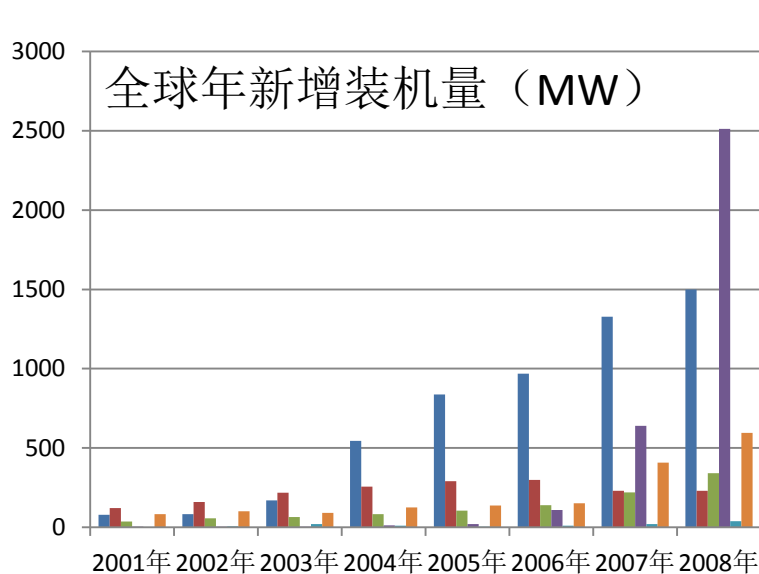
全球光伏产量



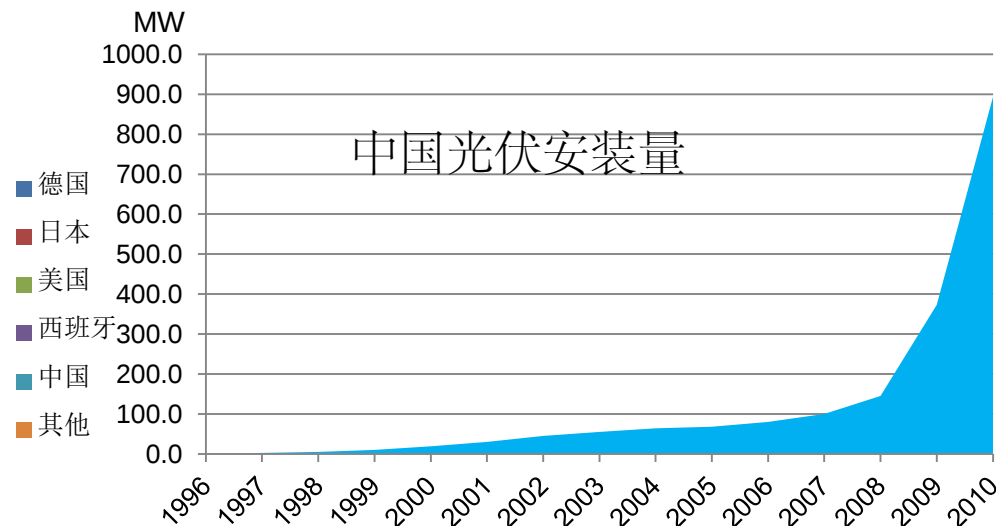
指数式发展, 预测2013年, 全球38GW产量



我国光伏系统发展

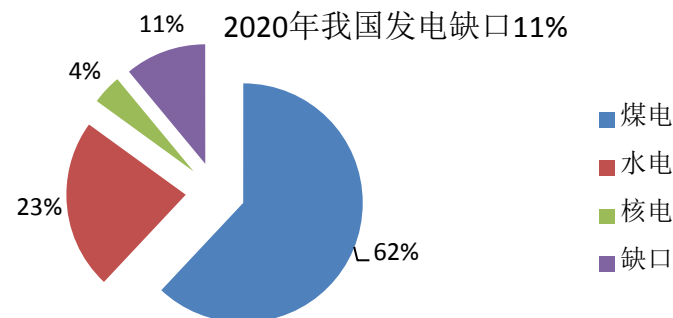


2008年，中国年装机量 **占全球1%**



2011年，我国装机量约3GW，是2010年的**3倍**

- 根据国家十二五规划
 - 2015年，太阳能发电35GW
 - 2020年，太阳能发电50GW





■ 大型地面电站

集中开发，高压接入，规模效应显著，集中控制和调度方便。



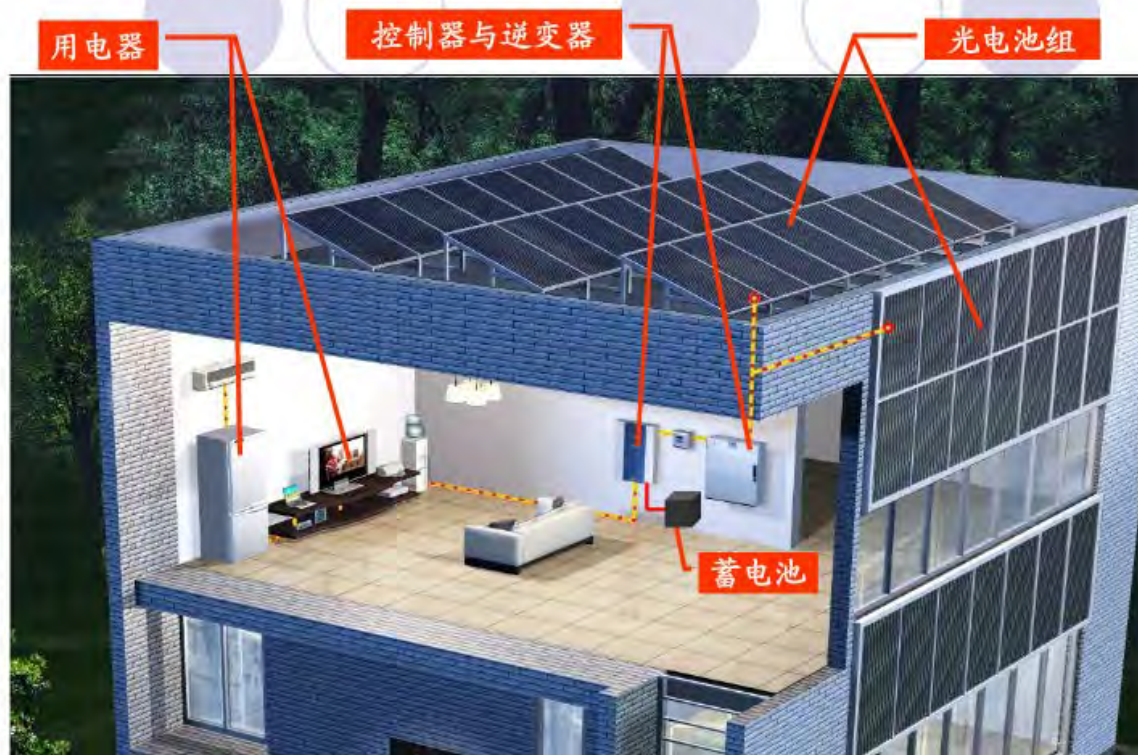
■ BAPV与BIPV

分散接入，就地消纳，充分利用建筑物空间





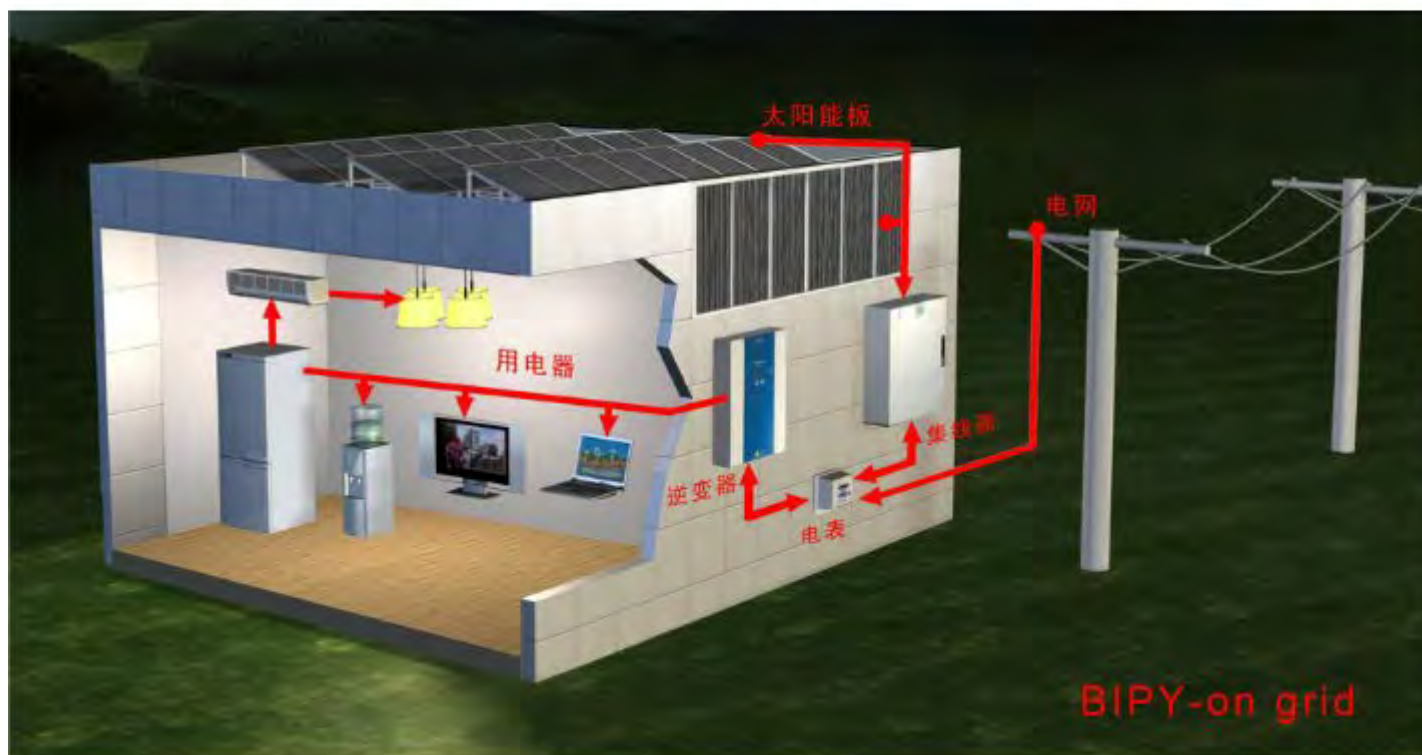
光伏发电独立用户示意图



BIPV、BAPV



光伏发电并网示意图





光伏发电优点

- 太阳能**取之不尽**，用之不竭。只要在全球**4%**的沙漠安装太阳能就可以满足全球需要，
- **安全可靠**，不受能源危机和燃料市场不稳定的冲击
- 不用燃料，**运行成本很低**
- **没有运动部件**，不易损坏，维护简单。
- 没有转动惯量，没有阻尼特性
- 太阳能发电过程中**不易产生污染废弃物**





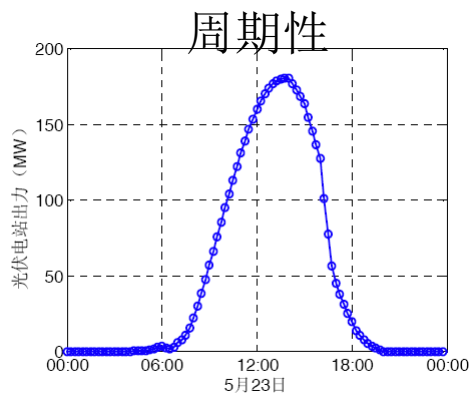
光伏发电缺点

- 功率密度低
- 能量不连续
- 系统投资相对较高

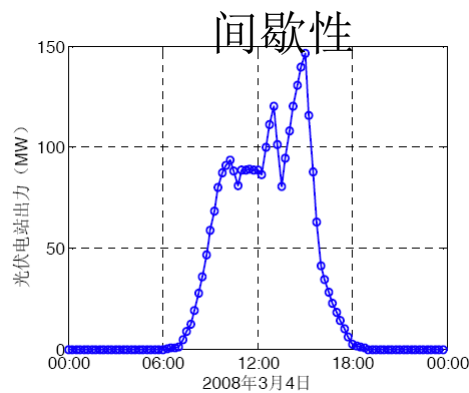
西藏羊八井100KW电站，最大功率变化70%
某示范工程：

在10kV接入、400V接入、220V接入系统中，都检测到谐波电流总畸变率偏高的问题。随着容量的增大，谐波电流对电网的影响将进一步加大。

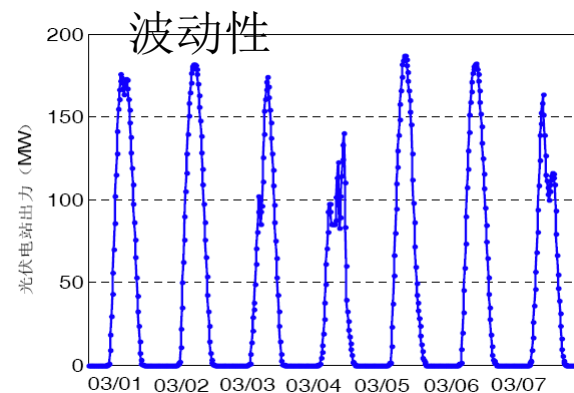
光伏电源出力波动性和随机性特点明显，且光伏电站自身无惯性环节，呈现有功功率阶跃性变化特点，需要增加电网的旋转备用容量进行调节；供电可靠性指标分析、电压无功控制、电能计量计费以及与电网自动化系统的信息交互等各种运行控制措施也存在技术问题。——国家电网



晴天



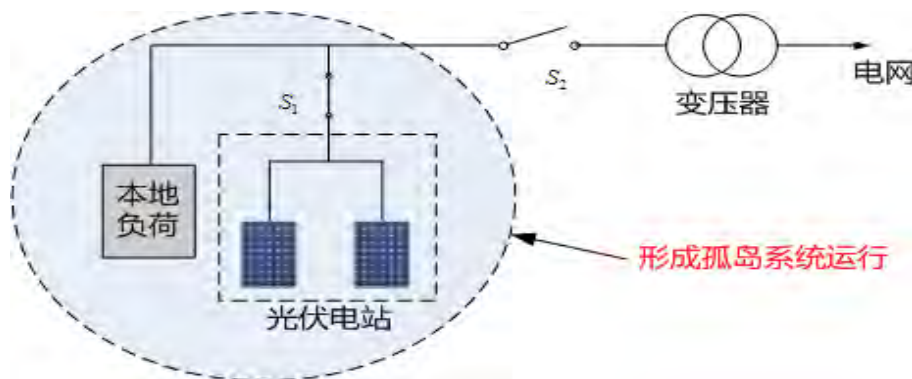
多云



一周出力曲线

光伏发电缺点

孤岛引起的安全问题



电网突然失压时，并网光伏发电系统仍保持对部分线路供电状态。

- 1) 危害电力维修人员的生命安全；
- 2) 影响配电系统上的保护开关动作程序；
- 3) 孤岛区域所发生的供电电压与频率的不稳定性质会对用电设备带来破坏；
- 4) 当供电恢复时造成的电压相位不同步将会产生浪涌电流，可能会引起再次跳闸或对光伏系统、负载和供电系统带来损坏；



-
- 目前暴露的问题
-

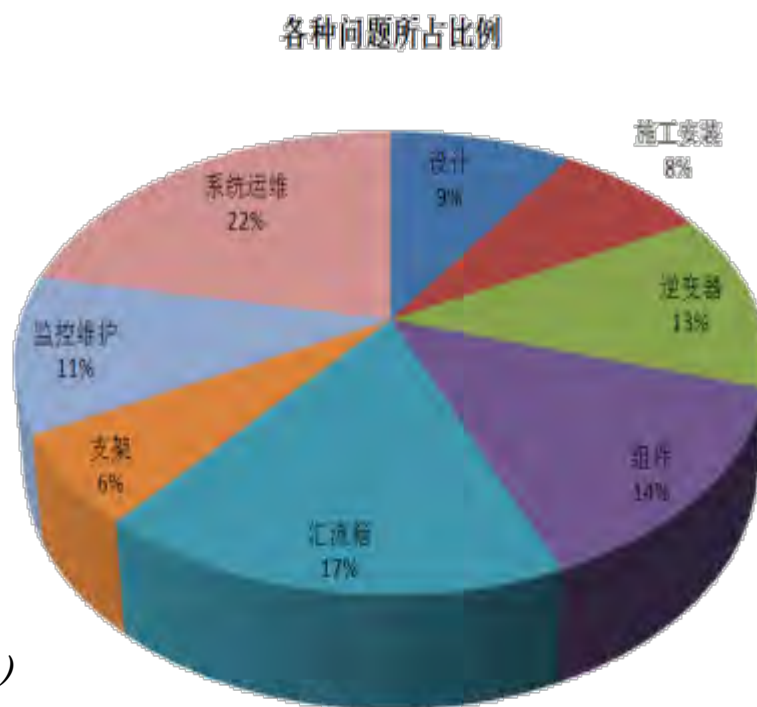




电站质量问题

- 设计 (9%)
- 施工和安装 (7%)
- 关键设备 (50%)
 - 汇流箱
 - 组件
 - 逆变器
- 运行和维护 (33%)

(数据来源: 北京鉴衡认证中心)



重点均放在组件和逆变器这两块，往往汇流箱等“配角”更易存在安全隐患



常见问题-设计

■ 前期工作准备不足



结果：实际施工结果与设计初衷有较大偏差，达不到预期的安装量

常见问题-设计



■ 倾角设计不合理





常见问题-施工

- 等电位连接焊接连接不可靠
结果：存在安全隐患





常见问题-施工

- 材质不防腐
- 强度选择不够
- 跟踪支架可靠性差

结果：寿命不足，
影响收益





常见问题-施工

■ 布线方式不规范



常见问题-线缆





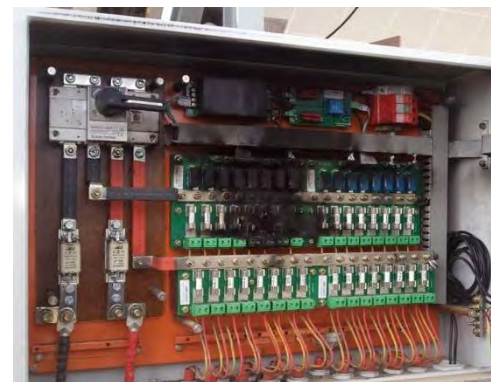
常见问题-施工

■ 接线处理不当





常见问题-关键器件





检测技术现状



国内标准

标准号	标准名称
CGC/GF003.1:2009	并网光伏发电系统工程验收基本要求
GB/T 29196-2012	独立光伏系统 技术规范
GB/T 18479-2001	地面用光伏(PV)发电系统概述和导则
GB/T 19064-2003	家用太阳能光伏电源系统技术条件和试验方法
GB/Z 19964-2005	光伏电站接入电力系统的技术规定
GB/T 20046-2006	光伏(PV)系统电网接口特性
GB/T 19939-2005	光伏系统并网技术要求
GB/T 20513-2006	光伏系统性能监测测量、数据交换和分析导则
GB/T 20514-2006	光伏系统功率调节器效率测量程序
Q/GDW 617-2011	光伏电站接入电网技术规定
Q/GDW 618-2011	光伏电站接入电网测试规程
GB/T 19964-2012	光伏发电站接入电力系统技术规定
GB/T 29319-2012	光伏发电系统接入配电网技术规定
GB/T 29321-2012	光伏发电站无功补偿技术规范



- 光伏电站主要测试项目：
- ☐ 并网性能检测（低电压穿越性能测试、电压/频率响应性能测试、有功/无功控制性能测试、防孤岛保护性能测试、电能质量测试、电网适应性测试、功率输出特性测试等）——**电网关心**
- ☐ 电站发电性能评价（组件效率测试、组串一致性测试、逆变器效率测试、系统效率测试、安规测试等）——**业主关心**

系统检查

1、文件资料：

立项审批、用地许可、并网协议、采购及承包合同、设计方案及工程图纸、关键部件技术手册和认证证书、竣工报告、系统维护手册。

2、电站设备的符合性审查：

组件、逆变器、汇流箱、支架、交直流配电系统、监控系统等。



关键设备符合性审查

认证范围		依据标准	认证实施规则
光伏发电系统关键部件	地面用晶体硅光伏组件	IEC61215:2005 地面用晶体硅光伏组件设计鉴定和定型 IEC 61730 光伏组件安全鉴定	太阳能光伏产品认证实施规则——地面用晶体硅光伏组件
	地面用薄膜硅光伏组件	IEC61646:2008地面用薄膜硅光伏组件设计鉴定和定型 IEC 61730 光伏组件安全鉴定	太阳能光伏产品认证实施规则——地面用薄膜硅光伏组件
	高倍聚光组件	IEC62108 高倍聚光组件设计鉴定和定型	太阳能光伏产品认证实施规则——高倍聚光组件
	并网光伏系统逆变器	CNCA/CTS0004-2009A 并网光伏系统专用逆变器技术条件	太阳能光伏产品认证实施规则——并网光伏系统用逆变器
	光伏汇流箱	CNCA/CTS 0001-2010光伏方阵汇流箱技术规范	太阳能光伏产品认证实施规则——光伏汇流箱
	光伏监测系统	CNCA/CTS 0004-2012用户侧光伏电站在线监测系统技术规范	太阳能光伏产品认证实施规则——光伏监测系统

系统检查

3、系统电气设备检查

部件质量、电气接线、触电保护和接地、标签和标识。

4、土建和支架结构检查

土建和支架满足设计要求、环境要求、相关标准和法规的要求；系统应配备相应的消防设施。

5、电站电气建设与设计一致性



系统测试

- 1、关键部件在实际运行条件下的性能测试
- 2、绝缘电阻测试
- 3、接地连接电阻测试
- 4、电气安装一致性
- 5、系统电气效率
- 6、电能质量测试
- 7、跟踪系统测试



关键部件性能测试（组件、方阵）

- 目的：通过I-V方阵测试仪测试各个支路的I-V特性曲线，从而得到该支路在实际运行条件下的最大输出功率。



实际数据

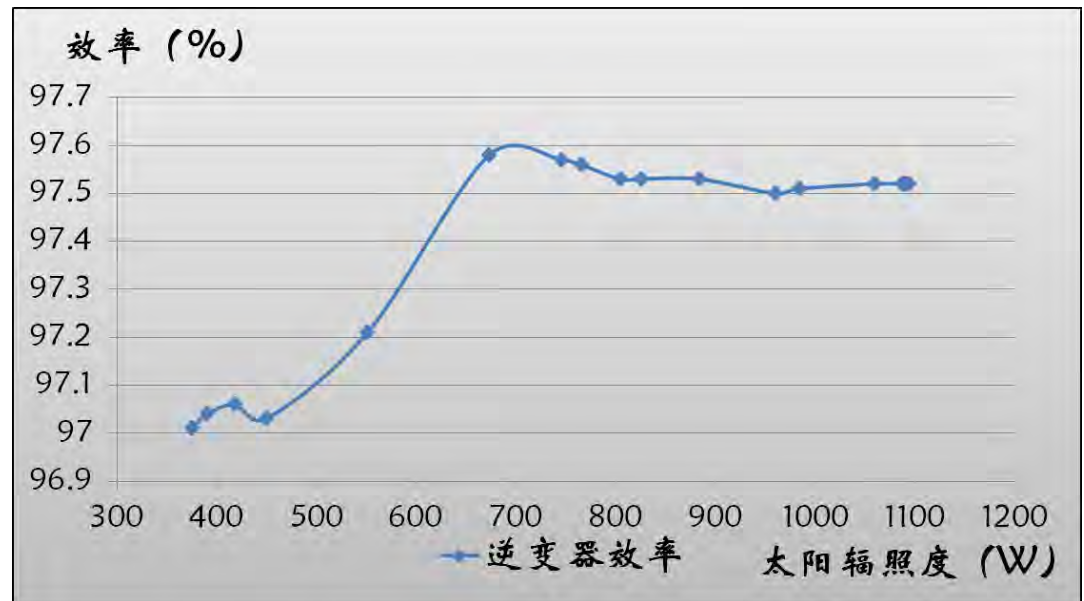
测试项目	实测功率P (W)	理论值	修正后结果 (W)	与理论值 比较%
汇流箱1	26649.28	50400	32571.5	64.62
汇流箱2	32940.38	50400	41812.3	82.96
汇流箱3	32502.19	50400	41213.9	81.77
汇流箱4	32490.75	50400	41213.4	81.77

关于方阵功率，没有规定合格判据。测试的意义是什么？

关键部件性能测试（逆变器）

- 目的：通过功率分析仪设备测试，确定逆变器在实际运行条件下的转换效率。

功率分析仪



逆变器效率不是恒定的，750W/m²以上辐照度测试

电能质量测试

- 目的：检验逆变器注入电网的电能质量是否满足相关要求。

测试设备：

电能质量测试仪



绝缘电阻测试

- 目的：检查光伏方阵场的电气安全性能符合要求；从而保证方阵场中人员和设施的安全。

测试设备：

绝缘耐压检测仪



接地连接电阻测试

- 目的：通过接地电阻测试，判断方阵接地连续性是否符合要求，排查接地断路情况。

测试设备：

接地电阻测试仪



光伏组串一致性

- 目的：检验光伏方阵的接线是否正确，避免组串的极性反接。

测试条件：在稳定的光照条件下，

判断标准：相同组串系统的电压、电流值在**5%**范围内。

序号	E eff	Isc	Uoc	I _p max	U _p max	Pmax
	W/m2	A	V	A	V	W
1	531.35	3.02	739.12	2.12	626.58	1329.09
2	527.93	3.08	771.91	2.18	658.32	1433.56
3	535.60	3.03	764.39	2.18	646.49	1409.99
4	525.34	2.96	738.28	2.12	628.65	1330.92
5	527.15	2.98	734.32	2.12	622.74	1321.00
误差	1.92%	3.81%	4.87%	2.93%	5.40%	7.85%

初步估算方阵功率不确定度超过10%

电气效率

- 快速检查光伏系统设计合理性的一种简单检测方式。

系统电气效率

$$\eta_p = P_{OP} / P_{SP}$$

式中：

η_p ——系统电气效率；

P_{OP} ——系统输出功率(kW)

P_{SP} ——光伏组件产生的总功率(kW)，根据方阵测量值、辐照、温度可以计算得出。

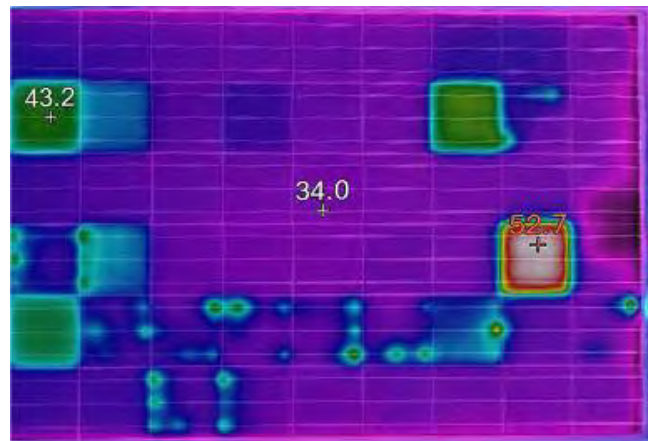


现场抽查

重点：光伏组件检查

- 检验光伏方针中是否存在热斑、隐裂等质量问题

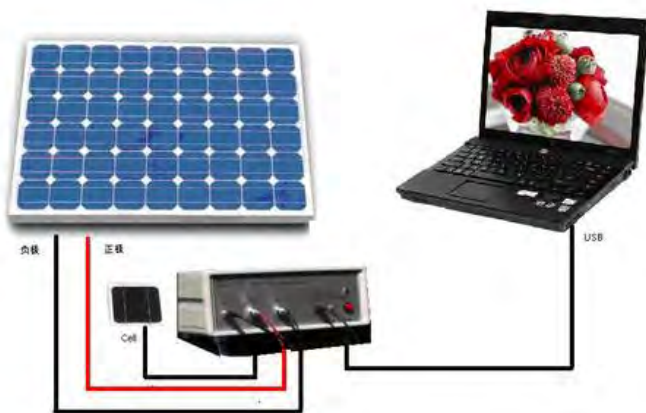
2012年，德国Fraunhofer ISE统计：从失效问题的严重性、失效发生的频率和失效被检测出的容易程度，综合评价了28种失效方式，并依照综合评价后的风险优先级进行了排序。排名依次为：**碎片、虚焊、电池片衰减、接线盒材料**和**线缆绝缘失效、热斑、封装材料的脱层、PID、汇流带失效、背板的机械性能失效、旁路二极管失效**





组件质量检测技术

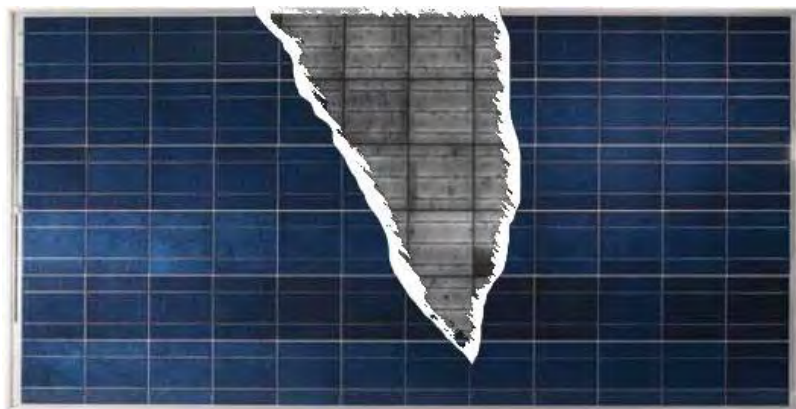
- IV
- IR
- EL



怎样算合格？



现场IV测试车

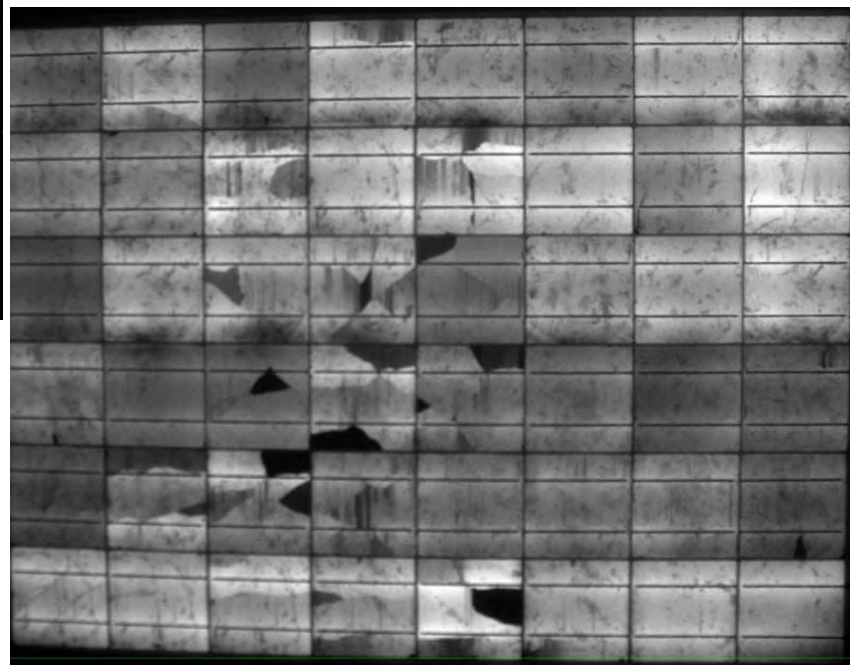
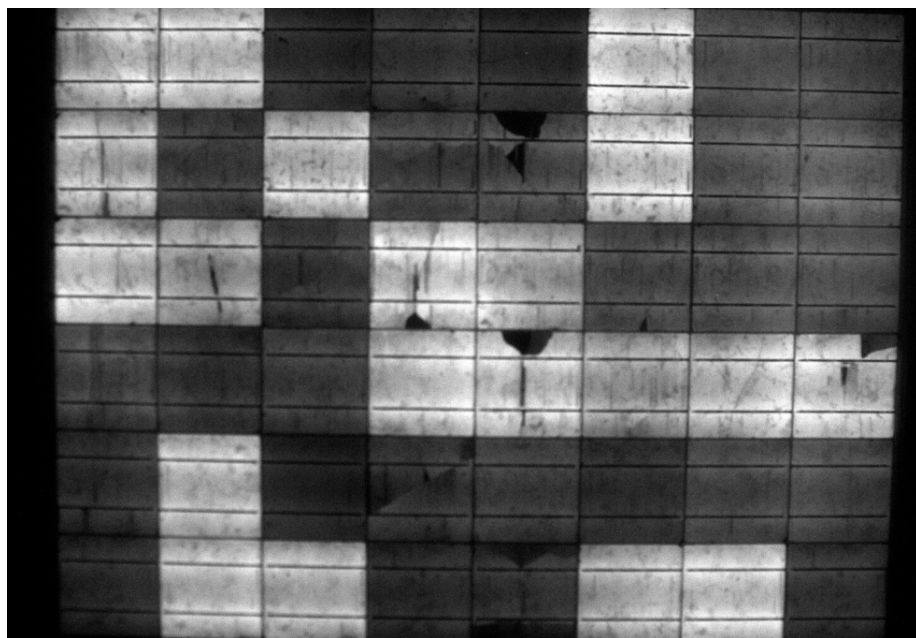


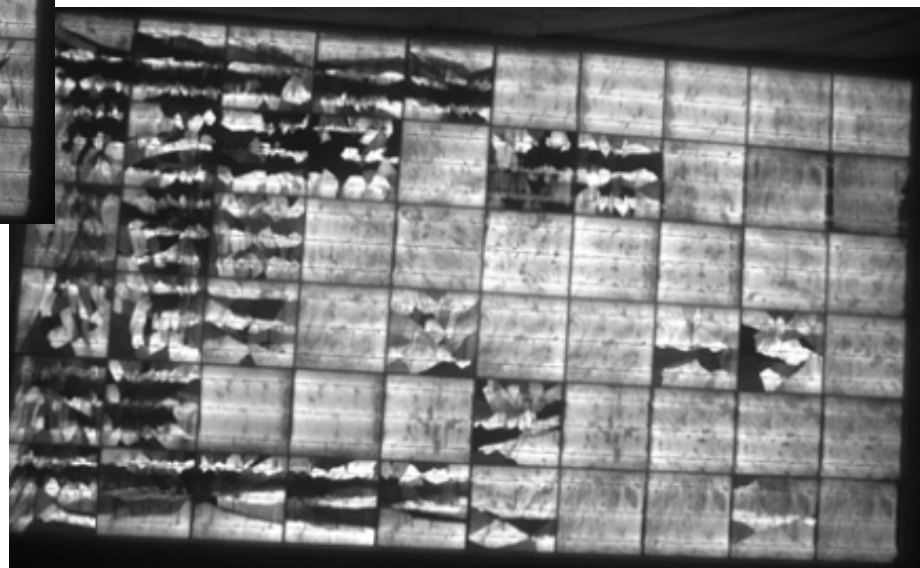
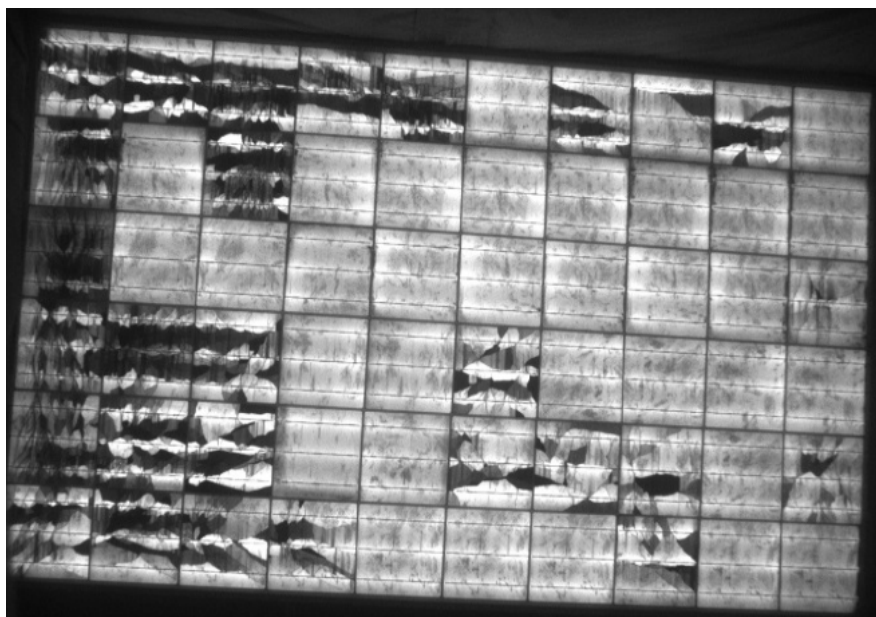
按双方约定判断





EL







未来发展趋势



- 1、逐步完善并网检测要求
- 2、地区效率（组件工况）
- 3、性能评价方法
- 4、分级评价体系

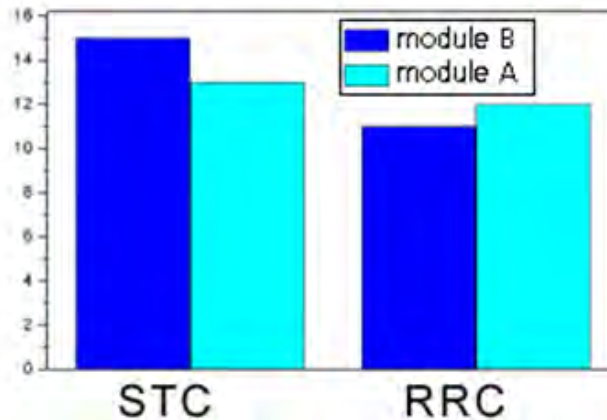


- 分布式并网检测
 - 电网适应性测试
 - 防孤岛保护性能测试
 - 功率特性测试
 - 电能质量
 - 数据监控



地区效率

STC高并不是发电量高



It is quite possible for a module with a higher value for η_{STC} than another module under standard test conditions to have the lower outdoor efficiency value η_{RRC} .

Irradiance	Spectrum	Module temperature			
		15 °C	25 °C	50 °C	75 °C
W/m ²					
1100	AM1,5	NA			
1000	AM1,5				
800	AM1,5				
600	AM1,5				
400	AM1,5				NA
200	AM1,5			NA	NA
100	AM1,5			NA	NA



现行的发电效率测算方法

整体发电效率 PR_E 公式为:

$$PR_E = \frac{PDR}{PT}$$

—PDR 为测试时间间隔 (Δt) 内的实际发电量;

—PT 为测试时间间隔 (Δt) 内的理论发电量;

理论发电量 PT 公式中:

$$T = \frac{I_i}{I_o}, \text{ 为光伏电站测试时间间隔}(\Delta t)\text{内对应 STC 条件下的实际有效发电时}$$

间;

—P 为光伏电站 STC 条件下组件容量标称值;

功率是和辐照度成正比吗?

— I_0 为 STC 条件下太阳辐射总量值, $I_0 = 1000 \text{ w/m}^2$;

— I_i 为测试时间内的总太阳辐射值。



光伏系统性能评价方法

定义瞬时光伏系统性能评价指标 R_p

$$R_p = \frac{\text{某时刻实际发电功率}}{\text{该时刻名义发电功率}}$$

名义发电功率——光伏系统在该时刻理论上的发电功率

将 R_p 定义延拓到一段时间内，有

$$R_p = \frac{E_p}{\int_0^t p_n(t) dt}$$

E_p —— 测试时间段内，光伏系统的实际发电量

$p_n(t)$ —— 某一时刻 t ，光伏系统的名义发电功率

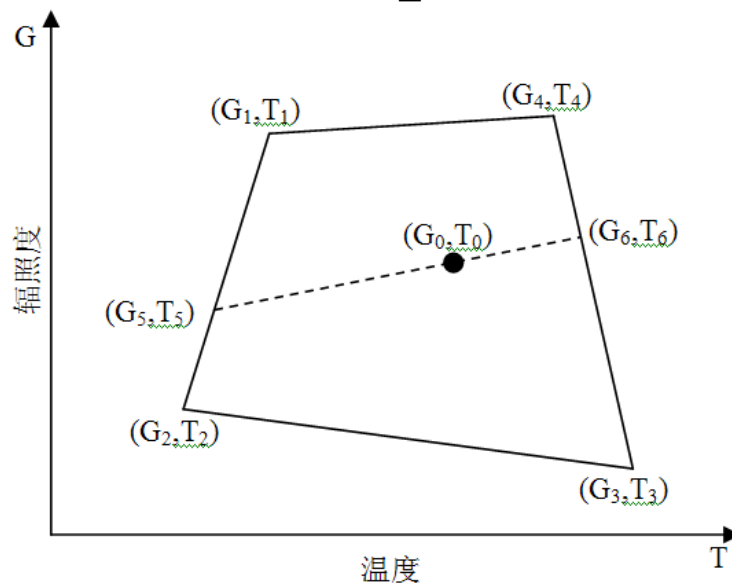


- R_p 代表了光伏系统**实际发电量与理论发电量之比**，理想情况下该值应为1，实际情况中由于各种损耗、安装不当、遮挡、衰减等因素，必然会小于1。 R_p 的计算必须考虑辐照度、温度等因素对输出功率影响，避免随外部环境的波动，使其大小仅决定于光伏系统本身，这样才能准确的评估光伏电站性能。
- 评价标准需要得到光伏系统的**实际发电功率和名义发电功率**，实际发电功率可以通过现场测量得到，所以关键是名义发电功率的计算，计算准确度对评价是否可靠有极大的影响。

-



光伏系统性能评价方法



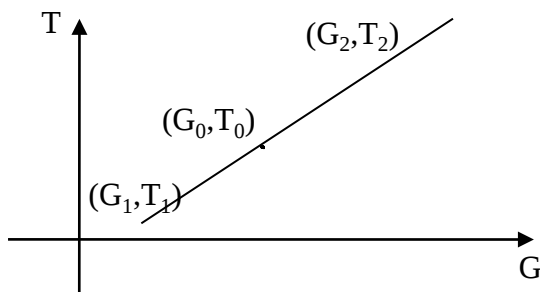
名义发电功率:

- 1) 在光伏系统中, 对每类不同的组件随机抽2块作为样品;
- 2) 依据光伏系统所在地的气象数据, 统计辐照度 G 和温度 T 的变化范围, 得到四组极限条件 (G_1, T_1) , (G_2, T_2) , (G_3, T_3) 和 (G_4, T_4) , 原则上, 此四点围成的四边形包含该系统所有可能的外部环境状态;
- 3) 测试所有抽样样品在四组极限条件下的IV数据;
- 4) 用测试得到的IV数据通过一定的算法计算得到组件在任意条件 (G_0, T_0) 下的名义功率输出;



光伏系统性能评价方法

假设一种特殊情况， (G_0, T_0) 恰好位于 (G_1, T_1) (G_2, T_2) 决定的直线上，如下图所示，并可由下式表示



$$\begin{cases} G_0 = G_2 + a(G_1 - G_2) \\ T_0 = T_2 + a(T_1 - T_2) \end{cases}$$

满足上述关系的三个条件对应的IV曲线，其相应数据点 (I_1, V_1) (I_2, V_2) (I_3, V_3) 之间存在如右式的线性关系：

$$\begin{cases} V_0 = V_1 + a(V_2 - V_1) \\ I_0 = I_1 + a(I_2 - I_1) \\ I_2 - I_1 = I_{SC2} - I_{SC1} = C \end{cases}$$



光伏系统性能评价方法

通过下面步骤计算 (G_0, T_0) 条件下的名义功率

①寻找对应点

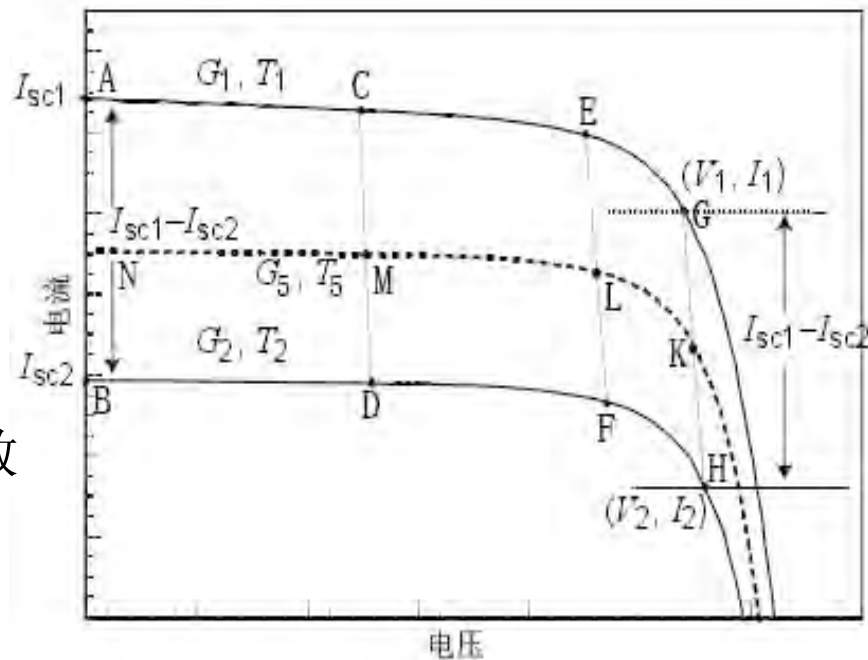
对于数据点 (V_1, I_1) ，寻找对应的数据点 (V_2, I_2) ，使 (V_1, I_1) 和 (V_2, I_2) 之间满足条件

$$I_1 - I_2 = I_{sc1} - I_{sc2}$$

②计算新数据点

将找到的对应点代入下式中计算新数据点 (V_0, I_0)

$$\begin{cases} V_0 = V_1 + a(V_2 - V_1) \\ I_0 = I_1 + a(I_2 - I_1) \end{cases}$$



③计算IV曲线和最大功率

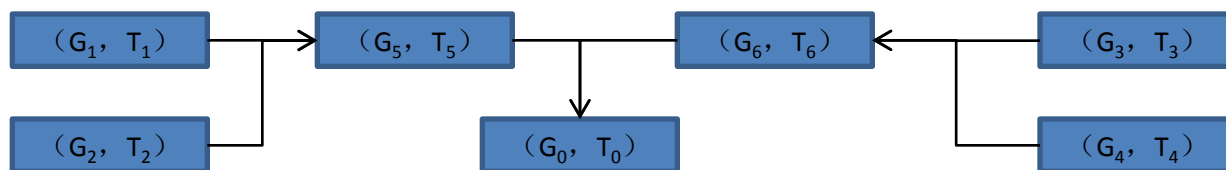
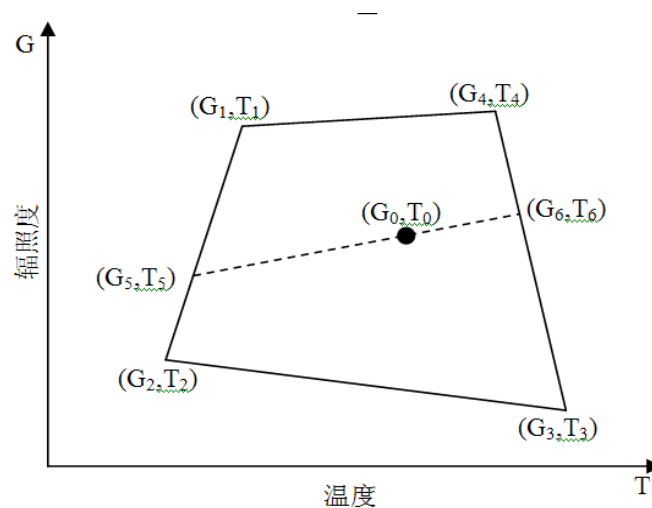
重复上述两步得到一系列数据点

(V_0, I_0) ，即 (G_0, T_0) 条件下的IV曲线，进而可以计算最大功率



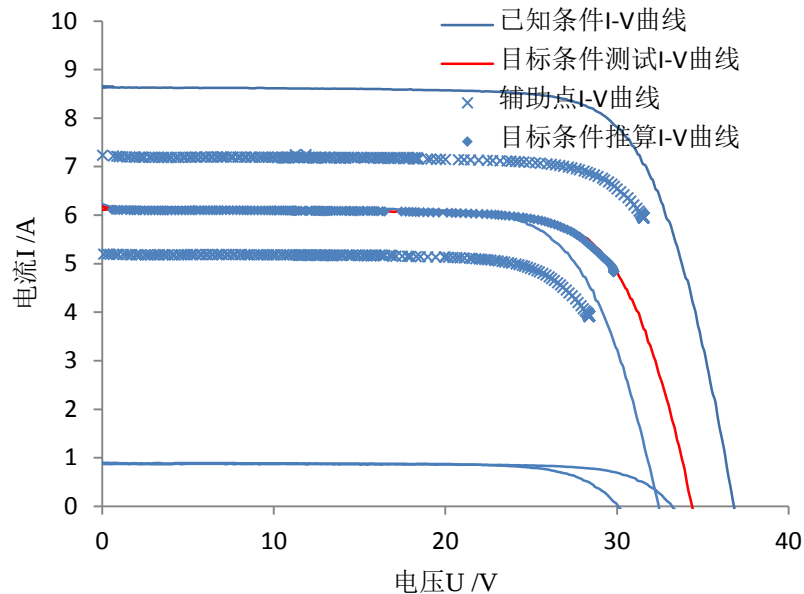
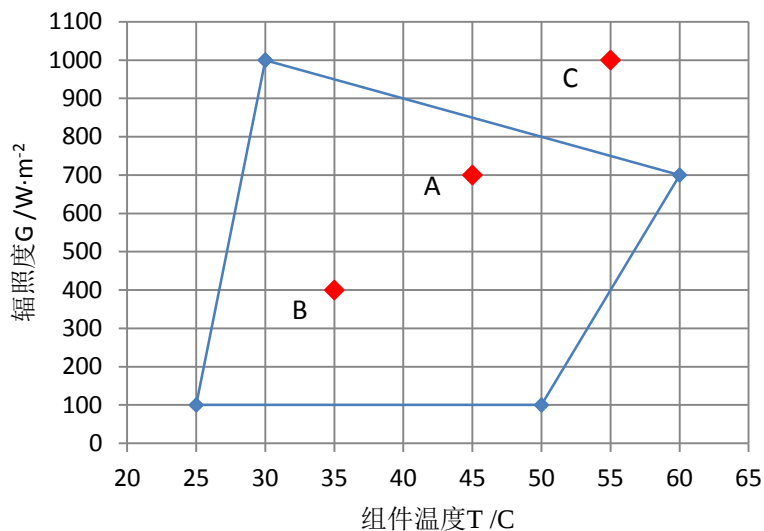
光伏系统性能评价方法

对于一般情况， (G_0, T_0) 位于四边形内，可以做一条辅助线，与四边形交于两点 (G_5, T_5) 、 (G_6, T_6) ，先计算 (G_5, T_5) 、 (G_6, T_6) 的IV曲线，在求出 (G_0, T_0) 的IV曲线，计算顺序如下示意图





光伏系统性能评价方法



	推算功率(W/m^2)	测量功率(W/m^2)	误差
A点	154.92	156.51	1.02%
B点	91.20	91.36	0.17%
C点	210.48	214.00	1.64%



光伏系统性能评价方法

- 通过该算法可以计算得到光伏阵列一定范围内任意条件下的名义功率输出，而且避免了使用温度系数、串联电阻等参数，精确度得到进一步提高，实验证明，其功率预测精度 $<1\%$ 。
- 精确的名义功率计算算法保证了光伏系统性能评价指标的计算精确度，因此该评价方法可以准确反映出光伏系统的实际运行状况，对光伏系统在验收、运行、维护、交易过程中的性能评估具有一定价值。



小结

- 我国光伏系统处于快速发展期；
- 系统建设中暴露了很多问题；
- 现行检测标准不能满足发展需求；
- 检测技术的进步是光伏发电发展的保障；



谢谢！