



北控清潔能源集團有限公司

BEIJING ENTERPRISES CLEAN ENERGY GROUP LIMITED

如何提高光伏电站系统效率

——电站设计、建设及运营经验反馈

2016年1月12日



目录

- 1 公司概况
- 2 电站建设关键要素
- 3 电站设计
 - ✓ 系统设计
 - ✓ 电站布局及优化
 - ✓ 关键设备选型
- 4 工程建设
 - ✓ 设备采购质量控制
 - ✓ 施工质量控制
- 5 电站运维
 - ✓ 远程监控中心
 - ✓ 备品备件中心
 - ✓ 区域性维护中心

1. 公司概况——集团架构



集团架构 | Corporate Structure





1. 公司概况——团队经验及业绩

公司管理团队是由我国第一批太阳能发电领域的专业人士组成，拥有丰富的电站开发、建设、运维经验。自2009年以来，参与建设了近40个光伏电站项目，装机容量达1000MW。代表项目有：

- ✓ (1) 我国第一个10MW大型光伏地面电站；
- ✓ (2) 单站最大规模100MW光伏地面电站（截止到2011年）；
- ✓ (3) 到目前为止世界上最大规模的纯光伏储能大型离网电站（总容量达7.2MW）；
- ✓ (4) 我国迄今最大的机场分布式光伏电站（10MW）；

管理团队多年来奉行“质量第一,信誉至上”的理念，严把设计、建设质量关，运用专业的运营方法及丰富的运维经验和数据，结合精细化的管理理念，制定了完整的系统后评价、运维管理、设备维护维修、备品备件的管理体系与流程，使得公司参与建设的项目发电效率均达到并超过了当初的设计标准，发电效率平均高出3%，最多高出5.3%；负责的电站整体故障率低于1%（行业平均水平 $\geq 2\%$ ），电站直接运行成本不超过0.1元/W/年，低于行业内平均水平。

Centralized project presentation

集中式项目展示



建设地点：青海省锡铁山
装机规模：100MW
建设时间：2011年
项目类型：地面电站

Concentrated project

Location: Xitianshan, Qinghai province
Installed capacity: 100MW
Year of construction: 2011
Project type: ground

离网式项目展示

Off-grid type project presentation



建设地点：青海省曲麻莱县
装机规模：7.2MW
建设时间：2013年
项目类型：离网电站

Off-grid project

Location: Qumalai County, Qinghai province
Installed capacity: 7.2MW
Year of construction: 2013
Project type: off-grid



2. 电站建设关键要素

影响大型并网光伏电站系统效率的关键要素

- 选址要素

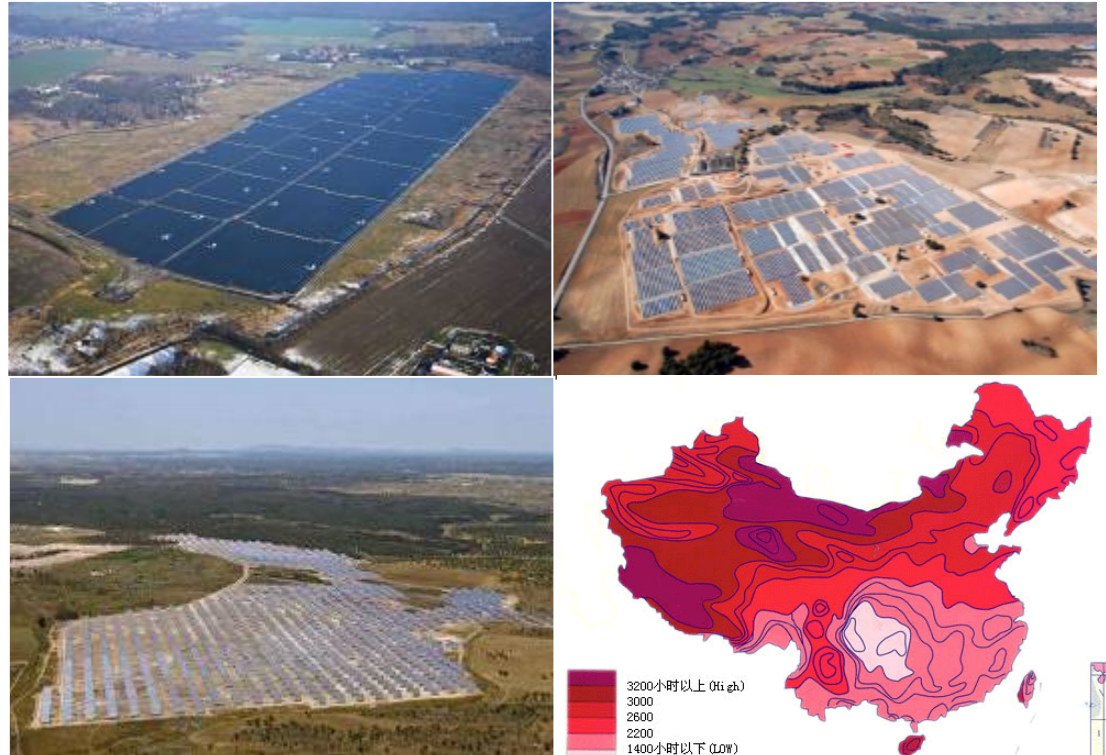
- 日照条件;
- 土地及地址条件;
- 上网电价;
- 电力接入条件;

- 工程建设

- 系统设计;
- 设备采购;
- 施工管理及建设

- 运维保障

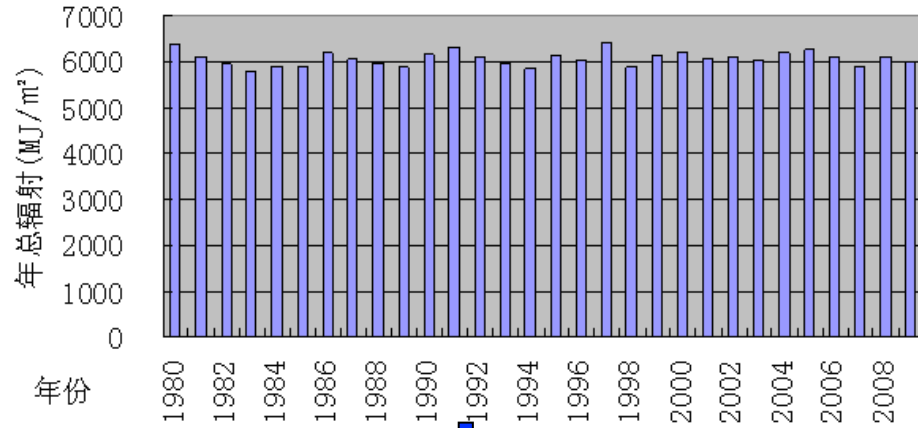
- 技术手段
- 管理方法





3. 电站设计

3.0 光资源评估



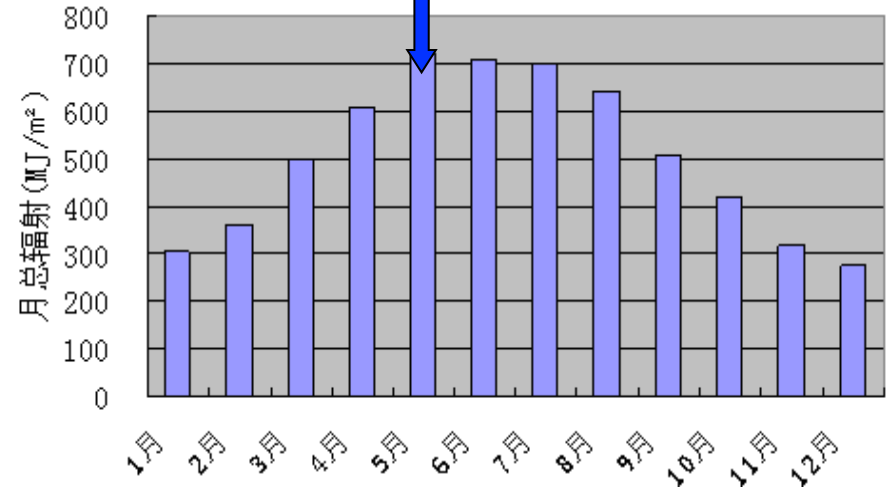
年际和月际平均辐照数据

验证、订正和分析处理

历史统计数据
现场实测数据

连续10年太阳辐射年际分布

太阳辐射月际分布



一套反映拟建场址长期水平的太阳辐射数据

3. 电站设计



3.0 发电量预测

Axis and limiting angles

Axis Tilt: 0.0 deg

Axis Azimuth: 0.0 deg

Phi min.: -60 deg

Phi max.: 60 deg

Select the PV module

Sort modules: Power Technology Manufacturer Prod. from 2009

230 Wp 25V Si-poly quodian- 230P quodian Manufacturer 20' Open

Approx. needed modules: 45600 Sizing voltages: Vmpp (60oC) 24.8 V Voc (-10oC) 40.8 V

Select the inverter

Sort inverters by: Power Voltage (max) Manufacturer Prod. from 2009

500 kW 450 - 820 V 50 Hz SG 500KTL vanquang Open

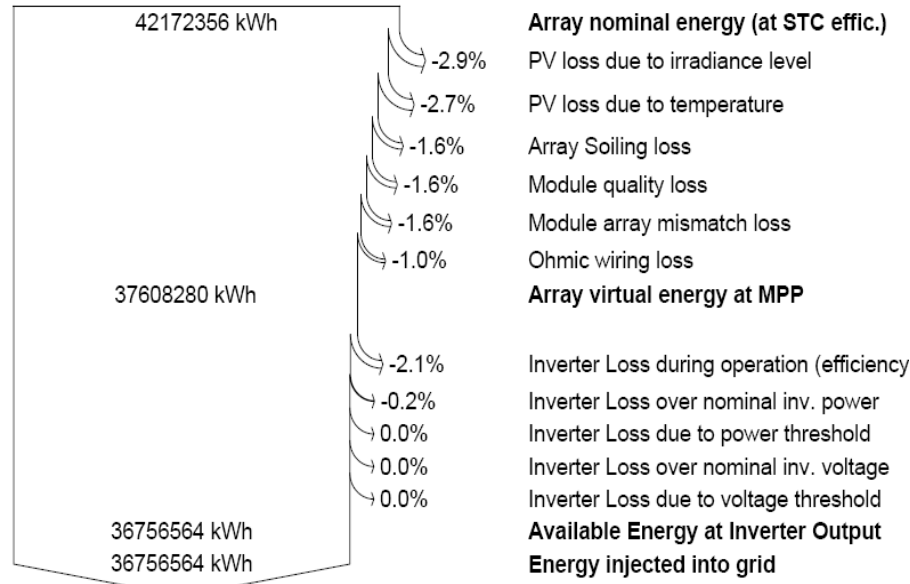
Nb. of inverters: 20 Operating Voltage: 450-820 V Global Inverter's power: 10000 kWac

Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: 900 V Inverter with 2 MPPT

$$\text{年发电量} = \text{系统容量} \times \text{年日照峰值小时数} \times \text{系统效率}$$

参数设置:

- a. 场址经纬度
- b. 光辐照量和温度
- c. 支架形式
- d. 组件间距布置
- e. 组件和逆变器容量
- f. 各项损耗设置 (遮挡、温度、光强和光谱损耗、失配、逆变效率、线损等)





3. 电站设计

3.1 系统设计——电站运行损耗分析

系统效率是准确预测光伏电站发电量的关键，主要考虑组串失配、并联失配、温度损耗、阵列遮挡、灰尘遮蔽、MPPT损失、逆变器损失和交流损耗等因素。一般并网光伏电站整体效率为78%。经优化设计后，降低了失配损耗，系统效率可达80%以上。

$$PR = \frac{E_{load} / P_{max}}{H_A / G_S} = \frac{\text{实际交流发电量}}{\text{理想直流发电量}}$$

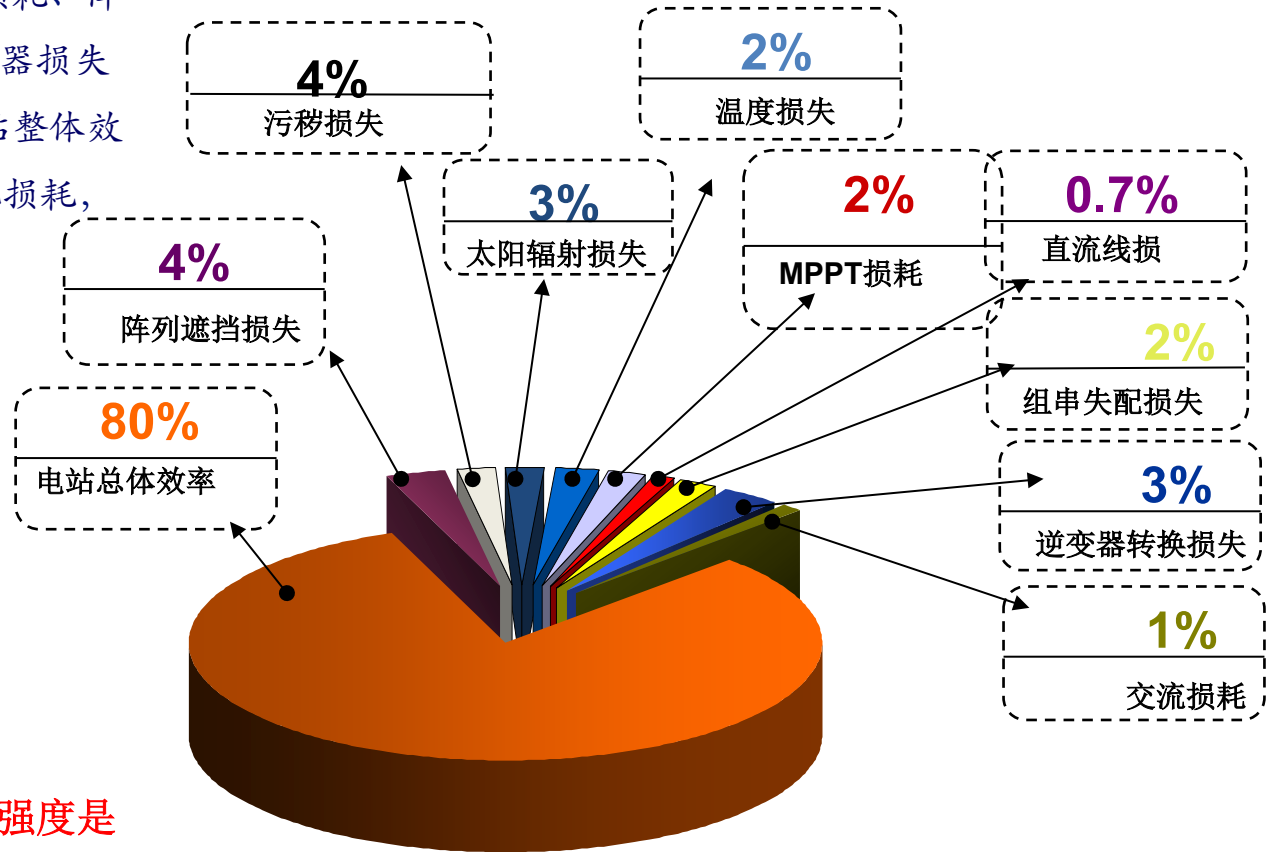
E_{load} : 电站实际输出功率;

P_{max} : 电站额定输出功率;

H_A : 组件倾斜面接收的辐射强度;

G_S : 标准辐射强度1000W/m²。

太阳能电池效率测试标准条件：
 温度25℃，光谱分布AM1.5，辐照强度是1000W/m²





3. 电站设计

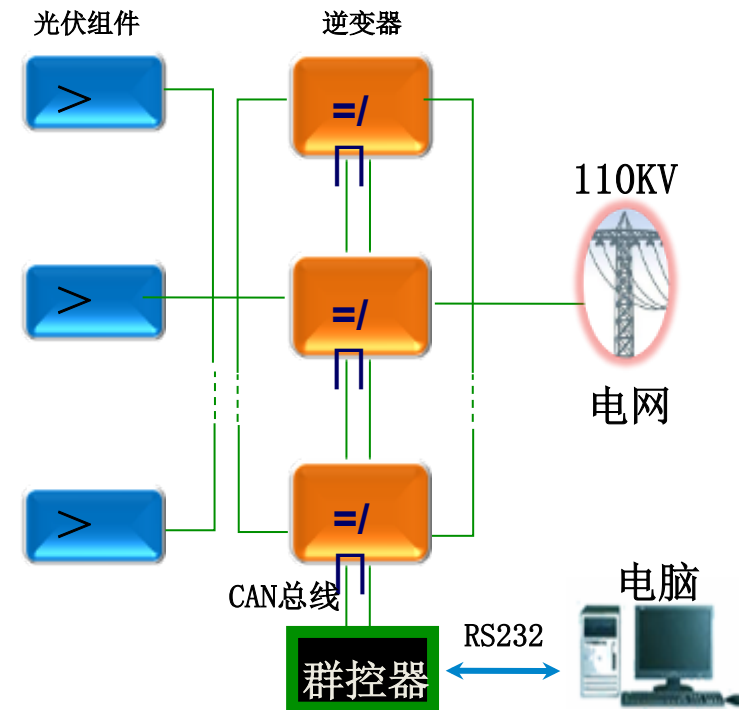
3.1 系统设计——优化设计

系统设计是光伏电站建设中的重要环节。设计的合理性和先进性直接影响系统效率，从而影响电站的发电量和收益。因此优化系统设计是降低成本和提高发电效率的重要措施。

进行优化设计的主要方面：

- a. 各个月份太阳辐射量与系统效率分布的匹配优化；
- b. 光伏区布置优化—遮挡、线损和组件排布方式；
- c. 光伏区汇流方案的优化—并联失配和MPPT损失；
- d. 组件与逆变器容量和工作电压的匹配优化；

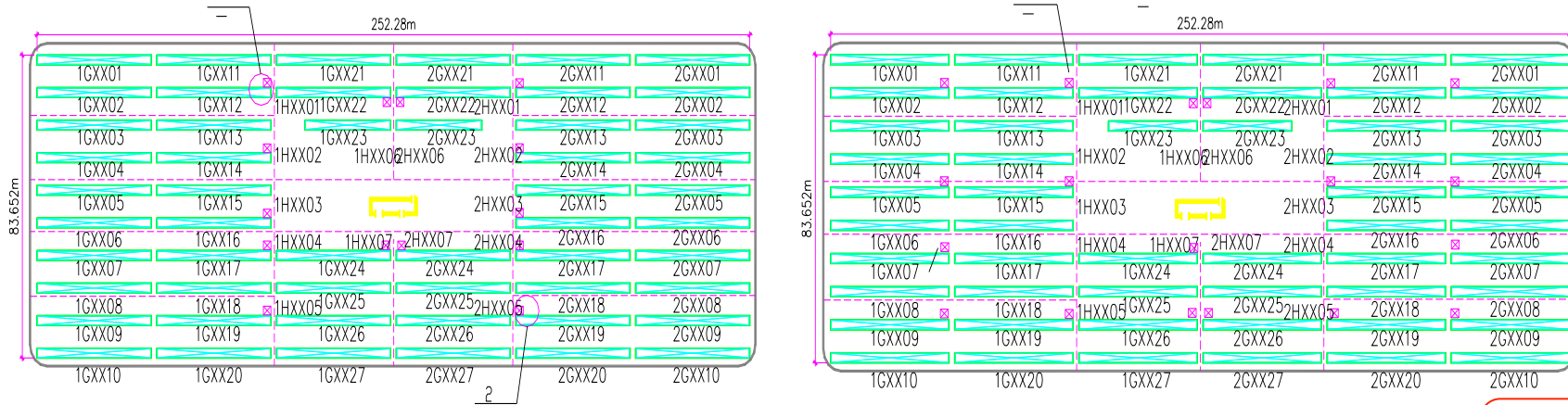
对光伏电站进行针对性的优化设计，提高系统效率。





3. 电站设计

3.1 系统设计——汇流箱方案优化，降低并联失配及MPPT损失



不同规格汇流箱的电缆用量和损耗比较/MW

线性模型

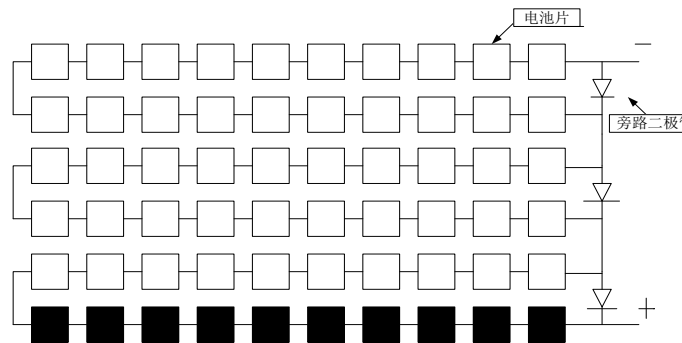
汇流箱规格	4mm ² 电缆	70mm ² 电缆	MPPT损失	直流发热损耗
16路	20 km	1.5km	0.2%	0.4%
12路	14km	2.1km	0.15%	0.3%

1MW_p单元方阵的汇流方案优化比选，通过线性模型可以计算得到优化之后的汇流方案损耗绝对值可降低0.2%。

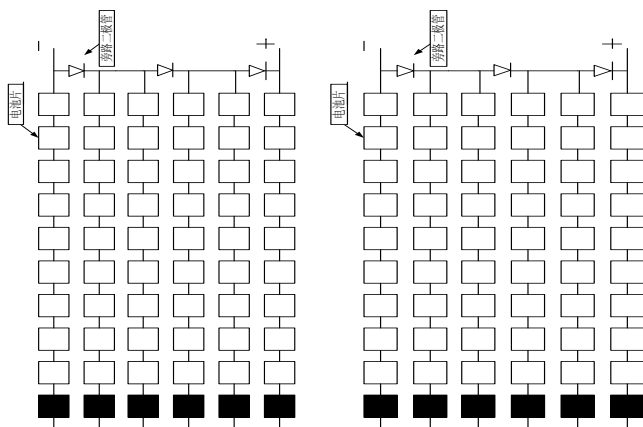
3. 电站设计



3.2 系统设计——组件排布方案优化



组件横向排布示意图



组件纵向排布示意图



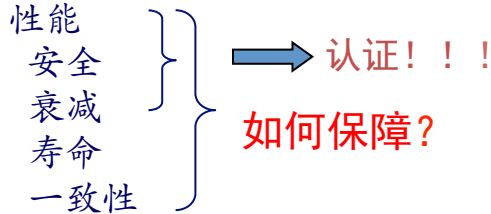
3. 电站设计

3.3 关键设备选型—组件

➤ 组件类型

- ✓ 晶硅组件 (单、多晶组件)
 - 薄膜组件
 - 聚光组件

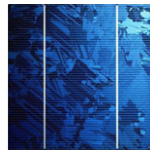
➤ 主要指标



单晶与多晶量产技术指标



单晶电池



多晶电池

一般效率: 19.5%-19.9%

改良效率: 20.5%-21% (PERC 电池)

最高效率: 22~23% (HIT 电池, IBC 电池)

一般效率: 18.0%-18.5%

改良效率: 18.6%-19% (PERC 电池)

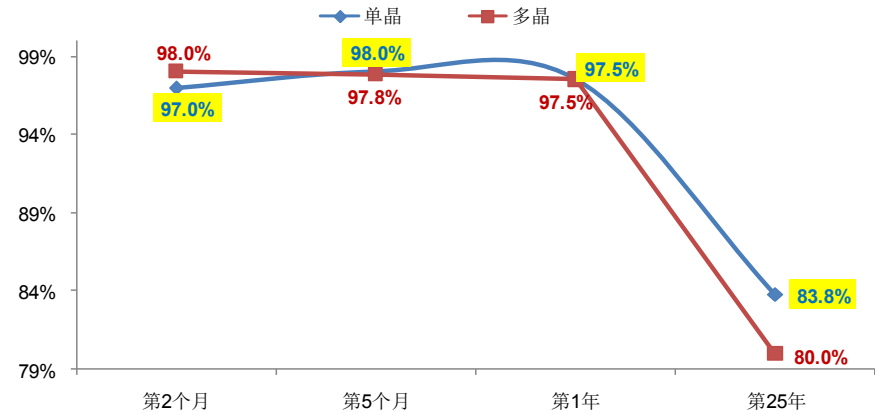
最高效率: 尚无量产

影响组件转换效率的三项主要参数: V_{oc} (开路电压)、 I_{sc} (短路电流)、 FF (填充因子) $\eta = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$

量产单多晶电池的典型电学参数:

	J_{sc} (mA/cm ²)	U_{oc} (V)	FF (%)	η (%)	I_{Rev2} (A)	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)
单晶电池	38.14	0.643	79.7	19.55	0.020	0.001	1153
多晶电池	35.96	0.637	79.1	18.12	0.056	0.002	502

长期可靠性对比: 单晶25年发电量比多晶高3%以上





3. 电站设计

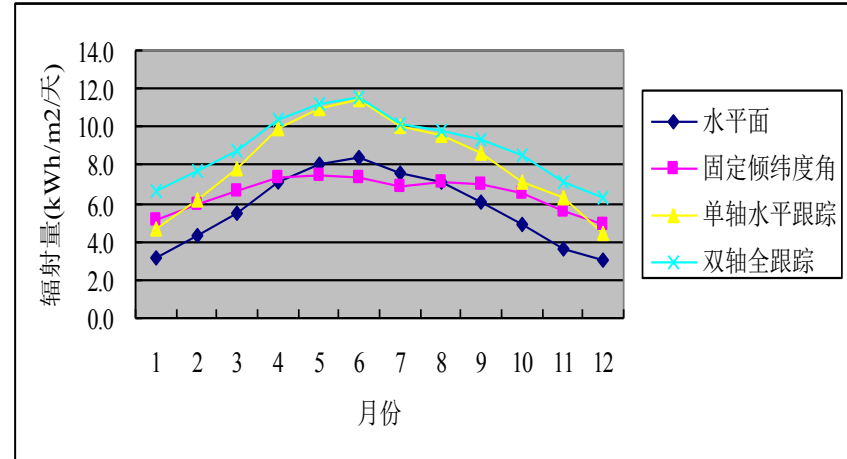
3.3 关键设备选型—支架

➤ 支架类型

- 固定支架系统
- 手动可调支架系统
- 跟踪支架系统（平单轴、斜单轴、双轴等）

➤ 跟踪支架增加年发电总量

- 双轴跟踪系统：可增加年发电量约25%-35%；
- 斜单轴跟踪系统：可增加年发电量约18%-30%；
- 平单轴跟踪系统：可增加年发电量约15%-20%；



	I_{rr}	I_{rr}	I_{rr}
	A	A+0.5~1%	0.5~1%
(,)	A	A+1~2%	1~2%
	A	A+2~3%	1~2.5%
: , , , I_{rr} 。			



3. 电站设计

3.3 关键设备选型—逆变器

▶ 逆变器类型

集中式逆变器

组串式逆变器

集散式逆变器

▶ 主要指标

安全可靠

电能质量

效率

低电压穿越/孤岛检测

监控和通讯

智能运行

以逆变器的选择为例：

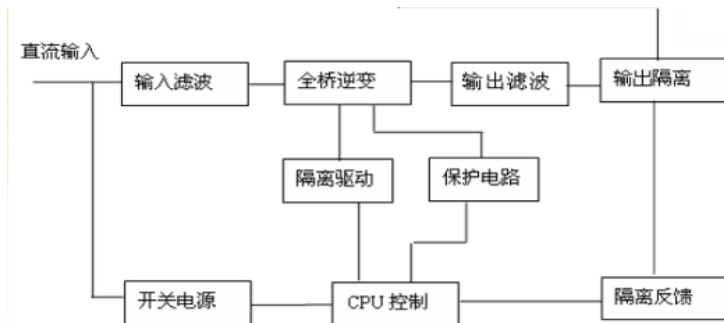
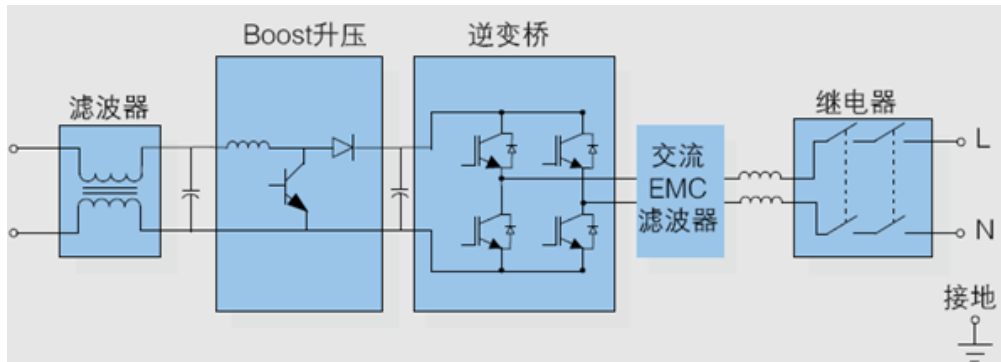
集中式逆变器：设备台数少便于管理、技术成熟、集成度高、可靠性高等优势；

但需设专用机房、需考虑机房通风散热措施，不能使每路组件都处于最佳工作点会影响整个系统的发电效率、发生故障停机影响发电面积大等劣势。**影响发电量大。**

组串式逆变器：提高组件最佳工作点与逆变器的匹配，最大程度增加了发电量、系统搭建灵活、管理更精细、无需专用逆变室、故障停机影响发电面积小、更换维护方便等优势。**影响发电量小。**

但设备数量多提高了对管理系统的整体要求、室外安装对设备防护等级要求提高、多机并联总谐波会迭加增加了抑制难度。

集散式逆变器：分散MPPT寻优，集中并网发电，通过前置多个MPPT控制优化器，实现多路MPPT寻优功能，汇流后采用集中式逆变器逆变。





3. 电站设计

3.4 施工图纸设计

► 光伏区：

- 组件布局设计——光伏区与变电站位置的优化，减少线损
- 组串接线汇流优化，降低损耗
- 支架和基础设计优化——一般平底厂址设计及特殊的山地厂址设计应不同考虑。山地项目更需要设计优化
- 逆变器室建筑结构图纸

► 升压站：

- 电气主接线
- 电气设备布置安装图（开关柜、主变、监控、通讯和保护设备）
- 综合楼和生产楼的建筑结构图





4. 工程建设

4.1 设备采购质量控制

设备采购是直接影响设备质量的关键环节。我们拥有一套完整严格的技术规范及采购流程，确保光伏电站设备保质保量的顺利供货。

- 对供应商进行严格筛选，
- 采购的设备完全符合设计所确定的各项技术要求及标准规范
- 尽可能做到技术先进、生产适用、安全可靠、便于维修、经济合理。

采购选型中，注意了以下几点：

- 设备必须满足项目规划需要，且留有适当的余地；
- 设备精度能满足工艺要求，并有足够的精度储备；
- 适应新产品开发要求；
- 使用操作简便，维修方便；
- 符合国家有关劳动保护、环境保护等法规的规定；
- 较低的能量消耗；
- 与项目其他设备的关联性、成套性符合要求；
- 交货期能满足需要、价格合理；
- 制造厂家为顾客解决产品质量问题、及时供应备件、提供良好的售后服务、有良好的信誉。

妥善处理接口关系：

- 采购工作与设计工作的接口关系；
- 采购工作与设计工作的接口关系；
- 采购工作与项目管理部门工作的接口关系；
- 采购工作与财务工作的接口关系；

特别措施：

- **技术规范中对产品的各关键元器件均有详细要求及品牌限制**
- **关键设备驻厂监造**
- **统一采购运维期的备品备件**



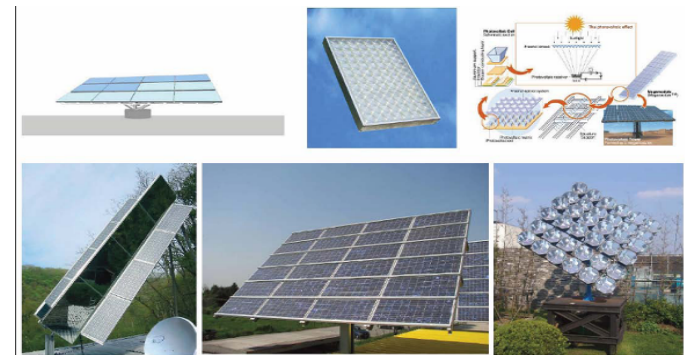
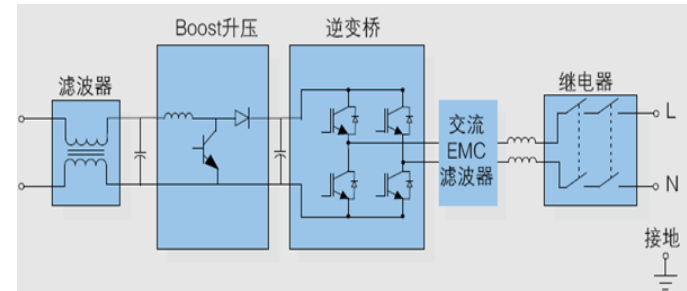
4. 工程建设

4.1 设备采购质量控制

选型原则：质量控制与成本降低并行，奉行质量第一原则。

- a. 组件：性能与安全，规格统一，一流品牌；
- b. 支架：防腐工艺，可靠性，固定支架；
- c. 汇流箱：断路器选型，过载能力；
- d. 逆变器：逆变效率，电能质量，安全保护；

一流品牌，每个电站不超过两种品牌。





4. 工程建设

4.2 施工质量控制——规范化施工管理

■ 工程质量管理分二个层次，即工程管理部、现场项目部。工程管理部在公司分管领导下开展太阳能工程建设的质量管理工作，由工程管理部经理负责，下设工程质量主管，负责日常的工程质量管理。现场项目部在工程管理部的领导下开展工程质量管理，负责施工现场的工程质量管理，现场项目经理负责现场项目部的工程质量管理，各专业工程师负责本专业工程内容的质量；

■ 施工阶段质量控制根据工程实体形成过程的时间阶段划分为事前、事中、事后控制；

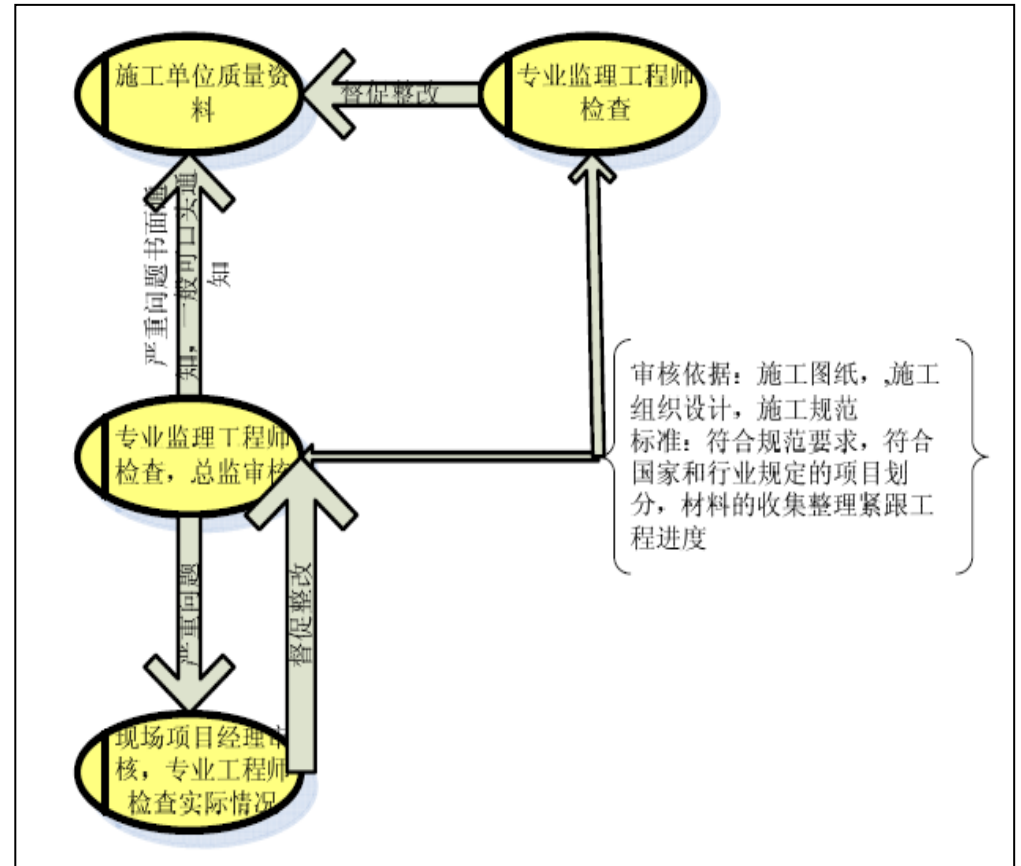
■ 程序制度：施工组织审批，图纸会审，不符合项管理，设备验收管理；材料工艺与试验，工程检查；技术改造，工程变更，工程验收。

项目建设过程施行为三位一体的管理制度，由业主、施工单位与监理单位协同合作，保证项目的进度与质量。

业主单位：制定进度与质量目标，推进设计与施工，监督质量管理；

监理单位：项目经验，人员资质，监理过程体系评定，选定监理单位；

施工单位：工程经验，施工质量，将施工单位作为战略合作伙伴。

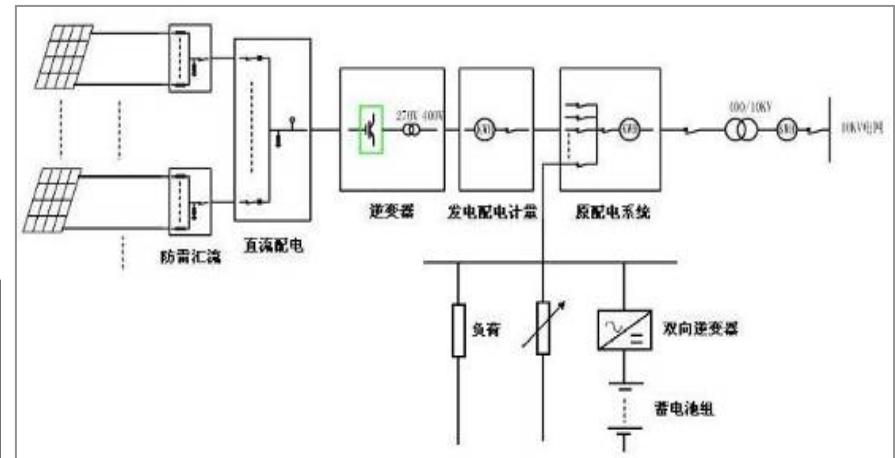
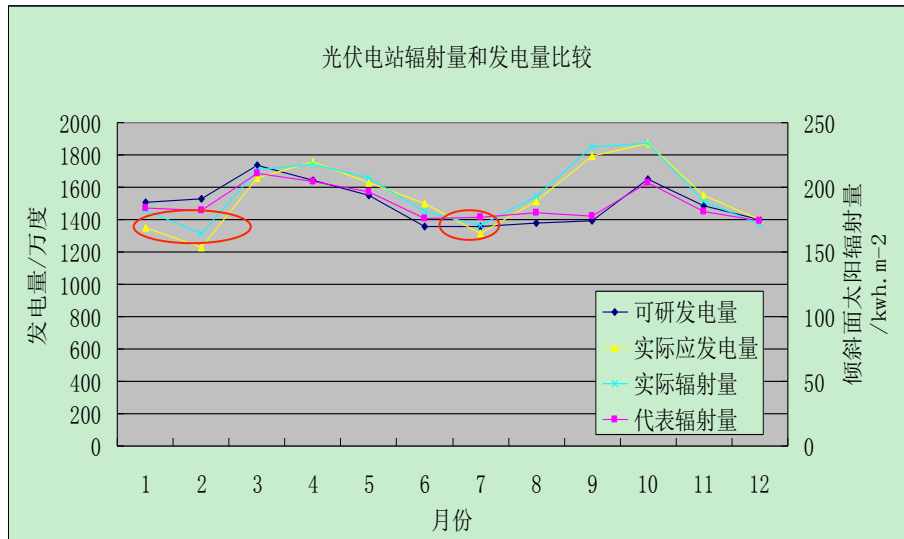




5. 电站运维

5.1 系统效率分析信息化平台

- 算法和分析的优化——降低失配和提高精度
- 系统效率的实时监控
- 不同工况下系统效率的统计分析
- 显著损耗的计算分析
- 提高运维效率



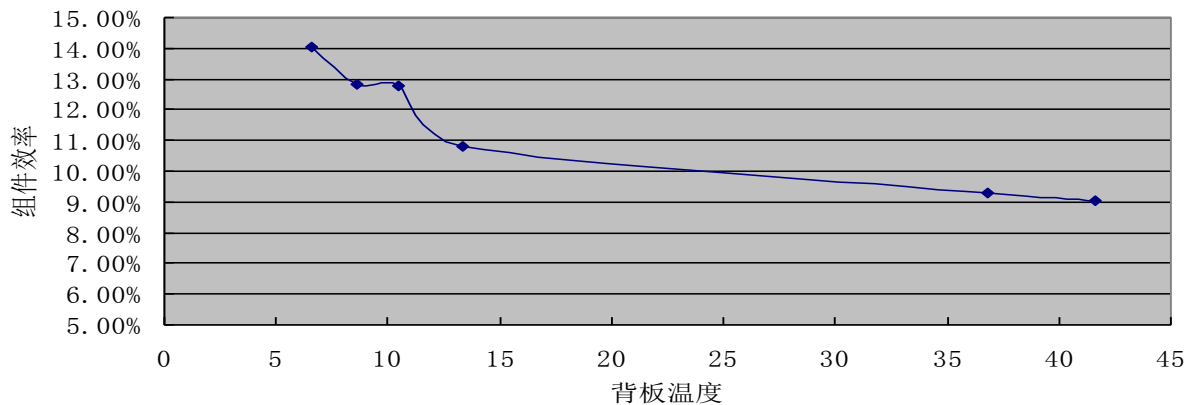
5. 电站运维



5.2 电站运行系统效率分析

组件效率——温度的影响

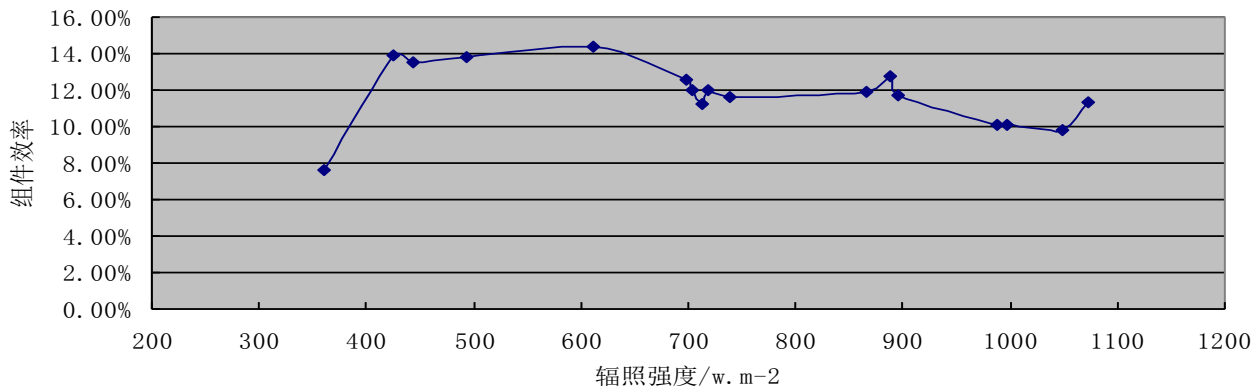
不同背板温度条件下组件效率



随着温度升高，组件效率明显下降，这是由组件的温度特性决定的。

组件效率——辐射强度的影响

不同辐射强度下组件效率



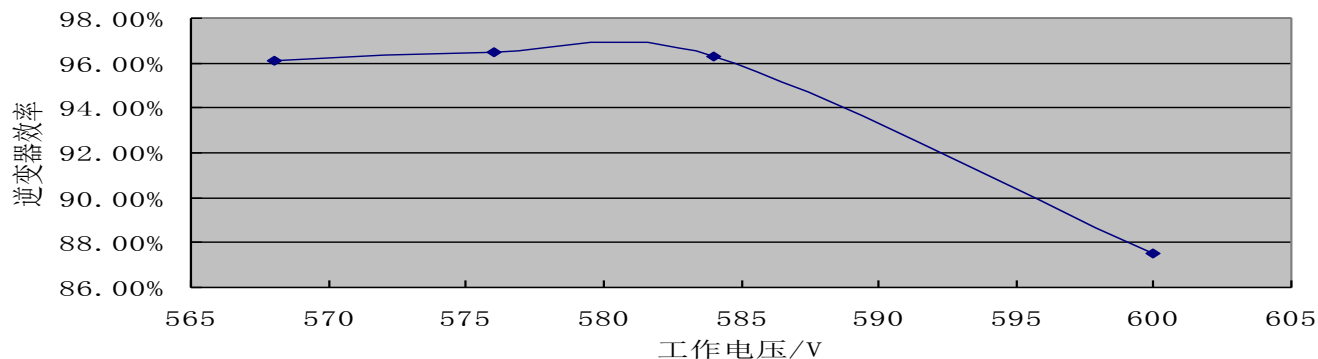
辐射强度超过600W/m²，组件效率开始降低，应是光谱失配和温度的影响造成。

5. 电站运维



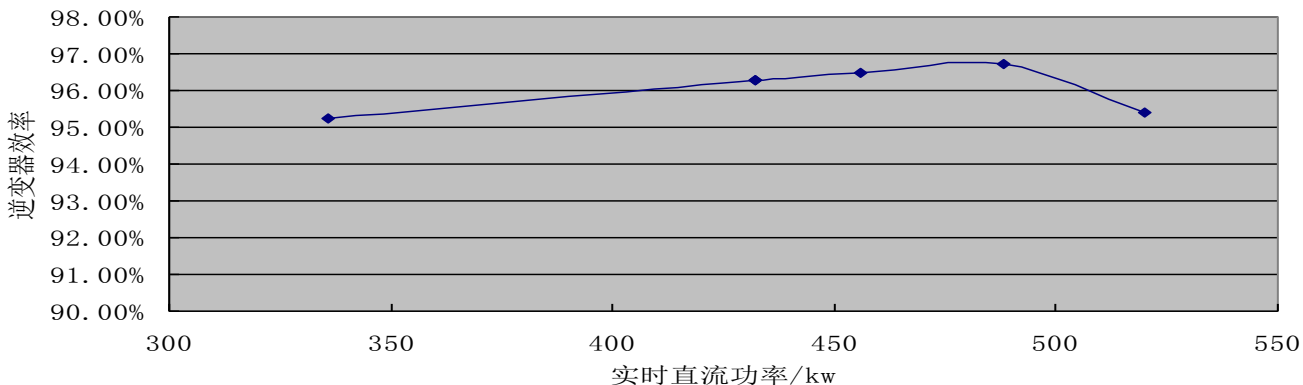
5.2 电站运行系统效率分析

▶ 逆变器效率——工作电压的影响 不同工作电压下逆变器效率



随着工作电压升高，逆变器效率明显下降，应优化组件的串联方案。

▶ 逆变器效率——带载率的影响 不同带载率情况下逆变器效率



随着带载率提高，逆变器效率先升高后降低，应优化组件与逆变器容量匹配度。



5. 电站运维

5.2 组件清洗方案

$$P = P_r \left(1 - \frac{S_m}{2X}\right) - CX$$

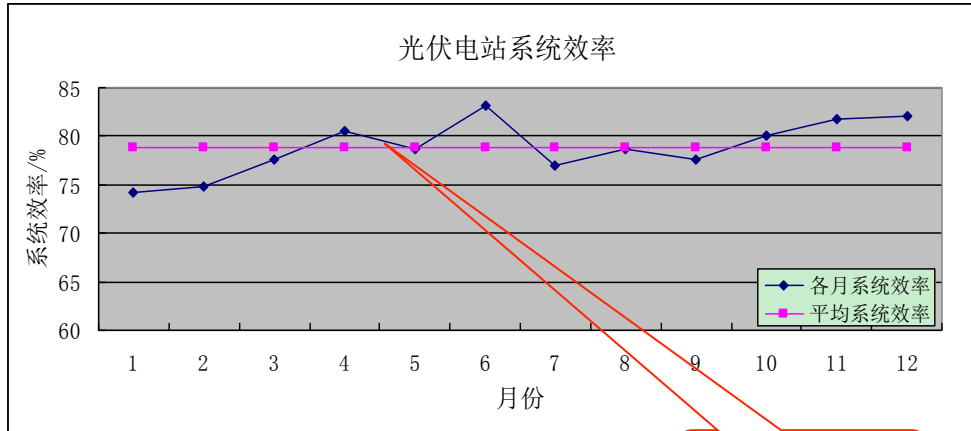
S_m 为月遮蔽率，即一个月的时间灰尘沉积对太阳辐照强度的影响比率， P_r 为理论预测发电量，每月清洗次数 X ， C 为每次清洗费用。

遮蔽最佳容忍值月份	月遮蔽率	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
一月		2.27%	3.20%	3.93%	4.53%	5.07%	5.55%	6.00%	6.41%	6.80%	7.17%
二月		2.23%	3.15%	3.86%	4.46%	4.98%	5.46%	5.89%	6.30%	6.68%	7.04%
三月		2.07%	2.93%	3.59%	4.15%	4.63%	5.08%	5.48%	5.86%	6.22%	6.55%
四月		2.13%	3.01%	3.69%	4.26%	4.77%	5.22%	5.64%	6.03%	6.39%	6.74%
五月		2.20%	3.12%	3.82%	4.41%	4.93%	5.40%	5.83%	6.23%	6.61%	6.97%
六月		2.35%	3.33%	4.07%	4.70%	5.26%	5.76%	6.22%	6.65%	7.05%	7.44%
七月		2.35%	3.33%	4.08%	4.71%	5.27%	5.77%	6.23%	6.66%	7.06%	7.45%
八月		2.32%	3.28%	4.02%	4.64%	5.19%	5.69%	6.14%	6.57%	6.96%	7.34%
九月		2.32%	3.27%	4.01%	4.63%	5.18%	5.67%	6.13%	6.55%	6.95%	7.32%
十月		2.14%	3.02%	3.70%	4.28%	4.78%	5.24%	5.66%	6.05%	6.41%	6.76%
十一月		2.27%	3.21%	3.93%	4.54%	5.08%	5.56%	6.01%	6.42%	6.81%	7.18%
十二月		2.39%	3.38%	4.14%	4.78%	5.34%	5.85%	6.32%	6.76%	7.17%	7.56%



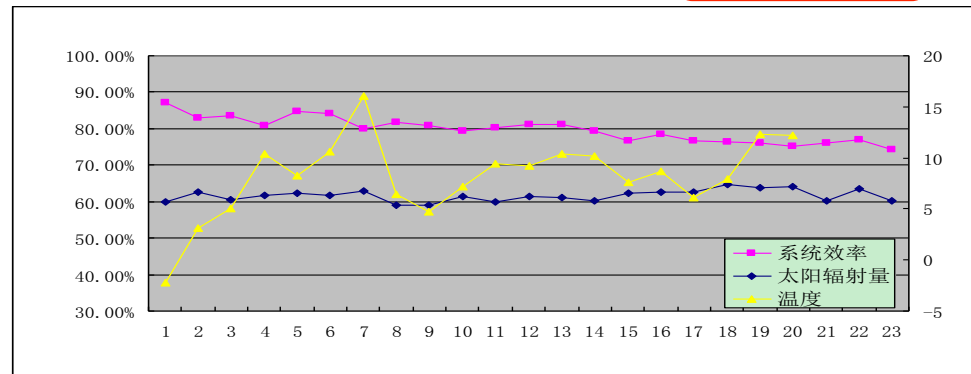
5. 电站运维

5.2 电站运行系统效率分析



各个月份的效率系统效率分布在74%-83%之间，平均系统效率为78.9%，比设计值80%低1.1%。

$$PR = \frac{\text{实际交流发电量}}{\text{理想直流发电量}}$$



系统效率曲线与环境温度曲线呈现相反的变化趋势，说明环境温度对系统效率影响较大；随着时间推移，系统效率呈现下降趋势，主要是灰尘积累严重导致，在月末系统效率的变化与温度变化趋势接近一致，说明灰尘遮挡成为影响系统效率的主导因素。

综上所述，系统效率受以下因素影响。

(1) 设备性能

辐射强度和温度是影响组件效率的显著因子；
带载率和工作电压是影响逆变器效率的显著因子；

(2) 系统效率

系统效率的变化具有季节性，环境温度对系统效率是显著因子；

组件清洗会明显改善系统效率，灰尘遮蔽也是显著因子；

对于光资源丰富的地区，太阳辐射损耗也是显著因子。



5. 电站运维

5.3 运维监控中心——加强集中监控管理



作为EPC公司，将采用集中监控系统对所承建的电站进行三级监控管理。

第一级：由设在北京的监控中心组成。监控并获得各省电站的汇总信息；

第二级：由各省监控分中心组成。监控并获得本省内电站的汇总信息；

第三级：由各电站就地监控系统组成，监控并获得本电站设备信息；

- 光伏电站群控运维管理服务平台
- 统一的基础平台和应用平台
- 支持大数据量实时监控功能
- 项目及电站管理功能
- 分析功能



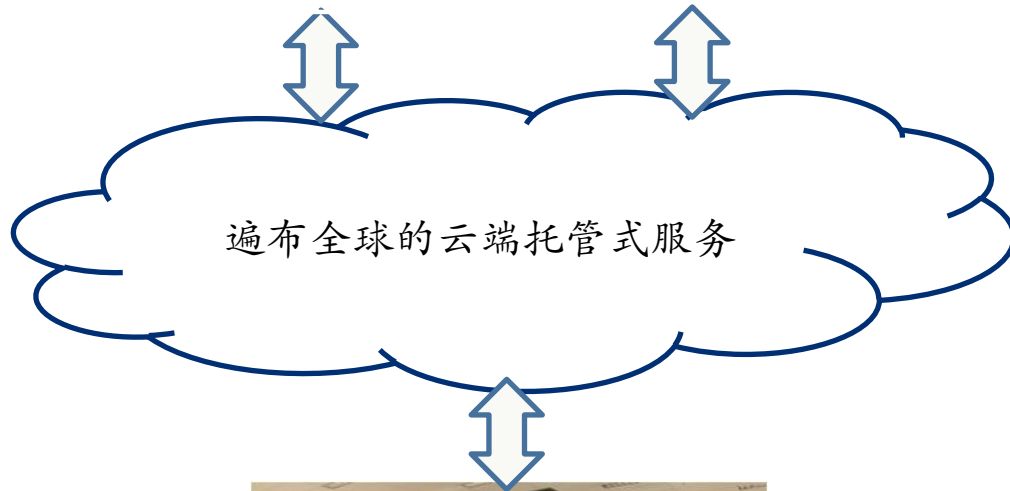
5. 电站运维

5.3 运维监控中心——集中监控系统特点



高可靠性

- ✓ 远程监控、诊断和配置PV电站
- ✓ 采集关键的电站数据
- ✓ 快速检测出运营中的异常情况



遍布全球的云端托管式服务

支持大数据量系统

- ✓ 通过无线传输技术来自动监控多个逆变器的电站系统
- ✓ 快速安装监控系统

良好的用户界面

- ✓ 采用标准以及流行的用户界面技术，让用户可以非常容易使用
- ✓ 数据显示直观、易懂，提供分析报表



后端支持和服务



5. 电站运维

5.4 备品备件

由公司在设备采购时，根据设备的特点，确定设备的备品、备件和专用工具的具体要求和计划，并在设备供货的技术协议中予以明确，公司合同商务部门在设备采购时将备品、备件和专用工具与设备一起采购订货。

序号	设备名称	备品数量	备注
1	同型号太阳能电池组件	50 块/10MWp; 100 块/20MWp; 200 块/50MWp; 300 块/100MWp	同型号插头 500 套/10MWp
2	同型号汇流箱	5 台/10MWp; 10 台/20MWp; 20 台/50MWp; 30 台/100MWp	同型号熔断保险 300 套/10MWp。
3	同型号高压开关柜	1 台/30MWp; 2 台/50MWp; 3 台/100MWp.	电站设计时热备用一套，未设置热备用的已建电站备用同型号断路器。
4	同型号负荷开关柜	1 台/10MWp, 2 台/20MWp, 3 台/50MWp; 3 台/100MWp	同型号熔断保险 10 套/10MWp。
5	主变及配套户外装置	50MW 及以上电站设置一套热备用装置	在今后的光伏电站设计中设置。



5. 电站运维

5.5 运维管理—建立区域性维护中心

在某一区域内建立独立、专业的检修队伍（或委托有资质的专业检修公司）。该检修队伍直接对口各项目公司电站，专一负责电站的抢修及“春、秋检”（暨预防性维护）。

- 利用各电站维护工作不均衡的特点，使专业检修队伍可承接跨区域的检修任务，专业化管理不仅可以避免任务的不均衡，还能提高检修质量和安全可靠。
- 同时利用检修队伍的专业化，在不影响检修质量的同时，合理控制检修时间，提高设备利用小时；减轻现场运维人员的劳动强度，增加设备检修质量，缩短站内设备紧急抢修时间。



- 实行运检分离，可解决新建及质保期到达后电站技术力量不足和检修维护人员少的问题，节约大量人力和物力。同时，解决了制造厂家技术封锁等问题。
- 成立专业化、社会化检修队伍，可以逐步做到备品配件和专用工器具的集中管理。社会化、网络化管理更可以减少资金积压，库存压力，人员开支和检测费用。

5. 总结



目前大型光伏电站的设计、施工管理和运行维护方面存在一些问题，造成光伏电站实际运行效率低于设计值。在方案设计、施工管理和运行维护方面进行优化，可以降低光伏电站运行的损耗，提高光伏电站运行效率和安全可靠性，提高光伏电站投资的回报率。

光伏电站的系统效率提高是一个系统工程，贯穿在整个光伏电站建设的设计、设备采购、工程建设、运维等全过程中，各个环节都需要我们认真对待，精益求精。这样才能得到一个高品质的光伏电站，给投资者满意的回报。



北控清潔能源集團有限公司

BEIJING ENTERPRISES CLEAN ENERGY GROUP LIMITED

谢谢！