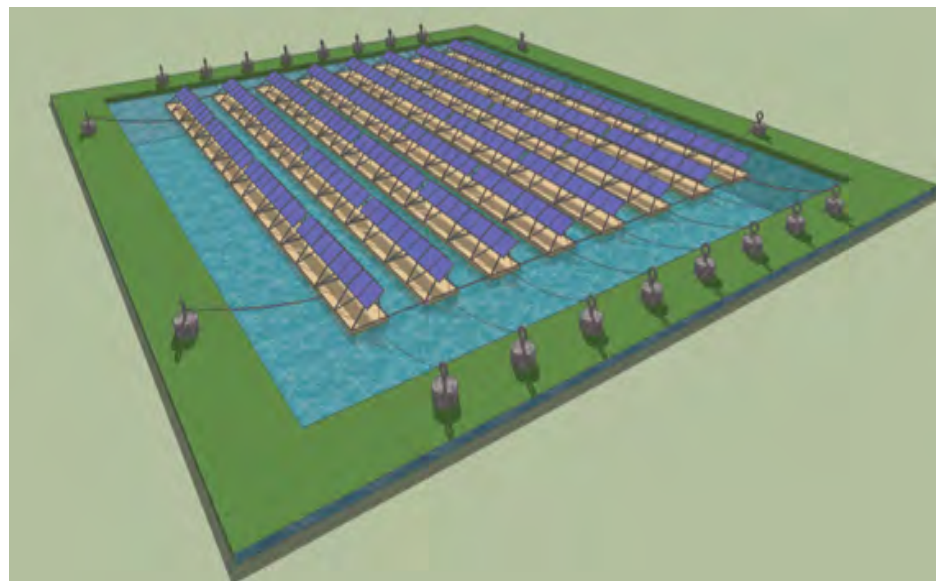


水上漂浮光伏电站经验分享



河北能源工程设计有限公司
HeBei Energy Engineering Design Co., Ltd.

目录

1 水上光伏电站项目的建设优势

2 水上光伏电站项目的建设形式

3 水上光伏电站项目的设备选型

4 水上光伏电站项目的系统效率分析

1

水上光伏电站项目的建设优势

- **土地利用优势：**不占用陆地实现水上光伏发电、水下生态养殖，提高了土地的综合利用率。
- **经济效益优势：**渔光互补项目产生渔业与光伏发电双重经济效益，既有益补充了当地经济发展需要的电力又增加了地方财政税收。
- **政策优势：**渔光互补项目是新能源示范城市的有效载体，是争取国家、各省市政策扶持和财政扶持的实质工程。
- **光伏扶贫优势：**渔光互补项目能直接帮助贫困地区实现收入增长。
- **发电量优势：**水面对光伏组件起到降温、镜面反射等的作用，发电量明显高于地面电站（约6%~8%），主要原因有以下几点(1):温度降低 (2) 水面反射 (3) 清洗及时。

1

水上光伏电站项目的建设优势

- **项目选址优势：**屋面分布式、山区电站、农业科技大棚电站日趋饱和，而水面电站基本尚未开发，项目选址受限因素很小，科学、合理、高效的将渔业和光伏发电结合，在不影响渔业的前提下，实现光伏电站的建设，并能使二者相得益彰，和谐并行发展。或者是利用塌陷区废弃水面建设水上光伏电站，既建设了光伏电站，又有利于水资源的保护，减少水面的蒸发等。



目录

1 水上光伏电站项目的建设优势

2 水上光伏电站项目的建设形式

3 水上光伏电站项目的设备选型

4 水上光伏电站项目的系统效率分析

2

水上光伏电站项目的建设形式

● 建设形式

根据光伏阵列支架形式

架高式
(水深 $\leq 3\text{m}$)



漂浮式
(水深 $> 3\text{m}$)

浮管式



浮箱式



● 水面架高式光伏支架

- 受水位高低变化影响，一般光伏组件最低点要高于水面最高水位1.0m以上，电站运行期间采用船只进行运维。
- 汇流箱及电缆桥架采用架空方式敷设，一般汇流箱及桥架最低点要高于水面最高水位0.5m以上。
- 箱变及逆变器基础采用框架架空方式，一般基础平台要高于水面最高水位1.0m以上。
- 常适用于水位较浅，水位变化较小的水面场地，如水产养殖池、盐场排淡池等。
- 超过3米深水域会增加桩基成本和施工难度，水深每增加1m，成本增加约0.15元/w，随着水深增加，成本增加幅度加大。



2

水上光伏电站项目的建设形式

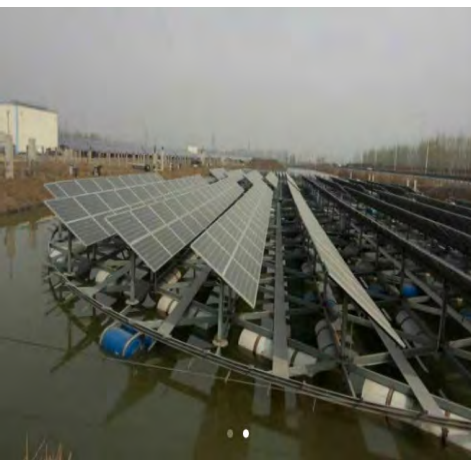
● 水上漂浮式光伏电站的探索形式



2

水上光伏电站项目的建设形式

● 水上漂浮式光伏电站的探索形式



● 漂浮式（浮管）光伏支架系统

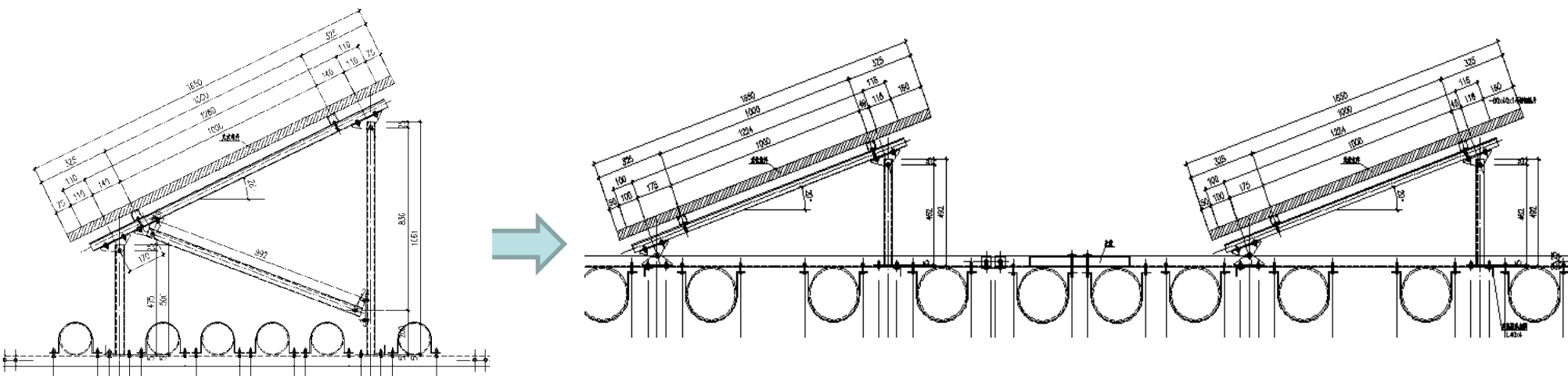
- 浮体采用高密度聚乙烯管连接成排，利用水的浮力支撑上部光伏系统的荷载，前后排光伏支架通过连接杆件形成一个整体，最终与岸边的地锚基础通过锁链进行固定。
- 光伏阵列间设走道与支架系统形成整体方便电缆敷设和电站运维。
- 适用于水深较深且水位比较稳定的水域，水位变化一般在5米以内，水位变化较大时，需要考虑阵列定泊及电缆敷设的冗余量。
- 漂浮式光伏阵列的定泊主要有以下几种方式：钢管桩导、H型钢导轨、弹性定泊系统及沉链定泊系统等。



2

水上光伏电站项目的建设形式

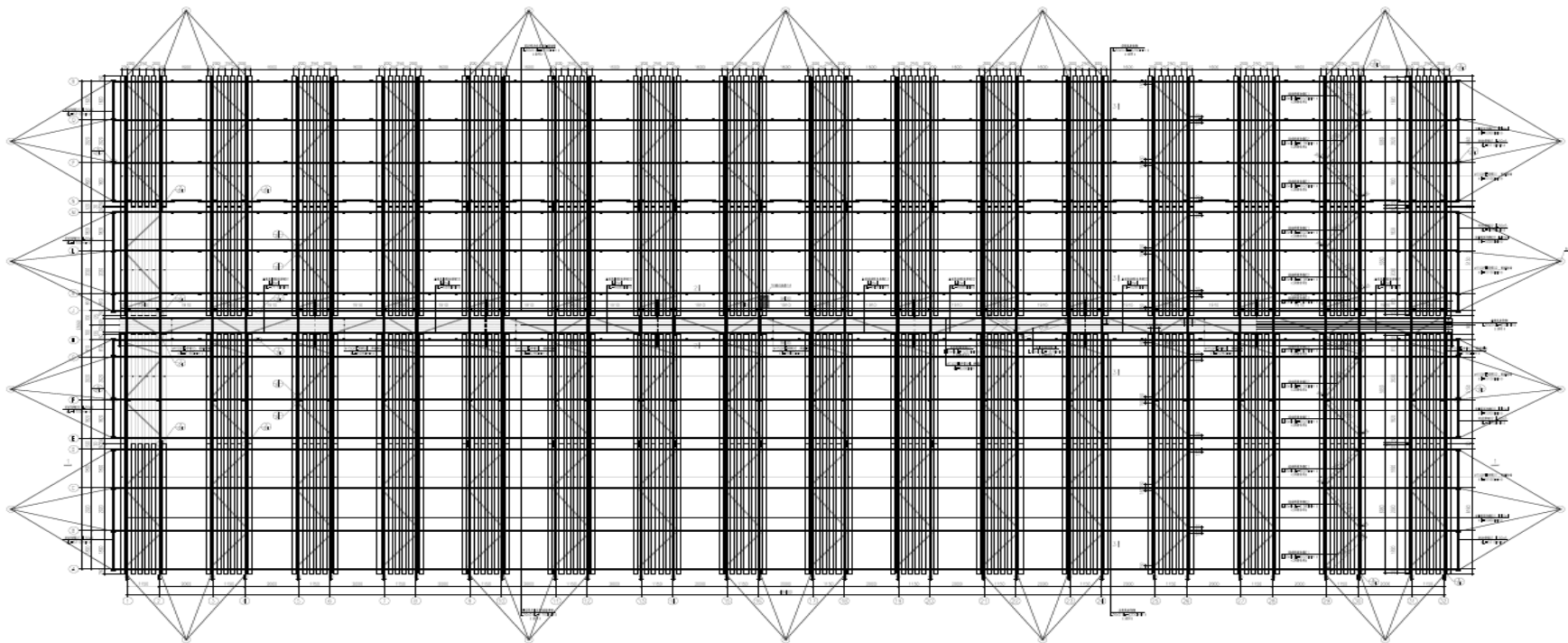
- 对浮管式光伏阵列进行改进和优化：
- 将固定浮管的支撑放置在浮管的上方，浮管抱箍为不锈钢材质，支架与水面脱离，避免水对支架的直接腐蚀。
- 加大单根浮管的直径，增大阵列整体浮力，减少浮管数量，减小拼接工程量。
- 降低支架高度，降低支架用钢量。
- 适当降低组件倾角，增加单位水面的安装容量，减少阵列所受风荷载，减少支架用量。
- 每块光伏组件均设置检修走道，能够对组件进行方便的检修和围护。



2

水上光伏电站项目的建设形式

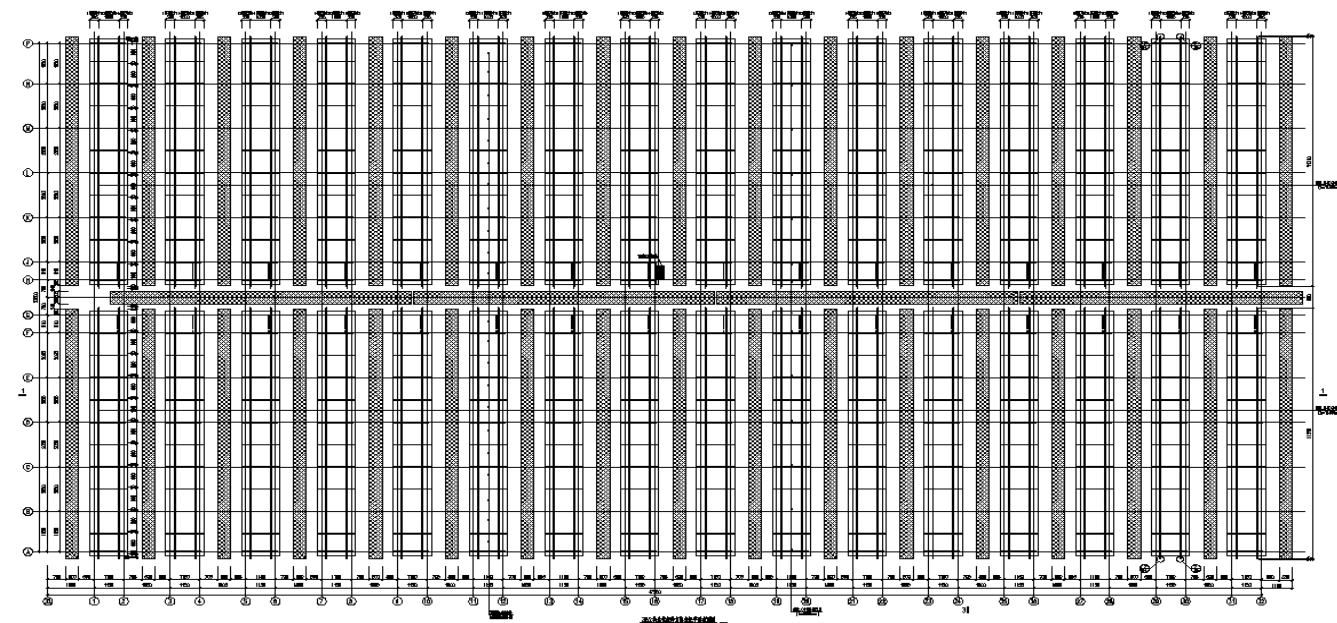
- 对浮管式光伏阵列进行改进和优化：
- 始终坚持浮体系统与上部支架系统区分考虑，减少因浮体震荡对上部支架的影响，从而减小水面波动对组件的影响。
- 镀锌钢支架位于水面上方，虽避免了水对支架的直接腐蚀，但支架所处环境较为恶劣，可采用非金属支架或镀铝钢支架代替镀锌钢支架。



2

水上光伏电站项目的建设形式

- 对浮管式光伏阵列进行改进和优化：
- 浮管材质为高密度聚乙烯（HDPE），HDPE直接暴露在自然环境中，不仅要经受紫外老化、高温、严寒的考验，还需要抵御潮湿空气的侵蚀，要求HDPE浮管材料中添加可以增强其耐老化性能的特殊元素。
- 因为HDPE材料本身的性质决定了其耐久性，需要采取措施增强浮管的耐久性，浮管表面外缠绕特殊材料保护层，具体缠绕层数和厚度需要测试确定。



● 漂浮式（浮箱）光伏支架系统

- 漂浮式（浮箱）支架系统采用高密度聚乙烯专用浮箱为浮体，浮箱根据组件倾角制作成相应的角度，该支架系统仅使用少量的钢连接片，无须设计钢支架。支架系统需要乘船在水面拼接。
- 该系统的薄弱环节是连接耳环，需要经过详细的内力计算和力学试验，若不满足受力要求，需要进行局部节点加强。
- 组件支撑系统与浮体系统是同一系统，组件受水面波动影响较大。并且，**HDPE**材料需要采取增强耐久性的措施。

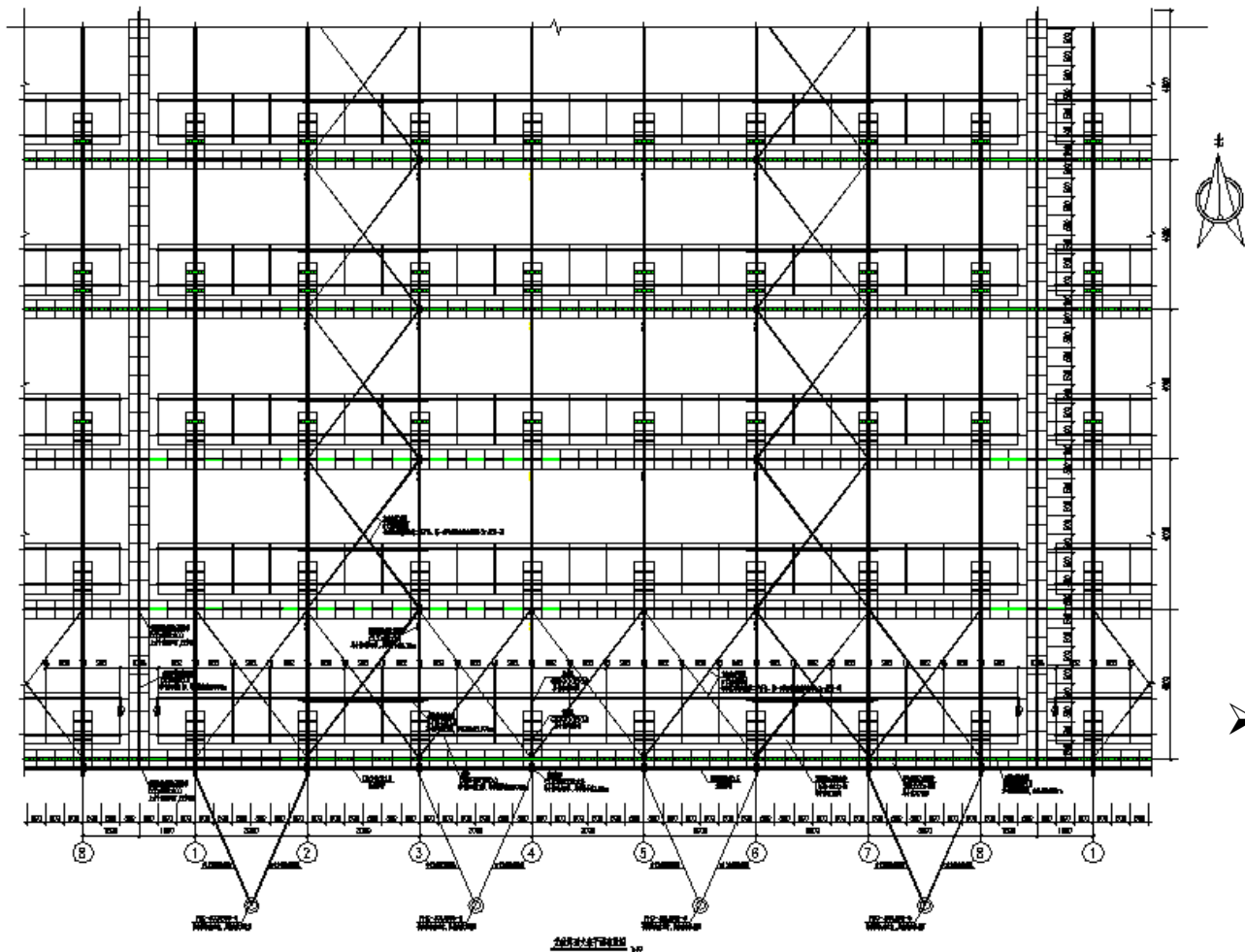


1. 主浮模块用于支撑光伏组件
2. 副浮模块
3. 连接耳环
4. 安装光伏组件垫片
5. 标准60单元光伏组件



● 漂浮式（浮箱）光伏支架系统

- 浮箱系统的薄弱环节是连接耳环，若不满足受力要求，需要进行局部节点加强，若节点加强很难实现时，需要改变连接方式。



- 浮箱通过连接钢梁串联连接，四角耳环仅作为辅助连接方式

● 漂浮式（浮箱）光伏支架系统

- 漂浮式（浮箱）光伏支架系统，需要根据项目所在的厂址情况，根据不同的气候环境、水面环境、风载、雪载、组件选型、倾角大小进行设计，该漂浮系统不能做成全国甚至全球通用的设备。需要进行项目设计和检测，确保光伏电站**25年**的寿命。
- 浮体整体浮力计算及局部浮力计算；
- 上部支架系统计算；
- 风荷载、水流力、波浪力等计算；
- 定泊系统锚系的计算；
- 撑杆或定泊导桩的计算；
- 浮体局部受力计算；
- 浮体连接螺栓及连接节点计算等。



2

水上光伏电站项目的建设形式

● 水上光伏支架系统成本比较

成本项目	传统浮箱+ 光伏支架 方案	光伏专用水面漂 浮一体化浮箱系 统	架高式（管桩） 光伏支架	漂浮式（浮 管）光伏支 架	地面电站
基础	0	0	0.86元/W	—	—
浮箱	1.40元/W	1.70元/W	0	—	—
锚	0.09元/W		0	—	—
支架	0.31元/W	0	0.30元/W	—	—
合计	1.80元/W	1.70元/W	1.16元/W	1.38元/W	0.65元/W
发电量	最佳倾角	倾角原因发电量 因倾角稍有损失	最佳倾角	最佳倾角	最佳倾角

目录

1 水上光伏电站项目的建设优势

2 水上光伏电站项目的建设形式

3 水上光伏电站项目的设备选型

4 水上光伏电站项目的系统效率分析

● 水上光伏电站组件的选型

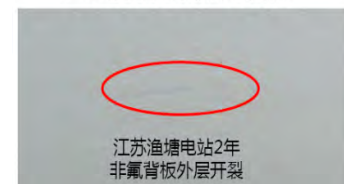
- 组件材料的选用，须考虑不同地区沙尘、湿度、光照、温度和盐雾等环境影响。要考虑背板材料的耐湿热、盐雾腐蚀性能和粘接力的稳定性。组件应当为PID free，具有第三方认证。
- 太阳能电池组件使用的钢化玻璃厚度为3.2mm或4.0mm，应具第三方提供的测试报告。
- 如采用边框组件，铝边框结构强度应足以支持组件长期工作。厚度应 $\geq 50\text{mm}$ （72片组件）或 $\geq 40\text{mm}$ （60片组件），阳极氧化膜厚度 $\geq 15\mu\text{m}$ 。在湿热气候和沿海渔塘等环境下耐盐雾腐蚀性能应为III级。应具第三方提供的测试报告。背板材料应当采用经过25年户外实绩验证的TPT背板材料，表层采用38um的聚氟乙烯PVF薄膜，中间采用厚度为250微米的PET。背板应具有第三方提供的测试报告，
- 组件的EVA胶膜、焊带、硅胶及浆料等均需根据项目特点给出设计要求。
- 如采用双玻组件，应高度关注光伏组件在动态机械载荷下的性能，并确保良好的封装、封边质量。
- 光伏组件的选型应需设计院结合项目所处环境等，提供适合的组件技术规范书供建设单位招标采购。



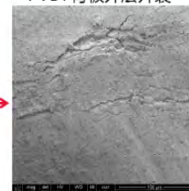
江苏滩涂电站5年
PVDF背板起泡（非热斑导致）



江苏近海电站
PVDF背板外层开裂



江苏渔塘电站2年
非氟背板外层开裂



● 电站选用单晶硅与多晶硅组件发电量分析

格尔木某20MW光伏电站2015年发电量对比					
日期	单晶硅发电量 (万kWh)	多晶硅发电量 (万kWh)	分析比较		总发电量 20MW电站总发电量
	240Wp规格10MW容量	230/240Wp规格10MW容量	单晶增加电量	单晶增加百分比	
1月份(10天数据)	47.7	44.3	3.4	7.68	92.0
2月份	125.6	120.6	5.0	4.15	246.2
3月份	149.7	142.5	7.2	5.03	292.2
4月份	218.3	210.8	7.5	3.58	429.1
5月份	149.3	142.5	6.8	4.75	291.8
6月份	104.0	99.6	4.4	4.46	203.6
7月份	155.9	148.4	7.4	5.01	304.3
8月份	165.1	160.2	4.8	3.02	325.3
9月份	135.4	130.2	5.2	3.99	265.6
10月份	168.4	159.4	9.0	5.62	327.8
11月份	139.3	132.6	6.7	5.06	271.9
12月份	140.7	133.8	7.0	5.22	274.5
合计	1699.4	1624.9	74.5	4.58	3324.3

10MW单晶光伏方阵2015年发电量较10MW多晶硅光伏方阵发电量增加74.5万kWh，增加4.58%。

近处为单晶组件，远处颜色较深的为单晶组件



● 电站选用单晶硅与多晶硅组件成本分析

多
晶
硅
组
件
电
站
报
价

多晶	单价	单价单位	用量	用量单位	金额(万元)
组件(1650mm×991mm, 260W)	3.95	元/W	1.05248	MW	415.7296
支架	7900	元/吨	55.7	吨	44.003
汇流箱	3500	元/台	12	台	4.2
光伏专用电缆					5.1
基础施工					27.6
安装施工					52.1
土地租金(一次缴纳)					41.3
土地占用税(一次缴纳)	9	元/平方米	20387.3	平方米	18.34857
建筑施工					37.9
其他设备费用	1.13	元/W	1.05248	MW	118.93024
其他工程费用	0.17	元/W	1.05248	MW	17.89216
合计					783.10357
每瓦投资					7.44元

单
晶
硅
组
件
电
站
报
价

单晶	单价	单价单位	用量	用量单位	金额(万元)
组件(1650mm×991mm, 280W)	4.05	元/W	1.0527	MW	426.3435
支架	7900	元/吨	52.4	吨	41.396
汇流箱	3500	元/台	11	台	3.85
光伏专用电缆					4.8
基础施工					26.1
安装施工					49.3
土地租金(一次缴纳)					39
土地占用税(一次缴纳)	9	元/平方米	19279.3	平方米	17.35137
建筑施工					37.8
其他设备费用	1.13	元/W	1.0527	MW	118.9551
其他工程费用	0.17	元/W	1.0527	MW	17.8959
合计					782.79187
每瓦投资					7.43元

单晶组件的每Wp价格比多晶组件多0.1元，但是综合考虑1MW方阵造价单晶比多晶更有优势。

● 水上光伏电站逆变器的选型

- 水上光伏电站所处的环境多为高温、高湿，甚至盐雾等环境。汇流箱需要提高防护等级，汇流箱防护等级建议选型为IP67。箱式逆变器和箱变的箱体需经过严格的防腐设计以及严酷的测试。为了应对高湿环境加剧组件PID衰减的影响，逆变器应具有防PID的功能。
- 水上漂浮式光伏电站的汇流箱固定到光伏支架上；考虑到节省投资，提高系统效率的因素，建议采用组串式逆变器，固定于光伏支架上；在条件具备的情况下，建议升压变压器采用固定式架空安装方式，若水面较大，采用漂浮式经济性更好的情况下，可采用漂浮式平台安装升压变压器等设备。



● 水上光伏电站设计中其它需要注意的问题

- 线缆敷设优先采用浮体上敷设方式，其次选用水下敷设方式，线缆水面敷设的路径应根据总图布置以及水域自然环境充分考虑，确保后期维护的便利性，降低由于维护不及时带来的发电量损失；线缆设计时应根据水位的变化充分考虑线缆长度的余量；此外还应根据水域的自然环境来确定电缆护套的材料。
- 建议采用直流汇流箱采用无线通讯传输方案，降低传统通信布线施工，调试以及维护的工作量。
- 为了减少变压器泄漏油对水面环境的影响，建议布置在水面以上的箱变采用欧式干变。

目录

1 水上光伏电站项目的建设优势

2 水上光伏电站项目的建设形式

3 水上光伏电站项目的设备选型

4 水上光伏电站项目的系统效率分析

4

水上光伏电站项目的系统效率分析

➤ 临西县朗源一期30兆瓦地面光伏电站项目（实际发电量对比）

—— 由我公司设计的大型水面光伏发电系统

装机容量：30MW，8MW为水面漂浮式光伏电站

并网方式：35kV并网

投运时间：2015年7月并网

总发电量：3328万kWh/年

水面光伏发电量：976万kWh/年



4

水上光伏电站项目的系统效率分析



水面光伏电站部分

4

水上光伏电站项目的系统效率分析




12#逆变机房

- 为了便于分析对比，选择12#光伏发电系统进行对比，系统总装机容量1345kW，采用1.26MW预装式逆变机房1座，内装两台630kW集中式逆变器。
- 水面部分安装容量为660kW，对应逆变器A；地面部分安装容量685 kW，对应逆变器B。
- 两台逆变器对应的光伏阵列位置较近，安装倾角相同，阵列布置均无遮挡，直流损耗相当，可认为运行条件基本相同，比较结果具有代表意义。

4

水上光伏电站项目的系统效率分析

- **数据**：2015年12月1日0时~2016年5月31日24时（发电量取自箱变低压侧）。
- **比较**：660kW安装容量的水面部分6个月发电量共**28.52万kWh**；
685kW安装容量的地面部分6个月发电量共**27.97万kWh**。
(每瓦较地面提高**5.8%**) 
- 可研中临西县12月份30°倾角下倾斜面辐射量为83.00 kWh/m²，扣除箱变及后续部分系统的损耗，系统效率85%，首年日均利用小时数应为约2.28h，与根据实测数据计算的地面利用小时数2.35h基本相符。
- 根据实测数据计算的水面部分首年日均利用小时数约为2.48h，较地面提高约**5.8%**。

比较分析：

- 水面的反射率（约为0.6）大于地面和山地表面（一般为0.2），水面上的光伏组件倾斜面的总辐射量比地面可提高约1.56%。
- 水面上安装的光伏组件运行温度低于地面。由于光伏组件具有负的功率系数，即温度升高，功率下降。水面的光伏组件运行温度平均比地面上低约5°C左右，光伏系统的温度损耗系数可降低约2%。

4

水上光伏电站项目的系统效率分析

➤水面光伏阵列工作环境清洁，靠近水源，清洗方便及时，使得灰尘遮挡的损失大为降低。正常电站的灰尘、积雪、雾霾、遮挡损失约为4%左右，而对于水面电站，此项损失可大为降低，具体可由运维情况确定。

➤结论：根据以上分析，水面电站可提高发电量，主要原因为以下几个因素：

水面上倾斜面辐射量较地面大； 水面组件运行温度低；

水面电站取水方便，在经常清洗的条件下可减小光伏电站的污秽损失。

➤结论：水面部分的发电量可比地面高约6~8%。