



漂浮式光伏电站建设关键技术探讨

2018年1月

上海



目 录

- 锚固系统
- 设计与施工的有机配合
- 工程案例



锚固系统

锚固系统设计要点

1. 光伏方阵锚点的布置

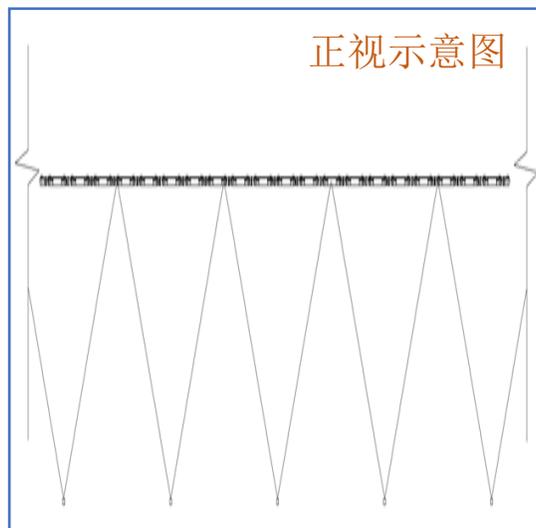
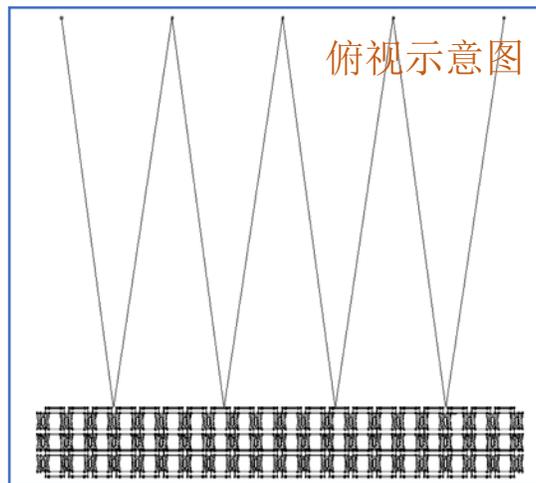
2. 锚固型式的选取

3. 锚点和方阵的连接方式

4. 自适应水位差调节设计



锚点布置



设计输入值

根据浮体拉耳承受拉力和锚点拉力，考虑安全可靠，按照极限条件下每个锚点上约承受4t的拉力设计锚固系统。

抛锚距离

每个锚点按照水深 h 不同，水平抛锚距离 Nh （ N 取3~6），角度约为 $(10^\circ \sim 20^\circ)$

抛锚密度

北侧每隔3m-6m设置一个锚点，其余方向每隔8m-10m设置一个锚点。

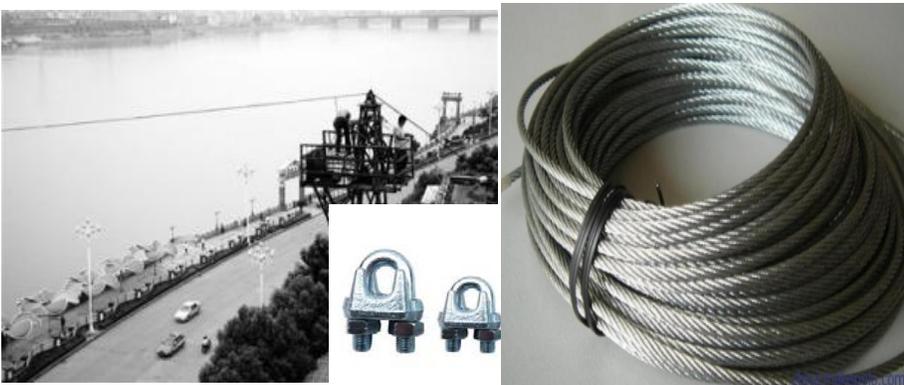
锚固型式



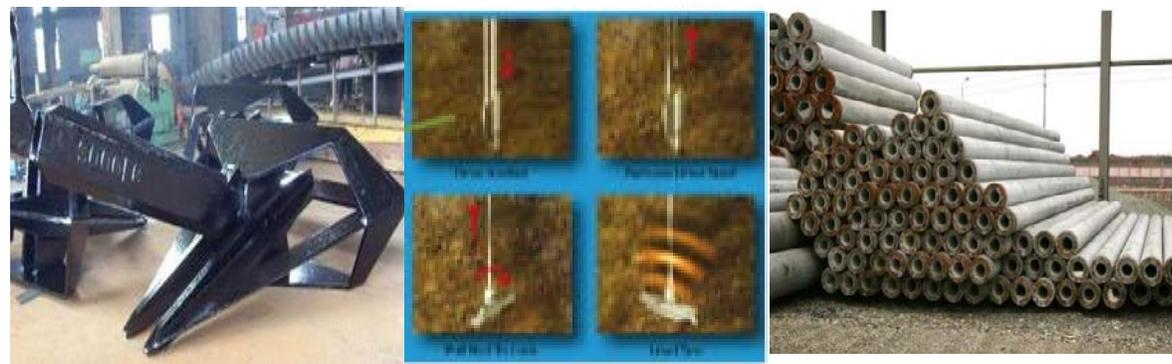
撑杆



混凝土锚



钢绳&卡头



铁锚&锚钩&管桩

锚固型式



大抓力锚

适用于淤泥层较厚水域。抓重比大，多用于作业平台的定位锚。如浮筒、浮标、灯船、浮船坞及浮码头等永久性系泊用锚。



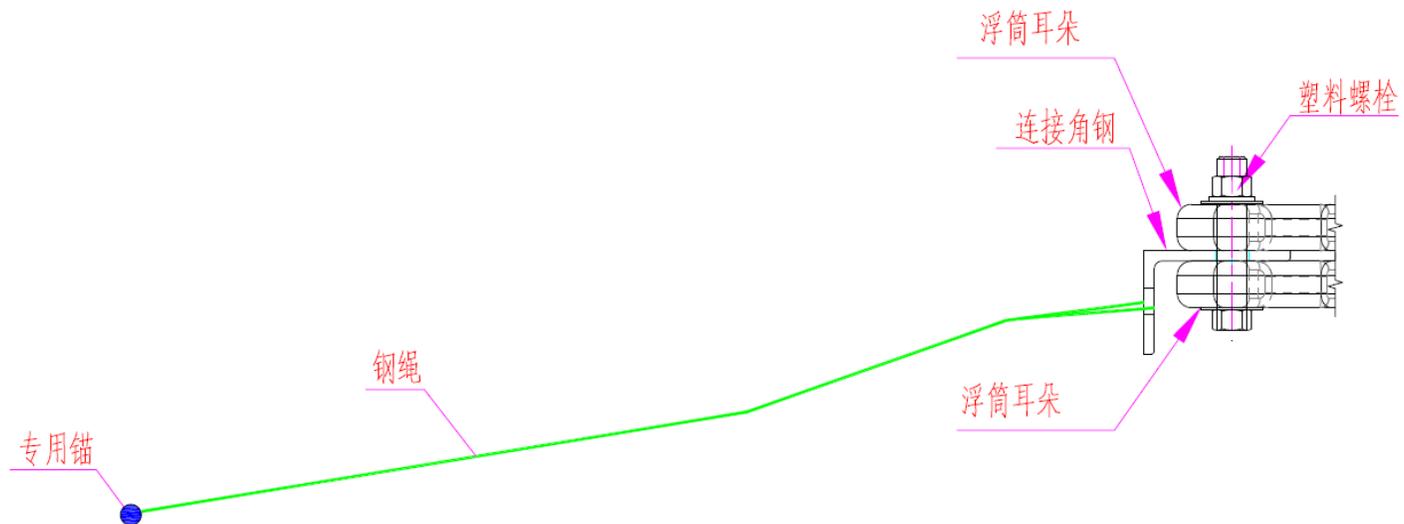
定制地锚

浅水区、深水区均可应用，淤泥层较薄水域应用更为经济。需采用定制打桩设备。

義和与有关单位共同研制漂浮光伏方阵系泊专用系列锚及定锚技术，并获得相关专利。

锚固连接形式

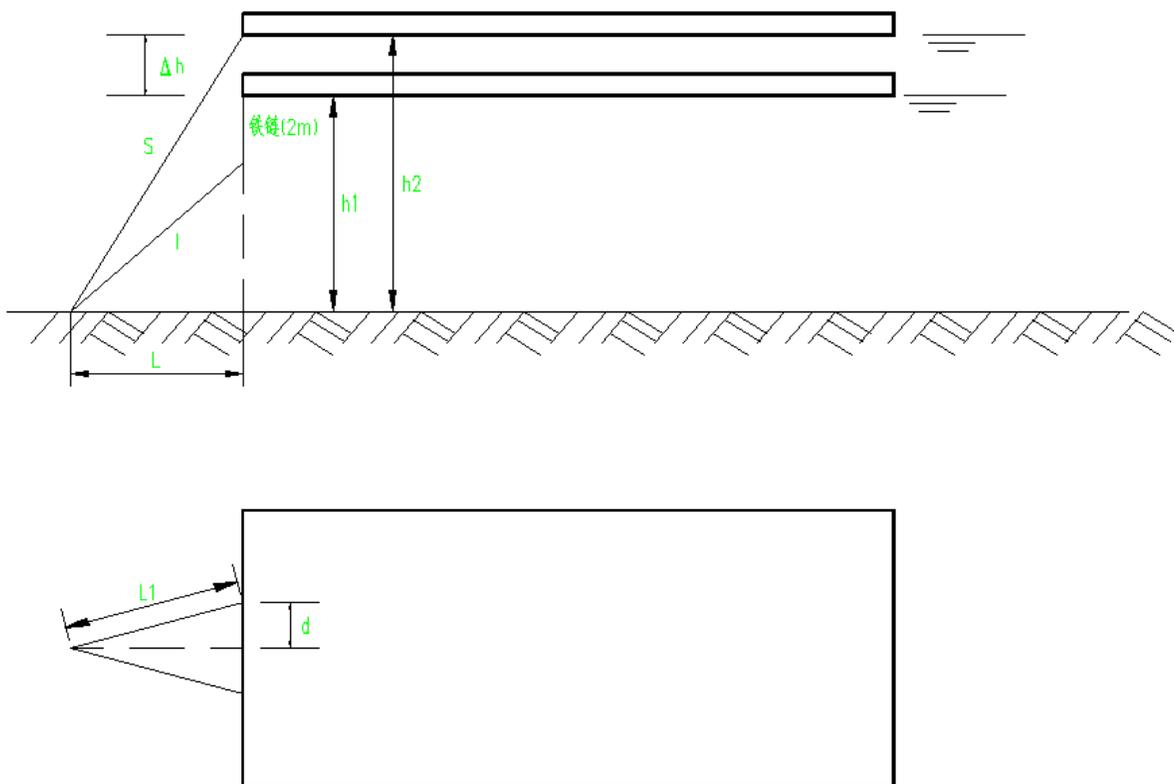
浮体—锚固连接件设计示意



锚固金属件与浮体的安装结构示意图

水位变化和位置移动校核

水位变化计算校核

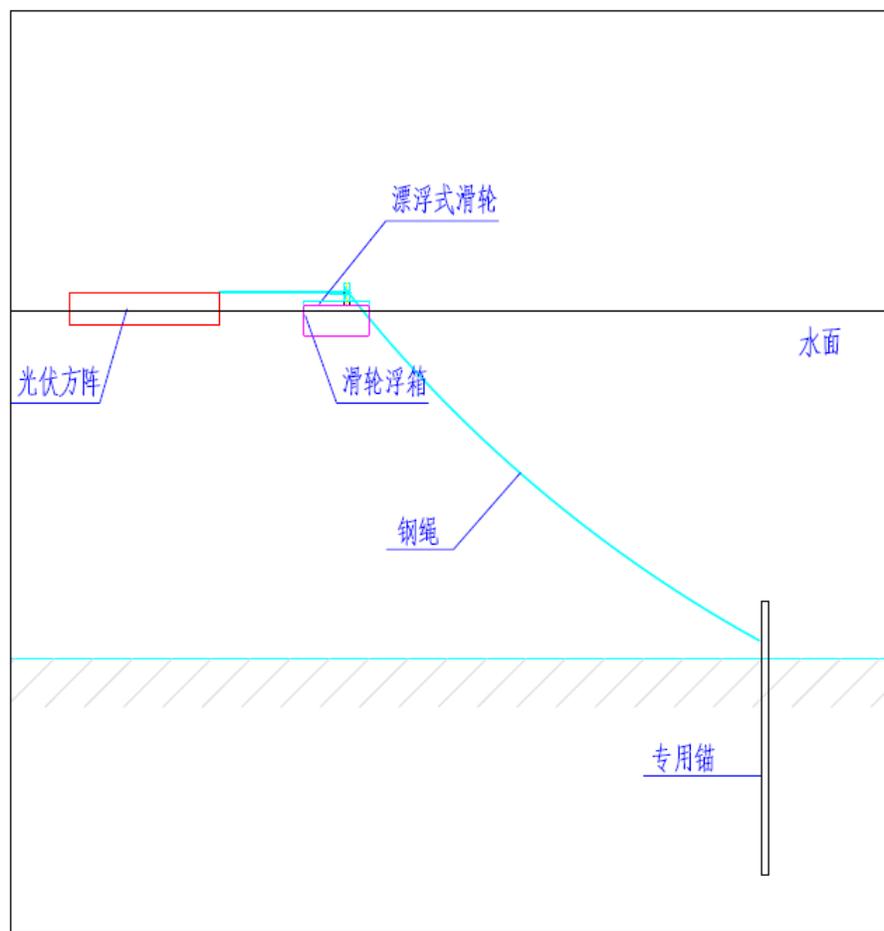


- h_1 ——当前水位 (m)
- h_2 ——洪水位 (m)
- Δh ——设计水位差 (m)
- L ——水平抛锚距离 (m)
- L_1 ——锚绳水平投影距离 (m)
- d ——双耳连接件的中心偏距 (m)
- S ——锚绳总长度 (m)
- l ——钢丝绳长度 (m)

h_1 (m)	钢丝绳+锚链 (m)	Δh (m)	h_1	钢丝绳+锚链 (m)	Δh (m)
0	—	—	11.5	58.36+2	6.601841012
0.5	2.41+2	1.538412333	12	60.90+2	6.644201234
1	4.83+2	2.558356895	12.5	63.45+2	6.684298594
1.5	7.58+2	3.646187096	13	65.99+2	6.722314652
2	10.44+2	4.764704431	13.5	68.54+2	6.758411631
2.5	12.86+2	4.963827525	14	71.08+2	6.792734963
3	15.32+2	5.142637938	14.5	73.63+2	6.825415441
3.5	17.82+2	5.304778176	15	76.18+2	6.856571046
4	20.32+2	5.449317739	15.5	78.72+2	6.886308505
4.5	22.84+2	5.57945921	16	81.27+2	6.914724619
5	25.36+2	5.697185549	16.5	83.82+2	6.941907411
5.5	27.88+2	5.80419161	17	86.37+2	6.967937114
6	30.41+2	5.901901134	17.5	88.91+2	6.992887025
6.5	32.95+2	5.991505437	18	91.46+2	7.016824254
7	35.48+2	6.074003212	18.5	94.01+2	7.039810366
7.5	38.02+2	6.150235415	19	96.56+2	7.061901958
8	40.56+2	6.220914117	19.5	99.10+2	7.08315115
8.5	43.10+2	6.286645851	20	101.65+2	7.103606031

结论：为满足5米水位变化的要求，在平均水深不足3m处减小锚绳与水平面夹角，保证在 10° 左右。

自适应水位差调节锚固



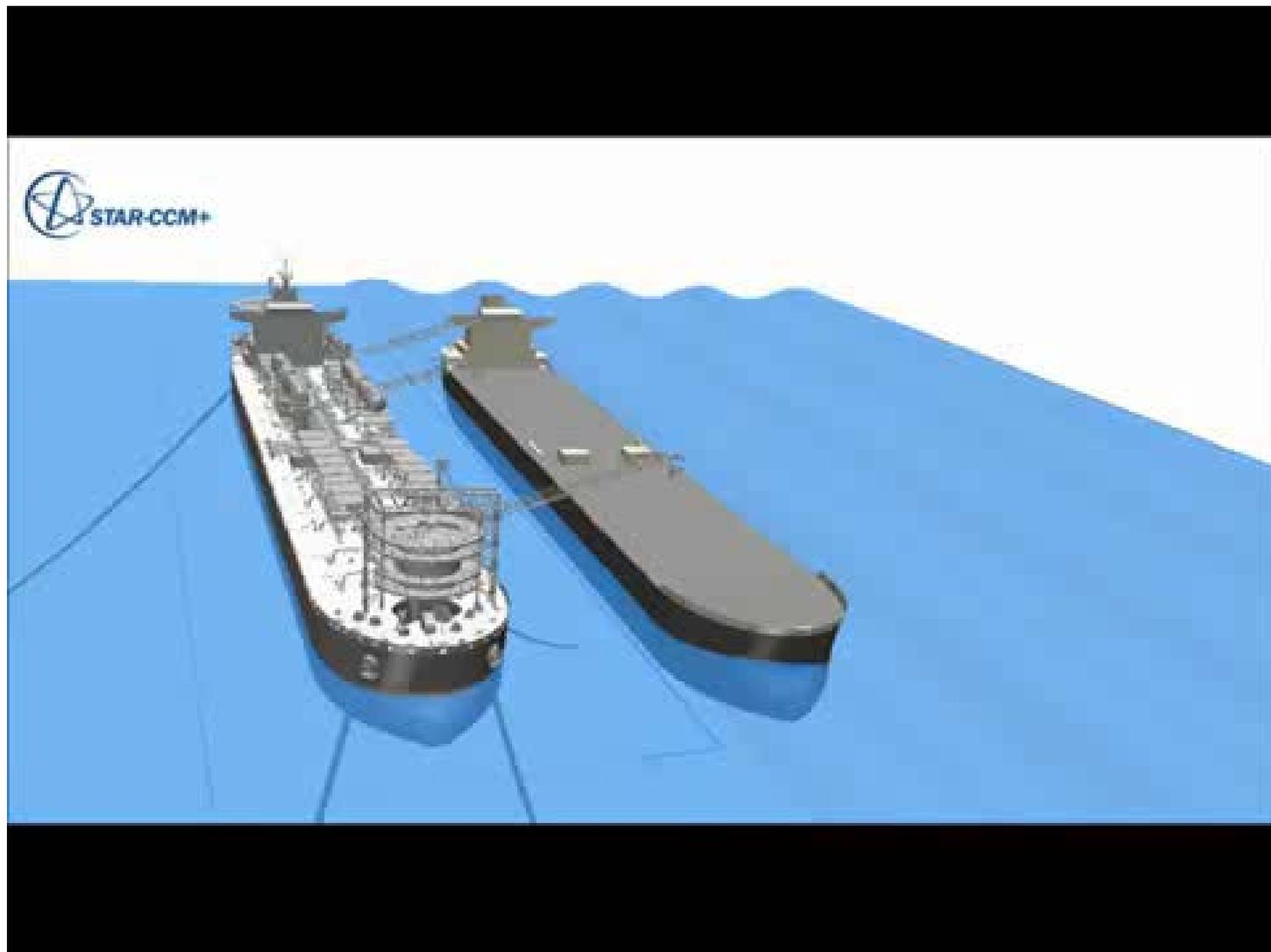
羲和专利超大水位变化自适应锚固连接系统：适应水深150米、水位变化25米以上深水库漂浮光伏电站。

锚固系统仿真分析

目前同时考虑风载、水阻以及漂浮力的多相流计算在国内还鲜有开展，计算难度过高以及计算资源消耗量大。

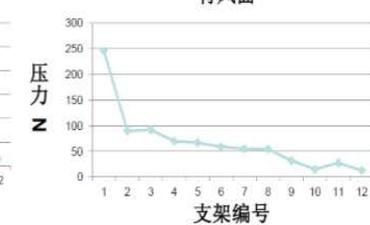
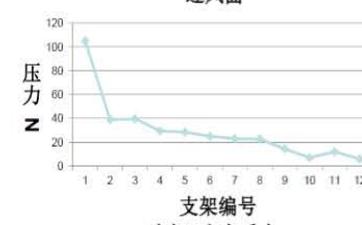
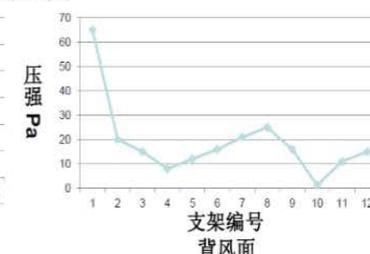
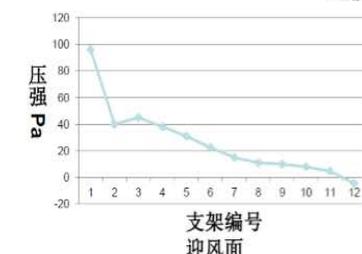
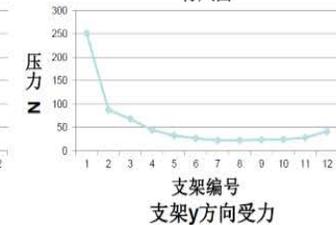
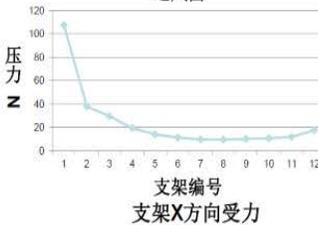
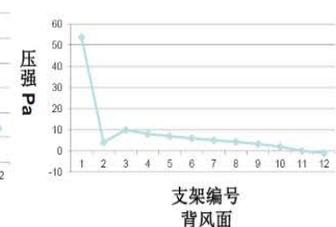
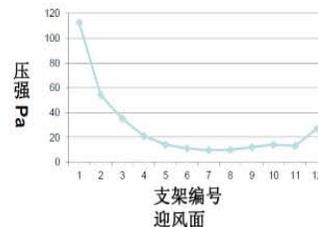
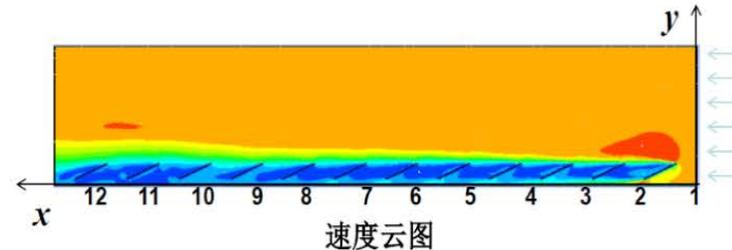
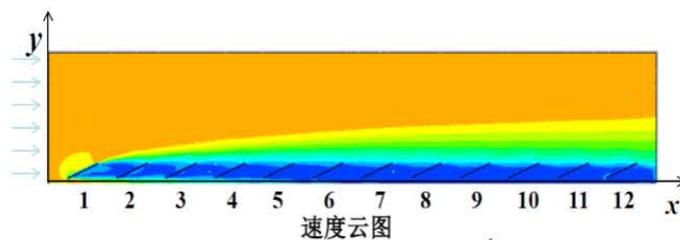
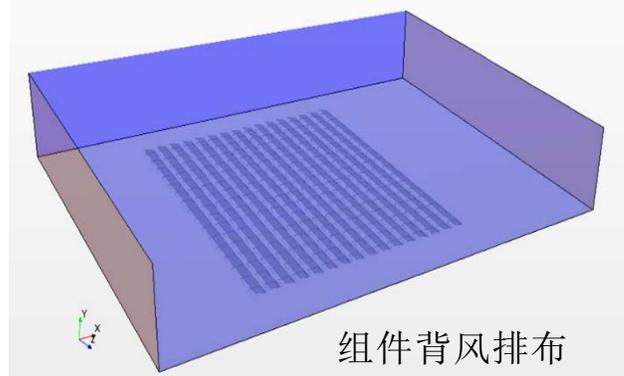
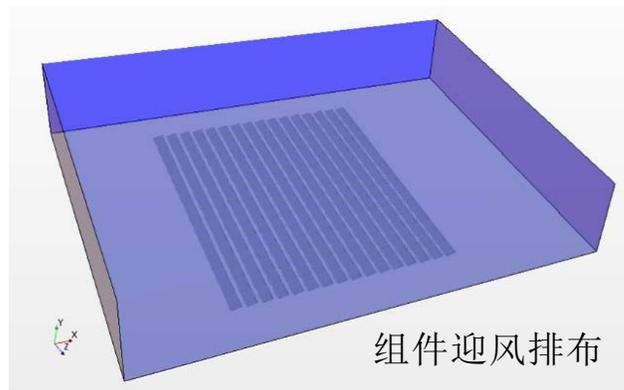
北京大学南京创新研究院在与船舶行业多次项目合作中积累了多相流受力计算分析的丰富经验，委托该院合作建模和计算，参考风洞试验结果，共同研究漂浮系统锚固技术。

风荷载及波浪力共同作用下的锚固系统受力分析。



锚固系统仿真分析

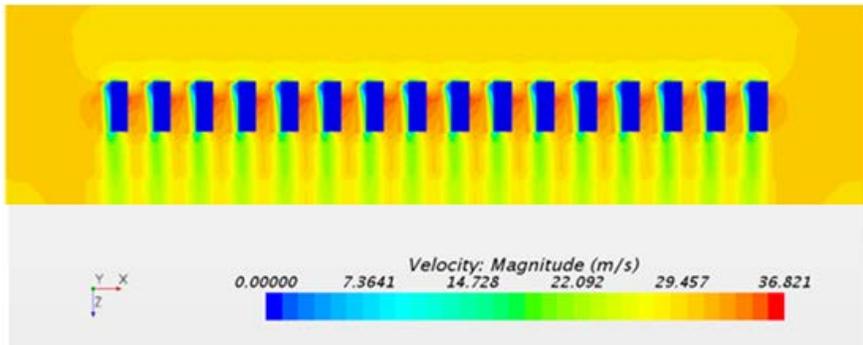
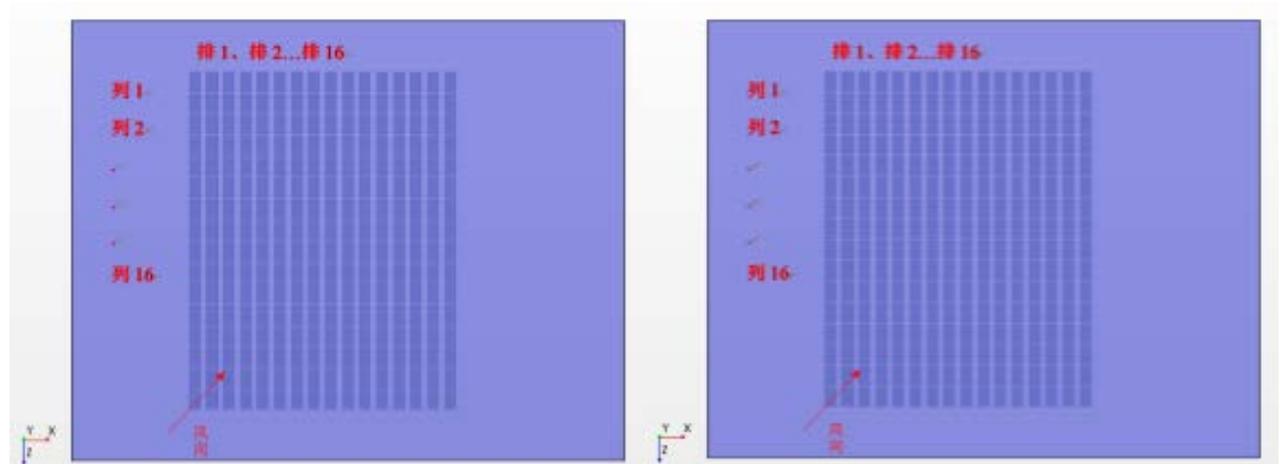
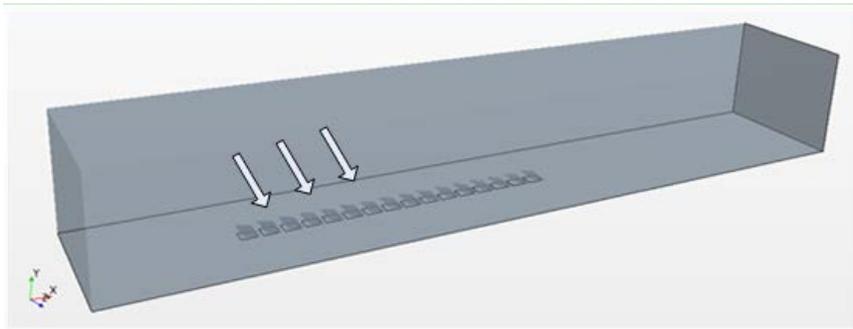
(1) 南北侧风荷载对方阵的影响



当漂浮电站组成方阵后，方阵内的流场受前后左右各个方向的制约，在南北方向上，随着排数增加风荷载作用快速达到平均值。除第一排受力仍然偏大以外，后续呈现一定折减趋势并且从第二排开始往后，受力就比较平均。

锚固系统分析

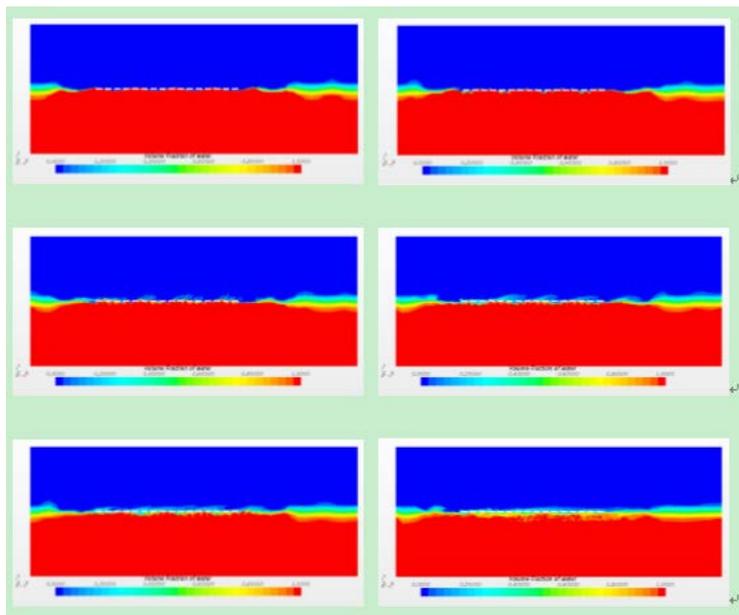
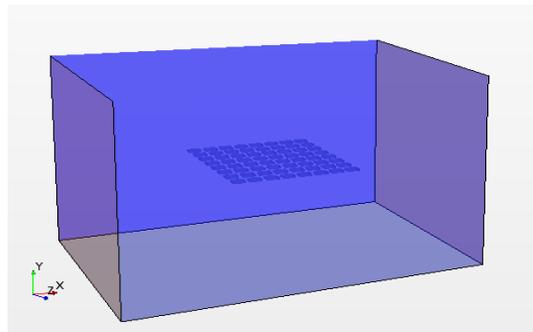
(2) 东西侧风荷载对方阵的影响



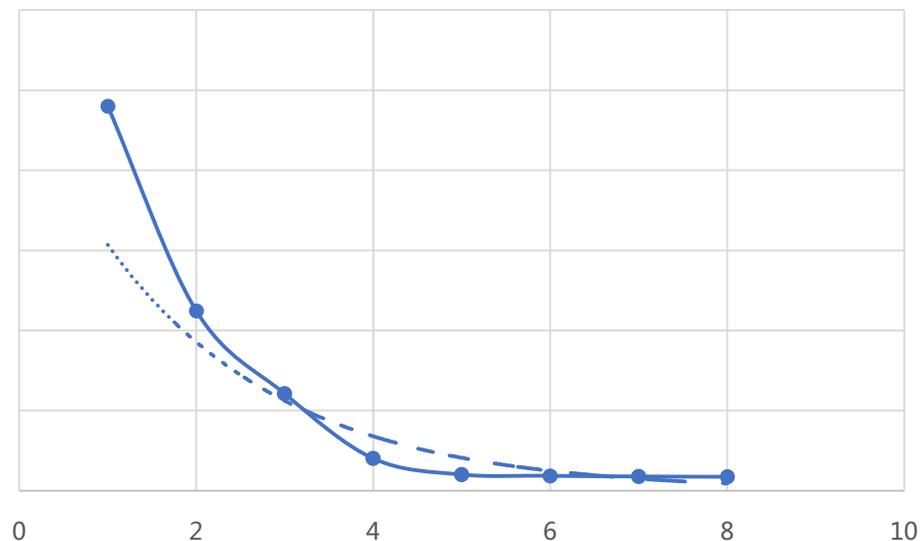
由模拟结果可知，纯东西向风荷载作用下，方阵所受风荷载作用力较小，根据前期模拟结果显示在斜向45度风荷载作用下，方阵东西侧受力处于最不利条件。

锚固系统分析

(3) 波浪力对浮体的影响



水的体积分数截面图



浮体受力随着波浪周期性运动也呈现周期性的规律，且同一排浮体的规律相似。由于同一排浮体受力周期性规律的相似性，浮体所受波浪力随浮体排数增加呈现递减趋势。在8排往后，波浪力持续降低，根据预测20排以后单个组件浮筒受到的波浪力 $<0.01\text{N}$ ，可以忽略不计。

锚固系统受力分析

结论

(1) 方阵南北侧是在正南或者正北风作用下，作为组件的迎风面和背风面，受风面积较大承受较大风荷载，所以正南和正北方向的风力是影响方阵位移的重要因素，因此在进行锚固设计时应进行重点控制；

(2) 方阵东西侧在正东和正西方向的风荷载作用下，其受风面有限，对方阵形成的水平力较小，结合45度斜向风荷载作用，可以合理减少锚固密度；

(3) 对比正南风 and 正北风可以发现，正北风吹向时多排方阵间风压折减程度缓于正南风向，所以正北向对于方阵稳定性的影响大于正南风，因此在锚固设计时间，方阵北侧为最薄弱点，需要加密布置锚点。



设计与施工的有机配合

组装平台搭建



- 在岸边或水中搭建一个带有5-10度倾角的斜坡作为施工平台；
- 在斜坡上铺设导轨，按照主浮筒间距，每个主浮筒使用两根导轨；
- 可根据实际情况搭建多个组件安装平台，以保证施工速度。

浮体拼接/组件安装



- 一体式、平面+立柱式浮筒，先安装组件至主浮筒，再拼接浮体；
- 集成浮箱（金属支架），先安装浮箱及支架，再安装组件。



浮体拼接/组件安装

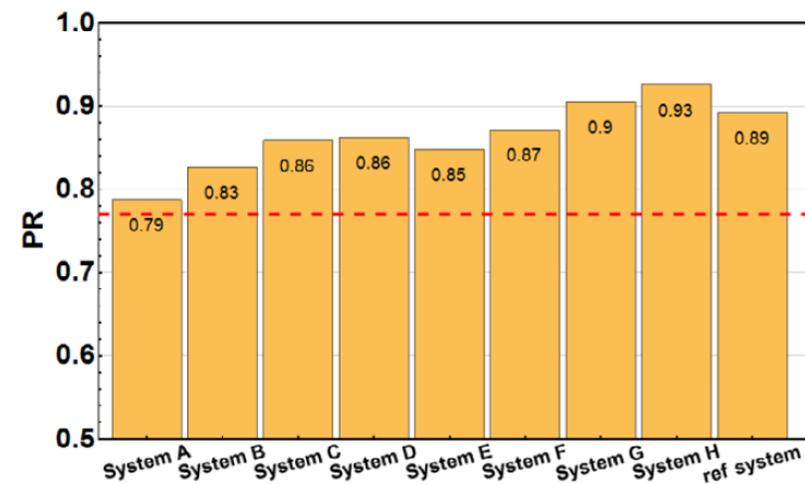
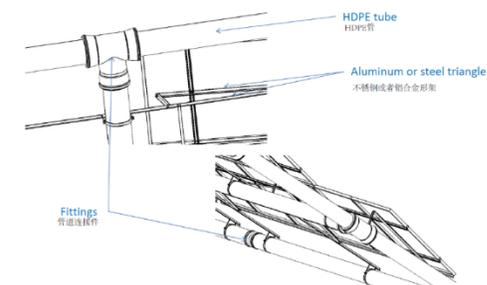
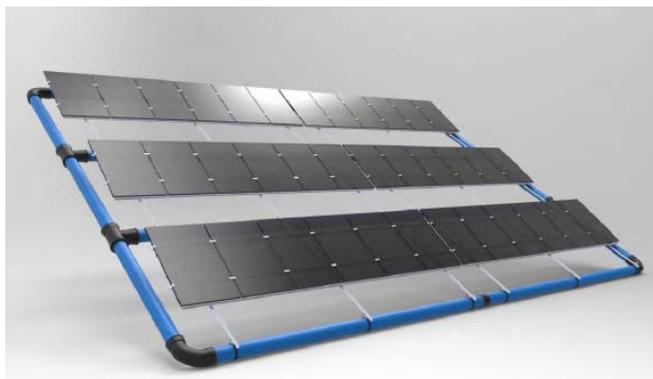


Figure 2: Overall performance ratio (PR) for various floating PV systems and the rooftop reference system. Typical PR for rooftop systems in Singapore is marked as red dashed line.

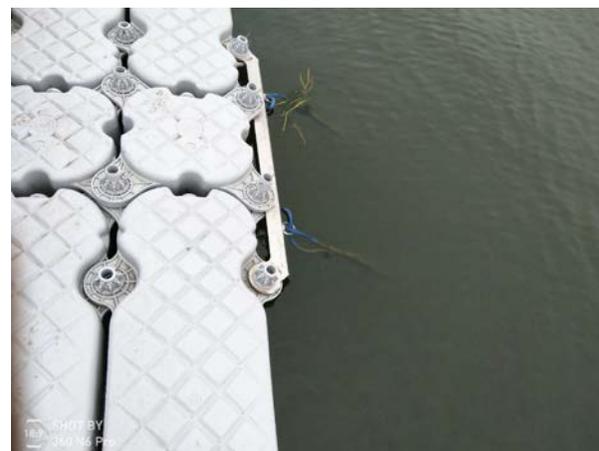
子阵水上拼接



平台组装浮筒组件→水上拖运子阵→临时固定子阵
→拼装子阵→校方阵

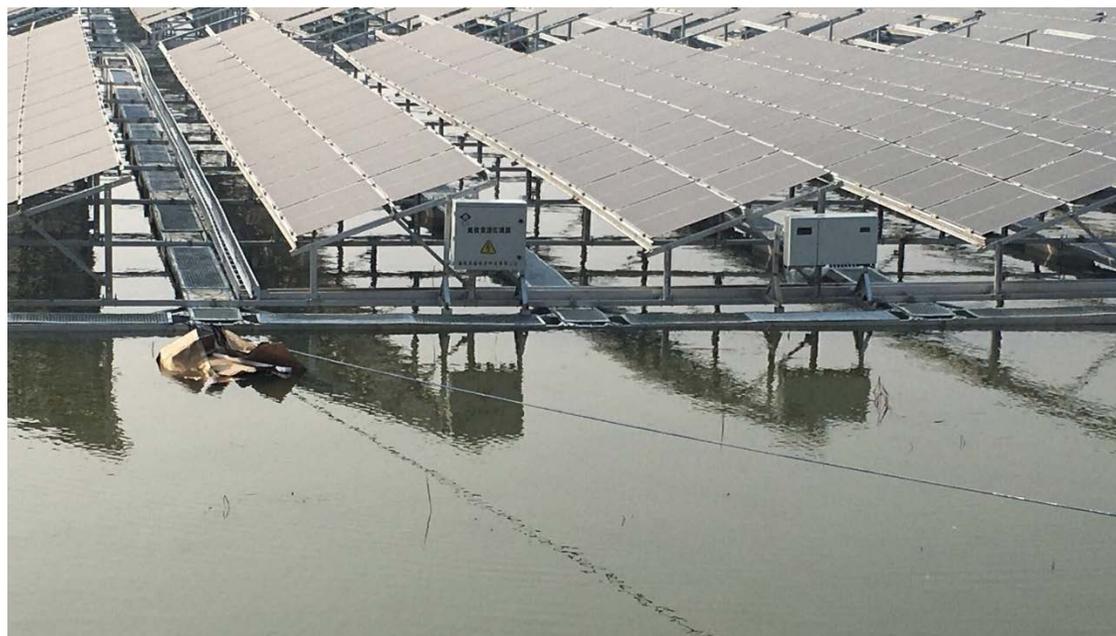
锚固系统安装

领料→钢丝绳制作→打桩船就位→纵横向移动定船锚抛锚→GPS桩定位→打定制地锚→脱扣提钻→钢丝绳浮球标识



SHOT BY
18.9
360 N6 Pro

组串逆变器/汇流箱安装



- 平板+立柱式浮筒：两个主浮体拼接在一起，增大设备浮体浮力，通过支架安装组串逆变器与汇流箱；
- 集成浮箱：在钢结构走道上通过支架安装组串逆变器与汇流箱。

混凝土浮台制作

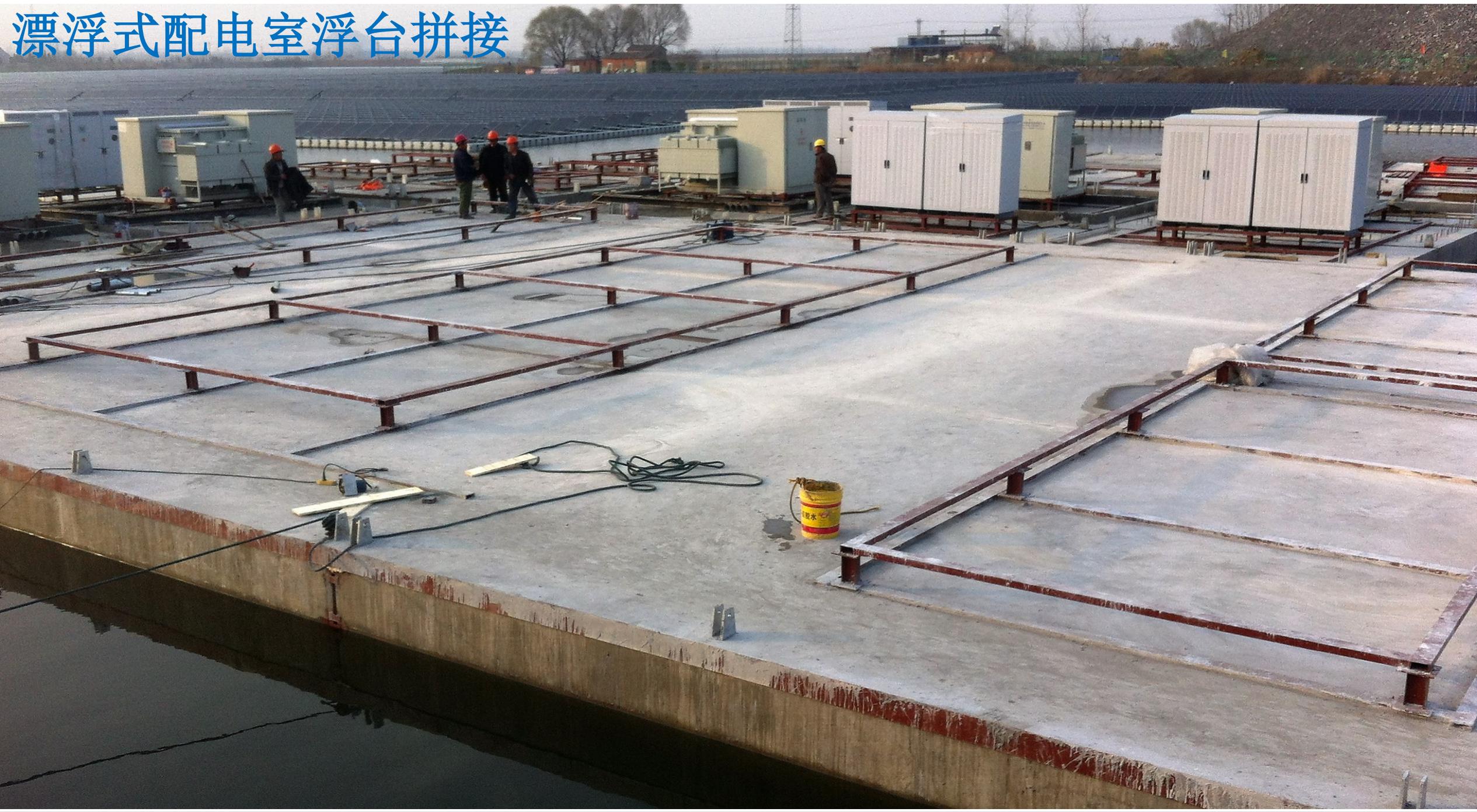


ZL201620458433.6一种水上漂浮光伏电站设备的安装平台

混凝土浮台吊装/运输



漂浮式配电室浮台拼接



漂浮式配电室浮台拼接

开关站集成了集装箱式35kV配电室、二次仓、监控值班室、SVG等。



钢浮台拼接/吊装/运输

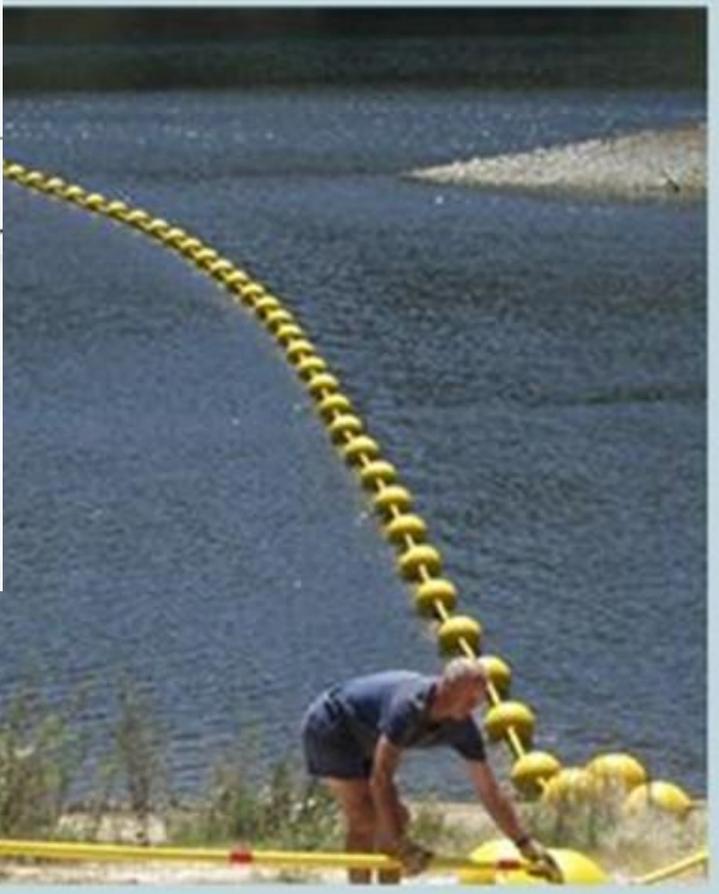


电缆敷设



柔性连接的铝合金桥架（槽盒）

场地围网





工程案例

2015年12月信义安徽芜湖8.5MWp水上漂项目并网发电。

标准浮筒/信义独立浮筒
定制浮箱/浮管
23度倾角
集中式逆变器
变压器岸边布置
岸边拉索/混凝土锚块
专用船锚



工程案例

2016年3月信义淮南采
煤塌陷区20MWp水上漂
项目并网发电。

标准浮筒/信义独立浮筒
同景定制浮筒
23度倾角
集中式逆变器
混凝土箱变浮台
漂浮式35kV配电室
岸边拉索/混凝土锚块
专用船锚



工程案例

2016年12月协鑫沛县
10MWp水上漂项目并网
发电。

一体式浮筒
12度倾角
组串式逆变器
变压器岸边布置
天地专利水下锚固
专用船锚



工程案例

2017年12月10日，中国三峡集团三峡新能源公司安徽淮南150兆瓦水面漂浮光伏项目正式并网发电。

平面+立柱式浮筒

12度倾角

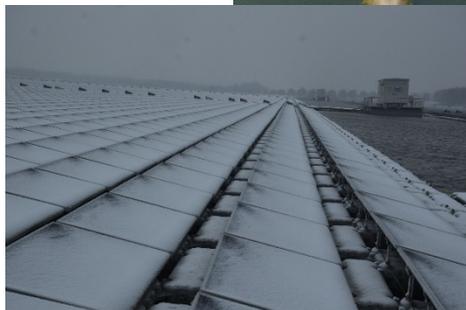
组串式逆变器

变压器：

钢浮台/混凝土浮台

专用船锚/专用地锚

撑杆



工程案例

2017年11月30日，信义淮北市濉溪县韩村采煤沉陷区信义100MWp水上漂浮光伏电站项目并网发电。

独立浮筒+玻璃钢支架

23度倾角

组串式逆变器

变压器为混凝土浮台

专用地锚/撑杆

自适应水位差调节



工程案例

2017年9月30日，协鑫
新能源淮北市濉溪县南
坪镇采煤沉陷区60MW
光伏发电项目并网发电。

一体式浮筒
12度倾角
组串式逆变器
变压器为混凝土浮台
天地专利水下锚固
专用船锚/专用地锚
撑杆



工程案例

2017年9月30日，林洋
新能源公司濰溪县刘桥
镇采煤沉陷区光伏发电
项目（50MW）10MW
漂浮工程正式并网发电。



20度倾角集成浮箱（双
面发电组件）

12度倾角平面+立柱式
浮筒

组串式逆变器

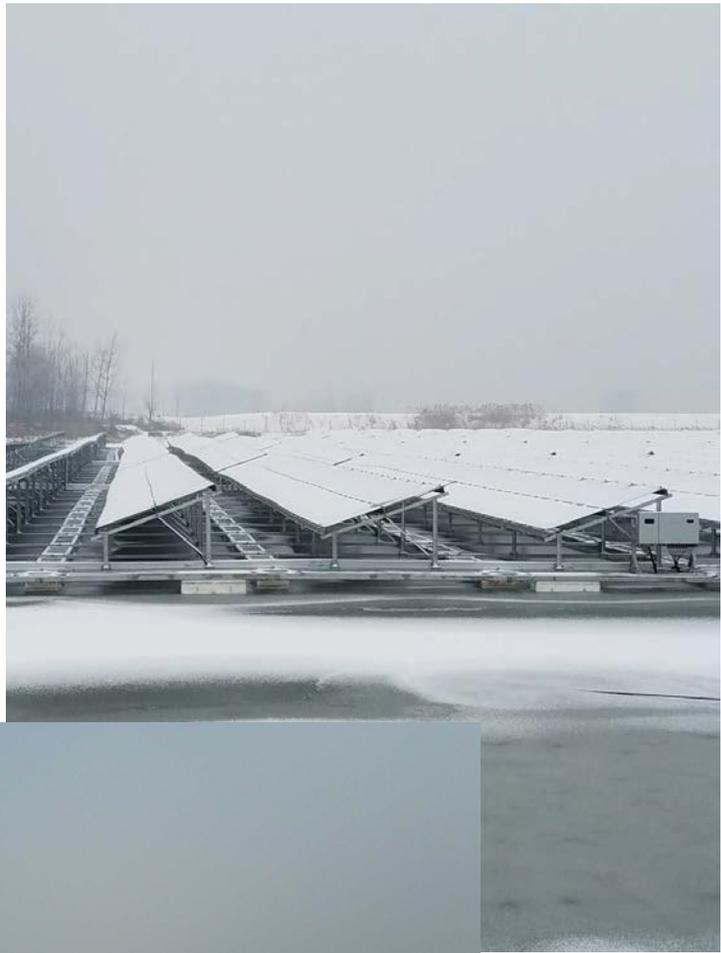
变压器为混凝土浮台

专用船锚/专用地锚

撑杆



工程案例



工程案例

水上漂浮光伏电站相关关键技术

➤ 组件方阵浮体：

- SharePower专利集成浮箱（支架、便道与浮箱组合结构）
- HDPE一体化浮筒

➤ 变压器等设备浮体：

- SharePower首创钢骨混凝土大型组合浮台
- 钢制浮台

➤ 锚固系统

- SharePower专利大抓力锚和系列专用锚
- 水泥锚块、水下混凝土桩、带倒钩锚杆、近岸拉索、撑杆、滑桩等

- 支架檩条的平整度及柔性 with 组件的匹配（波浪影响）
- 风荷载等多相流混合作用下锚固力模拟分析计算
- 锚固系统对水位变化的适应性
- 运行维护和检修通道设置
- 电缆及其敷设方式选择
- 施工组织和质量控制
- 其它要点：采用双玻防潮（PID free）组件，IP65及以上防护等级的电气设备、不锈钢等材质结构件、高柔韧性铝合金电缆、配有软联结的铜包钢接地系统等。



谢谢!

“曦将出兮东方”

让我们 “共创灿烂光伏、共享阳光动力”