



大跨距预应力悬索光伏支架技术 (柔性支架技术)

2021年10月15日

昆明

目录

- 柔性光伏支架特点及典型应用场景
- 大跨距预应力悬索柔性支架结构型式
- 工程实例
- 安全性、稳定性评估
- 大跨距悬索支架在“光伏+农业”的应用
- 相关标准、规范编制计划
- 技术（设计、安装、运维、耐候性）、经济性的挑战
- 羲和电力介绍

柔性光伏支架典型应用场景

污水处理厂光伏



渔光互补光伏



渔光互补光伏



山地光伏



停车场光伏



农光互补光伏



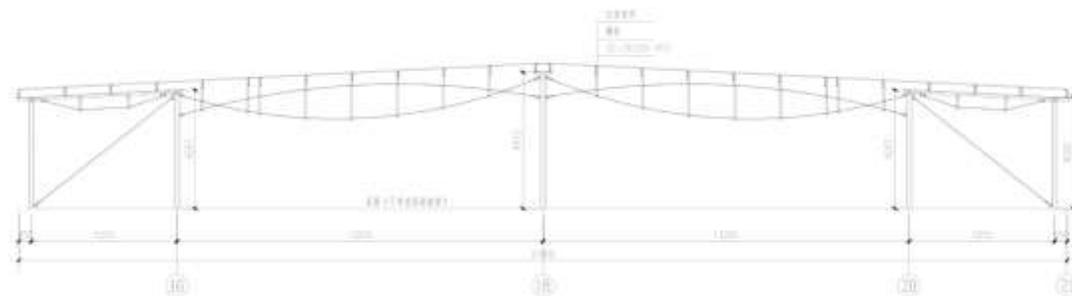
相关单位：国利英核、中机国能浙江公司、通威、天合、北京中科中电、山西院、河北能源院、哈工大、东南大学等

羲和大跨距预应力悬索柔性支架结构型式



- ✓ 单层悬索体系
- ✓ 预应力双层索系
(承重索+稳定索)
- ✓ 预应力索网
- ✓ 混合体系
- ✓ 张弦(梁、桁架)
+索拱
- ✓ 弦支穹顶
- ✓ 横向加劲+

- 撑杆系统、预应力高钒索体系形成了刚性与柔性结合的桁架
- 组件索无垂度，组件无方位角，可完全正南布置
- 柔性构件几乎无震荡，不会造成组件隐裂
- 立柱采用桩柱一体化，便于施工



预应力悬索柔性光伏支架特点



采用“悬、拉、挂、撑、压”的空间结构技术，以柔性预应力钢绞线及刚性撑杆整体组合联结，辅以固结中间梁柱及强力地锚，构成东西向大跨距（36~60m）桁架、组件带倾角无垂度光伏支架系统。

1. 应用场景丰富

解决机耕农用地、污水池面、廊道、河道等高大跨度难题，尤其适合农光互补、渔光互补、大型养殖场、污水处理厂等各种环境。

2. 造型轻盈通透，提高土地利用效率

造型轻盈美观，柱网简洁，高度空间提升便利，对原有地貌干扰小，地面可充分再利用。

3. 改变通风和光照布局，提升发电收益

阵列整体通风好，阳光漫反射均匀，提高双面组件发电效率。

4. 刚柔相济，提高安全性、耐久性

突破早期柔性支架采用钢绳易引起强烈风振、造成组件隐裂的技术局限，应用预应力悬索并辅以承重索以及上下、前后撑杆体系，通过动平衡方式释放风载，提升抗台风能力，规避组件隐裂。

5. 专业施工技术，节约物料，施工工期可控

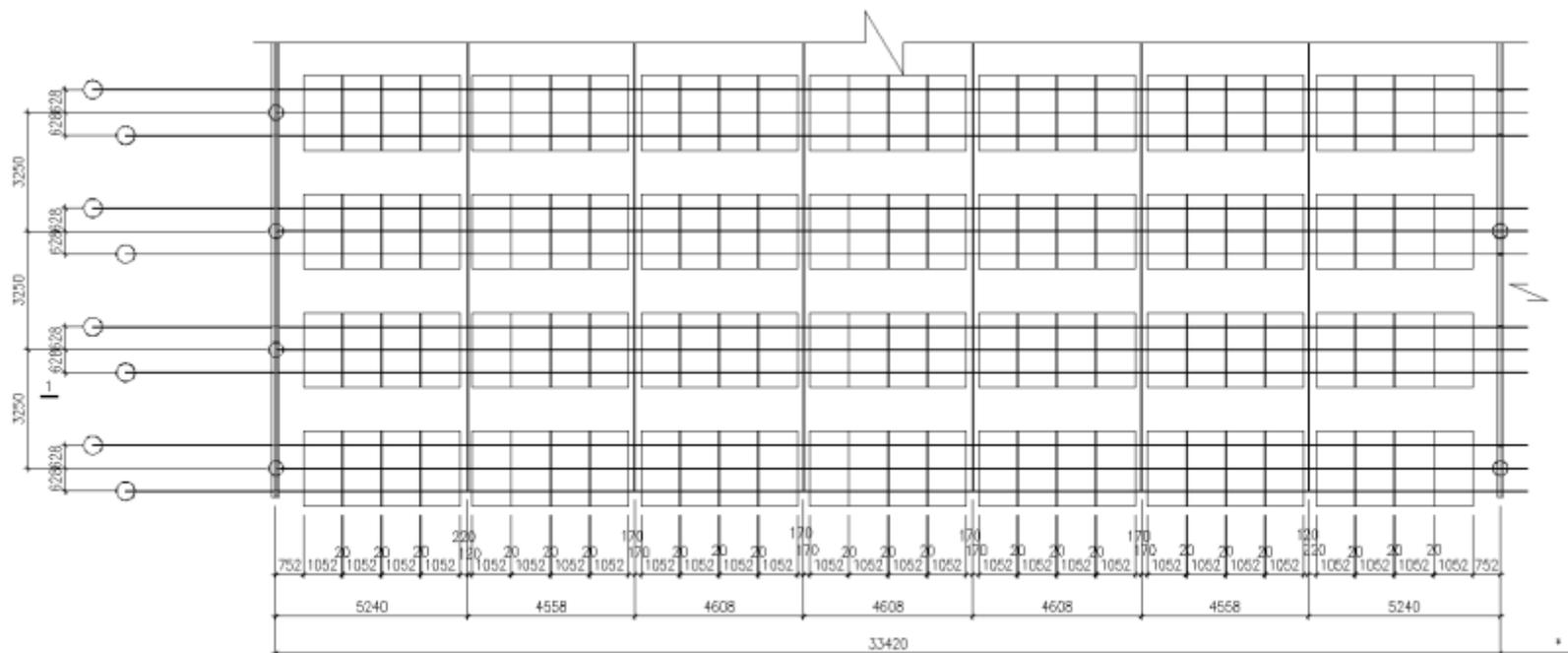
柔性支架空间结构合理，用钢材量少，自重轻；专利结构件、连接件安装高效；专业施工保证集成系统高品质、高性价比。

工程实例

► 泗洪项目概况

三峡新能源泗洪国家领跑者光伏电站工程，项目总装机容量为100MW，其中应用了两种柔性支架方案，总容量为4MW。柔性支架部分的组件采用单排竖向布置，双玻双面发电组件，组件安装倾角为 15° ，组件最低点距离地面不小于4m。东西向每跨布置28块组件，跨距约33m；南北向组件间距约3.25米。

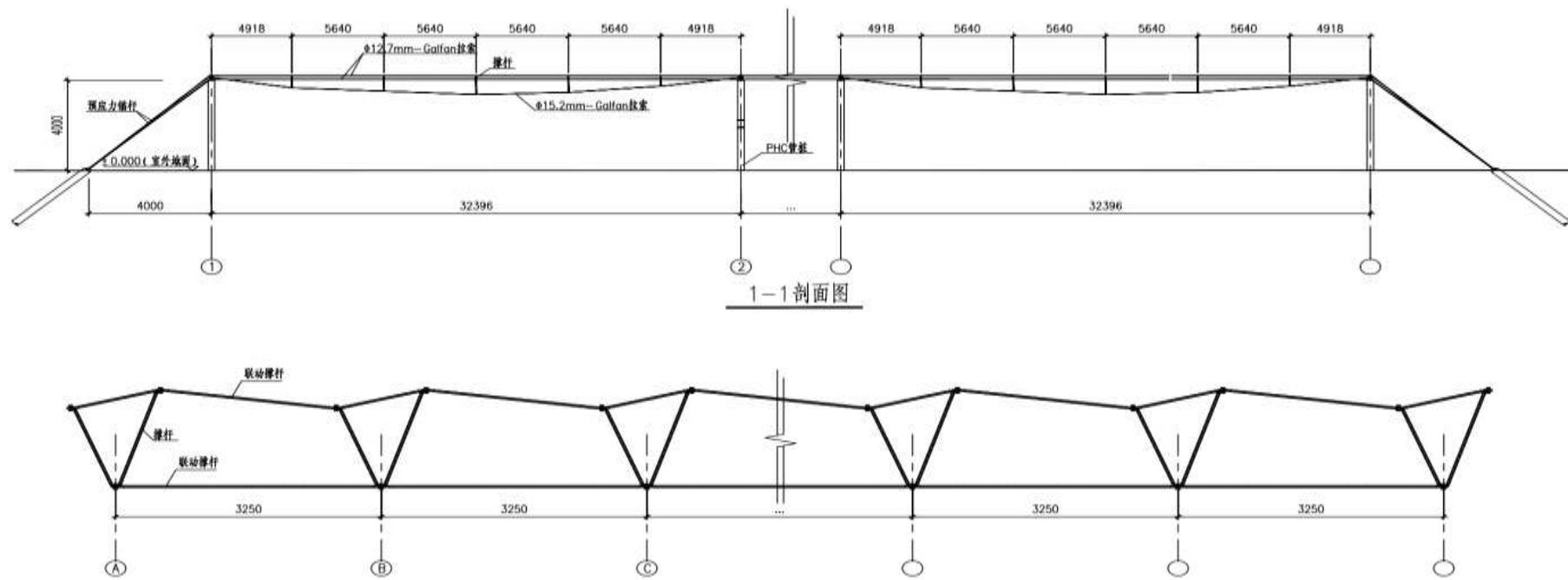
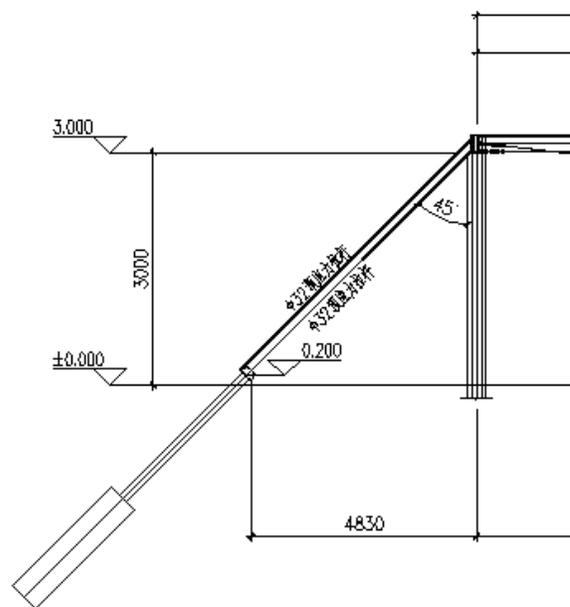
建设工期为45天。投运一年多来经历了8及以上大风等各类气象条件考验，运行状态良好，实际发电量超预期值，并超过同项目内地面最佳倾角安装的阵列。



工程实例

► 柔性支架结构设计

每排组件下布置有3根预应力镀锌钢绞线或高钒索，其中2根组件索直径12.7mm，承重索直径为15.2mm。通过撑杆体系与组件索形成结构整体。东西向端跨设置钢梁、桩柱一体及边拉杆支撑体系，边拉杆采用变径锚杆基础；中跨设置钢梁与桩柱一体支撑体系。



工程实例

► 柔性支架结构设计

荷载计算

根据全国基本风压布置图及《建筑结构荷载规范》，本项目光伏支架25年一遇的设计基本风压为**0.33kPa**，基本雪压**0.33kPa**。同时，考虑光伏支架及基础使用年限均为25年。

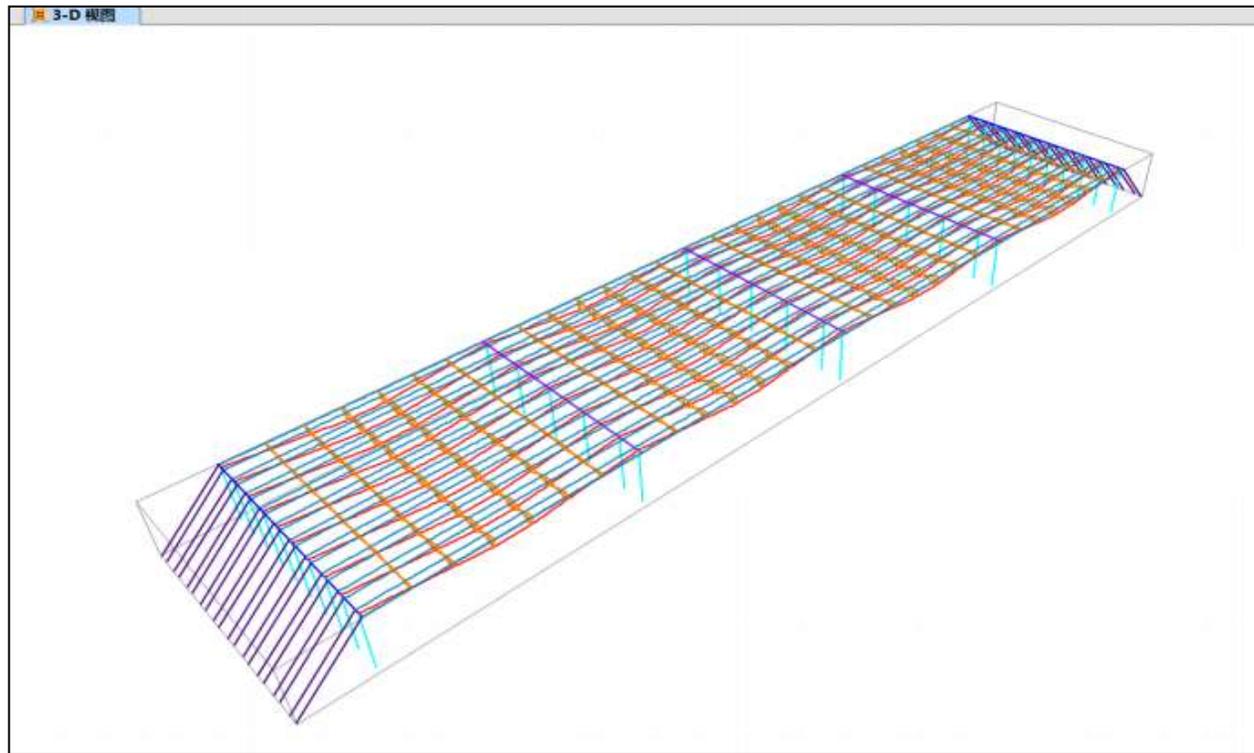
本项目支架及基础所考虑的荷载为：结构自重、预应力作用、风荷载、雪荷载、地震作用和温度作用。本项目支架设计根据《建筑结构荷载规范》GB50009进行荷载效应设计。

模型建立

计算模型采用SAP2000软件进行计算，建立三维模型，并指定相应材料及截面。

► 采用变径锚杆技术

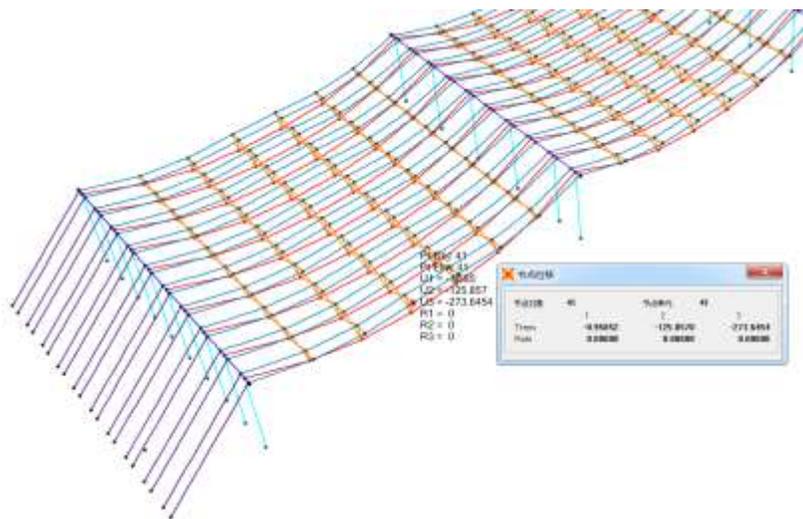
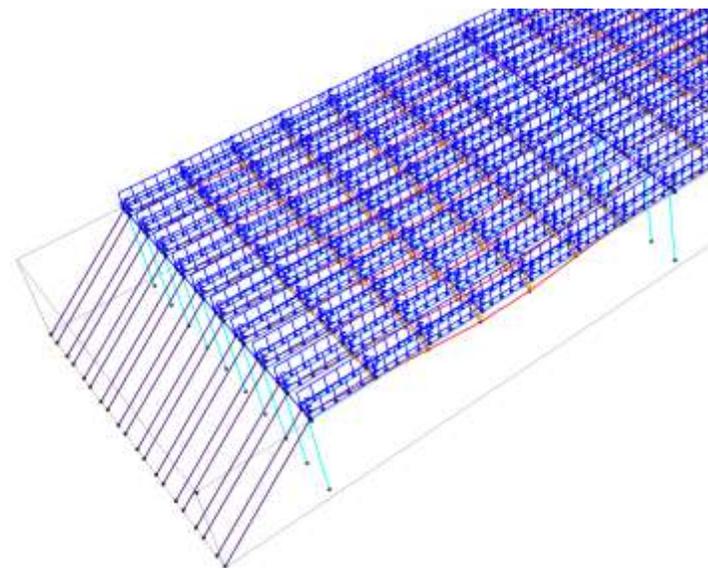
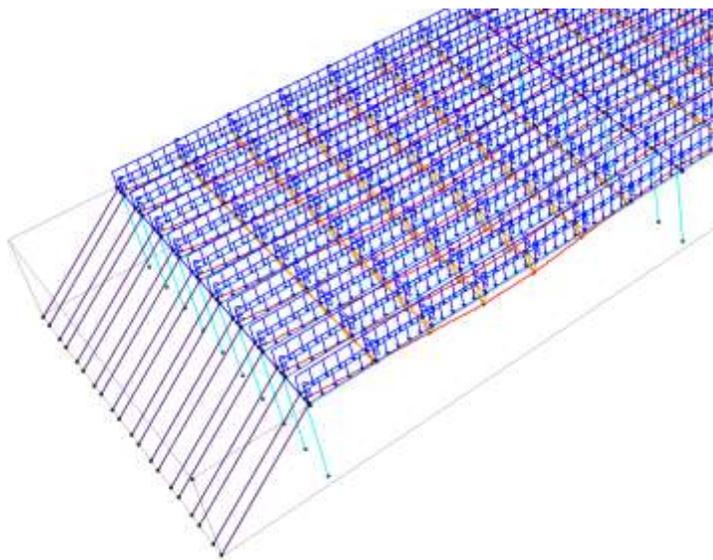
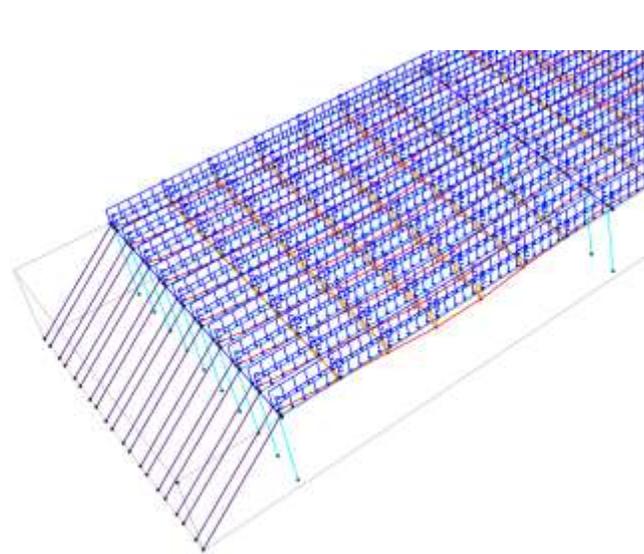
斜向（45°）变直径地锚技术，抗拔力特征值达240KN以上。



恒载施加: 0.114kN/m

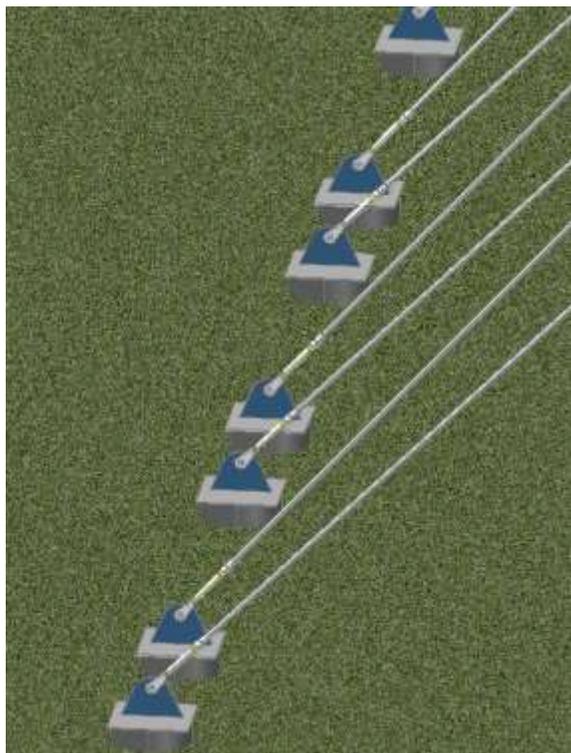
雪载施加: 0.073kN/m

风载施加: $F_z=0.438\text{kN/m}$, $F_y=0.117\text{kN/m}$

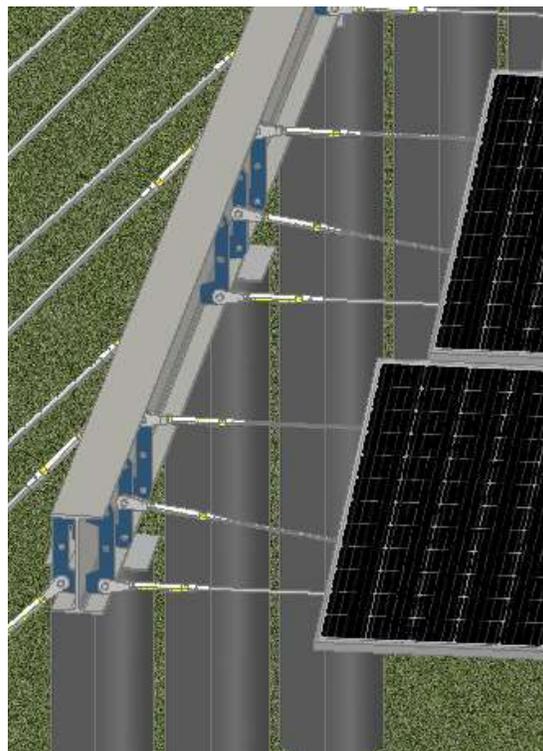


根据《索结构技术规程》（JGJ257-2012）中3.2.5条，承重索垂度宜取跨度的 $1/10\sim 1/20$ 。本设计在最不利组合工况下组件索变形图如下：组件索最大变形量为 -125mm ，小于 $L/250$ ，在组件恒荷载作用下，组件索垂度为 0.998mm 。最不利荷载作用下索内力图如下：组件索拉力 78kN ，小于 0.5 倍索破断力（破断力为 183.6kN ）满足设计要求；承重索拉力 60kN ，小于 0.5 倍索破断力（破断力为 258kN ）

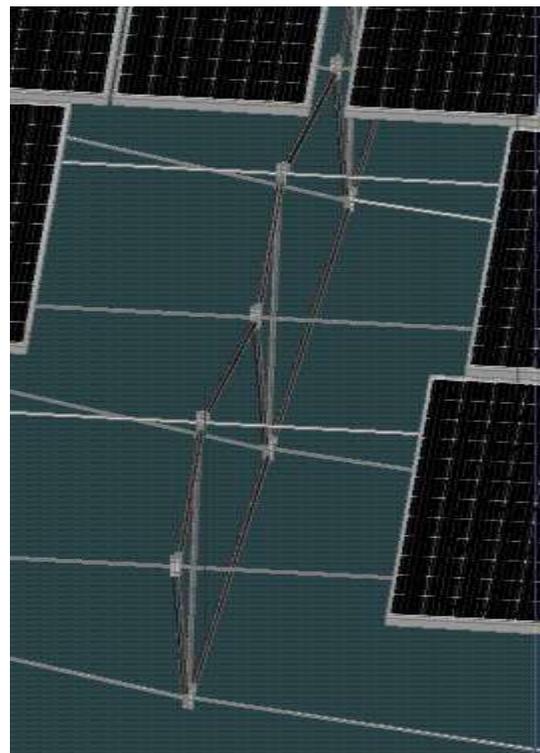
索变形示意图：



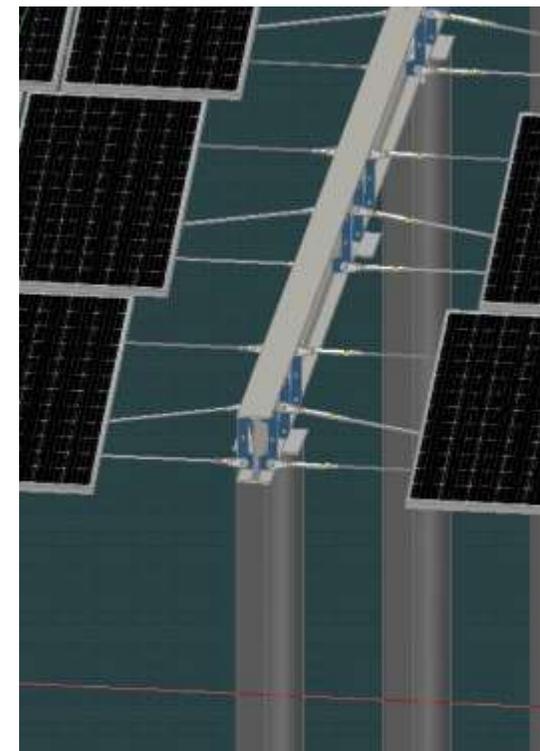
边拉杆连接示意



边跨连接示意



撑杆体系连接示意



中间跨连接示意

工程实例

▶ 安装过程实录



1. 管桩施工及校准



2. 型钢梁施工及校准



3. 斜向变形锚杆施工



4. 斜拉杆安装



5. 撑杆系统安装



6. 索安装



7. 组件安装



8. 线缆安装



9. 安装联动撑杆，形成整体

工程实例

与固定支架的对比

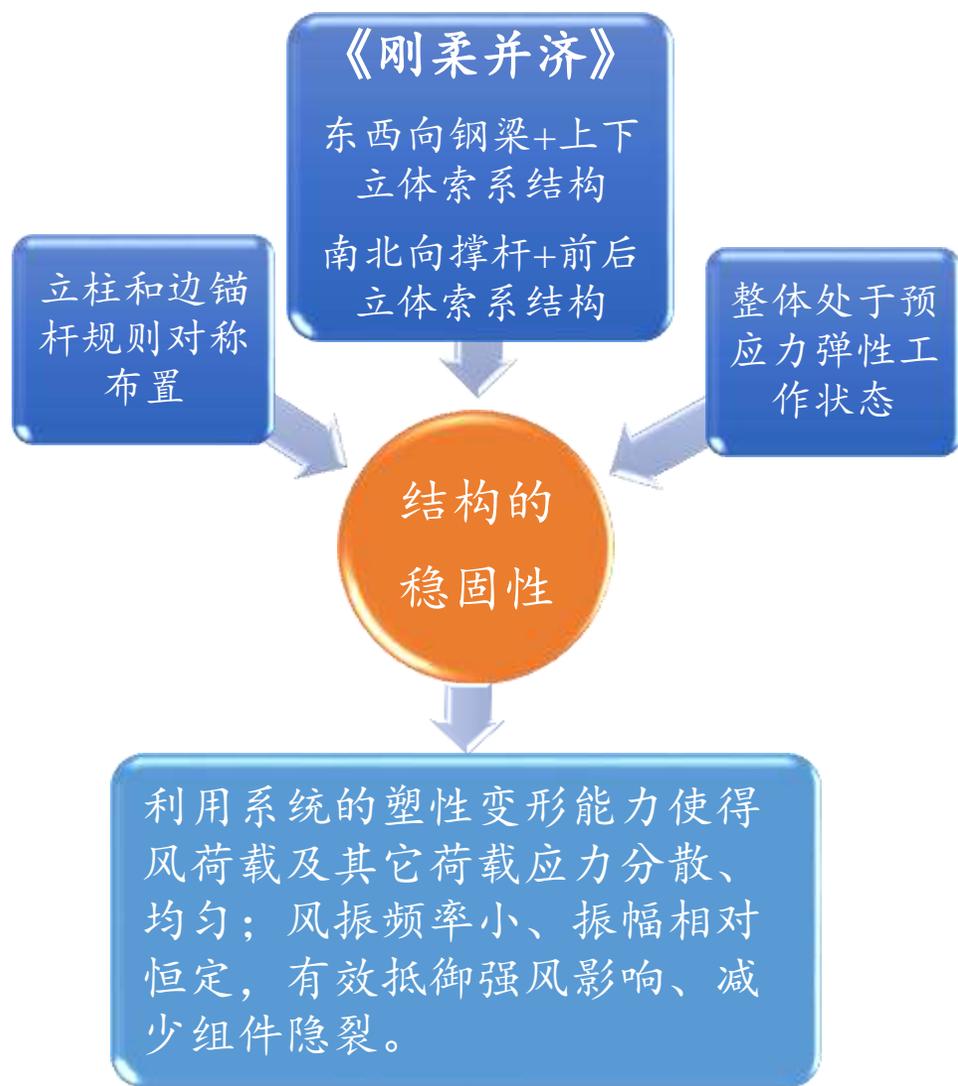
	固定支架 (钢结构+桩基础)	柔性支架 (索系结构+钢结构+桩基础+边锚)
支架高度	≥2m	≥4m
东西向跨距	3.2m	33m
组件倾角	29°	15°
每MWp占地面积	20亩	16亩
发电量实测	柔性支架发电量提升约5.5% (通风条件、背面受光良好)	
支架、建筑、安装费用	0.75元/Wp	0.82元/Wp
农业耕作	受限于传统人工耕作	大型农业机械可通行作业

★ 东西向连续跨数增加，柔性支架单瓦造价进一步下降，所以更适用于场地形状趋于扁平形的场地

工程实例



安全性、稳定性评估



项目名称	25年一遇风压 (kN/m ²)	风力等级	并网时间
天津柔性支架一期1.68MW 光伏项目	0.42	11级	2018年
天津柔性支架二期20MW光 伏发电项目	0.42	11级	2019年
泗洪100MW光伏发电项目 (柔性支架3MW)	0.33	10级	2020年

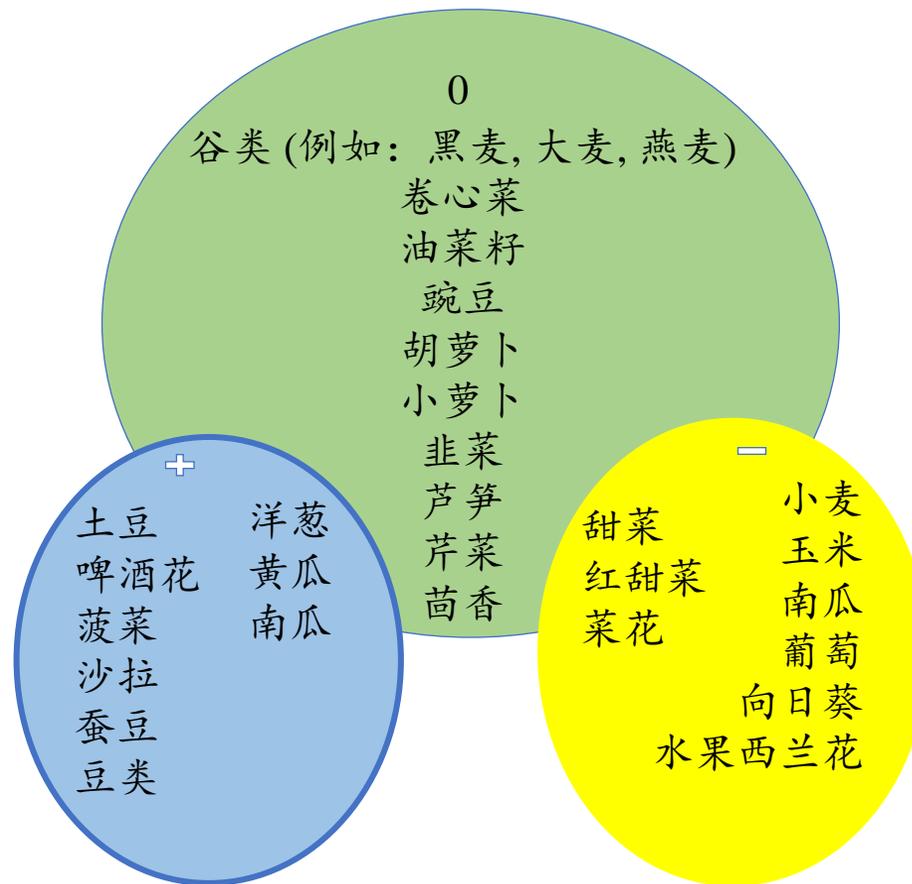
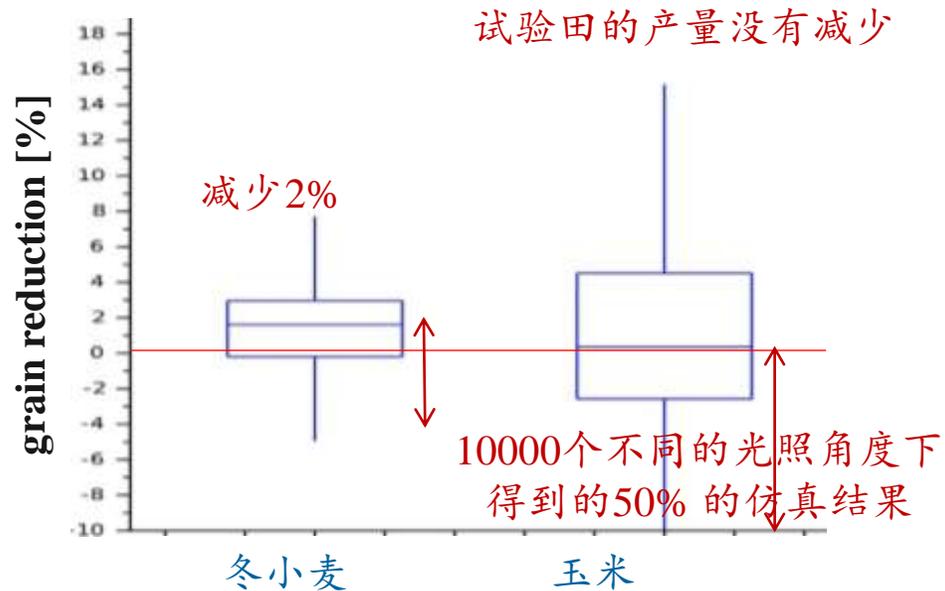
上述项目运行状况良好，安全、稳定。

大跨距悬索支架在“光伏+农业”的应用

参考类似场景的农作物产量分析

- 皮亚琴察大学 (意大利)

Agrovoltaico® 37年的模拟仿真



来源:弗劳恩霍夫研究所

相关标准、规范编制计划

《太阳光伏产业综合标准化技术体系（2021年版）》（草案）

序号	标准名称	标准号/计划号	主编单位	标准级别	备注
553	光伏柔性支架设计与安装技术导则	2021001-CPIA	通威股份、羲和电力	团体标准	制定中
554	光伏柔性支架风载荷计算和测量方法			团体标准	计划
555	光伏柔性支架施工验收规范			团体标准	计划
556	光伏柔性支架运维技术规范			团体标准	计划
557	光伏柔性支架防腐要求			团体标准	计划

技术（设计、安装、运维）、耐候性、经济性的挑战

- 进一步发挥索结构用钢量少、效率高、抗震性能好的特点
- 提高抗腐蚀能力、解决耐久性问题
- 建立抗风能力计算模型、完善力学、空气动力学理论体系（近地风场模拟、气弹效应、气动失稳等）
- 提高系统集成度、模块化、预装度
- 规范施工流程、标准
- 消能减震自平衡索网结构体系技术研究
- 更大跨距（60~100米）

热烈祝贺我国首颗太阳探测科学技术
试验卫星“羲和号”成功发射！

“效法羲和驭天马、志在长空牧群星”



谢谢！ 欢迎批评指正！

“曦将出兮东方”