浅谈大跨度、高净空柔性支架在山地光伏及农光互补项目中的应用

报告人：何春涛　联系电话：13209789986

鲁电国华（山东）机电设 备有限公司

2021年10月

CONTENTS

1 前言

2 传统固定支架与柔性支架对比

3 柔性支架简介

4 柔性支架工程应用

5 结语

01 前言

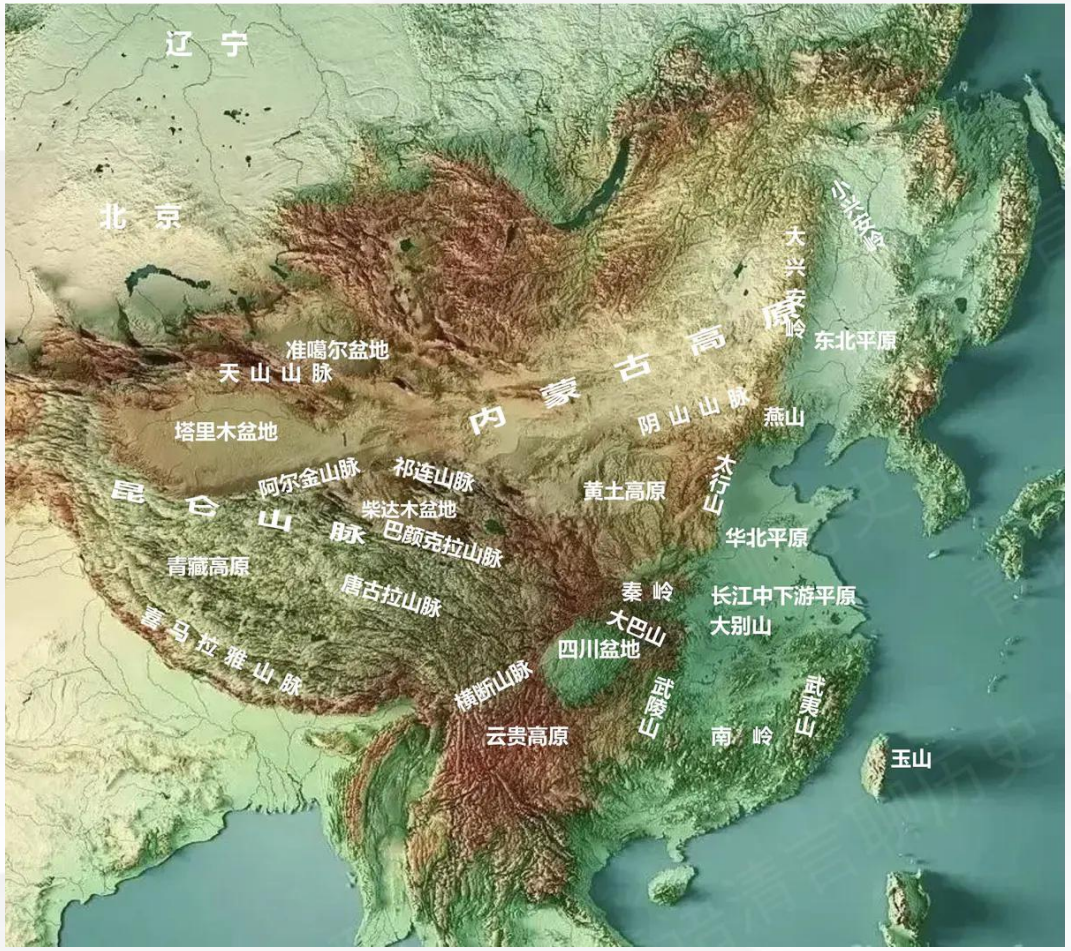


图1 中国地形地貌图

我国的三北地区主要以沙漠、戈壁、荒漠化土地为主，占国土面积的30%以上，西南地区以山地、丘陵为主，占国土面积的40%左右。经过20多年的光伏电站开发建设，平整的土地越来越少，沙漠、戈壁、荒漠、山地、丘陵将是未来光伏电站建设的主战场。

02

传统固定支架与柔性支架对比

山地光伏电站

图2 山西电建黎城光伏项目

图3 贵州华能—镇宁光伏项目

山地光伏电站所在地的整体地貌起伏不平、朝向各异、沟壑纵横，地形呈主条状或起伏型阶台式，这些特点使光伏支架须随坡就势布置

农光互补电站

图4 传统支架在农光项目的应用

图5 柔性支架在农光项目的应用

渔光互补电站

图6 传统支架在渔光项目的应用

图7 柔性支架在渔光中的应用

沙漠光伏电站

图8 传统支架在沙漠项目的应用

图9 柔性支架在沙漠项目的应用

沙漠光伏电站

通过传统固定支架与柔性支架的对比：

- 大跨距：通过减少基础工程量及支架用钢量降低成本
- 高净空：土地可以得到的复用

铮柔 科技

03

柔性支架简介

第一代柔性支架

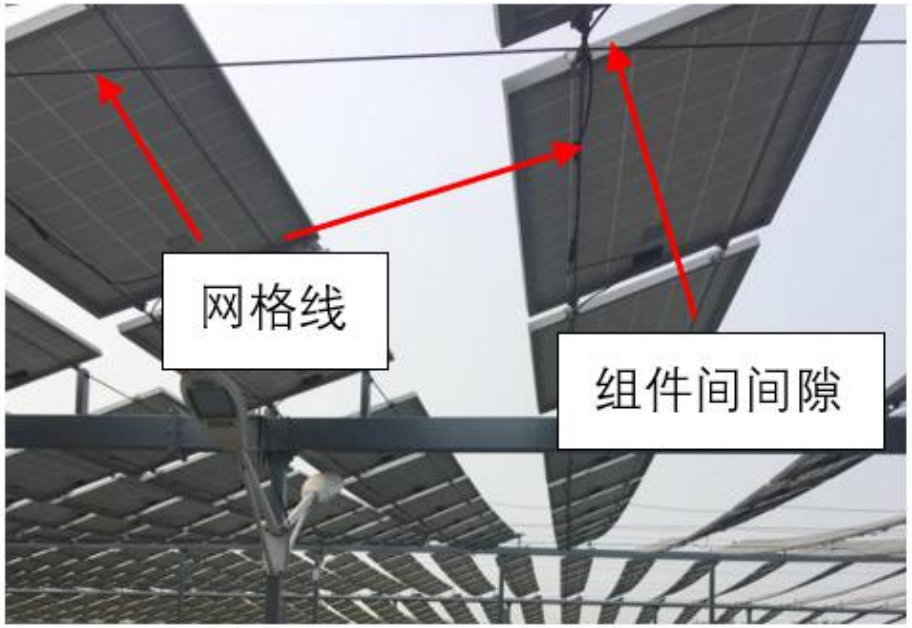


图 10 郑州污水处理厂光伏项目

（钢丝绳网格式布置）

第一代柔性支架的优点：

解决了大跨距、高净空的问题。

第一代柔性支架的缺点：

采用钢丝绳作为光伏组件的支撑，未施加足够预应力的钢丝绳变形无法控制。在大风作用下，组件发生发生扭曲，碰撞造成光伏组件隐裂。

第一代柔性支架

图 11 郑州污水处理厂光伏项目

钢丝绳端部采用 U 型卡扣紧固连接，无初始预应力。

第一代柔性支架

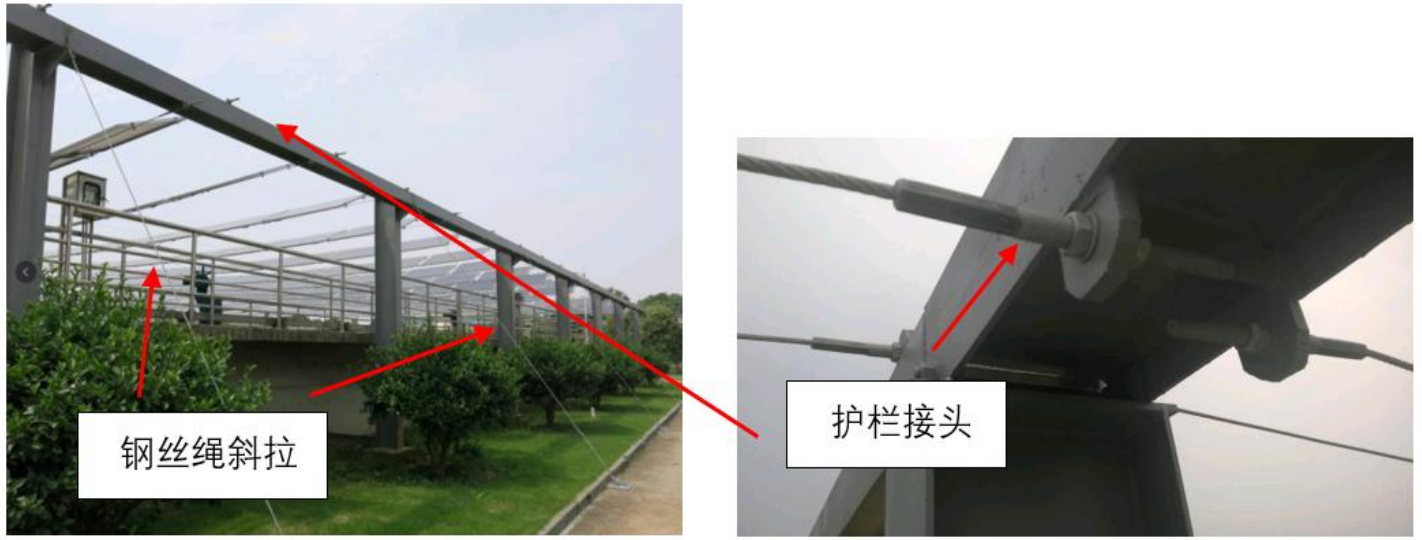


图 12 象山污水处理厂项目

钢丝绳端部采用护栏接头并用螺母锁紧，边跨采用钢丝绳斜拉平衡端部水平力。

改进型柔性支架1

改进型柔性支架1采用双层预应力索结构支撑光伏组件并增加了排间连杆，解决了第一代柔性支架变形无法控制，组件因扭曲、碰撞造成隐裂的问题，跨距可以达到35-60米。

改进型柔性支架1因结构复杂导致成本偏高。

改进型柔性支架2

改进型柔性支架2采用高强度低松弛预应力镀锌钢绞线作为光伏组件的支撑，解决了第一代柔性支架变形无法控制，组件因扭曲、碰撞造成隐裂的问题，结构简洁，成本低。

改进型柔性支架2的缺点：跨度需要控制在18m左右。

改进型柔性支架2

改进型柔性支架2在新疆哈密百里风区十三间房进行极限环境（高、低温（±40℃），大风）下的结构强度测试，验证了安全可靠性。

十三间房位于天山山脉缺口处，风力为新疆九大风口之首，多次发生火车倾覆事件。

4 地形与大风的关系

由于研究的大风记录来自百里风区代表站七角井站和十三间房站，从图 6 可知七角井镇位于天山山脉东段马尔塔拉山南侧凹陷地——七角井盆地，七角井站位于盆地南缘缺口入口处北侧，新站址位于盆地南缘缺口的出口处，搬迁后两站直线距离为 31.9 km，海拔高度相差 151.8 m[1]。

地形对区域性大风的形成影响作用十分大[1,3,19]。新疆的地形特点是山脉与盆地相间排列，中部有天

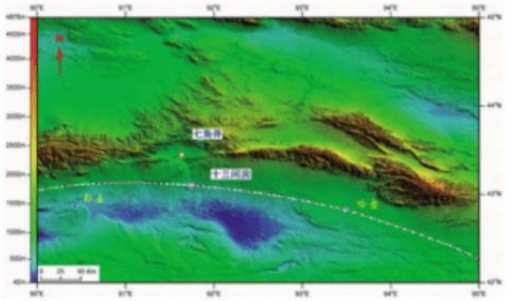


图 6 七角井、十三间房站地理位置及地形

新疆九大风区之一——百里风区是指兰新铁路在新疆境内“红旗坎站至了墩站”全长约 120 km 的区间，是我国铁路沿线最强的风区，风力之大居全疆之首。百里风区的线路走向基本与风向垂直，因此运行中的列车受横风影响而被大风吹翻的危险最大[19]。自 1960 年十三间房车站建站以来多次发生过大风吹翻列车的重大交通事故，严重影响了交通运输生产的安全与发展。但是，大风又是一种价廉、无污染、用之不竭的绿色环保能源。由于百里风区特殊的地理环境和气候特点，近年来引起了不同部门众多学者的关注，但在资料分析过程中往往忽视了十三间房气象站迁站前后资料是否连贯的问题，即缺乏资料连续性分析。因此，本文希望通过十三间房站近 61 a 的大风气象资料统计分析，得到该区域大风的分布特点，变化规律，从中寻找该站在迁站前后的资料是否存在连续性、一致性。同时通过分析为防灾

瞬间风速达到或者超过 17.0m/s（8 级风）的记为大风，十三间房气象站年平均大风天气超 200 天，其中年 12 级风（飓风）超 40 天，

1 资料和方法

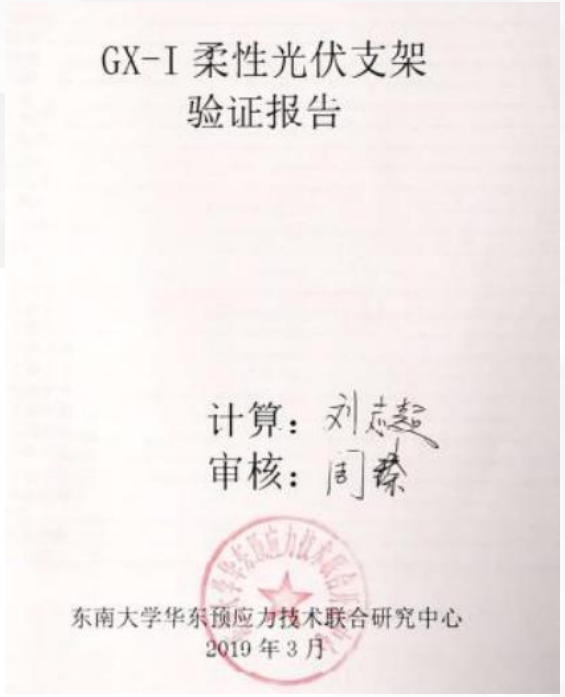
1.1 测站基本情况与资料

研究资料来源新疆气象信息中心，经过严格质量控制，资料真实可靠。51495 站前身为哈密市七角井国家基本气象站（43°29′N，91°38′E，海拔高度 873.2 m），始建于 1952 年 7 月 1 日，1999 年迁至兰新铁路十三间房火车站以西 5 km 处，迁站直线距离 31.9 km，即哈密市十三间房国家基本气象站（43°13′ N，91°44′E，海拔高度 721.4 m）。依据 2003版《地面气象观测规范》[10]，以瞬间风速达到或超过 17.0 m·s^{-1}（或目测估计风力达到或超过 8 级）的风记为大风，以 20:00 为日界，凡在一日记载有大风天气现象，不论在此期间出现多少次大风均作为一个大风日，若某次大风跨日（或月）则按出现 2 个大风日数计算。本文研究时段分为两部分：1956—1998 年（旧站址，1952—1955 年资料缺失严重，故剔除），1999—2016 年（新站址）。季节划分为：春季（3—5 月）、夏季（6—8 月）、秋季（9—11）、冬季（12—翌年 2 月）。

表 3 七角井和十三间房大风日数、平均风速年代际变化

	年	大风日数/d	2 min 平均风速/(m·s^{-1})
七角井	1956—1960	103.00	5.03
	1961—1970	80.80	4.6
	1971—1980	84.40	4.78
	1981—1990	123.60	5.01
	1991—1998	97.00	4.52
	均值	97.19	4.77
十三间房	1999—2010	208.58	8.53
	2011—2016	201.00	8.19
	均值	206.06	8.42

改进型柔性支架2


GX-I 柔性光伏支架
验证报告

计算：刘志超
审核：周琛

东南大学华东预应力技术联合研究中心
2019 年 3 月

本实验项目结构技术负责人—**吴京教授，国家预应力工程技术研究中心主任东南大学教授、博士生导师。**

吴京教授长期从事预应力空间钢结构的设计、分析和研发，解决了南京世纪塔（斜拉塔拱结构）、哈尔滨会展中心（128 米跨度张弦桁架结构）、郑州会展中心（126 米跨度斜拉结构+张弦桁架结构）等一大批重要项目的预应力工程问题。

改进型柔性支架2　　通过了TUV的组件抗隐裂测试

在不均匀风荷载作用下，承重钢索变形示意图，见图15所示。图16中表示了其中一块光伏板变形前和变形后的位置示意。图中可见，光伏板的上下两端变形并不一致，四个支承点不能保持共面。

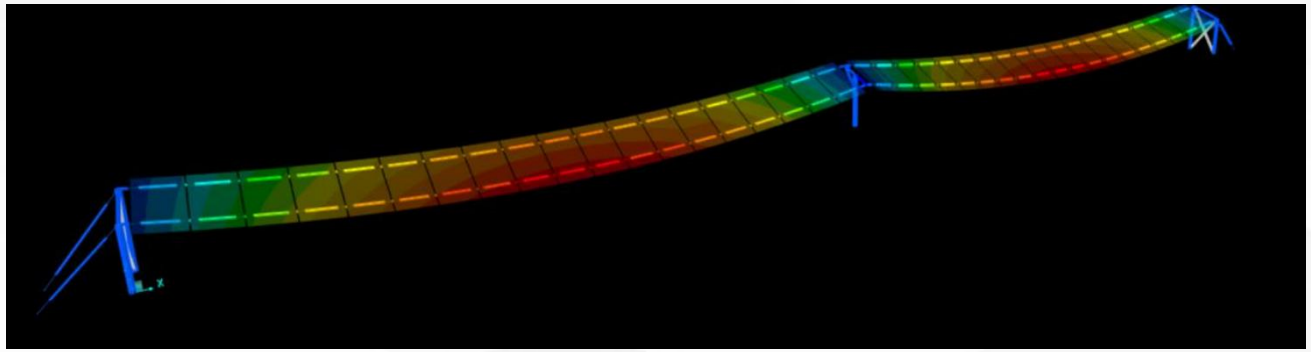


图15在不均匀风荷载作用下柔性支架承重钢索变形示意图

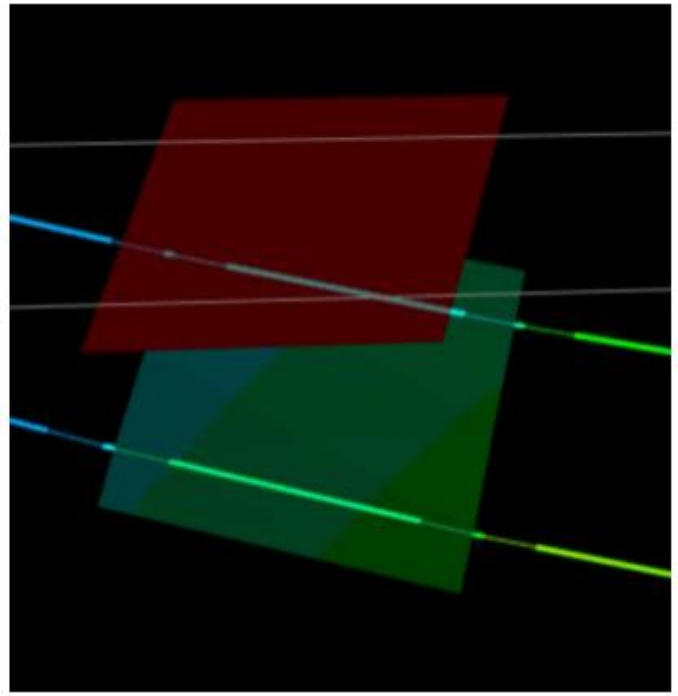


图16一块光伏板的变形前后示意图

改进型柔性支架2　　通过了TUV的组件抗隐裂测试

测试总结

测试项目			结果
样品数量	测试项目	标准	
2pcs	预应力钢绞线柔性支架机械循环光伏组件疲劳变形测试/组件隐裂测试	根据客户设计要求	通过

南德认证检测（中国）有限公司上海分公司

TÜV SÜD CHINA TÜV SÜD

报告审核人: 2021.05.31

授权签字人: Li Jingyi 2021.05.31

04

柔性支架

工程应用

三峡新能源泗洪领导者4兆瓦柔性支架示范项目

项目位置：江苏 泗洪 双沟镇

装机量：1MW柔性支架 （改进型2）

跨度：16米

高度：6米

三峡新能源泗洪领导者4兆瓦柔性支架示范项目

每兆瓦工程量对比

	传统支架	柔性支架
项目照片		
组件离地高度	2.5m	6m
管桩用量	291 根	187 根
支架用钢量	32t	20t

华电科工马马崖4MW柔性支架示范项目

项目位置：贵州省 关岭县 永宁镇

装机量：4MW

跨度：15-30米

高度：不小于2m

贵州华能六马镇30MW柔性支架示范项目

项目位置：贵州省镇宁县六马镇

装机量：30MW

跨度：20米

高度：1.8米

贵州华能六马镇30MW柔性支架示范项目

每兆瓦工程量对比

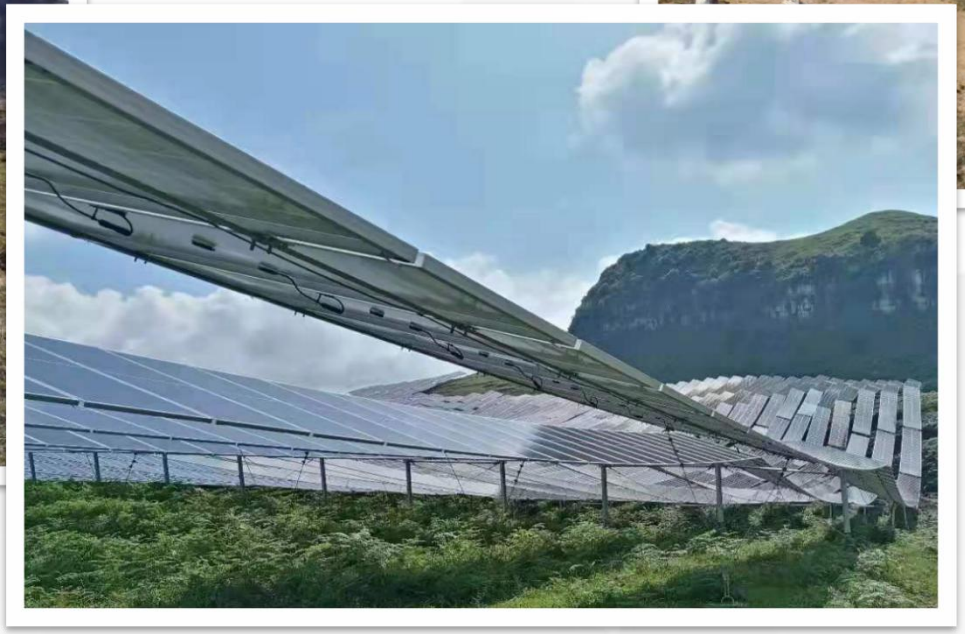
	传统支架	柔性支架
现场照片		
基础数量	790 根	187 根
支架用钢量	33t	20t

国电投贵州金元公司赫章铁匠双坪光伏柔性支架示范项目

项目位置：贵州毕节市赫章县，山区

装机量：4MW

跨度：30米　　高度：2~3.5米



青海国投德令哈平价上网300兆瓦电站17兆瓦柔性示范项目

项目位置：海南州德令哈市，山地冲沟

装机量：15MW

跨度：15 ~ 26米

高度：2 ~ 3.6米

中国电力规划设计协会电规协【2021】094号文

“德令哈300MW光伏应用领跑者示范基地项目”

获中国电力规划设计协会优秀工程设计一等奖

德令哈300MW光伏应用领跑者示范基地项目是国家能源局公布的2017年（第三批）“应用领跑者计划”项目。项目设计方案中固定倾角、平单轴跟踪、柔性支架混合布置，建设基地小微实证系统实时分析验证。针对冲沟多发育地区，采用大范围、大跨度柔性支架布置方式，利用钢索预应力结构，成功解决了复杂冲沟地形传统支架无法安装的技术难题。

国电投黄河公司塔拉滩创新示范基地柔性跟踪项目

04 柔性支架工程应用

项目位置：青海省海南州共和县，戈壁　斜单轴跟踪

装机量：625kW

跨度：25.8米

海南州塔拉滩5万千瓦平价光伏项目

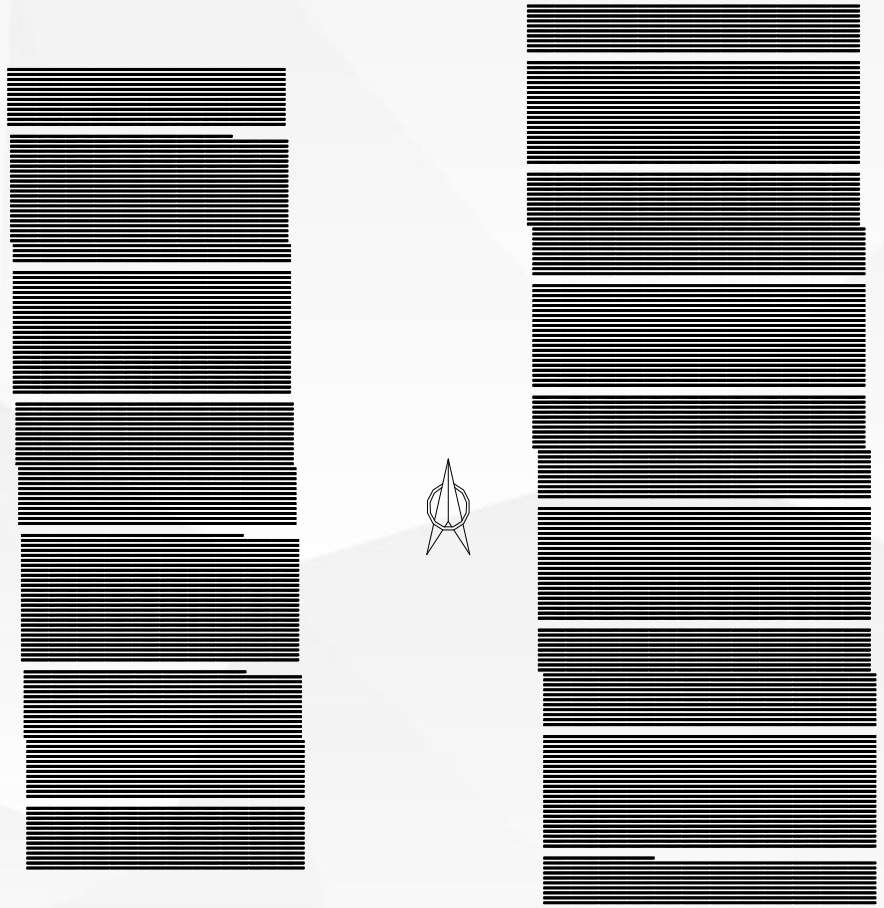
04 柔性支架工程应用

项目位置：青海省海南州共和县

装机量：50MW

跨度：30.6米

西区（21.39696MWp）　东区（28.52928MWp）



柔性支架与传统支架工程量对比表

	传统支架	柔性支架
基础钻孔	60000m	18000m
基础钢筋	235t	120t
基础混凝土	2050m^3	1140m^3
支架用钢量	1550t	855t
接地	25km	10km

柔性支架经过8年多的风雨历程，通过企业与科研院校的不懈努力，支架的安全性，组件抗隐裂的可靠性问题已妥善解决。

习总书记在《生物多样性公约》第十五次缔约方大会领导人峰会上发表主旨演讲指出：“为推动实现碳达峰、碳中和目标，中国将持续推进产业结构和能源结构调整，大力发展可再生能源，在沙漠、戈壁、荒漠地区加快规划建设大型风电光伏基地项目，第一期装机容量约1亿千瓦的项目已于近期有序开工”，为**大跨距，高净空、低成本**的柔性支架提供了广阔的空间。

05

结语

感谢聆听

THANK YOU

何 春 涛

鲁电国华（山东）机电设 备有限公司