



U HORIZON



重庆大学

CHONGQING UNIVERSITY



重庆大学建筑规划设计研究总院有限公司

预应力钢管混凝土格构式风电塔架 产品介绍

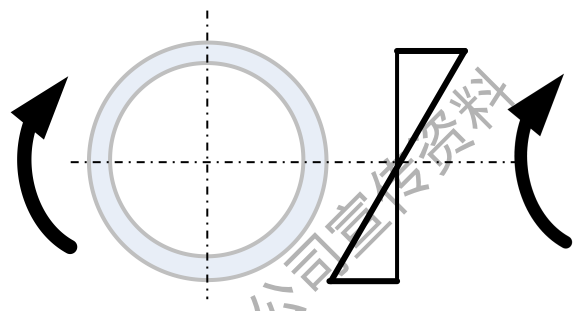
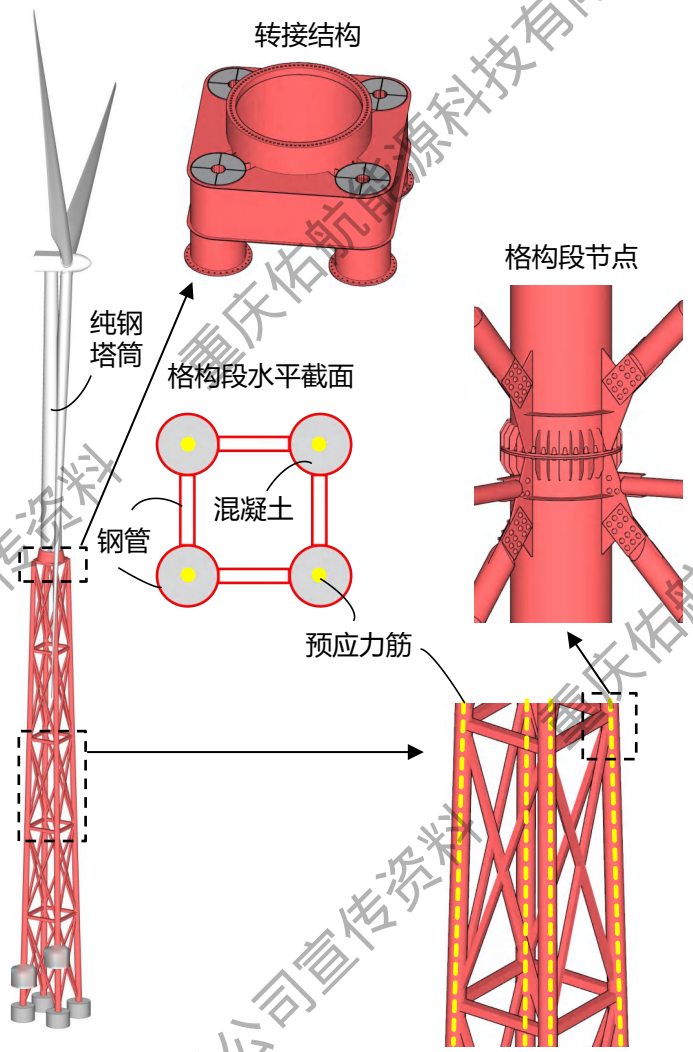
预应力钢管混凝土格构式塔架

预应力钢管混凝土格构式塔架：重庆大学原创

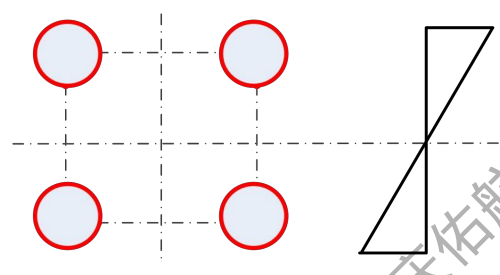
适用高度：>160米

实腹式截面受弯正应变分布

格构式截面受弯正应变分布

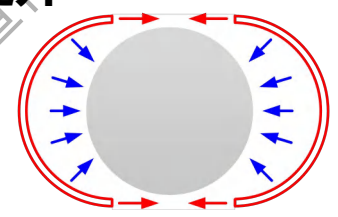


中和轴附近材料强度
未得到充分利用



各杆件材料强度
均得到充分利用

- 钢管约束混凝土，强度显著提升
- 预应力使混凝土全截面受压
- 无模具、轻量化、无湿作业
- 综合成本低



解决了预应力混凝土塔筒存在的问题：
(1) 截面尺寸大，难以满足叶尖间隙要求
(2) 重量大，运输、安装费用高

钢管混凝土 (Concrete Filled Steel Tube, CFST) —— 在钢管内填混凝土，形成组合结构

制造阶段：钢管作为混凝土的模板，无需拆卸

受力阶段：钢管与混凝土共同受力

■ 组合作用1：

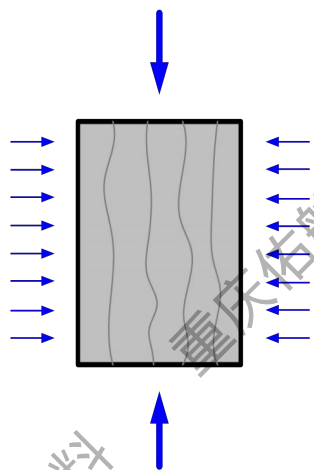
钢管对混凝土的**套箍作用**

混凝土处于多向受压状态

混凝土极限强度、塑性和韧性提高



混凝土受压破坏

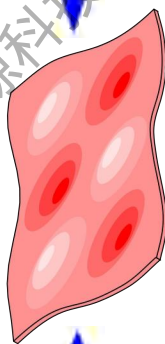


■ 组合作用2：

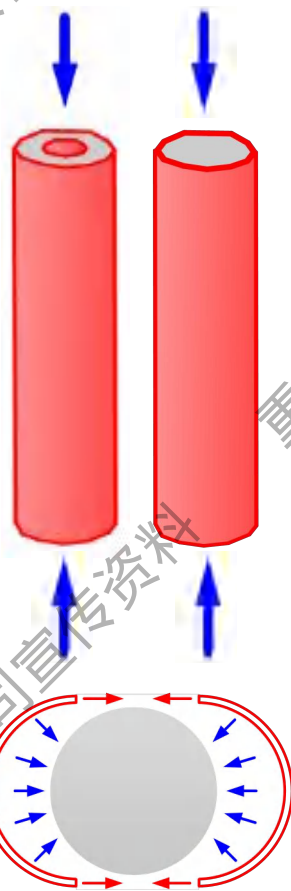
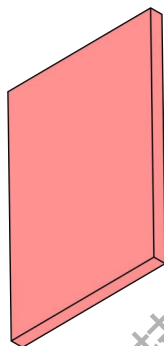
混凝土对钢管的**支撑作用**

避免或延缓钢管发生局部屈曲

保证钢材性能充分发挥



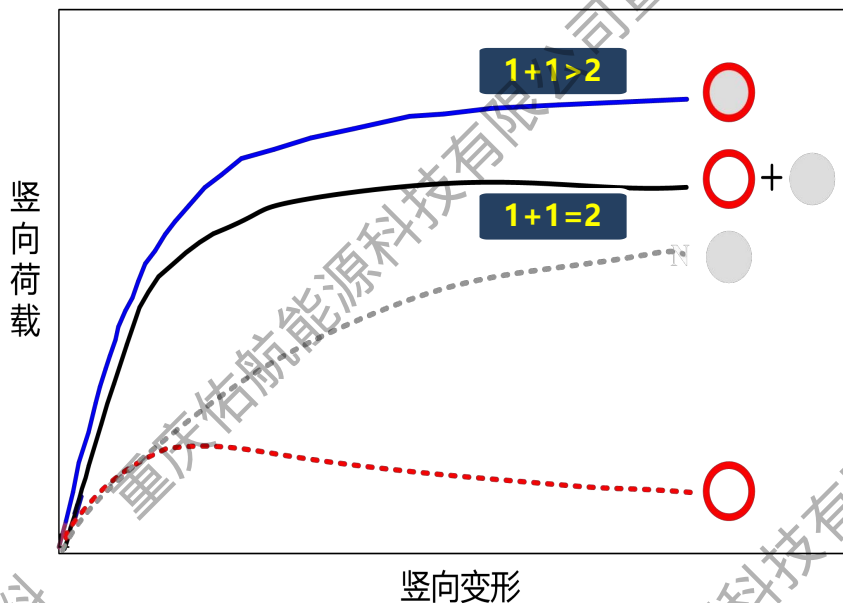
钢板受压失稳



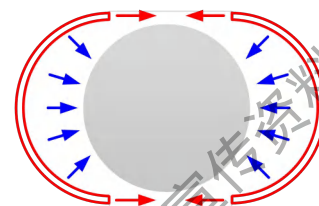
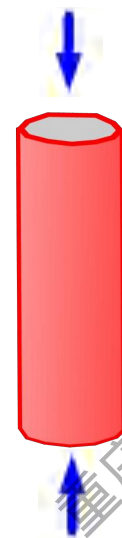
钢管混凝土组合效应

充分发挥钢材与混凝土各自优势，扬长避短

钢管混凝土结构的力学性能



钢管混凝土受压破坏形态

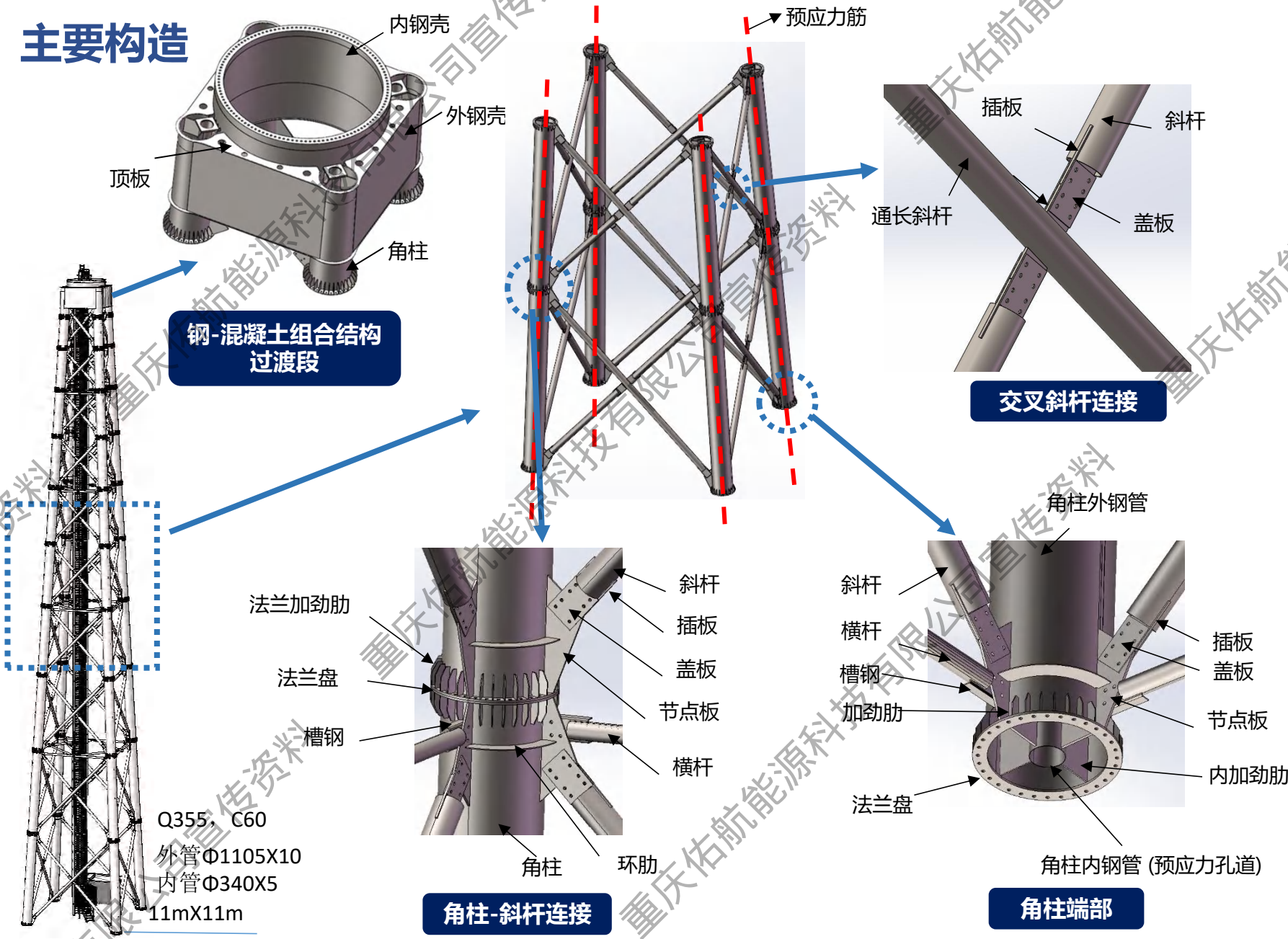


钢管混凝土组合效应

- 相同材料、尺寸、加载条件下：
钢管混凝土的受压刚度、承载力明显高于钢管和混凝土的简单叠加
- 延性、抗震性能、防火性能、稳定性能、抗疲劳性能优越
- 降低用钢量、无模板、节省成本

预应力钢管混凝土格构式塔架

主要构造



预应力钢管混凝土格构式风电塔架工程应用

山东德州



安徽涡阳



新疆哈密



重庆大学第1台样机工程 (H165-4MW-160m)

重庆大学负责研发与设计

合作
单位

CSSC 中国海装

中国中车
CRRC



重庆大学
CHONGQING UNIVERSITY



武晓集团



苏州丰利源建筑安装工程有限公司

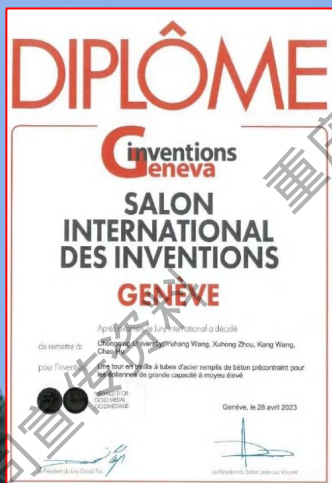




中国工程院

与大国工程

- 安装完成：2023年1月
- 并网发电：2023年6月
- 与附近机组相比，发电量提升约15%
(塔架稳定，机组振动得到有效控制、停机少)



首台165米级预应力钢管混凝土格构式风电塔架

(2024) 中国工程院与大国工程
大容量风电机组预应力钢管混凝土格构式塔架

(2024) 第三届能源电力行业核心型高价值专利(技术)成果(王宇航、周绪红、胡超、王康等)
预应力钢管混凝土格构式风电塔架

(2023) 第48届日内瓦国际发明展金奖(王宇航、周绪红、王康、胡超)

A pre-stressed concrete filled steel tube lattice tower for large-capacity high-hub wind turbines

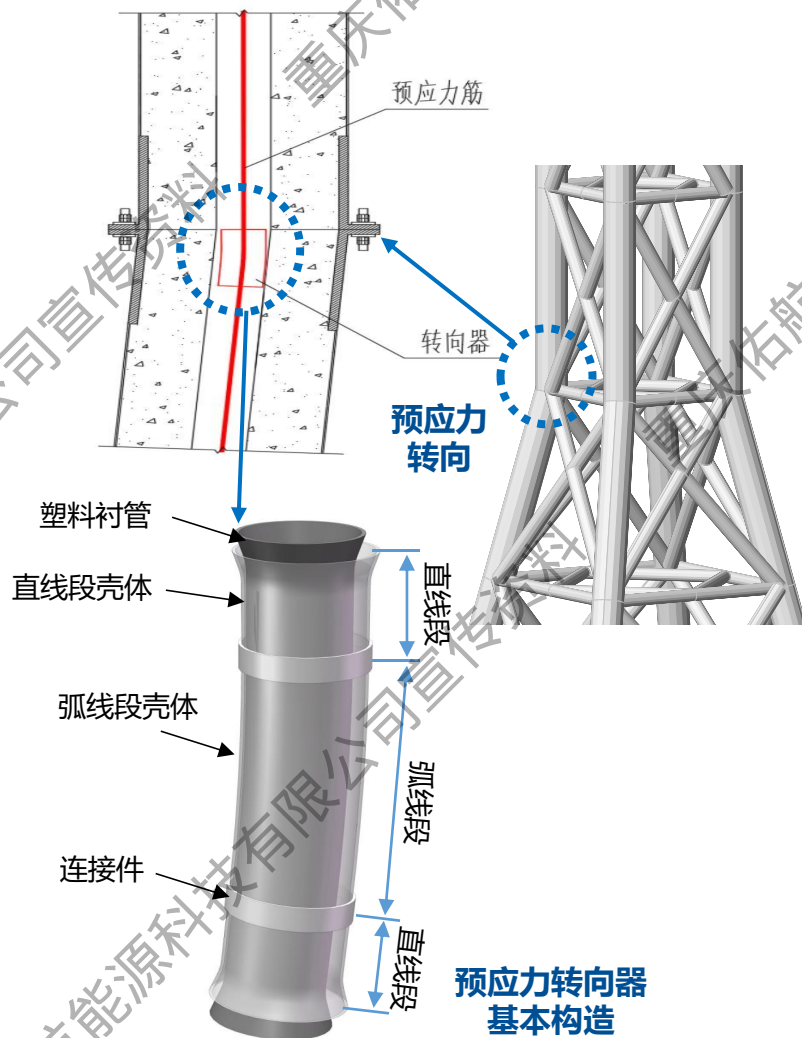
重庆大学第2台样机工程

(合作单位：浙江华东新能、三一重能、阳光新能源)

- 地点：安徽省亳州市涡阳县
- 单机容量：5.6MW 风轮直径：200m
- 格构段高度：100m (轮毂高度150m)



重庆大学提供技术并参与设计



叶尖离地50m：叶片-塔架净空要求
叶尖下限高度处设置预应力转向器

■ 安装完成时间：2025年4月

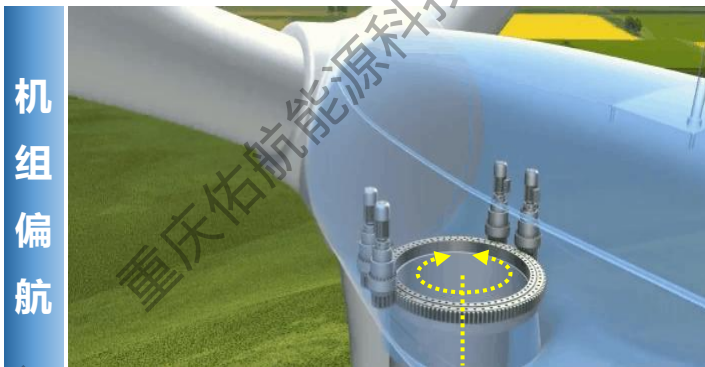
■ 并网时间：2025年5月



重庆大学第3台样机工程 (金风科技-重庆大学 V16-2701)

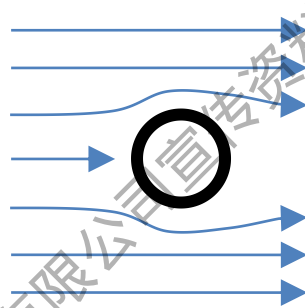
下风向机组优势:

- 偏航容易控制 (被动偏航)
- 不存在叶片扫塔的问题

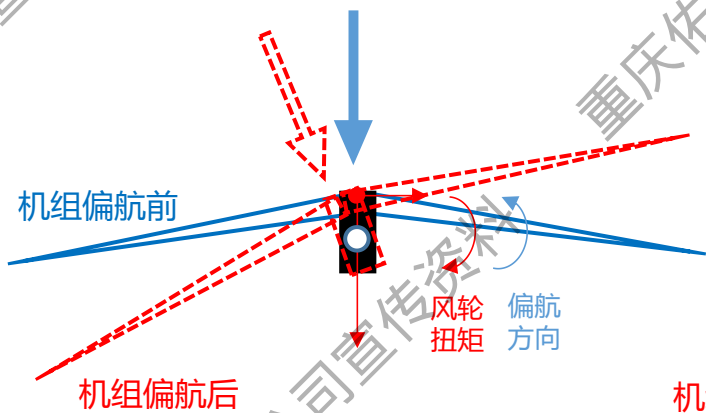


格构式塔架优势:

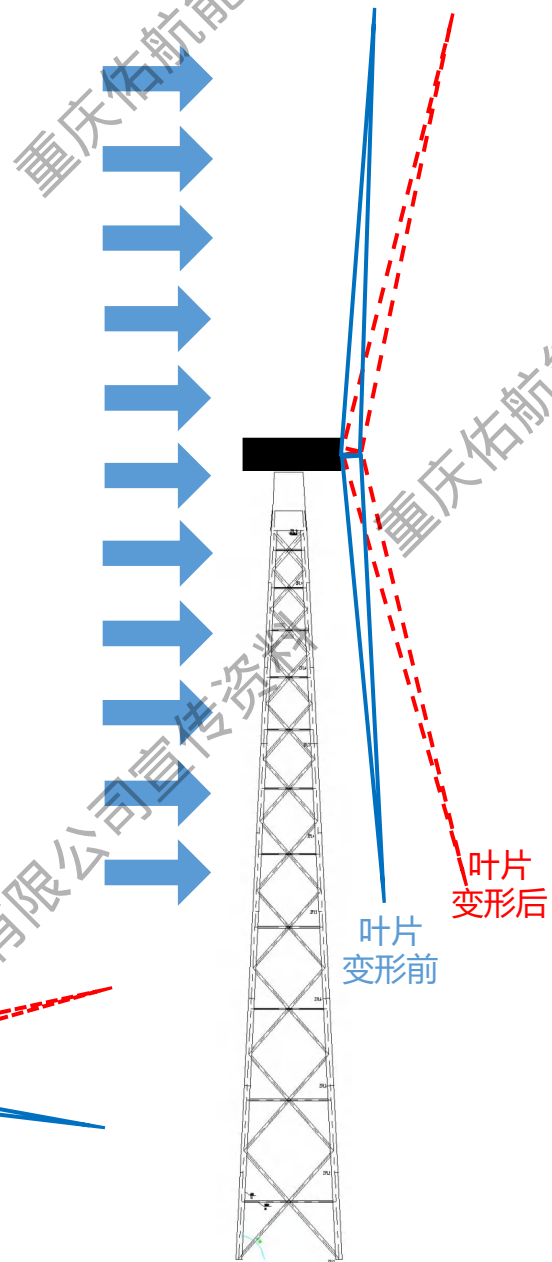
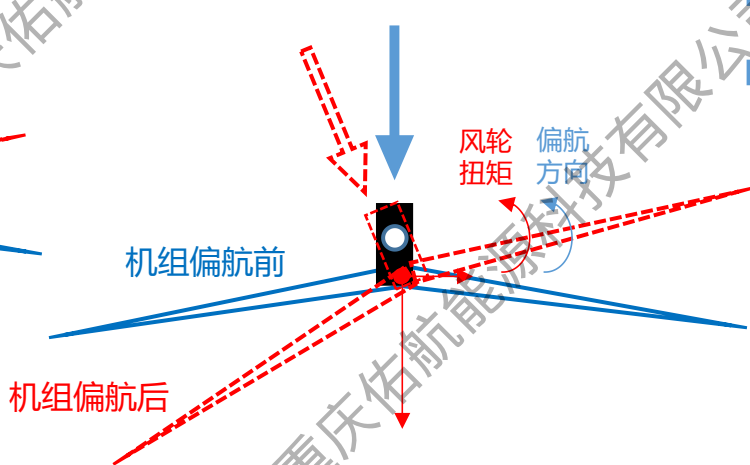
- 透风性好
- 消除塔影效应



上风向机组 (主动偏航)



下风向机组 (被动偏航)



预应力钢管混凝土格构式塔架—施工周期

格构式塔架与混塔施工周期对比

对比项	格构式塔架	装配式混塔
下部格构段（或混塔）吊装	下部格构塔段为8-14层，平均一天2层，4-7天内吊装完成	下部混塔段4-5天
过渡段吊装、预应力穿索张拉	2天	2天
上部钢塔筒吊装	1天	1天
主机吊装	1天	1天
塔架吊装全周期	8-11天	8-9天
基础施工周期	两者相当	



预应力钢管混凝土格构式塔架



钢-预应力混凝土混合结构塔筒

格构塔与混塔整体施工周期无明显差异

预应力钢管混凝土格构式塔架占地面积

- **占地面积小：**

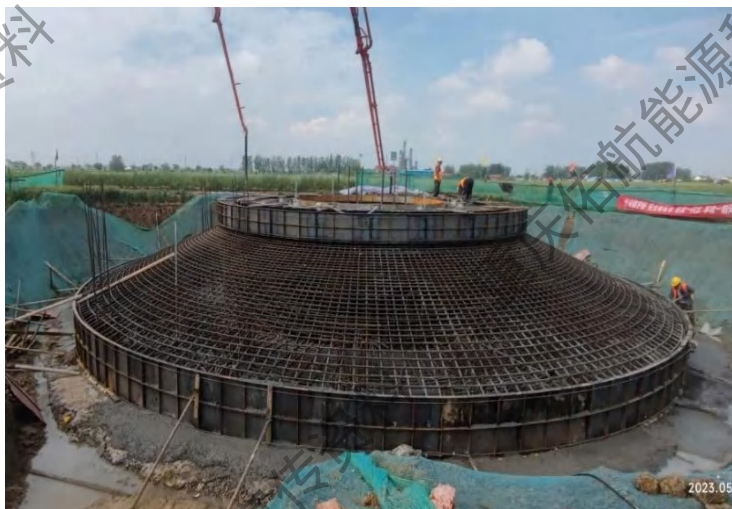
格构塔基础外围直径和混塔相当，但**外露面积**仅为传统塔筒**30%**。

- **利于农业耕种：**

底部架空便于**土地耕种**，不影响农业机械作业，利于**农业土地利用最大化**。



混塔基础



基础直径20m，露出地面部分直径7米

格构塔基础



基础外围直径20m
每根塔柱基础直径为8m，外露直径为2m

预应力钢管混凝土格构式塔架—经济性

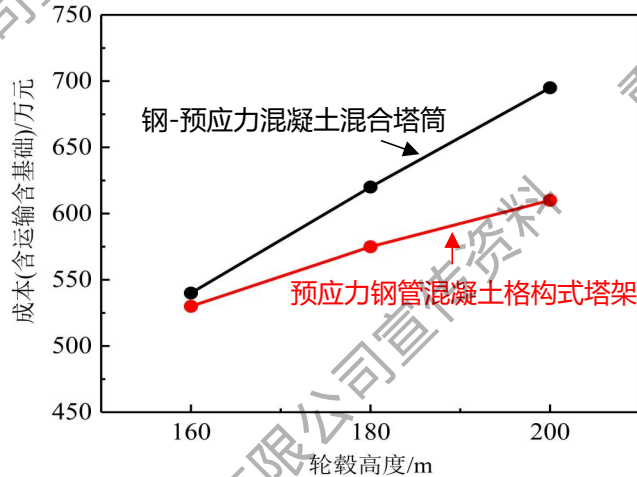
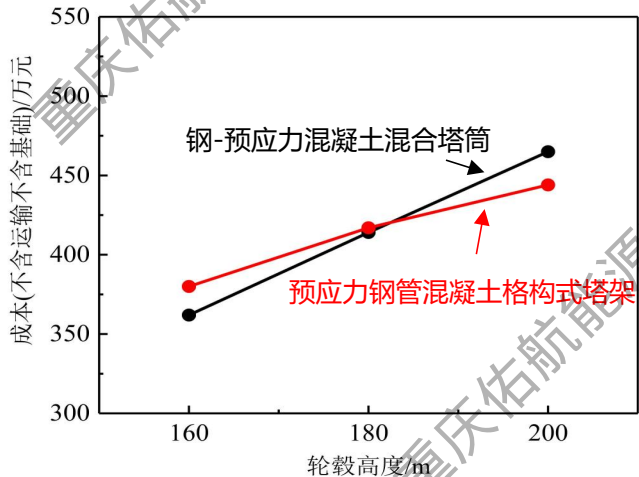
(不含运输、不含基础)

(含运输、含基础)

塔架成本对比

轮毂高度	塔底弯矩 (MN.m)	钢-预应力混凝土混合塔筒	预应力钢管混凝土格构式塔架	差额比率
160m	230.2	362万元	380万元	+5.0%
180m	286.8	414万元	417万元	+0.7%
200m	338.7	465万元	444万元	-4.5%

轮毂高度	塔底弯矩 (MN.m)	钢-预应力混凝土混合塔筒	预应力钢管混凝土格构式塔架	差额比率
160m	230.2	540万元	530万元	-1.9%
180m	286.8	620万元	575万元	-7.3%
200m	338.7	695万元	610万元	-12.2%



发电盈利对比

山东德州乐陵风电场**实测发电量数据显示**：与同风场相同机组及轮毂高度的混塔相比，格构塔比混塔**发电效率高约5%**。

- 以4MW机组为例，20年运行周期内，格构塔**多发电0.12亿千瓦时**；
- 按0.31元/度计算，20年可**多盈利372万元**；

综合考虑发电收益，格构塔全过程成本低于混塔，至少**节省300万元**。