

# 技改创新

# 为风电机组高效稳定运行注入活力

北京国电思达科技有限公司

# 目录

CONTENTS

背景介绍

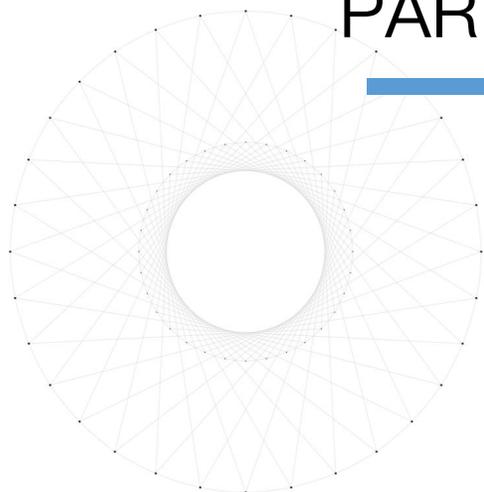
安全可靠提升

机组性能优化

PART ONE

PART TWO

PART THREE





# 背景介绍

## PART ONE

---

近年，我国风电累计装机量持续增长，截至2019年底，全国风电累计装机2.1亿千瓦(21005万千瓦)、同比增长14.0%

随着新增装机量的增加，现役机组安全可靠性及机组性能问题也逐渐凸显出来



安全事故多



稳定性差



发电性能低

# 安全可靠提升

## PART TWO

自动润滑改造

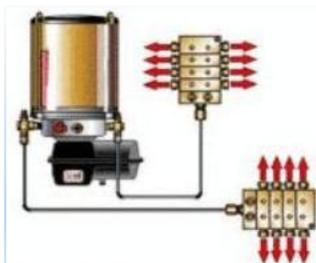
齿箱高速轴密封改造

SCADA系统国产化

# 自动润滑改造

风电机组润滑系统：

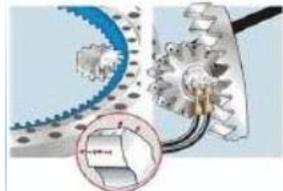
发电机润滑



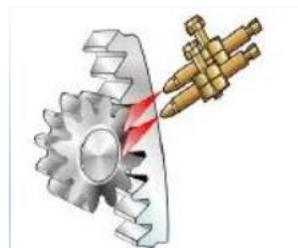
主轴润滑



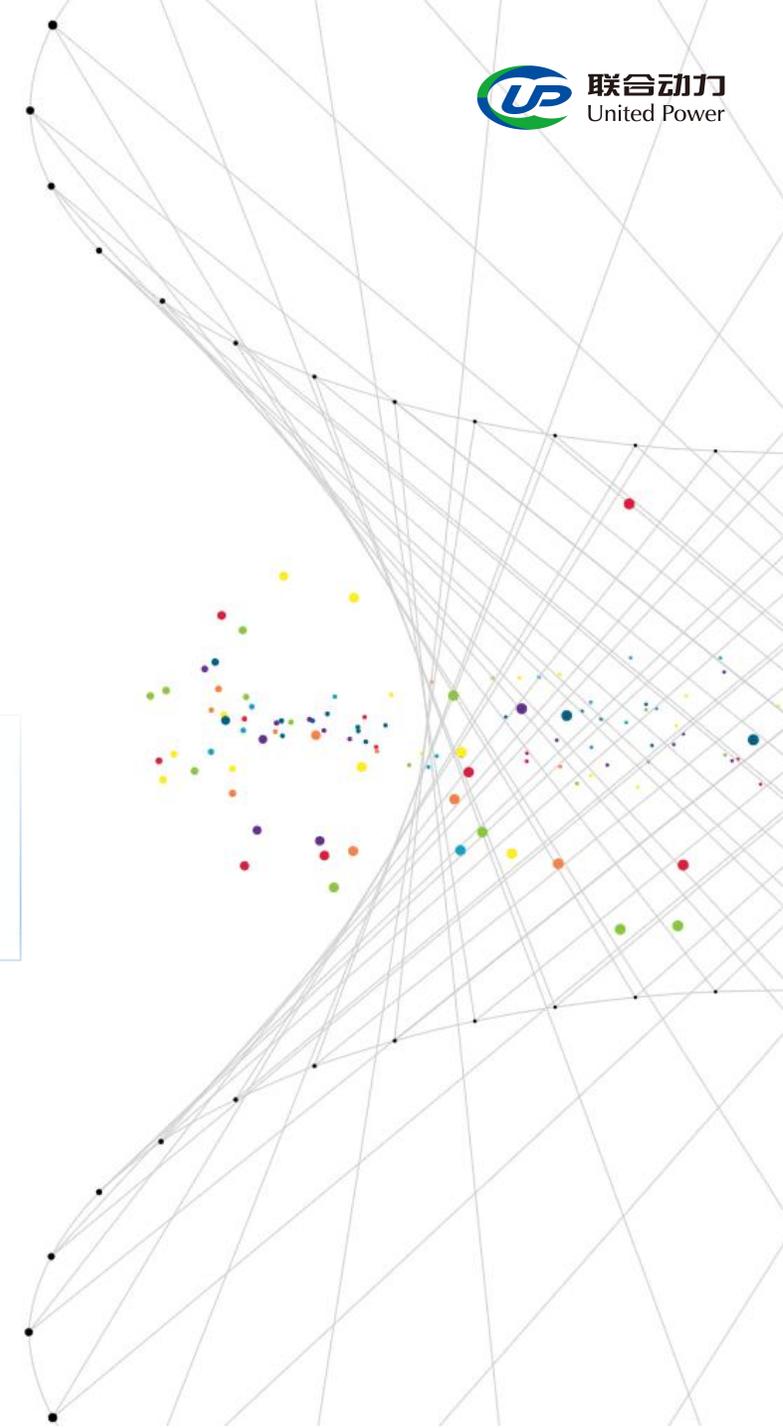
偏航润滑



变桨润滑



现役老旧机组的发电机及主轴润滑系统普遍采用人工手动加油



01

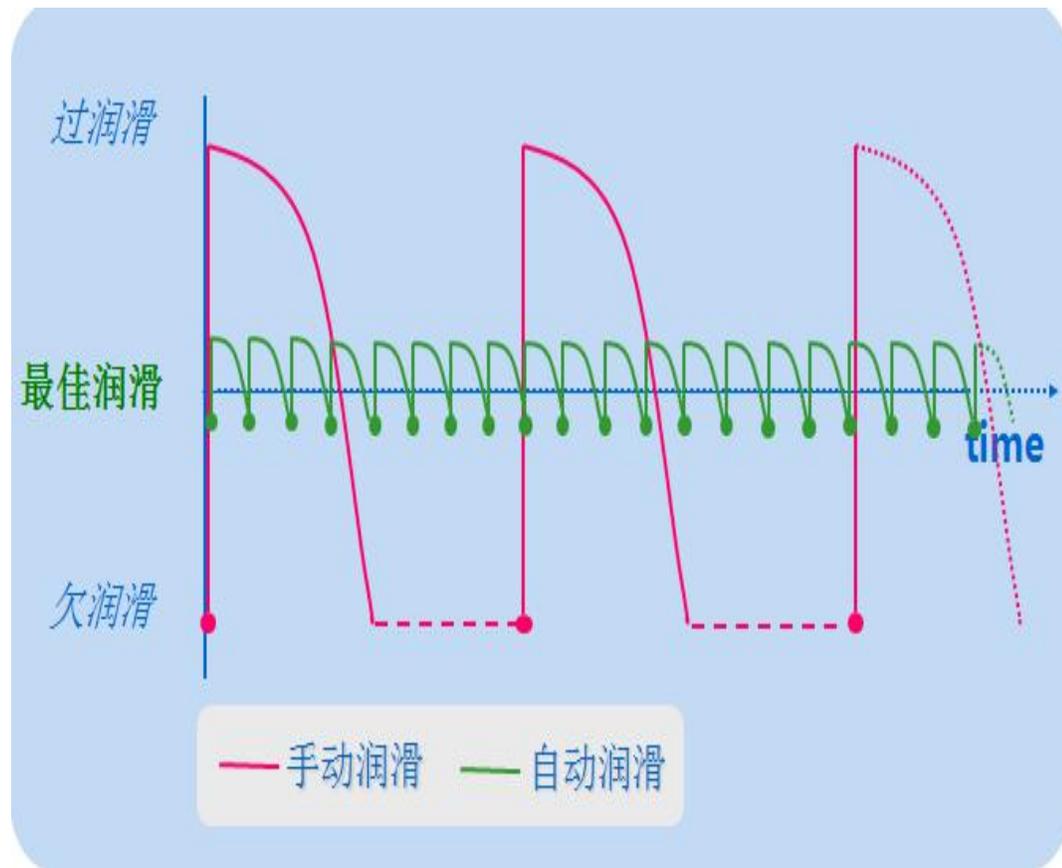
## 手动润滑

手动润滑存在短时间润滑量大，润滑次数少、润滑周期长等问题，严重影响发电机主轴等轴承的润滑效果，长期以往会严重引起轴承温度高、滚轴损坏等情况

02

## 自动润滑

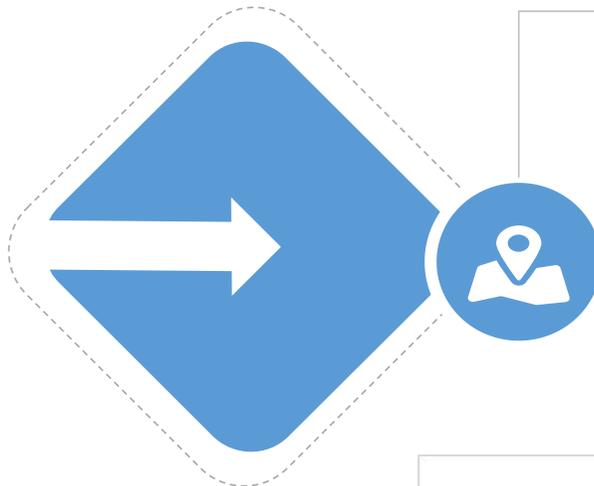
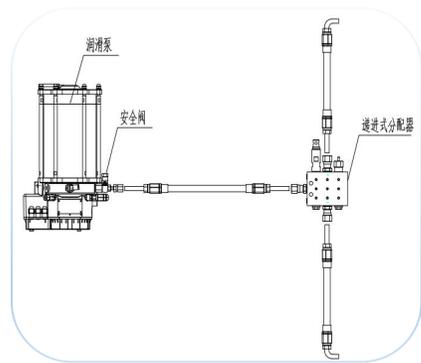
自动润滑受主控PLC控制，可依据机组的运行状态来实现精准加油和定量加油



手动润滑与自动润滑效果对比分析

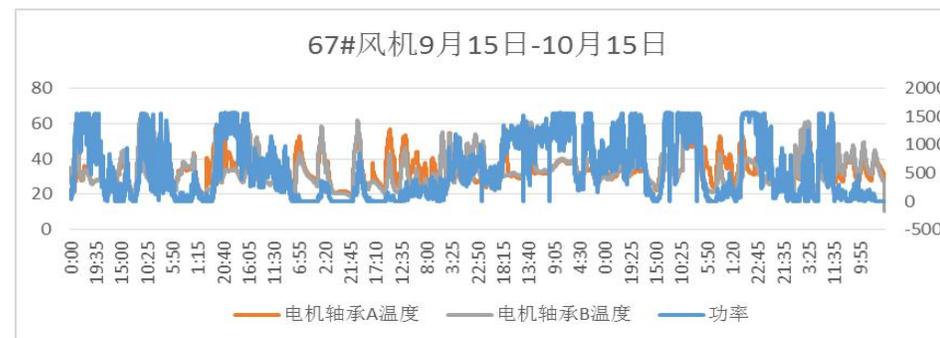
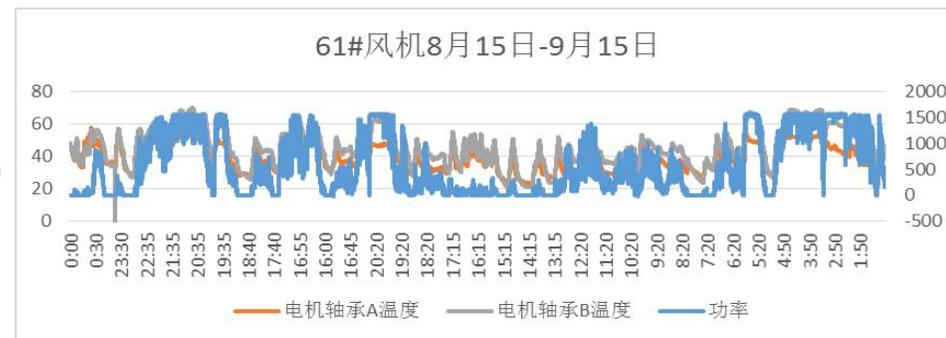
# 发电机自动润滑

采用一台1L润滑泵，油泵上两个出油口分别向发电机前后轴承上的两个润滑点进行自动注油



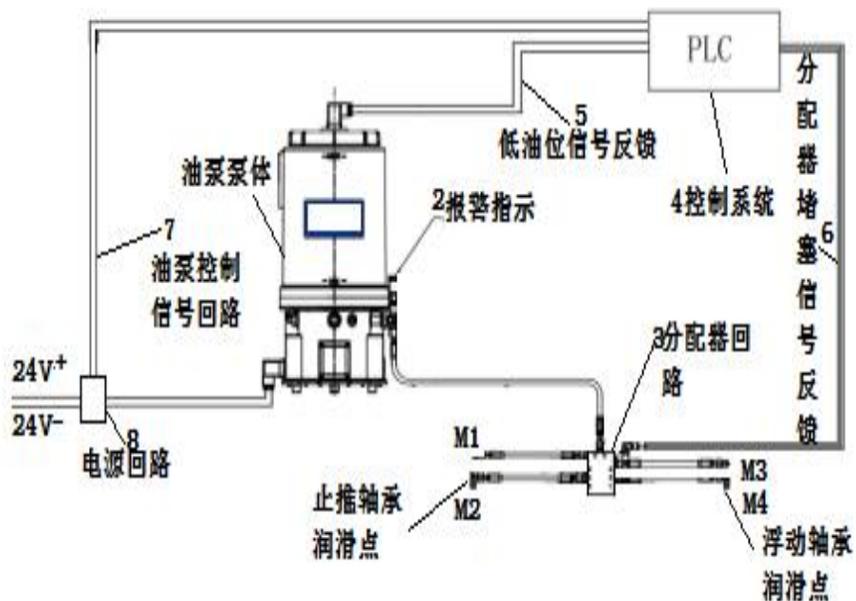
## 改造效果

山东某风场批量改造后，机组满功率运行期间发电机前后轴承的温度在70°以内，轴承温度变化在正常温度值范围



## 主轴自动润滑

主轴自动润滑方案已经在山东、山西等多期项目批量应用



自动润滑工作原理图

- 利用原有偏航自动润滑泵，采用增加一套润滑油路的方式实现同时对偏航和主轴进行自动润滑

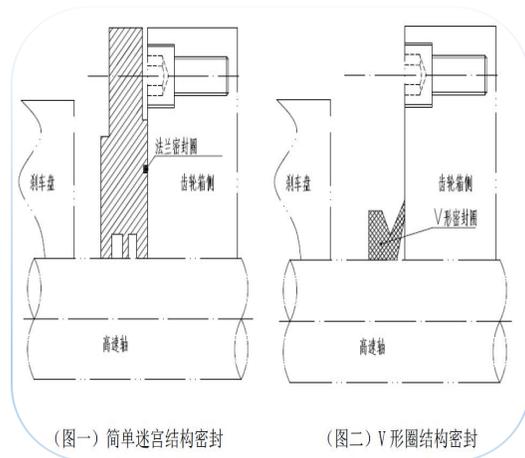
- 由主控控制润滑泵运行，同时接收低油位故障和分配器堵塞故障，并根据预先设定的控制逻辑进行报警

- 主轴自动润滑系统包含了8个部分，分别为：油泵、油位传感器、分配器、控制PLC（风机主控）、润滑点管路、分配器堵塞传感器、供电回路



# 齿轮箱高速轴密封改造

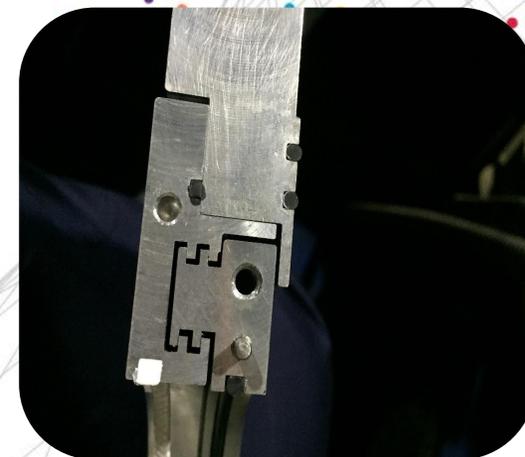
## 现状



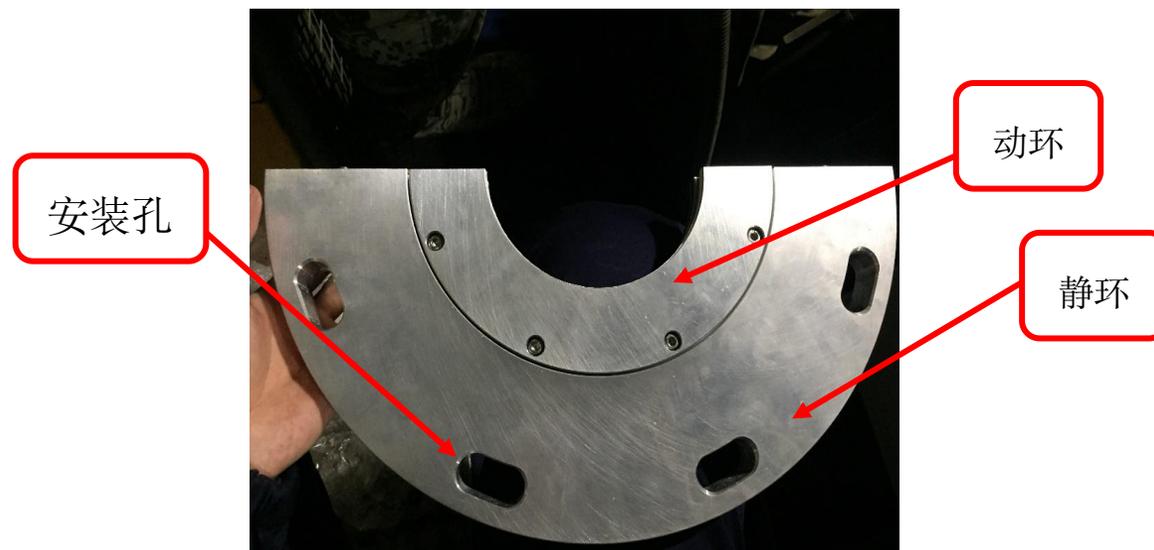
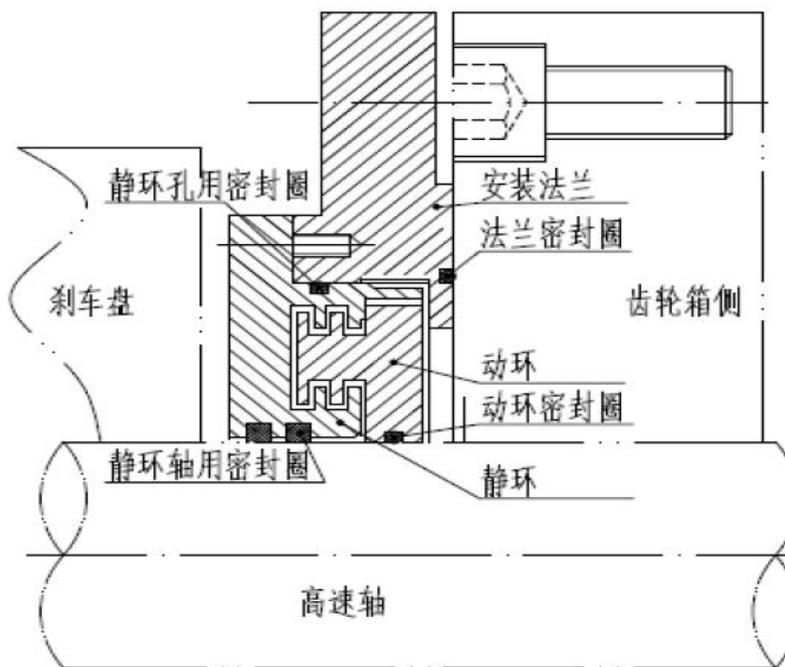
风电机组齿箱高速轴密封问题一直是行业内的难点问题，据统计，截止2020年8月，我司齿轮箱高速轴渗漏问题达到1500台

## 方案

在齿轮箱高速轴原有端盖和刹车盘之间的间隙处加装“双F梳齿型”迷宫密封，安装时不需要拆卸高速轴联轴器，在尽可能不改动原有设备的基础上解决齿轮箱高速轴渗漏问题，提高齿轮箱可靠性，并可通过调整不同的产品尺寸适配所有机型



## 齿轮箱高速轴密封改造



密封环整体分为动环和静环，固定在旋转轴上的动环随轴转动，静环相对静止不动，因此两密封环相对旋转，润滑介质通道中的润滑介质、污物通道中的污物在离心力作用下被收集在静环的凹槽中，通过回油孔又回到齿轮箱内，这样润滑油就不会通过中间的隔离通道继续向外流动，从而起到双向密封作用

## 效果展示

---

张家口某风场，新密封环改造运行3个月后进行检查，密封环对接及油管接头处未见泄露，齿轮箱高速轴附近未见新的油渍，说明该新式密封能够有效解决原齿轮箱高速轴处渗漏油的问题，并且安装便捷快速，不影响机组原有性能



# SCADA系统国产化



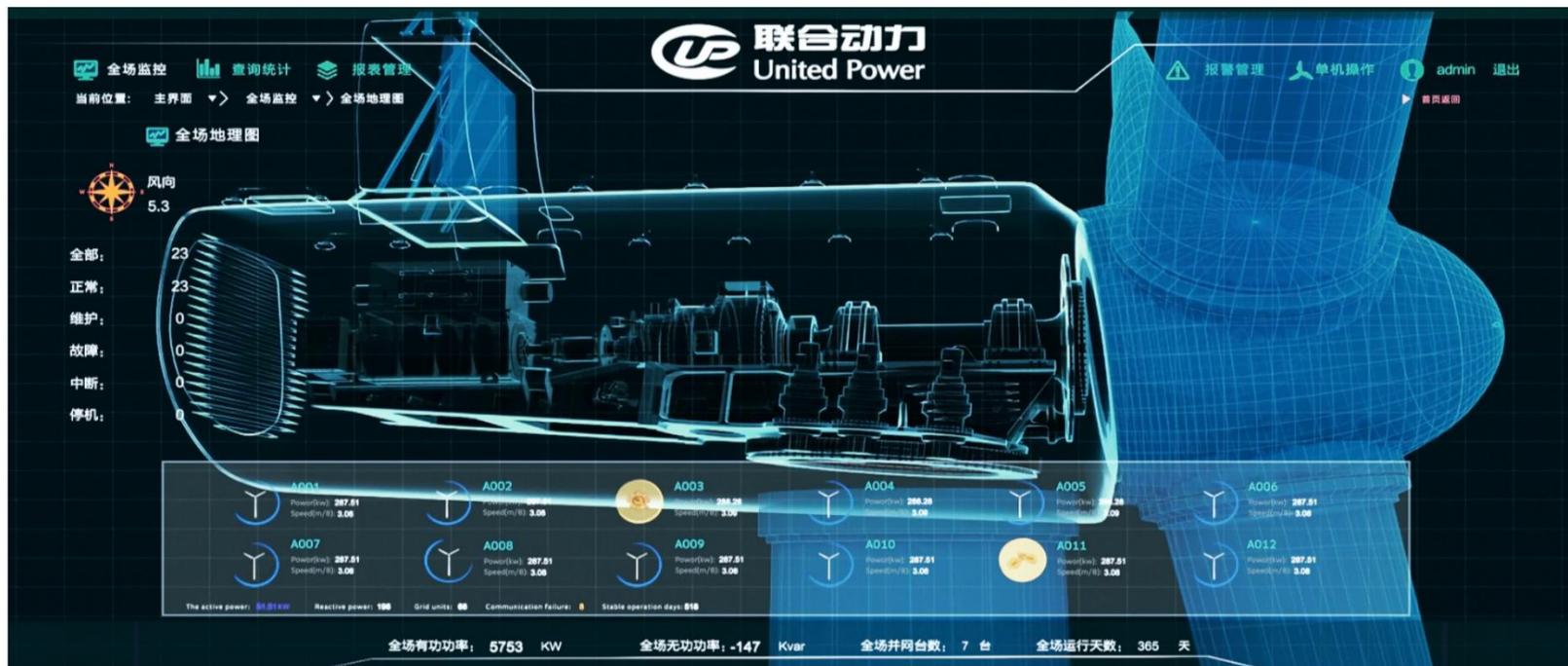
自研的新一代智慧风电场服务系统，WindEYE™，专注于庞大的风电运维后市场，以全量感知、互联协同为设计目标，以智慧运营、电网友好为产业化目标，在高速互联、全景监控、能量管理、电网支撑、健康评估、指标评价六个方面持续投入研发

WindEYE™已适配中标麒麟、凝思磐石等主流国产Linux操作系统及中科、浪潮等纯国产服务器，完全满足电网公司对新能源场站电力监控系统安全防护基本要求

# SCADA系统国产化

## 丰富风电机组的“神经系统”

风电机组设计有全方位的状态监测系统，对机组的基础沉降、塔筒螺栓、塔筒倾覆、传动链运行状态、发电机位移、主轴与叶轮连接螺栓、叶片叶根螺栓及叶片的运行状态进行全时段的在线状态监测，结合机组同一时域的运行数据，能够通过专家诊断系统，对机组的运行及时预警



# 机组性能优化

## PART THREE

控制策略优化

桨距角校准

叶片加长

## 主控控制策略优化

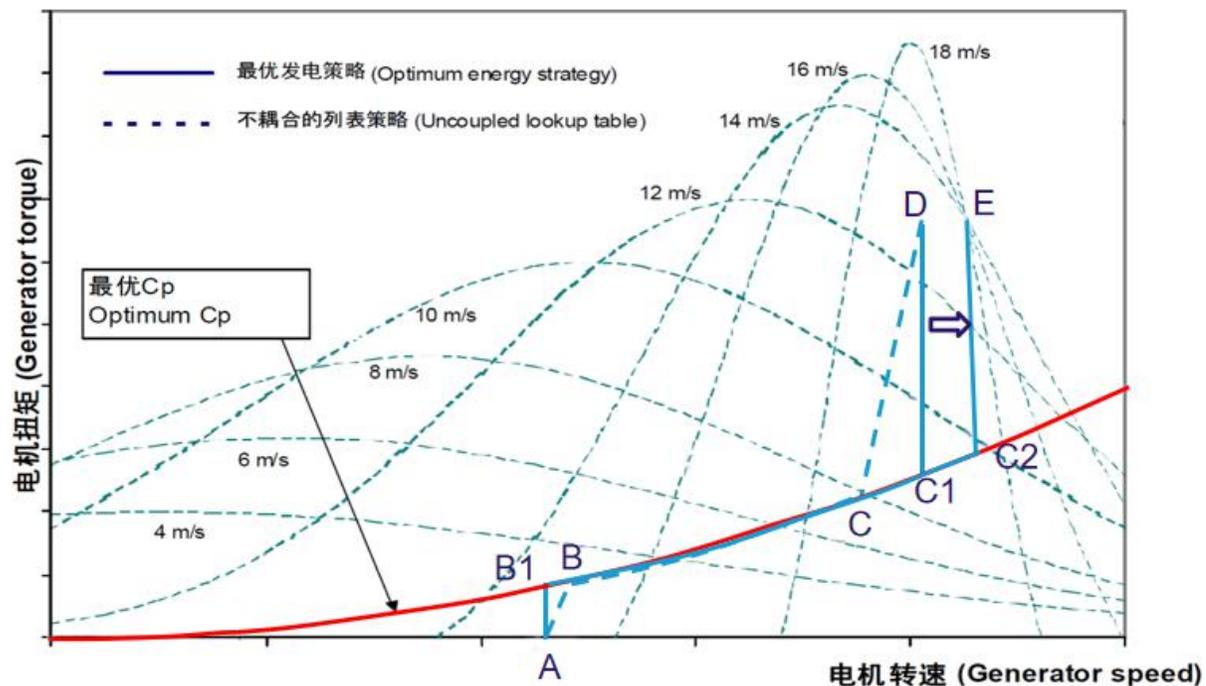


- ✓ **功率曲线优化**: 控制参数随温度自调整, 根据现场海拔和空气密度自动计算并跟踪最优 $C_p$
- ✓ **有功超发**: 在机组设计载荷范围内增加机组额定转速、优化控制参数, 提高机组额定功率
- ✓ **防超速功能**: 高风速且风突变情况下, 提前控制变桨系统桨叶动作
- ✓ **机组降载技术**: 传动链阻尼控制技术、塔架阻尼控制技术和变速率顺桨等
- ✓ **辅助控制技术**: 机组自耗电、偏航系统优化、和机组防共振功能等

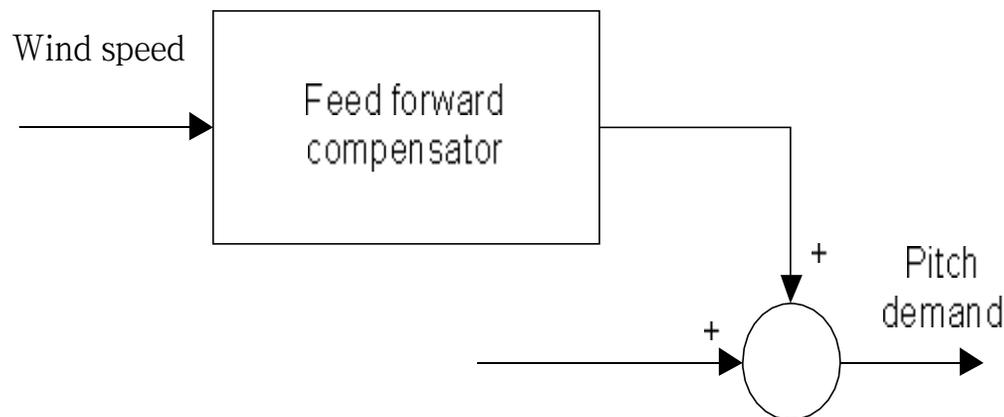
# 主控控制策略优化

## ● 功率曲线优化和有功超发

在保证机组扭矩恒定前提下，机组额定转速由C1点提升至C2点，保证并网转速至额定转速阶段跟踪最优Cp



## ● 防超速功能

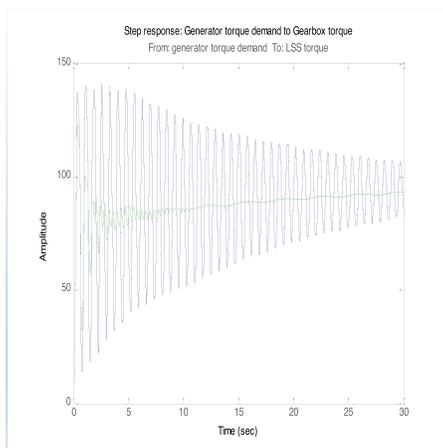


机组提升额定转速后，为防止机组发生超速现象，控制逻辑中增加风速前馈控制，避免大风速且突变情况下出现机组超速，并调整变桨增益，进一步的优化了桨距角控制

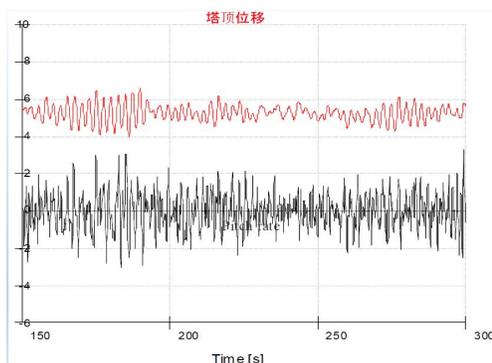
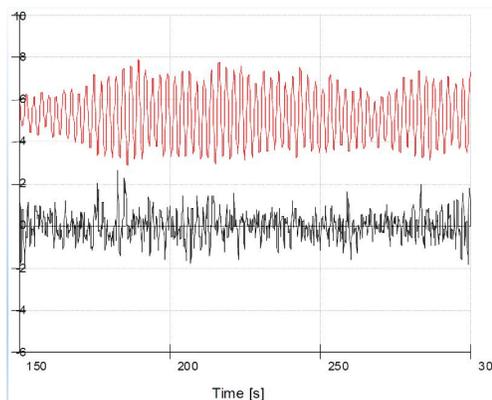
# 主控控制策略优化

## ● 机组降载技术

✓ 降低机组的疲劳载荷，保证机组稳定可靠运行

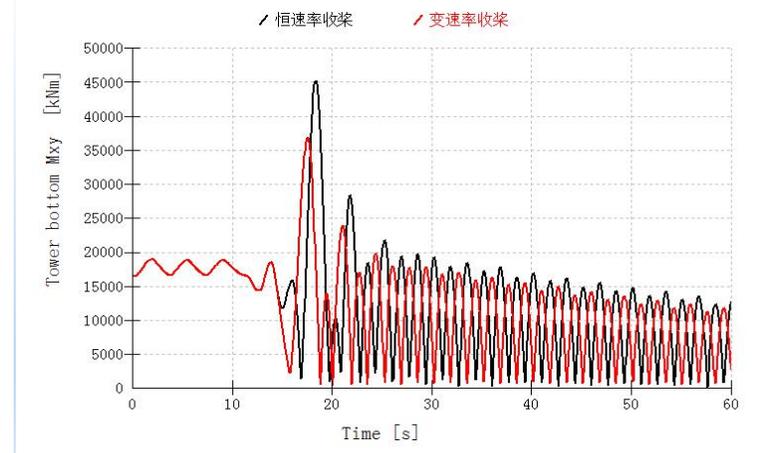
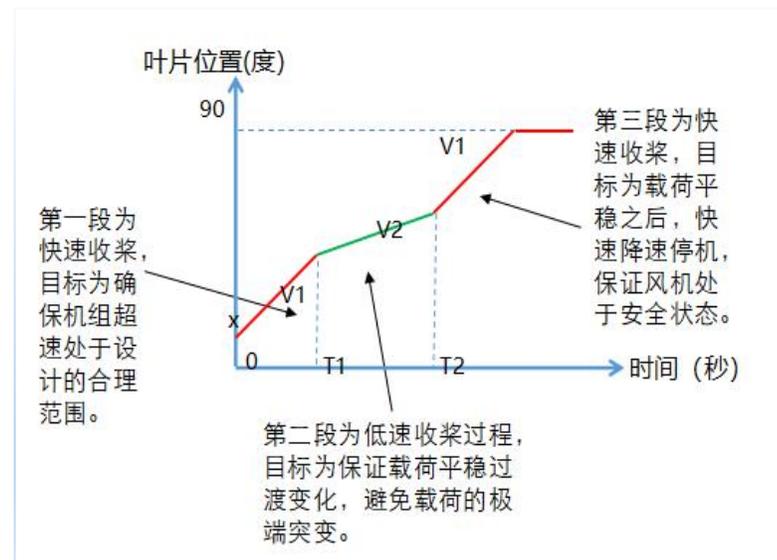


传动链阻尼控制



塔架阻尼控制

✓ 针对EOG阵风  
和Gridloss故障，停机过程  
采用变速率顺  
桨策略,降低机  
组停机顺桨过  
程中塔筒的振  
动



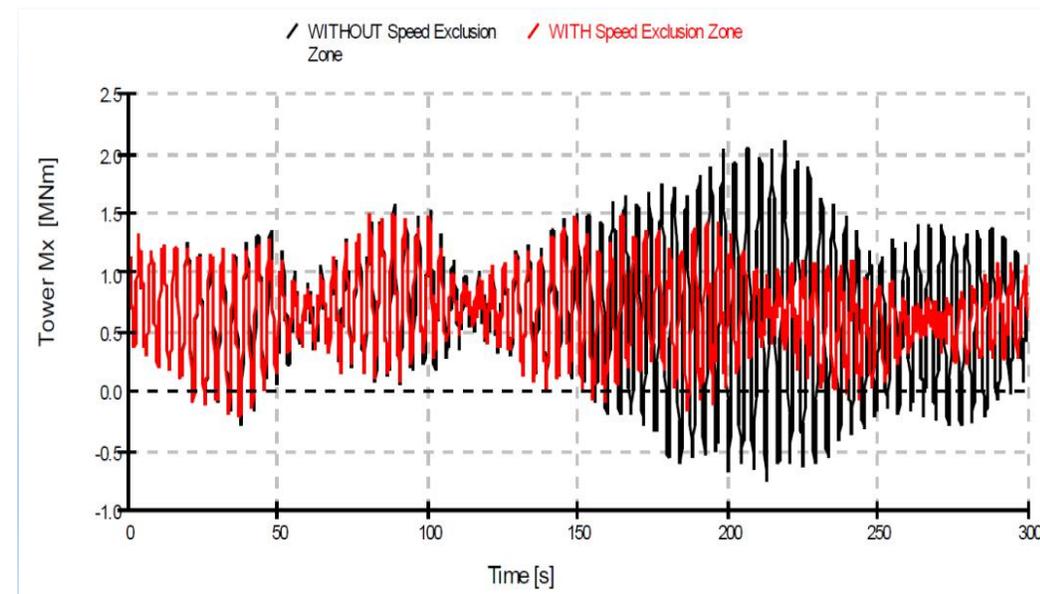
变桨速率收桨

# 主控控制策略优化

## ● 辅助控制技术

- ✓ **机组自耗电优化：** 机组自耗电主要为冷却风扇、加热器、电机等，优化冷却、加热、润滑设备的启停参数、逻辑，从而达到降低机组自耗电的目的；
- ✓ **偏航策略优化：** 将偏航策略中区分高风速、低风速偏航动作，高风速状态下在保证机组达到额定功率时尽量减少偏航动作，低风速下执行较快的偏航对风策略，为避免机组在发电状态下频繁解缆动作，增加机组待机状态偏航预解缆功能；
- ✓ **机组防共振功能：** 通过修改机组的控制参数，改变机组的通过频率，防止与塔筒固有频率重合，避开共振区。

## 机组防共振功能仿真结果

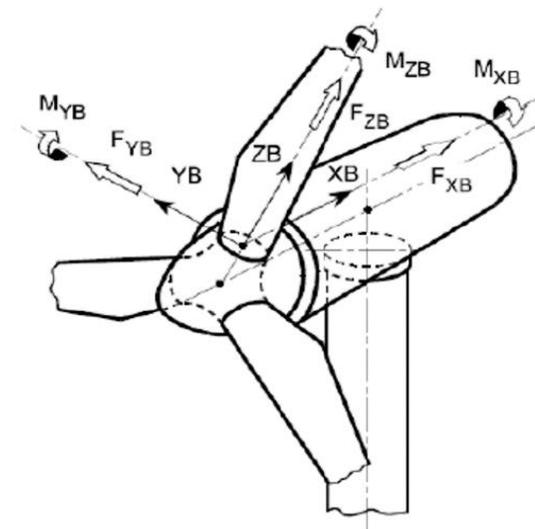


# 主控控制策略优化

## 载荷强度复核

Component	Ultimate strength driving input	External input amplitude (UP1500)	External input amplitude (UP1600.82)	External increase ((UP1600.82/UP1500))	$\sigma$ bolt_max_stress or $\sigma$ FEA UP1500	$\sigma$ P0.2min or $\Delta\sigma$ yield UP1500	Minum Margins from loads of UP1500	OK?	
	-	KNm or kN	KNm or kN	-	Mpa	MPa	-	-	
Hub	Blade root 123Mx	5715	2710	-52.56%	123	200	62.60%	OK	
	Blade root 123My	4417	4651.3	5.30%					
	Blade root 123Mxy	5790	4882.1	-15.68%					
	Blade root 123Mz	121.5	100.7	-17.12%					
	Rotating hub Myz	5141	4631.2	-9.92%					
Pitch bearing bolted connection	Component	Ultimate strength driving input	External input amplitude (UP1500)	External input amplitude (UP1600.82)	External increase ((UP1600.82/UP1500))	$\sigma$ bolt_max_stress or $\sigma$ FEA UP1500	$\sigma$ P0.2min or $\Delta\sigma$ yield UP1500	Minum Margins from loads of UP1500	OK?
	-	KNm or kN	KNm or kN	-	Mpa	MPa	-	-	
Hub-shaft bolted connection	Frame	Stationary hub Mx	2507	2478.7	-1.13%	233	295	26.61%	OK
		Stationary hub My	5070	4521.9	-10.81%				
		Stationary hub Mz	3998	3765.3	-5.82%				
		Stationary hub Myz	5141	4631.2	-9.92%				
		Stationary hub Fx	463.7	545.3	17.71%				
		Stationary hub Fy	538.7	226.9	-57.90%				
		Stationary hub Fz	570.4	537.9	-5.70%				
		Stationary hub Fyz	663.8	538.2	-17.68%				
Bearing housing Mainframe bolts connection	Frame	Stationary hub Mx	2507	2510.4	0.14%	233	295	2.00%	OK
		Stationary hub My	5070	3826.9	-24.52%				
		Stationary hub Mz	3998	3549.6	-11.22%				
		Stationary hub Myz	5141	3948.3	-23.20%				
Yaw bearing bolted connection	Frame	Yaw Bearing Mx	2728	2417	-11.40%	233	295	2.00%	OK
		Yaw Bearing My	5764	4891.2	-15.14%				
		Yaw Bearing Mxy	5764	4911.8	-14.78%				
		Yaw Bearing Mz	4362	3772	-13.53%				
Tower	Tower	Tower station 0.0m, Mx	60520	39369	-34.95%	233	295	59.40%	OK
		Tower station 0.0m, My	53610	67536	25.98%				
		Tower station 0.0m, Mxy	63240	67538	6.80%				
		Tower station 0.0m, Mz	4241	3771.7	-11.07%				

载荷计算



载荷强度  
评估结果

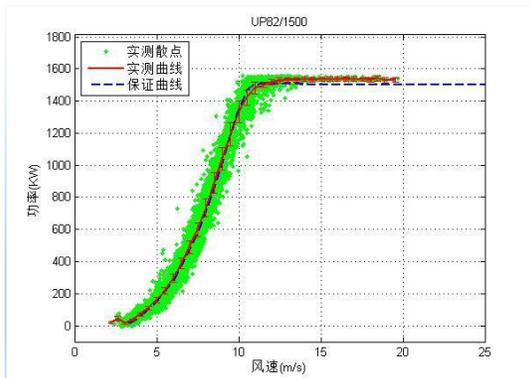
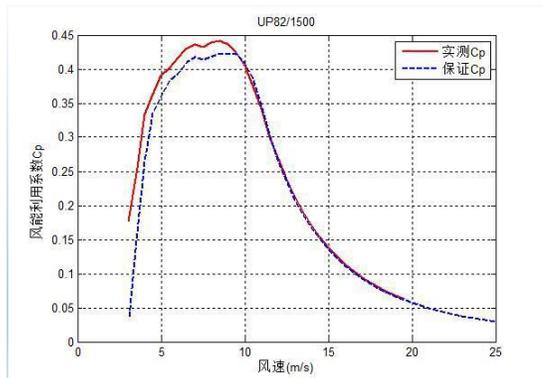


机组载荷强度在设计安全范围内

# 主控控制策略优化

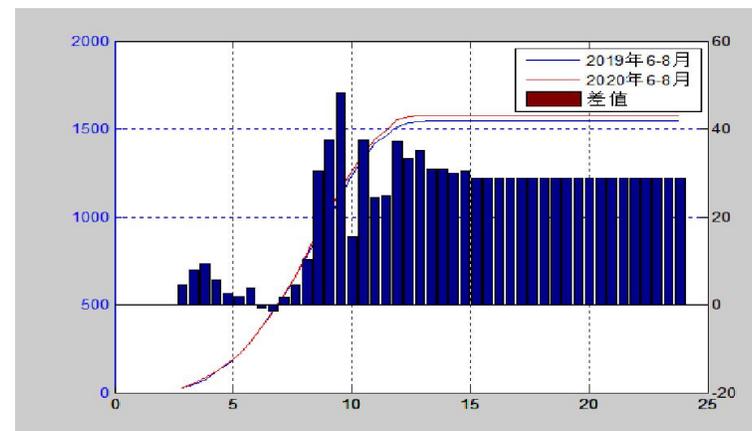
依据IEC61400-12-1:2005标准进行功率曲线验证

风机类型: UP82/1500 标准空气密度 1.225kg/m <sup>3</sup> 切出风速 25m/s			
轮毂高度年平均风速 (m/s)	优化后年发电量 (MWh)	优化前年发电量 (MWh)	优化后/优化前 (%)
4	1379.47	1291.54	106.81%
5	2600.66	2497.53	104.13%
6	3958.86	3851.00	102.80%
7	5265.08	5154.17	102.15%
8	6421.54	6305.15	101.85%
9	7389.15	7264.92	101.71%
10	8153.45	8020.58	101.66%
11	8712.72	8571.93	101.64%



第三方验证结果

目前已实施30余个项目, 机组运行数据分析, 场均提升率达到2%以上:



风机类型: UP82/1500 标准空气密度1.225kg/m <sup>3</sup> 切出风速25m/s			
轮毂高度年平均风速 (m/s)	优化后年发电量 (MWh)	优化前年发电量 (MWh)	优化后/优化前 (%)
4	1312.3654	1346.3903	102.59%
5	2403.8656	2455.9615	102.17%
6	3643.9074	3721.107	102.12%
7	4877.9717	4981.2424	102.12%
8	6007.4306	6134.17	102.11%
9	6980.8773	7127.1171	102.09%
10	7771.9249	7933.3482	102.08%
11	8369.7505	8542.111	102.06%

现场实施效果

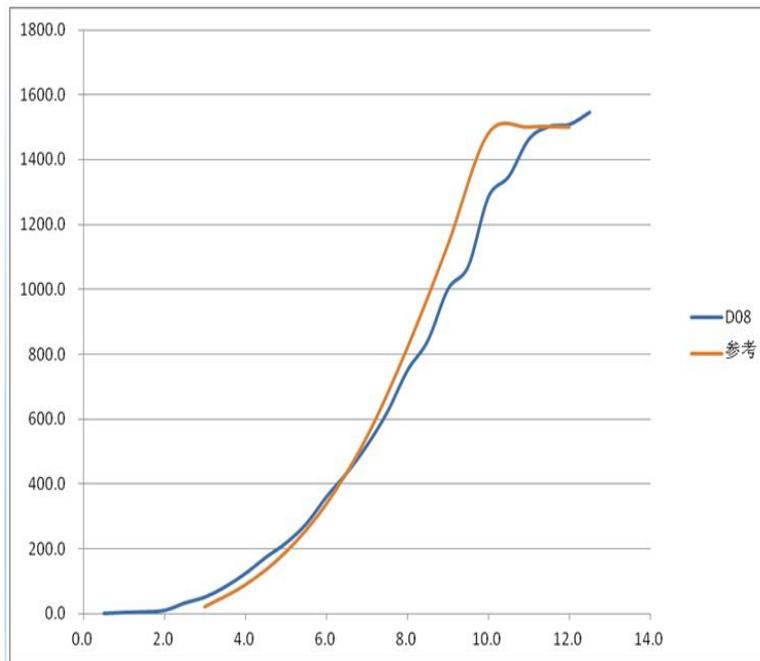
# 桨距角校准

## 背景

变桨系统控制是控制风机运行调节桨叶开桨收桨的关键，设计上的最优桨距角为 $0^{\circ}$

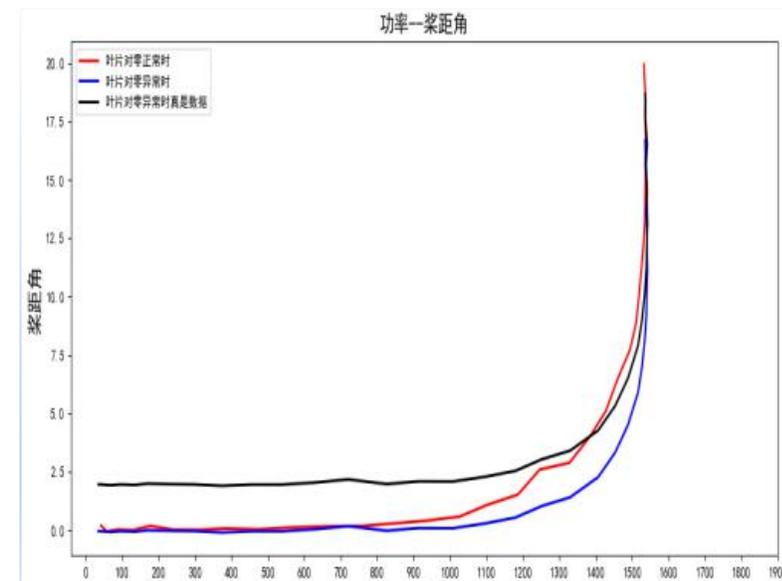
叶片制造、安装、控制和实际运行环境复杂性，使得气动安装角（零度）在机组实际运行中会存在一定偏差，不再是理论设计零度

影响风力发电机组整体发电性能



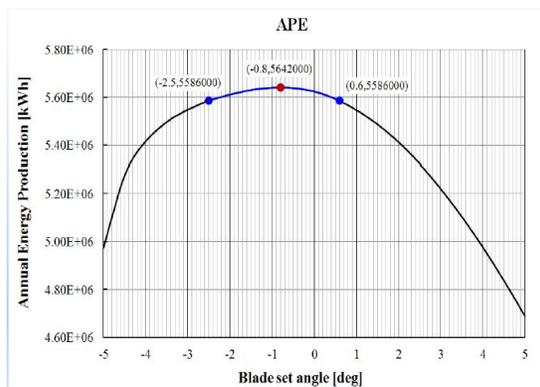
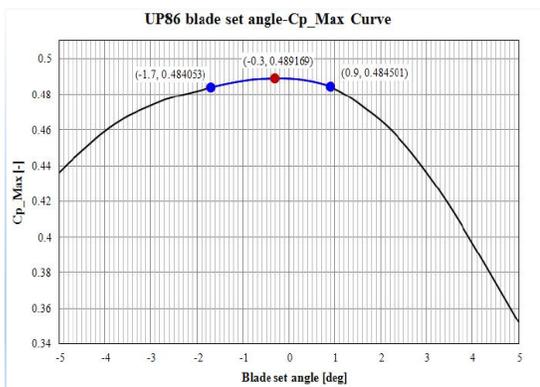
## 优化方案

通过对机组运行时，风速、桨距角、发电机转速以及有功功率之间的相互关系挖掘，标识叶片零位异常问题：



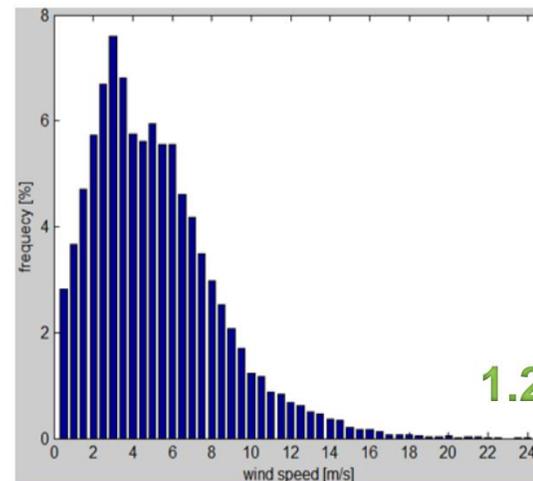
# 桨距角校准

通过对机组理论稳态仿真和动态仿真：

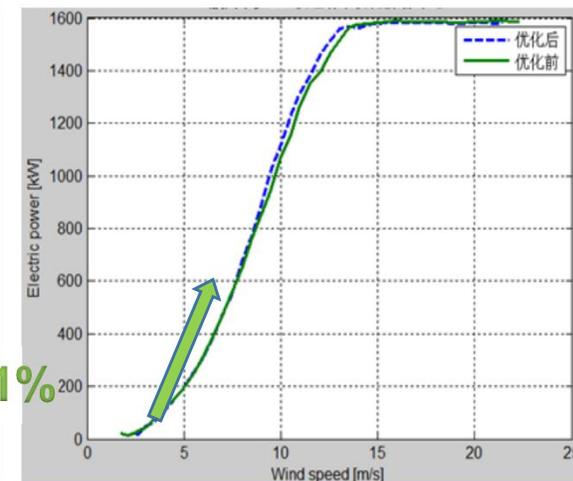


叶片安装角区间	
稳态功率最优分析 ( $C_p \geq 0.485$ )	$-1.6^\circ \sim 0.9^\circ$
发电量最大分析	$-2.5^\circ \sim 0.6^\circ$
试验安装角区间	$-1.5^\circ \sim 0.5^\circ$

目前已监测20个不同地区风电场，经校准某单台机组  
年发电量提升1.21%：

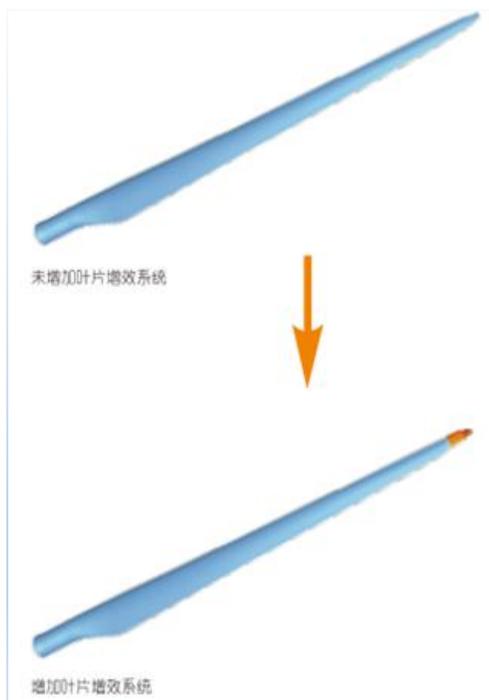


1.21%

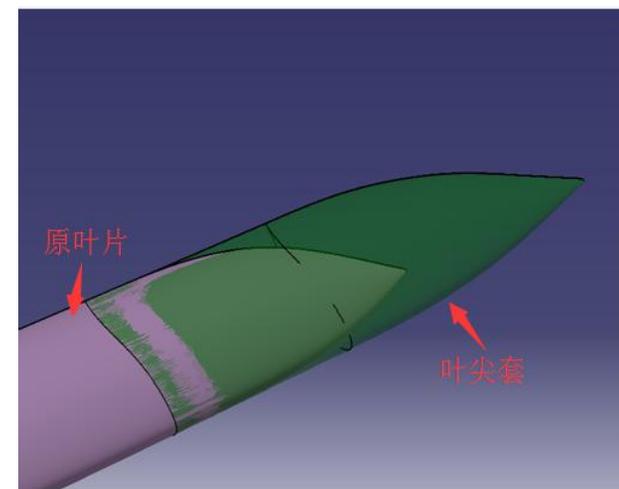
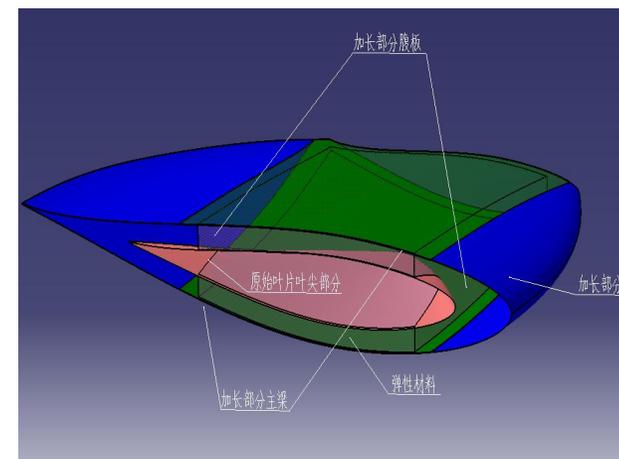


# 叶片加长

在确保风力发电机组基本设计不变、各部件配合良好、改造后安全稳定运行的前提下，将对叶片采用适当加长的方案，增加其扫风面积，适当的提升风力发电机组性能，用来弥补风电场风速较预期值偏低的不足的问题



为保证加长后的叶片外形与原始叶片相同，加长叶片将采用增加叶尖套的方式。同时，叶尖套的翼型、弦长、扭角、相对厚度、变桨轴线、扭转轴线及预弯曲线与原叶片完全一致



# 叶片加长

生产  
测试

严格的生产工艺，采用真空灌注，保证叶尖套与叶片整体一致性  
标准化静载测试，多方位保证叶尖套强度和连接性



模具准备



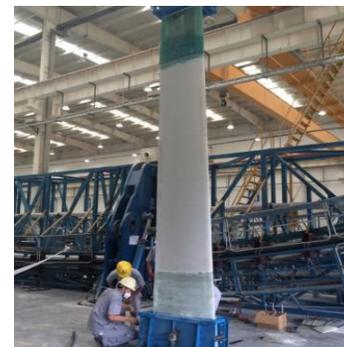
真空灌注



合模粘接



防雷安装



轴向加载



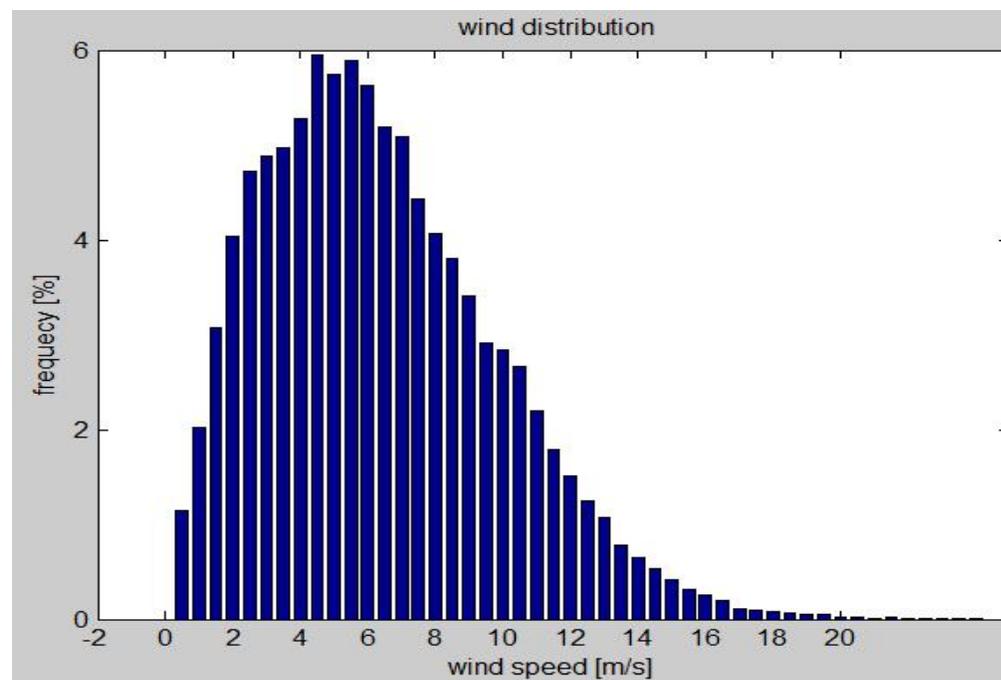
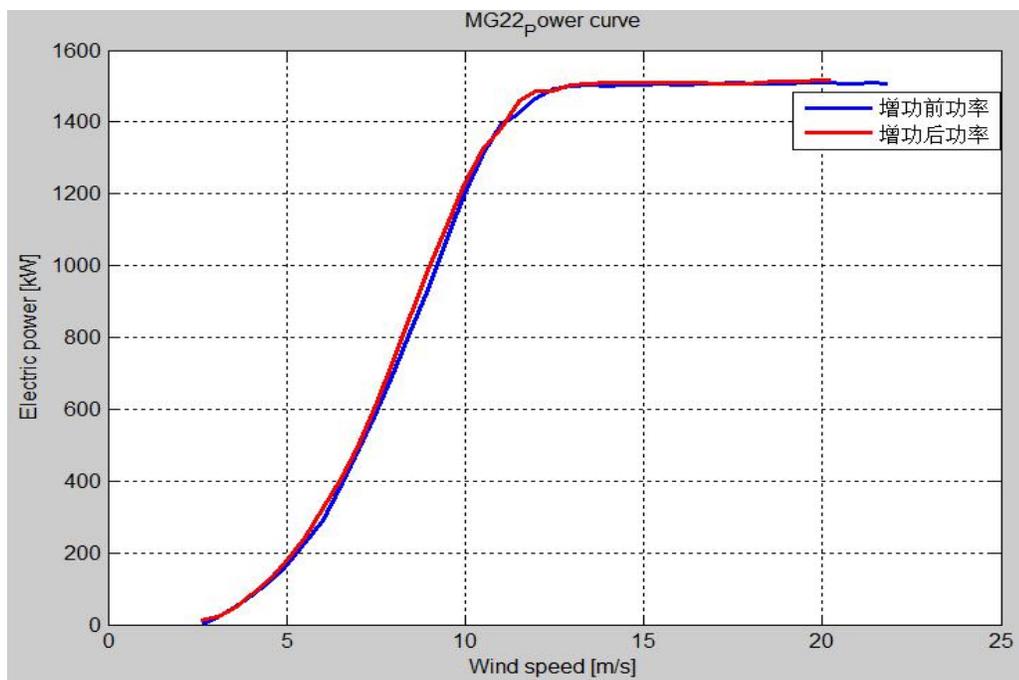
摆振测试



挥舞测试

# 叶片加长

截至目前，思达公司已完成多个项目的叶片加长改造工作，依据UP1500-82叶片加长（82-84）前后实际运行数据计算，年发电量提高约3.19%:





**THANK YOU FOR WATCHING**