



中航惠腾风电设备股份有限公司

AVIC HUITENG WINDPOWER EQUIPMENT CO., LTD.

叶片防结冰除冰技术

陈志强

- 凝冻现象
- 叶片覆冰影响
- 叶片防冰除冰技术现状
- 我公司研究现状

凝冻，也称冻雨，由过冷水滴组成，与温度低于 0°C 的物体碰撞立即冻结的降水，是初冬或冬末春初时节见到的一种灾害性天气。

凝冻现象主要发生在我国贵州、湖南、江西等地。

凝冻现象会对农作物生长、通讯、电力输送、交通运输等方面造成影响或破坏。

凝冻现象



凝冻现象



凝冻现象



凝冻现象

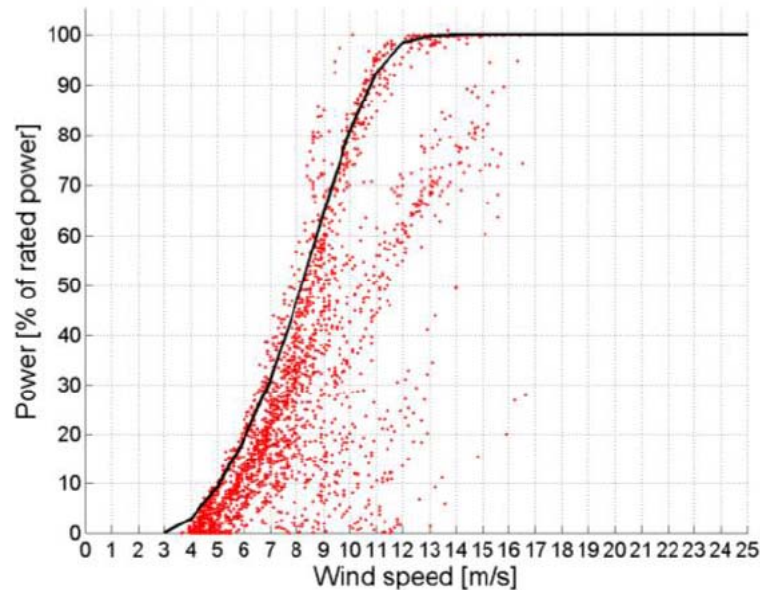
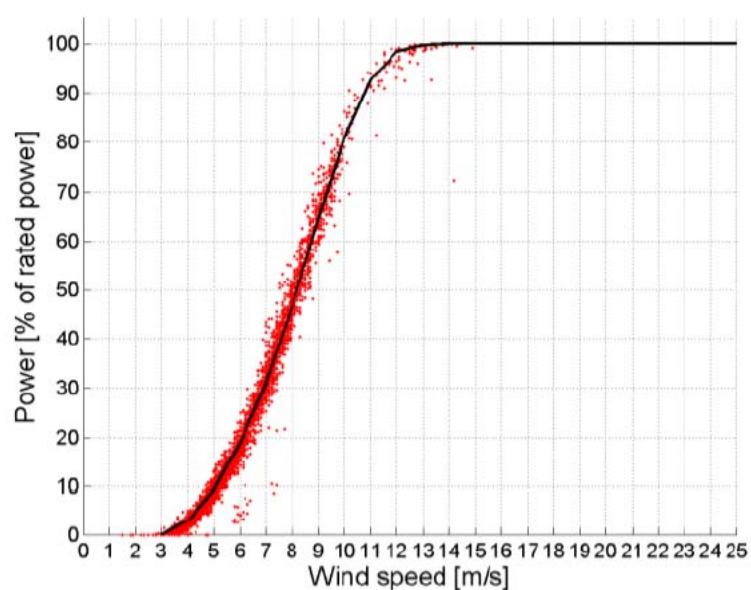
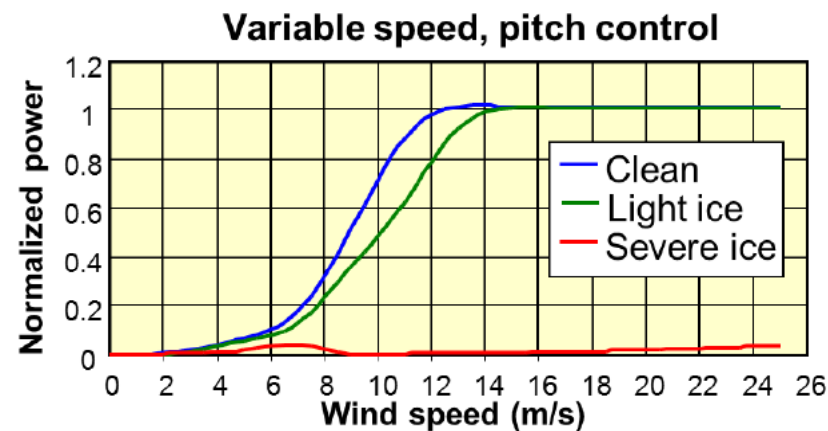
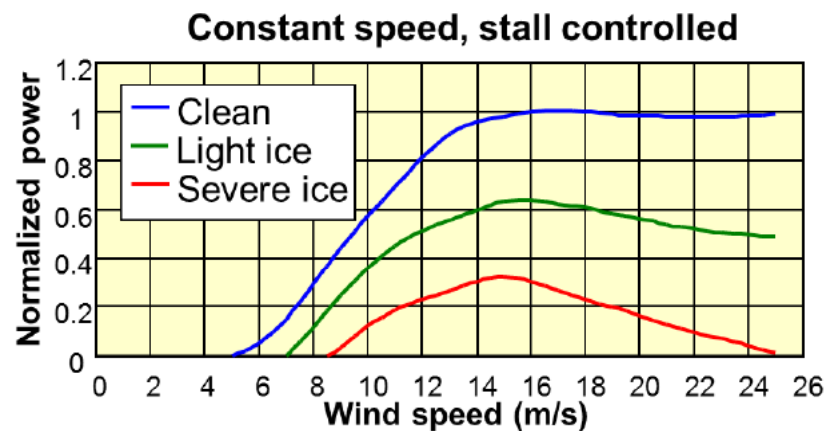


凝冻现象



- 发电性能-降低发电效率，覆冰严重导致机组停机
- 机组影响-风轮力矩不平衡，增加机组载荷
- 噪声影响-提高噪声分贝
- 安全隐患-覆冰坠落造成危险

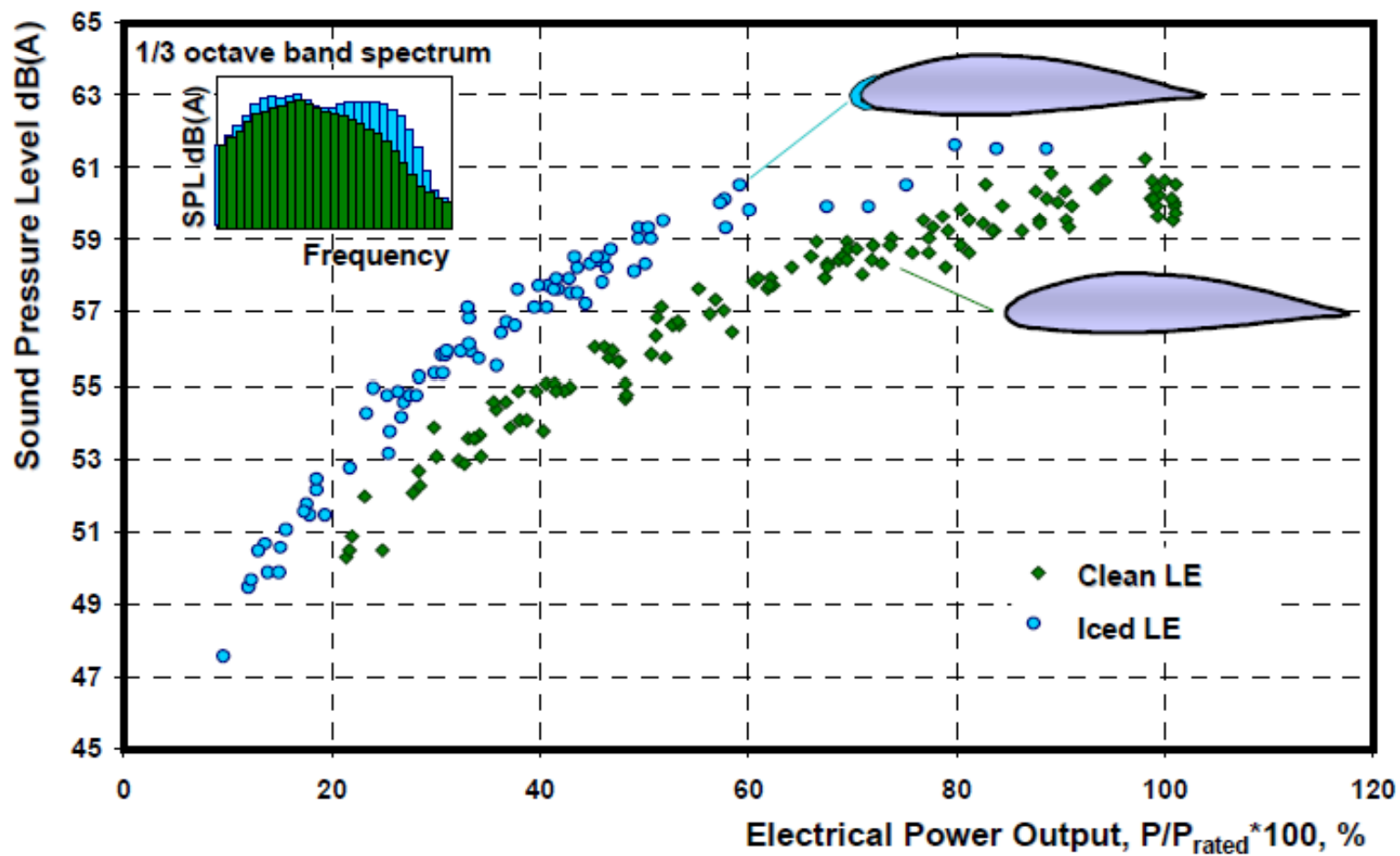
叶片覆冰影响：发电



叶片覆冰影响：噪声



中航工业惠腾



叶片覆冰影响：安全隐患

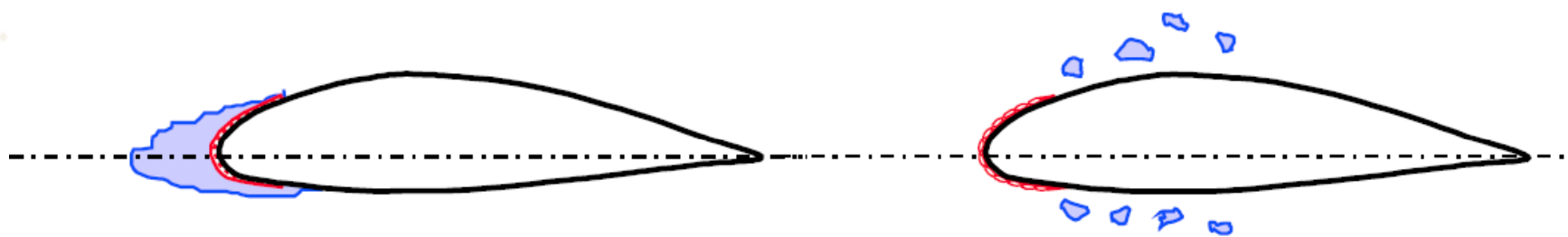


中航工业惠腾



- 机械除冰
 - 人工除冰、膨胀管技术
- 被动式除冰
 - 黑色吸热涂料、特殊防结冰涂料、化学药剂
- 主动式除冰
 - 电加热膜、热风加热、微波加热

技术方案：机械除冰



De-icing rubber boots inflated

技术方案：被动式除冰

黑色涂料

- ▶ 增强叶片表面吸热效果
- ▶ 成本低，在太阳能密度较高地区效果好；
- ▶ 夏季会影响叶片材料性能，除冰效果依赖于天气



技术方案：被动式除冰

防结冰涂料

- 降低表面能、提高疏水性；
- 成本低、无需特别雷电防护、叶片维护简单、使用简单；
- 效果不明显；材料性能退化



技术方案：被动式除冰

化学药剂：

- 降低冰点，主要用在飞机起飞时；
- 污染叶片表面，需要经常维护，增加维护成本；不能在叶片表面长时间停留；

技术方案：主动式除冰

电加热

- ▶ 叶片表面粘贴电加热膜
- ▶ 加热效果显著、能耗低、加热区域设计灵活、方便修理

- ▶ 提高叶片遭受雷击风险

叶片铺层中加入加热层，涂层下铺设碳纤维加热层，能源消耗较高，难于修复，同时面临雷击问题。



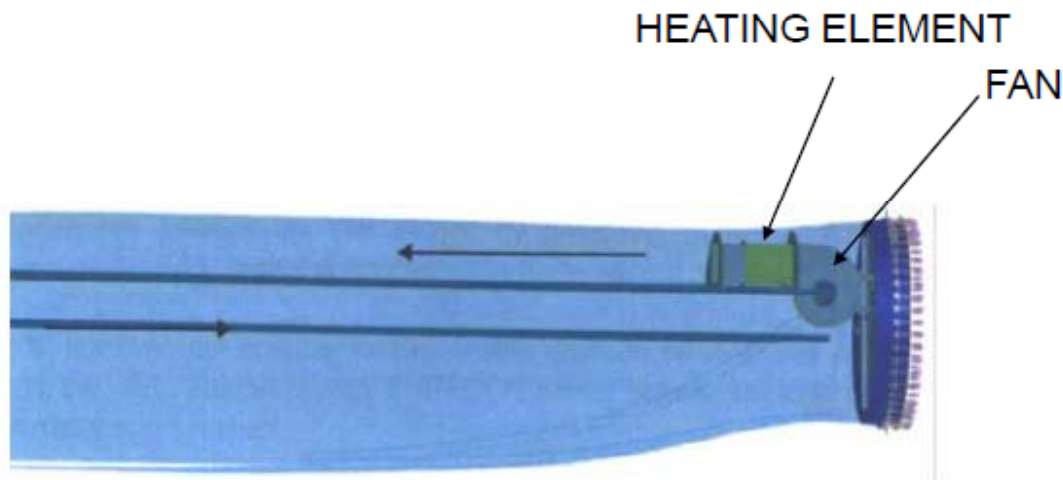
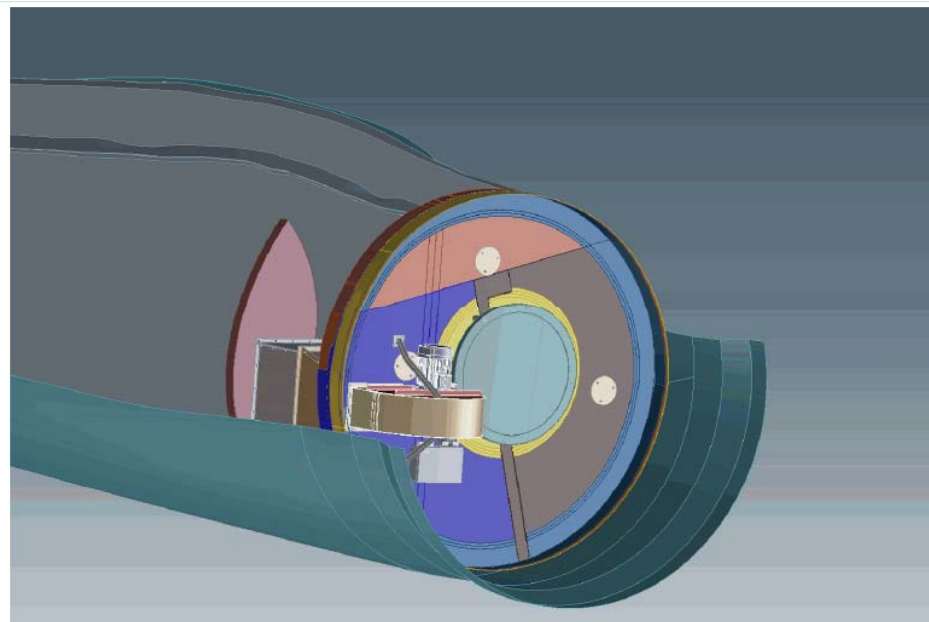
Kelly aerospace



技术方案：主动式除冰

热风加热

- ▶ 叶根处安装鼓风设备和加热元件
- ▶ 成本低、结构简单
- ▶ 能耗较高、叶尖部位加热效果难以保证



技术方案：主动式除冰

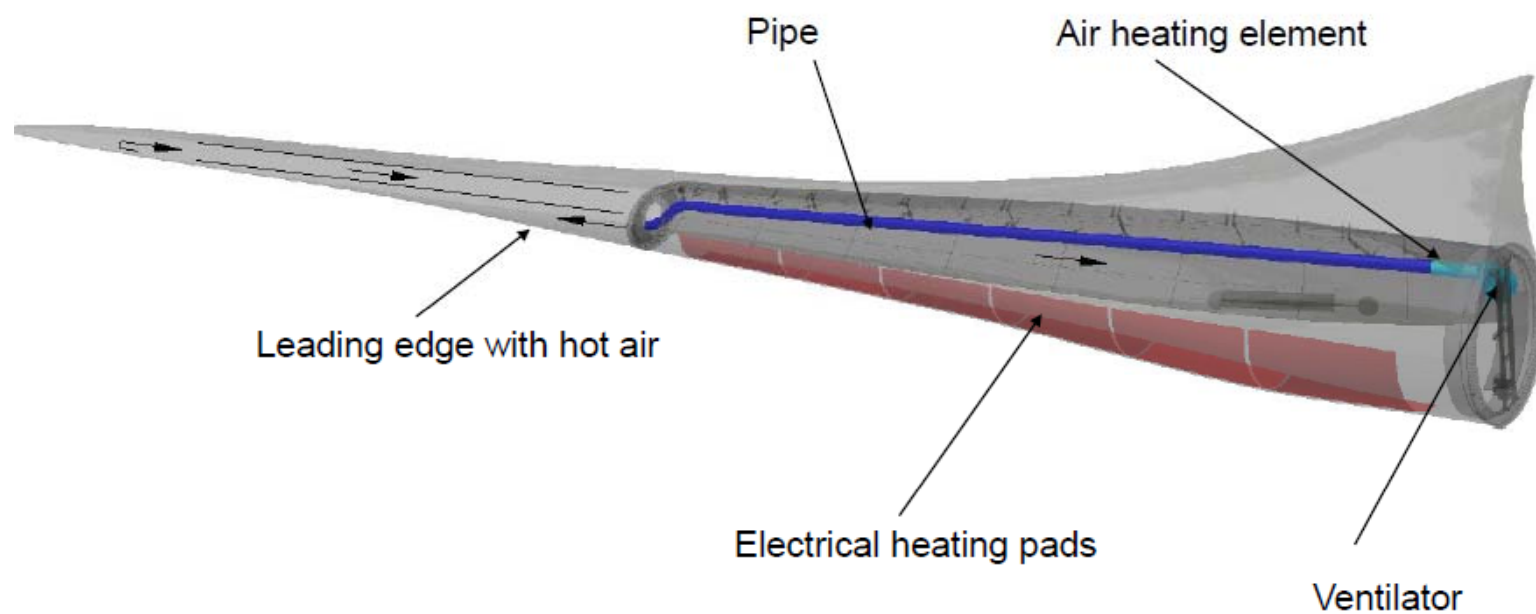
微波除冰

- 有效传播距离短
- 复合材料能量吸收效率低
- 表面增加吸收层会提高能量吸收效果

技术方案：主动式除冰

除冰方案组合

- ▶ 叶根段采用电加热膜
- ▶ 叶尖段采用热空气加热



防结冰涂料：

1、防结冰涂料与普通涂料实验室对比试验

经试验测试，涂覆有防结冰涂料的样件，在提高叶片表面疏水性和降低叶片表面冰层附着力两方面均有明显效果。

2、生产试验样机进行风场测试

两台样机已于2011年制造完成，并装机运行，同一风场对比结冰量有所减少。

电加热技术：

考察了市场成熟的电加热膜，并进行了小件成型工艺试验和加热试验，试验较好。目前致力于攻克以下难题：

加热膜区域的防雷措施(借鉴航空技术)

加热膜的耐候性和疲劳性验证

加热膜的控温系统布置



热风加热技术：

考察了市场成熟的热鼓风设备，并进行加热试验，经测试能达到的效果，但是加热效率偏低。

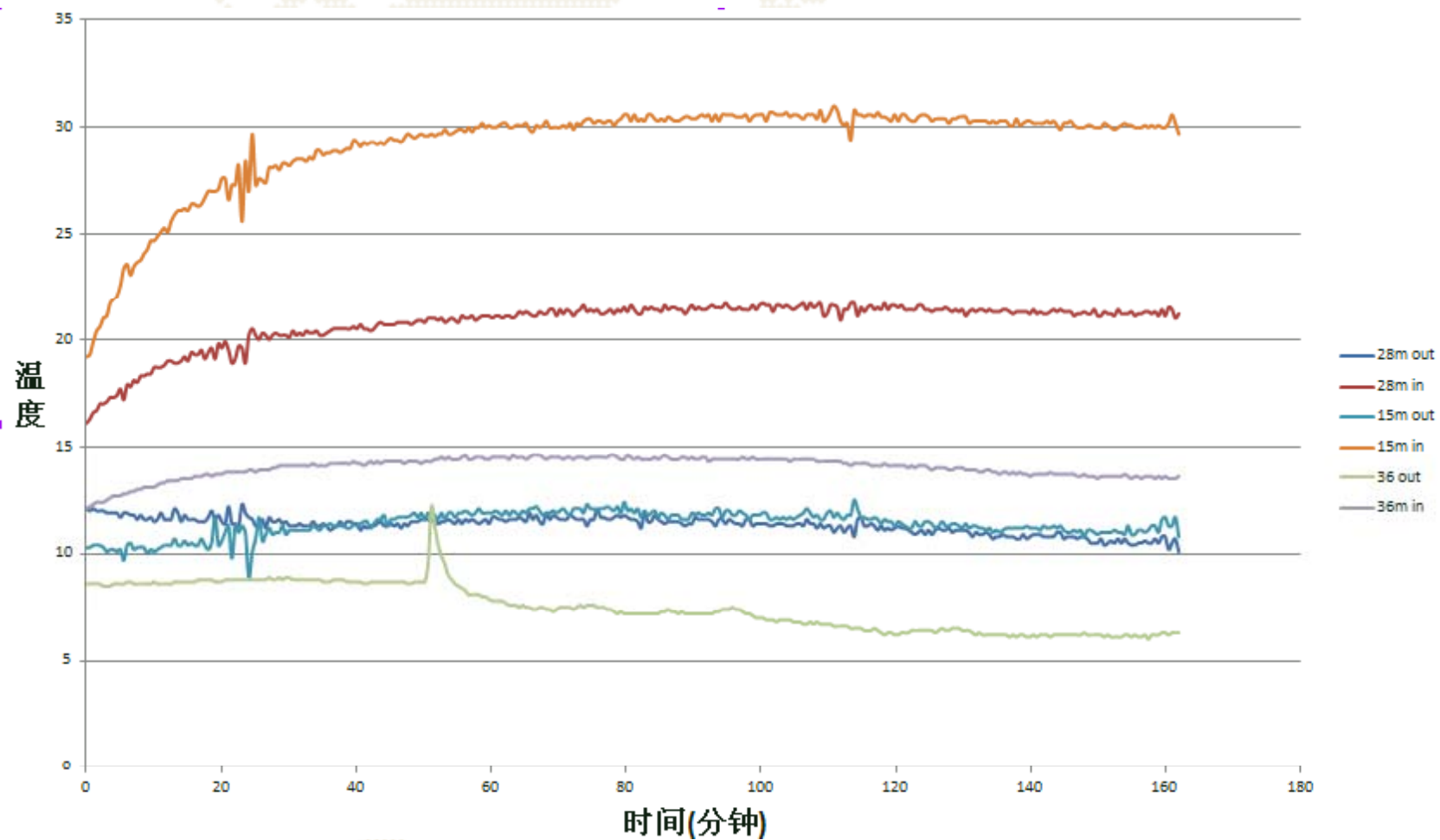
热风加热需解决的问题：

热鼓风热备在叶片内腔的固定

通风管道的布置

电源来源

温度监控等





中航工业惠腾

Thanks
谢谢



www.htblade.com

中航惠腾风电设备股份有限公司AVIC HT Blade