

风电机组智能雷电在线监测系统



北京汇智风能技术有限公司

技术团队



科技服务领域： 团队以服务国防和地方经济建设为主战场，围绕智能遥感信息感知与处理、新一代传感器网络技术、机器视觉与智能监测、跨域感知通信等领域，面向海洋环境监测、多智协同控制等方面开展基础研究、工程技术攻关和装备研制。

承担科研项目： 国家重点研发计划、国家自然科学基金项目、中国博士后科学基金、装备预研重点基金、武器装备预研项目、海军装备预研项目、省重点研发计划、省自然科学基金、 国家重点实验室开放基金以及科研院所横向课题等50多项。

时代背景

风电事业如火如荼



截至2025年6月底，我国风电装机容量5.7亿千瓦，占全国发电装机总量的15.7%，同比增长22.7%。大力发展风电等可再生能源已成为纵深推进能源革命、保障国家能源安全的重大举措，更是实现我国“双碳”目标、践行应对气候变化自主贡献承诺的主导力量。

雷电威胁不可避免

我国新增装机风轮直径和轮毂高度变化趋势



随着风电技术的不断发展，我国风电机组呈现了不断的大型化发展特征。然而这些高大的风机更易成为雷击的目标，再加上风机一般设置在风力强大的海岸、丘陵、山脊等雷电多发区，且有不断旋转的叶片、安装地点接地条件不好等诸多因素，雷电成为了风电发展路上绕不开的问题。

雷击危害

在雷电击中机组的一瞬间，其产生的暂电压是非常巨大的，造成的机械效应、热效应、冲击波等损坏机组内部线路、造成叶片的击穿、折断、起火；雷电的电磁效应对整个风机设备的影响也很大，雷电感应造成的感应过电压损坏，电磁感应损坏，例如电气设备模块烧毁、故障 失灵、永久失效等损坏。

因此，现在针对于风电机组有诸多防雷研究和雷电保护系统。然而，雷电的监测系统却不多。

雷击下的风机叶片



叶片断裂



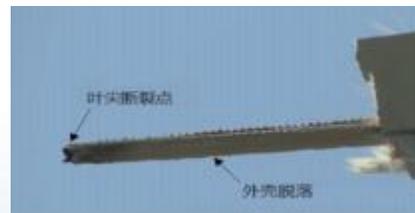
叶片烧毁



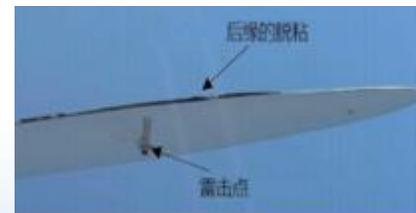
分层



表面开裂



叶尖分离



脱粘



接闪器点蚀



叶片烧焦



壳体脱落

现有方法的局限性

离线磁卡式监测



工作机制

- 1.仅记录历史最大雷电流峰值：对于雷电流的整体分布和频率特性无法提供全面的信息。
- 2.无法实时记录：离线磁卡式监测不具备实时监测和记录功能。

核心问题

- 1.数据记录方式落后：只能记录历史最大雷电流峰值，无法统计雷击发生的频率；无法获取每次雷击的具体电流值；
- 2.缺乏实时监测能力：传统设备无法实现实时数据上传，无法与风电场监控系统联动，导致运维响应滞后，增加了运维成本和停机损失。

缺乏实时监测手段

无瞬时数据捕获：雷击过程持续毫秒级，传统传感器无法捕捉瞬态电流/电压波动；

无故障关联分析：叶片损伤与雷击事件难以建立因果链，故障根因分析缺失数据支撑；

损失扩大化：隐性损伤（如碳纤维叶片内部结构碳化）未被识别，导致二次断裂风险上升。

技术监督手段缺失

传统监测无法实现机组实时状态检修，在雷击后无法第一时间进行人为主动干预。

响应延迟：从雷击发生到故障确认平均耗时48-72小时，期间损伤持续恶化；

干预低效：需调度吊车、高空作业团队等重型资源，人力成本攀升至常规维护的3-5倍。

雷电监测领域

电力系统

输电线路和变电站等关键设施若遭遇雷击，可能引发线路跳闸、设备损坏，导致大面积停电，严重影响工业生产与居民生活，有效的雷电监测能提前预警，减少此类事故的发生。

航空航天领域

飞机和航天器在飞行或运行过程中遭遇雷击，可能损坏电子设备和通信系统，雷电监测可为航班调度和航天器发射提供决策依据。

建筑行业

高层建筑等易遭雷击，可能损坏设备甚至引发火灾，监测可保障其安全。

风电机组作为新能源领域的重要设施，同样面临着严峻的雷击挑战，且有着自身独特的特点和需求，因此开展风电机组雷电监测尤为必要。

雷电在线监测系统的作用



实时监测、及时干预
节省人工、减少停机 避免损失
扩大化



精准记录、数据支撑
风险评估、防雷设计
符合自身差异性

现状分析

运维流程繁琐且适应能力不足

人工操作复杂

需人工爬风机取卡读取，部分需寄回厂家，耗时且易造成卡片混淆。

安装环境制约

叶轮为金属半封闭装置，电磁屏蔽强，无线传输困难；轮毂无备用通讯通道。

安装固定困难

叶片、叶轮为独立运转体，采集器安装需严格固定。

防护等级要求高

轮毂内有油渍，采集器需高 IP 防护等级，适应复杂环境。

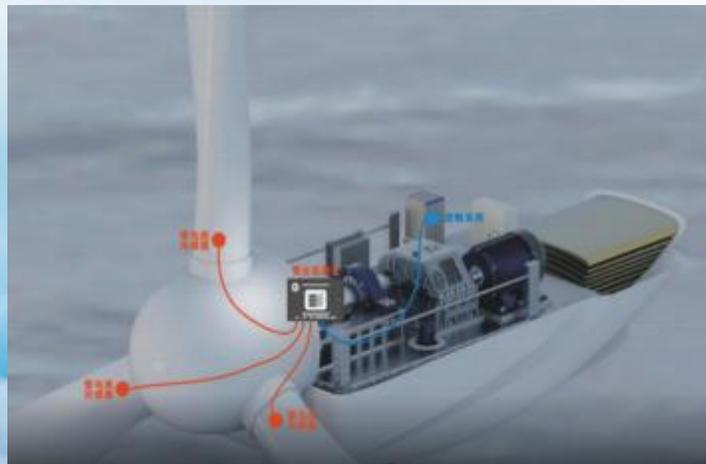
智能在线监测的意义

提升雷击事件响应效率

智能在线监测突破传统监测局限，实时捕捉雷击动态，实现雷击事件秒级响应，大幅提升故障处置效率，让电网应对雷击更敏捷。

优化运维模式

凭借多维度实时数据，为设备安全稳定运行筑牢数据基石，有效降低事故风险。推动风电场运维从“经验驱动”向“数据驱动”转型，加速管理智能化升级，让运维更精准、高效。



现有方法的局限性



缺乏实时监测手段

无瞬时数据捕获：雷击过程持续毫秒级，传统传感器无法捕捉瞬态电流/电压波动；
无故障关联分析：叶片损伤与雷击事件难以建立因果链，故障根因分析缺失数据支撑；
损失扩大化：隐性损伤（如碳纤维叶片内部结构碳化）未被识别，导致二次断裂风险上升。

技术监督手段缺失

传统监测无法实现机组实时状态检修，在雷击后无法第一时间进行人为主动干预。
响应延迟：从雷击发生到故障确认平均耗时48-72小时，期间损伤持续恶化；
干预低效：需调度吊车、高空作业团队等重型资源，人力成本攀升至常规维护的3-5倍。

工作流程

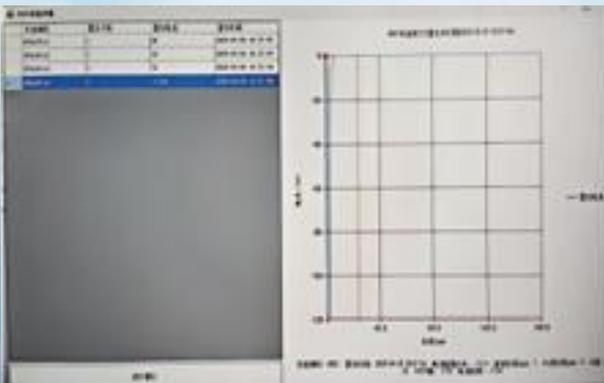
实时数据采集

雷击发生时，传感器实时采集雷电流峰值、时间等信息

机位号 ^①	雷击部位 ^②	雷击电流峰值 ^③	雷击时间 ^④	雷电极性 ^⑤
#1 ^⑥	3号叶片 ^⑦	-112.4KA ^⑧	2025-04-25 10:07:54 ^⑨	负极性 ^⑩
#3 ^⑥	3号叶片 ^⑦	1KA ^⑧	2025-04-25 10:08:07 ^⑨	正极性 ^⑩
#4 ^⑥	3号叶片 ^⑦	-127.8KA ^⑧	2025-04-25 10:07:59 ^⑨	负极性 ^⑩
#4 ^⑥	3号叶片 ^⑦	99.5KA ^⑧	2025.04.25 10:08:00 ^⑨	正极性 ^⑩
#4 ^⑥	3号叶片 ^⑦	-127.8KA ^⑧	2025.04.25 14:34:17 ^⑨	负极性 ^⑩

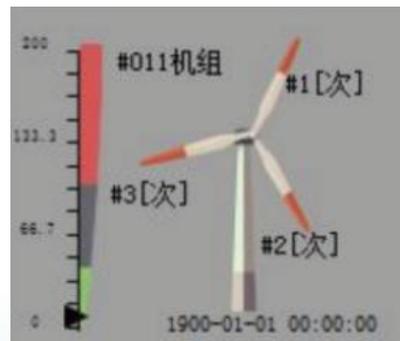
数据传输与处理

数据通过无线传输系统发送至后台服务器，软件系统分析处理数据。



精准定位与警报

软件系统精准定位雷击位置，触发警报机制，提醒工作人员及时干预。



实施价值

成本优化

节省时间成本：无需人工爬塔取卡、寄回厂家，实时上传数据。

降低人力成本：减少运维人员现场操作，提高管理效率。

效率提升

判断准确：完整记录雷击事件，数据更丰富精准。

响应及时：实时警报，工作人员可以第一时间干预，降低损失。

管理升级

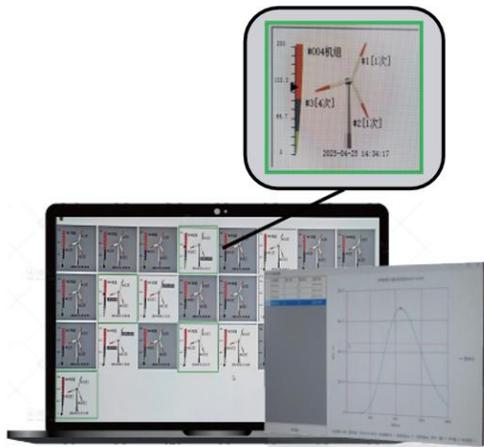
可靠数据支持：提供雷电流的整体分布和频率特性，为雷击事件事后分析、原因查找提供数据支撑。

实时状态检修：助力实现实时检修，提升风电场安全管理水平。

实际案例效果

2025-04-25 雷雨后
黑龙江某处风电场

数据齐全
定位精确



更及时
更精准

- 雷击时间
平均检测时间
- 叶片雷电流
测量误差
- 机组雷击时间
误报率
- 受雷击机组
检查时间

传统磁卡式雷电检测	智能雷电检测系统
—	≤2秒
±20%	±3%
—	2%
人工读取	≤2小时

根据雷击数据，检查叶片雷击情况

采用无人机对遭受雷击电流较大的风电机组叶片进行检查

2025-08-12
某风电场



无人机拍摄的#10风机，叶片#3图像，经检查叶片顶端出现缺口，存在雷击痕迹。

机组编码	雷击次数	雷击电流	雷击时间
006a010a1	1	32	2025-04-06 17:...
006a010a2	1	31	2025-04-06 17:...
006a010a3	1	31	2025-04-06 17:...
006a010a3	2	-1276	2025-04-05 10:...
006a010a3	3	-1276	2025-05-18 12:...
006a010a2	2	-30	2025-09-06 15:...
006a010a3	9	837	2025-08-06 15:...
006a010a3	4	-1125	2025-08-06 15:...
006a010a3	5	-1276	2025-08-06 15:...
006a010a3	6	962	2025-08-06 15:...
006a010a3	7	966	2025-08-06 15:...
006a010a3	8	-1183	2025-08-06 15:...

#10风机，叶片#3第二次雷击达到127.6 KA，此外还经过多次雷击。

2025-08-13
某风电场



无人机拍摄的#27风机，叶片#3图像，叶片上存在雷击点。

机组编码	雷击次数	雷击电流	雷击时间
004a027a1	1	34	2025-04-06 15:58:50
004a027a2	1	32	2025-04-06 15:58:50
004a027a3	1	31	2025-04-06 15:57:31
004a027a3	2	-1215	2025-04-07 15:18:23
004a027a3	3	-1138	2025-05-18 14:18:01
004a027a2	4	-11	2025-09-06 15:02:40

#27风机，叶片#3第二次，三次雷击分别达到了121.5 KA，110.8 KA。

安装现场实拍

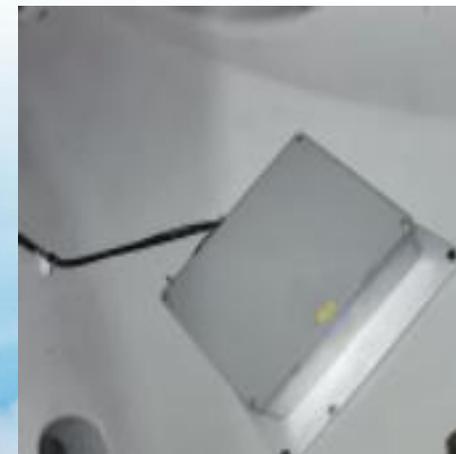
华锐风机1.5MW



上气风机2.0MW



远景风机2.0MW



实际案例效果

提升数据精度

优化传感器性能，记录更细节的雷击参数。

增强传输稳定性

研发更抗干扰的无线传输技术，适应更复杂环境。

融合大数据分析

结合历史雷击数据与叶片故障记录，建立故障预警模型。

无人机图像采集与损坏判别

利用无人机采集叶片图像，结合雷电监测数据判断叶片是否损坏。

多参数同步监测

将叶片的雷电监测、形变监测、振动监测同步，全面监测叶片健康。

应用场景延伸