



风电机组

智能雷电在线监测系统

电话：13911933897 | 地址：北京市朝阳区广顺北大街33号院

 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

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。

我国新增装机风轮直径和轮毂高度变化趋势



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



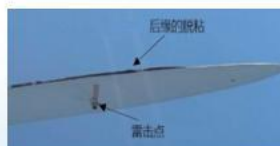
分层



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。

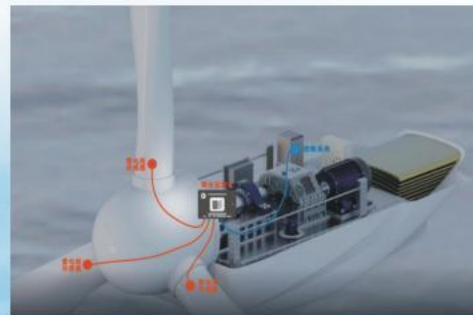
智能在线监测的意义

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

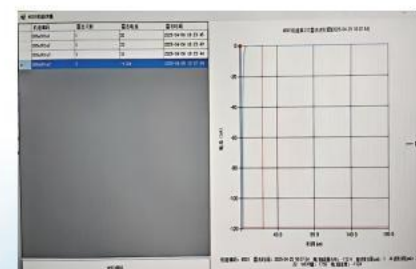
实时数据采集

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 ^①	3号叶片 ^②	-112.4KA ^③	2025-04-25 10:07:54 ^④	负极性 ^⑤
#3 ^①	3号叶片 ^②	1KA ^③	2025-04-25 10:08:07 ^④	正极性 ^⑤
#4 ^①	3号叶片 ^②	-127.8KA ^③	2025-04-25 10:07:59 ^④	负极性 ^⑤
#4 ^①	3号叶片 ^②	99.5KA ^③	2025.04.25 10:08:00 ^④	正极性 ^⑤
#4 ^①	3号叶片 ^②	-127.8KA ^③	2025.04.25 14:34:17 ^④	负极性 ^⑤

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。

关键技术

关键技术

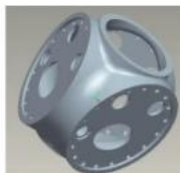
无线传输技术

挑战

叶轮金属半封闭环境的强电磁屏蔽、无备用通讯通道。

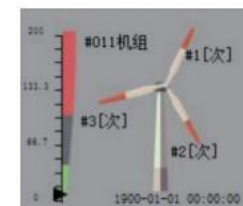
解决方案

采用抗电磁屏蔽性能强的传输设备，适配复杂电磁环境。



实时数据分析

快速处理雷击事件信息，实现精准定位。

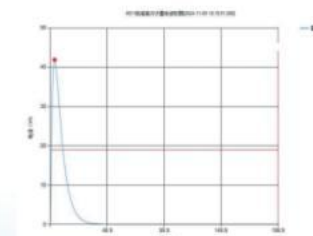


事件报表统计

雷电波形绘制

自动生成雷击记录，为事后分析提供数据支持。绘制雷电波形，及时触发提醒，助力快速响应。

12337	雷击次数	1	12337	雷击次数	1
12338	参数模式	3	12338	参数模式	3
12339	雷击峰值 (kA)	47.7	12339	雷击峰值 (kA)	46.3
12340	波头 (us)	90	12340	波头 (us)	85
12341	波尾 (us)	245	12341	波尾 (us)	240
12342	Q值 (As)	3.862	12342	Q值 (As)	3.862
12343	比能量 (A/C)	3.862	12343	比能量 (A/C)	3.862
12344	雷击 年	2034	12344	雷击 年	2034
12345	雷击 月	11	12345	雷击 月	11
12346	雷击 日	20	12346	雷击 日	20
12347	雷击 时	11	12347	雷击 时	11
12348	雷击 分	11	12348	雷击 分	11
12349	雷击 秒	7	12349	雷击 秒	7
12350	电流峰值 (kA/us)	45	12350	电流峰值 (kA/us)	44



采集器设计技术

安装固定

针对叶片、轮毂的独立运动，采用严格牢固的安装拉伸环连接。

解决方案

采用抗电磁屏蔽性能强的传输设备，适配复杂电磁环境。



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。

I 可实施性

智能雷电在线监测系统实施需要解决以下几个难题。

其一

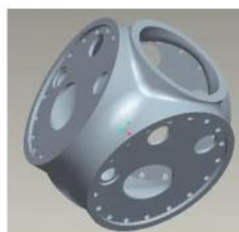
轮毂滑环没有可用备用通讯通道供雷电采集器使用，这就必须使得雷电传输系统具备无线传输能力；



无法提供备用通道

其二

轮毂处于金属半封闭装置，电磁屏蔽性能强，这就需采用抗电磁屏蔽性能强的传输设备；



金属半封闭状轮毂

其三

叶片、叶轮、机舱在机组运行时属于独立的运转体，不同位置不同角度相对运动，这就要求采集器的安装固定极为严格牢靠；



叶片、轮毂、机舱不同角度的独立运动

其四

轮毂内部时常有油渍产生，采集器需具备较高的 IP 防护等级。



复杂的轮毂内部布局

功能和方案介绍

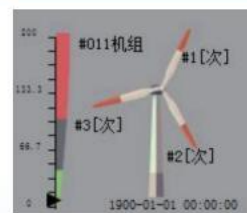
目前风电机组在遭受雷击之后无任何实时监测手段，当雷电击中风电机组后，现场运行人员无法有效地第一时间发现或者进行人为主动干预，进而使雷击事件造成的损失及影响扩大化。

相比于传统的监测手段所消耗的时间、人力成本及事件判断的准确性、及时性，风电机组智能雷电在线监测系统大大节省了时间、人力成本，并提高了判断事件的准确性和及时性，这使得处理问题的效率提高，从而也将雷击事件的影响及损失进一步降低，相当于为风电机组叶片安装上了一双“雷电的眼睛”。

硬件拓扑图如下：



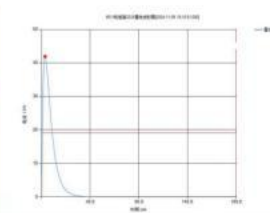
软件系统具备以下功能



每台机组雷击情况可视化画面信息实时显示、雷击发生后告警提示

12337	雷击次数	1	12337	雷击次数	1
12338	参数模式	3	12338	参数模式	3
12339	雷击峰值 (kA)	47.7	12339	雷击峰值 (kA)	46.3
12340	波头 (us)	90	12340	波头 (us)	85
12341	波尾 (us)	245	12341	波尾 (us)	240
12342	Q值 (A/s)	3382	12342	Q值 (A/s)	3222
12343	比能量 (kJ/C)	3382	12343	比能量 (kJ/C)	3222
12344	雷击 年	2024	12344	雷击 年	2024
12345	雷击 月	11	12345	雷击 月	11
12346	雷击 日	20	12346	雷击 日	20
12347	雷击 时	11	12347	雷击 时	11
12348	雷击 分	11	12348	雷击 分	11
12349	雷击 秒	7	12349	雷击 秒	7
12350	电流峰值 (kA/us)	45	12350	电流峰值 (kA/us)	44

事件报表统计



雷电波模拟波形绘制

实施方案介绍

智能雷电在线监测系统，需将雷电传感器安装在风机各个叶片上，当雷击事件发生时，传感器会将雷击事件信息传输至后台服务器，服务器后台软件进行数据分析处理。

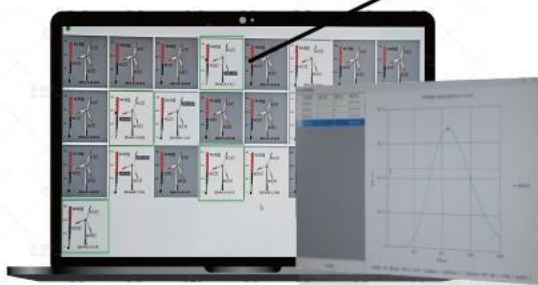
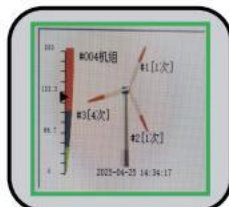
此套系统具备当雷击事件发生时总控制系统即可通过该监测系统所检测到的数据进行处理分析，从而具体确定哪一台风机哪一支叶片哪个时间段被雷击中，击中时雷电流峰值强度是多少。

当确定到具体叶片被击中时该系统还会发出警报做出提醒，从而可以使得工作人员更快的识别雷击事件机组，第一时间内进行人工干预，及时准确有效地做出下一步检查预防工作，进而使雷击事件造成的损失及影响降至最低。

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

±20%

人工读取

智能雷电检测系统

≤2秒

±3%

2%

≤2小时

13

实际案例效果

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
000a010a1	1	32	2025-04-06 17:...
000a010a2	1	31	2025-04-06 17:...
000a010a3	1	31	2025-04-06 17:...
000a010a3	2	-1276	2025-04-06 17:...
000a010a3	3	-1276	2025-05-18 12:...
000a010a2	2	-30	2025-08-06 15:...
000a010a3	9	837	2025-08-06 15:...
000a010a3	4	-1125	2025-08-06 15:...
000a010a3	5	-1276	2025-08-06 15:...
000a010a3	6	962	2025-08-06 15:...
000a010a3	7	966	2025-08-06 15:...
000a010a3	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，
叶片上疑似存在雷击点。

机组编码	雷击次数	雷击电流	雷击时间
000a027a1	1	34	2025-04-08 15:16:04
000a027a2	1	32	2025-04-08 15:16:09
000a027a3	1	31	2025-04-08 15:17:11
000a027a3	2	-1035	2025-04-07 15:18:23
000a027a3	3	-1000	2025-08-13 16:16:11
000a027a2	4	-11	2025-08-08 16:12:40

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

14

安装现场实拍

相关项目

华锐风机1.5MW



轮毂



机舱



塔基

上气风机2.0MW



轮毂



机舱



塔基

远景风机2.0MW



轮毂



机舱



塔基



东宁2台机组雷电智能监测改造项目



牡丹江2台机组雷电智能监测改造项目



齐齐哈尔2台机组雷电智能监测改造项目



东宁18台机组雷电智能监测改造项目



牡丹江18台机组雷电智能监测改造项目



齐齐哈尔18台机组雷电智能监测改造项目



哈尔滨1台机组雷电智能监测改造项目



哈尔滨5台机组雷电智能监测改造项目

技术提升方向

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