

# 风机并网柜环境监测模块集成应用研究

张树槿

大唐甘肃发电有限公司河西分公司 甘肃 酒泉 735000

**摘要：**针对风机并网柜运行过程中因为环境条件不利而出现断路器和接触器频繁出问题的现象，开展了环境监测模块的应用集成工作，在并网柜内增加环境监控主机一台、温度与温湿度采集从机各一台以及烟雾采集从机一台，可以达到对母排温度、柜内湿度和烟雾状态的在线监测，并且可以进行断路器的联动预警。本文针对15台华创CCWE1500-87的风机技改发现的方法具有可行性，监测模块可以将母排过热故障和接触器损坏率控制在正常范围之内，提高并网柜的正常运行时间与可用性。结论指出此方案能够提升风机的安全运行水平，为风电场以后的运维管理工作提供数字支持以及数字化改造的方案。

**关键词：**风机并网柜；环境监测模块；运行可靠性；技改工程

## 引言

风力发电机组并网运行时，其柜内的电气安全及环境适应性决定着机组自身工作性能的稳定及电网安全工作的稳定性。在长期运行过程中，由于受到外界温度、湿度以及母排过热，甚至烟雾等条件的影响，会造成断路器及接触器的触点粘连、过热损伤、频繁跳闸等状况，进而引发并网可靠性的减弱及维护费用的提高。随着风电场规模化的迅猛发展，需要将人工巡检模式转为人机结合或完全自动化巡检方式来对潜在故障因素进行实时监测并对其进行告警提示，风力发电机组并网柜环境监测模块的应用是提升整个机组的工作效率和保障人员身体健康的重要方法之一。

## 1 风机并网柜运行环境问题与改造背景

### 1.1 并网柜环境条件对设备故障的影响分析

并网柜是风电机组接入电网的关键部件，并且并网柜运行环境条件直接决定断路器、接触器、母排等关键部件的工作情况<sup>[1]</sup>。风电场往往处在温差大、湿度变化大的环境之中，甚至可能出现风沙较大的或者有盐雾的环境情况，如果柜体内没有有效的监测与控制手段，柜体内局部可能会出现温度高、湿度大等问题，造成电气绝缘降低。母排如果长期工作于满载电流条件下，则随着温度升高会导致母排的载流能力下降，如果铜排没有设计裕量，或者是散热不好时会烧毁变色。断路器和接触器为频率较高的电气设备，对环境较为敏感，触点在高湿或有粉尘的环境下容易发生氧化、磨损或粘连，从而出现跳闸、误动、延迟动作等，长久运行后容易造成设备使用寿命降低、故障率增加、可能出现柜内电气着火现象，严重危害风机安全运行。

### 1.2 并网柜改造工程的实施背景

华创CCWE1500-87型风机在运行过程中存在较多断路器动作延时、接触器触头粘连和母排过热等故障，个别机组还存在柜内不能散热导致断路器烧毁的现象。以上这些问题均是由并网柜长期服役后环境适应性不足、原铜排设计截面积偏小不能满足长期满发电流的过载能力引起的，导致自身过热隐患进一步加重。现场多次检修记录中也显示其绝缘性能、动作可靠性等性能接近寿命上限值，故障频发也给运维工作带来额外的压力和损失。面对风电场规模化发展的要求，仅通过简单更换零部件是无法解决环境和设备相互作用所形成的系统问题，所以此次针对断路器、接触器进行更换的同时开展相应的环境监测模块化集成改造。在柜体内布置软、硬件结合的手段实现柜内环境参数的采集和智能分析，并且建立柜体内的主动预警机制来从根源上减少由于柜内环境恶劣造成的电气设备故障风险，保证机组可利用率以及电网并网稳定性的提升。

### 1.3 并网柜运行环境监测的必要性

并网柜的运行环境非常复杂，环境监测是并网柜设备的一个辅助设施，但也是精细化运维和预防性控制的重要一环<sup>[2]</sup>。传统的巡检模式主要靠人巡检，在时间上是固定的、有局限性的，并不能及时准确掌握柜内的温湿度情况和母排温度的变化情况，在没有发生故障前，并不能采取一些办法来防范，若风电场安装量及运行量增大，一台设备出现问题会导致整个风机系统不稳定以及整个风电场机组收益出现大量损失。同时，在并网柜上布置温湿度采集、烟雾探测等模块，可以持续采集并网柜内的关键环境信息，利用数据传输及控制逻辑来实现联动控制功能，在发现回路有异常趋势后进行断路操作，阻止事故发生进一步扩大。从而降低过热、绝缘击

穿、火灾的发生概率，并能够给运维人员提供相关数据和故障发展情况的趋势分析，逐步改变运维事后抢修到事前维修的模式。风电场运行环境监测的建立有助于提高设备的可靠性、生命周期管理水平，也符合智能风电及数字化电网的发展方向，同时也是实现风电场安全、经济、高效运行的技术支撑。

## 2 环境监测模块的集成路径与实施要点

### 2.1 并网柜环境监测模块的功能定位

设计定位为一种柜体内运行环境全方位感知、全时段采集、智能化联动控制的并网柜环境监测平台。以环境监控主机为核心，并通过温度采集、温湿度采集、烟雾采集等从机组合成系统，可监测母排的工作温度、柜内空气湿度、环境温度、有无火灾隐患点。除单纯的采集某个点的参数外，可以进行大数据分析、趋势判断，为运维人员及时提供设备当前运行情况与预警信号，在达到某数值时与断路器联动切断电源，可形成主动的预防措施，将设备提前故障预测机制转移至报警区间之内。有效避免因温升过高、湿度聚集、局部出现烟雾造成断路器损坏、接触器粘连、母排过载等情况发生。具体框架如下图1所示。

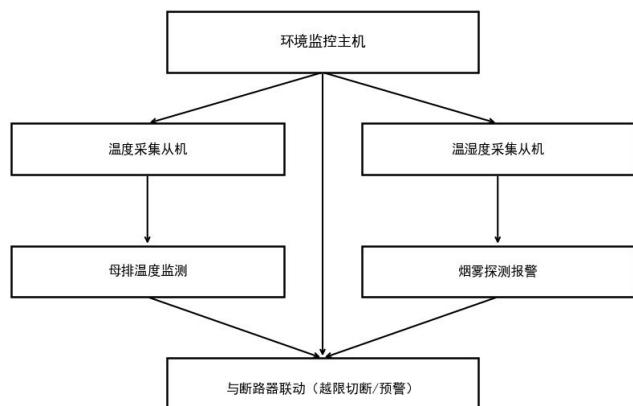


图1 并网柜环境监测模块功能框架图

### 2.2 环境监测模块在并网柜改造中的集成方法

将环境监测模块集成到并网柜的软硬件协同改造工程项目当中，需要在完成电气元器件更新与数据采集装置的安装工作之后才能开展<sup>[3]</sup>。在对环境监测模块进行改造时要保证电气安全，其监控主机一般会安装在并网柜电气导轨处，与现有系统有相应的隔离保护措施且可以保证和断路器在一定的限度之内进行联动。温度采集从机被固定在断路器母排表面的关键位置上，并且通过对多点测温来实现对于负载、发热的趋势进行分析。温湿度采集从机要放在柜体的中间位置处，对环境状态有一个较好的反映作用。烟雾采集从机则布置在柜顶，能够及时地检测出早期火灾的状况。所有的电气接线均严格

按照改造图纸来做，并且要严格遵守强弱电要分开，屏蔽线要接地等原则，以防产生误触发现象。当系统完成所有硬件安装后，利用软件进行配置设置温度、湿度、烟雾信号值以及警报设置程序，使得环境监测信号、温湿度信号、烟雾信号和断路器的动作形成闭环，使环境监测模块由辅助设备上升成为与断路器、接触器并列组成的并网柜电气运行的安全防护系统，在运行过程中只要出现故障就可以在毫秒级的时间内做出动作，防止故障扩散。

### 2.3 模块运行数据在运维管理中的应用

环境监测模块产生的数据，不仅可以用于事故防护，还可以在风电场运维管理方面发挥重要作用。通过长时间记录母排温度曲线，柜内湿度波动，以及烟雾报警的历史数据，就可以将设备运行的状态进行记录，从而发现退化的可能，失效的情况。运维人员可以根据实际情况来进行一些预测性的维护，当发现母排温度上升速度异常时就可以提前进行相应的处理，这样就不会因为过热的情况引起断路器的烧毁或者接触器的粘连情况。对于风电场整个运行管理来说，模块的数据是可以对接到上位的监控系统中去，这样可以对多台风机并网柜的状态进行集中监控并统一调度，在通过数据的融合之后，利用大数据建模和人工智能算法可以判断出一些异常的运行规律，根据其来优化相应的巡检频率和维修计划。与原来的人工巡查相比，这种模式节省了很多人力上的开销以及对应的停机损失，使得风电机组能以更高的效率运行，同时也有助于提高电网接入的稳定性。而且在经过长时间的数据累积之后还可以用来作为未来新机组设计、运维策略改良的参考范例，达到数据驱动风电设备进行全寿命周期管理的目的，推动风电实现智能化风电场及数字化电网建设的目标。

## 3 集成应用效果与运行管理价值

### 3.1 环境监测对并网柜运行可靠性的提升

并网柜承担风力发电机组运行过程中风机的电气保护与并网控制功能，直接影响到机组可利用时间及电网接入的安全<sup>[4]</sup>。运行环境是造成并网柜故障的主要原因之一，长时间处于高母排长时大电流传输加之散热不良造成母排严重过热引起载流量变小，继而产生绝缘破坏和器件损坏。由于加装环境监测模块，在对母排、柜体中部、上部三个位置多点设置测温、测湿、测烟传感器，并网柜就可实现温度、湿度和烟雾的实时监测并可以主动诊断、主动保护自身。当出现过载后，温度超过预先设定阈值时，装置可以通过输出控制接点自动断开相应的断路器；当温度达到一定的程度时，系统还将联动作

的触发报警信号输出。当发生湿度、烟雾报警时，表明柜体内可能存在凝露、起火等异常现象。

### 3.2 环境监测模块在运维管理中的价值

除了提高并网柜瞬时防护水平外，还利用运行数据累计分析为运维管理服务。以往运维主要是靠人工巡检，定期维修，很容易造成信息滞后，发生隐患漏检，无法及时发现故障，但是如果利用好环境监测模块，能

将一些重要的运行参数实时地上传至上位机或者是集中监控平台里面，通过一种数据化、有据可循的一种形式来进行运维，形成一套从被动抢修到预测性的维护的一种机制，在此风电场开展了改造了15台风创CCWE1500-87机组，在安装环境监测模块前后对两者运维数据分别进行了对比分析，能十分清楚地看到其应用价值，具体的数据统计如表1所示。

表1 并网柜安装环境监测模块前后运维数据对比

指标项	改造前(人工巡检)	改造后(模块监测)	变化幅度
年均电气故障率(次/台)	3.2	1.1	降低65.6%
平均停机时长(h/次)	5.4	1.7	缩短68.5%
母排温度超限事件(次/年)	14	3	降低78.6%
平均检修周期(天/次)	45	85	延长88.9%
运维人工成本(万元/年)	28	17	降低39.3%

由表可知，接入环境监测模块后，电气回路的电气故障及停机次数均明显下降，母排过热次数也呈减少趋势，检修周期增长、运维成本减小。从上面的数量关系可知，接入环境监测模块后，电风机会给风机的安全运行带来正向的影响，更有利于提高风电场经济效益及运维效率，体现出了数据导向性带来的社会效益。其在运维方面的应用为风电运维体系科学化决策提供了有效的参考数据。

### 3.3 工程实践中的集成应用经验总结

在风电场技改过程中对于环境监测模块集成的相关经验积累很有价值，它能够在后期更广泛的应用场景当中得到推广<sup>[5]</sup>。而且技改中发现其硬件安装和电气接线都应当执行强弱电分开布线和屏蔽地线要求，否则将造成传感器信号被干扰，从而引发断路器误跳闸，经过以上所述后布置更加合理的线路及改进传感器位置能使信号更加稳定。改造时使用母选型和加温贴片等优化手段在断路器和接触器更换后能提升数据采集精确度及柜体散热可靠程度，在实际运维中可以依据采集数据的异常报警为数据记录该设备的运行状态，并能够依靠趋势分析提前知道某些可能发生的问题，让维修人员可以有针对性的做好检修计划工作。特别是几台风机并网柜的数据汇总在一起，也可为整个风电场运维大数据分析以及人工智能分析做准备，让风机的整体运维方式从过去的经验运维转到数据运维上。从这些工程实施的结果来看，项目是否成功主要取决于改造方案设计科学、施工细节严谨、测试验证齐全，环境监测模块后期需要参照

这些经验来进行更大范围的应用。

## 4 结论

风机并网柜因运行时间过长存在温湿度高、粉尘多等问题，在长期运行过程中常会出现断路器延时动作、接触器粘连、母排过热等问题。把环境监测模块加入改造环节中，构成在线监测与联动控制系统，使整个柜体具有主动防护和自我诊断功能。监测的数据在运维阶段能够有效的降低故障率、停机时间，提升了检修效率以及提高了设备使用率，有很大的经济效益和安全价值。工程证明环境监测+电气防护的一体化设计方法可行，在风电场运维管理中可以利用这些数据走一条数据驱动的风电场运维管理的新道路，在风电设备智能化改造中是一个可复制的经验。该研究表明，把环境监测装置应用到并网柜改造上是提高风电场安全运行及降本增效的一种重要手段。

## 参考文献

- [1]蔡柳萍,陈惠红.基于物联网的分布式环境监测平台的设计与实现[J].电脑编程技巧与维护,2025,(06):14-16+27.
- [2]李思尧,董章,陈雅旎,等.电缆沟管井综合环境监测系统设计[J].电工材料,2025,(03):58-62.
- [3]董俊,钟冰清,郑靖,等.基于LoRa的景区环境监测与预警系统设计[J].现代信息科技,2025,9(11):193-198.
- [4]金冠宇.基于嵌入式设备的冬季轨道环境信息监测系统设计[D].大连交通大学,2025.
- [5]黄艺.一种基于无线传感网络的生猪养殖基地的环境监控系统设计[J].工业计量,2025,35(03):60-63.