

双通讯回路在机组通讯中断后主动偏航侧风的研究

张晏宁

大唐景泰风电有限责任公司甘肃景泰 甘肃白银 730400

摘要: 随着全球对清洁能源需求的不断增长,风力发电作为一种重要的可再生能源利用方式,得到了广泛的发展。然而,风电机组在运行过程中面临着诸多安全挑战,其中超速问题可能引发严重的事故。本文深入研究双通讯回路在风电机组通讯中断后主动偏航侧风技术,分析超速的原因及危害,详细阐述主动偏航侧风系统的工作原理、关键技术以及控制策略,并通过实际案例验证其有效性。旨在为提高风电机组运行安全性、稳定性提供理论支持与实践参考,推动风力发电行业的可持续发展。

关键词: 双通讯回路; 风电机组; 超速; 主动偏航侧风; 安全运行

1 引言

在全球能源转型的大背景下,风力发电凭借其清洁、可再生等优势,成为能源领域发展的重点方向。近年来,风电机组的装机容量持续攀升,单机功率不断增大,风电场的规模也日益扩大。然而,随着风电机组数量的增加和运行时间的增长,各种运行故障和安全问题逐渐显现。

风电机组超速是一种极为危险的故障状态。当风电机组出现超速时,若不能及时有效控制,可能导致叶片断裂、主轴损坏、齿轮箱故障、发电机烧毁等严重后果,甚至引发风电机组倒塔,不仅造成巨大的经济损失,还可能危及人员生命安全。例如,在2016年2月16日,河北乌金山风电场110号风机因风电机组超速失控,导致一台风机倒塔,直接经济损失高达上千万元。因此,如何有效预防和应对风电机组超速问题,成为风力发电领域亟待解决的关键课题。

双通讯回路主动偏航侧风技术作为一种重要的应对风电机组超速的手段,通过在机组超速时自动调整机舱对风方向,使叶轮与风向夹角增大,从而减少风能的捕获,降低叶轮转速,达到控制机组超速的目的。深入研究风电机组双通讯回路主动偏航侧风技术,对于提高风电机组的安全性和可靠性,保障风力发电系统的稳定运行,具有重要的现实意义。

2 风电机组超速原因及危害分析

2.1 超速原因分析

2.1.1 变桨系统故障

变桨系统是风电机组控制叶片桨距角的关键部件,其主要作用是通过调整叶片桨距角,控制风电机组捕获的风

能,从而实现对机组转速和功率的调节。当变桨系统出现故障时,如桨叶卡涩、变桨电机故障、变桨控制系统通讯异常等,可能导致叶片无法及时顺桨,风电机组捕获的风能持续增加,进而引发机组超速。

2.1.2 控制系统故障

风电机组的控制系统负责协调各个部件的运行,实现对机组的整体控制。当控制系统出现故障时,如控制器死机、软件程序错误、硬件电路故障等,可能导致机组无法按照预定的控制策略运行,无法及时对机组超速情况做出响应,从而使机组转速不断上升。

2.1.3 电网故障

电网故障也是导致风电机组超速的一个重要原因。当电网发生故障时,如电压骤降、频率异常、电网停电等,风电机组可能无法正常向电网输送电能,导致机组负载突然减小。在这种情况下,如果机组的控制系统不能及时调整叶片桨距角或采取其他控制措施,机组捕获的风能将无法被有效消耗,从而使机组转速迅速上升,引发机组叶轮超速飞车。

2.2 超速危害分析

2.2.1 部件损坏

风电机组超速运行时,叶轮、主轴、齿轮箱、发电机等部件承受的机械应力和离心力将大幅增加。当这些应力超过部件的设计承受能力时,可能导致部件损坏。例如,叶轮叶片在高速旋转时,若承受过大的离心力,可能会出现叶片根部开裂、折断等情况;主轴在超速时可能发生弯曲变形,甚至断裂;齿轮箱中的齿轮在高速重载下,可能出现齿面磨

损、疲劳剥落、断齿等故障；发电机在超速运行时，可能导致定子绕组绝缘损坏、转子失磁等问题，严重影响发电机的正常运行。

2.2.2 机组倒塔

风电机组超速失控后，若不能及时采取有效的控制措施，机组的稳定性将受到严重影响，可能引发机组倒塔事故。倒塔事故不仅会造成风电机组自身的严重损坏，还可能对周围的设施和人员造成巨大的危害。

2.2.3 人员伤亡

风电机组超速引发的部件损坏和机组倒塔等事故，极有可能造成现场人员伤亡。在风电机组运行维护过程中，工作人员可能在塔筒内、机舱内或风机周围进行作业，当机组发生超速事故时，高速旋转的部件、倒塌的塔筒等都可能对工作人员造成致命伤害。

3 风电机组主动偏航侧风系统工作原理

3.1 系统组成

风电机组双通讯回路主动偏航侧风系统主要由风向测量装置、偏航控制器、应急偏航控制盒、偏航驱动装置等部分组成。

风向测量装置采用原风速风向仪装置，用于实时测量风向，并传输给偏航控制器和应急偏航控制盒。偏航控制器是主动偏航侧风系统的核心部件，它接收来自风速风向仪的风向信号、机组控制系统的转速信号以及其他相关传感器信号，根据预设的控制策略，计算出偏航角度，并向偏航驱动装置发出控制指令。偏航驱动装置一般由偏航电机、减速器、偏航齿圈等组成，它根据偏航控制器的指令，驱动机舱围绕塔筒进行旋转，实现偏航动作。

3.2 工作流程

当风电机组正常运行时，风向测量装置实时监测风向，并将风向信号传输给偏航控制器和应急偏航控制盒。偏航控制器根据当前风向与机舱初始位置的夹角，判断是否需要进行偏航操作。若夹角超过预设的阈值，偏航控制器启动偏航驱动装置，使机舱缓慢转向风向。在偏航过程中，偏航控制器不断接收风向测量装置反馈的风向信号，实时调整偏航角度和速度，确保机舱能够准确对准风向。当机舱与风向的夹角达到设定的允许误差范围内时，偏航控制器发出制动指令，偏航制动装置动作，使机舱停止转动，完成一次正常的对风偏航操作。

当风电机组出现超速情况时，偏航控制器接收到超速信号后，立即启动双通讯回路主动偏航侧风。此时，偏航控制器根据风向信号和机组当前位置，计算出最佳的偏航方向和角度，以尽快使叶轮与风向夹角增大，减少风能捕获。偏航控制器向偏航驱动装置发出指令，驱动机舱快速向预定的方向偏航。在偏航过程中，双通讯回路主动偏航侧风系统持续监测机组转速和机舱偏航角度。当机组转速下降到安全范围内或机舱偏航角度达到预设的最大值时，偏航控制器发出制动指令，停止偏航动作，完成双通讯回路主动偏航侧风操作。

4 风电机组双通讯回路主动偏航侧风控制策略

4.1 超速检测方法

准确检测风电机组是否超速是启动双通讯回路主动偏航侧风系统的前提。基于传感器测量的超速检测方法是通过安装在风电机组叶轮、主轴或发电机等部位的转速传感器，实时测量机组的转速，并将测量值与预设的超速阈值进行比较。若测量值超过阈值，则判断机组发生超速。这种方法简单直接，检测结果较为准确，但转速传感器可能会受到振动、电磁干扰等因素的影响，导致测量误差。为了提高检测的可靠性，通常采用多个转速传感器进行冗余测量，并对传感器数据进行滤波处理。

4.2 主动偏航侧风启动条件

为了确保双通讯回路主动偏航侧风系统在合适的时机启动，需要合理设置主动偏航侧风启动条件。一般来说，考虑到机组有两种状况：PLC 可控状况和 PLC 不可控状况，因此对这两种状况分别有不同的控制策略及方法，即 PLC 可控时利用 PLC 对机组进行控制，PLC 不可控时，通过新增的应急偏航控制盒对机组进行控制，以达到实现主动偏航防超速功能的目的。

4.2.1 PLC 可控状态

4.2.1.1 启动描述

当机组 PLC 控制器正常时，此机 PLC 与各系统通讯正常，因此机组可以通过主控控制各系统以实现紧急偏航；

4.2.1.2 逻辑启动流程

1) 根据不同超速转速（发电机转速和轮毂转速二者的最大值）启动偏航侧风逻辑；或根据轮毂超速转速（可使用原滑环编码器脉冲或增加独立轮毂转速测量脉冲）启动偏航侧风逻辑；

2) 启动偏航时, 考虑风向、机舱位置、扭缆位置等因素, 选取最优左偏或右偏路线, 避免扭缆的同时, 最快的偏离主风向;

3) 完成 90 度侧风以后, 实时监测风向变化, 调整机舱位置, 使机舱与主风向保持 90 度偏差;

4) 可人工干预, 偏航过程中可以手动停止。

4.2.2 PLC 不可控状态

4.2.2.1 启动描述

若机组 PLC 死机, 则机组 PLC 已经无法发出命令, 因此通过新增的应急偏航控制盒来实现机组紧急偏航功能。

4.2.2.2 逻辑启动流程

1) 当 PLC 死机时, 控制盒检测不到心跳信号; 采用与主控控制一致的控制逻辑, 独立控制偏航系统, 使机舱背离主风向;

2) 根据不同超速转速(发电机转速和轮毂转速二者最大值)启动偏航侧风逻辑; 或根据轮毂超速转速(可使用原滑环编码器脉冲或增加独立轮毂转速测量脉冲)启动偏航侧风逻辑;

3) 启动偏航时, 考虑风向、机舱位置、扭缆位置等因素, 选取最优左偏或右偏路线, 避免扭缆的同时, 最快的偏离主风向;

4) 完成侧风 90 度以后, 实时监测风向变化, 调整机舱位置, 使机舱与主风向保持 90 度偏差;

5) 可人工干预, 偏航过程中可以手动停止。

4.3 关键硬件选型与设计

根据主动偏航侧风启动条件, PLC 不可控时由应急偏航控制盒来执行主动偏航侧风。应急偏航控制盒核心 CPU 采用高性能控制器, 具备快速运算能力和丰富硬件接口;

外部输入包括风向、转速、PLC 心跳信号等信息。

4.3.1 智能紧急偏航控制盒接口规格

序号接口备注

序号	接口	备注
1	DI*8	8 路数字量输入信号
2	DO*4	4 路数字量输出信号
3	通讯协议	CAN 或 Modbus
4	通讯接口	RS485 或 RS232
5	Flash 闪存	SPI2 功能口;

4.3.2 智能紧急偏航控制盒外围设备

智能紧急偏航控制盒外围信号全部来自风机原有设备, 主要包括:

1) 风速仪, 风速风向信号, 通过 RS485 通讯接入智能控制盒;

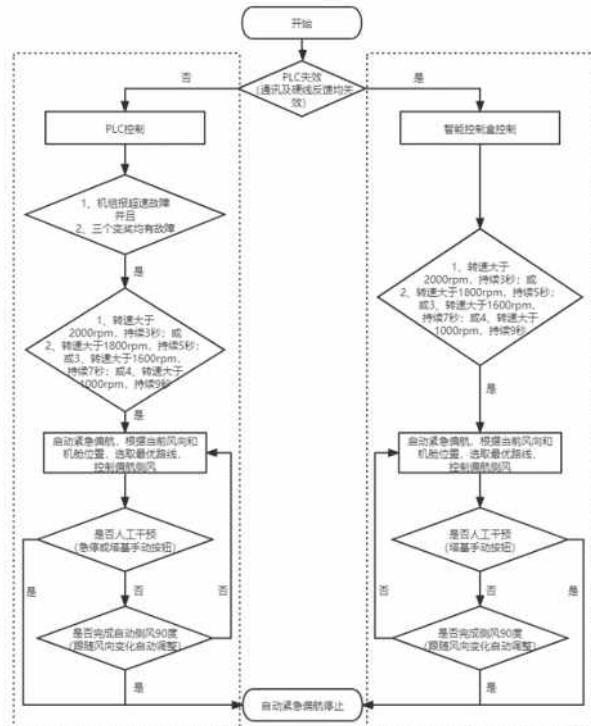
2) 滑环编码器, 轮毂转速信号, 通过 DI 点接入智能控制盒;

3) 偏航凸轮编码器, 机舱位置信号, 通过 DI 接入智能控制盒;

4) PLC 死机信号, 通过 DI 接入智能控制盒;

5) 智能紧急偏航控制盒通过继电器控制偏航动作, 当需要紧急偏航时, 通过 DO 点控制继电器, 使偏航启动。

4.4 偏航方向与角度控制



在启动双通讯回路主动偏航侧风系统后, 合理控制偏航方向和角度对于快速降低机组转速至关重要。偏航方向的选择应根据当前风向和机组位置来确定, 以确保机舱能够尽快偏离主风向, 减少风能捕获。一般来说, 偏航方向可选择顺时针或逆时针方向, 具体选择取决于机组的初始位置和风向变化情况。通常, 偏航角度可设置在 $60^\circ - 90^\circ$ 之间, 当机舱偏航至该角度范围且机组转速下降到安全范围内时, 停止偏航动作。

5 双通讯回路主动偏航侧风系统的测试与验证

将双通讯回路主动偏航侧风系统安装在实际运行的风电机组上进行现场测试。选择一台具有代表性的风电机组，在不影响机组正常运行的前提下，对主动偏航侧风系统进行安装和调试。在现场测试过程中，实时监测机组的运行数据，包括转速、风向等，以及主动偏航侧风系统的工作状态。通过修改叶轮转速保护限定值的方式，分析主动偏航侧风系统在真实风况和机组运行条件下的性能表现，评估系统对机组安全性和稳定性的提升效果。同时，对现场测试过程中出现的问题及时进行记录和分析，提出改进措施，进一步完善系统的性能。

通过现场实际运行测试，对双通讯回路主动偏航侧风系统的测试结果进行详细分析与评估。从测试数据来看，该系统在超速判断方面具有较高的准确性，能够及时准确地识别机组的超速故障，并迅速启动机组主动偏航侧风。机组能够根据实际情况选择最佳的偏航方向，使机舱快速稳定地达到侧风位置，有效降低了叶轮转速，避免了叶轮超速事故的发生。在现场实际运行测试中，系统与风电机组的兼容性良好，未对机组的正常运行产生不良影响。通过对多台风电机组的长期监测，验证了主动偏航侧风系统在提高风电机组安全性和可靠性方面的有效性，达到了预期的设计目标。

6 结论

本文针对风电机组超速问题，深入研究了双通讯回路主动偏航侧风系统。通过对风电机组超速的危害与原因分析，明确了主动偏航侧风系统在保障机组安全运行中的重要作用。详细阐述了偏航系统的工作原理，包括正常运行时的偏航控制策略以及双通讯回路主动偏航侧风的触发条件与控制逻辑。在此基础上，设计了一套完整的双通讯回路主动偏航侧风系统，包括系统总体架构、关键硬件选型与设计以及软件算法设计。通过实验室模拟测试和现场实际运行测试，对系统的性能进行了全面验证，测试结果表明该系统能够准确判断超速故障，快速有效地启动主动偏航侧风，使风电机组在超速情况下迅速恢复到安全运行状态，显著提高了风电机组的安全性和可靠性。

参考文献：

- [1] 李力森 . 基于主动偏航侧风控制的风电机组防飞车方法研究 [J]. 工程科技 ,2022.
- [2] 张英 风力发电机组主动偏航系统 [J]. 兵工自动化 ,2011.

作者简介：张晏宁 (1997-) , 男 , 汉族 , 甘肃省景泰县 , 大学本科 , 大唐景泰风电有限责任公司 , 助理工程师 , 研究方向 , 风电运维。