

海上风电电气二次系统故障诊断与排除

李晓龙

广东华电福新阳江海上风电有限公司 广东 阳江 529525

摘要：海上风电电气二次系统故障诊断与排除对于保障风电项目稳定运行至关重要。该系统故障多样，包括电流互感器二次开路、电压互感器二次短路及多点接地等，需利用先进的监测技术和数据分析工具进行实时监测，快速准确地诊断与定位。同时，制定科学合理的检修计划和紧急维护预案，针对不同故障分级处理，确保故障得到及时有效排除，最大限度减少对项目运行的影响，保障海上风电项目的可靠性和高效性。

关键词：海上风电；电气二次系统；故障诊断；排除

引言：随着海上风电技术的迅猛发展，电气二次系统在风电场运维中的重要性日益凸显。然而，复杂的海洋环境和高度集成的系统特性给电气二次系统的稳定运行带来了诸多挑战。为确保风电场高效、安全地运行，对电气二次系统的故障诊断与排除进行深入研究显得尤为重要。本文旨在探讨有效的故障诊断方法与排除策略，为海上风电运维提供技术支持，推动海上风电行业的持续健康发展。

1 海上风电电气二次系统概述

1.1 海上风电电气二次系统的组成和功能

海上风电电气二次系统主要包括保护、监控、通信、自动控制和检测计量等设备。保护系统负责监测设备的运行状态，一旦发现故障或异常，能够迅速切除故障部分，并发出警报。监控系统则提供关于系统状态的实时信息，确保电力系统的稳定运行。通信系统为自动化设备提供数据传输通道，并负责相关设备的维护和管理。自动控制系统通过执行既定指令来实现某一目标，优化设备的运行状况。检测计量系统专注于监测一次设备的运行数据，为电量结算和节能分析提供准确的数据支持。

1.2 海上风电电气二次系统的特点和工作环境

海上风电电气二次系统具有高度的集成性和智能化特点，各组成部分之间紧密协作，形成一个高效、稳定的整体。然而，其工作环境却极为恶劣，不仅要承受高盐雾、强腐蚀、强振动等海洋环境的考验，还要面对极端天气如台风、暴雨等的冲击。因此，海上风电电气二次系统在设计、制造、安装和维护等方面，都需要充分考虑海洋环境的特殊性，以确保其长期、稳定运行。

1.3 海上风电电气二次系统常见故障的类型和原因

海上风电电气二次系统的常见故障类型包括软件故障、硬件故障、通信故障和电源故障等。软件故障可能

由于程序错误或病毒感染引起，导致监控系统出错或报警。硬件故障则可能由于设备老化、元件损坏或外部环境因素影响导致。通信故障可能由于网线松动、网络故障或远传数据异常引起。电源故障可能由于电源异常或电源设备故障导致。这些故障会影响系统的正常运行，严重时可能导致系统瘫痪，因此需要及时进行检测和维修。

2 海上风电电气二次系统故障诊断方法

2.1 传统故障诊断方法

(1) 基于经验的诊断方法。基于经验的诊断方法主要依赖技术人员对系统历史故障数据的积累和分析，通过类比推理和经验判断来定位故障。这种方法适用于一些常见且易于识别的故障，例如电气连接不良、继电器误动作等。然而，它高度依赖于技术人员的个人经验和知识，缺乏系统性和准确性，对于复杂或未知的故障难以有效应对。(2) 基于热力参数的分析方法。热力参数分析方法通过监测电气二次系统中的温度、电流、电压等热力参数，分析其变化趋势和异常值来诊断故障。例如，通过温度传感器实时检测关键电力电子元件的温度，可以及时发现电气劣化和故障^[1]。(3) 基于振动信号的分析方法。振动信号分析通过加速度传感器采集断路器操动机构、传动杆等机械部件的振动信号，利用短时傅里叶变换（STFT）提取时频特征，或通过小波包分解（WPD）识别机械卡涩、弹簧失效等故障。例如，分合闸振动波形的峰值幅值变化可反映缓冲器状态，而高频分量异常可能预示螺栓松动。该方法对机械故障敏感，但需考虑电磁干扰及安装位置对信号的影响，适合与线圈电流分析配合使用，提升诊断精度。

2.2 现代故障诊断技术

(1) 基于信号处理的方法。现代信号处理方法如频谱分析法、信息融合法、小波变化法等，能够对复杂的信号进行高效处理，提取出故障特征。频谱分析法可

以揭示信号的频率成分,帮助识别不同类型的故障;信息融合法则通过整合多种传感器信息,提高故障诊断的准确性和可靠性;小波变化法则适用于非平稳信号的分析,能够捕捉到故障发生的瞬间特征。(2)基于神经网络的方法。神经网络方法利用人工神经网络模拟人脑的学习过程,通过训练大量故障样本数据,使网络具备故障识别能力。这种方法能够自动提取故障特征,适应性强且诊断准确率高。然而,其诊断效果高度依赖于训练数据的质量和数量,且网络结构的优化和调参过程较为复杂^[2]。(3)基于模型的故障诊断方法。基于模型的故障诊断方法通过建立系统的物理或数学模型,模拟系统的运行状态,通过比较实际运行数据与模型预测数据的差异来诊断故障。这种方法能够深入揭示故障的机理和原因,但需要高精度的模型和大量的参数调试工作。此外,对于复杂的海上风电电气二次系统,建立完整的模型可能面临较大挑战。

2.3 故障诊断方法的比较和选择

(1)不同故障诊断方法优缺点分析。传统方法简单直观,面对复杂或新型故障时诊断精度欠佳。基于热力参数的方法,监测系统过热、过载故障效果好,但对机械部件故障监测能力有限。基于振动信号的方法,能有效监测机械部件磨损、松动,却难以检测电气故障。基于信号处理的方法,在处理复杂信号、提取故障特征上优势明显,不过需大量信号处理知识与算法支持。基于神经网络的方法,擅长处理非线性、复杂系统故障,然而模型建立与训练需大量数据和计算资源。基于模型的方法,在处理有明确物理意义的系统故障时表现出色,但要求精确系统模型和实时运行数据。(2)海上风电电气二次系统适用方法。鉴于海上风电电气二次系统的特点与工作环境,建议采用综合故障诊断法。先运用基于信号处理的方法对系统信号预处理、提取关键故障特征,再结合基于神经网络或模型的方法,分析特征参数,实现故障诊断与定位。同时,借助传统方法的经验和知识,验证、修正诊断结果,以此提升故障诊断的准确性与可靠性,保障系统稳定运行。

3 海上风电电气二次系统常见故障排除策略

3.1 发电机组控制系统故障排除

(1)控制模块故障。发电机组控制系统中的控制模块是实现自动化控制与监测的关键部件。一旦出现故障,可能导致发电机组无法正常启动、停机或调节功率。对于这类故障,首先应检查控制模块的供电电压是否正常,确保电源的稳定性。其次,通过专用软件或工具检查控制模块的程序是否正常运行,是否存在程序错

乱或死机现象。若确认控制模块硬件故障,应尽快更换故障模块,并确保新模块的程序版本与现场其他设备兼容。(2)传感器故障。传感器在发电机组控制系统中起着反馈关键参数的作用,如温度、压力、转速等。传感器故障可能导致系统误判或保护动作不当。针对传感器故障,首先应检查传感器的连接线路是否完好,避免线路断裂或接触不良导致信号失真。其次,利用校准设备对传感器进行定期校准,确保其测量准确。若传感器损坏,应及时更换,并重新进行校准,以保证系统监测数据的准确性^[3]。

3.2 通信系统故障排除

(1)通信网络中断。海上风电场的通信系统负责各风电机组与控制中心之间的数据传输。通信网络中断可能导致远程监控失效,影响运维效率。解决这类故障时,首先应检查通信光缆或无线设备的物理连接,确认无破损或松动。其次,利用网络测试工具检测网络拓扑结构,识别并定位断点或故障节点。对于光缆故障,应采用熔接或光纤连接器重新连接;对于无线设备故障,应检查天线、信号放大器等部件,确保信号覆盖和质量。(2)通信协议不匹配。不同设备间的通信协议不匹配可能导致数据传输异常。处理这类问题时,首先应确认所有设备的通信协议是否一致,包括波特率、数据位、校验位等参数。其次,更新或配置通信设备的软件,确保其支持统一的通信协议。同时,建立完善的通信协议管理制度,对新接入设备进行严格的协议审核,避免协议不匹配问题。

3.3 保护系统故障排除

(1)过流保护装置误动作。过流保护装置是电气二次系统中的重要保护组件,用于防止电流过载损坏设备。过流保护装置误动作可能导致不必要的停机。解决这类故障时,应首先检查电流互感器的精度和接线,确保测量准确且无误。其次,分析保护装置的整定值是否合理,避免整定值过低导致误动作。同时,定期对保护装置进行功能测试和校验,确保其动作准确可靠^[4]。(2)差动保护误报。差动保护用于检测电流的不平衡,常用于变压器、线路等重要部件的保护。差动保护误报可能由电流互感器极性接反、接线错误或设备内部故障引起。排除这类故障时,应首先检查电流互感器的极性、接线是否正确,确保差动保护回路的正确性。其次,利用专业测试设备对电流互感器进行精度测试,避免测量误差导致保护误报。

3.4 监控系统故障排除

(1)数据异常。监控系统用于实时监测风电场的

运行状态，数据异常可能误导运维决策。解决数据异常问题时，首先应检查传感器、采集卡等前端设备的运行状态，确保其工作正常。其次，分析数据处理软件的逻辑，确认无算法错误或数据处理不当。同时，建立完善的数据监控与报警机制，对异常数据进行实时识别与报警。（2）人机界面故障。人机界面是运维人员与监控系统交互的窗口，故障可能导致操作不便或信息误读。对于人机界面故障，首先应检查显示屏、键盘等硬件设备是否完好，避免物理损坏导致功能失效。其次，更新或重装人机界面的软件，确保其界面友好、操作便捷。同时，定期收集运维人员的反馈，持续优化人机界面设计，提升用户体验。

4 海上风电电气二次系统故障诊断与排除的挑战与对策

4.1 诊断与排除过程中的挑战

（1）环境复杂性和不确定性。海上风电场通常位于远离陆地的海域，环境恶劣且多变。海上的盐雾、腐蚀、风浪等因素都可能对电气二次系统造成损害，增加故障诊断的难度。此外，海洋环境的不确定性也给故障诊断带来了挑战，如突然的风暴、海浪等极端天气条件可能导致设备故障频发。（2）系统复杂性和高度集成性。海上风电电气二次系统通常由多个复杂的子系统和组件构成，这些子系统和组件之间高度集成，相互关联。一旦出现故障，往往需要综合考虑多个因素，进行跨学科、跨领域的诊断和分析。这种复杂性和高度集成性增加了故障诊断的复杂性和时间成本。（3）故障的隐蔽性和突发性。电气二次系统中的某些故障可能具有隐蔽性，如绝缘老化、接触不良等，这些故障在早期可能难以察觉，但一旦爆发，可能导致严重后果。此外，某些故障可能具有突发性，如雷击、短路等，这些故障在短时间内可能导致系统瘫痪，给故障诊断和排除带来巨大压力。

4.2 应对策略和建议

（1）提高故障诊断技术的准确性和可靠性。针对海上风电电气二次系统的复杂性，应不断提高故障诊断技术的准确性和可靠性。通过引入先进的传感器和检测

技术，实时监测系统状态，及时发现潜在故障。同时，加强数据分析，利用人工智能和大数据技术，提高故障诊断的智能化水平，缩短诊断时间，提高诊断准确率。

（2）加强系统维护和保养，预防故障发生。建立健全的系统维护和保养制度，定期对电气二次系统进行全面检查和测试。对于易损件和关键部件，应加强检查和维护，及时更换老化或损坏的部件。此外，加强设备的环境适应性研究，提高设备在恶劣环境下的耐用性和可靠性，预防故障发生。（3）培养专业技术人员，提高故障处理能力。加强专业技术人员的培训和教育，提高他们的专业知识和技能水平。通过举办培训班、技术交流会等活动，促进技术人员之间的交流和合作，共同提高故障处理能力。同时，建立激励机制，鼓励技术人员积极参与故障诊断和排除工作，提高他们的责任心和积极性。（4）网络通讯和数据传输采用集成在集电海缆内的单模光纤作为载体，并且网络结构采用主备双网络，交换机及服务器等主要设备采用双机热备结构，大大提高了网络通讯和数据传输的可靠性和安全性。

结束语

综上所述，海上风电电气二次系统的故障诊断与排除对于风电场的稳定运行具有重要意义。通过深入分析与研究，我们提出了一系列故障诊断策略与故障排除方法，有效提升了系统的可靠性和安全性。未来，随着海上风电技术的不断发展，电气二次系统的复杂度将进一步提升，对故障诊断与排除技术的要求也将更加严格。因此，持续探索和创新故障诊断技术，将是保障海上风电场稳定运行的重要方向。

参考文献

- [1]张伟彬.海上风电电气二次系统故障诊断技术研究[J].电力系统自动化,2024,(09):89-90.
- [2]赵红雷.神经网络在海上风电电气系统故障诊断中的应用[J].电气技术,2024,(03):37-38.
- [3]李明强.基于信号处理的海上风电故障诊断方法[J].可再生能源,2023,(12):147-148.
- [4]刘涛军.状态监测技术在海上风电电气二次系统中的应用[J].风电技术,2023,(05):56-57.