

# 风电光伏电站设备健康管理与故障诊断技术

徐 升

国家电投福建电力有限公司西北事业部 宁夏 中卫 755000

**摘要:** 随着全球能源结构的转型和清洁能源的大力推广,风电和光伏电站作为重要的可再生能源形式,已在全球范围内得到了广泛应用。然而,风电光伏电站设备在运行过程中常受到环境因素和设备自身性能的影响,导致各类故障的发生。因此,对风电光伏电站设备进行健康管理与故障诊断技术研究,对于保障电站安全稳定运行、提高发电效率具有重要意义。本文综述了风电光伏电站设备健康管理与故障诊断的主要方法和技术,并探讨了其发展趋势和未来研究方向。

**关键词:** 风电光伏电站;健康管理;故障诊断;多模态数据融合;深度学习

## 引言

随着风电和光伏技术的快速发展,风电光伏电站的装机容量不断增加,其运行环境的复杂性和设备故障的多样性对电站的健康管理与故障诊断提出了更高要求。传统的定期维护方式已难以满足现代风电光伏电站的需求,亟需采用更加智能化、精准化的健康管理与故障诊断技术。

## 1 风电光伏电站设备健康管理与故障诊断技术综述

### 1.1 风电装备健康管理与故障诊断技术

#### 1.1.1 基于振动分析的故障诊断

振动分析是风电装备故障诊断中最为基础且广泛应用的技术之一。风电装备中的关键部件,如齿轮箱、轴承和叶片,在运行过程中会产生特定的振动信号。这些信号蕴含着设备运行状态的大量信息,通过精确的采集和分析,可以揭示出设备的潜在问题。在振动分析中,首先需要使用高精度的振动传感器来捕捉这些关键部件的振动信号。传感器通常被安装在设备的易损部位或振动传递路径上,以确保能够获取到最真实、最全面的振动数据。采集到的振动信号随后会经过预处理,包括去噪、滤波和时频分析等步骤,以提取出有用的特征信息<sup>[1]</sup>。特征提取是振动分析中的关键环节。通过计算振动信号的频谱、幅值、相位等参数,可以构建出设备的振动特征向量。这些特征向量与设备的正常运行状态、早期故障状态以及严重故障状态之间存在着复杂的映射关系。因此,需要利用模式识别、机器学习等先进技术来对特征向量进行分类和识别,从而准确判断设备的运行状态。尽管基于振动分析的故障诊断技术具有较高的准确性和可靠性,但其应用也受到一些限制。例如,环境噪声和设备状态变化可能会对振动信号产生干扰,导致故障诊断结果出现偏差。此外,振动分析技术的实施还需要专业的知

识和经验支持,对操作人员的素质要求较高。

#### 1.1.2 基于温度监测的故障诊断

温度监测是另一种常用的风电装备故障诊断技术。在风电装备中,许多关键部件的故障都会伴随着温度的变化。通过实时监测这些部件的温度,可以及时发现过热、磨损等潜在问题,从而采取相应的维修措施,避免故障的进一步发展。温度监测技术通常使用红外测温仪或热电偶等温度传感器来测量设备的表面温度。这些传感器具有响应速度快、测量精度高等优点,能够实时反映设备温度的变化情况。监测到的温度数据会通过网络传输到监控中心,与设备的正常运行温度范围进行比较和分析。然而,温度监测技术也存在一定的局限性。它只能反映设备表面的温度情况,对于设备内部的故障检测能力有限。此外,温度监测还受到环境温度、设备负载等因素的影响,可能会导致误判或漏判。因此,在实际应用中,通常需要结合其他故障诊断技术来提高诊断的准确性和可靠性。

#### 1.1.3 基于数据驱动的故障诊断

随着大数据和机器学习技术的快速发展,基于数据驱动的故障诊断方法逐渐成为风电装备健康管理领域的研究热点。这种方法通过分析风电装备运行过程中的大量数据,挖掘出设备故障的特征和规律,实现对故障的自动识别和预测。在基于数据驱动的故障诊断中,首先需要收集并整理风电装备的历史运行数据。这些数据包括设备的运行参数、故障记录、维修记录等,是构建故障诊断模型的基础。随后,利用数据挖掘、机器学习等技术对这些数据进行分析 and 处理,提取出与设备故障相关的特征信息。SCADA(数据采集与监控系统)是风电场中常用的数据采集系统,它能够实时采集并存储风电装备的各种运行参数。利用SCADA数据进行故障诊断和

预测已成为一种常见的方法。通过构建基于SCADA数据的故障诊断模型,可以实现对设备状态的实时监测和预警,提高风电场的运行效率和可靠性。基于数据驱动的故障诊断方法具有自动化程度高、诊断准确率高等优点,但也存在一些挑战。例如,数据的质量和完整性对诊断结果的影响较大;同时,模型的构建和优化需要专业的知识和经验支持。因此,在实际应用中,需要结合领域专家的知识 and 经验来不断完善和优化故障诊断模型。

#### 1.1.4 基于传感器网络的健康监测

传感器网络技术在风电装备健康监测中发挥着越来越重要的作用。通过在风电装备上安装多种类型的传感器,可以实时采集设备的各种运行参数,如振动、温度、应力等。这些参数是反映设备健康状况的重要指标,通过对它们的综合分析,可以全面评估设备的运行状态,及时发现潜在故障。传感器网络通常由多个传感器节点组成,这些节点之间通过无线通信方式进行数据传输和交换。每个传感器节点都负责采集特定位置的运行参数,并将数据发送到汇聚节点或监控中心进行进一步处理和分析。通过构建传感器网络,可以实现对风电装备的全方位、实时监测,提高故障诊断的准确性和及时性。在基于传感器网络的健康监测中,关键是如何有效地整合和分析来自不同传感器的数据<sup>[2]</sup>。这需要用到数据融合、信号处理等先进技术来提取有用的特征信息,并构建出准确的设备健康状态评估模型。同时,还需要考虑传感器的布置和优化问题,以确保能够获取到最全面、最准确的运行参数数据。

### 1.2 光伏电站设备健康管理及故障诊断技术

#### 1.2.1 组件故障诊断

光伏组件是光伏电站的基本单元,其性能直接影响整个电站的发电效率。因此,对光伏组件进行故障诊断是光伏电站健康管理的重要环节。在组件故障诊断中,首先需要进行的是目视检查。通过仔细检查光伏组件的表面,可以发现是否有损坏、裂纹、污渍或异物附着。这些表面问题可能会导致组件性能下降或完全失效。此外,还应检查组件的连接部位,如接线盒、电缆连接处等,看是否存在松动、氧化或腐蚀现象。这些连接问题可能会导致电流传输不畅,进而影响组件的发电效率。除了目视检查,红外热像仪也是组件故障诊断的重要工具。红外热像仪可以检测组件表面的温度分布,从而发现热点。热点可能是由于组件内部的热斑效应或局部放电现象引起的。热斑效应是指组件中某些区域由于遮挡、污渍或损坏等原因导致电流密度不均匀,进而产生局部过热现象。局部放电则是由于组件内部存在缺陷或

杂质,导致电场分布不均匀,从而产生放电现象。这些热点和局部放电现象都会严重影响组件的性能和寿命,因此需要及时发现并处理。另外,测量组件的电流-电压(IV)特性曲线也是判断组件性能的重要手段。通过测量组件在不同电压下的电流输出,可以绘制出IV特性曲线。从这条曲线上,可以获取组件的关键参数,如开路电压、短路电流、最大功率点电压和电流等。这些参数可以反映组件的发电能力和效率。如果组件的IV特性曲线出现异常,如开路电压下降、短路电流减小或最大功率点偏移等,就说明组件的性能可能已经下降,需要进一步检查和处理。

#### 1.2.2 逆变器故障诊断

逆变器是光伏电站的核心部件,负责将光伏组件产生的直流电转换为交流电,并输入电网。因此,逆变器的故障诊断对于光伏电站的稳定运行至关重要。在逆变器故障诊断中,首先需要分析逆变器的历史数据。通过监控逆变器运行过程中的各项参数,如输出电压、电流、功率因数等,可以建立逆变器的正常运行模型。当逆变器的实际运行数据与模型数据出现偏差时,就可能说明逆变器存在故障。除了历史数据分析,还可以直接检测逆变器的输出电压和电流等参数的变化来判断故障类型和原因。例如,如果逆变器的输出电压波动较大或输出电流不稳定,就可能是由于逆变器内部的电路元件损坏或控制策略问题引起的<sup>[3]</sup>。此外,对于逆变器存在的硬件故障,如功率开关管损坏、电容老化等,可以采用交叉检测法来进行故障定位。即通过将故障逆变器的部分电路或元件与正常逆变器进行交换,观察故障现象是否转移,从而确定故障位置。

#### 1.2.3 配电箱与电缆接头故障诊断

配电箱和电缆接头是光伏电站中容易出现故障的部件之一。它们的故障可能会导致电流传输不畅或短路等严重问题,进而影响整个光伏电站的运行。在配电箱故障诊断中,首先需要检查配电箱内的开关状态。通过观察开关的指示灯或使用万用表测量开关的通断状态,可以判断开关是否正常工作。如果开关出现故障,可能会导致部分或全部光伏组件无法接入电网,从而影响发电效率。此外,还需要检查配电箱内的接线和连接情况。如果接线松动或接触不良,可能会导致电流传输不畅或产生电弧等危险现象。因此,需要仔细检查配电箱内的每一根电线和每一个连接点,确保它们都连接牢固、接触良好。对于电缆接头的故障诊断,首先需要观察接头的外观情况。如果接头处出现烧坏、腐蚀或变形等现象,就说明接头可能存在问题。此时,需要拆卸接头并

仔细检查接头内部的接触情况和绝缘层是否损坏。如果接触不良或绝缘层损坏,就需要及时更换或修复接头,以确保电缆的正常传输功能。

## 2 风电光伏电站设备健康管理及故障诊断技术的发展趋势

### 2.1 更高精度与智能化

在风电光伏电站设备健康管理及故障诊断技术中,更高精度与智能化是未来发展的必然趋势。随着传感器技术的不断进步,各类高精度、高稳定性的传感器将被广泛应用于设备的监测中。这些传感器能够实时、准确地采集设备的运行数据,为健康管理提供详实的基础信息。同时,信号处理技术的提升也将使得对设备数据的处理和分析更加精准。通过先进的信号处理技术,可以从海量的数据中提取出有用的信息,对设备的健康状况进行更全面的评估。此外,人工智能技术的融入将使得健康管理系统具备更强的自学习和自适应能力。未来的健康管理系统将能够利用机器学习、深度学习等算法,对设备的运行数据进行智能分析,更准确地评估设备的健康状况,并智能地预测和预防故障的发生。智能化还体现在健康管理系统的决策支持能力上。未来的系统将能够根据设备的实时运行状态和历史数据,为运维人员提供更具针对性的维护建议。这不仅可以提高维护效率,还可以减少因人为因素导致的误判和漏判,确保设备的稳定运行。

### 2.2 全生命周期健康管理

全生命周期健康管理是风电光伏电站设备健康管理及故障诊断技术的另一个重要发展方向。传统的健康管理往往只关注设备的运行阶段,而忽视了设备的设计、制造、安装等前期阶段以及维护、报废等后期阶段。然而,设备的健康状况与其全生命周期的各个阶段都密切相关。未来的健康管理系统将贯穿设备的全生命周期,从设计阶段就开始介入。通过模拟和分析设备在不同工况下的运行性能,可以优化设备的设计方案,提高其可靠性和耐用性。在制造和安装阶段,健康管理系统将对设备的制造质量和安装工艺进行监控,确保设备符合设计要求<sup>[4]</sup>。在运行阶段,系统将实时监测设备的运行状态,及时发现并处理故障。在维护和报废阶段,系统将

根据设备的健康状况和维修历史,为运维人员提供合理的维护计划和报废建议。全生命周期健康管理不仅可以提高设备的可靠性和稳定性,还可以延长设备的使用寿命,降低运维成本。这对于风电光伏电站的长期稳定运行具有重要意义。

### 2.3 更广泛应用与标准化

随着风电光伏电站设备健康管理及故障诊断技术的不断成熟和完善,其应用范围将更加广泛。除了传统的风电机组和光伏组件外,该技术还将应用于电站的其他关键设备,如变压器、开关柜、电缆等。通过全面的健康管理,可以确保电站各个设备的协调运行,提高整个电站的发电效率和可靠性。同时,为了促进技术的推广和应用,需要建立相应的标准体系。标准化是技术发展的必然趋势,也是技术推广和应用的重要保障。通过制定统一的技术路线和技术指标,可以规范健康管理系统的设计和实施过程,确保不同厂商的系统能够相互兼容和协作。此外,标准化还可以降低技术的使用门槛,提高技术的普及率。

## 结语

风电光伏电站设备健康管理及故障诊断技术对于保障电站安全稳定运行、提高发电效率具有重要意义。本文综述了风电光伏电站设备健康管理及故障诊断的主要方法和技术,并探讨了其发展趋势和未来研究方向。未来,随着技术的不断进步和应用范围的扩大,风电光伏电站设备健康管理及故障诊断技术将为风电光伏产业的可持续发展提供有力保障。

## 参考文献

- [1]童怡恺.风电机组电力设备过热故障的预防与检修[J].造纸装备及材料,2024,53(12):54-56.
- [2]陈臣,南明军,马宏怡,等.风电机组中主传动设备运行状态精准监测仿真[J].计算机仿真,2024,41(11):119-122+131.
- [3]隋晓东.光伏电站电气设备运行维护检修方法创新探索[J].电气时代,2024,(08):63-65.
- [4]傅洪全,田丰伟,周磊,等.光伏发电系统中的设备故障与对策分析[J].集成电路应用,2024,41(07):182-183.