

基于故障特征的电厂高压电气设备诊断技术应用

王 胜

华电库车发电有限公司 新疆 阿克苏 842000

摘 要: 电厂高压电气设备故障类型多样, 准确识别故障特征是实现精准诊断的核心前提。本文系统分析了变压器绕组短路、断路器机构卡涩、互感器铁芯饱和、避雷器阀片劣化及GIS局部放电等常见故障的特征信号表现, 阐述了绝缘诊断、温度诊断、振动诊断及电气参数诊断四类技术的原理与适用场景。绝缘诊断技术通过介质损耗因数与局部放电检测识别绝缘缺陷, 温度诊断技术借助红外测温与光纤测温定位发热故障, 振动诊断技术利用振动频谱分析判定机械故障, 电气参数诊断技术通过电气量异常波动识别设备隐患。在此基础上, 从故障特征精准捕捉、诊断方法合理选择、参数科学分析及设备规范使用四个方面提出应用关键要点, 为提升电厂高压电气设备诊断准确性与运维效率提供技术支撑。

关键词: 电厂高压电气设备; 故障特征; 诊断技术; 应用

引言: 电厂高压电气设备是电力系统安全稳定运行的核心装备, 其运行状态直接关系到机组出力与电网供电可靠性。高压电气设备长期处于高电压、大电流及强电磁干扰环境下运行, 受绝缘老化、机械磨损、过电压冲击等多重因素叠加影响, 故障类型多样且成因复杂, 一旦发生故障极易引发非计划停机, 造成重大经济损失。传统定期检修与事后故障处置模式已难以满足当前精细化运维需求, 基于故障特征的诊断技术为设备状态评估与故障早期预警提供了有效手段。本文围绕电厂高压电气设备常见故障类型及特征信号展开分析, 系统阐述绝缘诊断、温度诊断、振动诊断及电气参数诊断四类技术的原理与应用, 并从故障特征捕捉、诊断方法选择、参数科学分析及设备规范使用四个方面提出关键应用要点, 旨在为电厂高压电气设备的智能化诊断与精细化运维提供理论依据与技术参考。

1 电厂高压电气设备常见故障及特征分析

电厂高压电气设备长期处于高电压、大电流及强电磁干扰环境下持续运行, 受绝缘热老化、机械部件磨损、导体接触面氧化腐蚀及操作过电压与雷电过电压冲击等多重因素的叠加作用, 故障类型多样且成因复杂。常见故障主要涵盖变压器绕组匝间短路与层间绝缘击穿、高压断路器操动机构卡涩与拒动、电流互感器铁芯磁饱和与二次绕组开路、氧化锌避雷器阀片非线性特性劣化与泄漏电流显著增大、GIS组合电器气室微水含量超标及绝缘子内部局部放电等多种典型形式^[1]。

不同类型故障在设备运行过程中会呈现出差异化的特征信号, 这些特征信号是故障诊断技术应用的核心依据。变压器绕组匝间短路故障通常伴随异常振动频谱分

量与绕组局部过热温升, 绝缘击穿故障表现为介质损耗因数与泄漏电流的突变性增长, 局部放电故障产生特定频段的声发射信号与超高频电磁波辐射信号, 机械类故障则多体现为振动加速度峰值增大与行程时间曲线的异常偏离。准确识别上述故障特征信号, 能够为诊断方法的选择与诊断流程的设计提供明确方向。

2 基于故障特征的电厂高压电气设备诊断技术及应用

2.1 绝缘诊断技术及应用

绝缘诊断技术主要针对高压电气设备的绝缘故障特征, 通过检测绝缘系统的相关参数, 判断绝缘状态是否正常, 识别绝缘老化、破损等故障隐患。该技术的核心是基于绝缘故障的特征信号, 通过专业检测设备捕捉绝缘电阻、介损因数、局部放电等关键参数, 与设备额定参数或标准阈值进行对比, 进而判断绝缘故障的类型与严重程度。(1) 绝缘电阻检测是最基础的绝缘诊断方法, 主要针对绝缘电阻降低这一故障特征, 通过兆欧表检测设备绝缘层的电阻值, 若检测值低于标准阈值, 说明设备存在绝缘老化、受潮等故障隐患。介损因数检测则针对绝缘介质损耗异常这一特征, 通过介损测试仪检测绝缘介质在交流电场中的损耗程度, 介损因数增大通常表明绝缘层存在老化、受潮或破损等问题。局部放电诊断技术则聚焦于局部放电这一核心故障特征, 通过局部放电检测仪捕捉设备内部的局部放电信号, 分析放电强度、放电频率等参数, 判断局部放电的位置与严重程度, 进而识别绝缘内部的缺陷。(2) 该技术适用于变压器、互感器、电缆等各类高压电气设备的绝缘状态诊断, 能够精准捕捉绝缘故障的特征信号, 实现绝缘故障的早期识别, 为绝缘维护提供科学依据, 避免绝缘击穿

等严重故障的发生^[2]。

2.2 温度诊断技术及应用

温度诊断技术主要针对高压电气设备故障引发的温度异常特征,通过检测设备运行过程中的温度分布,识别设备的发热故障,尤其是导电接触部位、绝缘老化部位的温度异常。该技术的核心是基于故障部位温度升高这一特征,通过温度检测设备捕捉设备表面或内部的温度信号,分析温度分布规律、温度异常幅度,进而判断故障类型与位置。(1)常用的温度诊断方法包括红外测温法和光纤测温法。红外测温法属于非接触式诊断,通过红外测温仪捕捉设备表面的红外辐射信号,转化为温度数据,能够快速检测设备表面的温度异常,尤其适用于断路器、隔离开关、接线端子等部位的接触不良故障诊断,可直观呈现温度分布情况,快速定位发热点。光纤测温法属于接触式诊断,将光纤传感器嵌入设备内部,实时监测设备内部的温度变化,适用于变压器、互感器等设备内部的温度监测,能够捕捉设备内部绝缘老化、局部放电引发的温度异常,检测精度更高,可实现温度信号的实时采集与分析。(2)温度诊断技术能够快速捕捉设备故障的温度特征,及时识别发热故障,避免因温度过高导致设备部件损坏、绝缘老化加速等问题,为设备的温度管控提供技术支撑。

2.3 振动诊断技术及应用

振动诊断技术主要针对高压电气设备机械故障的振动特征,通过检测设备运行过程中的振动信号,分析振动频率、振幅等参数,识别机械传动卡涩、部件磨损、松动等故障。该技术的核心是基于机械故障引发的振动频率偏移、振幅增大等特征,通过振动传感器捕捉设备的振动信号,经过信号处理与分析,与设备正常运行时的振动参数进行对比,进而判断机械故障的类型与严重程度。(1)振动诊断技术的应用流程主要包括振动信号采集、信号预处理、特征提取、故障识别四个环节。振动信号采集通过振动传感器安装在设备的关键机械部位,如断路器操作机构、变压器铁芯等,实时采集振动信号;信号预处理主要消除环境干扰、噪声等无关信号,确保信号的准确性;特征提取则从预处理后的信号中提取振动频率、振幅、相位等关键特征参数,这些参数是判断机械故障的核心依据;故障识别则通过将提取的特征参数与标准参数对比,结合机械故障的特征规律,判断故障类型,如传动卡涩、部件松动等。(2)该技术主要适用于具有机械传动结构的高压电气设备,如断路器、隔离开关、变压器等,能够精准识别机械故障的特征信号,实现机械故障的早期预警与精准排查,保

障设备机械结构的正常运行^[3]。

2.4 电气参数诊断技术及应用

电气参数诊断技术主要针对高压电气设备故障引发的电气参数异常特征,通过检测设备的电压、电流、功率因数等电气参数,分析参数偏离情况,识别设备故障。该技术的核心是基于设备故障导致的电气参数漂移、异常波动等特征,通过电气参数检测仪实时采集设备的运行参数,与设备额定参数进行对比,分析参数异常的幅度与规律,进而判断故障类型与原因。(1)电压、电流参数检测主要针对设备过载、短路、接触不良等故障,若检测到电压、电流偏离额定范围,且波动幅度较大,可能表明设备存在相关故障;功率因数检测则针对设备绝缘老化、负载异常等故障,功率因数降低通常表明设备绝缘性能下降或负载不合理;此外,通过检测设备的零序电流、谐波分量等参数,还能够识别设备的接地故障、电磁干扰等问题。(2)电气参数诊断技术具有检测便捷、实时性强的特点,适用于各类高压电气设备的常态化诊断,能够快速捕捉电气参数异常特征,及时识别设备故障,为设备的运行调整与故障排查提供及时的技术支撑。

3 基于故障特征的诊断技术应用关键要点

3.1 故障特征的精准捕捉

故障特征的精准捕捉是诊断技术应用的首要前提,只有准确获取设备运行过程中的故障特征信号,才能为后续故障识别与状态评估提供可靠的数据支撑。(1)在实际应用中,需结合变压器、断路器、互感器、避雷器及GIS等不同类型高压电气设备的故障机理与特征表现,针对性地选择红外热像仪、局放检测仪、振动传感器、油色谱分析仪等检测设备与检测方法,科学确定检测点位与检测频率,确保能够全面覆盖各类故障特征信号的采集需求。(2)电厂现场环境复杂,温度波动、湿度变化及强电磁干扰等因素均会对特征信号的采集质量产生显著影响。需采取屏蔽接地、信号滤波、背景噪声剔除等抗干扰措施,有效消除环境因素引入的无关信号,提高特征信号的信噪比与准确性,确保诊断数据真实反映设备实际运行状态,为故障精准诊断提供可靠依据^[4]。

3.2 诊断方法的合理选择

不同类型的高压电气设备故障在物理机理与特征表现上存在显著差异,对应的诊断方法也各有侧重,合理选择诊断方法是提高诊断准确性与效率的关键环节。(1)在实际应用中,需综合考量设备类型、故障特征表现、现场运行环境及检测条件等因素,科学匹配适配的诊断技术。对于绝缘老化、击穿等绝缘类故障,应优先

选用介质损耗因数测量、局部放电检测、油色谱分析等绝缘诊断技术；对于断路器机构卡涩、部件松动等机械类故障，应优先选用振动频谱分析、行程特性测试等振动诊断技术；对于触头过热、接头松动等发热类故障，应优先选用红外热成像、光纤测温等温度诊断技术。

(2) 单一诊断方法在特征覆盖范围与识别精度上存在固有局限，实际应用中宜结合多种诊断技术进行综合诊断，通过对电气量、机械量、热学量等多维度特征信号的交叉分析与相互验证，提升故障诊断结论的准确性与可靠性，避免因诊断方法单一而导致的误判或漏判问题。

3.3 诊断参数的科学分析

诊断参数的科学分析是故障识别与判定的核心环节，需建立完善的参数分析体系，明确不同故障类型所对应的参数阈值区间与演变规律，为故障定性定量分析提供量化依据。(1) 在参数分析过程中，需将现场检测获取的特征参数与设备额定运行参数、同类型设备历史运行参数及行业标准限值进行多维度对比，重点分析参数异常的绝对幅度、相对变化率及波动趋势，结合已知故障特征规律进行关联映射，综合判定故障的具体类型、发生部位及严重程度等级。(2) 需高度重视参数的动态跟踪分析，建立参数时序变化曲线，持续监测关键特征参量的演变趋势与累积速率。当参数呈现持续劣化态势但尚未超出告警阈值时，系统应及时发出早期预警信号，为运维人员制定针对性维护计划提供及时、准确的数据支撑，实现故障由事后处置向事前预防的转变，有效降低非计划停机风险。

3.4 诊断设备的规范使用

诊断设备的检测性能与精度直接决定故障特征捕捉的准确性及诊断结论的可靠性，因此在实际应用过程中必须严格规范诊断设备的使用与管理。(1) 需建立完善的设备管理制度，定期对红外热像仪、局放检测仪、振动分析仪、油色谱仪等各类诊断设备进行计量校准与功能验证，确保设备的检测精度、灵敏度及分辨率均满足相关技术标准与现场检测要求。同时，需按照设备维护

规程定期开展日常保养与核心部件更换，防止因设备老化或性能衰减导致检测数据失真。(2) 操作人员需系统掌握各类诊断设备的操作流程、技术参数及适用范围，严格按照标准化作业指导书规范开展检测工作，杜绝因操作不当、接线错误或参数设置偏差导致的检测数据异常。在检测前，需根据被测设备的运行状态、故障类型及现场环境条件，合理设定诊断设备的采样频率、量程范围、滤波带宽及触发条件等关键参数，确保设备能够在最优工作状态下精准捕捉故障特征信号，全面提升诊断工作的效率与质量^[5]。

结束语

本文围绕电厂高压电气设备故障特征，系统分析了常见故障类型及差异化特征信号，阐述了绝缘、温度、振动及电气参数四类诊断技术的应用原理与适用场景，并从特征捕捉、方法选择、参数分析及设备规范使用四个维度提出了关键应用要点。研究表明，基于故障特征的诊断技术能够实现设备状态的精准评估与故障早期预警，有效弥补传统检修模式的不足。未来应进一步融合人工智能算法与多源数据融合技术，提升故障特征自动提取与智能识别能力，推动电厂高压电气设备诊断向智能化、自动化方向持续发展。

参考文献

- [1]徐建汾.高压电气设备绝缘在线监测与诊断技术在电力工程的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(8):114-117.
- [2]樊艳.高压电气设备智能监测与故障诊断技术研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(6):080-083.
- [3]胡凯.基于红外热像技术的发电厂高压电气设备绝缘状态实时监测[J].自动化应用,2025,66(4):147-149.
- [4]林忠波,孙龙,梁吉省,刘新.高压电气设备绝缘在线监测技术的应用研究[J].中国设备工程,2025(20):222-224.
- [5]官麒麟.变电站高压电气试验设备故障运行状态检测分析[J].电力设备管理,2025(3):215-217.