

基于局部放电检测的发电机绝缘故障定位研究

崔展豪

云南华电金沙江中游水电开发有限公司梨园发电分公司 云南 丽江 674100

【摘要】：研究面向发电机绝缘故障定位，旨在基于局部放电检测探索定位创新。综合已有的文献研究成果，参考发电机绝缘故障定位实践可知，局部放电成因相对复杂，同时可以带来较大危害。基于局部放电检测原理改进发电机绝缘故障定位后，故障定位的准确度和有效性均有显著提升。由此可得出研究结论，应对此形成更为正确的认知，从所在环境分析、信号采集与抗干扰以及故障定位算法构建等角度出发，以针对性方法深入研究故障定位的技术方法创新。

【关键词】：发电机；绝缘故障；放电检测；故障定位

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.019

引言

随着社会经济转向高质量发展，各行各业均对电力供应量和供电稳定性提出了更高的要求，以至于电力行业需要高度重视运营管理工作，确保发电机长时间处在良好的运行状态，为电力能源稳定供应提供坚实保障。在发电机运行过程中，绝缘故障属于常见的故障类型，同时会严重影响发电机的可持续运行。为有效定位发电机绝缘故障，应重视局部放电检测的价值，梳理其相关的通用原理，基于局部放电检测增强发电机绝缘故障定位的精准度和有效性。

1 局部放电检测与发电机绝缘故障定位通用原理

为更加深入地研究基于局部放电检测的发电机绝缘故障定位，应梳理局部放电的成因与危害，总结局部放电检测常用方法的原理，从而分析基于局部放电检测的发电机绝缘故障定位通用原理，为后续分析研究夯实基础。

1.1 局部放电的成因与危害

在发电机绝缘体系内，电场分布不均匀是诱发局部放电现象的根源所在。大型发电机定子绕组所采用的绝缘材料大多不是理想的均匀介质，通常包含气隙、杂质或不同介质交界面等薄弱区域。外加电压可能作用于此，当实际形成的电场强度超出局部击穿场强，微小区域内将会发生放电，进而引发局部放电现象。局部放电与绝缘劣化互相关联影响，每次微弱放电均会在一定程度上削减绝缘耐受能力，从而积少成多，形成绝缘加速劣化的恶性循环，埋下风险隐患。

1.2 局部放电检测通用方法原理

局部放电监测是发电机定子绕组绝缘故障诊断的有效方法，依信号耦合方式可以简单划分为电测法与非电测法两大类，不同方法在灵敏度、定位精度和抗干扰能力方面的表现各有不同^[1]。脉冲电流法是代表性最强的电测法之一，采用耦合

电容器或高频电流传感器，灵敏采集局部放电所产生的脉冲电流信号，可实现定量校准。如上图所示，此类脉冲信号上升时间短，且震荡衰减较快，表明该方法兼具高灵敏优势和易受干扰的劣势。

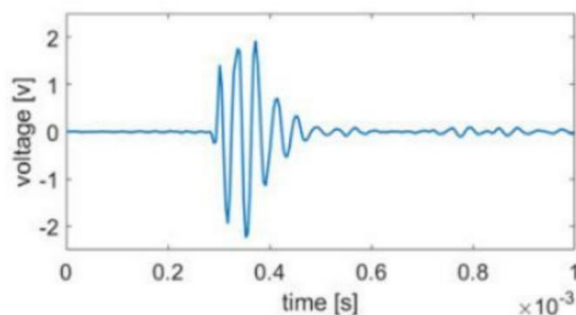


图1 局部放电脉冲信号特征示意图

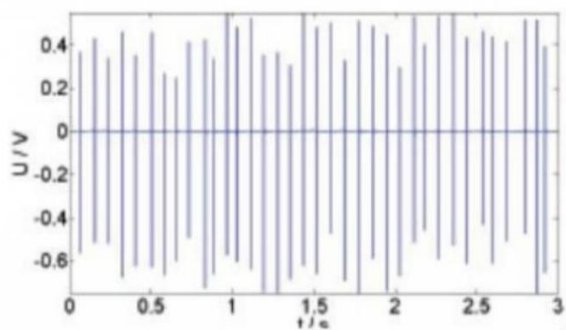


图2 局部放电脉冲序列声学信号时频示意图

声学检测法则主要检测局部放电所产生的超声波信号，利用声波在固定介质中远低于电磁波的传播速度，降低信号采集设备所需达到的采样率要求，由此实现发电机绝缘故障定位。其声学信号时频如上图所示，表明该方法抗干扰能力较强，而传感器安装面临较高的安装耦合质量要求。

1.3 通用方法的适用条件与局限

针对发电机绝缘故障,引入局部放电检测对于电机故障预警、故障定位和指导机组检修有重要意义^[2]。在实验室或理论条件下,上述通用方法的性能表现均较为良好,而应用于发电厂运维场景时难免遭遇隐含的适用条件或局限。适用通用方法一是需要相对理想的电磁环境,而发电厂真实环境下的各类干扰都会叠加于局放信号,大幅降低定位精度。二是依赖相对简单的信号传播路径和相对确定的传播模型,而发电机复杂结构容易使得理论信号分析偏离实际的物理过程。三是基于标准化试验条件总结典型发电机结构,难以直接套用于不同发电机,同时容易受到多方面因素的影响。

2 基于局部放电检测的发电机绝缘故障定位技术方法

实际基于局部放电检测实现发电机绝缘故障定位时,应从所在环境影响分析、信号采集与抗干扰以及故障定位算法构建等方面出发,更加全面地盘点对应的技术方法,以有效提升发电机绝缘故障定位质效。

(1) 所在环境影响分析:发电机的定子绕组在运行中长时间承受热、电动力、机械应力及环境的影响,容易发生绝缘劣化,导致发电机的绝缘介质在运行时容易发生局部放电现象^[3]。因而在基于局部放电检测的发电机绝缘故障定位实践中,应优先关注和分析发电机所在环境的影响。现以云南高原环境下的水轮发电机组为例,高原环境下的空气密度更低,绝缘强度也会随之受到影响。在高原环境下,平原地区正常运行不放电的电压水平已经有可能进入局部放电活跃区间。同时水电站地下厂房温度相对稳定,但湿度更高,温差变化剧烈,易出现绝缘表面凝露现象,改变绝缘表面的电导率分布,难免加剧局部放电的活跃度。此外,水轮发电机组运行工况相对特殊,云南水电需要大量承担调峰调频任务,频繁启停,负荷的变化速率更快,使得绝缘损伤与局部放电之间的关系更为复杂。

(2) 信号采集与抗干扰:经发电机所在环境影响分析,应针对性把控信号采集环节的策略调整,优化传感器的选型与布置,从而通过在地化适配确保故障定位技术方法真正落地。

参考文献:

- [1] 王海平,王国丽,杨东,等.基于电磁测试的水轮发电机局部放电监测新方法[J].四川大学学报(自然科学版),2025,62(5):1025-1033.
- [2] 胡建林,张翕,宋展,等.基于随机森林的发电机定子线棒局部放电图谱特征识别方法[J].高电压技术,2024,50(3):1272-1280.
- [3] 张树铭.基于超声测量的发电机定子局部放电故障精准定位方法研究[J].电气时代,2023,(9):82-86.
- [4] 马伟雄.基于高频耦合原理的发电机局部放电实时监测系统的设计与实现[J].电工技术,2023,(14):55-56.

关于信号采集,应先针对发电机内部结构分析,水轮发电机组的内部结构空间紧凑,平面阵列式的传统传感器布置方案几乎无从实现。对此,应转而关注传感器采集单点的信息密度,主要通过把控传感器的方向、带宽与耦合效率,确保数量有限的传感器可以最大限度采集信息。针对高湿度环境分析,一方面应关注超声波传感器耦合界面的稳定性以及信号传播路径的时变性,另一方面还应将防护等级与绝缘裕度纳入电磁波传感器选型考量,以确保传感器自身可靠性。关于抗干扰策略,应兼顾被动滤波和主动识别。被动滤波应重点关注水轮发电机组特有干扰频谱特征,诸如励磁可控硅高次谐波或调速器油泵电机启停脉冲等,实现针对性被动滤波目标。主动识别应重点关注干扰信号相较于局部放电信号的本质差异,如时频域分布和波形细节等,应用分窗聚类分析和相位图谱绘制等技术手段,识别采集所得脉冲序列中的局部放电信号。

(3) 故障定位算法构建:发电机作为发电厂的核心部件,对于电力系统的稳定运行起到关键作用,但是发电机存在的局部放电现象会对其正常运行产生一定程度的影响^[4]。在分析所在环境的影响,确定信号采集与抗干扰后,还应重视故障定位算法构建,以准确定位局放所在位置,控制其对发电机正常运行的影响。如物理模型应构建贴合水轮发电机组几何结构的三维空间模型;如信号传播则可构建一种等效传播速度模型,通过预设结构信息修正不同传播路径下的等效速度;再如算法模型应适配水轮发电机组传感器数量受限的实际状况,可重点关注单一传感器移动测量,或是多工况数据融合的差异化定位策略。

3 结语

总而言之,局部放电检测属于有效的电气故障定位技术方法,可凭借其技术原理占据显著优势,高精度定位故障。在发电机绝缘故障定位方面,局部放电检测同样具备可观的应用价值,主要监测局部放电现象所产生的电磁信号或声信号,经由全面分析发现发电机内的绝缘缺陷,预先判断是否存在故障风险。引入局部放电检测结果后,可以经由其中的放电信号特征初步判定故障类型,定位其实际所在位置,为后续的发电机检修维护工作提供有效依据。