

变电站主变压器运行中异常声响原因及诊断分析

王 静 吴好特劳

内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

【摘 要】：主变压器运行声响由铁芯磁致伸缩、绕组电磁力、冷却设备和结构振动共同形成。声级、节奏或频谱发生变化时，可能对应过励磁、直流偏磁、紧固件松动、局部放电、分接开关异常及冷却系统缺陷。依据声响与负荷、电压、温度和油中溶解气体的关联，归纳不同异常声源的形成特征，提出由安全巡视、工况核对、声纹采集到电气与油务试验的分级诊断方法。诊断不能仅凭听感下结论，应利用同位置、同负荷历史基线和多项检测结果确认故障性质。

【关键词】：主变压器；异常声响；声纹监测；故障诊断

DOI:10.12417/3083-5526.25.11.023

引言

变压器正常运行时存在稳定的工频基频及其倍频声响，现场人员熟悉的“嗡鸣”本身并非故障。真正需要警惕的是声音突然增大、节奏中断、夹杂爆裂声或伴随振动、温升、油位和保护信号变化。声响具有非接触、连续可感知的特点，但传播路径受箱体、基础、风机和环境反射影响，单次录音容易混入背景噪声。诊断应先保证人员与设备安全，再把声响变化放入当时运行工况中核对，随后选择油色谱、局部放电、直流电阻等项目缩小故障范围。

1 主变压器运行声响的形成与判读依据

铁芯硅钢片在交变磁场下周期性伸缩，是主变压器本体声响的主要来源；绕组电流产生的电动力、夹件和箱壁振动会叠加到工频及倍频成分。油泵、风机轴承和叶片则形成转动频率及宽带机械噪声。正常声纹应在相近电压、负荷、分接位置和冷却方式下比较，不能把高负荷时的声级同空载基线直接对照。声纹故障诊断可从多尺度频率特征中识别稳定差异^[1]。现场建立基线时，建议在箱体四侧中部、顶部附近和冷却器侧设置固定测点，记录距箱体距离、采样高度、负荷电流、母线电压、油温与风机状态，使后续异常样本具有可比条件。

2 主变压器异常声响的原因分析

2.1 电磁工况变化引起的连续嗡鸣增强

母线电压偏高、频率降低或分接位置不当会使铁芯磁通密度上升，磁致伸缩加剧，声响表现为连续、均匀但明显增强的嗡鸣，箱壁振动也可能同步增大。非线性负荷产生的谐波会改变频谱结构，使高次倍频成分突出。直流输电接地电流、轨道杂散电流或不平衡运行造成直流偏磁时，铁芯半周饱和，声音会变得粗重并伴随振动。此类现象不宜直接安排拆检，应核对三相电压、电流、频率、功率因数和分接位置，观察声响是否随负荷或电压变化。若降压或调整运行方式后特征明显回落，可把诊断重点转向系统工况及偏磁电流，而不是先认定绕组机械损伤。

2.2 机械松动与附件缺陷形成的振动杂音

铁芯夹件、绕组压紧结构、箱体螺栓或基础连接松动，会使原有电磁振动经过间隙碰撞后产生周期性敲击、颤振或金属摩擦声。声音常在某一箱壁或底座位置更强，负荷增加后幅值上升。冷却风机叶片变形、护网擦碰、轴承磨损和油泵气蚀也会形成独立于本体嗡鸣的旋转杂音，停启单组冷却器时特征随之变化。巡视时可在安全距离利用定向拾音和振动测点比较各侧强度，禁止手触带电设备或擅自打开密封部件。附件停运试验应满足温升和负荷条件；确认声源位于冷却器后，仍需检查电机电流、轴承温度和紧固状态，避免只消除声音而遗留机械风险。

2.3 放电、接触不良及分接开关异常声响

套管、引线或内部绝缘存在局部放电时，可能出现细密的噼啪声；悬浮金属件放电或绝缘击穿前兆则可能形成不规则爆裂声，并伴随油中氢气、乙炔等组分变化。引线接触不良会使局部发热和电弧同时出现，声音与负荷相关。无载或有载分接开关机构不到位、触头烧蚀，也会在切换后出现持续杂音或间歇放电声。智能声纹监测能为异常故障提供连续样本^[2]。但声纹不能取代绝缘证据。发现爆裂声、焦味、冒烟、喷油、套管闪络或保护动作时，应按规程立即处置，不能为了录音延长运行；仅有轻微可疑声时，可缩短巡视间隔并同步检查油色谱、局放、红外温度和分接开关动作记录。

3 异常声响的分级诊断方法

3.1 现场安全核查与声源定位

诊断起点是排除威胁人身与设备安全的现象。巡视人员先观察保护信号、负荷、油温、油位、压力释放装置和套管外观，确认无喷油、放电闪络及异常气味后再开展声学检查。录音设备在固定测点连续采集不少于三段样本，每段可取三十至六十秒，并同步保存环境背景声。测点顺序保持一致，通过相邻位置声级和频谱差异寻找声源。风机、雨雪、车辆及相邻设备噪声须在记录中标明；能够安全切换冷却器时，可用启停前后差值区分附件与本体。异常声响位置、开始时间、持续方式和运

行操作写入缺陷单，不使用“声音很大”等无法复核的笼统描述。

3.2 工况关联与历史声纹对比

把当前样本与同一台设备历史基线比较时，应按电压偏差、负荷区间、分接位置和冷却组合筛选。声音幅值随电压上升而明显变化，可优先核查过励磁；随负荷电流变化且集中在引线或箱壁一侧时，应关注电动力和接触状态；与风机启停严格同步，则先检查旋转部件。声纹算法能够提取频带能量、峰值频率和时序波动，但训练样本不足时可能把环境噪声当作故障特征。融合多源特征的诊断方法需要设置初筛阈值并保留人工复核^[3]。建议同一条件复测两次，若异常特征重复出现且强度持续增加，再提高缺陷等级；单次短促噪声无其他证据时先保留样本并加强观察。异常声响诊断链见图1。

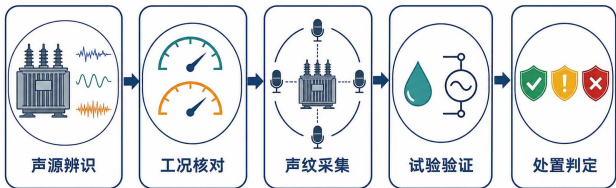


图1 主变压器异常声响诊断流程

3.3 电气、油务试验与处置判定

声源和工况分析只能形成诊断假设，最终判断要由针对性试验验证。怀疑放电时，检查油中溶解气体增长速率、超声或特高频局放信号；怀疑绕组或引线接触问题时，结合直流电阻、

参考文献：

[1] 夏志军.高压开关柜过热原因分析及监测措施[J].四川电力技术,2015,38(6):43-46+67.
[2] 许晓妍,侯永,孔帅帅,等.低压开关柜一次接插件温度实时智能监测系统研制[J].农业装备与车辆工程,2023,61(5):110-113.
[3] 潘敏,汤寅.电气设备结点远程温度监测系统[J].农村电气化,2015,(9):30-31.
[4] 姚晓林,苏彦洁.开关柜无线测温技术的优势及应用[J].科技视界,2013,(35):322.

介质损耗、绝缘电阻和红外测温；怀疑机械变形时，可比较短路阻抗、频率响应及振动特征。各项数据使用同一时间轴，避免把数月前的正常结果当作当前排除依据。异常故障监测系统的价值在于连续观察趋势而非替代停电试验^[4]。多项证据指向内部放电、绕组位移或接触过热时安排停运检查；仅为外部附件松动或风机缺陷时，在隔离和温升条件允许的情况下维修，维修后按原测点、原工况复测确认声响恢复。

4 运行诊断记录与预防要求

每台主变压器建立声纹与缺陷档案，内容包括设备编号、测点示意、采样参数、运行工况、异常描述、关联试验、处置决定和复测结果。定期巡视采用相同设备和距离，避免更换采集条件造成假趋势。新投运、大修、短路冲击、分接开关检修或基础处理后重新采集基线；出现可疑声响后按风险把复测间隔设为当班、每日或停运前连续监视。诊断人员不得只保存降噪后的音频，原始文件与处理参数一并归档。交接班明确未关闭缺陷及观察条件，声音消失也要核对负荷是否变化，不能据此直接销项。预防性管理的目标是发现声纹变化与电气状态的对应关系，在保护动作前留出核查和检修时间。

结语

变电站主变压器异常声响诊断应从运行工况和声源位置出发，再用电气、油务及振动证据验证。连续嗡鸣增强、机械敲击和不规则放电声对应的风险不同，不能凭经验听感统一处理。固定测点基线、同工况复测和历史趋势可提高声纹比较的可靠性；出现爆裂、喷油、闪络或保护动作时则应先执行安全处置。将原始音频、负荷状态、检测结果和维修复测写入同一档案，才能把声音线索转化为可追溯的检修决定。运行单位还应把典型异常样本纳入交接培训，使值班人员能更及时识别细微变化并准确描述，而不把主观听感直接写成故障结论。