

Discussion on sound source characteristics and its influence on surrounding environment

Xueyong Chen Guangzhi Xia

Jiangsu Fuhuan Environmental Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

The noise generated by the operation of high voltage substation is mainly the main transformer, reactor and switchgear, which is characterized by the low frequency spectrum distribution and high sound intensity level. The noise transmission is affected by the terrain and meteorological conditions, which may disturb the living environment of the surrounding residents and the behavior mode of animals and plants. The paper proposes to implement control from the aspects of noise source optimization, sound insulation facilities construction and real-time monitoring management, so as to provide technical support for improving the operation environment of substation.

Keywords

high-voltage substation; noise source; propagation model; environmental influence and control measures

高电压等级变电站声源特征及其对周边环境影响的探讨

陈学勇 夏光志

江苏福环环境科技有限公司, 中国 · 江苏 南京 210000

摘 要

高电压等级变电站运行产生的噪声以主变压器、电抗器和开关设备为主, 特性表现为低频为主的频谱分布和较高声强水平。噪声传播受地形和气象条件影响, 对周边居民生活环境和动植物行为模式可能造成干扰。研究提出从噪声源优化、隔声设施建设和实时监测管理等方面实施控制, 为改善变电站运行环境提供技术支持。

关键词

高电压变电站; 噪声源; 传播模型; 环境影响; 控制措施

1 引言

高电压等级变电站作为电力系统的核心枢纽, 在保障电力稳定传输中发挥关键作用, 但运行设备产生的低频噪声对周边环境的影响日益引起关注。变压器、电抗器及开关设备的噪声特性复杂, 叠加效应明显, 传播范围受地形和气象条件等多种因素影响, 对居民生活和动植物行为模式造成一定影响, 噪声问题涉及环境科学并与设备工程优化和声学控制技术密切相关。明确声源特征与传播规律、量化环境影响程度并制定有效控制措施, 是解决噪声问题的技术难点和重点, 也是实现变电站与周边环境协调发展的关键。

2 高电压等级变电站声源特征分析

2.1 高电压变电站设备产生的噪声特性

高电压等级变电站的主要噪声源包括主变压器和电抗器以及断路器, 每种设备的噪声具有独特的产生机理和声学

特性。主变压器的噪声来源于铁芯磁致伸缩效应和冷却系统的风机和油泵运行产生的机械噪声, 其中磁致伸缩导致的铁芯振动以工频及其倍频为主要特征, 声压级与运行负荷成正比。电抗器的噪声与电磁感应和铁芯振动密切相关, 其特征频率与电网运行频率一致, 但由于设计结构的不同, 电抗器的噪声一般具有更高的声强水平^[1]。断路器在操作瞬间产生的噪声主要来自机械振动和电弧放电, 持续时间短但声压级极高, 在高负荷切换时表现明显。以上设备的噪声特性受运行状态和结构设计及外界环境的多重影响。

2.2 变电站声源的频率分布与声强特点

变电站中主变压器的噪声频谱以低频为主, 基频与电网频率一致且倍频分量随频次递减, 形成特定的低频特性谱线。其声强级一般在 60-90 dB 之间, 具体数值与变压器容量和负荷水平以及铁芯设计有关。电抗器的噪声频谱也以低频为主, 但高频分量占比相对更高, 表现出频谱分布的复杂性。运行负载增加时电抗器的噪声级范围明显上升, 可达 70-95 dB。两者的频率特性均受到设备结构和运行环境的影响, 在长时间运行后频率稳定性可能有所下降。断路器的噪

【作者简介】陈学勇 (1987-), 男, 中国安徽金寨人, 硕士, 工程师, 从事环境监测、环境影响评价研究。

声频谱覆盖范围较宽，高频分量尤为突出以及产生的冲击性噪声瞬时声强级可超过 100 dB。这种噪声主要在设备操作瞬间释放，频谱能量集中且变化剧烈。多设备协同运行时主变压器、电抗器和断路器产生的噪声频谱可能发生耦合，形成宽频带的叠加噪声，叠加效应取决于设备间的相位关系和空间分布。高电压变电站噪声频谱分布曲线图如图 1 所示：

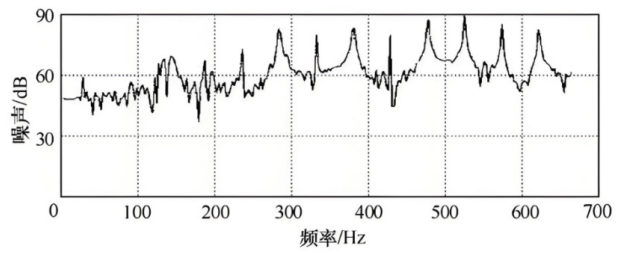


图 1 高电压等级变电站噪声频谱分布曲线图

3 高电压等级变电站噪声对周边环境的影响

3.1 噪声传播模型与传播途径分析

变电站噪声的传播可运用点声源和面声源模型进行描述，根据声源特性和空间布局确定其传播路径及影响范围^[2]。噪声在空气中传播时表现为随距离增加逐渐衰减，低频噪声的衰减速率较高频噪声更为缓慢，低频噪声传播范围较大。地面反射对噪声传播的影响受到地面材质和地形条件的制约，硬质地面增强反射效果且提高噪声强度，植被覆盖或松软土壤则对噪声具有一定的吸收作用。障碍物的存在导致声波衍射和绕射，使噪声在障碍物后方的分布更加复杂。模型分析表明变电站噪声的有效影响范围通常在几百米到千米之间，根据设备声源强度和地理环境及气象条件的不同存在较大差异。

3.2 变电站噪声对周围居民生活的影响

变电站噪声对居民生活的干扰主要体现在日常活动和睡眠质量以及心理健康等方面。噪声会引发注意力分散和工作效率下降等问题，低频噪声尤其容易渗透建筑物结构，导致室内环境噪声水平升高并进一步加重干扰。噪声在夜间的影响尤为明显，高噪声环境可能造成居民睡眠时的脑电波异常，增加入睡困难和早醒的概率并可能长期导致失眠和精神压力增大。研究表明噪声干扰的程度与其声级及频率范围密切相关，高声级和低频成分的叠加作用对健康影响较大。不同噪声级别对居民生活的影响调查数据如表 1 所示：

超过 70 dB 的噪声会对居民生活和健康产生明显干扰，表现为明显的睡眠质量下降和心理健康问题比例增高。对于超过 80 dB 的严重噪声，干扰程度导致无法正常生活的情况比例高达 80%。噪声引发的不良心理反应还包括焦虑、易怒以及长期的抑郁倾向，以上结果为变电站噪声控制提供了定量参考。将变电站运行噪声限制在低于 70 dB 范围内是保障居民生活环境质量的重要措施。

表 1：不同噪声级别对居民生活的影响调查数据

噪声级别 (dB)	影响范围	居民感知反应	睡眠质量下降比例	心理健康受影响比例
50-60	轻微影响	感觉有噪声但可接受	20%	15%
60-70	中等影响	影响部分日常活动	35%	25%
70-80	显著影响	感到不适，出现烦躁情绪	60%	50%
>80	严重影响	无法正常生活或休息	80%	65%

3.3 变电站噪声对生态环境和动植物的潜在危害

变电站噪声对生态环境的影响主要体现在改变动植物的正常行为模式和生存条件。鸟类是噪声影响的敏感群体，其鸣叫行为和觅食活动容易受到高噪声环境的干扰。鸟类在高噪声区域会选择迁徙到其他区域，导致种群密度下降和生态链中断，小型哺乳动物对低频噪声较为敏感，长时间暴露在噪声环境中可能引发应激反应以及表现为心跳加速和活动减少，这种干扰会降低其繁殖成功率。噪声还会影响以声音为导向的水生动物，强噪声可能破坏其导航和捕食能力。植物不直接感知噪声，但依赖动物授粉或传播种子的物种会因种群间接减少而受影响。生态系统中各类物种的行为异常可能进一步造成生物多样性的下降，对区域生态平衡构成长期威胁。

4 高电压等级变电站噪声影响的控制措施

4.1 加强变电站设备噪声源控制与优化

优化设备设计是降低噪声源强度的关键措施，主变压器可运用高导磁性铁芯材料和新型接缝结构，减少铁芯磁致伸缩效应引起的振动和噪声。电抗器可以借助改进绕组布置和减少漏磁通来降低运行噪声，断路器的冲击噪声可使用缓冲系统或更换低噪声型气体绝缘设备加以控制。对老旧设备进行更新换代也是减少噪声的重要手段，如选用低噪声的新型变压器替代传统设备，可以明显降低噪声源强度。技术改进同样具有有效的降噪效果，如主变压器的振动支撑结构可以运用高阻尼弹性材料，减少机械振动的传递。噪声罩是有效的物理隔绝方式，可以直接减少设备噪声向外传播的强度，结合主动噪声控制技术，借助相位抵消减少特定频率范围内的噪声^[3]。运行工况优化也有助于噪声的动态控制，如降低变压器负载峰值时的噪声输出来从源头减少噪声污染。

4.2 建设声屏障与绿化带等噪声隔离设施

声屏障的设计需要综合考虑高度和材质以及位置，使用高密度隔声材料如金属板或复合结构可以有效减少噪声透射。绿化带借助吸声、散射和阻挡效应降低噪声传播强度，降噪效果取决于植被的密度和种类。隔声壕在地形条件允许时提供进一步的降噪手段，可与声屏障联合使用提升降噪效率。声屏障与绿化带降噪效果对比如表 2 所示：

表 2：声屏障与绿化带降噪效果对比

措施类型	材料 / 植物种类	噪声降幅 (dB)	适用频率范围 (Hz)	实施成本 (万元 / 百米)
声屏障	金属复合材料	15-25	250-4000	15
声屏障	透明聚碳酸酯材料	10 月 20 日	500-3000	18
绿化带	常绿高密植被	5 月 10 日	200-2000	5
绿化带	阔叶乔木与灌木混合	8 月 12 日	100-1500	8

金属复合材料声屏障降噪幅度最高，达 15-25 dB，适用于 250-4000 Hz 的广泛频率范围，适合高强度降噪需求，但成本较高，为 15 万元每百米。透明聚碳酸酯声屏障降噪幅度较低，为 10-20 dB，适用频率集中在 500-3000 Hz，透光性提升了其适用场景，但成本更高，达到 18 万元每百米。绿化带的降噪效果相对较弱，常绿高密植被降幅为 5-10 dB，阔叶乔木与灌木混合稍高，为 8-12 dB，适用频率范围集中在中低频段，分别为 200-2000 Hz 和 100-1500 Hz，其成本低廉，分别为 5 万元和 8 万元每百米，适合大面积应用场景。声屏障适合高效降噪需求，绿化带更具经济性和生态协调性，可与声屏障联合使用实现降噪效果与环境美化的平衡。

4.3 实施有效的噪声监测与管理机制

建立全面的噪声监测系统可以实现对变电站噪声的实时掌控，利用高灵敏度声级计和频谱分析仪沿变电站外部布设监测点，实时记录噪声的强度变化和频率分布特性。结合无线传感网络和大数据分析平台，将各监测点的数据整合为可视化噪声分布模型，有助于准确评估噪声影响范围和变化趋势。噪声监测系统应配备智能化预警机制，在噪声强度接近或超过设定阈值时自动向管理人员发送警报并记录相关数据。

管理机制的优化需要匹配监测系统的动态反馈来逐步实现精准控制，运行部门可以根据监测数据来动态调整设备运行策略，如降低高峰负载时段的噪声输出以及调整冷却系统运行模式以平衡降温需求与噪声影响。与环保部门合作建立噪声排放标准和评估体系，对变电站运行噪声进行定期审核和公开报告以增强管理的规范性和透明度。推广公众参与机制以及收集周边居民对噪声治理的意见与反馈，借助问卷调查或噪声投诉平台提供双向沟通的渠道，能更全面反映噪声对区域环境的实际影响。未来可进一步引入人工智能技

术，基于长期监测数据建立噪声预测模型，提前识别潜在的噪声超标风险来为设备运行优化和改造提供数据支持。实时噪声监测系统结构图如图 2 所示：



图 2 实时噪声监测系统结构图

5 结论

本文分析高电压等级变电站的主要噪声源特征和噪声传播规律及其对周边环境的影响，并提出针对性的控制措施，表明主变压器和电抗器以及断路器等设备是主要噪声源，其噪声特性受设备结构和材料以及运行条件影响明显。噪声频谱分布以中低频为主，不同设备间的噪声叠加会扩大影响范围。噪声传播过程中空气传播和地面反射作用明显，影响区域可达数百米并对居民生活质量和生态环境带来多方面影响，对居民而言噪声干扰集中表现为睡眠障碍和心理压力，对动植物可能影响其行为模式。控制措施方面优化设备设计和运行工况可有效降低噪声源强度，声屏障与绿化带等物理隔离手段可以减弱传播强度，实时监测系统与管理机制为长期噪声控制提供了保障。

参考文献

[1] 孙立群,张灿.变电站高电压试验设备故障诊断方法研究[J].电气传动自动化,2022,44(06):30-32+29.

[2] 衣红印.变电站高电压试验设备的现状与技术改进分析[J].集成电路应用,2022,39(11):212-213.

[3] 方榆冬,裘愉涛,汪卫东,等.基于电流电压同步输出的变电站投运前带负荷试验方法[J].浙江电力,2022,41(10):78-86.