

高压输变电设施噪声污染特征及控制对策分析

夏光志 杨国庆

江苏辐环环境科技有限公司 江苏南京 210019

摘要: 随着电力系统向高电压、大容量方向发展, 高压输变电设施在保障能源供应中的作用愈发关键, 但随之产生的噪声污染问题日益凸显, 对周边环境及居民生活质量构成潜在影响。本文系统分析高压输变电设施噪声的产生机理, 深入剖析变电站与输电线路的噪声污染特征, 包括频谱特性、传播规律及影响因素, 并从声源控制、传播途径阻断、管理机制完善三个维度构建综合控制对策体系, 为高压输变电工程的噪声污染治理提供理论支撑与技术参考。

关键词: 高压输变电; 噪声污染; 频谱特征; 传播规律; 控制对策

引言

在社会经济高速发展、能源需求持续攀升的背景下, 我国电力系统加速向高电压、大容量演进, 高压输变电设施作为能源高效传输的核心基础设施, 建设与运行规模不断扩大。但设施广泛应用中, 噪声污染问题逐渐显现, 对周边居民日常生活、休息环境及区域生态平衡构成潜在干扰, 成为电力工程与环境协调发展需重点关注的问题。当前针对该领域噪声的研究存在碎片化局限, 缺乏对噪声产生深层机理、复杂环境下传播规律的系统整合。基于此, 本文聚焦高压输变电设施噪声, 通过分析其特性、构建控制体系, 为推动电力工程环保化发展提供支撑。

一、高压输变电设施噪声产生机理

(一) 变电站设备噪声机理

电磁性噪声: 这是变压器与电抗器的主要噪声来源。变压器噪声中, 70%以上源于铁心的磁致伸缩效应——硅钢片在交变磁场作用下发生周期性尺寸变化, 引发铁心振动并通过结构传递至外壳辐射噪声, 在100Hz及其

倍频处形成明显峰值。绕组电磁力也是重要成因, 电流产生的磁场相互作用使绕组受周期性电磁力作用而振动, 尤其在负荷变化时更为显著。电抗器噪声则主要来自分段铁心间的磁吸引力, 这种作用力随电流变化产生振动, 叠加冷却系统噪声形成复合噪声场, 1000kV高压并联铁心式电抗器的声功率级可达90-102dB(A)。

机械性噪声: 主要由设备运转部件的摩擦、振动产生。变压器与电抗器的油泵运行时, 轴承摩擦及转子不平衡会引发机械振动; 通风系统的电机转子与定子间的间隙不均、轴承磨损等均会产生持续性机械噪声, 这类噪声的强度与设备制造精度及运行状态密切相关。

空气动力性噪声: 以冷却系统为主要产生源。冷却风机叶片旋转时与空气相互作用, 形成气流湍流与压力脉动, 产生空气动力性噪声, 其强度与叶片形状、转速及空气流量直接相关。例如传统西门子2CT2905风机的噪声可达62dB(A), 成为变电站中高频噪声的主要贡献者^[1]。

(二) 输电线路噪声机理

电晕噪声: 当导线表面电场强度超过空气击穿场强时, 会发生局部放电现象即电晕放电。电晕放电过程中电子与空气分子碰撞产生脉冲性噪声, 具有宽频谱特性, 涵盖可听声与超声频段。这种噪声具有明显的随机性与间歇性, 受天气条件影响显著——潮湿、大雾或降雨天气会降低空气击穿场强, 加剧电晕放电, 使噪声强度提升5-15dB(A); 而干燥晴朗天气下噪声则明显减弱。

机械振动噪声: 主要由导线与金具的振动产生。强风作用下, 导线会发生微风振动或舞动, 这种周期性振动通过绝缘子传递至杆塔, 或直接引发导线自身振动幅

作者简介:

- 夏光志(1989.09--), 男, 汉族, 安徽合肥人, 职称: 工程师, 学历: 硕士研究生, 研究方向: 核与辐射类项目环保工作。
- 杨国庆(1993.09--), 男, 汉族, 江苏沐阳人, 职称: 工程师, 学历: 硕士研究生, 研究方向: 核与辐射类项目环保工作。

射噪声。此外，金具与导线的连接部位若存在间隙，振动时会产生撞击噪声，传统金具因表面光洁度不足，更容易在运行中产生这类附加噪声^[2]。

二、高压输变电设施噪声污染特征

(一) 频谱特征

变电站噪声频谱：呈现典型的“低频为主、多峰叠加”特征。变压器与电抗器产生的电磁噪声主要分布在50-500Hz的低频段，其中100Hz、200Hz等倍频程处形成特征峰值，这类低频噪声具有穿透力强、衰减缓慢的特点。冷却风机产生的空气动力性噪声则主要分布在500-2000Hz的中频段，与机械噪声共同构成中高频噪声成分，使变电站噪声频谱呈现连续分布形态。通过频谱分析可知，变电站总噪声中低频成分（≤500Hz）的能量占比可达60%以上。

输电线路噪声频谱：电晕噪声的频谱范围极宽，从几十赫兹延伸至几千赫兹，在200-1000Hz频段能量最为集中，且呈现明显的脉冲特性，听起来类似“嗡嗡”声或“爆裂”声。机械振动噪声则以100-500Hz的低频成分为主，与导线振动频率一致，在强风天气下会出现明显的频率峰值。

(二) 传播特性

空间衰减规律：在平坦开阔地形下，变电站噪声随距离增加呈对数衰减趋势，距离声源10m处声压级较5m处降低约3-5dB(A)，距离超过50m后衰减速率减缓。输电线路噪声则表现为线声源传播特性，衰减速率慢于点声源，边导线外20m处声压级通常可维持在35-45dB(A)。低频成分因波长较长，在传播过程中受空气吸收影响小，能实现长距离传播，这也是输变电设施噪声对远距离敏感点产生影响的主要原因。

地形与障碍物影响：复杂地形会显著改变噪声传播路径。山区地形中，山体对噪声的反射与遮挡使声场分布呈现不均匀性，形成局部噪声增强区与阴影区；建筑物等障碍物会引发噪声的反射与衍射，导致建筑物后方噪声水平出现波动，波动幅度可达5-10dB(A)。此外，地面材质对噪声传播影响显著，硬质地面（如水泥地）反射系数高，噪声衰减缓慢；植被覆盖区则因土壤与植被的吸收作用，可使噪声额外衰减2-3dB(A)/10m^[3]。

气象条件影响：风速、风向、湿度等气象参数直接影响噪声传播。顺风条件下，噪声传播距离可增加30%以上；逆风时则会产生明显衰减。温度梯度也会改变声波传播方向，白天地面升温形成的正温度梯度使声波向

上折射，夜间逆温层则使声波向地面弯曲，导致夜间敏感点噪声水平高于白天。湿度对中高频噪声影响显著，相对湿度增加10%，2000Hz以上频段噪声衰减可增加0.5-1dB(A)/100m。

(三) 时间分布特征

日内变化：变电站噪声随负荷变化呈现昼夜波动，用电高峰期（如9:00-11:00、18:00-22:00）设备负荷增加，电磁噪声强度提升2-5dB(A)；冷却系统因设备温升自动启停，会导致噪声出现间歇性变化，风机运行时噪声水平较停运时升高5-10dB(A)。输电线路噪声的日内变化则主要受湿度影响，清晨与夜间湿度较高时噪声强度明显高于午后。

季节变化：夏季因环境温度高，冷却系统长时间满负荷运行，变电站噪声水平较冬季升高3-6dB(A)；雨季空气湿度大，电晕放电加剧，输电线路噪声强度可提升5-15dB(A)。此外，冬季强风天气频发，导线振动噪声更为显著。

三、高压输变电设施噪声控制对策

(一) 声源控制：从源头降低噪声产生

设备结构优化设计：在变压器与电抗器制造中，采用非晶合金铁心替代传统硅钢片，可通过降低磁致伸缩系数使电磁噪声降低8-12dB(A)。优化绕组绕制工艺，合理布置绕组匝数与线径，减少电磁力分布不均引发的振动。冷却系统采用机翼型低噪声叶片，通过优化叶片角度与数量降低空气动力性噪声，如TF-900型低噪声风机在保持同等流量下，噪声较传统西门子风机降低4dB(A)，且全压提升20%，兼顾降噪与散热性能。

新型材料与金具应用：研发并应用声振解耦材料，如淮南特高压变电站采用的声振解耦吸声板，通过三维阻尼隔振技术实现降噪15dB(A)以上，同时解决了传统隔声罩影响运维的问题。输电线路采用新型防晕金具，提高表面光洁度与起晕场强，减少电晕放电与振动噪声，虽新型金具成本增加10%，但因在总投资中占比极低，且显著降低运维成本，具有良好的技术经济性^[4]。

生产工艺提升：提高设备零部件制造精度，减少机械摩擦与振动，如通过精密加工使风机转子不平衡量控制在0.02mm以内，可降低机械噪声3-5dB(A)。对变压器进行真空干燥处理，减少铁心叠片间的气隙，降低磁致伸缩振动传递效率，进一步抑制噪声产生。

(二) 传播途径控制：阻断噪声扩散路径

隔声屏障与包覆技术：在变电站厂界或设备周边设

置隔声屏障,根据噪声频谱特性选择复合结构(如“吸声层+隔声层+阻尼层”),屏障高度应超过声源与敏感点连线高度1.5倍以上,可实现10-15dB(A)的降噪效果。对特高压电抗器等大型设备采用近场包覆式声振解耦吸声板,在保障通风散热与运维空间的前提下,实现高效降噪,特别适用于湿热等复杂环境。

吸声与消声系统优化:户内变电站采用吸声吊顶与墙面吸声材料,选用多孔吸声材料(如离心玻璃棉)吸收中高频噪声,共振吸声结构控制低频噪声,可使室内噪声降低8-12dB(A)。通风系统安装阻抗复合式消声器,通过阻性材料吸收中高频噪声与抗性结构衰减低频噪声,消声量可达15-20dB(A),同时保障通风量满足散热需求。

隔振与减振处理:设备基础采用橡胶隔振垫或弹簧隔振器,通过优化隔振系统参数,使隔振效率达到85%以上,减少振动向地面的传递。变压器与冷却系统之间采用柔性连接,降低振动传递路径上的能量传递效率。对老旧变电站进行改造时,通过主变减振垫建模分析与优化,可有效控制振动噪声传播。

工程布局优化:变电站选址优先避开噪声敏感区域,高噪声设备(如主变、冷却系统)集中布置在远离敏感点的区域,并利用辅助建筑物形成天然隔声屏障。输电线路路径设计时,通过增加与敏感点的距离实现自然衰减,边导线与敏感点的距离每增加10m,噪声可衰减1-2dB(A)。

(三)管理机制保障:完善标准与监管体系

标准体系完善:基于不同电压等级输变电设施的噪声特性,制定差异化噪声控制指标,如陕西省已针对330kV及110kV输变电工程建立专项噪声控制建议指标。结合声环境功能区分类,细化不同区域的厂界噪声限值与监测方法,完善《工业企业厂界环境噪声排放标准》的配套技术指南,明确特高压等新型设施的噪声评估方法^[5]。

全过程环境管理:在工程可研阶段开展详细噪声预测,基于Kirchhoff公式建立的变电站声场预测模型与半自由声场线路噪声计算模型,提高预测准确度。设计阶段进行噪声控制专项设计,将降噪措施纳入工程概算;

施工阶段加强设备安装精度监管,确保隔振、隔声设施按设计要求落实;运行阶段建立常态化噪声监测机制,采用在线监测系统实时掌握噪声变化趋势。

技术创新与推广:建立“技术攻关-装备研制-科技示范-规模推广”的成果转化机制,如将声振解耦吸声板等新技术纳入重大科技示范工程,加速产业化应用。鼓励企业开展低噪声设备研发,通过政策扶持降低新型设备的推广成本。加强行业技术交流,推广“变压器室通风消音系统”等成熟专利技术,为城区变电站噪声治理提供借鉴。

结论

本文系统探究高压输变电设施噪声的产生机理、污染特征与控制对策,明确其噪声源分为变电站设备(含电磁、机械、空气动力性噪声)与输电线路(含电晕、机械振动噪声)两类,且具有低频主导、传播受多因素影响、时间分布波动等特征。基于此构建的“源头控制-途径阻断-管理保障”三级控制体系,通过设备优化、传播阻断及机制完善,可有效治理噪声污染。研究成果为高压输变电工程噪声控制提供了科学的理论依据与可行的技术方案,对平衡能源供应与生态环境保护具有重要意义。

参考文献

- [1]任蓉,李占优,夏科英.交流输变电架空线路运行期噪声环境影响评价现状、问题和建议探讨[J].环境与发展,2023,35(05):53-60.
- [2]黄白凡.浅谈输变电的环境污染[J].皮革制作与环保科技,2023,4(11):98-100.
- [3]胡云云.输变电噪声污染源分析与防治研究[J].环境与发展,2020,32(07):46-47.
- [4]吴霜,翟晓萌,程曦,等.输变电工程建设全过程环境风险识别与评价[J].科技管理研究,2020,40(12):76-84.
- [5]欧文琦.城市输变电工程安全文明施工费管理[J].中国电力企业管理,2020,(15):74-75.