文章编号：1006-1355(2014)06-0135-05

户内配电变压器结构噪声污染分析及控制措施

樊小鹏，李 丽，刘嘉文

（广东电网公司 电力科学研究院，广州 510080）

摘 要：为调查户内配电变压器噪声对居民生活的影响，对某受到噪声污染投诉的户内变压器进行噪声污染检测，结果显示室内房间的L_{Aeq}值和倍频带声压级均超出了国标规定的限值。对测试结果进行系统分析，发现其噪声污染源主要来自于室内变压器的低频结构噪声。在此基础上提出隔振设计的治理措施和方案，取得良好的效果，治理后该住宅户内的噪声检测数据全部满足国标规定的限值要求，该研究结果可为城市户内配电房设计和噪声污染控制提供重要的参考依据。

关键词：声学；分析；控制；减振；配电变压器；结构噪声

中图分类号：TM4；TU112.3 **文献标识码**：A DOI编码：10.3969/j.issn.1006-1335.2014.06.030

Analysis and Control of Structural Noise Pollution of Indoor Distribution Transformers

FAN Xiao-peng , LI Li , LIU Jia-wen

(Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510050, China)

Abstract : In order to investigate the effect of indoor distribution transformer's noise on residents' life, the noises of indoor distribution transformers, which were complained by residents due to the noise pollution, were measured. The results show that both L_{Aeq} and 1/1 octave spectrum exceed the domestic emission standard, and the noise is mainly the structural noise of the indoor transformer. On this basis, a vibration isolation scheme is put forward, the results of noise control are proven to be good, and the noise can meet the relevant standards. This study has provided a reference for noise control during the design and construction process of indoor distribution transformers.

Key words : acoustics ; analysis ; control ; vibration reduction ; distribution transformer ; structural noise

随着我国城市化进程的快速发展以及人民生活水平的不断提高，城区用电负荷增长迅速。但由于城市用地资源的紧缺，以及市政规划中为避免公用设施露天放置对景观的破坏，使得与住宅配套的供电设施部分被设置于居民高层建筑户内，而其主要设备配电变压器工作时会产生一定程度的噪声污染问题[1—4]。随着我国环境法律、法规的完善和公众环保意识的不断提高，公众对自身环境的要求越来越高，致使城市配电设备的噪声污染问题，成为了公众关心、媒体关注的热点问题，投诉量逐年上升。对此，部分供电部门常采用传统的吸声、隔声措施进行噪声污染治理，但由于治理方式的不正确，难以达到理想的治理效果[5]。本文以广东某受到配电变压器噪声污染投诉的高档小区为例，通过对该小区配电变压器噪声污染特性的分析、研究，提出相应的噪声污染治理措施，为开展城区配电房噪声污染治理、新建配电房规划设计中的噪声污染控制等提供技术支持。

收稿日期：2014-03-10

作者简介：樊小鹏（1986- ），男，山西洪洞人，博士，主要研究方向：电力系统环境保护。

E-mail: xp_fan@163.com

1 噪声污染概况

该受到噪声污染投诉的配电房位于广州某一高档小区7幢住宅楼的1层，配电房内设有中压进线柜、干式变压器、低压配电柜等电气设备，配电房内有两台10 kV干式变压器，每台容量为800 kVA。与该1层配电房一墙之隔的即为101住户客厅和入户大厅走廊（如图1），101住户和入户大厅人员均反映日常有噪声污染问题，严重干扰正常生活。

2 噪声检测方法

2.1 主变噪声检测

干式配电变压器噪声监测采用B&K 2250型噪声分析仪，在#1主变设备基准发射面1 m处，主变1/2高度处，间距1 m测量10 s的等效连续A声级和倍频带声压级。

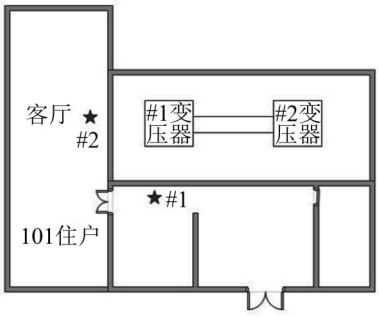


图1 配电房环境示意图

2.2 室内环境噪声检测

受噪声污染的室内环境噪声检测点如图1，其中#1测点位于入户大厅走廊处，#2测点位于101住户客厅内。且所有噪声检测点距室内任一反射面至少0.5 m以上、距离地面1.2 m以上。

室内环境噪声检测使用B&K 2250手持式噪声分析仪，测试期间门窗处于关闭状态，且房间内的所有其它可能的干扰源（如电视机、空调机、排气扇等）应关闭。测量时间为昼夜各一次，记录每个测点的1 min等效连续A声级（L_{Aeq}）及倍频带声压级。

2.3 噪声评价标准

依据GB 22337-2008《社会生活环境噪声排放标准》要求[6]，该住宅小区室内的声环境需满足L_{Aeq}限值和倍频带声压级限值要求。

（1）L_{Aeq}限值

该配电房位于高档住宅小区内，所属声功能区为1类，因此，室内环境所有测点的L_{Aeq}声级应符合表1中的限值标准要求。

表1 结构传播固定设备室内噪声排放限值

等效声级/(dB(A))

A类房间		B类房间	
昼间	夜间	昼间	夜间
40	30	45	35

注：A类房间：指以睡眠为主要目的，需要保证夜间安静的房间，包括住宅卧室、医院病房、宾馆客房等。

B类房间：指主要在昼间使用，需要保证思考与精神集中，正常讲话不被干扰的房间、包括学校教室、会议室、办公室、住宅中卧室以外的其他房间等。

（2）倍频带声压级

依据GB 22337-2008《社会生活环境噪声排放标准》，所有室内噪声测点的倍频带声压级限值见表2。

表2 结构传播固定设备室内噪声排放限值

(倍频带声压级/dB)

倍频带/Hz	昼间		夜间	
	A类房间	B类房间	A类房间	B类房间
31.5	76	79	69	72
63	59	63	51	55
125	48	52	39	43
250	39	44	30	35
500	34	38	24	29

3 噪声治理前检测结果

3.1 主变噪声检测结果

#1配电变压器的噪声检测结果见表3，测量位置图见图2。

表3 配电变压器噪声检测结果/dB（A）

测点	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
L_{Aeq}	60.3	61.4	62.1	60.6	58.8	60.7	60.5

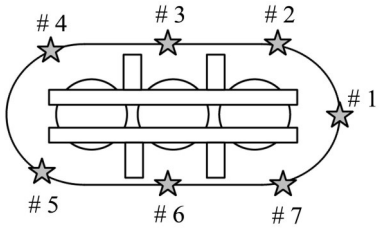


图2 主变噪声检测示意图

由表3可知，配电变压器的噪声是通过变压器的四个侧面同时向外辐射的，距离主变1 m处，主变的噪声值介于58.8 dB～62.1 dB之间，四个侧面噪声值差异不大。

图3为#1配电变压器测点#6处的噪声倍频带声压级。图3显示该变压器声压级的频谱峰值出现在125 Hz～500 Hz的范围内，而在500 Hz以上的高频段，噪声随频率的变化迅速衰减。因此500 Hz以下频率段噪声为该变压器噪声的主要污染源，且该噪声源呈现明显的中低频特性。而500 Hz以下噪声主要来自于变压器运行中的本体噪声，即变压器铁心的磁致伸缩、变形和绕组的电磁力所引起的噪声[7, 8]。在配电变压器检测点现场检测人员能明显听到变压器的“嗡嗡”声，表明噪声的频谱分析结果与人员的噪声主观感受结果一致，变压器的本体噪

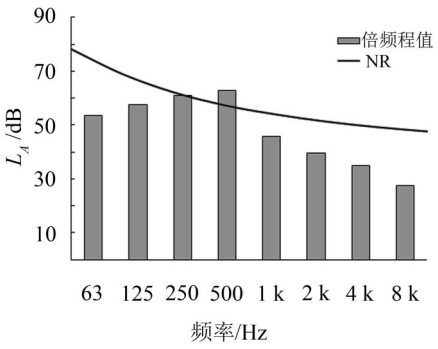


图 3 噪声治理前变压器#6测点处的频谱

声为该配电房的主要噪声污染来源。

3.2 室内环境噪声检测结果

（1）L_{Aeq} 检测结果

表4为受配电变压器影响的室内环境的噪声昼夜 L_{Aeq} 检测结果。由表可知，图1中两个室内房间的昼夜 L_{Aeq} 值均超过了 GB 22337-2008 的限值要求。其中，#1测点的昼间超标值最大，达到了3.1 dB。另外由于墙壁的隔声作用，#1和#2测点的 L_{Aeq} 与配电房变压器声源处相比降低了10 dB左右。

表4 噪声治理前室内环境噪声 L_{Aeq} 检测数据/dB(A)

测点	实测值		限值		是否达标	
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
#1	48.1	37.3	45	35	超标	超标
#2	46.7	36.9	45	35	超标	超标

（2）室内环境噪声倍频带声压级检测结果

表5、表6分别为室内环境昼夜间的倍频带声压级检测结果。如表所示，在图1中#1和#2测点处，倍频带中250 Hz和500 Hz处的昼夜声压值超过了GB 22337-2008的限值要求，其中，500 Hz处的声压级超标量显著，在昼间，其超标值达到了15 dB以上，而夜间时，其超标值仍然有约10 dB。显然，在该配电房内变压器运行过程中，对周围居民生活构成了严重干扰。

表5 噪声治理前室内环境噪声倍频带声压级检测数据（昼间）单位：dB

频率/Hz	限值	#1	#2
31.5	79	38.8	38.6
63	63	43.9	45.5
125	52	47.7	47.8
250	44	**50.5**	**48.9**
500	38	**47.3**	**46.2**

注1：加粗表示不达标。

表6 噪声治理前室内环境噪声倍频带声压级检测数据（夜间）单位：dB

频率/Hz	限值	#1	#2
31.5	72	33.8	33.9
63	55	41.8	40.1
125	43	36.0	33.1
250	35	**35.3**	**37.1**
500	29	**37.6**	**39.6**

注1：加粗表示不达标。

4 噪声治理方案

4.1 噪声污染分析

由以上分析可得，变压器500 Hz以下的中低频噪声为该小区噪声的主要污染源，即变压器运行中产生的本体噪声。而根据现场分析，噪声源（配电变压器）对噪声敏感点（#1和#2）的影响途径主要有二种[9, 10]：

（1）是变压器的结构噪声源：包括两部分，一部分是变压器噪声经过空气传播到配电房墙壁，被墙体吸收后，一直沿墙体结构传播至居民室内墙面，墙面再次振动激发空气振，产生空气声为居民人耳所听到。二是变压器本体噪声经变压器底座传至大楼地面，进一步沿着配电房地面结构传播至住户家中地面，地面在此振动引起空气声为居民人耳听到；

（2）是变压器的空气噪声源：配电房内噪声通过配电房门窗等孔洞的衍射传出，再通过墙面的反射等有住宅的门窗等传播至住户家中。

根据国内外大量研究表明，在配电房变压器的噪声影响中，结构噪声尤其是通过地面传播产生的结构噪声为其主要污染来源，其贡献的声能约占所有噪声声能总量的90 %以上[11, 12]。因此在选择噪声污染控制方案时，主要以降低其产生的结构噪声为主，尤其是通过地面传播的结构噪声。

为减小变压器机组通过地面传播产生的固体结构噪声，计划对变压器本体采用主动隔振处理，在变压器与地基之间加装隔振器，减弱通过地基传递给周围环境的噪声。

4.2 噪声治理设计

（1）隔振设计方案

衡量主动隔振效果最常用的是隔振效率法[13]

$$\eta = (1 - T) \times 100\ \% \quad (1)$$

其中 η 为隔振效率，%

T 为传递系数

$$T=\frac{\sqrt{1+4\varepsilon^2\lambda^2}}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2+4\varepsilon^2\lambda^2}} \quad (2)$$

T 越小，表明通过隔振系统传过去的力就越小，隔振效果就越好；λ 为频率比，$\lambda=f/f_0$，f 为变压器的激振频率，一般为电频率的2倍，大小为100 Hz，f_0 为变压器和隔振器组成系统的固有频率；ε 为系统阻尼比。

根据传递系数与频率比和阻尼比之间的关系，只有当λ大于 $\sqrt{2}$ 时，传递系数 T <1，隔振系统才真正起到隔振作用，随着传递系数越来越小，即隔振效果越来越好。在工程实际中，从技术和经济角度考虑，最佳频率比宜取2.5～5，最佳阻尼比取0.05～0.2 [14]。

（2）隔振器选择

针对变压器需不间断运行，环境温度较高，低频噪声为主的特点，本项目选用新型变压器用隔振器，其负载约为2.5 t，固有频率为20 Hz，阻尼率约为0.075。根据变压器质量（约5 t）以及可受力点分布情况，拟选用6只隔振器，其安装平面图见下图。

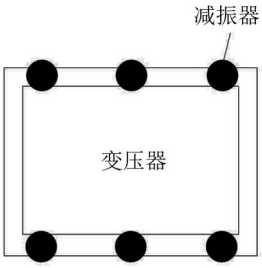


图5 变压器底座减振器安装示意图

根据公式（2）其传递系数 T为0.059，则其隔振效率约为94.1 %。

5 降噪效果

在采取隔振降噪措施后（如图6），对受变压器影响的室内环境噪声进行 L_{Aeq} 及倍频带声压级检测，以评价其实际的降噪效果。



图6 采取降噪措施后变压器现场图（图中红圈为减振器）

5.1 L_{Aeq}检测结果

表7为采取噪声治理措施后，室内环境测点的昼夜 L_{Aeq} 检测值。由表可知，测点#1和#2处的 L_{Aeq} 值均满足了GB 22337-2008的限值要求。

表7 噪声治理后室内环境噪声 L_{Aeq} 检测数据 单位：dB(A)

测点	实测值		限值		是否达标	
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
#1	41.2	31.9	45	35	超标	超标
#2	39.5	30.0	45	35	超标	超标

5.2 倍频带声压级检测结果

表8、9为采取倍频带频谱检测结果表明，治理前有超标问题的#2和#3测点，其所有5个倍频带声压级均满足了GB 22337-2008的限值要求，噪声治理效果明显。

表8 噪声治理后室内环境噪声倍频带声压级检测数据（昼间）单位：dB

频率/Hz	限值	#1	#2
31.5	79	34.7	33.4
63	63	35.6	36.6
125	52	38.2	36.3
250	44	38.1	38.0
500	38	37.8	37.7

表9 噪声治理后室内环境噪声倍频带声压级检测数据（夜间）单位：dB

频率/Hz	限值	#1	#2
31.5	72	52.7	52.6
63	55	41.5	42.9
125	43	39.8	36.7
250	35	34.2	32.8
500	29	27.8	26.2

6 结 语

（1）通过对某受到噪声污染投诉的配电房内外的噪声污染现状进行检测、分析。结果显示该受到噪声污染的室内房间 L_{Aeq} 及倍频带声压级均出现超标现象；

（2）通过现场分析、研究后发现室内噪声的主要来源为变压器运行时产生的结构噪声，其中以变压器本体通过底座传递给地面产生的结构噪声贡献量最大。基于此，对变压器采用了隔振处理，以降低变压器产生的结构噪声；

（3）对噪声治理后的室内环境进行噪声检测、分析。结果显示所有测点的L_{Aeq}及倍频带声压级均达到GB 22337-2008的限值要求。

参考文献：

[1] 王成芳，杜天苍. 城市变电站选址面临的尴尬及其对策思考[J]. **规划师**，2008，24（2）：42-45.

[2] 秦建新. 建设环保型变电站是城市电网发展的必然趋势[J]. **华北电力技术**，2005，40（7）：36-39.

[3] 李明，陈锦栋. 城市110 kV室内变电站噪声控制的分析[J]. **噪声与振动控制**，2012，（1）：105-108.

[4] 毛万红，沈履刚，徐立，等. 户外箱式配电变压器自然通风式隔声罩设计研究[J]. **噪声与振动控制**，2010，（3）：148-151.

[5] 闵年. 城区配电变压器噪音分析及现场治理[J]. **安徽电气工程职业技术学院学报**，2009，14（1）：34-37.

[6] 环境保护部，国家质量监督检验检疫总局. GB 22337-2008社会生活环境噪声排放标准[S]. 北京：中国环境科学出版社，2008.

[7] 黄昌威. 变电站噪声综合治理探讨[J]. **广东电力**，2010，23（6）：54-56.

[8] 文衍广，陈鸿适. 变压器噪声的分析与治理[J]. **广东电力**，2012，25（11）：117-122.

[9] 帅萌，高胜强. 城区户内配电变压器低频噪声分析及治理[J]. **电源技术应用**，2013，(7).

[10] 浦琪琦，金小谷，张江涛. 控制室内变电站电抗器噪声的新型系统结构[J]. **中国电力**，2013，46(9)：117-120.

[11] 鄢涛. 试论小区配电房噪声及常见故障处理对策[J]. **企业技术开发**，2013，32(9)：171-172.

[12] 翟国庆，张邦俊. 室内箱式变压器结构声污染及对策[J]. **环境污染与防治**，2002，24（1）：36-38.

[13] 周新祥. 噪声控制技术及其新进展[M]. 北京：冶金工业出版社，2007.139-145.

[14] 徐禄文，邹岸新. 配电变压器结构传声分析与治理研究[A]. 中国电机工程学会电磁干扰专业委员会第十二届学术会议论文集[C]. 2013. 140-144.

（上接第116页）

导线能有效降低噪声；增加线路架设高度、相间距均不能达到降低噪声的目的；增大分裂导线分裂圆半径对噪声影响不大；增加导线分裂数目可以降低噪声。针对环境因素的计算表明：随着海拔升高，离子运动弛豫时间增加，电晕可听噪声增加，理论预估表明2倍工频分量随海拔高度每升高1 km增加约1.7 dB。

参考文献：

[1] 梁曦东. 高电压工程[M]. 北京：清华大学出版社，2003.

[2] 张玮晨. 生态屏障对干线公路两侧声环境降噪效果的探析[J]. **噪声与振动控制**，2011，31(4)：128-131.

[3] 谭文，张小武. 输电线路可听噪声研究综述[J]. **高压电器**，2009，45(3)：109-112.

[4] Nakano Y, Sunaga Y. Availability of corona cage for predicting audible noise generated from HVDC transmission line[J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 1989, 4(2): 1422-1431.

[5] Comber M G, Carberry R E, Chartier V L, et al. A comparison of methods for calculating audible noise of high voltage transmission lines[J]. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems,** 1982, 101(10): 4090-4099.

[6] Taylor E R, Chartier V L, Rice D N. Audible noise and visual corona from HV and EHV transmission lines and substation conductors laboratory tests[J]. **IEEE Transactions on Apparatus and Systems,** 1975, 94(2): 666-679.

[7] Tanabe K. Second harmonics of audible noise from AC transmission lines-Random walk model on space distribution [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**,1991, 6(1): 216-222.

[8] Moukengué Imano A, Beroual A. Deformation of water droplets on solid surface in electric field[J]. **Journal of Colloid and Interface Science,** 2006, 298(2): 869-879.

[9] 林璇英，张之翔. 电动力学题解[M]. 北京：科学出版社，2007.

[10] 常树人. 热学[M]. 天津：南开大学出版社，2009.

[11] 吴九汇. 噪声分析与控制[M]. 西安：西安交通大学出版社，2011.

[12] 孙新波，吴九汇，陈华玲. Kirchhoff公式在电容器装置噪声水平预估中的应用[J]. **噪声与振动控制**，2009，5：140-175.

[13] 唐剑，杨迎建，李永双，等. 特高压交流输电线路电晕效应的预测方法，I：可听噪声[J]. **高压电技术**，2010，36(11)，2679-2686.

[14] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京：中国经济出版社，2005.

[15] 吴子牛. 空气动力学[M]. 北京：清华大学出版社，2008.