

文章编号: 1006-1355(2014)05-0120-05

110 kV 变电站噪声污染分析及控制

樊小鹏, 李 丽, 黄成吉, 刘嘉文, 陈 敏, 邓 倩

(广东电网公司 电力科学研究院, 广州 510080)

摘要: 为掌握 110 kV 城市变电站的噪声污染水平, 对正常运行的某 110 kV 变电站的主变及站界噪声进行系统测量, 并对测试结果进行计算和分析。结果显示 110 kV 变电站的噪声频谱峰值主要集中在 100 Hz~2 000 Hz 的范围内, 噪声以电磁噪声和冷却系统风机噪声为主; 站界噪声测试结果显示大部分测点的昼夜噪声值均严重超标。对变电站噪声的污染特性、频谱特性和衰减规律进行分析研究, 借助噪声衰减的理论, 提出使变电站站界噪声达标的主要方法, 为变电站设计和噪声控制提供参考。

关键字: 声学; 声屏障; 控制; 变电站; 衰减

中图分类号: TM4; TU112.3

文献标识码: A

DOI 编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.05.028

Analysis and Control of Noise Pollution of an 110 kV Substation

FAN Xiao-peng, LI Li, HUANG Cheng-ji,
LIU Jia-wen, CHEN Min, DENG Qian

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

Abstract: In order to control the level of transformer noise of an 110 kV substation, the transformer and boundary noises of the substation in normal operation are measured and the results are analyzed. It is shown that the spectrum peak value of the 110 kV transformer noise is mainly concentrated in the frequency range of 100 Hz - 2 000 Hz, and the noise is mainly the electromagnetic noise and cooling fan noise. Most of the boundary noise exceed the domestic emission standard. At last, the features, spectral characteristics and transmission laws of the noise of the 110 kV substation's transformer are studied. And the major measures, which can make the noise at boundary of the substation to meet the standard, are proposed. This work provides a reference for noise control design of substations.

Key words: acoustics; noise barrier; control; substation; attenuation

随着我国城市化进程的快速发展及人民生活水平的提高, 城区用电负荷迅猛增长。但由于城市用地资源的紧缺, 城市变电站选址的难度越来越大, 导致大量变电站布点深入到城市中心, 造成部分变电站与居民住宅的距离较近^[1,2]。而随着我国环保法律、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不断提高, 致使城市变电站的环境污染问题, 特别是噪声污染问题, 成为了公众关心、媒体关注的热点问题。以广东某受到噪声污染投诉的 110 kV 城市变电站为例, 对该变电站的噪声污染现状及衰减特性进行系统分析、研究, 并借助的噪声

预测模型提出使该变电站噪声达标排放的控制措施, 为变电站噪声环境评价、新建变电站规划设计中噪声污染的优化控制以及运行变电站噪声污染治理的设计等提供参考。

1 变电站概况

该 110 kV 变电站配备 2 台容量为 50 MVA 的露天变压器, 型号均为 SFZ7-40000/110, 冷却方式为油浸风冷(ONAF)。单台变压器的外形尺寸长×宽×高约为 4 700 mm×4 400 mm×2 200 mm, 安装有 6 组底吹式冷却风机(冷却风机安装在散热器底部), 风机转速为 1 450 r/min, 如图 1 所示。2 台主变距离 6 m, 中间砌有 3 m 高的防火墙。两台主变南侧为综合楼, 综合楼高 21 m, 而 2 台主变的东、西、北侧均没有任何阻隔直到站界围墙, 围墙高度 2 m, 变电站的

收稿日期: 2014-01-13

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



图1 110 kV 变压器实照图

北侧和西侧均有居民楼,东侧和南侧外为马路,#1、#2变压器距围墙距离以及变电站定置图见图2所示。

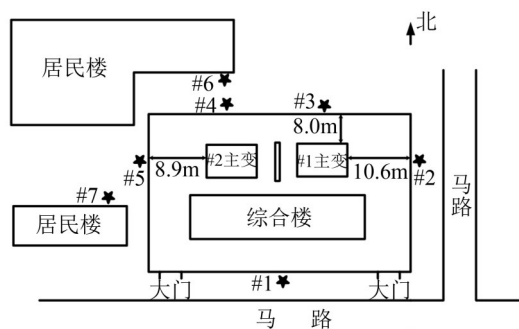


图2 110 kV 变电站位置图

2 噪声检测方法

2.1 主变噪声测量

110 kV 变电站主变噪声的检测使用 B&K 8850 型噪声分析仪,在主变设备基准发射面 1 m 处,主变油箱 1/3 和 2/3 高度处,间距 1 m 测量 10 s 的等效连续 A 声级和 1/3 倍频程频谱值。

2.2 站界及敏感点噪声测量

变电站站界噪声的测试方法按照国标 GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》规定的方法进行,在站界外四周布置多个测点进行噪声检测,包括距噪声敏感建筑物较近以及受被测声源影响大的位置,测量点位于围墙外 1 m,且探头高于围墙 0.5 m 处。测量时间为昼夜各一次,测量仪器选用了 B&K 公司的 8850 型声级计,采样时间间隔不大于 1 s,记录其 1 min 等效连续 A 声级测量值和 1/3 倍频程频谱值。同时测量各个位置的噪声背景值,并对测量结果进行背景噪声修正。

敏感点噪声的测量位置位于敏感点外 1 m,高度 1.2 m 处,检测时间为昼夜各一次,测量仪器选用了 B&K 公司的 8850 型声级计,采样时间间隔不大于 1 s,记录其 1 min 等效连续 A 声级。

2.3 噪声衰减公式

根据有关声学标准中噪声户外传播声级衰减计算的基本方法,预测点的倍频带声压级计算如下^[2-6]

$$L_{\text{oct}}(r) = L_{\text{AIV}} - (A_{\text{div}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{exc}}) \quad (1)$$

式中 $L_{\text{oct}}(r)$ 为预测点 r 处的等效倍频带声压级, dB;

r 为预测点距离主变的距离, m;

L_{AW} 为主变产生的倍频带声功率级, dB;

A_{div} 为几何发散引起的衰减, dB;

A_{bar} 为声屏障引起的衰减, dB;

A_{atm} 为大气吸收引起的衰减, dB;

A_{gr} 为地面效应引起的衰减, dB;

A_{exc} 为其他多方面效应引起的衰减, dB;

(1) 噪声源声功率级

噪声源声功率级的计算方法如下

$$L_{\text{AW}} = \overline{L_{\text{PA}}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (2)$$

式中 $\overline{L_{\text{PA}}}$ 为修正的主变平均 A 计权声压级, dB;

S 为包络面表面积, m^2 ;

S_0 为基准参考面积, $S_0 = 1 \text{ m}^2$ 。

(2) 声屏障引起的衰减 (A_{bar})

位于声源和预测点之间的实体障碍物,如围墙、建筑物等都起到声屏障作用。声屏障的存在使声波不能直接到达预测点,从而引起能量的较大衰减。其在声源声场中引起衰减量的计算方法如下

$$A_{\text{bar}} = -10 \lg \left[\frac{1}{3 + 20N_1} + \frac{1}{3 + 20N_2} + \frac{1}{3 + 20N_3} \right] \quad (3)$$

式中 N_i ($i=1, 2, 3$) 为菲涅耳数,且 $N_i = 2\delta/\lambda$, 其中 δ_i 为声程差, λ 为声波波长, m。

(3) 几何发散衰减 (A_{div})

距变压器 r 处的几何发散衰减量为

$$A_{\text{div}} = 20 \lg(r) + 8 \quad (4)$$

(4) 大气吸收引起的衰减 (A_{atm})

$$A_{\text{atm}} = \frac{\alpha(r-1)}{1000} \quad (5)$$

式中 α 为大气衰减系数。

(5) 地面效应引起的衰减

$$A_{\text{gr}} = 4.8 - \frac{2h_m}{r} \left(17 + \frac{300}{r} \right) \quad (6)$$

式中 h_m 为声源与预测点的平均离地高度, m。

2.4 站界噪声的达标

该变电站东侧和南侧紧靠城市主干道,北面和西面围墙外为居民小区,根据城市区域环境噪声使用区划分,该变电站东面和南面适用于 GB 12348-2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》的 4 类标准,西面和北面适用于 GB 12348-2008 的 2 类标准。

3 检测结果

3.1 主变噪声

变压器的噪声检测结果见表 2,表中测量位置见图 3 所示。

表1 工业企业厂界环境噪声排放限值 单位: dB(A)

类别	等效声级 L_{Aeq}	
	昼间	夜间
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55
4	70	60

表2 110 kV变电站主变噪声检测结果 单位: dB(A)

变压器	位置	声压级 L_{PA}	备注
#1	A	69.1	风机位
	B	67.2	
	C	69.2	风机位
	D	67.6	
#2	E	69.0	风机位
	F	67.3	
	G	69.4	风机位
	H	68.0	

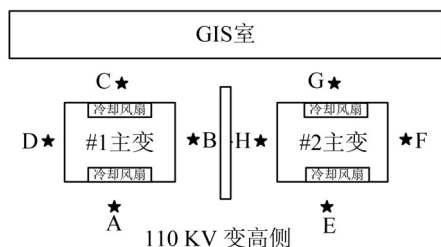


图3 110 kV变电站主变噪声检测位置图

测试期间, #1、#2主变正常运行, 所有冷却风扇均处于工作状态。由表2可知, 110 kV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, #1主变的噪声值介于67.2 dB~69.2 dB之间, 离主变冷却风扇较近的位置噪声值较大(图3中A、C点), 最大值位于C点, 达到69.2 dB; 离主变冷却风扇较远的位置噪声值较小(图3中B、D点), 最小值位于B点, 为67.2 dB。#2主变的噪声值介于67.3 dB~69.4 dB之间, 最大值位于离冷却风扇较近的G点, 达到69.4 dB, 与#1主变噪声检测结果相类似。由此可得, 冷却风扇位置不同, 变压器相类似测点的噪声值有一定差别, 即变压器噪声近场区声压级受冷却风扇的影响较大。

变压器的噪声声源分为本体噪声和冷却系统噪声两部分。变压器本体噪声主要来自变压器运行时产生的电磁噪声, 主要包括两大部分, 一部分是由于铁心的硅钢片在交变磁场的作用下, 长度发生微小变化即磁致伸缩, 使铁心随励磁频率的变化作周期性振动所产生的噪声, 这部分噪声包含基频分量和

高次谐波分量, 基频为交变电流频率的2倍, 对于频率为50 Hz的交变电流而言, 变压器噪声以100 Hz为基频, 同时包含200 Hz、300 Hz等的高次谐波分量。另一部分来自于在绕组的漏磁场电磁力作用下使一些部件产生振动引起的噪声, 这部分的噪声主要以50 Hz及其谐波频率为主。磁致伸缩、绕组间点动力以及油箱上磁屏蔽的磁致伸缩等产生的电磁噪声, 一起构成变压器的本体噪声。冷却系统噪声主要来自冷却风机、油泵运行时, 以及连接部位转动时振动产生的噪声。变压器本体转动有时也可通过变压器油管、接头及其装配零件等传递给冷却系统, 加剧其振动, 从而加大其辐射的噪声。冷却系统噪声以500 Hz~4 000 Hz的中高频空气动力噪声为主^[7-11]。

图4为110 kV变电站#1、#2变压器A位置处(图3中)正面1 m处噪声的1/3倍频程频谱图。从图中可以看出, 变压器噪声频谱在100 Hz、200 Hz附近出现明显的峰值, 其对应变压器本体噪声。而变压器噪声频谱的最高峰值段主要集中在500 Hz~2 000 Hz频段, 在该频率段噪声随频率变化无明显的衰减, 对应变压器的冷却系统噪声。由此可得, 该变压器的噪声包括电磁噪声和冷却风扇产生的噪声, 这与现场检测人员的主观感受一致。

3.2 站界噪声

110 kV变电站站界噪声的检测结果显示见表3, 表中测点位置见图2。昼间站界检测结果表明, 除#1和#2测点外, 其余站界噪声测点均超过了60 dB的限值要求, 最高超标值达到了4.1 dB。在所有敏感点噪声检测数据中, 测点#6超过了国家标准的限值

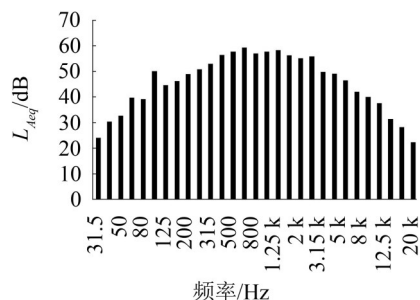


图4 110 kV变电站#1主变测点A处频谱图

要求。站界噪声夜间检测结果显示除#1、#2测点外, 其余测点噪声值均超过了50 dB的国家标准限值要求, 其中#3、#4测点超标情况严重, 接近10 dB。分析其超标原因, 主要是因为该110 kV变电站主变离围墙较近(介于8 m~10 m之间), 噪声随距离的衰减量有限; 另外主变与围墙之间在噪声传播途径上没有建筑物的遮挡, 同时该110 kV变电站站内地面为水泥地面, 很难起到吸收噪声的功能, 导致该110

kV 变电站站界噪声的衰减量有限,站界噪声超标较为严重。

110 kV 变电站站界测点 3 处的噪声 1/3 倍频程频谱结果见图 5。图 5 显示站界噪声的频谱特性有明显的主变噪声的频谱特性,频谱最高峰值仍然出现在 500 Hz~2 000 Hz 频率段,即冷却风机噪声是该变电站站界噪声的主要控制因素。

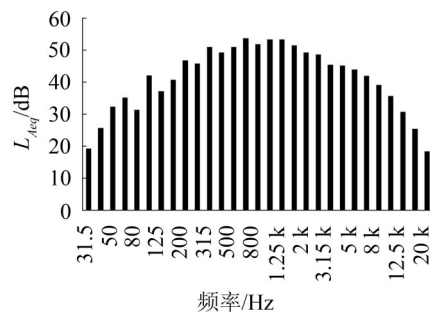


图 5 110 kV 变电站站界测点 3 处噪声频谱图

3.3 噪声衰减特性

利用公式(1)对 110 kV 变电站噪声衰减进行理论计算预测,并将预测值与实测结果值进行比较,比较结果见表 4。表 4 显示 110 kV 噪声衰减理论值与实测值非常接近,其差值最大为 2.0 dB。由此可得,利用公式 1 进行 110 kV 变电站噪声衰减值的理论计算与评估是可行的。而通过噪声衰减公式计算后表明,针对 110 kV 变电站现有变压器,其站界噪声各个测点达标的最小排放距离为 8 m、34 m、34 m 和 26 m,这对土地供应异常紧缺的城市变电站是非常困难的。因此,变电站噪声达标排放必须采取其它

更有效的噪声污染处理方式。

4 控制策略

4.1 更换低噪变压器

表 5 为#1 主变在冷却风机运行与不运行时距离主变 1 m 处的噪声检测值。结果显示当主变冷却风机运行时,其产生的噪声较大,与其对应的站界测点的噪声值也相对较高。当冷却风机停止运行时,距离主变 1 m 处的噪声值可降低 6 dB 左右。同时根据以往检测数据表明,采用自然冷却式 110 kV 主变,距离主变 1 m 处的噪声检测值介于 55 dB 之间,明显低于该 110 kV 变电站 60 dB 以上的噪声值^[12-14]。

通过公式(1)的理论计算表明(表 6),选用自然冷却式主变后,该 110 kV 变电站可不经任何改造,站界噪声排放均能达标。因此,选用低噪声型变压器从声源着手对变压器噪声进行控制,是一项重要而有效的技术措施,尤其是对于城市 110 kV 变电站。建议变电站在有条件的情况下,进行主变的改造升级。

4.2 声屏障改造预测

露天变电站中变压器噪声基本是无遮挡地向外传播并产生影响的,从噪声控制的技术角度来说,在变压器噪声的传播途径上采取合适的隔声措施是行之有效的方法^[15, 16]。考虑到变电站变压器的检修、散热等因素,在变电站围墙上加装声屏障是目前比较有效的降噪措施。表 7 为噪声敏感点 6、7 达到噪声标准时,根据噪声预测公式计算得到的声屏障理

表 3 110 kV 变电站站界噪声检测结果 单位: dB(A)

测点	测量值		所属类别	标准值		是否超标	
	昼间	夜间		昼间	夜间	昼间	夜间
1	55.3	48.6	4	70	60	—	—
2	61.3	58.9	4	70	60	—	—
3	64.1	60.8	2	60	50	4.1	10.8
4	63.8	59.8	2	60	50	3.8	9.8
5	62.2	58.3	2	60	50	2.2	8.3
6	60.7	56.7	2	60	50	0.7	6.7
7	56.7	51.7	2	60	50	—	1.7

表 4 110 kV 变电站噪声衰减值

测点	距离主变距离/m	实测值/dB	预测值/dB	差值/dB	理论达标排放最小距离/m
2	11.6	58.9	56.9	- 2.0	8
3	9.0	60.8	61.6	+0.8	34
4	9.0	59.8	61.5	+1.7	34
5	11.0	58.3	57.9	- 0.4	26

表5 110 kV #1主变噪声值 单位: dB(A)

位置	风机运行	风机不运行	差值
A	69.1	62.7	6.4
B	67.2	63.3	3.9
C	69.2	62.8	6.4
D	67.6	63.7	3.9

表6 110 kV变电站站界噪声预测值

测点	距离主变距离/m	预测值/dB	是否达标
2	11.6	44.2	达标
3	9.0	49.4	达标
4	9.0	49.4	达标
5	11.0	44.7	达标

表7 110 kV变电站噪声达标排放声屏障理论高度

位置	超标量/dB	声屏障高度/m
6	6.7	3.5
7	1.7	2.5

论高度。

表8为变电站围墙加装声屏障后,图2中站界噪声测点3、4、5的预测值,由表可知,该变电站站界噪声全部达标。

表8 110 kV变电站站界噪声预测值

位置	标准值/dB	声屏障高度/m	预测值/dB	是否达标
3	50	3.5	38.4	达标
4	50	3.5	38.3	达标
5	50	2.5	39.5	达标

5 结语

(1) 通过对某110 kV城市变电站噪声环境的污染现状调查分析发现,变压器噪声主要集中在100 Hz~2 000 Hz频率段,对应的噪声源以主变本体噪声和冷却系统噪声为主;站界噪声测量结果显示,在距离马路较近的站界测点1、2,昼夜噪声值均能达标;但在距离居民区较近的3、4、5以及敏感点6、7,噪声超标现象严重,最大超标值达到10 dB以上;

(2) 提出适用于110 kV变电站噪声环境的预测

模型及噪声衰减的计算方法,通过现场实测数据校验证明了它的正确性和可行性,符合变电站噪声环境的状况,可用于变电站噪声仿真分析及控制优化;

(3) 针对110 kV变电站噪声污染现状,并结合变电站噪声衰减预测公式,提出针对该110 kV变电站噪声的污染控制措施,主要包括将110 kV主变改为自然冷却式变压器,以及在变电站围墙加装隔声屏障等措施。改造后该变电站站界及敏感点噪声值均能控制在国家标准限值以内,满足国标及居民生活要求。

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] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 1094.10—2003 电力变压器第10部分: 声级测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [4] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 742-745.
- [5] 环境保护部. HJ2.4-2009 环境影响评价技术导则: 声环境[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [6] 全国声学标准化技术委员会. GB/T 17247.2—1998 声学 户外声传播的衰减第2部分: 一般计算方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [7] 陈锦栋, 李明. 220 kV露天变电站的噪声污染及其控制简析[J]. **噪声与振动控制**, 2013, 33(5): 102-106.
- [8] Borucki S, Boczar T, Cichon A. Technical possibilities of reducing the sound pressure level emitted into the environment by a power transformer[J]. **Archives of Acoustics**, 2011, 36(1): 49-56.
- [9] 周建飞, 周年光, 阳金纯, 等. 城区变电站噪声控制典型技术[J]. **噪声与振动控制**, 2011, 5: 173-177.
- [10] 叶建斌, 陈雁. 变电站环境噪声现场测试分析讨论[J]. **广东电力**, 2005, 18(10): 53-56.
- [11] 黄昌威. 变电站噪声综合治理探讨[J]. **广东电力**, 2010, 23(6): 54-56.
- [12] 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.
- [13] 陈元宏, 陈琦, 吕玉恒. 110 kV变电站噪声治理[J]. **噪声与振动控制**, 2009, (S1): 60-62.
- [14] 徐禄文, 王肯, 李永明, 等. 重庆电网环境噪声监测与分析[J]. **中国环境监测**, 2010, 26(5): 29-31.
- [15] 罗超, 查智明, 潘娟琴, 等. 变电站主变噪声的距离衰减特性[J]. **电力科技与环保**, 2013, 29(2): 4-6.
- [16] 谭闻, 张小武. 电力变压器噪声研究与控制[J]. **高压电器**, 2009, 45(2): 70-76.