

大连柔性直流输电受端换流站降噪方案研究

朱洪波, 王勇, 李伟

(国网辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110006)

摘要: 大连柔性直流输电工程受端换流站地处大连市区中心, 站界噪声需要控制在 I 类标准。换流站的噪声源主要来源于户外设备, 根据总平面布置方案采用 Soundplan 软件对站区进行模拟仿真, 计算换流站采用水冷和空冷 2 种方案的噪声, 当不满足噪声要求时, 采用降噪措施使之降至 45 dB 以下。该工程因故没有实施, 但是前期研究结果具有一定意义, 有必要共同探讨。

关键词: 柔性直流; 噪声; Soundplan; 仿真

[中图分类号] TM721.1 [文献标志码] A [文章编号] 1004-7913(2016)11-0019-03

Noise Reducing Scheme Study on Dalian Voltage Source Converter Station From High Voltage Direct Current Transmission System

ZHU Hongbo, WANG Yong, LI Wei

(State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang, Liaoning 110006, China)

Abstract: Convertor station of Dalian voltage source converter based on HVDC transmission system is located in central urban of Zhongshan district. Converter station noise should be controlled within standard I. Noise source comes from outdoor devices. According to the general layout plan, a simulation using Soundplan is done to simulate and calculate noise levels of water cooling and air cooling. After implementing counter-noise measures, noise level is reduced to below 45 decibels. Although this engineering project is not actually realized, it is believed that the simulation results help to make sense in the future.

Key words: flexible direct current; noise; soundplan; simulation

随着高压直流工程的不断建设和运行, 换流站的噪声对站周围环境的影响越来越明显。目前对柔性直流系统设计及变电装置建模研究较多, 对噪声研究较少, 且均为交流变电站^[1-2]。文献 [3] 提出普通变电站的噪声来源来自本体的噪声和辅助设备的噪声。文献 [4] 提出人耳非常敏感的中低频噪声是变电站内主要噪声。文献 [5] 介绍了低频噪声给人耳带来的伤害, 如 30~35 dB 一般人能接受, 35 dB 以上人明显感觉到心慌、烦躁等不舒服情况。文献 [6] 提出噪声治理方案, 从电磁性噪声处理、风扇机械性噪声处理、壁面吸声隔声屏治理等进行说明, 但其未进行深入仿真分析。文献 [7] 从隔声、消声、吸声、隔振等方面对变电站噪声进行治理, 并应用 SoundPlan 计算软件进行仿真。文献 [8] 介绍了一种典型城市 110 kV 市内变电站的噪声控制实例, 但并未对户外变电站噪声控制进行说明。

本文研究的主要目的是控制噪声污染, 提出降噪水平的要求, 为工程设计和采购合适的设备做好铺垫。本文对换流站噪声的治理和控制进行深入研究。大连柔性直流输电工程的受端换流站地处大连市区中心, 四周环境对换流站的噪声污染提出了更高的要求。本工程换流站噪声控制标准按 I 类标准执行, 换流站地面以上 1.2 m 的噪声控制在 45 dB 以下, 昼夜均执行相同标准。

1 换流站的噪声源

换流站的噪声主要来源于户外设备, 主要噪声源有换流变压器、换流变压器冷却风扇、220 kV 和 66 kV 变压器及冷却风扇、电抗器、空气冷却器及闭式蒸发塔等。

1.1 换流变压器

在换流站中, 换流变压器是噪音最大的设备, 铁芯硅钢片的磁致伸缩振动、绕组导线或绕组间电

磁力和换流变压器冷却风扇等均产生噪音。由于换流变压器负荷电流含有更高的谐波电量, 且换流变压器会在和换流阀电桥相连的绕组里产生小的直流偏磁电流, 因此相同额定功率的高压直流输电换流变压器的声功率级比交流变压器要高出 10 dB。

当通电绕组导线处于杂散磁场时, 变压器绕组的电磁力产生绕组噪音, 绕组电磁力与绕组电流的关系可用式(1)表示:

$$F \sim B \cdot I \sim I^2 \quad (1)$$

式中 F —振动绕组力, N;

B —绕组磁场密度, T;

I —绕组电流, A。

振幅、振速与力成比例, 声功率与振速平方成正比, 可得声功率与负载电流的 4 次方成正比, 见式(2):

$$W \sim v^2 \sim (\omega \cdot x)^2 \sim F^2 \sim I^4 \quad (2)$$

式中 W —辐射声功率, W;

v —振动速度, m/s;

ω —角频率, rad/s;

x —振幅, m。

1.2 电抗器

绕组和绕组磁场的电流相互作用会引起绕组振动, 这是空芯电抗器产生噪音的主要原因。绕组电磁力与绕组电流的平方成比例, 当计算绕组电磁力时, 其力频谱和电频谱是有区别的。如果电抗器同时加载了几种不同频率的电流, 除了受电频率振型影响外, 还受附加振动频率的影响。

设备表面的振动以空气噪音向周围辐射, 音频的声功率级可由式(3)计算:

$$W = \rho_0 c A_w \sigma \omega^2 x^2 \quad (3)$$

式中 W —声功率级, W;

ρ_0 —空气密度, kg/m³;

c —声音在空气中的传播速度, m/s;

A_w —声音辐射面积, m²;

σ —辐射效率, %。

因为运行电流很难在实验室测得, 可以直接缩放试验载荷结果, 假设成线性变化, 即可以由在电流 I_1 下测量的声功率级 L_{w1} 按比例推出电流 I_2 下的声功率级 L_{w2} 。

$$L_{w2} = L_{w1} + 40 \lg \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \quad (4)$$

式中 L_{w1} —负载电流 I_1 下的声功率级, dB;

L_{w2} —负载电流 I_2 下的声功率级, dB。

总声功率级可以由各个负载电流下的声功率级对数和求得。声频谱和电抗器负载电流频谱有关, 因此它跟电抗器应用有很大关系。

$$L_{PT} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1 \cdot L_{pi}} \right) \quad (5)$$

式中 L_{PT} —总声功率级, dB;

L_{pi} —负载电流 I_i 下的声功率级, dB。

2 噪声源的声功率级水平

在工程作为噪声源设备的噪声水平资料主要来源于电科院、设备制造厂的资料, 以及高压直流换流站的设备资料。计算用噪声资料见表 1。

表 1 声源的声功率级水平

设备名称	声功率级/dB(A)	频率范围/Hz
换流变压器	90	100~500
滤波电抗器	90	500~1 250
换流变冷却风扇	74	200~500
220 kV、66 kV 变压器	75	315~1 250
220 kV、66 kV 变压器冷却风扇	70	200~500
空气冷却器—风冷设备	80	200~500
闭式蒸发塔—水冷设备	60	200~500

注: 滤波电抗器数据按照以往工程经验暂定。

3 换流站建筑物和敏感点测量高度

3.1 受端换流站建筑物高度

受端换流站主建筑物高度为 32.5 m, 220 kV 主控楼高度为 22.2 m, 备件库高度为 11.9 m。

3.2 换流站总平布置

受端换流站的平面布置如图 1 所示。

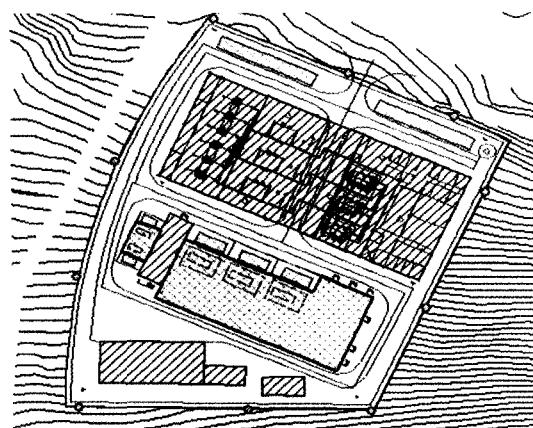


图 1 换流站的平面布置

4 噪声计算

4.1 计算软件

文献 [9] 提出国外在噪声仿真计算上起步较早, 应用 SoundPLAN, CadnaA 等软件进行噪声仿真。本文对换流站噪声预估算采用的计算软件是 SoundPLAN。该计算软件存在一定计算误差, 在输入数据正确时, 将有 $\pm (1 \sim 3)$ dB (A) 的计算误差。在计算中未计及风对噪声的影响, 因此在实际评价时需考虑这些误差的存在。

4.2 声源模型

在计算中对于电抗器设备采用点声源模型; 对于换流变压器、换流变压器冷却风扇、220 kV 及 66 kV 变压器、空气冷却器或闭式蒸发塔采用面声源; 在模型中考虑了换流变压器全封闭材料的隔声量及全封闭盒子中内侧的吸声系数等。

4.3 换流站噪声控制原则

本工程噪声控制标准按 I 类标准执行, 即站界噪声控制在 45 dB 以下 (昼间与夜间相同); 本次计算应按照总体规模所有设备进行计算, 且应保证站界达标。

4.4 噪声控制方案及结果分析

a. 换流变采用水冷方案

换流站采用水冷方案, 无降噪的情况下对噪声预测如图 2 所示, 图中 10 个测试点噪声的计算结果如表 2 所示, 可以看出, 不采取降噪措施, 控制边界噪声能够达标。

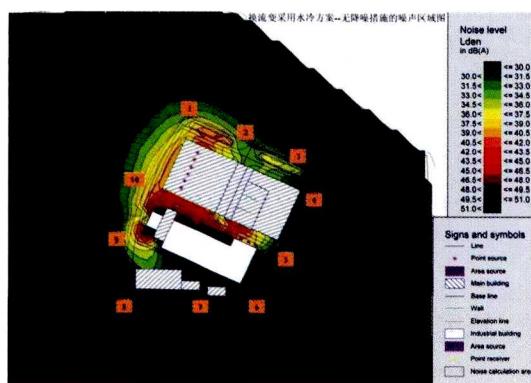


图 2 水冷方案无降噪措施噪声预测图

表 2 换流变采用水冷方案无降噪措施的噪声测试点噪声值

测试点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
噪声计算 /dB (A)	33.3	32.3	29.8	27.9	29.0	23.8	27.5	21.5	29.2	35.2

b. 换流变采用风冷方案

换流站采用风冷方案, 无降噪的情况下对噪声

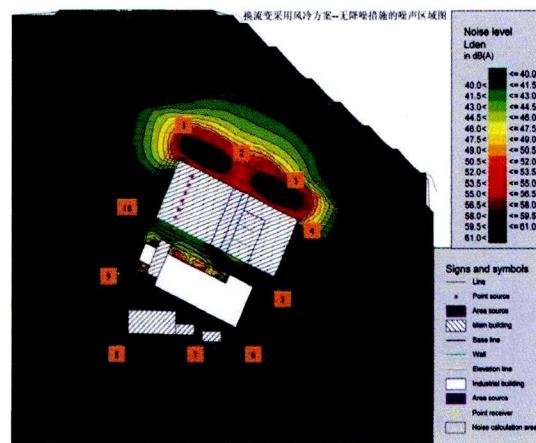


图 3 风冷方案无降噪措施噪声预测图

预测如图 3 所示, 图中 10 个测试点噪声的计算结果如表 3 所示, 可以看出, 不采取降噪措施, 1—3 测试点控制边界噪声已经超标。由于换流站地市处市区中心, 必须采取降噪措施。

表 3 换流变采用风冷方案无降噪措施的噪声测试点噪声值

测试点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
噪声计算 /dB (A)	50.8	47.3	50.0	41.7	29.3	24.3	27.7	22.1	29.4	36.5

5 降噪方案

换流站采取的降噪方案为在风冷设备外侧设置高为 5 m 的声屏障, 屏障在 1~2 m 之间为透明屏障。设置高声屏障后, 风冷方案的测试点噪声数值如表 4 所示。

表 4 风冷方式有降噪措施的噪声测试点噪声值

测试点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
噪声计算 /dB (A)	39.8	42	43.2	41.7	29.7	24.2	28.1	22.3	29.5	36.7

由表 4 可见, 采取降噪措施后, 能够有效控制噪声, 减少电力建筑在中心市区对市民的干扰。

6 结束语

根据计算结果及优化设计, 换流站若采用风冷设备, 应在周围设置 5 m 高的声屏障, 屏障在 1~2 m 之间为透明屏障, 能够有效抑制噪声, 采取降噪措施后, 基本达标。按照变电站噪声控制原则, 首先应结合环境条件确定控制标准, 考虑噪声源的控制, 如低噪声生产工艺、设备的选用等; 其次是传递途径中的声衰减措施, 如合理规划布局隔声、吸声、消声、减振等措施; 最后是测试者的听力保

(下转第 24 页)

15 028.45 元, 故缩短换表时间产生的总经济效益为 23 925.87 元。

如果把连接件推广使用到全省甚至全国, 那么每年供电公司少损失的电费将会相当可观, 这也很大程度上降低了线损。

b. 降低线材损耗产生的经济效益

每块表的线材损耗由 2015 年的 5.19 m 降至 0.21 m, 按 1 卷 100 m 电线 310 元计算, 且 2016 年 1—8 月的换表数量为 1 523 块, 可得节约耗材带来的经济效益为 $(5.19 - 0.21) \times 1 523 \times 310 / 100 = 23 512.07$ 元。

c. 实际经济效益

实际经济效益为缩短换表时间产生的经济效益 + 降低线材损耗产生的经济效益 - 可调式连接件的生产成本。其中, 可调式连接件生产成本为 $3 \times 1 523 \times 70\% = 3 198.3$ 元。

可调式连接件出厂单价为 3 元/件, 2016 年 1—8 月换表数量为 1 523, 换表需要换线的概率为 70%。可得, 2016 年 1—8 月的实际经济效益为 44 239.64 元, 如表 5 所示。

表 5 实际经济效益

项别	金额/元
缩短换表时间产生的经济效益	23 925.87
降低线材损耗产生的经济效益	23 512.07
可调式连接件的生产成本	3 198.3
实际经济效益	44 239.64

3.2 社会效益

实现在带电作业中缩减换表时间, 既能免去更

(上接第 21 页)

护, 使强烈的噪音不能传进耳内。SoundPLAN 程序对噪音的预测计算与具体工程的地理位置、平面布置、噪音源大小等有关, 在具体工程设计时, 应尽可能使计算模型与实际情况相符合, 使计算结果对工程具有指导意义。

参考文献:

- [1] 康建炎, 郝俊芳, 曹森, 等. 基于 HCM3000 平台柔性直流输电系统设计 [J]. 东北电力技术, 2015, 36 (1): 10-14.
- [2] 徐帅, 叶鹏, 杨玉鹏. 一种交直流混合配电装置的建模与仿真研究 [J]. 东北电力技术, 2015, 36 (7): 19-23.
- [3] 吕敬友, 黄玉, 池爱平, 等. 变电站噪音对环境的影响与防治措施 [J]. 电力与能源, 2011, 32 (2): 162-164.
- [4] 李永明, 王玉强, 徐禄文, 等. 变电站噪音预测和仿真分

换电能表二次连接线的操作, 又能提高工作效率, 降低带电更换电能表的危险系数。在减少电量损失以及节约电能表接线方面收效显著, 有助于企业履行社会责任, 树立良好社会形象。

4 结束语

换表时间长导致的线材消耗和漏计电量问题, 给供电公司造成不同程度的电量损失, 从而影响供电公司的整体线损指标。本文通过对换表时间长的原因进行分析, 确定新表尺寸小于旧表为主要因素。针对主要因素提出 2 种解决方案, 最终通过综合评估确定可调式连接件对于缩短换表时间作用显著。

参考文献:

- [1] 于雷. 智能电能表的发展及应用前景 [J]. 黑龙江科技信息, 2013, 17 (2): 21-22.
- [2] 宋卓然, 赵琳. 电力体制改革下的辽宁电网发展研究 [J]. 东北电力技术, 2016, 37 (5): 5-9.
- [3] 王亚龙, 刘杨, 邢鹏飞, 等. THDF108/53 型发电机氢气纯度下降原因分析及控制方案研究 [J]. 东北电力技术, 2015, 36 (8): 7-9.
- [4] 马宏伟. 浅议智能电能表的工作原理及接线方式 [J]. 科技与企业, 2013, 22 (8): 50-52.
- [5] 李思远. 一种可调式连接件 [P]. 中国专利: ZL 201120217412.2, 2012-01-04.
- [6] 电能计量装置技术管理规程: DL/T 448—2000 [S].

作者简介:

李思远 (1982), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电能计量表接线工作。

(收稿日期 2016-08-20)

- [7] 周建飞, 周年光, 阳金纯, 等. 城区变电站噪音控制典型技术 [J]. 噪声与振动控制, 2011, 31 (5): 173-177.
- [8] 李明, 陈锦栋. 城市 110 kV 室内变电站噪音控制的分析 [J]. 噪声与振动控制, 2012, 32 (1): 105-108.
- [9] 徐禄文, 刘小玲. 变电站环境噪音三维空间衰减模型及算法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 31 (13): 175-180.

作者简介:

朱洪波 (1978), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统规划工作。

(收稿日期 2016-08-20)