

海南±800 kV换流站降噪方案研究

常伟¹, 王茂忠², 李厚君¹, 杜常见², 李学鹏¹, 申卫华¹

¹中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司, 陕西 西安

²国家电网有限公司直流建设分公司, 北京

Email: changwei2765@163.com

收稿日期: 2021年1月6日; 录用日期: 2021年1月28日; 发布日期: 2021年2月8日

摘要

依据换流站噪声控制标准, 结合以往特高压换流站噪声分析研究的相关成果和站内主要噪声设备的噪声水平, 利用噪声计算软件Sound plan对青海海南±800 kV换流站采用仅加高围墙无BOX-IN、换流变压器加装半封闭型BOX-IN与围墙加高并设隔声屏障相结合、换流变压器加装全封闭型BOX-IN与加高围墙并设隔声屏障相结合等方案进行了噪声预测, 研究结果表明: 换流变压器采用全封闭型BOX-IN与加高围墙并设隔声屏障相结合方案后, 噪声预测值满足《声环境质量标准》GB3096-2008和《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB12348-2008中3类标准限值的要求。同时对比分析了各降噪措施方案噪声预测值与实测值, 吻合度好, 验证了噪声模型计算的准确性。

关键词

换流站, 降噪方案分析, BOX-IN, 隔声屏障, 噪声控制措施

Research on Noise Reduction Scheme for ±800 kV Hainan Converter Station

Wei Chang¹, Maozhong Wang², Houjun Li¹, Changjian Du¹, Xuepeng Li¹, Weihua Shen¹

¹North West Electric Power Design Institute Co. LTD. of China Power Engineering Consulting Group, Xi'an Shaanxi

²State Grid DC Engineering Construction Company, Beijing

Email: changwei2765@163.com

Received: Jan. 6th, 2021; accepted: Jan. 28th, 2021; published: Feb. 8th, 2021

文章引用: 常伟, 王茂忠, 李厚君, 杜常见, 李学鹏, 申卫华. 海南±800 kV 换流站降噪方案研究[J]. 智能电网, 2021, 11(1): 1-11. DOI: 10.12677/sg.2021.111001

Abstract

According to the noise control standard of converter station, combined with the relevant results of noise analysis and research of UHV converter station and the noise level of main noise equipment in the station, the noise calculation software Sound plan is used to predict the noise of Hainan ± 800 kV converter station in Qinghai Province, including only heightening the enclosure without BOX-IN, combining semi-enclosed BOX-IN with enclosure heightening and sound insulation barrier, and combining totally enclosed BOX-IN with enclosure heightening and sound insulation barrier. After the converter transformer adopts the combination scheme of fully closed Box-in and raising the wall and setting the sound barrier, the research results show that the noise prediction value of converter transformer meets the requirements of class 3 standard limits in "Environmental quality standard for noise" GB3096-2008 and "Emission standard for industrial enterprises noise at boundary" GB12348-2008. At the same time, the predicted values of noise and the measured values of noise reduction measures are compared and analyzed, and the coincidence degree is good, which verifies the accuracy of noise model calculation.

Keywords

Converter Station, Analysis of Noise Reduction Scheme, BOX-IN, Sound Insulation Screen, Noise Control Measure

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着特高压直流工程的不断建设,换流站运行时,换流变压器、交流滤波器、直流滤波器等设备产生噪声对周边环境的影响越来越凸显[1][2]。目前,国内已建和在建的换流站工程均需要根据环评批复意见,站界外区域声环境执行现行国家标准《声环境质量标准》(GB3096-2008)相应标准(1类、2类或3类),站界噪声按现行国家标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)相应标准(1类、2类或3类)控制考虑[3][4]。设计以此为依据进行噪声计算。

目前已建成的 ± 500 kV、 ± 800 kV 直流换流站工程噪声分析及治理研究的相关成果为后续换流站工程的降噪方案设计提供了经验。韩辉[5]分析了特高压换流站噪声特性并在此基础上提出了较为合理的换流站布置方案;杨一鸣[6]提出特高压换流站的换流变压器等设备应采用屏蔽或 BOX-IN 等措施抑制噪声水平在国家标准允许的范围;张庆宝[7]针对特高压换流站噪声情况,提出了一系列的综合控制措施(优先采用低噪声设备、BOX-IN 型全封闭隔声罩);朱洪波等[8]针对柔性直流换流站的降噪方案进行了研究;文献[9][10]对直流换流站主要噪声源的产生机理和声学特性进行了研究;文献[11][12][13][14]介绍了 ± 500 kV 换流站噪声特点及治理情况;文献[15][16][17][18][19]针对实际工程探讨了特高压换流站噪声治理方案并提出了较为具体的控制措施。

以青海海南 ± 800 kV 换流站工程为例,采用 Sound plan 软件对站内噪声进行预测,对不采取任何降噪措施、仅加高围墙无 BOX-IN、换流变压器加装 BOX-IN 型半封闭隔声罩与围墙加高并设隔声屏障相结合、换流变压器加装 BOX-IN 型全封闭隔声罩与加高围墙并设隔声屏障相结合方案分别进行模拟计算,根据计算结果提出所需采取的噪声控制措施,同时将理论模拟预测值与现场实测值进行了对比分析,验

证了模拟计算的正确性。

2. 噪声源及控制标准

2.1. 工程概况

海南±800 kV 换流站位于青海省海南藏族自治州共和县铁盖乡南约 23 km 处。站址地处共和盆地中的黄河二级阶地上，为滩地草原，站址区地形平坦，地势开阔，地面高程在 2877 m~2879 m 之间。站址位于龙羊峡库区中部西约 6.8 km 的高台地上，周围无敏感点。

2.2. 主要噪声源及预测方法

换流站对周围环境造成影响的噪声主要来源于换流变压器、站用变压器、平波电抗器、滤波器组电容器及电抗器、可控硅阀及其冷却装置的风机、空调装置风机等。由于可控硅阀布置在封闭的阀厅内，对噪声的传播得到了有效的屏蔽，对外界影响很小。因此，海南±800 kV 换流站主要设备噪声源为：换流变压器、高压并联电抗器、平波电抗器、交流滤波器场电抗器和电容器、直流滤波器场电抗器和电容器等。根据现行行业标准《换流站噪声控制设计规程》(DL/T5526-2017)及以往工程经验，换流站内主要设备的声功率取值见表 1。

Table 1. Noise source parameters of converter station equipment (calculated value)

表 1. 换流站设备噪声源参数(计算取值)

项目	噪声计算取值/db (A)	声源类型	声源高度/m
换流变压器(非隔声罩)	120.0	面声源	4.5
换流变压器(隔声罩)	101.0	面声源	4.5
换流变压器散热器	98.0	面声源	1
阀冷却塔	98.0	面声源	5
直流场平波电抗器	92.0	点声源	16
直流滤波器电容器	80.0	线声源	4~24
直流滤波器电抗器	78.0	点声源	6
750 kV 交流滤波器电容器	80.5	线声源	3~15
750 kV 交流滤波器电抗器	79.0	点声源	4
750 kV 主变压器	96.5	面声源	2
750 kV 高压并联电抗器	80.5	面声源	2
330 kV 高压并联电抗器	80.0	面声源	2

采用噪声预测软件 Sound plan 对换流站噪声进行预测。在预测换流站噪声的过程中，通过软件模拟换流站站内外噪声源对站界影响并考虑了站址及周边实际地形。在预测换流站噪声后，根据噪声控制标准，进行降噪措施分析，并提出所需采取的噪声控制措施。

2.3. 噪声控制标准

根据该±800 kV 换流站工程环境影响评价批复意见，本期及远期厂界及周边区域噪声水平执行现行国家标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)和《声环境质量标准》(GB3096-2008)中规定的“3类”标准要求，即昼间 ≤ 65 dB (A)、夜间 ≤ 55 dB (A)。

关于噪声测点位置,执行现行国家标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中第 5.3.2 条:“一般情况下,测点选在工业企业厂界外 1 m、高度 1.2 m 以上。”及第 5.3.3.1 条:“当厂界有围墙且周围有受影响的噪声敏感建筑物时,测点应选在厂界外 1 m、高于围墙 0.5 m 以上的位置。”。该±800 kV 换流站站区周围不存在噪声敏感建筑物,噪声测点选在站区围墙外 1 m、高度 1.2 m 以上。

2.4. 换流站区域环境

换流站站址区域地形整体平缓,换流变压器布置在站区中部,750 kV 交流滤波器布置在站区西南侧,750 kV 高压并联电抗器布置在站区的西北侧和东北侧,平波电抗器布置在站区南侧。换流站内主要噪声源平面布置如图 1 所示。图 1 中黑实线为站区围墙,该围墙即为噪声预测的站界。

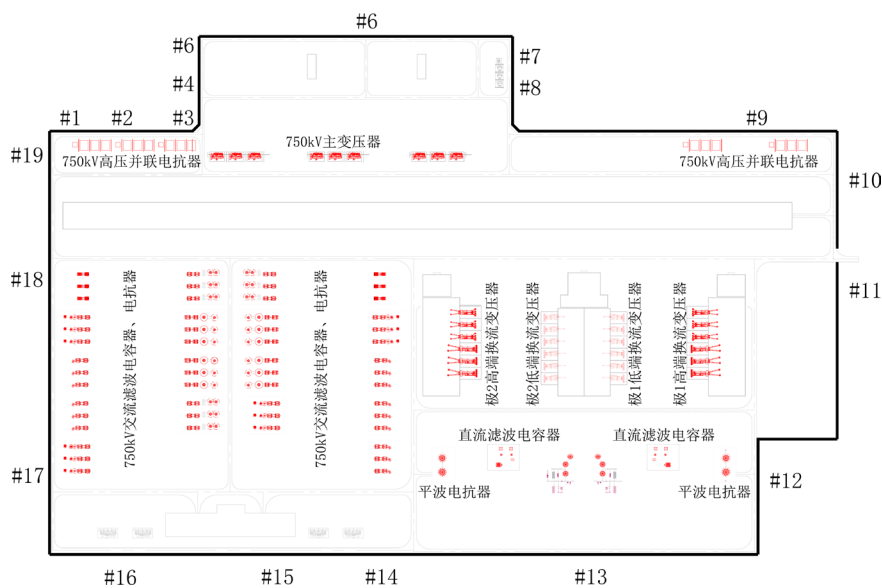


Figure 1. Layout of main noise sources of converter station

图 1. 换流站主要噪声源平面布置图

设备的噪声源按照表 1 取值,采用噪声预测软件 Sound plan 模拟计算,并在换流站厂界外 1 m 处外设置了噪声测试点,换流站围墙外监测点位置见图 1 中围墙外#1~#19 布置点。

3. 噪声控制方案

对于新建换流站,当站址选择、布置方案确定后,站界噪声和周边敏感目标噪声防治应当遵循“节能环保、满足标准、技术可行、经济合理”的原则。多个工程建设经验表明:通过优选低噪声设备、控制噪声的传播过程(例如设置隔声罩)以及在换流站围墙上设置隔声屏障等措施可有效地阻挡噪声的传播,将站内噪声控制在现行国家标准的噪声排放要求以内。本文将从以上三个方面措施考虑,研究海南±800 kV 换流站的降噪方案。

3.1. 低噪声设备的选择

控制噪声源是降低噪声的最根本和最有效的方法。在经济、技术可行的条件下,采取改进机器设备构造,提高加工工艺和加工精度,使噪声源的噪声功率降低来控制站内噪声的排放。例如:可调整间隔棒和机械支撑使得共振频率原理临界频率以及采用双层横截面等方法来降低电抗器设备噪声;采用低噪声、双塔结构的交流滤波器电容器组等;用多台新型、中等流量的低噪声风扇代替大功率风扇来降低冷

却风扇产生的噪声。另外，对工程实际采用的高噪声设备或设施，如果上述方法不能大幅度有效降低噪声，可采用切断噪声传播途径为主的降噪措施，例如加装隔声罩、隔振装置等来降低声源噪声。

3.2. 不采取降噪措施噪声预测

对该±800 kV 换流站没有采取任何噪声控制措施时进行了预测，根据站区总平面布置，按照上述噪声源及外界条件在 Sound Plan 软件中建立模型，站界测点为：站区围墙外 1.0 m，离地 1.2 m 高处，全站围墙高 2.5 m，预测计算的噪声区域图见图 2 所示。

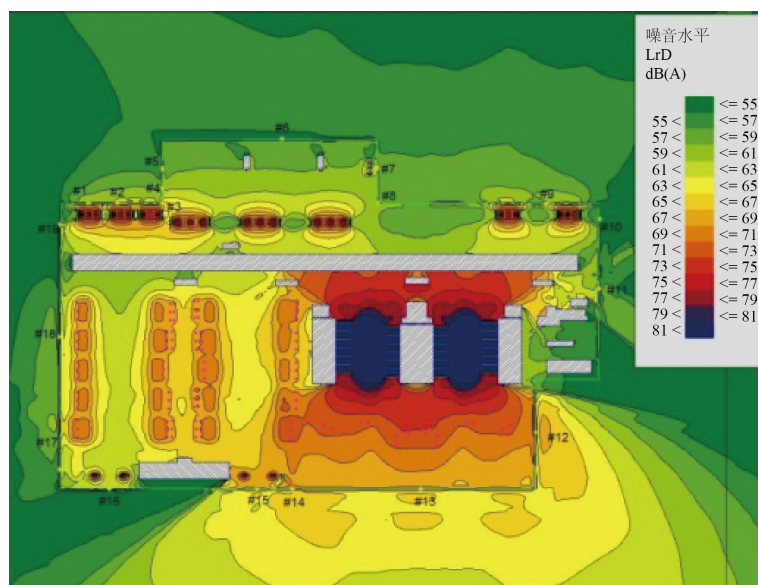


Figure 2. Noise prediction without noise reduction measures
图 2. 不采取降噪措施的噪声预测

从图 2 可以看出，不采取辅助降噪措施时，换流站各侧围墙外均存在噪声超标情况如下：

(1) 站界

南侧围墙站界噪声大部分超过 65 dB (A)，超过了所要求的 55 dB (A) 的限值标准，站区西北侧及东北侧区域噪声也都超过了 60 dB (A)。750 kV 交流滤波器场西侧围墙站界噪声基本在 65 dB (A) 左右。

(2) 站内

最严重的换流变压器区域的噪声超过了 80 dB (A)，对在换流变内巡视人员有影响。

通过上述分析可看出，从声级强度上看，造成换流站周围噪声超标的噪声源主要是换流变压器、750 kV 高压电抗器、平波电抗器噪声、滤波器组电容器及电抗器等。换流变压器是换流站中声级最高的室外噪声源，且由于站内布置 24 台换流变压器，数量较多，占地面积较大，其运行时产生的噪声为换流站厂界噪声是否达标的主要控制源，对周围环境的影响最大。因此必须针对以上设备采取辅助降噪措施降低换流站噪声影响，达到噪声防治的效果。

3.3. 仅采取加高围墙措施噪声预测

针对海南换流站部分站界噪声超标情况，首先对站区围墙进行加高并设置隔声屏障的降噪措施方案进行试算，围墙加高措施方案见图 3。站区 750 kV 交流滤波器场西侧和南侧围墙加高至 8 m，直流场平波电抗器南侧和东侧围墙加高至 12 m，750 kV 高压并联电抗器北侧围墙加高至 12 m。

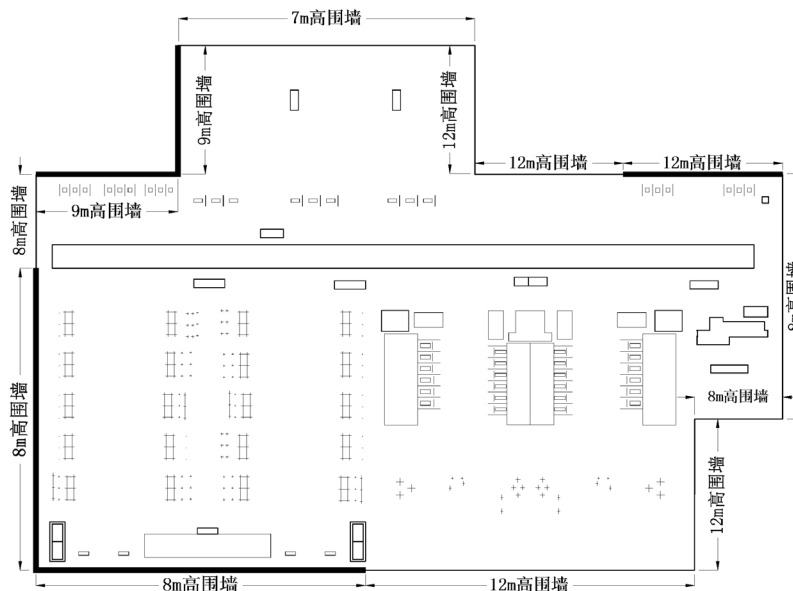


Figure 3. Layout of wall heightening
图 3. 围墙加高布置图

仅采取了加高围墙并设置隔音屏障的方案后的厂界噪声预测如图 4 所示。

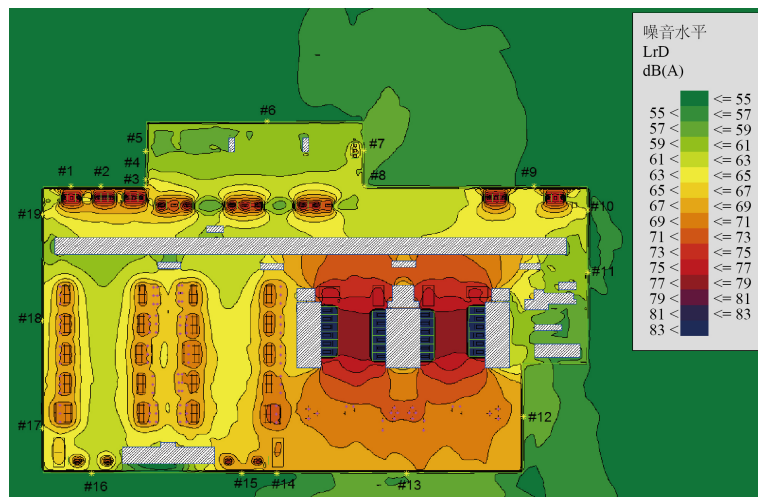


Figure 4. Prediction of noise reduction measures for heightening enclosure
图 4. 仅加高围墙方案降噪措施预测

由图 4 可知，当换流变压器不采用 BOX-IN 时，从噪声控制角度对站区围墙进行加高计算分析，仅通过加高围墙方案措施后，在距离换流变最近的东侧围墙，以及换流站直流场侧围墙外厂界噪声均达不到 GB12348-2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》3 类关于夜间 55 dB (A) 的限值标准，当将超限区域的围墙加高至如图 3 所示的高度后，继续增高围墙，降噪效果基本无变化，无法使噪声达到 55 dB (A) 的限值标准。因此，在仅采取加高围墙措施的情况下，站界噪声难以满足规范要求。

3.4. 采取半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案

通过上述 3.2、3.3 章节研究结论，换流变压器不采用 BOX-IN 时，仅通过增高围墙的方式无法使噪

声达到 55 dB (A) 的限值标准。为进一步解决噪声超标问题,同时考虑方便换流变压器发生事故时可对其快速的喷淋灭火,对换流变压器采用半封闭型 BOX-IN 与加高围墙并设置隔声屏障相结合的措施进行试算。半封闭型 BOX-IN 又分为以下两种结构型式:(1) 无顶盖方案;(2) 靠近散热风扇无侧板方案。

(1) 无顶盖半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案

无顶盖半封闭型 BOX-IN 方案:在换流变压器之间的两侧防火墙、阀厅外墙及通风降噪装置的四周,距地面高约 8 米处设置隔声吸声板,隔声吸声板的位置及宽度按设备的安全运行距离和通风散热要求确定。BOX-IN 顶部敞开。

对换流变压器采用无顶盖半封闭型 BOX-IN 方案,并在换流变压器附近设立隔声屏障的噪声控制措施进行试算,噪声预测结果如图 5 所示。

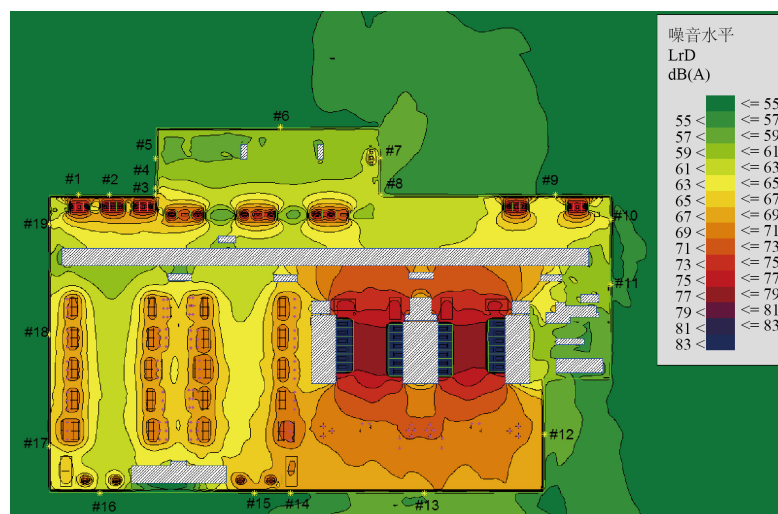


Figure 5. Noise prediction of the combination scheme of semi-closed BOX-IN and sound insulation barrier without top cover

图 5. 无顶盖半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案噪声预测

从图 5 可知,换流变压器采用无顶盖半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合的方案后,站界噪声最大为 70 dB~80 dB (A),超过了现行国家标准[2]中规定的限值标准,且继续对不达标侧围墙加高的过程中,超标测点基本无变化,即无法再通过增高围墙的方式使噪声达到 55 dB (A) 的限值标准。

2) 无侧板半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案

无侧板半封闭型 BOX-IN 方案:换流变压器之间防火墙、阀厅外墙,距地面高约 8 米处设置隔声吸声板,隔声吸声板的位置及宽度按设备的安全运行距离和通风散热要求确定。BOX-IN 在换流变散热风扇侧敞开。

对换流变压器采用无侧板半封闭型 BOX-IN,并在换流变压器附近设立隔声屏障的噪声控制措施进行试算,噪声预测结果如图 6 所示。

由图 6 可知:在采取靠近散热风扇侧无封装的半封闭型 BOX-IN 方案时,同样在距离换流变压器最近的东北角高抗区域侧围墙,以及直流场侧围墙外厂界噪声达不到 GB12348-2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》3 类关于夜间 55 dB (A) 的限值标准,且继续对不达标侧围墙加高的过程中,超标测点基本无变化,即无法再通过增高围墙的方式使噪声达到 55 dB (A) 的限值标准;最严重的换流变压器附近区域的噪声超过了 75 dB (A),会对换流站内巡视人员会有较大影响。

无侧板半封闭型 BOX-IN 方案有利于换流变压器的消防灭火及通风散热,但通过上述噪声预测结果

可知,站界噪声依然无法控制在标准限值以内,充方验证了换流变压器噪声是换流站内最主要的噪声源,其次才是交流滤波器电容器及电抗器,同时也说明本工程采用半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案的控制措施未能达到理想的降噪效果。

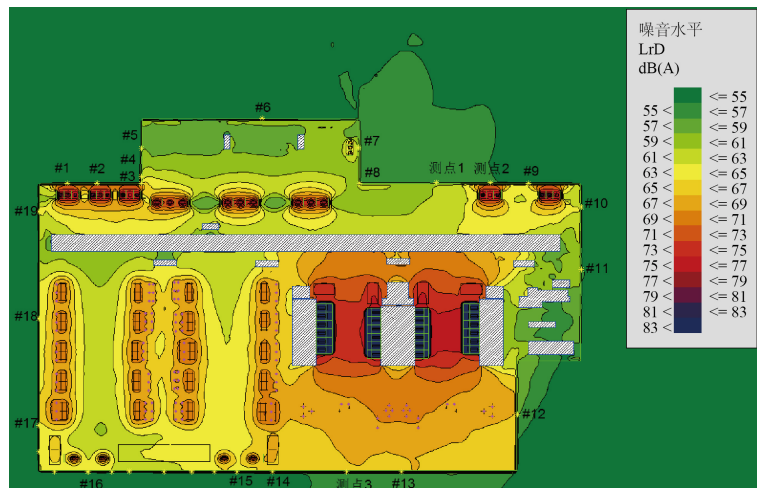


Figure 6. Noise prediction of semi enclosed box-in without side wall combined with sound insulation barrier

图 6. 无侧板半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案噪声预测

3.5. 采取全封闭 BOX-IN 与隔声屏障结合方案

仅加高围墙不加装 BOX-IN 以及半封闭型 BOX-IN 与隔音屏障相结合的方案均不能解决换流变压器噪声超标问题,在此基础上,提出对换流变压器采用全封闭型 BOX-IN 与隔声屏障相结合的降噪措施。

采用全封闭型 BOX-IN 方案就是将换流变本体设备封闭起来,把冷却风扇放在 BOX-IN 隔声罩的外侧,根据隔声量要求选取防湿、防潮及耐热的吸音材料,在选材时要考虑到材料的密度及型式,在满足隔声要求的同时还要满足运行维护的要求。

对换流变压器采用全封闭型 BOX-IN,并在换流变压器附近设立隔声屏障的噪声控制措施进行试算,试算的过程中,对站区围墙进行局部加高处理,为降低工程造价,减少围墙加高的工程量,通过反复多次试算,最终将站区西北侧及东北侧 750 kV 高压并联电抗器部分围墙增高至 6 m,上部设 2 m 隔声屏障;将站区 750 kV 交流滤波器场南侧围墙和西侧围墙增高至 4.3 m,上部设置 1 m 隔音屏障。其余部分围墙高度为 2.5 m,不设置隔音屏障。围墙加高示意如图 7 所示。

换流变压器采用全封闭型 BOX-IN 与局部围墙加高并设置隔声屏障方案后噪声预测结果如图 8 所示。

由图 8 可知:换流变压器采用全封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障方案后,厂界噪声大大降低,在部分厂界围墙增高后,可以满足《声环境质量标准》GB3096-2008 和《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB12348-2008 中 3 类标准限值要求。通过计算结果可知,全封闭型 BOX-IN 可有效降低噪声量约 28 dB (A)。

4. 噪声预测结果分析

该工程换流区布置 24 台换流变压器,配置 24 套 BOX-IN,考虑到 BOX-IN 隔声罩工程造价较高,按照技术可行、经济合理的原则,利用噪声预测软件对海南±800 kV 换流站工程仅加高围墙措施进行预测,将围墙加高至一定高度后噪声依然超标,且继续加高围墙不解决问题,验证了工程造价最低的仅采

取加高围墙的方案不可行, 需要进一步采取措施。为方便换流变压器发生事故时, 可从换流变压器顶部或正面迅速进行喷淋灭火, 分别考虑了无顶盖及无侧板半封闭型 BOX-IN 与加高围墙并设隔声屏障相结合措施进行预测, 验证了换流变压器噪声是换流站内最主要的噪声源, 其次才是交流滤波器电容器及电抗器, 同时也说明本工程采用半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案的控制措施未能达到理想的降噪效果。直到最终采用全封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障措施进行模拟试算后, 厂界噪声才满足《声环境质量标准》GB3096-2008 和《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB12348-2008 中 3 类标准限值要求。仅采取加高围墙措施、半封闭型 BOX-IN 与隔声屏障相结合措施以及全封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障措施的噪声预测值与实测值对比详见图 9。图中, 方案 1: 仅加高围墙。方案 2: 无顶盖半封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障结合。方案 3: 无侧板半封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障结合。方案 4: 全封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障措施。

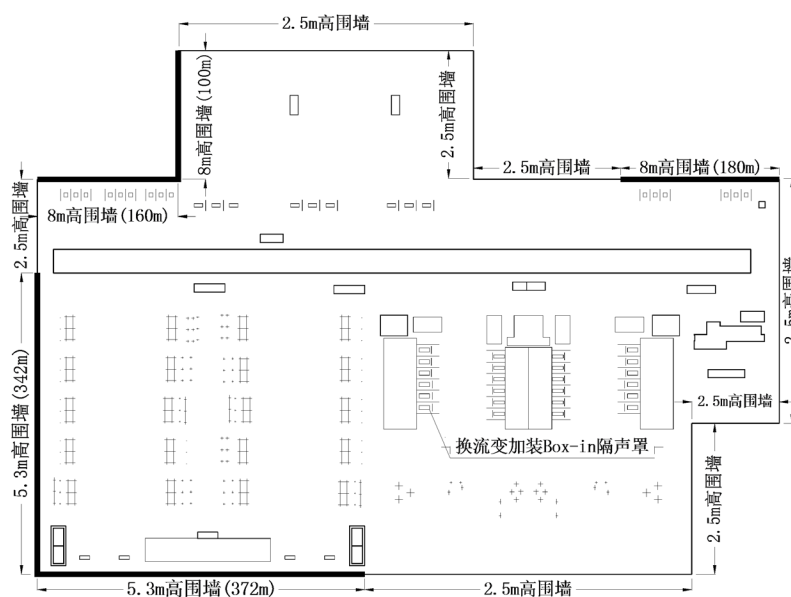


Figure 7. Schematic diagram of wall heightening
图 7. 围墙加高示意图

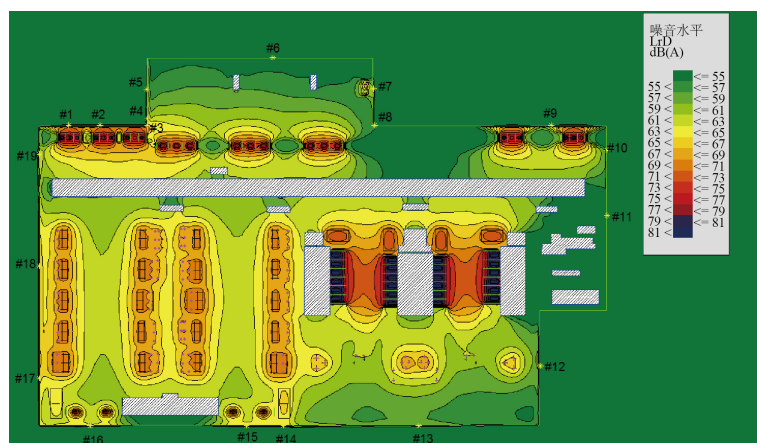


Figure 8. Noise prediction of fully enclosed box-in scheme combined with sound insulation barrier scheme
图 8. 全封闭型 BOX-IN 与隔声屏障结合方案噪声预测

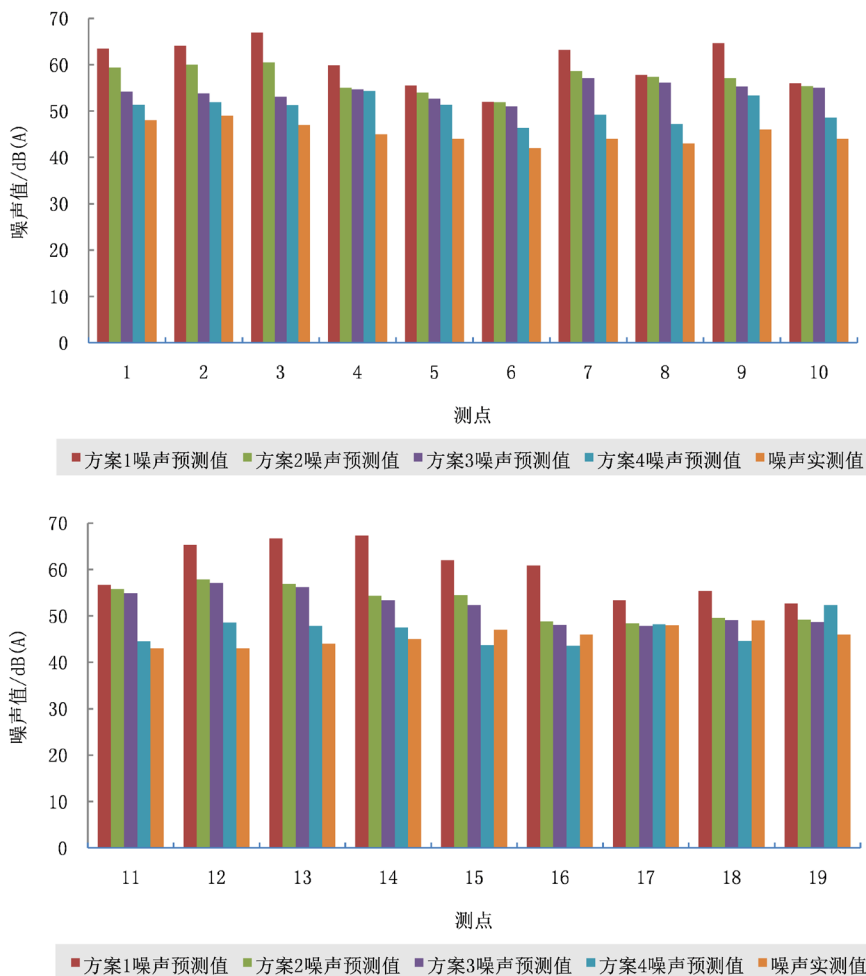


Figure 9. Comparison of predicted and measured values of boundary noise in different schemes

图 9. 不同方案厂界噪声预测值与实测值对比

分析图 9 可知：采取不同降噪措施方案后，噪声预测值与实测值变化趋势基本保持一致，噪声等级接近，说明建立的噪声模型都能够完整地反应出换流站真实的噪声分布情况。另外，通过 Sound plan 软件预测的噪声结果与实测值有一定的误差，平均误差值均在 5 dB (A) 以内，考虑到该工程在现场实测时仅交流部分、换流区低端带电，高端还未带电等原因，可能对现场测量结果产生一定影响，故认为采用 Sound plan 软件对海南±800 kV 换流站声源及建筑物的建模合理，各项参数设置正确，噪声预测结果准确。采取降噪措施后，该±800 kV 换流站噪声排放达到现行国家标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 3 类标准。

5. 结论

本文结合以往换流站噪声治理经验，利用噪声软件进行预测，通过软件模拟换流站内噪声源对站界的影响，提出了海南±800 kV 换流站噪声防治措施。主要结论如下：

(1) 不采取辅助降噪措施时，换流站各侧围墙外均存在噪声超标情况。

(2) 换流变压器不采用 BOX-IN，将围墙加高至 8 m~12 m 后，在距离换流变压器最近的东北侧围墙以及直流场侧围墙存在噪声超标情况，且无法再通过增高围墙的方式使噪声达到 55 dB (A) 的限值标准。

(3) 换流变压器采用半封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障结合方案后,站界噪声存在超标情况,且继续对不达标侧围墙加高的过程中,超标测点基本无变化,即无法再通过增高围墙的方式使噪声达到 55 dB (A)的限值标准。

(4) 换流变压器采用全封闭型 BOX-IN 与围墙加高并设置隔音屏障结合方案后,将站区西北侧 750 kV 高抗部分围墙增高至 6 m, 上加 2 m 隔声屏障;将站区西侧 750 kV 交流滤波器场附近围墙增高至 4.3 m, 上加 1 m 隔声屏障。厂界噪声可以满足《声环境质量标准》GB3096-2008 和《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB12348-2008 中 3 类标准限值要求。

(5) 将各措施噪声预测值与实测结果进行了对比分析,验证了噪声模型计算的准确性。

参考文献

- [1] 张劲松. 高压直流换流站噪声综合治理研究[J]. 电力建设, 2007, 28(8): 14-16.
- [2] 俞敦耀. ± 800 kV 特高压换流站噪声控制探讨[J]. 电力建设, 2009, 30(3): 13-15.
- [3] 环境保护部. GB 3096-2008, 声环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [4] 环境保护部. GB 12348-2008, 工业企业厂界环境噪声排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [5] 韩辉, 吴桂芳, 陆家榆. ± 800 kV 换流站阀厅与换流变压器采用一字形或面对面布置的噪声分析[J]. 电网技术, 2008, 32(9): 2-5.
- [6] 杨一鸣, 章旭雯. 特高压直流换流站设备的降噪措施[J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 149-152.
- [7] 张庆宝, 邓长虹, 俞敦耀, 等. 特高压直流换流站噪声控制方案研究[J]. 南方电网技术, 2009, 3(5): 15-17.
- [8] 朱洪波, 王勇, 李伟. 大连柔性直流输电受端换流站降噪方案研究[J]. 东北电力技术, 2016, 37(11): 19-21, 24.
- [9] 张国英, 刘辉, 谢连科, 等. 换流变电站可听噪声频谱分析与控制技术[J]. 中国电力, 2016, 49(1): 166-173.
- [10] 郝致远, 吴方劼, 肖鲲. ± 800 kV 特高压直流工程电力电容器噪声现状与降噪措施[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(4): 88-93.
- [11] 杨志萍, 李明, 陈建敏. 500 kV 华新换流站厂界噪声治理及降噪效果[J]. 电力与能源, 2011, 32(4): 303-305, 308.
- [12] 李铁楠, 胡胜, 陈绍艺, 等. 新建变电站和换流站噪声控制技术[J]. 湖南电力, 2014, 34(6): 41-44.
- [13] 攀小鹏, 李丽, 刘嘉文. ± 500 kV 换流站噪声污染分析及控制措施研究[J]. 电力科技与环保, 2017, 33(2): 5-8.
- [14] 高湛, 胡小龙, 李华. 高岭背靠背换流站噪声控制方案研究[J]. 电力建设, 2008, 29(8): 22-24.
- [15] 毛丹君. ± 800 kV 换流站噪声治理[J]. 吉林电力, 2015, 43(6): 44-46.
- [16] 苏炜, 申永成, 王增军, 等. 换流站降噪方案研究[J]. 山东电力技术, 2016, 43(5): 66-68.
- [17] 韩钰, 樊超, 王广克, 等. 基于频谱分析的 ± 800 kV 换流站噪声特性[J]. 中国电力, 2019, 52(10): 40-44, 177.
- [18] 关林坤, 赵凯龙, 高湛, 等. 默蒂亚里 ± 660 kV 换流站噪声控制方案优化研究[J]. 电力科技与环保, 2019, 35(3): 4-7.
- [19] 关林坤, 高湛, 鲁伟. ± 1100 kV 古泉换流站噪声治理研究与优化[J]. 电力勘测设计, 2020(Z1): 13-17.