

# 高压直流换流站设备可听噪声的分析与降噪探讨

叶春燕<sup>1</sup>, 王方强<sup>1</sup>, 陈 巍<sup>1</sup>, 王 杰<sup>1</sup>, 任志超<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;

2. 国网四川省电力公司经济技术研究院, 四川 成都 610041)

**摘要:** 高压直流换流站可听噪声的环境影响是直流输电急需解决的关键技术问题之一。对高压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, 并对噪声源的频谱特性进行了实测和分析, 在此基础上提出了噪声控制措施, 将噪声水平控制在国家标准允许范围内, 对实际工作具有一定的指导意义。

**关键词:** 换流站; BOX-IN; 声屏障; 频谱特性; 降噪

**Abstract:** The environmental impact of audible noise in HVDC converter stations is one of the key technical issues needing to be resolved urgently. The generation mechanism and acoustic characteristics of main noise source for HVDC converter station are studied, and the spectral characteristics of the noise source are measured and analyzed. On this basis, the noise control measures are proposed to restrict the noise levels within the allowable range of national standards, which has a guiding significance for the actual work.

**Key words:** converter station; BOX-IN; sound barrier; spectral characteristics; noise reduction

中图分类号: TM835 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)01-0068-03

## 0 引言

直流输电是电力系统近年来迅速发展的一项新技术, 具有送电距离远、输送容量大、线路损耗小的优点。换流站是直流输电工程中直流和交流进行相互能量转换的系统, 但它在给人们带来电力资源优化配置的同时, 会对周边环境辐射出很大的噪声, 并引起了社会的广泛关注。因此对高压直流换流站的可听噪声进行分析并提出降噪措施势在必行。

## 1 换流站设备噪声分析

换流站内的主要噪声源包括换流变压器、平波电抗器、交直流滤波器组、风机, 其中, 换流变压器、平波电抗器、交直流滤波器发生的噪声为电磁噪声, 风机发出的噪声为机械噪声和空气动力学噪声。下面对主要噪声源产生机理及频谱特性进行分析。

### 1.1 换流变压器噪声

换流变压器是换流站噪声的最主要来源, 其噪声来源于 3 个方面: 1) 铁心励磁时, 硅钢片的磁致

伸缩作用, 使得变压器铁心的尺寸发生变化, 引起周围空气和自身的振动所产生的振动噪声<sup>[1]</sup>; 2) 换流变压器冷却系统的风扇和盘管产生的噪声; 3) 线圈导线和线圈间的电磁力对变压器和磁性材料的噪声<sup>[2]</sup>。

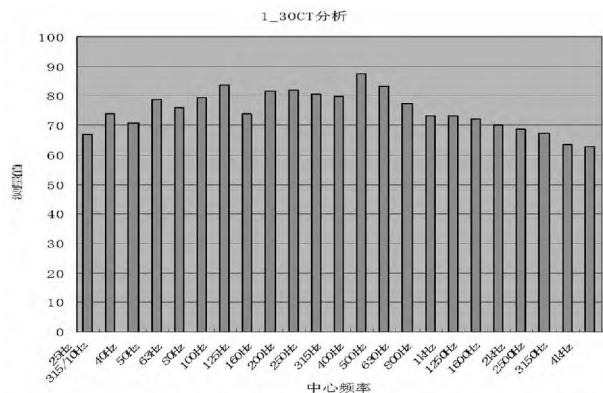


图 1 换流变压器可听噪声频谱图

图 1 是某换流站换流变压器实测噪声频谱, 其频率以 100 Hz 基频及其谐频为主。从 1/3 倍频程频谱测量结果看出, 换流变压器在中低频部分有明显的峰值, 而受冷却风扇的影响, 中频带的声级也较高, 高频带的声级呈平缓下降的趋势, 设备噪声总体频带较宽。在 100、400、500 Hz 的中心频率上出现

峰值,平均噪声水平 85 ~ 100 dB<sup>[3]</sup>。

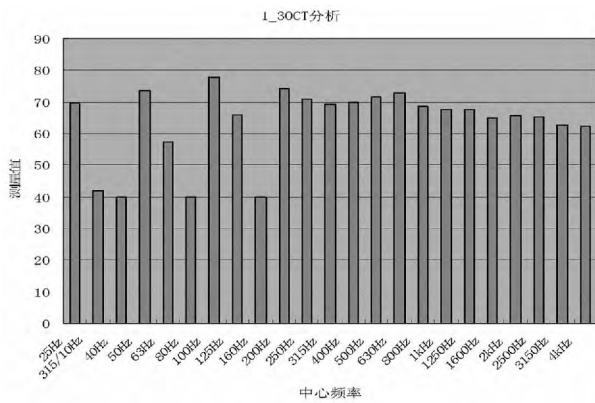


图2 平波电抗器噪声频谱图

### 1.2 平波电抗器噪声

平波电抗器的噪声主要由直流电流和谐波电流的相互作用引起绕组振动<sup>[4]</sup>。油浸式平波电抗器的绕组和绝缘结构和换流变压器相同,因此其噪声的产生机理、频率范围、声级强度和换流变压器类似。从图2看出,噪声总体频带较宽。在低频段100、200、400 Hz的中心频率上有明显峰值,在中、高频上频率成分丰富并趋于平缓。平波电抗器前噪声总声级为85 ~ 90 dB<sup>[5]</sup>。

### 1.3 交流滤波器组

交流滤波器组由滤波电抗器和滤波电容器组成。电抗器一般采用干式空心电抗器,电抗器线圈受交替变化的电磁场作用而引发周期性的磁致伸缩作用而产生噪声,在低频有明显峰值。电容元件的底部和顶部产生的噪声最大,是噪声的主要来源<sup>[6]</sup>。在声级强度上低于换流变压器和平波电抗器产生的噪声。

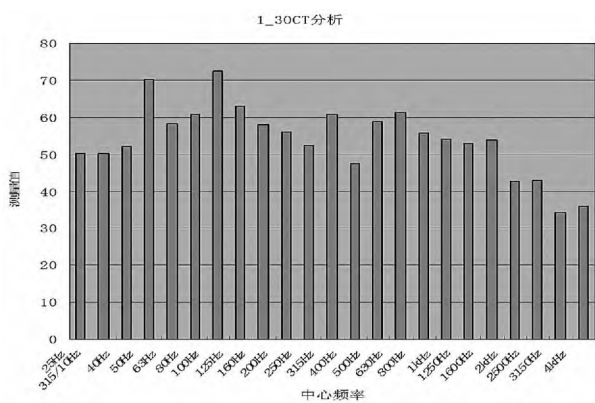


图3 交流滤波器组噪声频谱图

由图3看出,噪声的总体频带较宽,交流滤波器组噪声在低频段的50、100、125、200 Hz的中心频率上出现峰值,在中、高频上趋于平缓,其声级强度

低于换流变压器和平波电抗器的噪声。滤波器组噪声总声级为63.6 ~ 65.6 dB<sup>[7]</sup>。

### 1.4 阀外冷设备

阀外冷设备的风冷机组或冷却塔也是产生换流站噪声的设备。阀冷却塔风机噪声的频谱特性属于典型的风机噪声频谱,噪声分布频带较宽,低、中、高频段频率成分丰富平均,无明显峰值。

## 2 换流站噪声治理研究

换流站周边的环境敏感目标噪声执行《声环境质量标准》(GB 3096 - 2008),换流站站界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348 - 2008)。按照厂界环境噪声排放标准,II类标准限值为昼间小于60 dB(A),夜间小于50 dB(A)<sup>[8]</sup>。噪声控制途径包括以下3种方法:①控制噪声源;②切断噪声传播途径;③保护噪声受体。下面结合换流站设备实际情况分别阐述。

### 2.1 声源控制

#### 2.1.1 换流变压器

换流变压器是换流站中噪声最大的单体设备,为了降低对外辐射噪声:①由于磁致伸缩率大小与硅钢片的材质有关,可采用磁致伸缩率小的高导磁材料,如高导磁硅钢片,铁心的噪声在同样工作磁密下降低2 ~ 4 dB(A),但这种方法成本较高。②降低铁心磁通密度。试验表明,磁通密度每降低0.1 T,铁心噪声可降低2 ~ 3 dB(A)<sup>[9]</sup>;③采用低噪声风扇;④在油箱内部加吸音材料,在外部加隔音板。

#### 2.1.2 平波电抗器

1) 对于干式平波电抗器,可限制线圈的振动,调整结构尺寸、间隔棒和机械支撑使共振频率远离临界频率,使用大导体增加惯性来减少振幅等办法,可将噪声降低5 ~ 10 dB;

2) 采用顶部和底部封装分别加装屏蔽层的方式降噪,屏蔽后降噪可达15 ~ 20 dB<sup>[10]</sup>。

#### 2.1.3 交流滤波器组

1) 采用低噪声电抗器<sup>[11]</sup>;

2) 采用双塔式电容器。电容器的噪声很大,换流站的电容器组是由一系列单个电容器组成,这些元件以串联的形式连在一起,导致高度很大,经过优化改进后,将电容器组由单塔式变为双塔式,在降低电容器高度的同时,也降低了电容器对外辐射的噪声。

## 2.2 噪声传播途径的控制

如果上述方法不能大幅度有效降低噪声,或者进一步降低设备噪声所需成本较高时,可考虑采用切断噪声传播途径为主的降噪措施,如隔声、消声、吸声和隔振等。

### 2.2.1 换流站设计方案优化

1) 尽量将控制楼、阀厅和换流变压器布置在站址中央区域;

2) 阀厅和换流变压器宜采用面对面方式布置;

3) 交流滤波器与换流变压器宜分开布置,同时降低交流滤波器高度,并使其远离站界<sup>[12]</sup>。通过采用噪声分析软件 SOUNDPLAN 对换流站区域噪声进行模拟计算,图 4 和图 5 分别为采用一字形和面对面布置时换流站的噪声分布图。

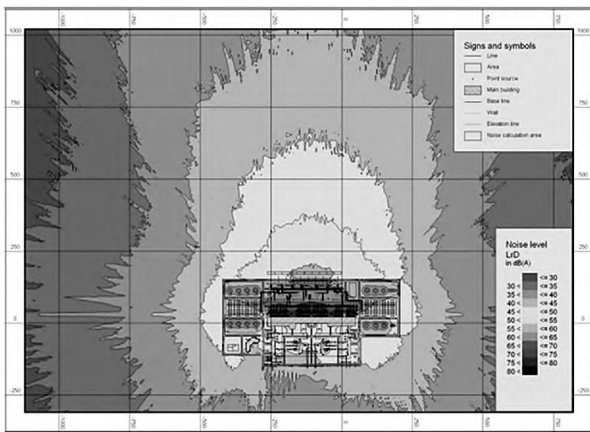


图 4 采用一字形布置时换流站的噪声分布

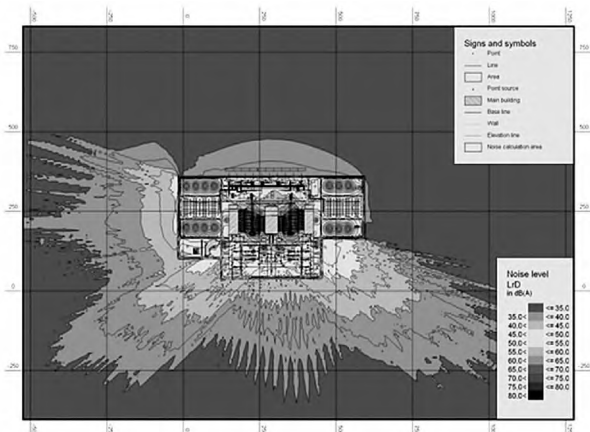


图 5 采用面对面布置时换流站的噪声分布

从图 4 和图 5 可以看出,与按一字形布置时相比,阀厅和换流变压器按面对面布置时能改善换流站外的噪声环境。

### 2.2.2 设置声屏障等

1) 声屏障材料有砖墙、钢结构、复合结构多种类型,声屏障的插入损失(也即降噪量)取决于声波

在声屏障上的透射、绕射和反射情况<sup>[13]</sup>,一般可取得 5 ~ 15 dB 的降噪效果;

2) 隔声罩:其隔音效果比声屏障要好,一般降噪量可以达到 15 ~ 25 dB(A)。例如采用隔声封装的“BOX-IN”技术,它是借助换流变压器防火墙对换流变压器本体进行封闭式隔声处理的一种变压器噪声治理的新技术<sup>[14]</sup>,目前采用最多的是移动式 BOX-IN 技术,可有效降低噪声量 30 dB;

3) 隔振装置:可以降低噪声 1 ~ 5 dB(A)。如换流变压器等设备在其底部加装减振装置来降低低频结构噪声;

4) 风机消声器:一般可取得 15 ~ 30 dB(A) 的降噪效果<sup>[15]</sup>。

## 2.3 保护噪声受体

通过在换流站外围围墙上设置声屏障,可以阻挡一部分噪声的传播,隔离透射声,并使绕射声有足够的衰减作用<sup>[16]</sup>,基本上可以把站界噪声标准限制在规定值内。

## 3 噪声治理效果分析

对某换流站主要噪声源降噪方案如下。

方案 1:换流变压器采用 BOX-IN 封装方式降噪,则换流站噪声水平得到最大限度降低,站界噪声水平小于 50 dB。

方案 2:换流变压器两侧加防火墙、厂房外墙及通风降噪装置四周设置声屏障,防火墙上贴吸声材料(复合吸声体),并延长防火墙长度。

方案 3:换流站电容器组采用双塔结构,从而降低了声源高度,并减少了噪声传播范围。

方案 4:换流阀冷却塔选用低噪声风扇,并采用屏蔽罩降低其噪声。

对比上述降噪方案,采用噪声分析软件 SOUNDPLAN 对换流站区域噪声进行模拟计算,其中方案 1 能使换流站噪声水平得到最大限度降低,使站界噪声控制在 50 dB(A) 以下,居民点噪声级也控制在声环境质量标准 II 类标准之内。

## 4 结 论

1) 换流变压器、平波电抗器、交流滤波器组、阀  
(下转第 87 页)

## 4 结 语

重点分析了新疆 750 kV 变电站 3/2 母线接线方式,对 3/2 接线方式在运行的可靠性、检修方式下的灵活性与倒闸操作的安全性方面进行重点讨论,同时结合实际工作情况提出了几点优化倒闸操作效率的建议,对于新疆超高压电网运行维护具有十分重要的意义。

### 参考文献

[1] 何仕卿. 220 kV 母线保护改造问题[J]. 四川电力技术, 2009, 31(20): 73-74.

[2] 钟惠霞. 南方电网 500 kV 3/2 断路器主接线的特殊运行方式[J]. 电网技术, 1995(5): 35-39.  
[3] 范锡普. 发电厂电气部分[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.  
[4] 宋继成. 220~500 kV 变电所电气接线设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.  
[5] 广西电力设计院. 500 kV 玉林变初步设计[Z]. 1998.  
[6] 中南设计院. 500 kV 南宁变初步设计[Z]. 2000.

### 作者简介:

徐 闯(1981), 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护;

石 辉(1984), 工程师, 主要研究方向为现代电力系统运行与控制。

(收稿日期: 2013-09-06)

(上接第 70 页)

外冷风机是换流站内的主要噪声源,其噪声类型包括电磁噪声、机械噪声和空气动力学噪声。采取降噪措施时应统筹规划,遵循环保达标、技术可行、经济合理的原则进行治理。

2) 换流站内的设备噪声频谱特征具有频带较宽的特点,其中以中低频噪声为主,高频成分较弱。

3) 换流变压器在 100、400、500 Hz 的中心频率上出现峰值,中频带的声级较高,高频带的声级呈平缓下降的趋势,设备噪声以铁心振动噪声为主,因此应主要针对铁心采取降噪措施。

4) 平波电抗器在 100、200、400 Hz 的中心频率上有明显峰值,在中、高频上频率成分丰富并趋于平缓。设备噪声以铁心振动和线圈电磁振动为主,因此应针对铁心和线圈采取降噪措施。

5) 交流滤波器组在低频段的 50、100、125、200 Hz 的中心频率上出现峰值,在中、高频上趋于平缓,应主要针对电容器和电抗器采取降噪措施。

6) 换流站噪声控制应先合理选择换流站站址,其次尽可能地降低噪声源的数量和强度,然后考虑合理选择和优化设计方案,最后才考虑必要的隔声、消声等降噪治理措施。同时为了控制降噪成本,噪声控制工程应与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。

### 参考文献

[1] 余尤好,陈志宝. 大型电力变压器的噪声分析与控制[J]. 变压器, 2007, 44(6): 23-26.  
[2] 马大酋. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.  
[3] 刘惠玲. 环境噪声控制[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002.

[4] 邱宁,穆华宁,胡小龙. ±800 kV 换流站噪声控制研究[R]. 北京中国电力工程顾问集团公司, 2005.  
[5] Lan T S, Chiu M C. Optimal Noise Control on Plant Using Simulated Annealing[J]. Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 2008, 32(3-4): 423-437.  
[6] 国家环境保护总局环境工程评估中心. 环境影响评价技术导则与标准[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.  
[7] GB 12349-90. 工业企业厂界噪声测量方法[S].  
[8] GB 12348-1990. 工业企业厂界噪声标准[S].  
[9] 南方电网技术研究中心. 云南—广东 ±800 kV 直流输电工程可听噪声研究报告[R]. 广州: 南方电网技术研究中心, 2006.  
[10] 刘培杰,孙海涛,王红卫. 噪声模拟软件 Cadna/A 在交通噪声预测评价中的应用[J]. 电声技术, 2008, 32(7): 64-67.  
[11] 河南电力试验研究院. 灵宝换流站可听噪声测试报告[R]. 郑州, 2005.  
[12] 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): 1-5.  
[13] 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.  
[14] 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.  
[15] 高聚元,宋金鹏. 贵广直流肇庆换流站噪声治理工程设计方案[R]. 北京: 北京绿创声学工程股份有限公司, 2006.

### 作者简介:

叶春燕(1983), 硕士研究生, 工程师, 主要从事电磁环境监测及治理工作。

(收稿日期: 2013-10-08)