

# 500 kV 变电站简化噪声源衰减特性研究

严青<sup>1</sup>, 佟如意<sup>2</sup>, 何清怀<sup>1</sup>, 陈笠<sup>1</sup>

(1. 四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

**摘要:** 基于四川某 500 kV 变电站, 将其主变压器分别简化为体声源、面声源和点声源, 对噪声衰减情况进行预测分析。结果表明, 采用 Cadna/A 软件和噪声导则推荐模式计算的噪声声压级吻合良好, 距体源、面源、点源相同距离处采用软件计算的噪声声压级差异较小, 最大差值仅为 0.9 dB(A); 在近声场 ( $L \leq 5$  m), 体源噪声衰减最慢, 面源其次, 点源衰减最快 ( $L$  距声源距离) 相同时, 声压级从大到小依次为体源、面源、点源; 而在远声场 ( $L \geq 35$  m), 各声源衰减规律一致, 声压级从大到小依次为点源、面源、体源。从机理上阐明了变电站噪声预测工作中的声源简化差异问题, 具有很强的指导意义。

**关键词:** 500 kV 变电站; 简化; 噪声源; 预测; Cadna/A

中图分类号: TB53 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)02-0060-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.02.014

## Study on Attenuation Characteristic of Simplified Noise Sources for 500 kV Substations

Yan Qing<sup>1</sup>, Tong Ruyi<sup>2</sup>, He Qinghui<sup>1</sup>, Chen Li<sup>1</sup>

(1. Sichuan Electric Power Design & Consulting Co., Ltd., Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** The main transformer is simplified as a volume source, area source and point source respectively to analyze the attenuation characteristic based on a 500 kV substation in Sichuan province. The result indicates that the calculated noise levels of software Cadna/A highly tally with the theoretical formulas, and the difference among three kinds of simplified noise sources at the same distance is as small as just 0.9 dB(A). In the near sound field, attenuation rate of volume source is the slowest, the following is area source ( $L \leq 5$  m), and the fastest is point source, so that the sound pressure level of volume source is the highest, the following is area source, and the lowest is point source when  $L$  (distance from the source) is the same from the sources. However, in the far sound field ( $L \geq 35$  m), three noise sources perform accordantly in terms of attenuation discipline, and the sound pressure level of point source is the highest, the following is area source, and the lowest is volume source. The divergence of simplified noise sources is explained from the mechanism, which is highly instructive for substation noise prediction.

**Key words:** 500 kV substation; simplified; noise source; prediction; Cadna/A

近年来,越来越多的500 kV变电站开始出现在有居民分布的区域,为使变电站噪声达标,避免与周围居民的冲突,迫切需要在变电站设计阶段进行噪声模拟预测,进而采取相应的噪声防治措施。500 kV变电站内噪声源设备较多,其中以主变压器产生的噪声最为明显。主变压器噪声以低频为主,频率集中在100~500 Hz之间<sup>[1]</sup>,低频噪声因波长较长,

具有很强的绕射和透射能力,随距离衰减较慢,对区域声环境影响较大,属于难治理噪声<sup>[2]</sup>。

目前国内针对500 kV变电站的噪声模拟预测常采用Cadna/A软件,可根据变电站总平面布置、声源源强大小、建(构)筑物尺寸等因素进行噪声预测。由于变电站中噪声源设备组成和噪声产生机理较复杂,难以用Cadna/A软件进行准确模拟。为充

分反映变电站投运后产生的噪声影响,通常根据其噪声源强大小、几何尺寸等因素进行等效简化设置。以500 kV变电站主变压器为例,一般可将其简化为体声源、面声源或点声源,如文献[3]将变电站主变压器简化为5个面源组成的体源;文献[4]将变电站主变压器简化为平行于地面的面声源;文献[5]将变电站主变压器简化为垂直于地面的面声源;文献[6]将变电站主变压器简化为位于设备中心的点声源。不同的简化方式导致变电站的预测方法不一致,预测结果存在一定的分歧,直接影响变电站降噪方案的设置。下面基于四川某500 kV变电站,将其主变压器分别简化为体声源、面声源和点声源,分析不同简化声源随距离的衰减特性。

## 1 变电站主变压器简化方法

四川某500 kV变电站的主变压器外形尺寸按13 m×9 m×4 m考虑,其噪声源强大小按设备外2 m处声压级为62 dB(A)(由设备厂家提供)考虑,再通过Cadna/A软件倒推计算出各声源的声功率级大小。主变压器简化为体源、面源和点源的参数情况见表1,其简化示意图见图1。

表1 主变压器简化为体源、面源和点源的声功率级情况

简化类型	简化方式	声功率级大小 / dB(A)
体源	由主变压器顶面和四周侧面组合而成	85.8
面源	平行于地面,位于主变压器中心高度	85.9
点源	位于主变压器中心位置	86.4

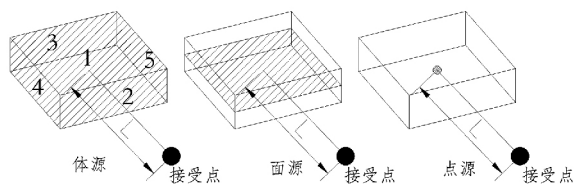


图1 主变压器简化示意图(图中阴影部分为简化声源)

## 2 变电站主变压器噪声预测方法

### 2.1 噪声导则推荐模式建模计算

根据《环境影响评价技术导则——声环境》(HJ

2.4-2009),若已知无指向性点声源的声功率级,且声源处于自由声场,则距离声源 $r$ 处几何发散衰减的基本公式为

$$L_p = L_w - 20\lg(r) - 8$$

式中: $L_p$ 为衰减后距声源 $r$ 处的声压级; $L_w$ 为点声源的声功率级。

面声源可简化为由若干个点源组合而成,如上述13 m×9 m面源可简化为117个1 m×1 m单位面源,可将其近似为位于面源中心的点源;同理,由5个面源组合而成的体源,也可将其简化为293个点源,因此根据均匀分布的各个点源声功率级,结合上述衰减公式可以建模计算距各个点声源不同距离处的噪声声压级叠加值。

### 2.2 Cadna/A软件建模计算

采用Cadna/A软件,分别建立变电站主变压器的体源、面源、点源模型,根据设备外2 m处的声压级倒推出各声源的声功率级,不考虑地面吸收系数和周围屏障的遮挡作用,设置计算网格0.5 m×0.5 m,预测距声源不同距离处的噪声声压级大小。

## 3 变电站主变压器噪声预测结果

### 3.1 主变压器不同简化方式的噪声预测结果

分别采用噪声导则推荐模式和Cadna/A软件对变电站主变压器不同简化类型的声源衰减情况进行建模计算,距各声源不同距离处的噪声声压级见表2。

由表2可知,距各声源不同距离处的噪声导则推荐模式和软件预测值吻合良好,最大差值出现在远声场 $L=200$  m处,仅为1.4 dB(A),这表明采用Cadna/A软件计算时仅考虑各点声源的能量叠加,而未考虑声波之间的相位影响<sup>[7]</sup>,与点声源的几何衰减模式一致。

距各声源不同距离处的软件预测值见图2。

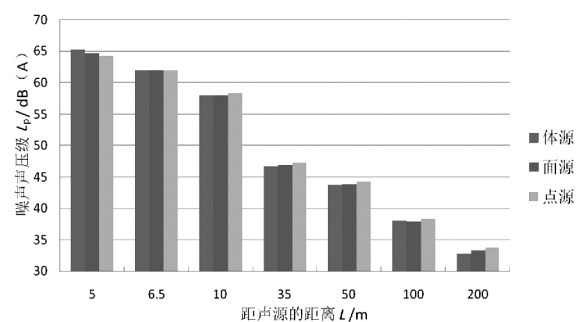


图2 距各声源不同距离处的软件预测值

表 2 主变压器简化为体源、面源和点源后  
不同距离处的声压级情况

距声源距离 <sup>①</sup> L/m	声压级 $L_p$ / dB(A)					
	体 源		面 源		点 源	
	噪声导则推荐模式	软件	噪声导则推荐模式	软件	噪声导则推荐模式	软件
5	65.3	65.2	64.9	64.7	63.4	64.3
6.5	62.0	62.0	62.1	62.0	62.1	62.0
10	58.0	58.0	58.2	58.0	58.4	58.3
35	46.9	46.7	47.1	46.9	47.5	47.3
50	43.8	43.7	44.0	43.8	44.4	44.3
100	37.8	38.0	38.0	37.9	38.4	38.4
200	31.7	32.8	32.0	33.3	32.4	33.8

注: ①噪声接受点位于主变压器长边一侧中心轴线上, 距地面 1.2 m 处。

由表 2、图 2 可知, 距体源、面源、点源相同距离处的噪声声压级差异较小, 最大差值仅为 0.9 dB(A), 由表 1 可看出, 各声源的总声功率级相近, 最大差值为 0.6 dB(A), 这表明不论采取何种简化方式, 其噪声接受点的声压级大小主要取决于声源的总声功率级大小。

由表 1 可知, 点源反推得出的噪声声功率级最大, 面源其次, 体源最小。由图 2 可知: 在  $L=6.5$  m (主变压器外 2 m) 处, 体源、面源和点源的软件预测结果相同; 但是在  $L=5$  m 处, 体源的噪声声压级最大, 面源其次, 点源最小, 与声源噪声声功率级变化规律相反, 这表明在近声场 ( $L \leq 5$  m), 面源特征较明显, 因此由 5 个面源组成的体源噪声衰减最慢, 单个面源其次, 点源衰减最快; 而在远声场 ( $L \geq 35$  m), 噪声接受点距体源、面源和点源的距离均大于 2 倍各声源的最大尺寸, 故均可视为点源, 各声源衰减规律一致, 声压级与总声功率级变化趋势一致, 即声源总声功率级从大到小依次为点源、面源、体源, 在远声场距声源相同距离处的声压级从大到小依次也为点源、面源、体源。

### 3.2 体源各面的噪声衰减特性

组成体源的 5 个面源随距离的衰减情况见图 3。

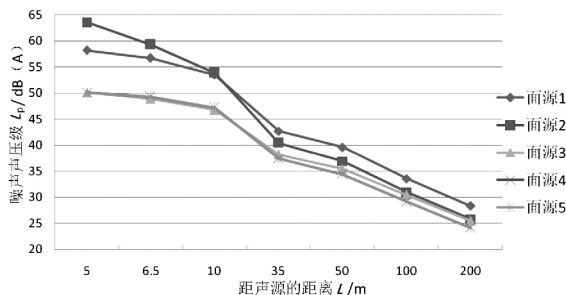


图 3 组成体源的 5 个面源随距离的衰减情况

表 3 体源各面源随距离的衰减情况

距声源 距离 <sup>①</sup> L/m	声压级 $L_p$ / dB(A)				
	面源 1	面源 2	面源 3	面源 4	面源 5
5	58.2	63.6	50.1	50.1	50.1
6.5	56.7	59.3	48.9	49.3	49.3
10	53.5	53.9	46.8	47.2	47.2
35	42.7	40.4	38.2	37.4	37.4
50	39.6	36.9	35.4	34.4	34.4
100	33.6	31.0	30.4	29.1	29.1
200	28.3	25.8	25.5	24.1	24.1

注: ①噪声接受点位于主变压器长边一侧中心轴线上, 距地面 1.2 m 处。

由图 3 可知, 5 个面源中, 面源 2 随距离衰减最快, 而面源 1 衰减最慢, 这是由于面源噪声主要沿着其中心轴线进行发散, 面源 2 为垂直面源, 面源 1 为平行于地面的面源, 故面源 2 在  $L$  方向的衰减程度大于面源 1; 虽然面源 2、面源 3 的总声功率级相同, 但是在近声场 ( $L \leq 5$  m), 噪声接受点与面源 3 的距离大于与面源 2 的距离 (距离差  $\Delta L = 9$  m), 故导致面源 2 在噪声接受点的噪声声压级较大, 而随着  $L$  增大,  $\Delta L$  可逐渐忽略不计, 则面源 2、面源 3 在噪声接受点的噪声声压级逐渐趋于相同; 距面源 4、面源 5 不同距离处的噪声声压级和衰减规律均相同, 相比其他面源, 面源 4、面源 5 在远声场 ( $L \geq 35$  m) 的噪声声压级最小, 一方面由于这两面面源面积较小, 导致总声功率级较小, 另一方面由于面源 4、面源 5 平行于噪声接受点与主变压器中心连线, 点源特征较明显, 在远声场衰减较快。

总的来说, 体源的 5 个面源中与地面平行的面源 1 衰减最慢, 且在远声场 ( $L \geq 35$  m), 噪声声压级最大, 对体源产生的总声压级贡献值最大。

(下转第 81 页)

puter, Telecommunications and Information Technology, 2013 IEEE 10th International Conference, Krabi, Thailand: 2013.

[16] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 电力系统广域继电保护研究综述 [J]. 电力自动化设备, 2010, 30(5): 125 - 129.

[17] Paolo Castello, Paolo Ferrari, Alessandra Flammini, et al. A New IED with PMU Functionalities for Electrical Substations [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 2013, 62(12): 3209 - 3217.

[18] Liu Yiqing, GAO Houlei, Wei Xin, et al. Study on New

Type of IED with Integrated Functions in Intelligent Substation [C]//The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, Beijing, China: 2011.

作者简介:

姜晨(1991), 硕士研究生, 从事变电(配电)运检工作;

纪礼君(1989), 硕士研究生, 从事变电(配电)运检工作。

(收稿日期: 2017-11-09)

=====

(上接第62页)

### 参考文献

## 4 结 语

综上所述, 将四川某 500 kV 变电站的主变压器分别简化为体声源、面声源和点声源, 分析不同简化声源随距离的衰减特性, 得出如下结论:

1) 在不考虑声波之间的相位影响, 仅考虑声波的能量叠加时, 采用 Cadna/A 软件和噪声导则推荐模式的计算结果一致。

2) 距体源、面源、点源相同距离处的噪声声压级差异较小, 最大差值仅为 0.9 dB(A), 噪声接受点的声压级大小主要取决于各声源的总声功率级大小。

3) 在近声场 ( $L \leq 5$  m) 面源特征较明显, 体源噪声衰减最慢, 面源其次, 点源衰减较快,  $L$  相同时, 声压级从大到小依次为体源、面源、点源; 而在远声场 ( $L \geq 35$  m), 各声源衰减规律一致, 声源的总声功率级起决定性因素,  $L$  相同时, 声压级从大到小依次为点源、面源、体源。

4) 体源的 5 个组成面源中, 垂直面源随距离衰减较快, 平行于地面的面源衰减较慢, 总声功率级相同的两个垂直面源, 随着  $L$  增大,  $\Delta L$  可逐渐忽略不计, 在噪声接受点的噪声声压级趋于相同, 平行于噪声接受点与主变压器中心连线的面源, 点源特征较明显, 在远声场 ( $L \geq 35$  m) 的噪声声压级最小。

由于 Cadna/A 软件在模拟过程中未考虑声波之间的相位干涉影响, 故软件预测值与变电站实际运行过程中的噪声监测值可能存在一定的差异, 在下一阶段应结合变电站噪声监测结果分析其差异性, 并进一步探讨预测优化方案。

[1] 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.

[2] 陈俩, 陈双, 许超等. 500 kV 变电站噪声特性及控制 [J]. 四川环境, 2015, 34(2): 80 - 84.

[3] 孙宇晗, 莫娟, 曹枚根, 等. 基于噪声控制的变电站平面布置优化设计 [J]. 电力建设, 2013, 34(12): 18 - 23.

[4] 林旗力, 唐蕾, 施华彪, 等. 500 kV 变电站噪声控制措施比较研究 [J]. 电力科技与环保, 2013, 29(6): 4 - 6.

[5] 齐飞, 余寒, 华伟. Cadna/A 在江苏 500 kV 变电站噪声环境预测中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2015(4): 6 - 7.

[6] 黎文辉. 高压变电站噪声污染预测与防治技术研究 [D]. 广东: 广东工业大学环境科学与工程学院, 2015.

[7] 阮学云, 魏浩征, 李志远, 等. 户外噪声相干预测模型及其工程应用 [J]. 中国环境科学, 2015, 35(6): 1877 - 1884.

作者简介:

严青(1988), 硕士、工程师, 研究方向为环境噪声防治;  
佟如意(1981), 硕士、高级会计师, 研究方向为公司财务管理、运营监控管理;

何清怀(1966), 本科、教授级高工, 研究方向为输变电和电厂环境污染防治;

陈笠(1985), 硕士、工程师, 研究方向为电厂污染控制。

(收稿日期: 2017-10-12)