

城区 220 kV 户内变电站噪声预测及防治

何清怀¹, 范荣全², 王亚莉¹, 李 晔¹, 俞悟周³, 严 青¹

(1. 四川电力设计咨询有限责任公司, 成都 610016; 2. 四川省电力公司, 成都 610041;

3. 同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘 要:以成都某 220 kV 户内变电站为例, 利用 Cadna/A 分析了 220 kV 户内变电站布置型式及噪声源特性, 提出了户内变电站噪声预测模式及预测参数选择, 并拟选了户内变电站噪声防治措施。通过户内变电站采取措施前后站界噪声预测结果分析, 并与监测结果比较, 表明采取措施的有效性, 便于指导同类户内变电站的噪声预测及防治措施的制定。

关键词:户内变电站; 噪声; Cadna/A; 预测; 噪声控制

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2014)S2-005-06

随着经济的发展, 城区用电负荷逐年创新高, 电力负荷密度达到 $10\sim 50\text{ MW/km}^2$, 供电矛盾日益凸显。随着电力负荷增长的需求以及城市用地的日益紧张, 越来越多的 220 kV 等级的变电站进驻城区, 与此同时, 随着城镇化步伐加快, 一些原本远离居民区的城郊变电站也逐步被居民区所包围^[1]。近年来, 城区变电站产生的噪声(以低频噪声为主)逐步受到附近居民的关注, 甚至引发环保投诉^[2]。根据声环境功能区划分类, 城区变电站通常执行《工业企业厂界噪声排放标准》2 类标准^[3], 为了降低变电站噪声对周围居民区的影响, 减少站界噪声超标现象, 需要制定有效的城区户内变电站噪声控制措施。

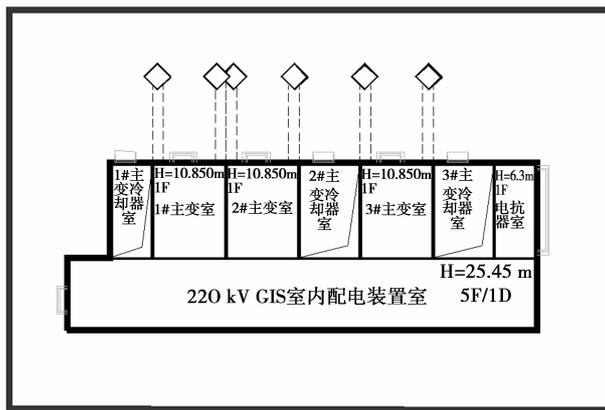


图 1 城区典型 220 kV 户内变电站综合楼平面布置图

1 典型户内变电站及其噪声源特性

1.1 典型户内变电站

图 1 为成都城区典型 220 kV 户内变电站平面布置图, 变电站建筑物主要为配电综合楼, 包括主变室、电抗器室、110 kV GIS 室、220 kV GIS 室、无功补偿装置室、主控制室、10 kV 配电室、电缆层等^[4], 其剖面布置如图 2 所示。

1.2 噪声源特性

变电站综合楼噪声源主要有两大类: 一是电气设备, 如主变压器、电抗器等; 二是通风散热设备, 包括用于各电气设备通风散热的风机、主变散热器、主控制室等工作用房的空调外机等, 其中以变压器噪声

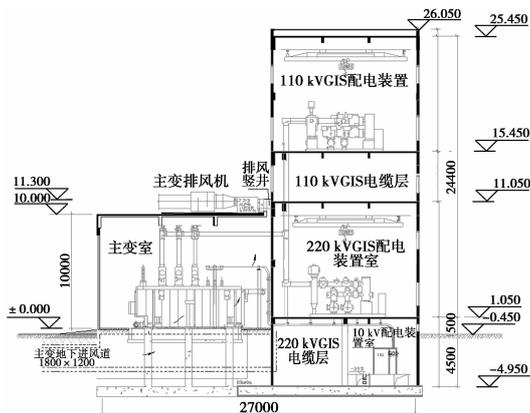


图 2 城区典型 220 kV 户内变电站综合楼剖面图

收稿日期: 2014-10-10

基金项目: 四川省电力公司科技项目“城区变电站降噪关键技术研究”

作者简介: 何情怀(1966-), 男, (E-mail) seidhph@163.com;

严青(联系人), 女, 主要从事变电环保设计研究, (E-mail) 672527210@qq.com。

为主^[5]。

成都城区典型 220 kV 户内变电站均采用低噪声的电气设备和通风散热设备,其中各电气设备的声压级频谱见图 3 所示,通风散热设备的声压级频谱见图 4 所示。

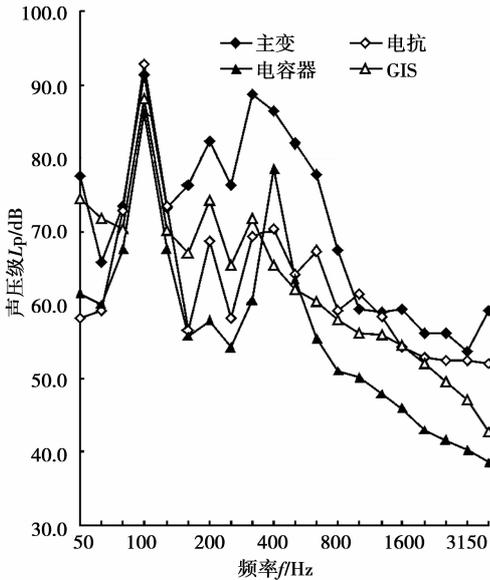


图 3 220 kV 户内变电站电气设备的声压级频谱图

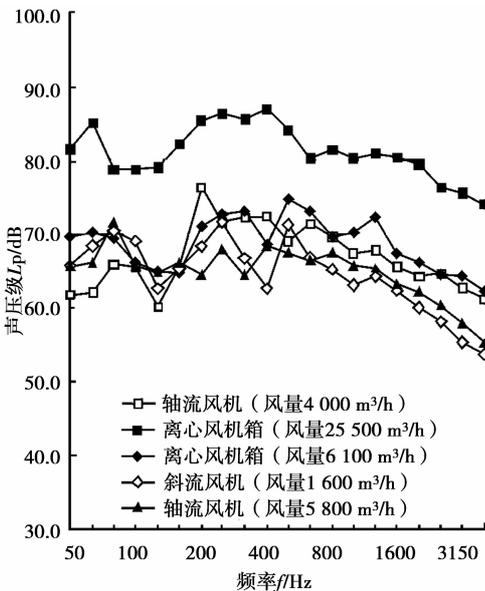


图 4 220 kV 户内变电站通风散热设备的声压级频谱图

由图 3 可知,变电站电气设备均以低频噪声为主,其中主变噪声频率范围集中在 100~630 Hz 之间^[6];主变和电抗器在 100、200、400 Hz 有峰值,且在 100 Hz 时最大声压级均大于 90 dB;电容器在 100、400 Hz 有峰值,且在 100 Hz 时最大声压级约为 85 dB;GIS 配电装置噪声以低频噪声为主,在

100 Hz 时最大声压级接近 90 dB。

由图 4 可知,风机噪声主要为 2 000 Hz 以下的宽频带中低频噪声^[7],即涡流噪声,其声压级大小及频谱特性取决于风机的结构、性能和使用效率。风机结构越合理,使用效率越高,风机噪声级就越低,不同类型之间风机噪声可相差 10 dB 以上。变电站离心风机、轴流风机和斜流风机的声压级为 72~85 dB,其中风量为 25 500 m³/h 的离心风机的噪声声压级较高,可达 86 dB。

2 典型户内变电站的噪声预测

2.1 Cadna/A 预测软件

Cadna/A 是基于德国 RLS90 通用计算模型的噪声模拟软件,其计算原理源于 ISO 9613. 2: 1996 《Acoustics-attenuation of sound during propagation outdoors》,广泛应用于环境影响评价、建筑设计、交通管理、城市规划等领域^[8]。经原国家环保总局环境工程评估中心认证,该软件理论基础与 GB/T 17247. 2—1998《环境影响评价技术导则——声环境》一致,可以作为中国区域环境噪声预测、评价和控制方案设计的工具软件^[9]。

2.2 户内变电站噪声模拟理论基础

2.2.1 室内声源传播

对于变电站的室内声源可采用等效室外声功率级法进行预测,首先应先确定室内声源在室内外分离结构处的声压级^[10],为

$$L_{P1} = L_w + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4(1-\alpha)}{S\alpha} \right), \quad (1)$$

式中: L_w 为声源声功率级; Q 为噪声源的指向性因子,该参数和声源指向性及放置位置有关; S 为房间内总表面积; α 为壁面平均无规入射吸声系数。

对于不同的噪声源,经能量叠加后在分离结构处的总噪声级按式(2)计算,以两个噪声源为例,其计算公式为

$$L_p = 10 * \lg(10^{0.1 * L_{P1}} + 10^{0.1 * L_{P2}}), \quad (2)$$

式中: L_p 为总声压级; L_{P1} 为第一个噪声源的声压级; L_{P2} 为第二个噪声源的声压级。

然后根据分离结构的隔声性能和分离结构处的辐射面积得到室外噪声声功率级,最后采用室外噪声传播衰减公式进行室外噪声预测计算。

综上,室内声源通过门窗、外墙、进风百叶等建筑构件向外辐射的噪声声功率级可采用式(3)和式(4)进行计算。

$$L_w = L_i - TL + 10 \lg S - 4. \quad (3)$$

式(3)适用于 A 计权计算,式中, L_w 为室内声源

通过建筑构件向外辐射的噪声声功率级, L_i 为室内噪声声功率级, TL 为隔声量, S 为噪声辐射面积。

式(4)适用于倍频带计算,

$$L_w = L_i - R + 10 \lg S - 6, \quad (4)$$

式中, R 为建筑构件的频带隔声量, 其余量同式(3)。

2.2.2 室外声源传播衰减

室外声源向外辐射衰减的影响因素较多, 包括几何发散的衰减, 大气吸收的衰减、声屏障的阻挡衰减和地面效应的衰减等。考虑典型变电站的室外噪声衰减影响因素主要为几何发散衰减和变电站建筑物及围墙的声屏障衰减, 则变电站室外噪声衰减公式可简化为^[11]

$$L_p = L_{p0} - A_{div} - A_{bar}, \quad (5)$$

式中: L_p 为衰减后的声压级; L_{p0} 为衰减前的声压级; A_{div} 为声源在传播过程中引起的几何发散衰减; A_{bar} 为建筑物及围墙等阻挡结构引起的声屏障衰减。

2.3 户内变电站噪声预测及噪声控制措施分析

2.3.1 变电站噪声预测参数选择

根据成都城区典型 220 kV 户内变电站的电气设备、通风设备选型特点及布置方式, 参照相关电气设备厂家提供的设备噪声实验报告和相关标准^[12], 变电站主要噪声源及其源强见表 1 所示, 主变室中的噪声以主变噪声为主^[13], 其余功能用房的噪声以风机噪声为主。风机噪声和空调外机噪声等可看成点声源, 通过进出风口、门窗、墙体等途径向外传递的室内噪声看成面声源, 不同噪声源分类见表 2 所示。

表 1 典型 220 kV 户内变电站的主要噪声源的源强

序号	噪声源	声功率级 / dB
1	主变压器	86
2	电抗器	76
3	轴流风机	83
4	空调外机	73

表 2 变电站噪声源分类

序号	噪声源
点声源	风机噪声、空调外机噪声
面声源(主变压器室、电抗器室等)	通过含窗外墙向外辐射的噪声、通过进出风口向外辐射的噪声

2.3.2 户内变电站的降噪措施

针对变电站的主要噪声源: 主变压器、电抗器和风机等设备, 应首选噪声低于国标限值的设备, 风机应安装消声器, 主变和电抗器室应对墙体结构进行吸声、隔声设计, 材料应采用低频吸声结构^[14]。另外, 电气设备和风机设备在安装时还应保证安装条件与进行噪声试验时一致, 以免引起附加噪声。

1) 主变室大门

由于主变安装调试的需要, 主变室大门应采用易于拼装拆卸的轻质壁板结构^[15], 在壁板结构上设置常规尺寸的人员进出门。主变大门壁板结构的隔声量指标为 25 dB, 门扇和门框之间应采用用密封条密封。由于变电站防火要求, 壁板结构需采用防火材料, 宜采用多层金属轻质结构。考虑到现场安装条件和实验室条件的差别, 壁板结构的设计指标应比实际隔声量指标高 3~5 dB。主变室大门壁板的优化结构见图 5 所示。

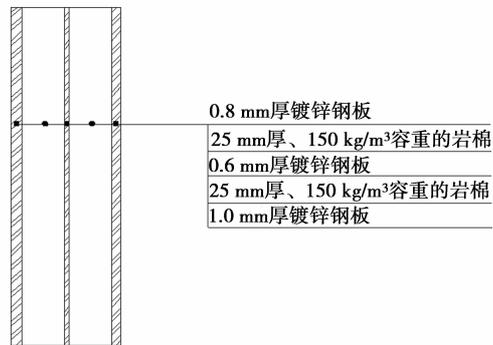


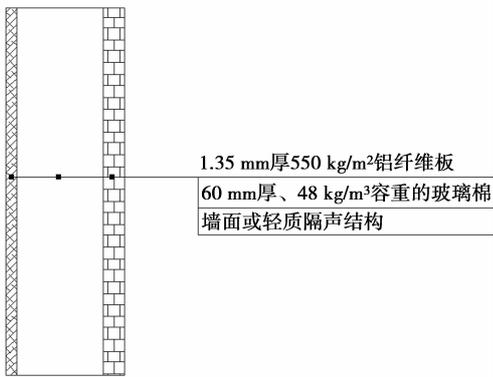
图 5 户内变电站主变室大门多层轻质壁板结构

2) 主变和电抗器室墙面

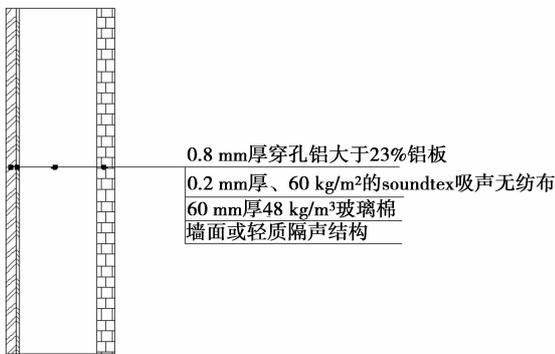
为使主变和电抗器室墙面对中低频噪声均有较好的吸声性能, 墙面的优化结构采用复合结构以达到在较宽的频带范围内具有良好的吸声性能^[16]。经技术性、经济性等综合比较, 主变室和电抗器室墙面优选铝纤维/玻璃棉复合结构^[17], 如图 6 所示。

3) 风机消声器

由于风机噪声以中低频为主, 因此消声材料的选择应使其对中低频噪声均有足够的消声量, 且应根据各个风机的风口截面尺寸、失效影响频率、消声量要求等特性选择合适的消声器, 宜采用总消声量不低于 10 dB 的片式消声器, 其结构示意如图 7 所示。



(a) 铝纤维/玻璃棉复合结构



(b) 玻璃棉/穿孔板结构

图 6 户内变电站主变室和电抗器室墙面吸声结构

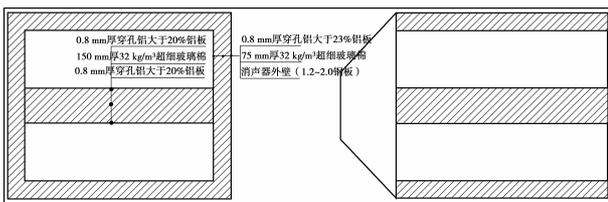


图 7 户内变电站电抗器室风机的消声器结构

4) 窗体

对于变电站所有带玻璃采光窗的外墙面,窗体的隔声量不应低于 30 dB,玻璃厚度不应低于6 mm,窗框的隔声量应和窗扇匹配,也不低于 30 dB,宜采用固定窗或开启式窗体代替隔声量较小的推拉窗,且应保持正常使用时窗户紧关,保证隔声效果。

2.3.3 采取降噪措施前后的预测结果

变电站围墙按 2.3 m 考虑,站外建筑物楼层高度按 3.0 m 考虑,则变电站声源、墙体、门窗等采取降噪措施前后,不同高度处的噪声声压级分布情况分别见图 8、图 9,站界不同高度处的噪声声压级预测结果见表 3 所示。

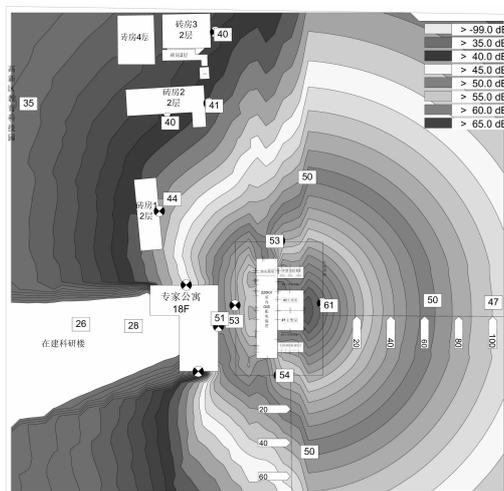
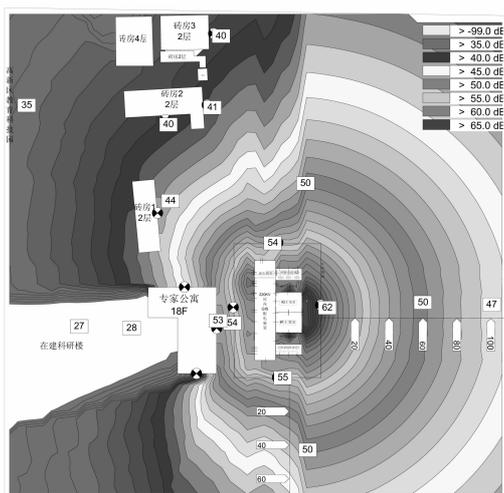
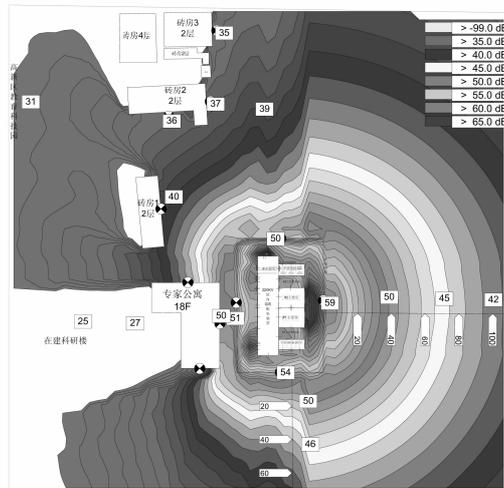
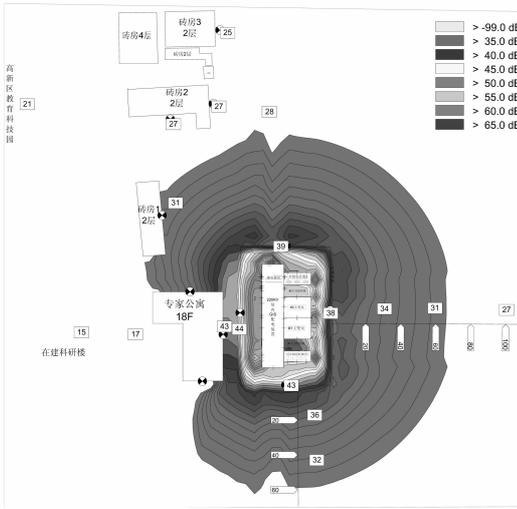
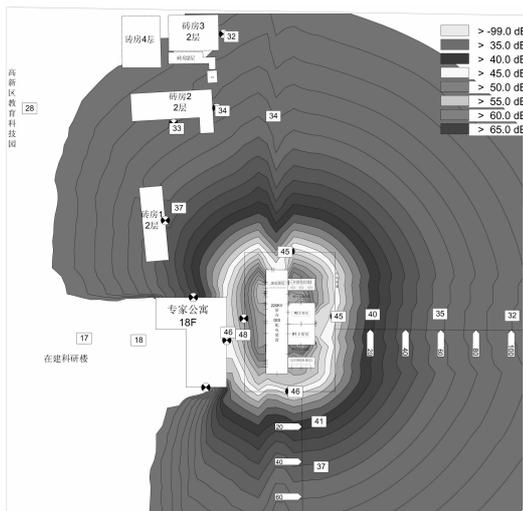


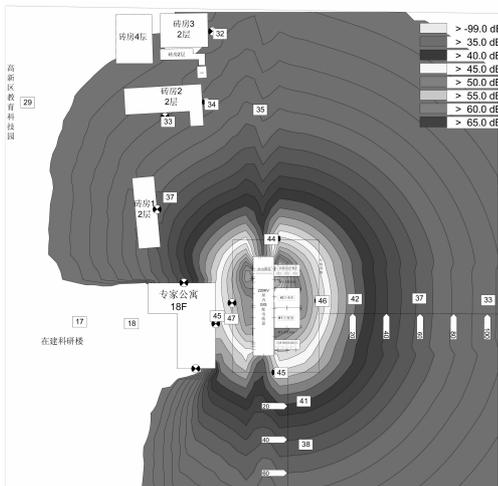
图 8 变电站未采取措施时不同高度处的等声线图



(a)距离地面 1.5 m 高处等声线图



(b)距离地面 13.5 m 高处等声线图



(c)距离地面 25.5 m 高处等声线图

图 9 变电站采取措施后不同高度处的等声线图

表 3 户内变电站采取降噪措施前后站界各预测点的噪声级 dB(A)

预测点	围墙上方 高度/m	噪声级	
		无措施	有措施
东侧 围墙 外 1 m	0.5	64.2	43.1
	5.2	64.5	43.3
	8.2	64.5	44.1
	11.2	64.2	45.2
	14.2	64.0	47.7
	17.2	63.3	47.5
	20.2	62.5	47.3
西侧 围墙 外 1 m	23.2	61.7	47.0
	26.2	60.8	46.6
	0.5	54.9	49.1
	5.2	55.2	49.3
	8.2	55.2	49.3
	11.2	55.1	49.1
	14.2	54.8	48.8
南侧 围墙 外 1 m	17.2	54.4	48.4
	20.2	53.9	47.9
	23.2	53.4	47.4
	26.2	52.8	46.8
	0.5	56.0	46.1
	5.2	56.3	46.4
	8.2	56.2	46.3
北侧 围墙 外 1 m	11.2	55.7	45.9
	14.2	55.8	46.0
	17.2	55.4	45.6
	20.2	54.9	45.1
	23.2	54.4	44.7
	26.2	54.0	44.3
	0.5	55.0	46.4
北侧 围墙 外 1 m	5.2	55.0	46.6
	8.2	54.8	46.6
	11.2	54.6	46.6
	14.2	54.9	46.9
	17.2	54.7	46.8
	20.2	54.4	46.7
	23.2	54.1	46.4
26.2	53.7	46.1	

由图 8 和图 9 可知,在围墙外的区域,不同高度的平面上,声源的传播特性基本接近,距离围墙 40 m 以外,基本呈现点声源的传播特性,即以变电站整体为点声源向外传播。由图 8 可知,变电站各侧围墙外 2 类噪声区达标距离随着高度的增加而增大,其中东侧围墙外 1 m 距离地面 1.5 m 高处由于围墙的屏障作用,其 2 类噪声区达标距离仅为 40 m,随着高度的增加,围墙的屏障作用消失,噪声区达标距离开始增大,13.5 m 高处 2 类区达标距离为 60 m,25.5 m 高处达标距离为 65 m(达标距离最大)。因此,为了满足变电站围墙外区域不同高度处达到 2 类噪声质量标准,应设置噪声防护距离,但由图 9 可知,当采取变电站噪声防治优化措施后,不同高度时各侧围墙外区域噪声均满足 2 类噪声质量标准,不需设置噪声防护距离。

由表 3 可知,变电站未采取任何噪声防治措施时,各侧围墙上方所有点的预测结果均超标,其中东侧围墙由于靠近主变室,其上方超标最严重,在围墙上方 5.2~8.2 m 间最大超标幅值为 14.5 dB(A)。当采取变电站噪声防治优化措施后,各侧围墙外不同高度处噪声均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》2 类标准。另外,变电站各侧围墙上方不同高度处噪声级总体变化幅度在 5 dB(A)以内,且均先随高度增加而逐渐增大,而后随着高度的进一步增加开始有所降低。

2.4 采取噪声防治措施后的预测值与监测值的对比

变电站按上述降噪措施实施后,在正常运行时变电站站界噪声进行监测,监测点选在变电站各侧围墙外 1m、围墙上方 0.5m 高处。变电站站界噪声预测值与监测值对比情况见表 4 所示。

表 4 户内变电站站界噪声预测值和监测值比较

预测点	预测值/dB(A)	监测值/dB(A)	相对标准偏差/%
围墙东侧	43.1	48.0	10.2
围墙西侧	49.1	47.5	3.4
围墙南侧	46.1	48.2	4.1
围墙北侧	46.4	47.7	2.7

由表 4 可知,变电站各侧围墙外噪声监测值和预测值比较接近,除东侧围墙外噪声监测值和预测值相差约 5 dB(A)外,其余各侧围墙外噪声监测值和预测值均相差 2.5 dB(A)以内,相对标准偏差均低于 5%,总体来说,变电站围墙外噪声监测值和预测值相差较小,故采用 Cadna/A 软件和室内噪声计算模型来进行噪声预测分析是可行有效的。

3 结论

城区典型 220 kV 户内变电站噪声源主要为主

变压器、电抗器和风机,根据户内变电站噪声源特性及布置特点,需对主变室大门、墙面采取隔声、吸声措施,需对风机安装消声器,通过户内变电站采取措施前后站界噪声预测结果分析,并与监测结果比较,表明采取措施的有效性及其预测模型的可行性,对户内变电站噪声预测参数选择、措施选用等具有指导意义。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李永明,王玉强,徐禄文,等. 变电站噪声预测和仿真分析[J]. 电力建设,2013,34(7):63-67.
- [3] 中国环境科学出版社. 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.
- [4] 郭日彩,许子智,徐鑫乾. 220kV 和 110kV 变电站典型设计研究与应用[J]. 电网技术,2007,31(6):23-30.
- [5] 郭天兰,王洪峰,肖旭亮. 220 kV 变电站噪声水平分析及控制措施[J]. 山西电力,2011(2):7-10.
- [6] 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.
- [7] 陈江龙. 基于模态分析的汽轮机叶片有限元拓扑结构优化[J]. 电站系统工程,2005,21(1):49-53.
- [8] Flash T, Hogan H. The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model[J]. The Journal of Neuroscience, 1985, 5(7):1688-1703.
- [9] 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]. 噪声控制,2008,32(7):64-67.
- [10] 环境保护部环境工程评估中心. 建设项目环境影响评价[M]. 2 版. 北京:中国环境出版社,2012.
- [11] 吴高强,程胜高,黄磊,等. 户外 220 kV 变电站噪声环境影响预测研究[J]. 噪声振动与控制,2007(3):135-144.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 19606—2004 家用和类似用途电器噪声限值[S]. 中国标准出版社,2005.
- [13] 马耀宇. 浅谈室内变电站噪声控制措施[J]. 重庆电力高等专科学校学报,2010,15(5/6):26-28.
- [14] 李明,陈锦栋. 城市 110 kV 室内变电站噪声控制的分析[J]. 噪声振动与控制,2012(1):105-108.
- [15] 汪箐,吕玉恒. 上海 110 kV 凤阳变电站噪声治理[J]. 噪声振动与控制,2002(5):42-43.
- [16] 周建飞,周年光,阳金纯,等. 城区变电站噪声控制典型技术[J]. 噪声振动与控制,2011(5):173-177.
- [17] 苟旭丹. 城市变电站噪声分析与治理[J]. 四川电力技术,2012,35(6):70-72.