直流换流站噪声计算软件开发与预测水平研究

阮学云[1]，李志远[1]，魏浩征[1]，黄 莹[2]
(1. 合肥工业大学机械与汽车学院，合肥 230009；2. 南方电网技术研究中心，广州 510623)

摘要：随着环保意识的不断加强，直流换流站的噪声问题正越来越受到重视。目前直流换流站的环境预测软件几乎都是国外进口的通用预测软件，该文对一款由国内自主开发的直流换流站环境噪声计算软件的软件结构、功能模块、程序编制及基本算法等方面进行了阐述，并对其预测水平进行了研究，结果表明：与国外预测软件 SoundPlan 与 Cadna/A 相比，该软件单点噪声值误差在 1.5 dB(A)范围以内，尤其与 Cadna/A 相比，绝大多数监测点误差都在 0.5 dB(A)左右以内；绘制的网格噪声分布图趋势相似，颜色分布合理；该软件达到同类国外预测软件水平，具有较大的实际应用价值和推广价值。

关键词：直流换流站；噪声计算；软件开发；预测水平
中图分类号：TB53；TP319 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630(2011)-05-0443-06
DOI 编码：10.3969/j.issn1000-3630.2011.05.014

Software development for noise calculation of DC converter station and the prediction level

RUAN Xue-yun[1], LI Zhi-yuan[1], WEI Hao-zheng[1], HUANG Ying[2]
(1. *School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei* 230009, *China*;
2. *CSG Technology Research Center, Guangzhou* 510623, *China*)

Abstract: Along with continuously strengthening environmental awareness in China，the noise pollution problem of DC converter station has been attached increasing importance. The prediction software of environmental noise for DC converter station is almost imported at the present time. This paper presents new software for the noise calculation of DC converter station, which is fully self-developed. By expounding the structure, function module, programming, basic algorithms of the software and studying the level of prediction accuracy, the results show: compared with the foreign software, such as SoundPlan and Cadna/A, the error of the software for single point calculation is less than 1.5 dB(A), and especially it is 0.5 dB(A) less than Cadna/A's error; the trend of noise distribution map is alike and the color distribution is reasonable; the software achieves the same level of the similar foreign prediction software, and it has greater value of practical application and popularization.

Key words：DC converter station；noise calculation；software development；level of prediction

0 引 言

直流输电技术在长距离输电、跨联网及调度灵活等方面的优势日趋显现。我国在山峡电力外送和西电东输中已经建有数个大容量直流输电工程投入运行，如今特高压直流工程也随着电网建设的发展进入研究设计阶段[1,2]。并且随着我国的环保意识不断加强，对其环保的相关要求将越来越高。过去不为人重视的噪声污染已经成为直流输电工程建设规划中必须考虑的一个重要因素，为此对各种噪声污染源进行准确评价，是各项建设工程中控制噪声的必要前提[3]。

由于环境预测评价中的预测区域一般都具有地形复杂、面积较大的特点，计算绘图工作量相当大，往往需要借助于噪声预测计算软件才能完成。但到目前为止，国内所用的环境预测软件几乎都是国外进口的通用预测软件，主要有德国 Braunstei＋Berndt 公司的 SoundPlan 软件、德国 Datakustik 公司的 Cadna/A 以及丹麦 B&K 公司的 LIMA Plus 三大噪声预测软件[4,5]。目前，一套完整版上述噪声预测软件售价都需要 4~5 万美元。在我国，仅 SoundPLAN 软件已售出近百套，LIMA Plus 软件也在北京、上海、苏州等地的环境监测部门广泛使用，而 Cadna/A 软件则是经我国国家环保总局认证并推荐的软件[6]。

目前国内综合性、图形化专用预测软件，是由

收稿日期：2011-02-27；**修回日期**：2011-04-11
基金项目：国家十一五科技支撑计划 (2006BAA02A21)
作者简介：阮学云(1978－)，男，安徽枞阳人，讲师，博士生，研究方向为机械系统动力学、低噪声设计及计算机辅助设计。
通讯作者：阮学云，E-mail: ruanxueyun@163.com

合肥工业大学噪声振动工程研究所与南方电网研究所共同开发完成的，这款针对直流换流站的噪声计算软件是目前国内唯一拥有自主知识产权的噪声预测软件，它不仅可用于直流换流站噪声的预测计算，也可用于工厂企业等其他领域的噪声预测。本文对该软件的软件结构、功能模块、程序编制及基本算法等方面进行了阐述，并对其预测水平进行研究。通过该软件对广州穗东特高压直流换流站的环境噪声进行计算，并与 SoundPlan、Cadna/A 计算的结果进行对比分析，对软件的预测水平进行评估和验证。

1 软件结构、功能模块及软件特点

1.1 程序框架图设计

通过研究 SoundPLAN，Cadna/A，LimaTM 三大环境噪声预测软件的程序模块结构以及《环境影响评价技术导则 声环境》、国际标准 ISO9613 与国内标准 GB/T17247－2000，对国外主要环境噪声预测软件的功能模块以及声传播模型的建立与核心算法做了一定的了解。编写了直流换流站环境噪声计算软件设计框架图，其中程序的总架构如图 1 所示。

1.2 软件主要功能模块

软件的主要功能模块有：声学模型图元建立编辑模块、数据库的建立和维护模块、噪声计算模块和噪声分解模块。

1.2.1 声学模型图元建立编辑模块

声学模型图元建立编辑模块主要用来建立声学模型，在建立一个噪声预测工程时，首先要建立一个完整的声学模型，对于任何项目的噪声预测和分析工作都要基于声学模型能否正确搭建。工作人员的大量工作主要是搭建声学模型，后期的计算和一些分析则基本是由计算机自动完成。因此，该模块的设计是否合理直接决定了软件是否方便使用。

1.2.2 数据库的建立和维护模块

通过声学模型图元建立编辑模块建立的各种图

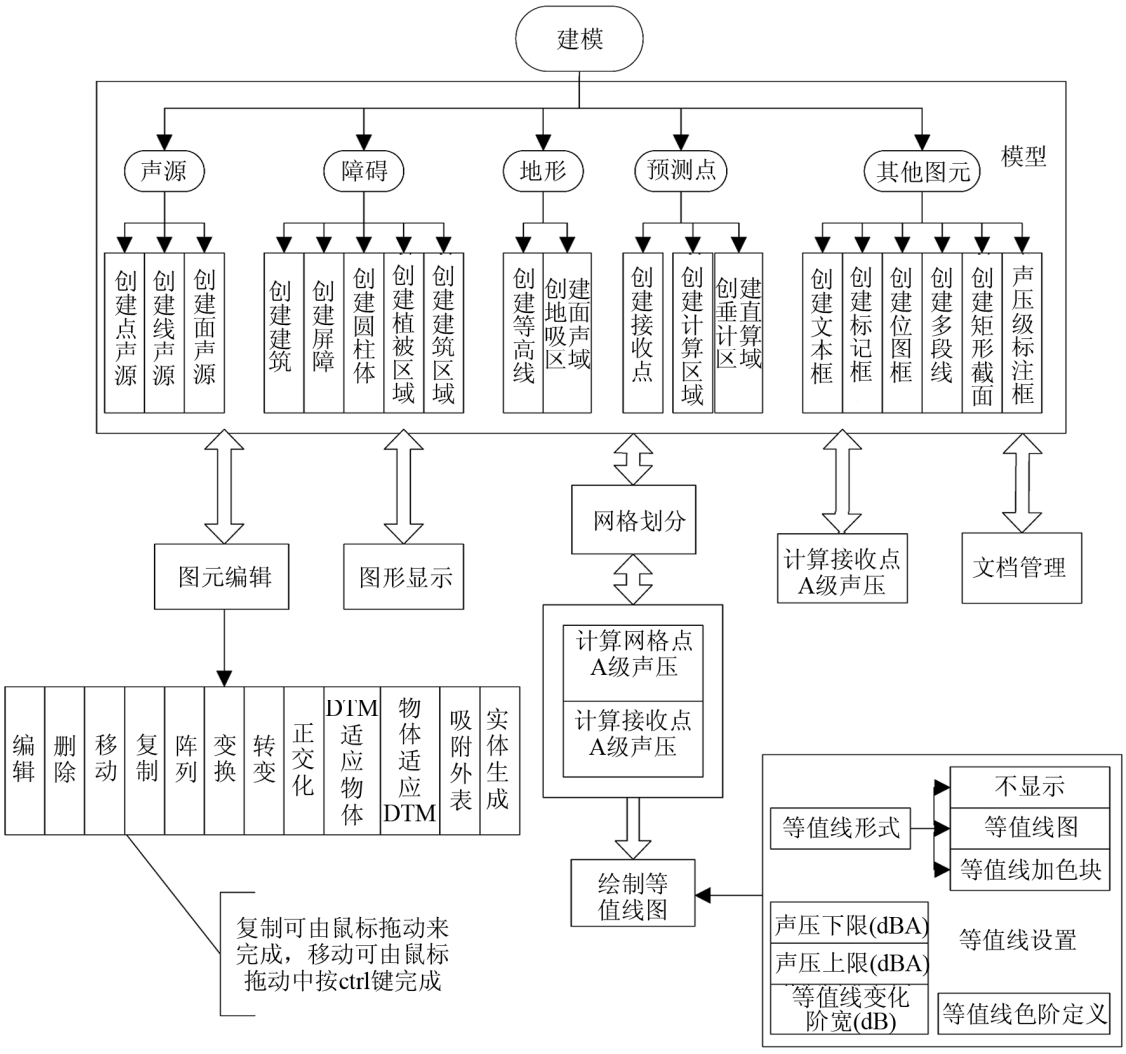


图 1 程序的总架构框图

Fig.1 The general structure diagram of the program

元要能用于噪声计算分析就必须有相关的计算参数，声学模型的相关参数的输入与修改以及与核心算法之间的数据交换都是基于数据库的建立和维护模块。

1.2.3　噪声预测计算模块与噪声分解模块

对于任何项目的噪声预测和分析工作都要基于噪声计算模块的功能来实现，因此该模块是软件的核心部分。通过该模块可以计算监听者的噪声值及相应的频谱，以及计算网格点的噪声分布图和相关的噪声分析工作。该模块对于模型计算的精度和计算效率直接影响软件的使用价值。噪声分解模块是根据厂界噪声对换流站噪声设备的声功率进行分解分析，为各种噪声设备的声功率推荐参考值，从而为建站初期选择各设备提供理论科学依据。

1.3　软件特点

本软件从声源定义、参数设定、模拟计算到结果表述构成一个完整的系统。它主要的特色有以下几个方面：软件的算法考虑地面吸收，空气吸收，温度影响和风速影响；可通过换流站图库快速建立换流站噪声预测几何模型；专业化的声源数据库，包括了换流站常用设备的频谱数据库；噪声分解功能，可以根据厂界所允许的最大噪声值分析计算各种设备的声功率推荐参考值，从而为建站初期选择各设备提供理论科学依据。

2　软件预测模型建立及主要程序编制工作

2.1　计算模型机理的研究

建立一个噪声预测的工程首先要建立起声学模型，该模型包括：声源、障碍、地形及预测点等的定义。而声源的定义包括：点声源，线声源，面声源。障碍的定义包括：建筑，屏障，圆柱体，植被及建筑工业场所。预测点的定义包括：接收点，预测网格点。定换流站设备噪声辐射特性的主要计算参数，根据现场前期调研实测所得。图 2 是声学建模的原理图。

2.2　主要声学模型建立的程序编制工作

在声学建模原理与前期换流站设备噪声辐射特性研究的基础上，进行声传播模型的建立及相关程序的编制工作，建立了一系列的建模工具，以便精确、快速处理典型声源的声学问题并预测点噪声值，可以编辑显示部分图元。相关主要设备定义如下：电抗器、自耦变、空调、干式平波电抗器与水冷却塔为点声源；电容器为线声源；换流变压器与油式平波电抗器为垂直面声源；房屋为建筑(多边形)；墙体为声屏障(多线)。

主程序的界面见图 3，主要由主功能区、图形编辑工具栏、图元工具栏、建模区等组成。

3　直流换流站模型噪声分布计算

3.1　软件基本算法

本软件的建模、计算及评估都是基于 ISO 和其他标准，将实际的生活环境转化成抽象的数学模型，自动逐点进行单个点噪声的计算，根据噪声源互不相干性，对某点的噪声可以分别计算所有声源的贡献后叠加[7]：

$$L_{\mathrm{i,oct,sum}}=10\lg\left(\sum 10^{0.1L_{\mathrm{ii,}oct}}\right) \tag{1}$$

其中 $L_{\mathrm{ii,oct}}$ 为单个声源的噪声贡献值[8]：

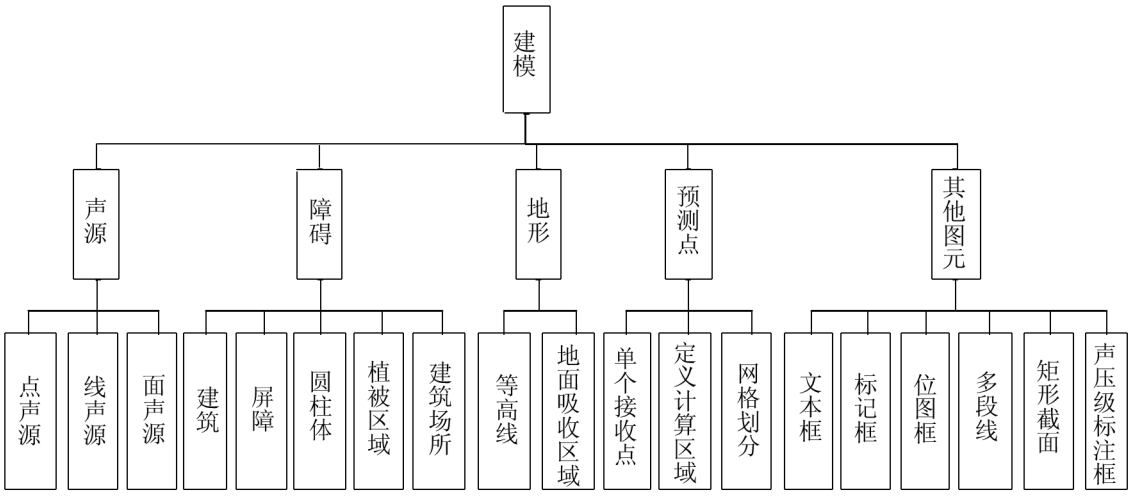


图 2　声学建模的原理图

Fig.2　The principle diagram of acoustic modeling



图 3 程序主界面图

Fig.3 Main interface of program

$$L_{ii,oct}=L_{*,oct}+D_i+D_o+D_s+D_l+D_{bm}+D_m+D_b+D_r+D_k \quad (2)$$

式中：$L_{ii,oct}$ 为接收点声压级；$L_{*,oct}$ 为声源声压级；D_i 为声源的指向性造成的衰减；D_o 为辐射特性(自由场，半自由场，1/4 场)；D_s 为几何距离衰减；D_l 为空气吸收修正；D_{bm} 为地面及气象特性衰减；D_m 为楼房、树木对衰减的影响；D_b 为屏障效应(地形或者结构状态的影响)；D_r 为反射修正；D_k 为时间修正。

某个预测点计算的流程图见图 4(以 6 个声源、倍频带为例)。

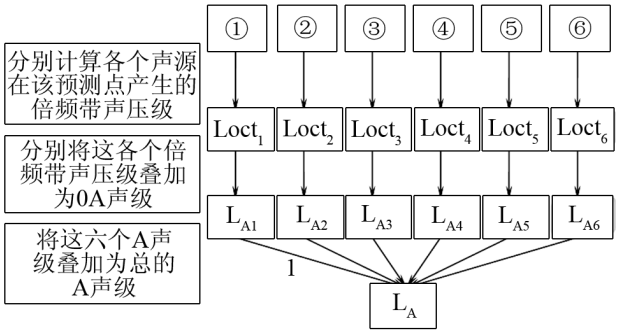


图 4 某预测点计算流程图

Fig.4 Calculation flow chart of a forecast point

由图 4 可知，计算出每个声源传播至某个预测点时的几何发散、大气吸收和声屏障衰减值，即可求得预测点最终的倍频带声压级和 A 声级。

3.2 环境参数影响

环境参数，包括背景噪声、地形条件和气象条件。换流站周围的地形不同对声音传播的影响也是不同的，计算时不仅要考虑地形还要考虑地表如森林、岩石、草地等，某些情况下地表对声音传播的影响也是很显著的[9,10]。声音在空气中的远距离传播受气象条件如风、温度、雨、雾和雪的影响，尤其是风和温度对声音的长距离传播有很大影响。软件主菜单“计算”子菜单“配置”有对话框，可根据现场具体情况修改环境参数。

4 软件预测水平研究

为进一步验证本软件预测换流站噪声的精确性，我们对云南－广东±800 kV 特高压直流输电工程(以下简称‘云广工程’)穗东换流站的噪声分布进行预测计算，并与国外著名预测软件 SoundPlan、Cadna/A 进行比较。本测试中所有声压的基准值是 2×10^{-5}N/m^2，所有声功率的基准值是 1×10^{-12}W。本文使用的研究工具分别是德国 Braunstein＋Berndt GmbH 公司开发的 SoundPLAN 软件、德国 Datakustik 公司的 Cadna/A 软件和自主开发的直流换流站计算软件。

4.1 换流站噪声分布对比研究

对于模型中噪声源设备的声学参数，在计算时主要依据云广工程的设备供货商提供的数据以及±800kV 直流设备招标规范书的规定，并参考现有贵广 I 回、贵广 II 回、三峡－广东及三峡－上海±500kV 直流输电工程中相同类型的设备的噪声数据以及现场实际测得的各设备噪声频谱。

4.1.1 计算模型的建立

直流换流站的主要噪声包括：换流变压器、平波电抗器、换流变压器冷却风扇、交流滤波器场的滤波电抗器和电容器、阀冷却塔设备、空调外机设备等。穗东站主要噪声源设备声功率级和类型如表 1 所示。

表 1 穗东站主要噪声源设备

Table 1 The main noise source device of Suidong Station

设备	声功率级/dB(A)	类型	数量/台
换流变压器	130	面源	24
干式平波电抗器	99	点源	8
交流滤波器电容器	75	线源	90
交流滤波器电抗器	75	点源	66
阀户外冷却塔	99.8	点源	12
阀厅空调	95	点源	8
主控楼空调	95	点源	6

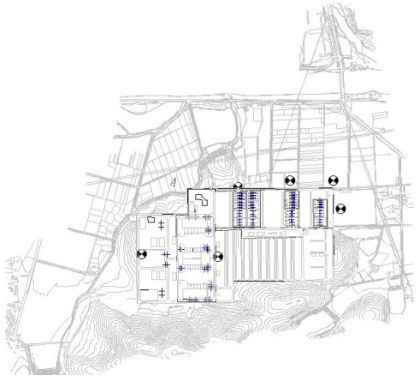
换流站围墙对噪声传播具有屏蔽作用，根据招标规范书，围墙高度为 2.5 m。

由以上输入条件，各软件建立的穗东换流站计算模型见图 5。

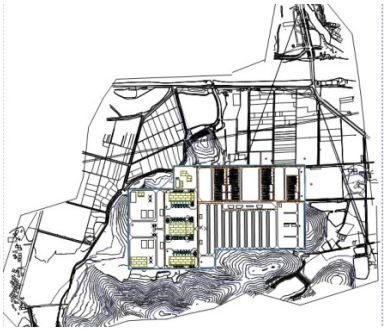
为便于各软件进行单点噪声预测结果对比，设立几个典型监测点以作比较。分别在交流滤波器附近北围墙 3 m 处、厂区西边和主控大楼外 20 m，东边和北边围墙 20 m 处各设置监听点进行比较，监测点高度均为 1.5 m，各监测点分布见图 6。



a)　SoundPLAN 计算模型平面图



b)　Cadna/A 计算模型平面图



c)　国内软件计算模型平面图

图 5　各预测软件计算模型图

Fig.5　Model diagram of each prediction software

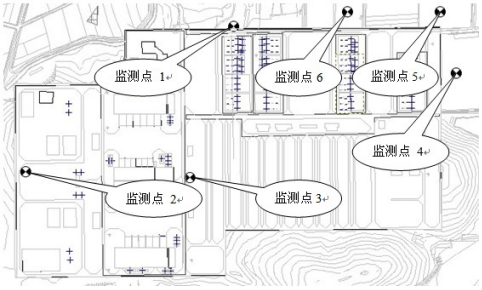


图 6　各监测点分布图（共 6 个）

Fig.6　The distribution of monitoring points(altogether 6)

4.1.2 模型计算结果

根据云广工程穗东换流站布置以及噪声源设备声学参数，在三个软件中分别建立了换流站的噪声研究模型，对换流站噪声水平进行了单点预测以及绘制网格噪声分布图。网格点间距选择为 10m，扫描角度为 1°，高度为 2 m。表 2 为软件单点噪声预测值，图 7 为各软件绘制的网格噪声分布图。

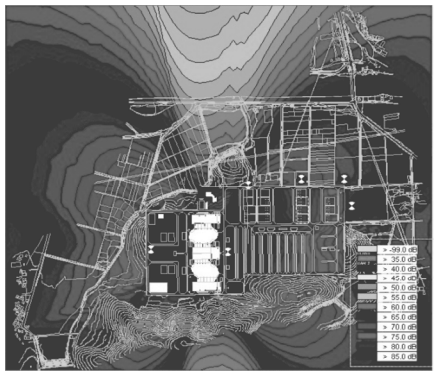
表 2　各软件单点噪声预测值

Table 2　The single-point noise prediction value of each software

各软件	单点噪声预测值/dB(A)		
监测点	SoundPLAN	Cadna/A	直流换流站噪声计算软件
1	69.6	68.9	69.09
2	79.6	81.7	80.83
3	90.4	91.9	91.77
4	66	67.6	66.9
5	67.6	69.4	68.83
6	71.2	72.1	71.72



(a)　SoundPLAN 计算的网格噪声分布图



(b)　Cadna/A 计算的网格噪声分布图



(c)　国内软件计算的网格噪声分布图

图 7　各软件计算绘制的噪声分布图

Fig.7　The noise distribution map of each software

4.2 计算对比分析

4.2.1 计算模型建立效率

直流换流站环境噪声计算软件由于增加了直流换流站主要设备的噪声图库图元，且具备常用输变电设备噪声辐射频谱数据库，在同等条件下，相比其他 2 个预测软件，声学模型建立耗时最短，建模效率最高。

4.2.2 单点噪声计算效率

经对比发现，在单点噪声计算时，本软件完成计算所需时间最短，Cadna/A 其次，而 SoundPlan 耗时最长。可见本软件由于功能单一集中、核心算法效率高，计算效率得到较大提高。

4.2.3 网格噪声分布图绘制效率

在网格划分相同、同一台计算机模拟计算的条件下，经统计发现，SoundPlan、Cadna/A 与本软件所花费的时间分别为 4.5h、3.5h、4.6h。可见 Cadna/A 在对网格噪声分布图的绘制方面效率最高，本软件与 SoundPlan 计算效率相当，初步考虑是因为后者在对地形的算法上与 Cadna/A 采取的方法不同，导致计算效率相差较大。

4.2.4 计算结果对比

通过对表 2 各软件的单点噪声预测值及网格噪声分布图 7 进行比较分析，可以看出对实际模型进行计算比较，各点噪声值误差在 1.5dB(A)范围以内，尤其与 Cadna/A 相比，绝大多数监测点误差都在 0.5 dB(A)左右以内，网格噪声分布图趋势相似，颜色分布合理，达到了软件所要求的预测水平，具有较大的实际应用价值和推广价值。

5 结 论

直流换流站环境噪声计算软件的成功开发，不仅使具有我国自主知识产权的环境噪声预测计算软件取代国外软件完成特高压直流输电变电站等电网声源的可听噪声的预测成为可能，而且可推广到其它领域使用，从而带来很大的经济和社会效益。

参 考 文 献

[1] 吴桂芳, 李光范, 崔鼎新. 1000KV 级输电工程对生态环境影响研究综述[J]. 中国电力, 2006, **39**(10): 29-32.
WU Guifang, LI Guangfan, CUI Dingxin. Study on influence of 1000 kV power transmission project on ecological environment[J]. Electric Power, 2006, **39**(10): 29-32.

[2] 南方电网技术研究中心. 云南－广东±800kV 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.
CSG Technology Research Center. Yunnan-Guangdong ±800kV DC transmission project audible noise study report[R]. Guangzhou: CSG Technology Research Center, 2006.

[3] 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.
ZHANG Jinsong. Research on comprehensive treatment of HVDC converter station noise[J]. Electric Power Construction, 2007, **28**(8): 14-16.

[4] 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.

[5] Probst W. Noise prediction in special cases[C]// Inter-noise2008, Shanghai, China, 2008.

[6] 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.
LIU Peijie, SUN Haitao,WANG Hongwei. Appfication of Cadna/A software in prediction and assessment of traffic Noise[J]. Audio Engineering, 2008, **32**(7): 64-67.

[7] ISO 9613-2: 1996, Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors–Part 2: General method of calculation[S]. International Standards Organization, Genève, Switzerland, 1996.

[8] 洪宗辉, 潘仲麟. 环境噪声控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 32-34.
HONG Zonghui, PAN Zhonglin. Environmental noise control engineering[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 32-34.

[9] Keith Wilson, Atmospheric effects in ISO 9613-2[C]// Special Session on ISO 9613-2, Proc. NOISE-CON 2004, Baltimore, MD (Noise Control Foundation, Poughkeepsie, New York, 2004).

[10] Giles A Daigle, Michael R Stinson. Attenuation of environmental nosie: Comparing predictions of ISO9613-2 and theoretical models[C]// Proceedings of Inter-Noise 2005, Rio de Janeiro, 2005.