

# Study on the Effect of Main Transformer Chamber Door on Noise Reduction in Urban Indoor Substation

Shunbin Rao<sup>1</sup>, Chao Fan<sup>2</sup>, Yi Tian<sup>2</sup>, Jingkai Nie<sup>2</sup>, Jingtao Li<sup>1</sup>, Songtao Lin<sup>1</sup>, Chong Du<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Power Network Planning Research Center of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming Yunnan

<sup>2</sup>Global Energy Interconnection Research Institute Co. Ltd., Beijing

Email: fanchao006@126.com

Received: Sep. 30<sup>th</sup>, 2018; accepted: Oct. 17<sup>th</sup>, 2018; published: Oct. 24<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

The noise wavelength of the substation with long attenuation and slow penetration seriously interferes with the normal life of the surrounding residents. It has become one of the focus issues for power grid companies. This paper studies the effect of the gate of urban indoor substation on noise reduction by means of test and simulation verification, and obtains the influence relation between the size material structure of the main transformer room door and the effect of sound insulation and noise reduction, providing technical support for the sound insulation and noise reduction of urban indoor substation.

## Keywords

Sound Insulation, Simulation Analysis, Transformer Chamber Door, Urban Substations

# 城市户内变电站主变室大门对降噪效果的影响研究

饶顺斌<sup>1</sup>, 樊超<sup>2</sup>, 田一<sup>2</sup>, 聂京凯<sup>2</sup>, 李静涛<sup>1</sup>, 林松涛<sup>1</sup>, 杜冲<sup>1</sup>

<sup>1</sup>云南电网有限责任公司, 电网规划研究中心, 云南 昆明

<sup>2</sup>全球能源互联网研究院有限公司, 北京

Email: fanchao006@126.com

收稿日期: 2018年9月30日; 录用日期: 2018年10月17日; 发布日期: 2018年10月24日

## 摘要

变电站噪声波长长、衰减慢、穿透力强, 严重干扰周边居民的正常生活, 是电网公司关注的焦点问题之

文章引用: 饶顺斌, 樊超, 田一, 聂京凯, 李静涛, 林松涛, 杜冲. 城市户内变电站主变室大门对降噪效果的影响研究[J]. 电力与能源进展, 2018, 6(5): 161-167. DOI: 10.12677/aepe.2018.65019

一。本文通过试验和仿真相互验证的方式,研究了城市户内变电站大门对降噪效果的影响,得出了主变室门体尺寸、材料结构与隔声降噪效果的影响关系,为城市户内变电站隔声降噪提供了技术支撑。

## 关键词

隔声降噪, 仿真分析, 主变室大门, 城市变电站

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

近年来,随着我国城市化进程的不断加快,城市建设用地日趋紧张,煤气站、加油站、变电站等特殊设施周边地域也成为房地产开发商竞相角逐的对象[1]。但由于变电站噪声具有波长长、衰减慢、穿透力强等特点[2],严重干扰了周边居民的正常生活,由此引发的噪声投诉日益增多,为变电站的和谐运行带来了负面影响。因此,如何控制变电站的噪声,减小变电站噪声对周边居民的影响,已成为电网公司关注的焦点问题之一。

鉴于城市用地的局限性、美观性及环保性要求,城市内变电站多采用户内布置形式。该类型变电站的主要噪声源是布置于独立主变室内的主变压器(简称“主变”),主变噪声主要通过主变室大门、主变室通风通路向外界排放[3][4]。与主变室通风通路相比,主变室大门在主变室内的占比面积更大,结构更简单,对变电站的噪声影响更大。因此,开展主变室大门隔声设计就成为城市户内变电站噪声治理的关键。本文将通过试验和仿真相互验证的方式,对变电站主变室门体尺寸、材料结构与隔声降噪效果的影响关系进行研究,探索有效的隔声设计方案。

## 2. 变电站主变室大门应用现状

目前,城市户内变电站主变室大门主要有两种结构形式:1) 敞开结构,该结构形式的主变噪声可直接传递至室外,造成厂界噪声的升高,如图 1(a)所示;2) 简易门(卷帘门)结构,该结构形式虽然安装了门体,但门体较为单薄,且难以消除主变发出的低频噪声[5],不能实现变电站噪声的良好控制,如图 1(b)所示。从当前城市户内变电站主变室大门设计方法来看,最关键的设计要素是主变室门体结构的尺寸设计和材料选择。

## 3. 变电站主变室门体尺寸对隔声降噪效果的影响研究

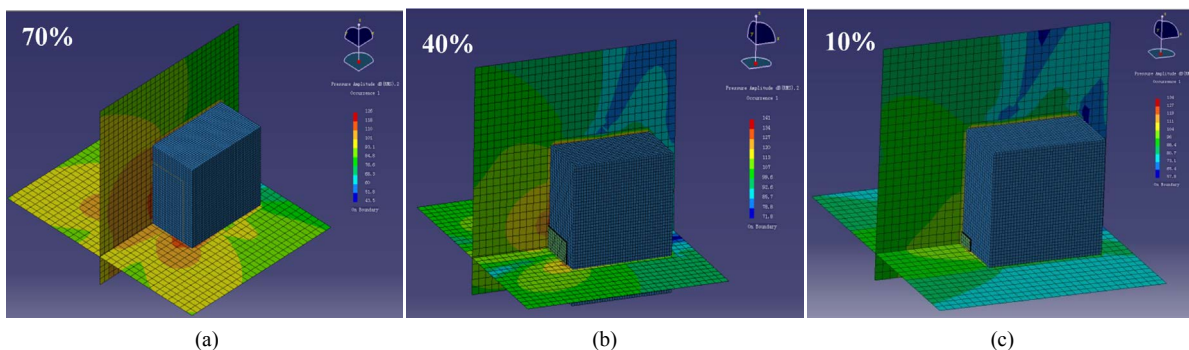
本文采用 ABAQUS 有限元模拟软件,建立了不同主变室门体尺寸下主变室外空间声场仿真的 1/2 模型,分析了主变室门体尺寸对噪声声场分布特征的影响。材料选取市面上最为常规的“1 mm 镀锌钢板 + 100 mm 超细玻璃棉 + 1 mm 镀锌钢板”的隔声结构作为统一的门体结构[6]。门体尺寸根据各变电站的统计结果,分别选取主变室门体面积占所在墙体面积的 70%、40%、10%三种面积比例来分析。

当主变室设计有大门时,对于低频声波而言,大门仍然具有一定的声透射能力,声波会通过门体的质点振动作用,向门外透射声能量,致使低频噪声仍以一定的强度向室外传播;对于中高频声波而言,由于变电站主变的中高频噪声占比较小,此类噪声能量相对较弱,向室外透射的强度和能量也就相对较小[7][8],主变室外声场分布如图 2 所示。

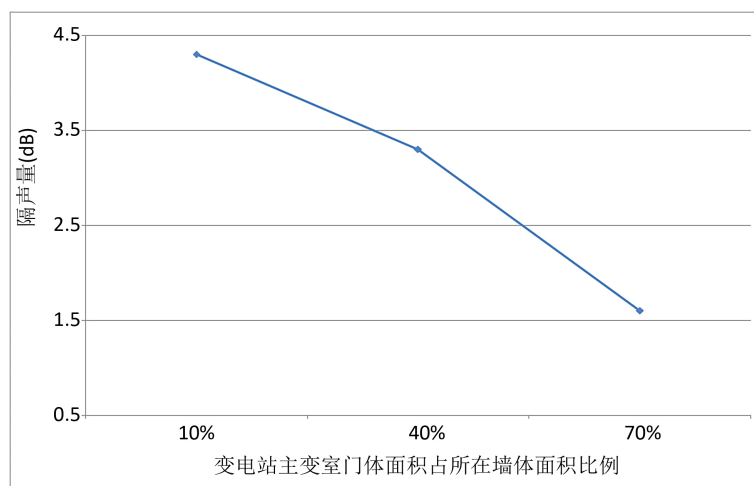
从图 2 中可以看出,随着门体面积占比的减小,主变室外声场强度逐渐减小,噪声辐射范围也逐渐减小。对主变室门体尺寸设计对隔声降噪效果的影响进行了分析,如图 3 所示。



**Figure 1.** Structure of main transformer door: (a) Open structure; (b) Simple door (rolling door) construction  
**图 1.** 主变室大门结构形式: (a) 敞开结构; (b) 简易门(卷帘门)结构



**Figure 2.** The distribution diagram of the outdoor acoustic field of the main transformer: (a) 70% door coverage area; (b) 40% door coverage area; (c) 10% door coverage area  
**图 2.** 主变室外声场分布图: (a) 门体面积占比 70%; (b) 门体面积占比 40%; (c) 门体面积占比 10%



**Figure 3.** The relationship between the door area of the main transformer room and the volume of sound insulation  
**图 3.** 主变室门体面积与隔声量的关系

从图 3 中可以看出, 随着门体面积占所在墙体面积比例的升高, 隔声量出现了明显的下降。这是由于墙体阻挡和反射向外传播声波的能力要强于主变室门体造成的。门体面积越大, 所在墙体的阻挡和反

射作用越弱，因而在设计变电站大门时，应在现场条件允许的前提下，尽量减小门体面积，以有效提升变电站的隔声降噪效果。

#### 4. 变电站主变室门体隔声材料结构对隔声降噪效果的影响研究

为了进一步提升变电站主变室门体的隔声降噪效果，对目前市面上最为常规的“镀锌钢板 + 超细玻璃棉 + 镀锌钢板”隔声结构进行测试，分析不同结构参数对隔声降噪效果的影响。测试标准选用 GB/T 19889.3-2005《声学建筑和建筑构件隔声测量第3部分：建筑构件空气声隔声的实验室测量》。

##### 4.1. 阻性填充材料结构参数对隔声降噪效果的影响研究

在目前隔声降噪领域，阻性吸声纤维作为一种常用的阻性填充材料常用于隔声夹心复合结构中，由于阻性填充纤维在夹心结构中被密封于夹心结构中间，因而不会变质和对环境造成影响[9] [10]。在本研究试验中，分别选取较为常用的 50 mm、100 mm、150 mm 厚的 48 kg/m<sup>3</sup> 容重的超细玻璃棉作为试验对象，比较了相同厚度镀锌钢板下的隔声性能。

不同厚度阻性填充材料与 0.5 mm 厚刚性材料匹配时的隔声性能曲线如图 4 所示。从图中可以看出，对于外板为 0.5 mm 厚刚性材料的夹心隔声结构而言，夹心结构随频率增加而表现出隔声性能增强的特征。在 100~800 Hz 的中低频段，三种不同阻性填充材料的夹心结构表现出相近的隔声性能；在 1000 Hz 以上的中高频段，填充 100 mm 和 150 mm 阻性材料的夹心结构隔声性能较为接近，而填充 50 mm 阻性材料的夹心结构的隔声性能则出现了明显差距。

不同厚度阻性填充材料与 1 mm 厚刚性材料匹配时的隔声性能曲线如图 5 所示。从图中可以看出，对于外板为 1.0 mm 厚刚性材料的夹心隔声结构而言，夹心结构随频率增加而表现出隔声性能增强的特征。在 100~1600 Hz 的中低频段，三种不同阻性填充材料的夹心结构表现出相近的隔声性能；而填充 150 mm 阻性材料的夹心结构，在 1600 Hz 以上的高频频段与其他两种结构的夹心结构隔声性能展现出一定优势。

不同厚度阻性填充材料与 1.5 mm 厚刚性材料匹配时的隔声性能曲线如图 6 所示。从图中可以看出，对于外板为 1.5 mm 厚刚性材料的夹心隔声结构而言，夹心结构随频率增加而同样表现出隔声性能增强的特征。在 100~1600 Hz 的中低频段，三种不同阻性填充材料的夹心结构表现出相近的隔声性能；而填充 150 mm 阻性材料的夹心结构，在 1600 Hz 以上的高频频段与其他两种结构的夹心结构隔声性能展现出一定优势。

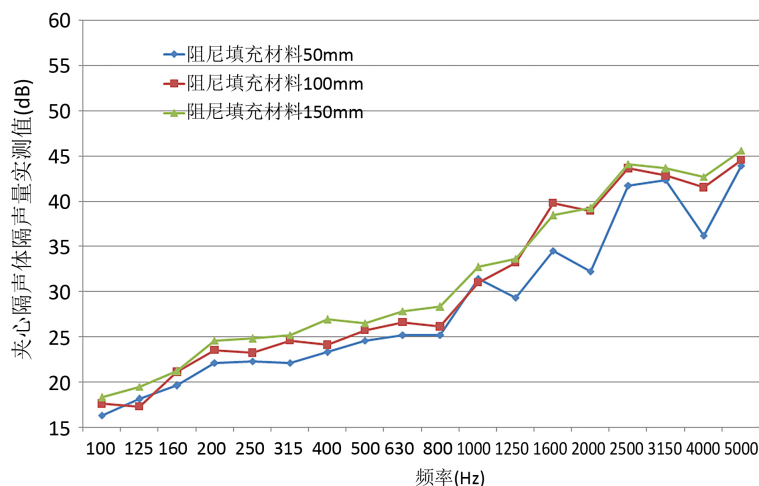
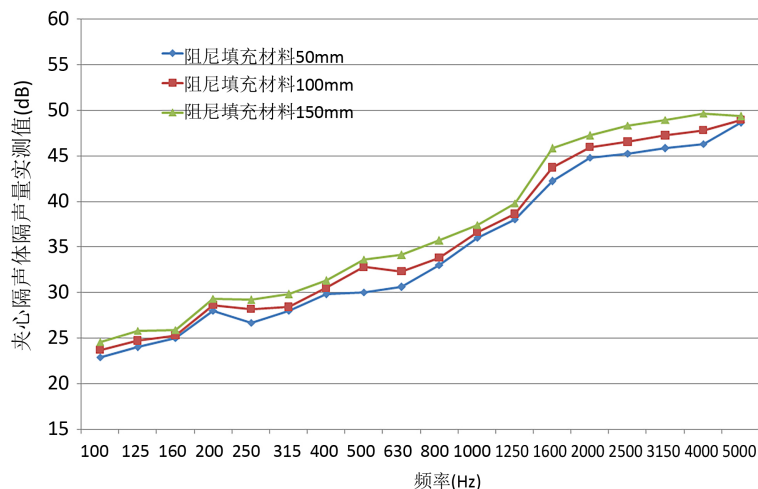


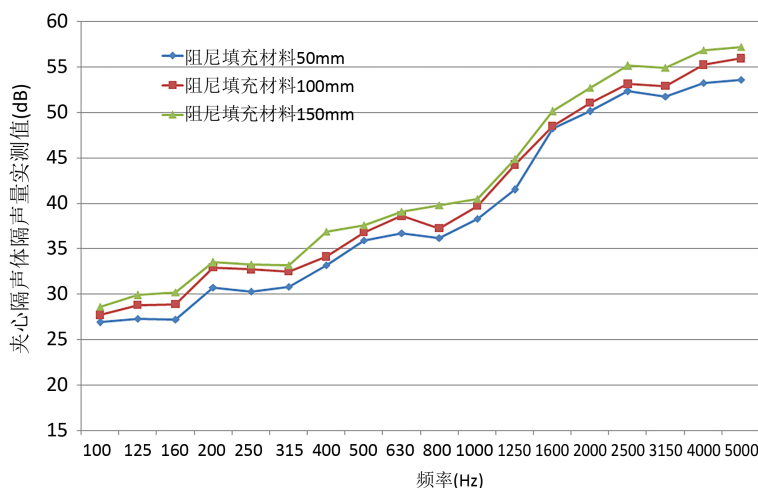
Figure 4. The sound insulation performance of different thickness resistive filling materials and 0.5 mm thick rigid material

图 4. 不同厚度阻性填充材料与 0.5 mm 厚刚性材料匹配时的隔声性能



**Figure 5.** The sound insulation performance of different thickness resistive filling materials and 1.0 mm thick rigid material

**图 5.** 不同厚度阻性填充材料与 1.0 mm 厚刚性材料匹配时的隔声性能



**Figure 6.** The sound insulation performance of different thickness resistive filling materials and 1.5 mm thick rigid material

**图 6.** 不同厚度阻性填充材料与 1.5 mm 厚刚性材料匹配时的隔声性能

综上所述, 不同厚度的阻性填充材料对夹心隔声结构隔声性能的影响较小, 但阻性填充材料对于不同频段的隔声效果具有不同的影响, 因而应根据不同频段隔声需要, 选用更具经济性的隔声材料结构, 来保证降噪工程的最优化设计。

#### 4.2. 刚性材料结构参数对隔声降噪效果的影响研究

刚性材料作为隔声结构的重要组成部分, 对于隔声降噪设计具有重要影响。在本研究试验中, 分别选取较为常用的 0.5 mm、1.0 mm、1.5 mm 厚的镀锌钢板作为试验对象, 比较了相同厚度超细玻璃棉下的隔声性能。

不同厚度刚性材料与 50 mm 厚阻性填充材料匹配时的隔声性能曲线如图 7 所示。从图中可知, 对于具有 50 mm 厚阻性填充材料的夹心隔声结构而言, 夹心结构随频率增加而表现出隔声性能增强的特征。无论是在 100~800 Hz 的中低频段, 或是在 1000 Hz 以上的中高频段, 具有不同厚度刚性材料的夹心结构

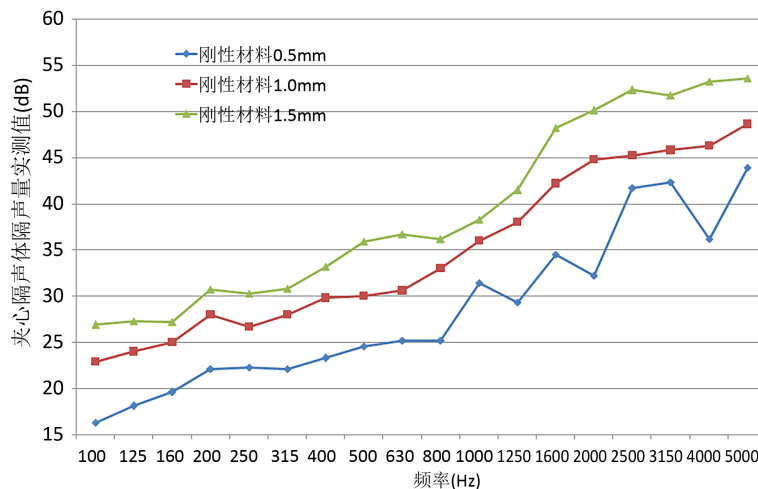


Figure 7. The sound insulation performance of different thickness thick rigid materials and 50 mm material resistive filling

图 7. 不同厚度刚性材料与 50 mm 厚阻性填充材料匹配时的隔声性能

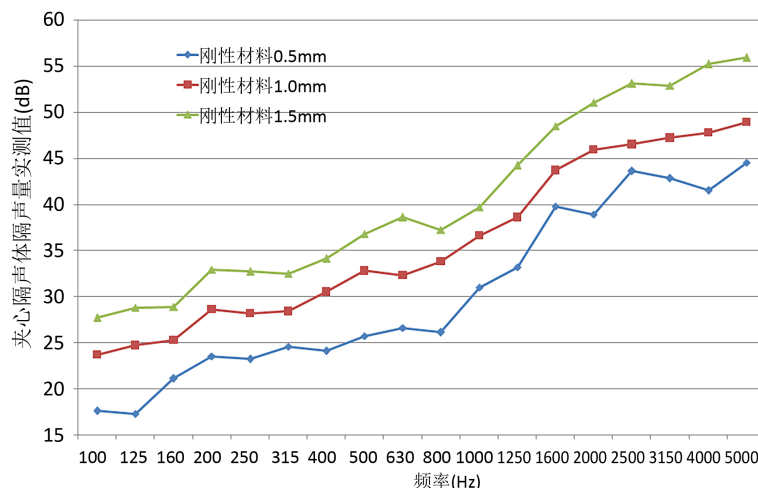


Figure 8. The sound insulation performance of different thickness thick rigid materials and 100 mm material resistive filling

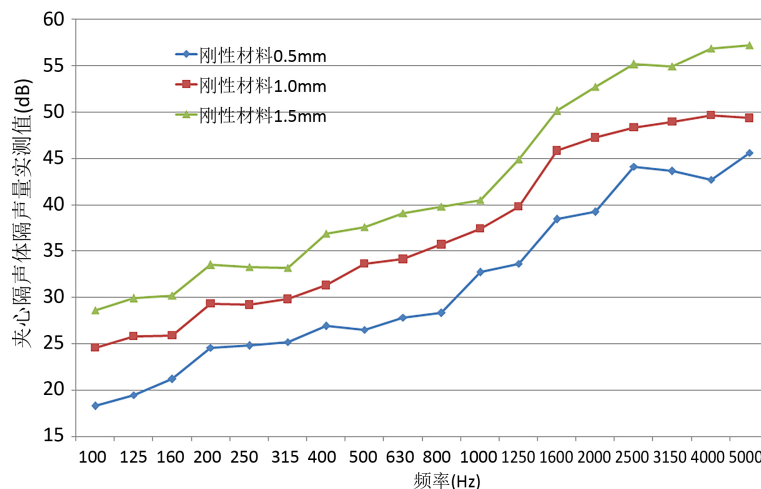
图 8. 不同厚度刚性材料与 100 mm 厚阻性填充材料匹配时的隔声性能

明显表现出随刚性材料厚度增加，隔声性能大幅提高的特征，这反映了刚性材料对隔声性能具有较大的影响。

不同厚度刚性材料与 100 mm 厚阻性填充材料匹配时的隔声性能曲线如图 8 所示。从图中可见，对于具有 100 mm 厚阻性填充材料的夹心隔声结构而言，夹心结构隔声性能同样表现出随频率增加而上升的特点，表明了在中高频隔声方面具有比低频隔声更强的作用效果。

不同厚度刚性材料与 150 mm 厚阻性填充材料匹配时的隔声性能曲线如图 9 所示。从图中可知，对于具有 150 mm 厚阻性填充材料的夹心隔声结构而言，夹心结构随频率增加而表现出隔声性能增强的特征。无论是在 100~800 Hz 的中低频段，还是在 1000 Hz 以上的中高频段，具有不同厚度尺寸刚性材料的结构隔声量明显表现出随刚性材料厚度增加而大幅上升的特点，这反映出刚性材料对整体结构隔声性能具有较大的影响。

综上所述，不同厚度刚性材料对夹心隔声结构隔声性能的影响较大，因而应根据工程隔声量的实际



**Figure 9.** The sound insulation performance of different thickness thick rigid materials and 150 mm material resistive filling

**图 9.** 不同厚度刚性材料与 150 mm 厚阻性填充材料匹配时的隔声性能

需要, 选用具有较强声学性能的隔声材料结构, 来保证整体降噪工程的最优化设计。

## 5. 总结

本文通过对城市户内变电站大门对降噪效果的影响研究, 得出了主变室门体尺寸、材料结构与隔声降噪效果的影响关系, 为实现城市户内变电站隔声降噪提供了技术支持。所得结论如下:

1) 随着户内变电站门体面积占所在墙体面积比例的升高, 变电站隔声量出现了明显的下降, 这主要是由于墙体阻挡和反射向外传播的声波造成的。门体面积越大, 所在墙体的阻挡和反射作用越弱, 因而在设计变电站门体时, 应在现场条件允许的前提下, 尽量减小门体面积, 以有效提升变电站的隔声降噪效果。

2) 不同结构尺寸的阻性填充材料对夹心隔声结构隔声性能的影响较小, 不同结构尺寸的刚性材料对夹心隔声结构隔声性能的影响较大, 但阻性填充材料对于不同频段的隔声效果具有不同的影响, 因而应根据不同频段隔声需要, 选用更具经济性的隔声材料结构, 来保证整体降噪工程的最优化设计。

## 参考文献

- [1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [2] 董志刚. 变压器的噪声[J]. 变压器, 1995(11): 27-31.
- [3] 周建国, 李莉华, 杜茵, 迟峰. 变电站, 换流站和输电线路噪声及其治理技术[J]. 中国电力, 2009, 42(3): 75-78.
- [4] 王之浩, 周建国, 苏磊, 等. 交流变电站可听噪声来源及特性分析[J]. 华东电力, 2008, 36(11): 16-18.
- [5] 牛春芳, 耿荣林. 降低变压器噪声方法的探讨[J]. 变压器, 2010, 47(12): 20-23.
- [6] 马大猷. 现代声学理论基础[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 230.
- [7] 聂京凯, 肖伟民, 孔晓峰, 等. 城市小区配电站的降噪设计与仿真研究[J]. 噪声与振动控制, 2014, 34(1): 229-231.
- [8] 樊超, 龚列谦, 刘主光, 等. 典型城市变电站噪声特征及降噪措施分析[J]. 智能电网, 2016, 4(10): 983-987.
- [9] 祝志祥, 林冶, 聂京凯, 等. 变电站(换流站)低频噪声吸声材料的研究[J]. 华东电力, 2011, 39(3): 357-361.
- [10] 樊超, 聂京凯, 肖伟民, 陈新, 韩钰, 耿慧君. 变电站降噪用吸声材料的研究[J]. 中国电力, 2014, 47(4): 158-161.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2328-0514，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[aepe@hanspub.org](mailto:aepe@hanspub.org)