

引用格式: 张九红, 李枫, 陈显华, 等. 既有居住建筑附属地下换热站降噪研究[J]. 声学技术, 2020, 39(4): 475-481. [ZHANG Jiuhong, LI Feng, CHEN Xianhua, et al. Research on noise reduction of the ancillary underground heat exchange stations in residential buildings[J]. Technical Acoustics, 39(4): 475-481.] DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2020.04.016

# 既有居住建筑附属地下换热站降噪研究

张九红<sup>1</sup>, 李枫<sup>2</sup>, 陈显华<sup>2</sup>, 张轶稀<sup>2</sup>

(1. 东北大学, 辽宁沈阳 110819; 2. 沈阳建筑大学, 辽宁沈阳 110168)

**摘要:** 为了降低既有建筑附属用房产生的噪声对居民生活的影响、改善居住建筑声环境, 对既有居住建筑附属用房地下换热站的噪声源以及噪声传播途径进行了分析; 以既有居住建筑地下换热站室内噪声实测数据为基础, 对室内环境的声学特征进行分析。在综合考虑居民的健康和舒适的基础上, 提出了针对该附属用房的降噪处理改造设计方案。经过改造后的空间噪声明显降低, 空间声环境指标达到标准要求, 有效地改善了居住建筑的声环境。文中提出的改造设计方案为制定民用建筑附属用房声学设计标准提供了技术支持。

**关键词:** 地下换热站; 隔声罩; 声压级; 降噪

中图分类号: TU112

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2020)-04-0475-07

## Research on noise reduction of the ancillary underground heat exchange stations in residential buildings

ZHANG Jiuhong<sup>1</sup>, LI Feng<sup>2</sup>, CHEN Xianhua<sup>2</sup>, ZHANG Yixi<sup>2</sup>

(1. Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China; 2. Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, Liaoning, China)

**Abstract:** To reduce the impact of noise generated by ancillary buildings on living condition and improve the acoustic environment of residential buildings, the noise source and the noise propagation routes of the underground heat exchange station of the existing residential building are studied in this paper. Based on the measured data of indoor noise in the underground heat exchange station of existing residential buildings, the acoustic characteristics of indoor environment are analyzed. From the comprehensive consideration of the health and comfort of residents, the noise reduction processing and transformation design scheme for the auxiliary building is proposed. The spatial noise after the transformation is significantly reduced, and the acoustic environment index of the living space after transformation meets the standard requirements, so that the acoustic environment of the residential building is effectively improved. The transformation design scheme proposed in this paper provides a technical support for the development of acoustic design standards for ancillary buildings in civil construction.

**Key words:** underground heat exchange station; sound insulation cover; sound pressure level; noise reduction

## 0 引言

建筑最初是用来遮风避雨的“遮蔽物”。随着社会的发展, 人们对建筑功能的要求越来越高, 安静的环境也成为了人们关注的焦点。虽然现代工业文明极大提升了人类的生活水平, 但是也带来了前所未有的噪声干扰。安静的环境并不是彻底消除噪声, 而是把噪声降低到一个能够容忍的噪声水平。在现有建筑声学设计方面, 人们关注的焦点往往是

影剧院、音乐厅等对声学要求较高的建筑空间。但是对于其它附属类型的功能空间的声环境考虑则比较欠缺, 例如换热站、设备间等。这些空间是噪声产生的主要源头, 声学设计上又往往被忽略, 导致使用过程中对周边影响过大, 这种现象亟待解决, 尤其是对于存在噪声污染的既有建筑, 声环境的改造需要进一步加强<sup>[1]</sup>。

本文对居住建筑附属换热站的降噪进行研究, 为保证居住区住户有一个安静的生活环境, 需要对换热站进行噪声处理。换热站主要是提供 24 小时大水量、高水压、恒温的热水, 满足建筑不同热水、冷暖需求, 同时又能消耗最少的能源。换热站内有大量的机械设备, 设备在运转过程中会产生较大的噪声, 这也是换热站的主要噪声来源。因此降低设备运转噪声也就成为降低换热站噪声的主要手段。

收稿日期: 2019-07-15; 修回日期: 2019-08-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0700700)、辽宁省自然科学基金指导计划(20180550967)、辽宁省高校创新团队支持计划(LT2017002)。

作者简介: 张九红(1968—), 女, 辽宁沈阳人, 教授, 博士生导师, 研究方向为绿色建筑和建筑物理声、光、热研究。

通讯作者: 李枫, E-mail: 376266606@qq.com

## 1 地下换热站现状与声学分析

### 1.1 地下换热站声环境现状

居住建筑位于抚顺市，处于严寒地区，为了给住户提供舒适的生活环境，小区配备了热泵系统。由于周边环境条件的限制，换热站放置在地下一层，紧邻部分住户。由于地下换热站产生很大的噪声，且在设计与施工过程中缺乏降噪处理，导致出现了较为严重的噪声问题，对该区域住户的生活造成了一定的影响，破坏了小区良好的声环境。

根据现场调研，换热站位于地下一层的一个 L 型空间。经过测试发现，地下换热站内的噪声主要来自 4 台大型电动机，运行时每两台一组，两组循环使用，以此提高电机的使用寿命。地下换热站内墙面和顶棚均为混凝土材料，地面铺设地砖，由于电动机本身噪声比较大，且室内所用材料吸声性能较差，造成了室内的噪声值较高，也给周边住户带来了严重的噪声困扰<sup>[2-3]</sup>。

### 1.2 地下换热站噪声测试与分析

针对地下换热站内的实际噪声情况进行调研，发现其主要噪声来源于电动机自身工作产生的噪声。高速运动的马达位于电动机的前端，不仅产生噪声，同时也产生振动。测试采用 Nor121 声学测试系统，根据相关声学标准和实际情况布置不同组传感器点位，传感器均布置在电动机的周围。噪声测试传感器点位如图 1 所示，各点位的传感器 1~12 记录的声压级数据如表 1 所示。

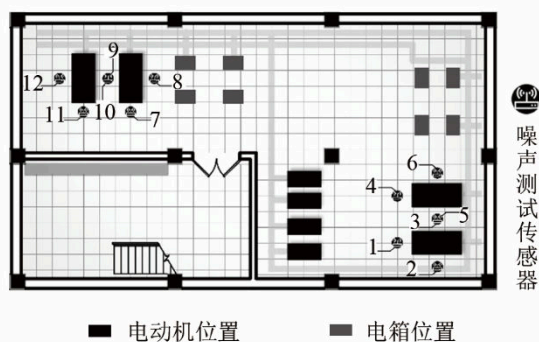


图 1 噪声测试传感器点位  
Fig.1 Noise test sensor sites

### 1.3 存在问题

由表 1 可知，各测试点的声压级均较高，说明声源附近具有较高的声压级，可以证明换热站的主要噪声来源于工作时的电动机。因此降低换热站的噪声主要是对噪声源进行处理。

表 1 传感器记录声压级

Table 1 Sound pressure levels recorded by sensors

| 频率/Hz    | $L_{p1}/$<br>dB | $L_{p2}/$<br>dB | $L_{p3}/$<br>dB | $L_{p4}/$<br>dB | $L_{p5}/$<br>dB | $L_{p6}/$<br>dB | $L_{p7}/$<br>dB |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 63       | 65              | 58              | 63              | 58              | 55              | 63              | 64              |
| 125      | 72              | 73              | 70              | 70              | 72              | 68              | 70              |
| 250      | 78              | 77              | 85              | 85              | 80              | 78              | 80              |
| 500      | 78              | 75              | 75              | 77              | 77              | 77              | 78              |
| 1 000    | 87              | 85              | 85              | 88              | 85              | 85              | 85              |
| 2 000    | 75              | 75              | 80              | 77              | 75              | 75              | 77              |
| 4 000    | 68              | 65              | 68              | 65              | 65              | 68              | 68              |
| 计权声压级/dB | 90.9            | 89              | 89.6            | 91.7            | 90.5            | 90.2            | 89.7            |

| 频率/Hz    | $L_{p8}/$<br>dB | $L_{p9}/$<br>dB | $L_{p10}/$<br>dB | $L_{p11}/$<br>dB | $L_{p12}/$<br>dB | $\bar{L}_p/$<br>dB |
|----------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 63       | 60              | 63              | 58               | 63               | 60               | 61                 |
| 125      | 72              | 70              | 68               | 70               | 68               | 70                 |
| 250      | 77              | 75              | 75               | 75               | 77               | 79                 |
| 500      | 73              | 70              | 68               | 73               | 68               | 74                 |
| 1 000    | 85              | 83              | 86               | 88               | 83               | 85                 |
| 2 000    | 80              | 80              | 80               | 80               | 77               | 78                 |
| 4 000    | 65              | 63              | 65               | 64               | 65               | 66                 |
| 计权声压级/dB | 86.8            | 87.3            | 87.5             | 90               | 85.4             | 89                 |

在对地下换热站内部噪声测试后，考虑到对上部办公及居住空间的影响，对其一楼的办公空间和二楼及以上的居住空间进行了噪声测试。测试中发现，一楼的办公空间受到地下换热站噪声的影响比较明显、不满足噪声标准要求，二楼及以上的居住空间受噪声影响比较小、满足噪声标准要求。

对数据进行整理分析，发现地下换热站存在以下问题：

- (1) 地下换热站内部的噪声声压级在高、中、低频均很高，对工作人员影响严重。
- (2) 地下换热站产生的噪声对一层空间影响较大，使一层空间未达到允许的噪声标准。
- (3) 对周边环境也产生一定影响，人们经过此处会有受到明显的噪声干扰<sup>[4-5]</sup>。

## 2 声学改造设计理论

### 2.1 声学标准要求

综合考虑声学效果和施工的成本控制，附属用房的噪声标准都以噪声评价曲线和单值 A 声级同时列出作为标准要求。我国对于一般建筑的噪声(人耳听闻)评价曲线，均以 NR 曲线为标准，如表 2 所示<sup>[6]</sup>。

表 2 一般建筑的允许噪声标准  
Table 2 Allowable noise standards for general residential buildings

| 建筑类别 | 房间名称  | 等级   | 允许噪声标准/dB |         |
|------|-------|------|-----------|---------|
|      |       |      | NR 评价曲线   | 单值 A 声级 |
| 住宅公寓 | 卧室、书房 | 一级   | 35        | ≤40     |
|      |       | 二级   | 40        | ≤45     |
|      | 起居室   | 三级   | 45        | ≤50     |
|      |       | 一级   | 40        | ≤45     |
|      |       | 二、三级 | 45        | ≤50     |

## 2.2 降噪方法与理论

地下换热站具有完整的建筑围护结构，围护结构的隔声量应符合现行国家标准 GB50118《民用建筑隔声设计规范》的有关规定<sup>[7]</sup>。

### 2.2.1 罩的隔声原理

衡量一个隔声罩的降噪效果，通常用插入损失  $L_1$  来表示。它在等于罩外空间某点，加罩前后的声压级的差值，即隔声罩实际的降噪效果。插入损失的计算公式为

$$L_1 = 10 \lg \frac{\alpha}{\tau} = R + 10 \lg \alpha \quad (1)$$

式中： $R$  为隔声量 (dB)； $\alpha$  为罩内表面的平均吸声系数； $\tau$  为罩内的平均透射系数。

### 2.2.2 隔声量计算

(1) 隔声量的理论计算公式：

$$\begin{cases} R = 20 \lg m + 20 \lg f - 48 + \Delta R, \text{垂直入射时} \\ R = 20 \lg m + 20 \lg f - 42 + \Delta R, \text{无规则入射时} \end{cases} \quad (2)$$

(2) 隔声量的经验计算公式：

$$\begin{cases} R = 23 \lg m + 11 \lg f - 41 + \Delta R, m \geq 200 \\ R = 13 \lg m + 11 \lg f - 18 + \Delta R, m < 200 \end{cases} \quad (3)$$

式(2)、(3)中： $m$  为构件的面密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )； $f$  为声音的频率 (Hz)； $\Delta R$  为空气层的隔声量 (dB)。

### 2.2.3 稳态声压级

当一已知声功率级为  $L_w$  的声源在室内连续发声，声场达到稳定状态时，距离声源为  $r$  处的稳态声压级由直达声与混响声两部分组成。在室内距离声源  $r$  处的声压级为

$$L_p = L_w + 10 \lg \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{C_R} \right) \quad (4)$$

式中： $L_p$  为室内与声源距离为  $r$  处的声压级 (dB)； $L_w$  为声源的声功率级 (dB)； $Q$  为声源的指向性因数，它与声源的方向性和位置有关。通常把无方向性的声源放在房间中心时， $Q=1$ 。 $C_R$  为房间常数，

取决于室内总表面积  $S(\text{m}^2)$  与平均吸声系数  $\bar{\alpha}$ ，其计算式为

$$C_R = \frac{S\bar{\alpha}}{(1-\bar{\alpha})} \quad (5)$$

通过式(4)发现，降低噪声需要从吸声、隔声以及消声几个方面进行降噪处理。

计算地下换热站内部可用吸声面积和容积时，需要考虑到工作人员对机械设备的维修和检查，以及机械设备必要的通风。因此需要合理地布置吸声材料<sup>[1,8-9]</sup>。

## 3 地下换热站改造设计方案

在对地下换热站进行噪声测试分析的时候，应从以下两个方面进行噪声控制处理。(1) 从声源处对噪声进行控制：设计电动机隔声罩；(2) 在传播的过程中对噪声进行控制：增加房间降噪措施。

### 3.1 电动机隔声罩设计方案

从声源处降低噪声，对控制整个噪声的影响是最有效、最积极的措施。为了使设备噪声的声压级达到允许的噪声标准要求，隔声罩设计主要从吸声、隔声、消声、隔振等几个方面采取措施。隔声罩在外观上起装饰作用，在声学上有隔绝噪声的效果。

本隔声罩采用复合隔声板与铰链锁扣的组合形式来隔绝电动机的噪声；在隔声罩与基座以及管道接触处铺设弹性材料以减小振动噪声。隔声罩设置进、出风口，保证了电动机正常运转处于合适的工作温度。电动机隔声罩的构造设计图如图 2 所示。

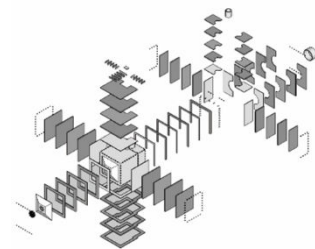


图 2 电动机隔声罩的构造设计图  
Fig.2 The structural design drawing of soundproof cover of motor

#### 3.1.1 复合降噪板设计

(1) 构造及材料选择

经过测试发现地下换热站噪声值均高于标准要求的允许噪声值，这时候应当选择合理的降噪构造形式。由于电动机噪声比较大，需要采取“质量-弹簧-质量”系统对噪声进行多层次的隔绝。通过对声音频率的分析，对中、高频的噪声主要是采用

良好的吸声材料对噪声进行吸收，而对中、低频的噪声主要是采用薄板共振进行降噪。因此选用了“薄板+吸声材料+薄板”作为隔声罩的构造形式。

在进行降噪材料的选择时，经过对市场上常见的降噪材料的降噪量进行查找，发现薄板主要以金属板为主。常用的金属板有镀锌铁板、铝板等，吸声材料有玻璃棉和岩棉等，但是考虑到换电站常年潮湿和施工方便，因此降噪材料要具有防火、防水、防潮的性能且便于安装施工。在经过对比后选择了适合做隔声罩的相应的声学材料：铝板和镀锌铁板材质轻、耐高温、耐腐蚀、防火、防潮、防振，吸收中低频噪声，且组装简便，可用于各类车间厂房、人防地下室等作为降噪材料<sup>[10]</sup>。水泥压力板质量较大，对于隔绝空气传声比铝板效果好，但比较重不如铝板安装方便，而玻璃棉具有较好的防火、减振、吸收中高频噪声的特性。因此，隔声罩的整体采用金属铝板、钢板作为薄板，中间夹杂玻璃棉，即采用铝板和玻璃棉形成整体构造。隔声罩各层材料如图 3 所示。

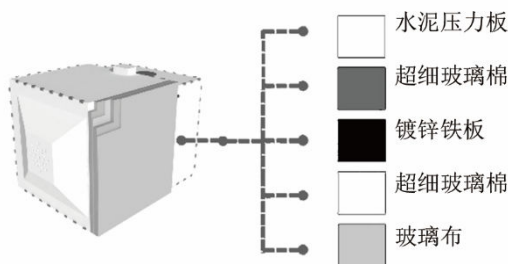


图 3 隔声罩各层材料  
Fig.3 Materials of different layers of soundproof cover

(2) 隔声吸声复合构造

对所选择的材料进行分层组合，根据隔声量计算公式结合《建筑隔声设计》中对各种材料隔声量的实测表对比来对隔声罩进行设计<sup>[9]</sup>。常用金属板隔声量如表 3 所示。

虽然钢板的隔声量随着密度的增加会越来越大，但是其隔声量的增长值没有铝板的增长值大，并且面密度越大重量也会越大，不利于施工。钢板的耐腐蚀、防潮性能都不如铝板。因此选用铝板+镀锌薄

表 3 常用金属板的隔声指数  
Table 3 Sound insulation of commonly used metal plate

| 类别  | 序号 | 名称    | 面密度(kg·m <sup>-3</sup> ) | 平均隔声量/dB |
|-----|----|-------|--------------------------|----------|
| 金属板 | 1  | 铝板    | 2.6                      | 21       |
|     | 2  | 铝板    | 5.2                      | 25       |
|     | 3  | 镀锌薄钢板 | 7.8                      | 29       |
|     | 4  | 钢板    | 7.8                      | 28       |
|     | 5  | 钢板    | 11.7                     | 30       |

钢板+铝板的构造形式，其中镀锌薄钢板是为了在增加隔声量的同时增加隔声罩的整体牢固度。

根据计算公式，可以得出随着空气层厚度的增加，附加隔声量会越来越大，但是在实验中发现厚度为 100 mm 时，隔声量与厚度的比值会达到一个峰值，之后随着厚度的增加隔声量的增加值越来越小，资料中也验证了这一点<sup>[10]</sup>。因此，在进行设计时将隔声罩的空气层厚度定在 100 mm。为了使隔声罩的隔声量能进一步增加，在空气层中增加了吸声材料。这种做法是考虑到吸声材料的流阻特性，能进一步提高隔声量。常见的超细玻璃棉厚度为 30、50 mm，考虑到经济性选择 30 mm 厚的超细玻璃棉，同时留出施工过程中出现误差的空间。

在对隔声罩进行隔声计算时，分别对有、无填充吸声材料进行了计算，发现填充吸声材料时隔声量明显高于无填充吸声材料时的隔声量。对其数据进行了整理，结果如表 4 所示，达到了设计要求。

表 4 双层结构的隔声量  
Table 4 Sound insulation of double-layer structure

| 类别   | 材料及构造                      | 面密度/(kg·m <sup>-3</sup> ) | 平均隔声量/dB | 隔声指数/dB |
|------|----------------------------|---------------------------|----------|---------|
| 双层结构 | 双层 2 mm 厚铝板 (中空 70 mm)     | 10.4                      | 31.2     | 32      |
|      | 双层 2 mm 厚铝板填充 70 mm 厚超细玻璃棉 | 12.0                      | 37.3     | 39      |

根据罩的隔声原理公式(1)和隔声量计算公式(2)、(3)并结合查表，对隔声罩的复合隔声板进行了完整的设计。从外向内，首先外层铺设铝板，在铝板内部铺设 30 mm 厚的超细玻璃棉，其次铺设 1 mm 厚的镀锌铁板，之后再铺设 30 mm 的超细玻璃棉，最后用玻璃布在隔声罩内部进行铺设，组成复合隔声板构件如图 3 和图 4<sup>[11]</sup>所示。

3.1.2 进出风口消声设计

设计进出风口是为了保证电动机的正常工作，但是这样会破坏隔声罩的密闭性，使隔声罩的隔声量降低，因此需要对进出风口进行一定的隔声设计。

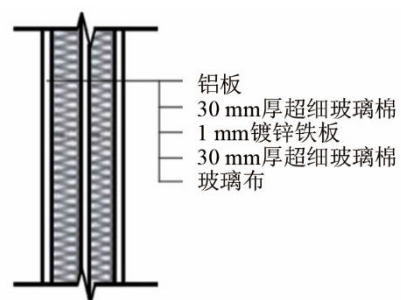


图 4 隔声罩构造图  
Fig.4 The structural diagram of soundproof cover

在考虑进出风口的隔声设计时，不能影响气流的正常流通，因此对进出风口使用的消声装置进行处理，这样不仅能起到降低噪声的效果，同时也能够最大化地保证气流的正常流通。电机产生的噪声频率较高，故采用阻型消声器。这类消声器的特点是对中、高频声能有较高的衰减。由于进风口处孔洞比较密集，不能单独设置消声装置，为了施工方便将进风口处整体采用超细玻璃棉穿孔，在噪声向外界传播的过程中吸收噪声。为了保证热量能够均匀快速散出，因此出风口需要有序地分布在隔声罩前半部分末端，同时对每个出风口进行单独的消声处理。即每一个出风口处向外伸出一小段距离的出风管，并在伸出的出风管上进行消声处理。通过对进出风口进行消声处理，使电动机向外界传出的噪声被最大化的吸收，进、出风口的消声处理示意图如图 5、6 所示。

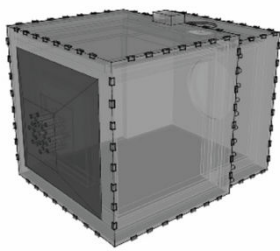


图 5 进风口消声处理  
Fig.5 Muffling treatment at air inlet

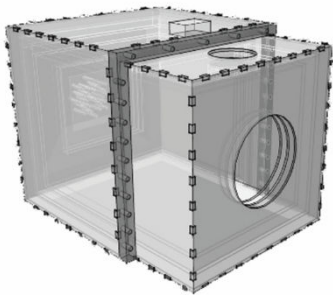


图 6 出风口消声处理  
Fig.6 Muffling treatment at air outlet

### 3.1.3 隔振设计

隔振设计的原则是降低隔振系统的固有频率。从隔振原理可知，只有当扰力频率大于系统固有频率的 2 倍时，隔振系统才能起到隔振的作用。系统固有频率越低，隔振效率越高。为了避免隔声罩安装后被电机带动一起振动，应在隔声罩与热泵系统所接触的部位安置相应的弹性垫层。一处是在隔声罩与电机基座相接触的部位安置弹性垫层，另一处是在与管道接触处用优质的弹性橡胶材料进行密封处理。这种做法不仅能起到隔振作用，同时也能起到隔声的效果，示意图如图 7、8 所示<sup>[13]</sup>。

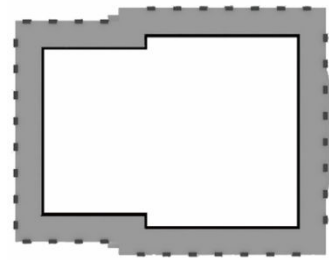


图 7 基座接触部位的弹性垫层  
Fig.7 Elastic cushion at base contact site

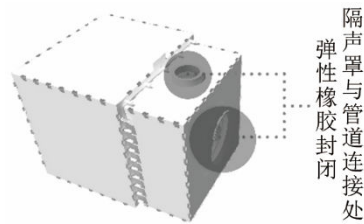


图 8 管道连接处的弹性橡胶  
Fig.8 Elastic rubber at pipe connections

### 3.2 改造后噪声测试

在地下换热站工程施工完成后进行了噪声测试。测试过程中采用声学频谱分析仪等声学测试设备，对同样的点位进行了测试，测试结果如表 5 所示。

由表 1 和表 5 对比可知，电机隔声罩之后地下换热站的噪声降低了 3~6 dB。测试中能够感觉到噪声明显减小。

表 5 传感器记录声压级  
Table 5 Sound pressure levels recorded by sensors

| 频率/Hz    | $L_{P1}$ /dB | $L_{P2}$ /dB | $L_{P3}$ /dB  | $L_{P4}$ /dB  | $L_{P5}$ /dB  | $L_{P6}$ /dB    | $L_{P7}$ /dB |
|----------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|
| 63       | 55           | 55           | 58            | 53            | 53            | 52              | 57           |
| 125      | 69           | 67           | 68            | 67            | 68            | 68              | 67           |
| 250      | 72           | 71           | 75            | 73            | 77            | 72              | 73           |
| 500      | 73           | 71           | 73            | 74            | 74            | 73              | 72           |
| 1 000    | 81           | 79           | 78            | 79            | 80            | 80              | 75           |
| 2 000    | 70           | 68           | 72            | 71            | 68            | 69              | 65           |
| 4 000    | 61           | 59           | 62            | 61            | 60            | 60              | 60           |
| 计权声压级/dB | 83.5         | 81.5         | 82.5          | 84            | 83.6          | 84.3            | 82.7         |
| 频率/Hz    | $L_{P8}$ /dB | $L_{P9}$ /dB | $L_{P10}$ /dB | $L_{P11}$ /dB | $L_{P12}$ /dB | $\bar{L}_p$ /dB |              |
| 63       | 56           | 55           | 56            | 55            | 51            | 55              |              |
| 125      | 70           | 70           | 68            | 68            | 66            | 68              |              |
| 250      | 72           | 72           | 72            | 75            | 70            | 73              |              |
| 500      | 72           | 70           | 68            | 73            | 68            | 72              |              |
| 1 000    | 80           | 79           | 76            | 70            | 80            | 85              |              |
| 2 000    | 70           | 72           | 65            | 68            | 63            | 69              |              |
| 4 000    | 60           | 60           | 62            | 60            | 61            | 61              |              |
| 计权声压级/dB | 83.8         | 81.5         | 82.8          | 83.6          | 78.5          | 82.6            |              |



本文通过对实测数据的分析,提出了针对电机降噪的声学改造方案,并对方案进行了评估。从评估结果来看,这种电机隔声罩至少能够降低 3~6 dB 的噪声。测试中能够明显地感觉到地下换热站的噪声降低了。在测试中发现虽然噪声满足要求,但电动机运行过程中会产生大量的热量,而密闭空间内热量无法及时排出,会导致隔声罩内部的温度急剧上升,使电动机处于高温工作状态,长时间高温工作环境会对电动机产生较大的影响。整体设计的隔声罩并不便于工人日常的检修。针对这两个问题对电动机隔声罩方案进行改进。电动机及改造前安装隔声罩的电动机如图 9、10 所示。



图9 电动机  
Fig.9 Motor



图 10 改造前安装隔声罩的电动机  
Fig.10 Motor with soundproof cover before transformation

### 3.3 电动机隔声罩设计方案改进

#### 3.3.1 通风散热设计

在电动机的进风口处增设了 20 个直径为 10 mm 的进风口,在保证电动机所需进风量的同时减少进风口对噪声的传播。出风口位于电动机两厢的交接处,采用直径为 10 mm 的出风管道有序地安置在隔声罩的侧后方,通过风压能够将热风及时排出。马达位于电动机前半部分,马达工作时高速运转产生的热量需快速进行散热处理,但是隔声罩将电动机封闭在一个密闭空间中,散热需要一定的时间,因此隔声罩与电动机前半部分之间要保持 100 mm 的距离,给电动机留出足够的散热空间。

而电动机后半部分不产生热量,因此不需要考虑散热空间。在隔声罩改进设计中,在出风口的位置将隔声罩分为前后两个部分,第一部分为电动机的进风口至出风口的位置,第二部分则是从电动机的出风口至末端与管道连接处。这种设计不仅能够增大电动机工作时所需要的散热空间,同时还能够设置出风口,使热量能够有序且快速地排出。在设置进、出风口后的测试中发现,电动机的工作温度保持在正常工作允许的温度范围内。进、出风口的位置如图 11、12 所示。

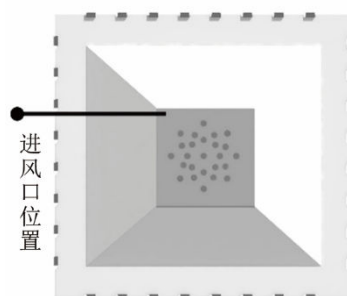


图 11 进风口位置  
Fig.11 Air inlet position

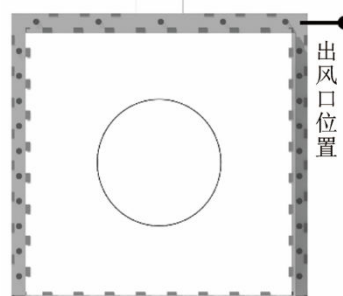


图 12 出风口位置  
Fig.12 Air outlet position

#### 3.3.2 便捷检修与安装设计

为了减少现场施工,隔声罩的尺寸可以提前在工厂预制好,并按顺序在每块板子上标记,然后再用铰链锁扣安装在每块隔声板的四周,运抵施工现场后再按照顺序依次固定锁扣,将其连为一个整体组装成为隔声罩。在电动机检修口安置一块可开启的单独吸声板材,方便工作人员每日的例行检查。

### 3.4 房间内部降噪

在对电动机隔声罩改进完成后,对上层使用空间内部的噪声值进行测试,测试结果显示房间噪声级仍较高,为 46 dB。根据《民用建筑隔声设计规范》卧室、起居室(厅)内的允许噪声级的规定(如表 6 所示),未达到要求。

根据规范中的规定,进一步降低对地下换热站内部噪声,降噪方案从以下几个方面进行考虑:

(1) 围护结构顶棚及墙面处理:顶棚和墙面均

表6 卧室、起居室(厅)内的允许噪声级  
Table 6 Permissible noise levels in bedroom and living room (hall)

| 房间名称   | 允许噪声级/dB |     |
|--------|----------|-----|
|        | 昼间       | 夜间  |
| 卧室     | ≤45      | ≤37 |
| 起居室(厅) | ≤45      | ≤45 |

可以铺设铝穿孔板和多孔吸声材料。加强门的密闭措施,或更换为隔声门。

(2) 通风口的消声处理:由于地下换热站机器运转产生的温度较高,根据热压作用,设置通风口,但是噪声也会沿着通风口传到外界,因此需要对通风口处做消声处理。在设计中,考虑到地下换热站内温度、湿度较高,因此在通风口处应采用防火、防水、防潮、强度高的吸声材料做成百叶,并在内表面处粘贴玻璃棉进行吸声处理,在保证正常通风的同时吸收噪声。

(3) 对地下换热站内部的管道用吸声材料进行包裹,减少因电动机的振动带动管道振动产生的噪声。

在对地下换热站进行内部降噪处理后,根据式(4)中的稳态声压级公式计算并测得上层使用空间的内部的噪声值为40.5 dB,满足《民用建筑隔声设计规范》中的要求。经过对方案的不断改进和整合,最终形成了完整的针对地下换热站降噪的设计方案。

## 4 结语

本文通过对既有居住建筑附属用房地下换热站室内噪声实测数据进行分析,提出了对该房间改造的可行性方案,并对方案进行了测试评估。测试结果表明,降噪效果完全达到了改造的预期值。

通过对比研究发现,对居住区附属用房的降噪设计过程中,首先要找出主要的噪声源并分析其频

谱,制定合理的降噪设计方案。如果满足标准要求则按照设计方案实施,如果未满足标准要求则需要根据噪声的传播途径进行进一步的降噪方案的深化设计。这种方法不仅能够有效地降低噪声产生的影响,同时还能最大化地节约改造成本,符合既有建筑改造的要求。

对地下换热站降噪改造设计,应在综合考虑居民和工作人员健康、舒适的基础上,提出合理的综合降噪处理技术。保证改造后居住空间噪声明显降低,声环境指标达到标准要求,减少附属用房产生的噪声对居民生活的影响,有效地改善居住建筑的声环境。本文提出的方案为制定民用建筑附属用房声学设计标准提供了技术支撑。

## 参 考 文 献

- [1] 刘加平. 建筑物理(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [2] (美)F. 奥尔顿. 埃佛勒斯, 肯恩.C. 博. 声学手册: 声学设计与建筑声学实用指南(第五版)[M]. 郑晓宁, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
- [3] 孙广荣. 从建筑声学到环境声学[J]. 应用声学, 2002, 21(1): 46-48. SUN Guangrong. From architectural acoustics to environmental acoustics[J]. Applied Acoustics, 2002, 21(1): 46-48.
- [4] 秦佑国, 王炳麟. 建筑声环境[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [5] (美)威廉 J. 卡瓦诺夫, 约瑟夫 A. 威尔克斯. 建筑声学——原理和实践[M]. 赵樱译. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. GB3096 2008《声环境质量标准》[S]. 北京: 中国环境出版社, 2008.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50118 2010《民用建筑隔声设计规范》[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [8] 吴硕贤. 建筑声学设计原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [9] 钟祥璋. 建筑吸声材料与隔声材料(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [10] 康玉成. 建筑隔声设计-空气声隔声技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [11] 中国建筑标准设计研究院. 08J931 建筑隔声与吸声构造[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ/T247 2016 供热站房噪声与振动控制技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.