基于小波变换的空调器噪声识别分析

四川长虹空调有限公司空调技术研究所　　李子林

摘要：目前空调器噪声识别与检测采用的是半消声室内傅里叶变换将时间谱信号转换为频率谱信号，同时结合人工主观评价。本文试图将傅里叶变换与人工主观评价的各自优点相结合，以小波变换为基础，找到一种更优的空调器噪声识别方式。

关键词：噪声识别；傅里叶变换；主观评价；小波变换

Abstract:　at present, the air conditioner noise recognition and testing methord use Fourier transform to switch time spectrum signal into frequency spectrum signal in a semi-anechoic room, and combining with the artificial subjective evaluation. This paper try to combine the Their respective advantages of Fourier transform and artificial subjective evaluation, based on wavelet transform, and finally find a better air conditioner noise recognition method.

Keywords:　noise recognition; Fourier transformation, Subjective evaluation; Wavelet transform

1. 在空调器的研发过程中，噪声的检测和改进是噪声质量控制的关键环节。

空调器噪声分为以下几类：

一. 机械噪声：由电机、压缩机内部运动部件碰撞、摩擦产生。

二. 涡流噪声：由风扇叶轮克服空气粘性产生的不同尺度的涡，发生动能交换产生。

三. 喷注噪声：由制冷剂工质在毛细管内节流产生。

四. 周期作用力激发噪声：如前板、隔音板等结构件噪声。

目前的空调器噪声检测通常是半消声室内声压傅里叶变换，亦即将空调器的时间谱信号转换为频率谱信号，该方法的优点在于能够便捷地观察到空调器各个频率段的噪声，以便于评价空调器噪声的优劣。但实际工作中发现，频率谱只适合于作为指标评价，而在噪声的改进中，用其难以对不同机型噪声准确识别，因此并非有力手段。

噪声识别通常是用人工主观评价，此法有其独特的优势，可是强烈依赖于评价人员的经验，不同的评价人员对同一台机器同一种工况的评价会出现差异，即使经验十分丰富的试验员，也很难准确判断噪声是源于空调器的具体位置或零部

件，效率偏低。有没有一种方法，将人耳识别与频率谱信号分析结合起来，成为笔者思考的问题。

而小波分析方法是目前国际上研究的热点，有没有可能将小波分析的方法引入空调器噪声识别与检测？以下展开讨论。

2. 小波理论

设$\Psi(\omega)\in L^2(R)$，其傅立叶变换为$\Psi(\overline{\omega})$，当$\Psi(\overline{\omega})$满足完全重构条件或等分辨条件时：

$$C_\Phi=\int\frac{\left|\Psi\left(\omega\right)\right|^2}{\omega}d\omega \qquad (1)$$

称$\Psi\left(t\right)$为一个基本小波或母小波。将母函数$\Psi\left(t\right)$经伸缩和平移后得到：

$$\Psi_{a,b}\left(t\right)=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \qquad a,b\in R;a\neq 0 \qquad (2)$$

称其为一个小波序列。其中a为伸缩因子，b为平移因子。

对于任意的函 $f(t)\in L^2(R)$的连续小波变换为：

$$\omega_f(a,b)=\left\|f,\Psi_{a,b}\right\|=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\int_R f(t)\overline{\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)}dt \qquad (3)$$

其重构公式为：

$$f(t)=\frac{1}{C\Psi}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{1}{a^2}W_f(a,b)\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dadb \qquad (4)$$

3. 耳蜗中小波模型建立

我们注意到人耳结构中耳蜗的蜗旋构造，声压因此在耳蜗中延伸是以螺旋方式，压力波是正弦的，亦即：

$$f_\omega(t)=e^{i\omega t} \qquad (5)$$

引入坐标 y 表示这个延伸过程，y 处于包络之中：

$$F_\omega(t,y)=e^{i\omega t}\phi_\omega(y) \qquad (6)$$

其中$\phi_\omega(y)$随ω的变化用平移量$\lg\omega$表示。

因此激励

$$f(t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int d\omega f(\overline{\omega})e^{i\omega t} \tag{7}$$

的响应为：

$$F(t,y)=f(t)F_{\omega}(t,y)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int d\omega f(\overline{\omega})e^{i\omega t}\phi(y-\lg\omega) \tag{8}$$

在引入可变参数将其归一化后成为一个严格的小波变换，在ϕ_{ω}中是以频率的对数平移量而变化的，所以是膨胀参数，因此耳蜗中发生了小波变换，由此过程可将自然界不同种类的声音区分开，辨别各自细微的音色差异。因此理论上为将小波基方法移植到空调器噪声识别中提供了支撑。

4. 利用小波分解识别噪声相关性

小波分解原理如图1所示，信号$S(t)$可以分解为

$$S(t)=A_J+\sum_{j\le J}D_j \tag{9}$$

其中

$$A_j(t)=\sum_k c_{jk}\Phi_j(t-k) \tag{10}$$

$$D_j(t)=\sum_k d_{jk}\Psi_j(t-k) \tag{11}$$

A_j和D_j是指信号S在第j级的分解量，$\Phi_j(t)$为第j级分解的尺度函数，$\Psi_j(t)$为第j级分解的小波函数，c_{jk}为第j级分解的尺度函数系数，d_{jk}为第j级分解的小波函数系数。

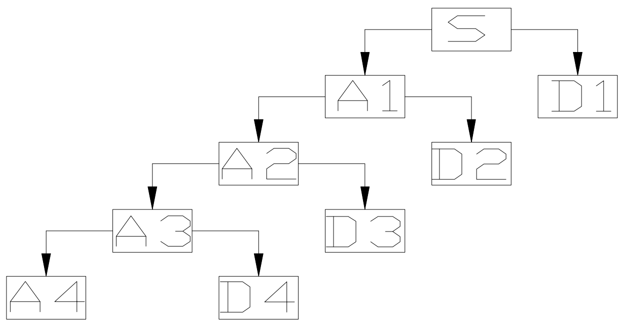

图 1　小波分解原理

小波包分解是对小波分解的一般化处理。在小波包分解过程中，信号$S(t)$在第J级可以分解为：

$$S(t)=\sum_{n=0}^{2J-1}\sum_{j\le J}q_{Jnk}\omega_{Jn}(t-k) \tag{12}$$

设声压传感器检测到空调器噪声时频信号为 $x(t)$，根据图1对 $x(t)$ 进行6层小波分解，则 $x(t)$ 分解为：

$$x(t)=A_1+D_1+A_2+D_2+A_3+D_3+A_4+D_4+A_5+D_5+A_6+D_6 \tag{13}$$

其中， A_i 、 D_i 表示6层小波分解的第 i 层重构信号。

该式表明，信号 $x(t)$ 在基于小波的基础上被分解为在频率上互不相同的信号 A_1-A_6 和 D_1-D_6 。

$$令\ M_{Ai}=\int_{-\infty}^{+\infty}A_i^2(t)dt \tag{14}$$

$$M_{Di}=\int_{-\infty}^{+\infty}D_i^2(t)dt \tag{15}$$

$$M=\sqrt{\sum_{i=1}^{6}M_{Ai}^2+M_{Di}^2} \tag{16}$$

定义信号 $x(t)$ 的特征向量为

$$T=\{M_{A1},M_{D1},M_{A2},M_{D2},M_{A3},M_{D3},M_{A4},M_{D4},M_{A5},M_{D5},M_{A6},M_{D6}\} \tag{17}$$

设 $x(t)$ 和 $y(t)$ 是两个不同的信号， 且两个信号的特征向量为 T_x 和 T_y 。则 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的相关系数为 $R_{xy}=T_xT_y$ 。 R_{xy} 反映了 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的相关程度，如果空调器噪声信号为 $x(t)$ ，压缩机振动噪声信号为 $y_1(t)$ ，空气涡流噪声为 $y_2(t)$ ，毛细管振动信号为 $y_3(t)$ ，异形管振动信号为 $y_4(t)$ ，结构件振动信号为 $y_5(t)$ ，则 R_{xy1} 、 R_{xy2} 、 R_{xy3} 、 R_{xy4} 、 R_{xy5} 分别反映了空调器噪声信号与压缩机噪声、空气涡流噪声、毛细管振动、异形管振动、结构件振动信号之间的相关程度， R越大相关程度越高，则可以判定出对半消声室内空调器噪声贡献最大的噪声源。

5. 结论

1）小波变换方法可将傅里叶变换与人工评价的优势相结合，用于准确识别空调器噪声。

2）用小波分解的方法可以得到噪声信号特征向量和相关系数，从而确定主要的噪声源。

3）小波变换用于空调器噪声识别有待进一步分析与实验研究。

[参考文献]

［1］ 胡嗣柱，倪光炯. 数学物理方法［M].北京:高等教育出版社，2002.

作者简介：李子林，男，2008年考入西南科技大学硕士研究生，专业是供热、供燃气、通风与空调工程，2011年毕业，获得硕士学位。研究生期间主要从事利用热电厂汽轮机乏汽进行过热蒸汽超音速粉碎、过热蒸汽除尘、流体力学及流体机械研究，发表论文七篇，其中EI收录一篇。现在四川长虹电器股份有限公司 空调公司，从事家用空调系统设计研发。Email：zilin.li@changhong.com 地址：四川省绵阳市绵兴东路35号长虹技术中心六楼空调公司技术研究所，邮编621010。 电话 158 9261 3291