

空调声品质实验方法研究

海尔空调 曹祥祥

2019年11月21日 中国·合肥



一

行业概况

二

声品质实验方法探索

三

结语

市场环境一直在变

随着人民生活水平的不断提高，用户对空调的需求也由普通的制冷、制热效果转为与舒适性相结合的需求

用户

- ① 舒适性需求转变
- ② 噪音抱怨逐渐增加

技术

- ① 声压级、声功率级客观参数分析
- ② 响度、粗糙度、尖锐度等客观参数与主观参数结合

产品

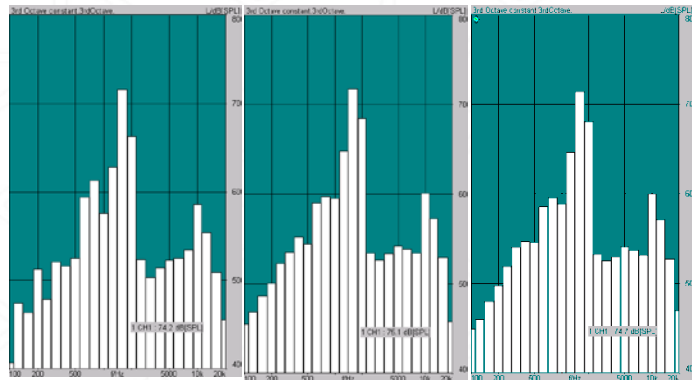
- ① 竞争激烈
- ② 迭代快

热胀冷缩音

冷媒音

电磁音

压缩机升降频



- 描述的是声音的响亮程度

- 符号N

- 单位Sone

$$N = 0.06 \left(\frac{E_a}{E_0} \right)^{0.67} \left[\left(0.5 + 0.5 \frac{E_a}{E_0} \right)^{0.15} - 1 \right] \quad (2.14)$$

式中, E为声音激励, E₀为绝对听阈下的激励; E_a为基准声压下的激励, 对N在总Bark域上进行积分计算, 即可得到总响度N;

$$N = \int_z^{24000} N(z) dz \text{ (sone)} \quad (2.15)$$

式中, N(z)为Bark域内的特征响度。

ISO352B规定Zwicker响度模型

响度

- 高频成分在声音频谱中所占比例的物理量, 反映声音信号的刺耳程度。

- 符号: S

- 单位: acum

通常采用Zwicker模型来计算尖锐度S, 其数学模型以响度模型为基础, 数学公式如下:

$$S = k \frac{\int_z^{24000} N(z) \cdot z \cdot g(z) dz}{N} \text{ (acum)} \quad (2.16)$$

式中, k是加权系数(k一般取0.11), N为总响度值; N(z)代表z号Bark域内的特征响度; 在Zwicker的尖锐度计算模型中, g(z)是声音信号在不同Bark域内的权重系数, 其表达式为:

- 度量声音信号频谱中纯音成分所占比例

- 符号T

- 单位: tu

$$g(z) = \begin{cases} 1 & z \leq 16 \\ 0.0625 \cdot z^{0.133} & z > 16 \end{cases} \quad (2.17)$$

音调度是用来度量声音信号频谱中纯音成分所占比例的参数, 单位为tu, 频率为1kHz的纯音, 如果其声压级为60dB, 那么将其定义为1tu。音调度使用Tehach和Aures提出的公式来计算^[20],

$$T = \sqrt{\sum_{i=1}^N [W_i(\Delta z_i) W_i(f_i) W_i(\Delta L_i)]^2} \quad (2.18)$$

式中, W_i(Δz_i)为第i个单频分量与临界频率的差; W_i(f_i)为该分量与频率的关系; W_i(ΔL_i)为其声级差效应。

音调度

声品质参数

粗糙度

抖动度

- 反映声音的幅值调制大小

- 符号: R

- 单位: asper

Aures最早给出了粗糙度的计算方法, 在此基础上, Zwicker及Fattl做了一定的修正, 修正后的计算公式为:

$$R = 0.3 f_{mod} \int_{f_{mod}}^{20000} \Delta L_r(z) dz \text{ (asper)} \quad (2.19)$$

其中, R为计算得到的粗糙度; f_{mod}为调制频率; ΔL_r(z)为声信号的变化量, 计算公式为:

$$\Delta L_r(z) = 20 \log_{10} \left(\frac{N_{max}(z)}{N_{min}(z)} \right) \quad (2.20)$$

其中: N_{max}(z)、N_{min}(z)分别为z号Bark域内特征响度的最大最小值。

- 描述人耳对缓慢调制声音的主观感觉, 其大小代表了声音响度的起伏度

- 符号: N

- 单位: vacil

Zwicker抖动度计算模型为:

$$F = 0.008 \frac{\int_{f_{mod}}^{24000} \Delta L_r(z) dz}{(f_{mod}/f_0) + (f_0/f_{mod})} \text{ (vacil)} \quad (2.21)$$

其中, F为抖动度, f₀代表调制基频(f₀取4Hz); f_{mod}、ΔL_r(z)的定义和计算与粗糙度相同。

主观感受	评分值
可接受的噪音	1
最低可接受的噪音	3
不可接受的噪音	5

客观参数 客观参数分析



数据处理，每段截取5s进行回放

录音

双耳人工头

注意避开出风方向



剔除离散

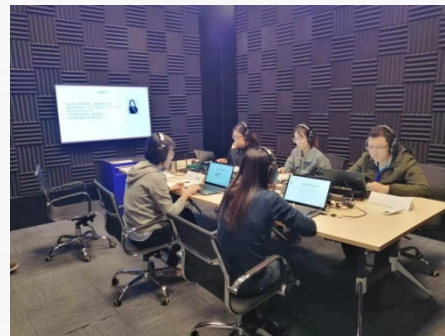
主观打分

客观参数

回归分析

主观评价

五人评审团打分



评审团成员要求经过专业听音培训并通过认证

Kendall协和系数来验证评价结果是否具有的一致性

$$W = S_R / \left[\frac{1}{12} K^2 (n^3 - n) \right]$$

$$S_R = \sum_{j=1}^n \left[R_j - \left(\sum_{j=1}^n R_j \right) / n \right]^2$$

$$R_j = \sum_{i=1}^k R_{ij}$$

式中 W----协和系数

K----评价主体个数

n----噪声样本个

S_R ----评价样本j在K个评价人下的秩和 R_j 与其平均值之差的平方和

R_{ij} ----噪声样本j在第i个人评价中的秩，它体现了样本j的评分结果在第i个人所有评分结果中的排序

当 $n > 7$ 时，检验统计量 $X^2 = K(n-1)W$ 近似服从自由度为 $n-1$ 的 X^2 分布。当 $X^2 \geq X_a^2$ (α 为置信水平) 时拒绝原假设，认为K个评价主体所得的秩评具有一致性。否则需要针对不一致性采取相应的处理措施。

计算Kendall协和系数为0.7322.其评价结果具有一定的一致性，实验较为合理。



一:

空调声品质评价标准并不是一个通用的标准，对不同类型的空调制定不同的声品质评价标准。不同类型空调之间不做声品质比较

二:

空调声品质实验是一个漫长的积累过程，声品质实验的空调数量因尽可能地覆盖市面上的主流型号，通过大量数据分析，确定声品质评价指标与人的主观感之间的联系。建立声品质模态方程。该模型不是一成不变的，而是随用户需求不断迭代的一个过程。

Haier

谢谢

