

声品质的应用分析方法

沈松 应怀樵 刘进明

(北京东方振动和噪声技术研究所, 北京, 100085)

摘要: 声品质分析在噪声的主观评价方面已经得到越来越多的应用。本文比较了声品质分析与传统计权声级的区别, 并介绍了在声品质分析的实际应用中, 针对稳态信号、非稳态信号的几种不同分析方法, 以及各分析方法的要求和特点。

关键词: 声品质, 响度, 尖锐度, 粗糙度, 波动度

The Application Analysis Method of Sound Quality

SHEN Song YING Huai-qiao LIU Jin-ming

China Orient Institute of Noise & Vibration, Beijing, 100085

Abstract: The sound quality analysis is the important method in subjective assessment of noise. This paper gives the comparison of the sound quality and weighting sound pressure level. In engineering application, several analysis methods with special requirement and characteristic are introduced for different type of signal.

Keywords: Sound Quality, Loudness, Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength

1 前言

传统评价噪声的方法主要为计权声压级, 用以反映声音的大小。但是人耳的实际主观感受对于不同频率不同强度的声音有着非常复杂的关系, 并不是简单的计权曲线所能描述的。现代产品设计中, 越来越多地使用声品质指标进行噪声评价和改进。

声品质(Sound Quality)分析中包含多种参数, 如响度(Loudness)、尖锐度(Sharpness)、粗糙度(Roughness)、波动度(Fluctuation Strength)和烦恼度(Psychoacoustic Annoyance)等, 其中响度最为常用, 并且计算方法已经具有相应的 ISO532 国际标准。虽然响度与计权声级(Weighting Sound Level)都是描述声音的强弱, 但是两者之间还是有许多不同之处。其他参数目前都只有定性的定义, 缺乏统一的计算模型, 也没有相应的国际标准, 并且对被分析信号的采样率和长度等参数有一定的特别要求。本文以 DASP 软件为例说明各个参数的特点和常用计算方法。

2 声品质与计权声级的比较

声品质包含许多参数, 其中只有响度可与计权声级进行比较。响度用于反映听觉判断声音强弱的属性, 不仅与声压大小有关, 还与频率、波形等因素有关, 符号为 N , 单位为宋(sones), 此外也可以用响度级来表示, 符号为 L_n , 单位为方(phon), 可与响度互算。

2.1 临界频带与 1/3 倍频程的比较

在声级分析中, 常常将人耳听觉频率范围按 1/3 倍频程方式进行划分, 如表 1 所示, 而响度分析中则将人耳听觉范围划分为 24 个临界频带(Critical Band), 符号为 z , 单位为 Bark,

如表 2 所示。由于人耳对声音频率具有掩蔽效应，某纯音频率附近的某个频带范围内的声音会对该纯音产生掩蔽效应，即该纯音被其他声音所淹没。临界频带则是根据该特性进行划分的。对于表 1 和表 2，可见在 280Hz 以上两者对于频带的划分比较接近，而低于 280Hz 的频率范围，每个临界频带相当于若干个 1/3 倍频程频带的组合。

比较可见，在较高频率范围内，1/3 倍频程频带较为接近于人耳的掩蔽效应，而低频范围内则划分过细，超出了实际人耳对频率的敏感能力。但是由于 1/3 倍频程是有规律的划分方式，因此在实际使用中不仅方便而且计算简单。

表 1 听觉范围内的 1/3 倍频程划分

频	18	22	28	36	45	56	71	89	112	141	178
率	224	282	355	447	562	708	891	1122	1413	1778	2239
Hz	2818	3548	4467	5623	7079	8913	11224	14131	17789		

表 2 听觉范围内的临界频带划分

频							0	100	200	300	400
率	510	630	770	920	1080	1270	1480	1720	2000	2320	2700
Hz	3150	3700	4400	5300	6400	7700	9500	12000	15500		

2.2 等响曲线与计权曲线的比较

等响曲线是一系列响度级相等的纯音或窄带噪声的声压级与频率之间关系的曲线簇，是通过试验统计方法，根据试验者对来自正前方纯音强弱的判断来确定的，因此较能准确地反映人耳对声音强弱的主观感受，如图 1 所示。

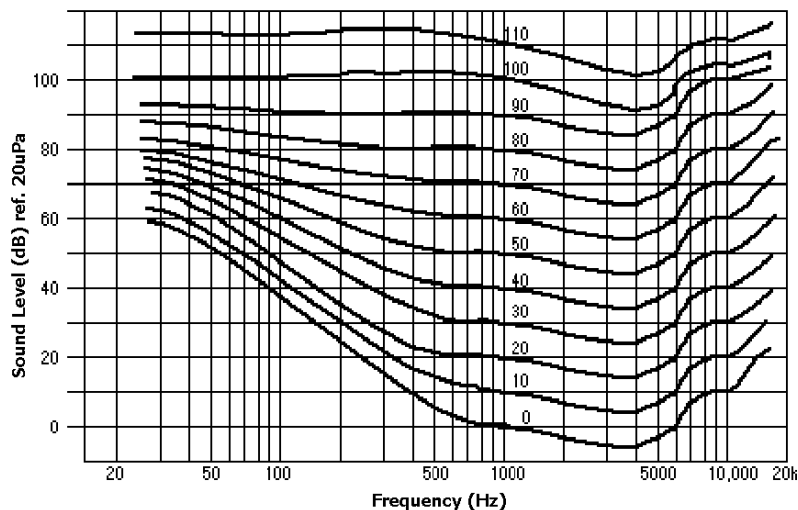


图 1 纯音等响曲线（根据 ISO226-1987）

传统声压级的计权曲线则是通过某一条等响曲线修正而来的，A、B、C 计权曲线分别为接近 40phon、70phon 和 100phon 的等响曲线的反曲线。以常用的 A 计权为例，由于它是接近 40phon（响度为 1sone）的等响曲线，因此对于其他大小的声音则具有较大的误差，在实际工程应用中，其突出的缺点主要在于对较高声压的低频声音衰减过大，难以反映高压低频噪声的主观感受。

有计算表明，对于同为 60dBA 的声音，由于频率结构的不同，其响度可能从 1.3sone

到 21.1sone 不等。可见计权仅仅是一种简化的修正方法，对于某些声音则误差较大。但是由于等响曲线是一系列的曲线簇，并且需要考虑掩蔽效应，对于复合音的响度计算非常复杂，而计权声压级的计算则简单得多。

3 响度谱分析方法

3.1 稳态声音的平均响度谱

对于稳定的声音，一般使用线性平均方法计算平均响度，以提高计算结果的精度。图 2 为使用 DASP 软件按照 ISO532B 的方法，对列车噪声进行计算的平均响度谱，其横坐标为 Bark，DASP 软件中的横坐标分辨率为 0.1Bark，纵坐标单位为 sone/Bark，相当于响度在临界频段内的分布，因此响度谱的积分就是总响度值，单位为 sone。

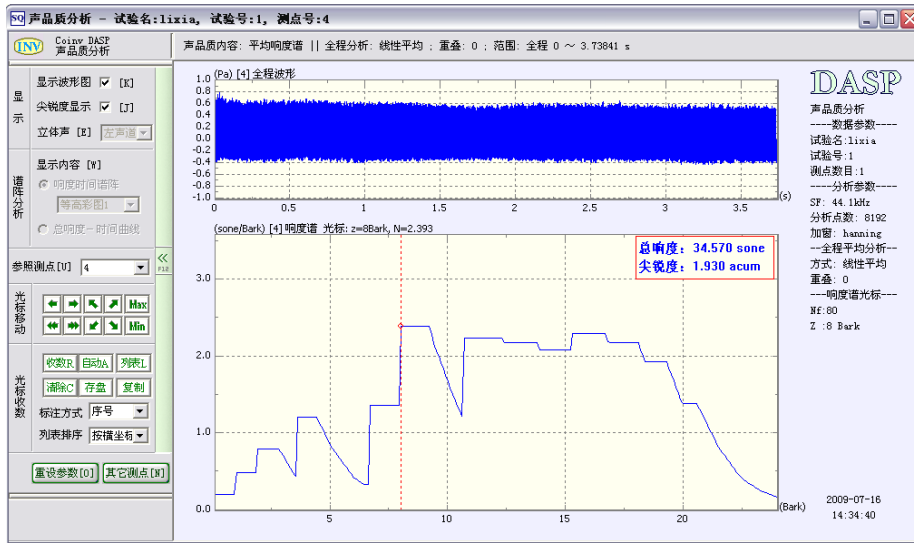


图 2 对列车噪声进行全程平均响度谱分析

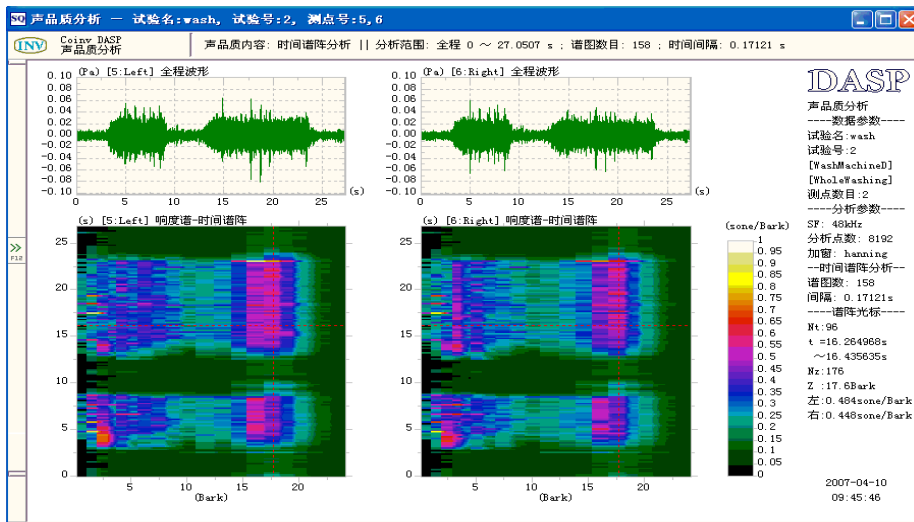


图 3 洗衣机运转过程的响度谱阵分析

3.2 响度谱阵分析

对于非稳态的声音，或者机器运行不同工况的全过程声音，由于声音特性随时间不同而不同，平均响度分析就不合适了。此时可以使用随时间的响度谱阵分析手段，以观察不同工

况下的响度特性的变化情况。图 3 为洗衣机一次运行全过程的响度谱阵图，该运行过程中包含了一次洗涤过程（3~9 秒）和一次甩干过程（13~23 秒）。响度谱阵是一系列时间上的瞬时响度谱按时间进行排列的谱阵，响度谱的高度使用不同颜色来表示。从谱阵图上可以看出，噪声成分主要分布在两个频带区域（2~5Bark 和 15~18Bark），洗涤过程中的高频噪声和低频噪声都比较突出，而甩干过程中则主要是高频噪声占主要成分了。

4 多参数分析

除响度之外，声品质分析中还常常提供其他一些参数的分析，常见的包括尖锐度、粗糙度、波动度和烦恼度等指标。

由于这些参数没用统一的定义，更没有统一的计算公式，因此实际使用之前必须了解分析软件中使用的计算公式。此外这些参数计算公式中还有一些定性的参数，各分析软件在进行细节处理时可能使用不同的方法，导致不同软件之间的结果很难有对比性，因此在实际产品的声品质分析和改进过程中应使用同一个软件进行结果的对比。

4.1 参数定义、特点和常用公式

尖锐度(Sharpness)指标描述了声音品质评价中的音色特征，符号为 S ，单位为 $acum$ 。对于频率较高的声音，感受到的尖锐度较大。因此实际声音品质设计中有时会增加低频噪声以降低尖锐度，但响度会有所增加。尖锐度计算方法目前没有标准方法，DASP 软件中使用公式 1，其中 $N'(z)$ 为某个 Bark 上的响度谱， $g(z)$ 为附加系数，是临界频带的函数：

$$S = 0.11 \times \frac{\int N'(z) \times g(z) \times z \times dz}{\int N'(z) \times dz} \quad acum \quad (1)$$

波动度(Fluctuation Strength, 又称抖动强度)和粗糙度(Roughness)主要反映声音的幅值调制特性，一般当调制频率低于 20Hz 时（参考频率为 4Hz）为波动度特性，高于 20Hz 时（参考频率为 70Hz）表现为粗糙度特性。

波动度的符号为 F ，单位是 $vacil$ ，定义 60dB 的 1kHz 纯音在调制频率为 4Hz 的 100% 调幅作用下产生的波动度为 1 $vacil$ 。粗糙度符号为 R ，单位是 $asper$ ，定义 60dB 的 1kHz 纯音在调制频率为 70Hz 的 100% 调幅作用下产生的粗糙度为 1 $asper$ 。波动度和粗糙度的计算方法同样没有被标准化，DASP 中使用公式 2 和公式 3 进行计算，其中 C_f 和 C_r 为计算系数， dL 表示单位为 dB 的调制深度， f_{mod} 为调制频率，在计算波动度时为最接近 4Hz 的调制频率，计算粗糙度时为最接近 70Hz 的调制频率。

$$F = C_f \times \frac{\int dL(z) \times dz}{f_{mod} / 4 + 4 / f_{mod}} \quad vacil \quad (2)$$

$$R = C_r \times \int dL(z) \times f_{mod} \times dz \quad asper \quad (3)$$

与响度一样，也可以得到以临界频带为横坐标的波动度谱曲线和粗糙度谱曲线，纵坐标分别为 $vacil/Bark$ 和 $asper/Bark$ 。如图 4 所示。为表示波动度和粗糙度指标特点，图中示例波形中对左右声道分别选择了具有 4Hz 和 70Hz 的 100% 幅值调制的 1KHz60dB 单频波形，虽然这种情况在实际应用中几乎不可能出现。

烦恼度(PA, Psychoacoustic Annoyane, 又称厌烦度、骚扰度等)描述声音的厌烦程度，它考虑了响度、尖锐度、粗糙度、波动度的综合影响，为无量纲系数，DASP 中使用公式 4 计算烦恼度系数，其中 N_5 为以 $sones$ 为单位的累积百分比响度， w_S 为反映尖锐度的系数， w_{FR}

为反映波动度和粗糙度的系数。

$$PA = N_5(1 + \sqrt{w_S^2 + w_{FR}^2}) \quad au \quad (4)$$

4.2 波动度和粗糙度分析的特别要求

由于波动度和粗糙度计算中需要分析信号在各个临界频带内的幅值调制频率，而幅值调制曲线则需要通过响度时间谱阵在各个临界频带上的包络线来得到。由于要保证有效的包络线分析，因此对于被分析的波形数据有一定要求，在 DASP 软件中要求被分析数据的采样频率不低于 5120Hz，并且被分析区间的时间长度不小于 2 秒钟。按照经验，若要得到较好的分析结果，在对声音信号进行采样时，建议使用 40KHz 以上的采样频率，采样时间长度为 5 秒以上。

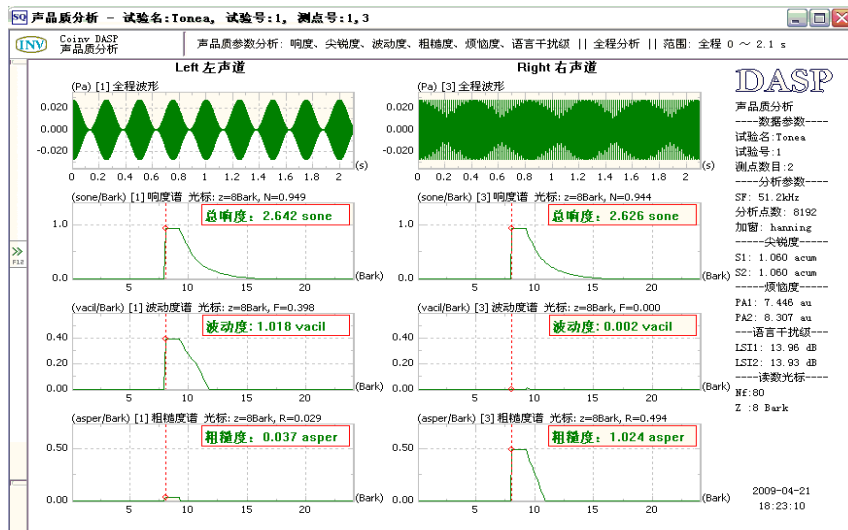


图 4 波动度和粗糙度分析

5 结束语

当前声品质分析应用已经逐渐广泛，但是由于它的主观性特点，目前虽然有大批学者在进行深入的研究，但是除响度外很难有标准化的统一计算手段。尤其对于综合性指标的 PA 烦恼度更是如此，除本文给出的公式 4 之外还有一些其他形式的公式，并且各种公式都只能在一定程度上反映人对噪声的厌烦程度。对于不同研究目标，有时还需要其他一些包括音调、纯音显著率、峰态因素等指标。在实际工程应用中，必须了解各指标的特点，并充分考虑到这些指标的局限性和不足之处，针对具体情况进行选择和结果判断。

参考文献

- [1] 计量测试技术手册编辑委员会. 计量测试技术手册: 第 9 卷 声学[M]. 北京: 中国计量出版社, 1997.
- [2] 赵忠峰, 陈克安. 基于 Zwicker 理论的噪声客观评价方法, 电声技术, 2005(10):63-65
- [3] 伍先俊, 朱石坚. 家电产品设计中的声品质研究, 家电科技, 2004(5):67-69