

低噪声轮胎标准谱线及其频带转换

陈理君¹, 阳玉平¹, 董得义¹, 李晓辉¹, 杨光大²

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430070; 2. 上海米其林回力轮胎股份有限公司, 上海 200082)

摘要: 推导线性谱声压级、倍频带声压级以及各倍频带声压级之间的转换公式, 计算出修正值。将三者之间的变换关系应用到轮胎花纹噪声评价 M 标准线和三段标准谱线中, 为轮胎花纹噪声的频谱分析提供了简化运算工具和排队比较方法。

关键词: 轮胎; 花纹噪声; 频带转换; 评价标准

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2004)04-0195-04

在轮胎的设计、生产和使用过程中, 噪声综合评判是一项重要的技术指标。但目前国际上无统一的标准, 只有美国某测试中心提出的轮胎低噪声容许 M 标准线和西欧某测试中心提出的三段频区标准可进行轮胎花纹噪声的评价。但它们都是等带宽线性谱线, 而我们在对轮胎花纹噪声进行分析时, 多采用 1 倍和 1/3 倍频带频谱分析。为此, 本工作推导了线性谱声压级与倍频带声压级以及各倍频带声压级之间的变换关系, 并将其应用到 M 标准线和三段标准谱线中。

1 不同频谱声压级的转换

了解一个声源的特性^[1], 除其声压级或声功率级以外, 还应知道它所发出的频率成分和相应的声压级与声功率级。噪声是由许多频率声波组成的复合声, 不同的声音含有的频率成分及在各频率上的能量分布不同, 这就需要进行频谱分析, 找出频率分布与能量分布的关系。

频带划分有两种方法^[2], 一种是保持频带宽度恒定, 另一种是保持频带相对宽度比例恒定。每一频带都有上、下截止频率和代表该频带的中心频率。在恒定带宽频率分析中, 最常用的是谱级, 它是以指定频率为中心、宽度为 1 Hz 的声压级; 在恒比例带宽分析中, 设频带的上、下截止频率为 f_1 和 f_2 , $f_2 > f_1$, 中心频率为 f_0 , 则

$$f_2 = 2^n f_1, f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

由此可推出:

$$f_2 - f_1 = (\sqrt{2^n} - \frac{1}{\sqrt{2^n}}) f_0 \quad (1)$$

式中, n 为倍频数。 $n=1$ 时, 称为倍频带; $n=1/2$ 时称为 1/2 倍频带; $n=1/3$ 时称 1/3 倍频带。

1.1 谱声压级与倍频带声压级之间的转换

对于具有连续谱的噪声^[3,4], 很难测出每个频率的声压, 只能测出某一频带($f_1 \sim f_2$)内的声压或声强。频带不同, 所得声压或声强亦不同, 即通过不同的滤波器可以得到不同的声谱图。单位频带内的声压均方值称为声谱密度, 用以描述连续谱中各频率所含能量的大小。但在实际测量中, 很难获得理想的 1 Hz 带宽的滤波器。可以测量在某频带($f_1 \sim f_2$)内的声压方值 p^2 , 并假设在此频带内其频谱是平坦的, 则声谱密度 $\omega(f)$ 为:

$$\omega(f) = p^2 / (f_2 - f_1) \quad (2)$$

将某一频率的声谱密度与基准声谱密度之比取以 10 为底的对数, 再乘以 10 得到声谱(密度)级, 即为基准带宽 Δf_0 内的声压级 $L(\text{dB})$ 。

$$L = 10 \lg(p^2 / (f_2 - f_1) / \frac{p_0^2}{\Delta f_0}) \quad (3)$$

式中, p_0 为基准声压。式(3)可简化为:

$$L = L_{(f_2-f_1)} - 10 \lg \frac{(f_2 - f_1)}{\Delta f_0} \quad (4)$$

式中, $L_{(f_2-f_1)}$ 为($f_1 \sim f_2$)频带内的声压级, 使用时必须注明频带的中心频率与宽度。

依据式(4), 可以将所测某带宽的声压级换算为另一带宽的声压级。

例如, Δf_0 为 50 Hz, 依据式(4)可求出由等频带声压级分别变换为 1 和 1/3 倍频带声压级相应的修正值。

$$\Delta L_i = L_{(f_2-f_1)} - L = 10 \lg \frac{(f_2-f_1)}{50}$$

$$(i=1, 1/3)$$

修正值分别如表 1 和 2 所示。

表 1 等宽频带(50 Hz)声压级转换为倍频带声压级的修正值

中心频率/ Hz	修正值 ΔL_1 / dB	中心频率/ Hz	修正值 ΔL_1 / dB
31.5	-3.57	1 000	11.52
63	-0.5	2 000	14.53
125	2.5	4 000	17.54
250	5.51	8 000	20.55
500	8.51		

表 2 等宽频带(50 Hz)声压级转换为 1/3 倍频带声压级的修正值

中心频率/ Hz	修正值 $\Delta L_{1/3}$ / dB	中心频率/ Hz	修正值 $\Delta L_{1/3}$ / dB
31.5	-8.35	500	3.62
40	-7.35	630	4.65
50	-6.38	800	5.63
63	-5.35	1 000	6.65
80	-4.37	1 250	7.65
100	-3.39	1 600	8.63
125	-2.37	2 000	9.65
160	-1.31	2 500	10.64
200	-0.36	3 150	11.64
250	1.16	4 000	12.64
315	1.64	5 000	13.64
400	2.65		

1.2 各倍频带声压级之间的转换

由式(1)得到倍频带、1/2 倍频带和 1/3 倍频带的带宽如下^[5]:

$n = 1$ 时,

$$\Delta f = (\sqrt{2} - \frac{1}{\sqrt{2}}) f_0 = 0.707 f_0 \tag{5}$$

$n = 1/2$ 时,

$$\Delta f_{1/2} = (\sqrt[4]{2} - \frac{1}{\sqrt[4]{2}}) f_0 = 0.348 f_0 \tag{6}$$

$n = 1/3$ 时,

$$\Delta f_{1/3} = (\sqrt[6]{2} - \frac{1}{\sqrt[6]{2}}) f_0 = 0.23 f_0 \tag{7}$$

又依据式(4)得到

$$L = L_{(f_2-f_1)} - 10 \lg \frac{\Delta f}{\Delta f_0} \tag{8}$$

$$L = L_{1/2(f_2-f_1)} - 10 \lg \frac{\Delta f_{1/2}}{\Delta f_0} \tag{9}$$

式中, $L_{1/2(f_2-f_1)}$ 为 1/2 倍频带声压级, $\Delta f_{1/2}$ 为 1/2 倍频带带宽。

由式(8)和(9)可得:

$$L_{1/2(f_2-f_1)} = L_{(f_2-f_1)} - 10 \lg \frac{\Delta f}{\Delta f_{1/2}} \tag{10}$$

根据式(5)和(6)对式(10)进行简化可得:

$$L_{1/2(f_2-f_1)} = L_{(f_2-f_1)} - 3 \tag{11}$$

即 1/2 倍频带声压级加 3 dB 后可得到倍频带声压级。同理可以推出 1/3 倍频带声压级加 4.8 dB 后可得到倍频带声压级。

2 M 标准线及三段标准谱线

2.1 M 标准线

轮胎低噪声 M 标准线如图 1 所示(为等带宽线性谱图)。在频谱分析中, 带宽越小, 则分析得越详细, 但所需设备越昂贵, 同时分析所需时间也越长。倍频带频谱图在实际中更为实用。因此在轮胎花纹噪声频谱分析中, 多采用倍频带频谱图分析。依据式(4)可将 M 标准线谱图转换为 1 倍和 1/3 倍频带频谱图, 分别如图 2 和 3 所示。为了方便及迎合测试仪的设定, 将谱图的横坐标改为线性横坐标。

评判式以超过标准线所围面积来计算。应用 Fuzzy 数学^[6], 使噪声谱线 H、M 标准线与三段标准谱线 A 转化为模糊集 H' 、 M' 和 A' , 其对应隶属度分别为 μ_{H_i} 、 μ_{M_i} 和 μ_{A_i} 。因不计低于 M 标准

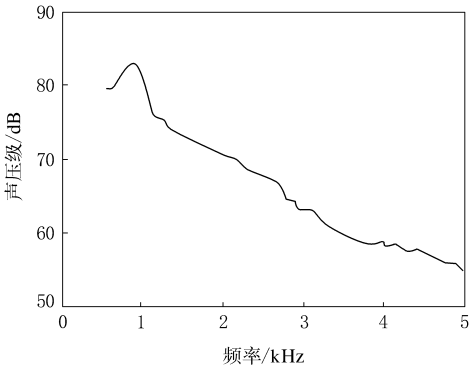


图 1 低噪声 M 标准线

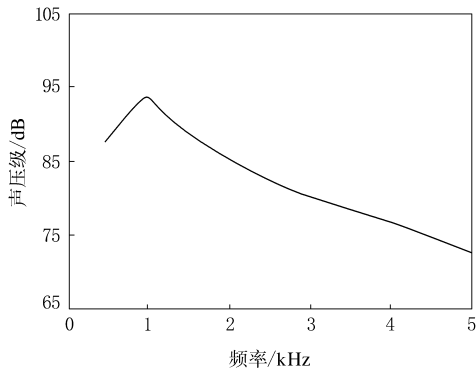


图 2 M 标准线倍频带频谱

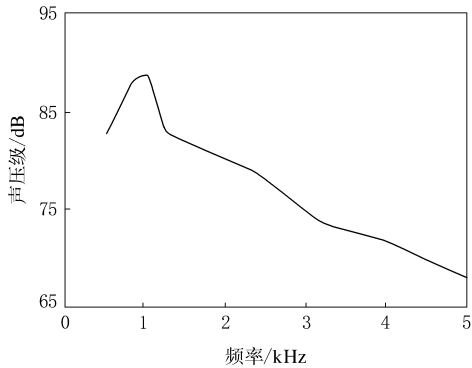


图 3 M 标准线 1/3 倍频带频谱

线的量,故需求出二级标准 M'' 。定义 $M'' = M' \cap H'$, 其对应的隶属度为 $\mu_{M''}$ 。因此,超过 M 标准线的面积量为:

$$S = \sum_{i=1}^m (\mu_{H_i} - \mu_{M''}) \times l$$

l 为频带宽度,在此取 1。 S 越小越好, S 为零,表示已达到标准。

2.2 三段标准谱线

三段标准谱线为西欧某测试中心低噪声标准,是一种相对的优劣排队比较^[7]。它通过对一组花纹方案进行仿真,得到 50~5 000 Hz 的噪声频谱,再将其分成低、中、高频段,分别与一个典型的低噪声轮胎频谱线进行比较。为计算方便,仍引入模糊(Fuzzy)运算,具体方法如下。

(1)将频率量离散化变换为整数论域 $\{0, 2, 4, 6, 8\}$ 中^[8],按 50~2 000, 1 000~3 000 和 2 000~5 000 Hz 划分为低(s),中(m)和高(z)三档模糊集,取梯形作为隶属度函数分布曲线。

(2)将噪声谱线变换成模糊集 H' ,即声压级(dB)加 100 后再除以 100 得到隶属度 μ_H 。

(3)将 H 划分为 s , m 和 z 三档谱线,如图 4

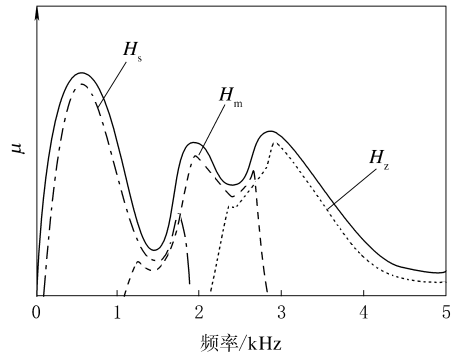


图 4 噪声谱线转换为模糊集谱线

所示。其中, $H_s = H \cap s$, $H_m = H \cap m$, $H_z = H \cap z$, 其对应的隶属度分别为 μ_{s_i} , μ_{m_i} 和 μ_{z_i} 。

(4)三段标准谱线 s , m 和 z 如图 5 所示。一般取 $\mu_s = 0.83$, $\mu_m = 0.72$, $\mu_z = 0.64$, 即对应的声压级分别为 83, 72 和 64 dB。由于不计低于标准线的值,故需求出二级标准,令 $s' = H_s \cap s$, $m' = H_m \cap m$, $z' = H_z \cap z$, 它们对应的隶属度分别为 μ_{s_i}' , μ_{m_i}' 和 μ_{z_i}' 。超过 M 标准线的面积为分段求取噪声谱线超过三段标准区的面积部分。

$$S_s = \sum_{i=p}^q (\mu_{s_i} - \mu_{s_i}') \quad (12)$$

$$S_m = \sum_{i=p}^{q'} (\mu_{m_i} - \mu_{m_i}') \quad (13)$$

$$S_z = \sum_{i=p}^q (\mu_{z_i} - \mu_{z_i}') \quad (14)$$

(5)引入权重函数,求综合评价值 S_r :

$$S_r = \alpha_s S_s + \alpha_m S_m + \alpha_z S_z \quad (15)$$

式中, α_s , α_m 和 α_z 为权值,一般, $\alpha_s = 0.15$, $\alpha_m = 0.6$, $\alpha_z = 0.25$; S_r 为轮胎花纹噪声评价指数, S_r 越小,表明轮胎花纹的低噪声性能越好^[9]。

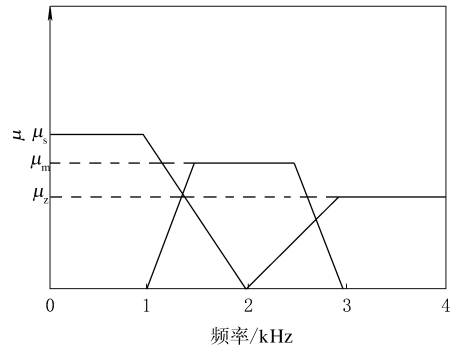


图 5 隶属度函数曲线

1,1/2 和 1/3 倍频带频谱的评价可用类似于 M 标准线的方法进行处理。

3 结语

将线性谱声压级与倍频带声压级以及各倍频带声压级之间的变换关系应用到轮胎花纹噪声评价 M 标准线和三段标准谱线中,为轮胎花纹设计方案的噪声频谱分析提供了简化运算工具和排队比较方法。

参考文献:

- [1] Frowne A L. Predicting the effect of tire tread pattern design on thick film wet traction[J]. Tire Science and Technology, 1977,5(1):6-28.

- [2] Harris C L. Handbook of Noise Control[M]. New York: McGraw-hill Book Company, 1987. 171-179.
- [3] 马大猷. 噪声控制学[M]. 北京:科学出版社, 1983.
- [4] 哈里斯 C M. 噪声控制大全[M]. 北京:科学出版社, 1990.
- [5] 王伯良. 噪声控制理论[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1990.
- [6] 陈理君,符健豪. 微处理机模糊控制[M]. 台北:台湾儒林图书有限公司, 1993. 57-104.
- [7] 陈理君,钟克洪,张晓红,等. 基于遗传算法的低噪声轮胎花纹节距排列的优化方法[J]. 轮胎工业, 2000,20(2):76-79.
- [8] 陈理君,林海军,陈敏伟,等. 轮胎花纹噪声的综合评判方法[J]. 轮胎工业, 2000,20(3):140-144.
- [9] Vinesse E, Nicollet H. Surface waves on the rotating tyre: an application of functional analysis[J]. Journal of Sound and Vibration, 1988,126(1):175-188.

收稿日期:2003-10-28

Standard sound spectrum of low-noise tire and its frequency band conversion

CHEN Li-jun¹, YANG Yu-ping¹, DONG De-yi¹, LI Xiao-hui¹, YANG Guang-da²

(1. Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China; 2. Shanghai Michelin Warrior Tire Co., Ltd, Shanghai 200082, China)

Abstract: The formulas for the transformation of sound levels between linear spectrum and multiplex frequency band, or among various multiplex frequency bands, are derived and the corrected value is calculated. The above formulas are used in the M standard spectrum and the three-section standard spectrum for evaluating the tread patterns' noise to provide a simple calculating tool and line-up comparison for analyzing the frequency spectrum of tread patterns' noise.

Keywords: tire; tread patterns' noise; frequency band conversion; evaluation criteria

上海国际汽车零部件、维修检测诊断 设备及服务用品展览会将举行

中图分类号:F27 文献标识码:D

法兰克福展览(香港)有限公司与上海对外科学技术交流中心将于今年12月2~4日合作主办上海国际汽车零部件、维修检测诊断设备及服务用品展览会(Automechanika Shanghai)。

Automechanika 是世界著名的汽车配件及售后服务用品展览会,在北京 Automechanika China 成功举办的基础上,自2004年起将每逢双年在上海开办另一个同一系列的展览会。Automechanika Shanghai 将为世界各地汽车配件业供

货商及服务商提供深入国内发展最快、最繁荣市场的台阶。预计展览会可吸引约300家展商及超过13 000名专业观众参与。

Automechanika Shanghai 的展品类别会不断扩大,从各式各样的原厂配件到不同种类的配件和设备、售后服务产品和技术,加上触及业内各个层面的相关活动项目, Automechanika Shanghai 将成为业内覆盖最广、最具权威的活动之一,为来自上海及华东地区的业界人士提供了解世界最新市场趋势及技术发展的窗口。

(本刊讯)