

室内轮胎花纹噪声测量方法研究

陈理君¹, 刘雨青¹, 杨立¹, 王铭新², 李福军², 杨唐胜¹, 杨光大³

(1. 武汉理工大学 信息学院, 湖北 武汉 430070; 2. 北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039; 3. 上海米其林回力轮胎股份有限公司, 上海 200082)

摘要:针对轮胎花纹噪声仿真分析结果与实测数据存在差异的问题,进行了室内不同方位轮胎花纹噪声测量试验。试验发现,轮胎花纹噪声的发声类似扬声器发声,有极强的指向性,若仅用一个测点的噪声声压级评判噪声的大小会导致方案排队和择优上的困难与矛盾。经分析研究,提出了一种全方位测定轮胎花纹噪声的方法,并制定了测量规范。

关键词:轮胎;花纹噪声;室内测量;评判

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2002)08-0461-05

我们已经深入地研究了轮胎花纹噪声的发生机理^[1],建立了较为科学、合理的轮胎花纹噪声的发声模型^[2],并编制了仿真软件(TNS)。它为轮胎花纹设计方案的噪声分析、排队和择优提供了有力的决策工具。但实际应用中发现,分析得到的谱线与实测谱线往往差异很大,在排队和择优上不能达到一致。为此,我们进行了多次轮胎花纹噪声的室内测量,并对众多轮胎花纹噪声实测频谱图和直方图展开了分析研究,最终找到了问题的原因。现将研究情况介绍如下。

1 室内轮胎花纹噪声测量

1.1 测量仪器及方案

轮胎噪声的室内测量采用转鼓实验台,在消声实验室中进行。测量时将待测轮胎固定在转鼓上,使其以一定的速度在模拟不同粗糙度的路面上旋转,测量距离为距轮胎 1.2 m 左右,通过频谱分析仪记录噪声功率和频谱。

主要测量仪器包括美国 MTS 860 型轮胎耐久性试验机、35230A 型声强探测器、3569A 型频谱分析仪、TEAC XR20C 磁带记录仪等。分别对 $\times \times \times / \times R14$ 和 $\times \times \times / \times R15$ 型两种轿车轮胎花纹在负载(200 kN)和速度(80 km·h⁻¹)相同的

情况下进行了 3 种测试。首先测量在同等路面且高度相同的条件下 7 个不同位置的噪声;然后对同等路面上不同高度(近地面和距地面 1 m 高处)的噪声进行测量;最后对轮胎在两种不同模拟路面(光面和粗糙)上行驶时的噪声进行测量。实验装置见文献[3]。

1.2 测量位置对轮胎花纹噪声测量结果的影响

实测中发现,在与轮胎中心等距离的 7 个位置上,噪声谱线差异很大。一般来说,轮胎前进方向上的噪声强于后方,轮胎左右方向噪声对称,典型直方谱图如图 1 所示。这说明真正的低噪声轮胎应在轮胎四周任何位置都符合低噪声评判的要求,如都低于 M 标准线^[4],不可有大的超出部分,即把图 1 中的曲线 ~ “合并”起来,画出包

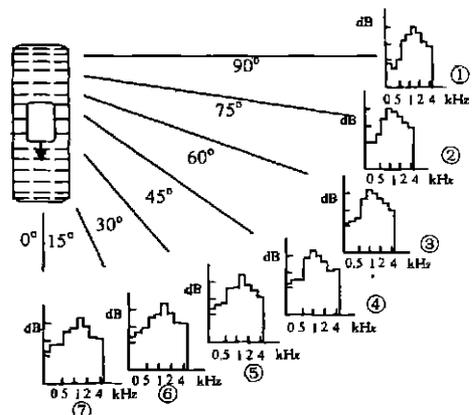


图 1 不同测点处的轮胎花纹噪声直方图

作者简介:陈理君(1938-),男,上海人,武汉理工大学教授,长期从事噪声控制、模糊控制方面的研究与教学工作。

络线如图 2 所示的 1/3 倍频程直方图,才能真实代表轮胎发出的噪声谱全貌。当它全部在 M 标准线以下,才可称作低噪声轮胎。实际上,鉴听轮胎噪声也不可能限制在某一点上。一般经验,在距地面 0.7 m 左右测得的数据具有代表性,故只要在轮胎前进方向左或右方半圈取 5~7 点测量即可。

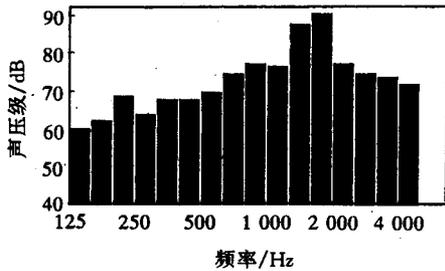


图 2 某轮胎花纹的综合声压级图

传统上认为,轮胎花纹噪声为点声源发声,其波形是以轮胎中心为圆心的球面波^[5]。而实际上,轮胎与路面接触时,在轮胎的前进方向上,轮胎与路面形成一个半封闭的喇叭形状,产生了喇叭效应^[1,6],对轮胎噪声有增强作用。而且,由于轮胎花纹发声体的复杂性,其辐射的噪声具有类似扬声器发声的指向性。为证明这一点,我们对同一轮胎花纹噪声在同一个圆的 7 个不同位置进行测量,数据如表 1 所示(我们测量的频率范围为 125~4 000 Hz,这里仅列出 3 个频率进行说明)。

表 1 R14 轮胎在光滑路面行驶测量的噪声

频率/Hz	声压级(距地面 0.3 m)						
	位置						
250	56.6	59.0	61.3	62.1	63.4	63.7	62.9
500	59.5	64.5	65.0	65.8	67.9	70.0	68.9
2 000	76.6	75.3	77.4	76.8	77.4	77.1	78.2

由表 1 可以看出,7 个位置在相同频率和距离下的轮胎花纹噪声声压级各不相同,最大相差 10 dB 之多。由此可见,即使处于同等条件下,在轮胎周围不同位置所得到的噪声也是有差异的。此外,喇叭效应使轮胎前进方向上中高频段的噪声辐射提高了 10 dB 左右^[3]。为进一步阐明这种现象,我们绘制出它们的声压级分布曲线。R14 型轮胎在光滑面上行驶时发声的指向性曲线如图 3 所示。

1.3 测量高度对轮胎花纹噪声测量结果的影响

在距地面 1 m 处测得的 R14 轮胎花纹噪声数据见表 2(相同条件下在距地面 0.3 m 处测量的数据见表 1)。由表 1 和 2 可以看出,在距地面 1 m 处测得的噪声声压级比距地面 0.3 m 处测得的要低一些,一般情况下(有时由于测量误差或其它因素影响会出现异常结果),在它的正前方噪声相对大些,侧面则相对小些。

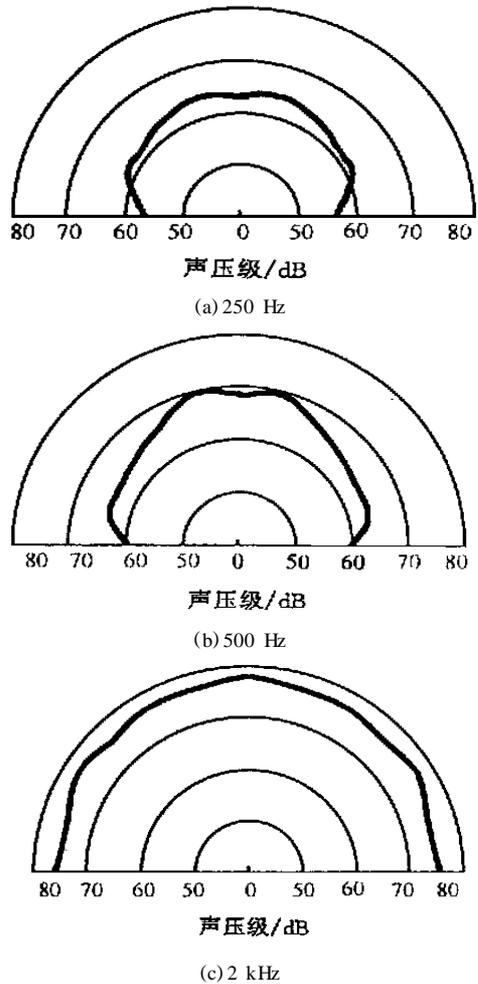


图 3 R14 轮胎在不同频率、不同位置处的噪声指向性曲线

表 2 R14 轮胎在光滑路面行驶测量的

频率/Hz	噪声声压级(距地面 1 m)						
	位置						
250	52.9	53.4	56.3	55.5	56.3	57.9	55.3
500	58.7	57.1	61.8	62.4	60.3	63.4	63.2
2 000	73.9	73.7	71.3	69.2	71.3	71.6	72.9

2 测量数据处理及其 Fuzzy 集表达式

在低噪声轮胎花纹设计过程中,对诸多方案经 TNS 软件仿真分析或对热刻样品轮胎实测得到的噪声谱线进行比较、排队、评价和择优时,必须有一个低噪声目标函数,而仅有一条合格低噪声轮胎 M 标准线是很难奏效的。为此,我们利用模糊数学分析方法^[7],把噪声谱线变换成模糊集 N ,进而求出目标函数,这样也便于上机作各种 Fuzzy 运算及推理。具体方法是将声压级除以 100(分贝数限在 100 以内),视为隶属度 μ ,频率 f_i 对应元素 n_i ,这样可使原声压级 $L = G(f)$ 变换成 Fuzzy(模糊)集如下:

$$N = \frac{\mu_1}{n_1} + \frac{\mu_2}{n_2} + \dots + \frac{\mu_m}{n_m} \quad (1)$$

式中的“+”为列举号。式(1)又可简写为:

$$N = \{ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m \} \quad (2)$$

它十分直观,又可作一些“并”、“交”模糊运算,这样就可把低噪声 M 标准线(还未公认)表示如下:

$$M = \{ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m \} \quad (3)$$

而方案 j 在第 q 个方位测得的谱线全部计算在内的 Fuzzy 集可表示为:

$$N_j = \bigcup_{i=1}^q N_{ij} \quad (4)$$

式中,“ \cup ”为并运算符。在比较时,由于低于 M 标准线以下部分不计,只计超过部分,故要令

$$M_j = M \cap N_j \quad (5)$$

式中,“ \cap ”为交运算符。 M_j 为第 j 方案希望达到的曲线(如图 4 所示)。

显而易见, N_j 超过 M_j 部分的面积 S_j 为:

$$S_j = \sum_{n=1}^m (\mu_{N_{ij}} - \mu_{M_j}) d \quad (6)$$

令 $d = 1$, 则

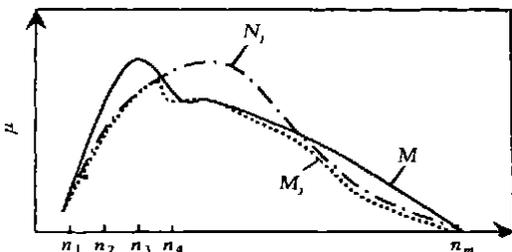


图 4 噪声谱线转换为模糊集曲线

$$S_j = \sum_{n=1}^m (\mu_{N_{ij}} - \mu_{M_j}) \quad (7)$$

超出部分的最大值 h_{rj} 为:

$$h_{rj} = \max(h_{1j}, h_{2j}, \dots, h_{mj}) \quad (8)$$

在优化、排队、评价和择优^[8,9]时,须限定 h_{rj} 为一个小值,可取 0.1~0.2 之间,寻求

$$S_r = \min[(S_1, S_2, \dots, S_q) / h_j] \quad (9)$$

即低噪声轮胎花纹噪声控制的目标函数为 S_r ,且 S_r 越小越好,理想情况是 S_r 为零。

3 新测量方法

综上所述,提出了室内轮胎花纹噪声的测量方法。

3.1 消声室(或挂限式消声室)内测量

(1) 只在轮胎前进方向或右侧前 1/4 周内取 5~7 点作为测点,测点与轮胎中心距离为 1.2~1.7 m,且须选在自由声场内,即声强与主要测点中心距离的平方(r^2)成反比,贴近室内墙壁角是禁测区^[6]。为了便于比较,应把测点距声源距离 r 不同的声压级 L (值不同)换算成声功率级 P ,即用下式表示^[10]:

$$P = L + 20 \lg r + 11 - 10 \lg Q \quad (10)$$

式中, Q 为声学中心的指向性因数,声源在中央、贴地(地刚性)、近墙边(墙刚性)和近墙角(墙角墙刚性,挂限式消声室)处时分别取 1, 2, 4 和 8。

(2) 测试仪器档次要接近前面列出的设备水平。

(3) 本底噪声级要低于 50 dB。

(4) 测得 5~7 点处的噪声谱线要进行合成,

即 $N = \sum_{i=1}^{5-7} N_i$, 得到 N 后,将 μ 乘以 100 变成 L/P ,这样 N 就换算成实际谱线了。

(5) 求出谱线超出 M 标准线的面积 S_r ,各方案可按 S_r 的大小排队和择优。

3.2 一般试验室测量

测量必须保证在接近自由声场区内进行^[10],一般要选在 10 m 见方的室内。室内声场性质分布示意图 5。 r 的范围为:

$$1.2 < r < 0.11 \sqrt{RQ} \quad (11)$$

式中, R 为室内参数,即 $R = \frac{S}{1 - \alpha}$, S 为室内总面

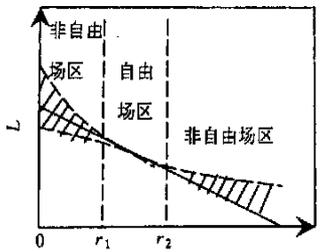


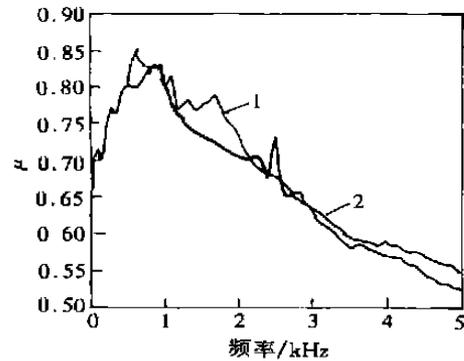
图5 室内声场性质分布示意图
横坐标为对数坐标

积, $\bar{\alpha}$ 为平均吸声因数, 房间大小若不满足式(11), 则不可进行测量^[10]

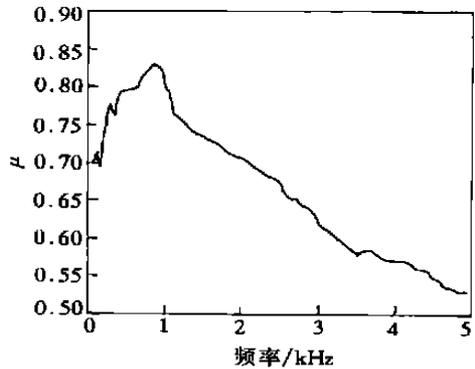
4 实例

应用上述理论, 将 R14 和 R15 两种轮胎花纹噪声谱线 X 和 Y 与轮胎低噪声 M 标准线经过模糊运算之后进行比较, 曲线如图 6 所示。由公式(5)得到:

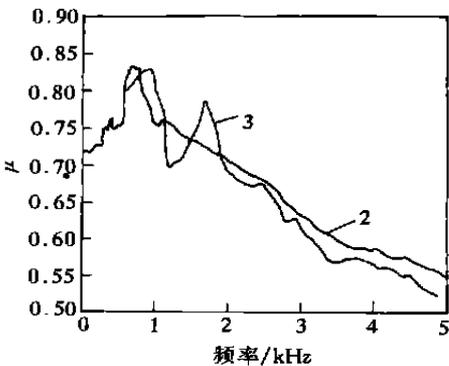
$$M_X = M \quad N_X, M_Y = M \quad N_Y$$



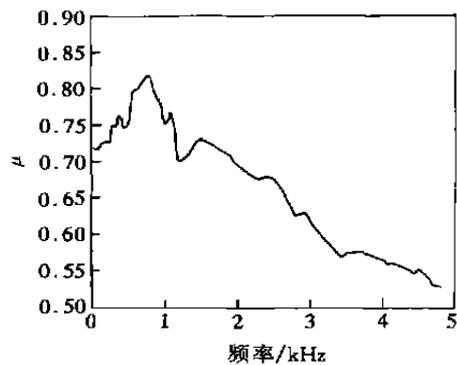
(a) 模糊集 X 噪声谱线与 M 标准线比较



(b) 合并后的 X 模糊集低噪声目标谱线 M_X



(c) 模糊集 Y 噪声谱线与 M 标准线比较



(d) 合并后的 Y 模糊集低噪声目标谱线 M_Y

图6 R14 和 R15 两种轮胎花纹的模糊集噪声谱线

1—模糊集 X 噪声谱线; 2—M 标准线; 3—模糊集 Y 噪声谱线

从而可以求出下式:

$$S_X = \sum_{i=1}^m (\mu_{N_{X_i}} - \mu_{M_i}) = 0.43$$

$$S_Y = \sum_{i=1}^m (\mu_{N_{Y_i}} - \mu_{M_i}) = 0.13$$

则:

$$S_r = \min[(S_X, S_Y) / n_i] \quad J = S_Y = 0.13$$

显而易见, Y 比 X 噪声低, 其面积量值差为:

$$S = S_X - S_Y = 0.43 - 0.13 = 0.3$$

由于有明确的数量概念, 计算机可对轮胎花纹设计方案进行自动排队^[4, 11]。

5 结语

研究制定了新的室内轮胎花纹噪声测量方法, 较好解决了轮胎花纹噪声经仿真分析后所得数据与实测数据存在差异的问题。经实践证明, 新方法科学、先进、实用, 有较高的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 陈理君, 杨立, 钱业青, 等. 轮胎花纹噪声的发声机理[J]. 轮胎工业, 1999, 19(9): 515-518.
- [2] 陈理君, 杨立, 钱业青, 等. 轮胎花纹噪声的发声模型[J]. 轮胎工业, 1999, 19(10): 599-602.
- [3] 陈理君, 张艳莹, 杨立, 等. 低噪声轮胎花纹设计原理与方法[J]. 轮胎工业, 2001, 21(5): 270-276.
- [4] 郑长聚, 洪宗辉, 王锐贤, 等. 环境噪声控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1988. 30-39, 139-168.
- [5] 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.
- [6] 贺海留, 贾云海. 轿车轮胎的室内噪声测试[J]. 橡胶工业, 1997, 44(2): 102-111.
- [7] Schaaf K, Ronneberger D. Noise radiation from rolling tires—sound amplification by the horn-effect. Inter-Noise, 1982, 82(2): 131-134.
- [8] 陈理君, 符健豪. 微处理机模糊控制[M]. 中国台湾: 台湾儒林图书有限公司, 1993. 13-29, 57-64.
- [9] 陈理君, 杨立, 钱业青, 等. 轮胎花纹噪声的控制[J]. 轮胎工业, 1999, 19(11): 643-647.
- [10] Chen Lijun, Yang Li, Ma Hao, et al. Designing method for optimization low noise level tread pattern[A]. Proceedings international rubber conference '99 seoul [C]. Seoul Korea: Korea Research Foundation, the Korean Foundation of Science and Technology Societies, 1999. 25-29.
- [11] 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.

收稿日期: 2002-03-020

Study on indoor measurement of tread patterns' noise

CHEN Li-jun¹, LIU Yu-qing¹, YANG Li¹, Wang Ming-xin², LI Fu-jun², YANG Tang-sheng¹, YANG Guang-da³

(1. Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China; 2. Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry, Beijing 100039, China; 3. Shanghai Michelin Warrior Tire Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: The difference between the simulated tread patterns' noise and the measured value was investigated by measuring the tread patterns' noise at the different indoor places. The test results showed that the wrong plan for lowering the tread patterns' noise would be obtained if the noise level was judged by the sound pressure level of noise measured only at one place because the emission of tread patterns' noise was similar to that of loudspeaker sound and had strong orientation. So, a new method for measuring the tread patterns' noise in multi-directions was proposed.

Keywords: tire; tread patterns' noise; indoor measurement; judgment

召开“第十二届全国轮胎技术研讨会”的通知

中国化工学会橡胶专业委员会、全国橡胶工业信息总站轮胎分站和《橡胶工业》《轮胎工业》编辑部将于2002年9月在杭州举办第十二届全国轮胎技术研讨会。针对我国进入WTO后, 机会与挑战共存, 我国轮胎工业与世界经济强国尚有较大差距的局面, 这次研讨会的主题定为: 采用新技术改造老产业, 提高产品档次, 尽快与世界轮胎工业接轨。

历届全国轮胎技术研讨会均以规格高、参加人数多、论文学术和技术水平高、会上交流讨论气氛热烈而著称。本届会议由近年来在橡胶助剂行

业声名鹊起的香港(上海)彤程化工有限公司协办, 全国主要轮胎厂家均派员出席大会。会议共征集论文80余篇。

会上将有众多国内外轮胎原材料、设备生产、销售厂商介绍公司(厂)及产品。

会议日期: 2002年9月14日(报到)~18日
地址: 杭州洪桥度假村, 杭州龙井路118号
电话: (0571) 87987788 转 8818

联系人: 王英

编辑部已于近日向各轮胎公司(厂)发出会议通知, 有欲参加会议而未接到通知的单位, 请速向编辑部索取会议通知。

《橡胶工业》《轮胎工业》编辑部