

轮胎花纹噪声的综合评判方法

陈理君¹, 林海军¹, 陈敏伟¹, 钱业青¹, 杨光大²

[1. 武汉工业大学 自动化研究所, 湖北 武汉 430070; 2. 上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司, 上海 200082]

摘要:通过研究国外的噪声性能指标标准线, 制定出花纹噪声频谱线、频域声能量均衡线、时域声中心能量分布均衡线和声强度图相结合的“三线一图”轮胎花纹低噪声客观评判标准, 并将其与含有响度、尖锐度、起伏度和烦恼度 4 个评判因子的主观评判方法相结合, 提出一种轮胎花纹噪声的综合评判方法。该方法能合理地筛选出最优或较优的方案样本投入生产, 从而可以大大缩短轮胎开发周期和节约开发费用, 实际应用效果良好。

关键词:轮胎花纹噪声; 主观评判; 客观评判; 综合评判

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2000)03-0140-05

在轮胎新产品的设计、制造和使用过程中, 噪声评判参数已成为一项重要的技术经济指标。当车速大于 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 汽车噪声主要来自于轮胎花纹与地面摩擦所产生的摩擦噪声^[1,2]。本工作首先研究了美国某测试中心轮胎噪声的 M 标准线, 然后从频域声能量均衡线、时域声中心能量分布均衡线、声强度图等方面对轮胎花纹噪声进行评判和诊断, 确定优化设计方案, 使所设计的轮胎新产品达到有关噪声规定的范围, 再经过主观评判, 直至主客观评判达成一致, 轮胎的噪声性能指标才符合标准。如果其它物理性能也符合标准, 那么低噪声轮胎就可以批量生产了。对轮胎花纹噪声进行综合评判, 主要从客观评判和主观评判两方面着手。客观评判即利用噪声的物理量作为评判因素, 按照评判准则和对各个物理量分别加权量化的方法, 得出噪声的相对评判值, 再进行排队筛选。主观评判是从人们的主观感受(听觉)出发, 通过评判某一花纹所发出噪声的一些性质的好坏而得出结论的过程。主观评判是定性的, 因为人的感官功能存在着模糊性和不确定性。主客观评判一致是本工作探索的目标, 即综合评判方法。

1 轮胎花纹噪声的客观评判

在对轮胎花纹噪声进行评判之前, 必须确定轮胎低噪声的标准, 目前国内外尚无正式的轮胎噪声容许标准。轮胎厂家一般是将汽车配套厂家提出的噪声要求作为达标值。已知的评判标准有: 美国某测试中心 M 标准线、德国某测试中心标准和我们制定的“三线一图”评判标准。

1.1 美国某测试中心 M 标准线

美国某测试中心为汽车生产厂家在选用配套轮胎时提出了噪声性能指标 M 标准线[频率(f)与声强(I)的关系线, 见图 1]。其评判方法是把轮胎方案和人工所刻花纹轮胎样品送往测试中心进行仿真测试, 得到 $0 \sim 5 \text{ kHz}$ 范围内的噪声频谱曲线。如果测试结果在 M 标准线以下, 则轮胎的噪声性能视为合格; 如果超出 M 标准线, 则轮胎的噪声性能视为不合格。

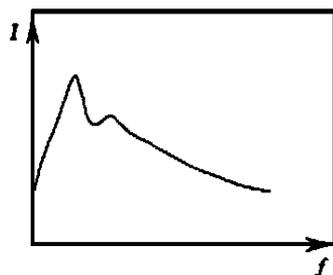


图 1 美国某测试中心提出的 M 标准线

1.2 德国某测试中心标准

德国某测试中心低噪声标准是相对的优劣排队比较。它是通过对一组花纹方案进行仿真,得到1~5 000 Hz的花纹噪声频谱图,再分成低频段(1~500 Hz)、中频段(500~2 500 Hz)和高频段(2.5~5 kHz)分别与一个典型低噪声轮胎频谱线比较,并考虑噪声的主观评判,引入权重函数: $N = n(f, L)$ (其中 f 为频率, L 为声压级),并把 N 做近似化线性处理,确定低、中、高频3个函数值 N_L, N_M, N_H ,进行加权求得模糊评判指数,分出良好、中等、差3个级别。该方法仅做相对比较。

1.3 “三线一图”评判标准

在研究国外的评判标准的基础上,我们提出了“三线一图”评判标准。通过对大量实际轮胎花纹噪声的评判和分析,总结出轮胎花纹低噪声的几个参考准则。即 花纹噪声频谱线接近白噪声频谱线; 频域声能量均衡线低而平直; 时域声中心能量分布均衡线低而平直; 声强度波形分布均匀而平直。

1.3.1 频域声能量均衡线^[3]

用保持频带宽度恒定的方法把0~5 kHz的频带划分成20等份。找出每个频带内求取声压的最大值 P_{\max} 和最小值 P_{\min} ,然后求声压级的平均值:

$$\bar{L}_i = 20 \lg \left[\left(\frac{P_{i\max} + P_{i\min}}{2} \right) / P_0 \right] \quad (1)$$

式中 \bar{L}_i ——平均声压级;

$P_{i\max}$ ——第 i 个频带内声压的最大值;

$P_{i\min}$ ——第 i 个频带内声压的最小值;

P_0 ——参考声压。

把每个平均值用线段连接就形成了声能量均衡线。声能量均衡线形状可以反映噪声能量在各频段的分布均衡状况,故称为频域声能量均衡线,其均衡度用 E_f 表示,它与均衡线上下变化面积和成反比。

对于一个噪声谱来说,如果其频谱趋势平缓,声能量在频域上分布均衡,这种噪声谱给人的感觉烦躁程度低。在评判过程中,若花纹噪声频谱接近于白噪声的频谱,且频域声能量均衡线低而平直,则认为此花纹低噪声性较好,其

接近度用 S_f 表示,它与谱线密度和变化量有关。

1.3.2 时域声中心能量分布均衡线

轮胎圆周上的每个花纹块和花纹槽在接地时均发声,可视之为一个个声点中心声源。这些点声源都按花纹分布在轮胎圆周上,如果这些声中心声能量分布均衡,则总噪声级的值较低。因此,引入声中心能量分布图(以花纹块为例),处理步骤如下:

(1)按面积大小将各花纹块等价为一矩形,矩形的宽度等于相应花纹块的宽度,声中心在原位置不变;

(2)确定各花纹块(矩形块)声中心的声能量,声能量正比于该花纹块的面积;

(3)将声中心投影到一条参考线上,用一很窄的方脉冲表示被投影后声中心的声能量;

(4)依照上面3个步骤处理各排花纹块,对相重叠的方脉冲予以叠加;

(5)连接各方脉冲的顶部,所得曲线即为声中心能量累加分布曲线(也称时域声中心能量分布均衡线)。

声中心能量累加分布曲线表示声能在位置上的集中程度。因此,声中心能量累加分布曲线低而平直,则低噪声性较好,其平直度用 S_t 表示,它与直方图高低和分布疏密程度有关。

1.3.3 声强度图

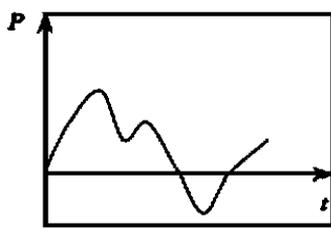
声压随时间而变化,是一种时正时负的变化,如图2(a)所示,但人的听觉对声音强弱变化的感受并不是与声压绝对值变化有关,而是与声压的相对变化量有关。人的听觉只能感受振幅的大小而不能感受相位的变化。

(1)取声压的均方值,即 $P_{\text{rms}} =$

$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt}$,其中 T 为积分时间;或对声压波形取绝对值,如图2(b)所示;

(2)声强 $I = kP^2$, k 为转换系数,画出声强度图,如图2(c)所示;

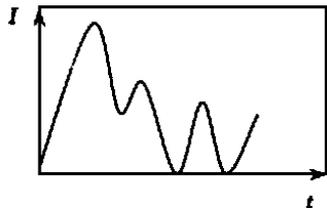
(3)为了判断分析方便,对 I 进行高频调制, $I_{\text{mr}} = I \sin_{\text{~}} t$,其中 $\text{~} \gg 5 \text{ kHz}$,如图2(d)所示。声强度直观地表示出某一时间内声能量的强弱,它正比于 I_{mr} 中的几个大值。



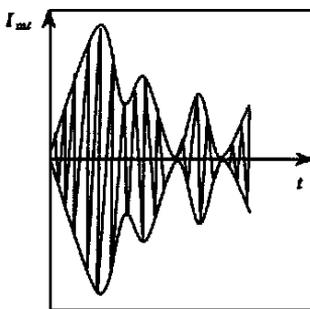
(a) 声压波形图



(b) 声压波形的绝对值



(c) 声强度图



(d) 经高频调制的声强度图

图2 声强度图

2 轮胎花纹噪声的主观评判

主观评判主要考虑人耳对声音的听觉特性,通过人的听觉对噪声的感受找出一些能真实反映人对轮胎花纹噪声感受过程中的生理反应和心理反应的评判量,并利用这些评判量判断轮胎花纹噪声是否符合低噪声标准。主观评判有以下几个步骤。

2.1 轮胎花纹噪声评判因子的选择

所谓轮胎花纹噪声评判因子,就是选择适用于轮胎花纹噪声的评判用语来表达试听者对

这种噪声的心理感受。由于各人对不同种类、不同声压级的声音评判用语不同,经过声音评判试验,并对试验结果进行数理统计,选取了具有代表性并能充分反映试听者感受的4个评判因子,即尖锐度 Q_1 、响度 Q_2 、起伏度 Q_3 和烦恼度 Q_4 来评判噪声的主观感受。其中,响度反映噪声声压级的大小;尖锐度反映噪声中高频段频率的高低;起伏度反映噪声声强随时间变化的激烈程度;烦恼度反映非白噪声化程度的大小,是人噪声的总体感受。可以看出这些评判因子与客观评判标准有一定的相关性。

2.2 利用试探法及格贴度理论来确定评判因子在评判中的权重

运用模糊系统分析方法^[3]来确定各个评判因子的权重。已知综合评判结果 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 和单因素评判矩阵 $R = [a_{ij}]$,即上述各客观量归一化后的大小,求权向量 A ,这归结为解模糊关系方程。这里用 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 代替 A ,即 $X \circ R = B$,求解下列方程中的 X 量。

$$(x_1, x_2, \dots, x_n) \circ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (2)$$

式中,“ \circ ”为模糊合成运算符。求解模糊关系方程是一个很复杂的过程,而且常常会遇到关系方程的解不唯一的情况,我们采用近似试探法来求解权向量集^[3,4]。所谓近似试探法是指已知 R 、 B 以及作为备选的权向量集 $A_i = (a_1, a_2, \dots, a_n)_i$,现在要在备选权向量集中选出最佳的权向量。先计算

$$A_i \circ R = B \quad i = 1, 2, \dots, h \quad (3)$$

然后根据择近原则把满足下式的 A_j 作为最佳权向量。

$$(A_j \circ R, B) = \max_{i=1}^k (A_i \circ R, B) \quad (4)$$

式中,“ \circ ”为求格贴度符号。

2.3 轮胎花纹噪声主观评判试验及数据统计分析

主观评判试验是邀请有经验的轮胎设计人

员、司机、噪声专家(人员选择应有代表性)对轮胎噪声进行评判并打分,以判断样本低噪声性优劣的试验。用轮胎花纹噪声仿真系统制成噪声样本,每个噪声样本都对应一个花纹设计方案。通过播放一组样本声音,请试听者从响度、尖锐度、起伏度、烦恼度 4 个角度评判并打分,分值为 0 ~ 100。设定一个主观综合评判值 Q_s ,此值是 4 个评判因子的加权和,权因数可用前面求出的权向量 A_j ,则主观综合评判值为

$$Q_s = a_1 Q_1 + a_2 Q_2 + a_3 Q_3 + a_4 Q_4 \quad (5)$$

式中, a_1, a_2, a_3 和 a_4 为权重值^[3,5]。主观综合评判值可作为样本低噪声性优劣排序的依据。试验表明:响度的影响比尖锐度和起伏度大得多,也就是说响度的权重占了绝对的比例;在响度接近的情况下,尖锐度和起伏度仍然对人的主观感受有着不可忽略的影响,比较而言,起伏度对人的影响比尖锐度更大^[6]。

3 轮胎花纹噪声的综合评判

通过对大量实际低噪声轮胎花纹方案进行上述主客观评判,并做分析比较,求得了评判因子 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 与“三线一图”中 E_f, I_{mt}, S_t, S_f 一一对应的近似函数关系,即

$$Q_1 = 1 \lg E_f \quad (6)$$

$$Q_2 = 2 \lg I_{mt} \quad (7)$$

$$Q_3 = 3 \lg S_t \quad (8)$$

$$Q_4 = 4 \lg S_f \quad (9)$$

将式(6),(7),(8),(9)代入式(5),则得出主客观评判十分一致的结论,即 $Q_0 = Q_s$ (Q_0 为客观综合评判值)。 a_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 为待定因数,对不同国别或不同区域群体取不同值,因为主观评判准则有差异,或根据模糊数学,将 Q_j ($j = 1, 2, 3, 4$) 分成六级,并模糊化(Fuzzy),取三角形隶属函数,得

$$R_q = (a_{q1}, a_{q2}, a_{q3}, a_{q4}) \quad (10)$$

$$q = 1, 2, 3, 4$$

从而可得到

$$R = [a_{ij}]$$

$$i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4$$

将由式(4)求出的 A_j 代入式(2)就可得综

合评判结果 B 。

$$B = A \circ R \quad (11)$$

再对模糊量 B 进行去模糊化(Defuzzy),得综合评判量 Q_{00} 。

$$Q_{00} = \frac{\sum_{i=1}^4 b_j * n_j}{\sum_{j=1}^4 b_j} \quad (12)$$

式中, n_j 为对应的级值, b_j 为 B 的隶属函数。

通常, $Q_0 = Q_{00}$ (式中 Q_0 为常数),若差异较大,则要重新微调 R 阵中因数 a_{ij} 和权重值 k ,直到 Q_0 与 Q_{00} 值一一对应并接近线性关系为止。至此,方可应用本方法。可见本方法能使主客观评判结果基本一致,从而求得综合评判量 Q_{00} 。但对某些特殊用户或厂商,他们自提一种单一评判法则,如 M 线以下为合格,则可采用“一票否决”法来选筛,即去除所有超过 M 线的轮胎花纹方案,再进行综合评判,使方案评判结果有优、良、中、合格 4 个档次。

4 结语

本工作提出的综合评判方法中的指标量 Q_{00} 是可直接应用于评判低噪声轮胎设计的低噪声程度合格与否的一种指标。实际应用中可免去人工刻花样品胎面及试验鉴听过程,从而缩短开发周期,节省开发费用。经过几个实例分析,主客观评判一致性很好。本综合评判方法已交付实际工程设计应用,效果良好。

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,符健豪. 微机模糊控制[M]. 武汉:武汉工业大学出版社,1992. 62-76.
- [4] 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.
- [5] 张爽,王华东. 环境评价中的权重理论与方法初探[J]. 环境污染与防治,1989,11(4):21-23.
- [6] 黄向宇. 轮胎花纹噪声仿真仿声系统[D]:[硕士论文]. 武汉:武汉工业大学,1998.

Comprehensive judgement on tire tread patterns' noise

CHEN Li-jun¹, LIN Hai-jun¹, CHEN Min-wei¹, QIAN Ye-qing¹, YANG Guang-da²

[1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070; 2. Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd., Shanghai 200082]

Abstract: An objective judgement of tire tread patterns' noise consisting of the noise frequency curve, the frequency field sound energy equilibrium curve, the time field central sound energy distribution equilibrium curve and the sound density pattern is combined with an subjective judgement including the sound pressure level, the sharpness, the fluctuation and the vexation to form a comprehensive judgement of tire tread patterns' noise. It is found that the most optimal or more optimal tread patterns can be screen out by using the said comprehensive judgement, thus the development period and expenditure of tire are significantly reduced.

Key words: tire tread patterns' noise; subjective judgement; objective judgement; comprehensive judgement

国内外简讯 10 则

1999 年山东成山橡胶集团外贸公司充分挖掘市场潜力,以名牌创造市场空间,使其产品——“成山”牌和“澳通”牌轮胎全年共出口 59 万套,出口创汇 1 800 万美元,同比分别增长 40.5% 和 30%。

(山东成山橡胶集团《成山报》社
黄彩霞供稿)

新疆昆仑股份有限公司获得由北京三星九千质量认证中心颁发的 ISO 9002 质量体系认证证书。

1999 年度化工行业优秀民用建筑设计奖评选结果揭晓,北京橡胶工业研究设计院承担的上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司载重轮胎厂综合楼获得三等奖。

(以上摘自《中国化工报》)

据国家机械局官员推测,1999 年我国汽车产量可望超过 180 万辆,年增长速度高达 10%,世界排名将从第 10 位上升到第 7 或第 6 位,2000 年将继续保持稳定的发展势头。

据环保部门推算,我国每年约有 4 000 万~6 000 万条轮胎报废,若弃之不管,对环境的污染可长达几十年。将废旧轮胎粉碎成胶粉,可广泛用于汽车轮胎及路面材料等方面。华中理工大学与俄罗斯国立包曼大学就此签署

了关于共同开发废旧轮胎爆炸试验仓协议。

(以上摘自《中国汽车报》)

1999 年我国摩托车产量约 1 070 万辆,同比增长 34%;销售量 1 050 万辆,同比增长 32%;销产率达到 98%,摩托车累计库存 80 万辆。2000 年摩托车生产能力预计约为 1 200 万辆,除竞赛型车外,实用型摩托车仍是主流。

(摘自《摩托车新闻》)

据有关部门预测,2000 年汽车市场的供需关系不会出现大的变化,国产汽车产量将达到 200 万辆,全年汽车需求实现量超过 200 万辆,其中轿车超过 70 万辆。

(摘自《汽车商报》)

3 年前,英国诺里奇市议会下属市政用 220 辆车全部改用米其林轮胎后,车队年轮胎费用减少了一半。

TA, [10], 116(1999)

1 500 多名米其林工人和工会活动积极分子在米其林总部所在地克莱蒙-费朗游行,抗议米其林未来 3 年在欧洲裁减 7 500 名雇员。

ERJ, 181[11], 9(1999)

米其林北美公司生产的 80 系列 1.6 m 的子午线轮胎是目前世界上最大的轮胎,该胎高 0.4 m、重 5 t 多,用于 360 t 拖车。

RPN, 1999-09-06, P4