研究与应用

轿车轮胎降噪优化技术问题分析

陈理君[1]，吴恩友[1]，陈　霞[1]，肖旺新[1]，陈　弘[2]
（1.武汉理工大学，湖北 武汉　430070；2.杭州中策橡胶有限公司，浙江 杭州　310008）

摘要：针对当前轿车轮胎降噪优化技术中存在的问题进行研究。分析得出，轮胎噪声与轮胎花纹噪声、实测轮胎噪声谱与微机仿真轮胎花纹噪声谱有本质上的差异，不可混为一谈。纠正了轮胎降噪技术中的错误，即轮胎噪声实验室实测分析不可替代微机仿真分析，更不可取代微机仿真优化，否则将低噪声轮胎的研究和设计引入歧途。

关键词：轿车轮胎；轮胎花纹；噪声；降噪技术；优化技术

当前轮胎降噪优化技术中有一个误区，即将几条低噪声轮胎的室内噪声分析结果进行比较，选择噪声小的轮胎，就认为是低噪声轮胎优化。我们针对低噪声轮胎优化设计工作中的一些混淆概念以及技术路线上的错误指出，进行轮胎低噪优化的前提是对轮胎进行分析，找到轮胎噪声产生的根源及轮胎噪声与相应标准之间的差异，其后在成千上万条轮胎中寻优，这只有微机仿真才能做到，而实测是无法达到寻优目的的。实验室测试是通过将热刻花纹轮胎进行噪声测试，优选出一条较低噪声的轮胎，然而这样不属于优化，因为无目标函数、无标准，样本极少，而TNS/ODS软件（有M线、三段、中式3个标准）可以从上万条轮胎中选择并优化样品轮胎花纹，但必须应用先进的自适应免疫遗传算法完成。本课题探讨轿车轮胎降噪优化技术中的一些问题，现将情况简介如下。

1　基本概念

1.1　轮胎噪声与轮胎花纹噪声定义

轮胎胎面与路面相互作用产生的噪声由2部分组成，一是轮胎直接辐射出来的直接噪声，二是轮胎激振车体产生的间接噪声。轮胎噪声也可分为轮胎花纹噪声和非轮胎花纹噪声，如图1所示。

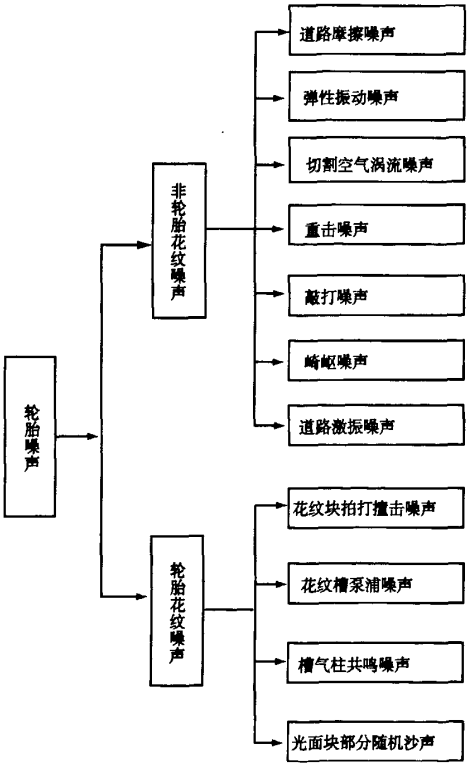


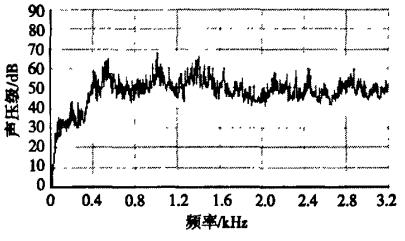
图1　轮胎噪声分类

从图1可以看出，非轮胎花纹噪声包括轮胎与道路间的摩擦噪声、弹性振动噪声、空气涡流噪声、重击噪声、敲打噪声、崎岖噪声、道路激振噪

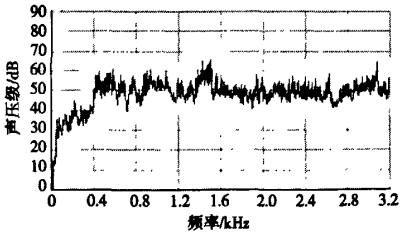
声;轮胎花纹噪声主要包括花纹块拍打撞击噪声、花纹槽泵浦噪声、气柱共鸣噪声、随机沙声。改变轮胎花纹结构,如改变花纹尺寸、节距序列或比例、错位,只影响花纹噪声大小,对非轮胎花纹噪声基本无影响。

1.2 实测轮胎噪声谱与微机仿真轮胎花纹噪声谱

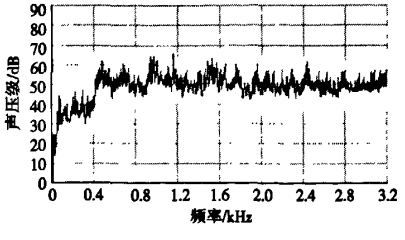
实测轮胎噪声谱是在消声实验室中采用转鼓实验台进行的。测量时将待测轮胎固定在转鼓上,使其以一定的速度在模拟不同粗糙度的路面上旋转,通过频谱分析仪记录噪声功率和频谱。图 2(a),2(b),2(c)是某型号轮胎在室内转鼓上分别以 70,75,80 km · h^{-1} 速度转动时轮胎噪声的频谱图。这些噪声谱明显包含 2 部分噪声,即轮胎花纹噪声和非花纹噪声。



(a)



(b)



(c)

图 2 实测轮胎噪声谱

微机仿真轮胎花纹噪声谱是依据轮胎花纹发声机理和仿真模拟,通过微机仿真得到轮胎花纹噪声谱。由花纹块的发声模型,分别计算出所有花纹线、块发声的时域波形,然后按行进行叠加合成,得到花纹发声的时域波。令 M 为块分离矩阵函数,P_{sb} 为花纹块发声准正弦模型函数,则花纹块发声的时域波 $P_b(t)$ 为:

$$P_b(t)=\sum_{l=1}^{X}P_{sb}\{\sum_{i}^{i+h_l}M[b_{ij}(t)]\} \quad (1)$$

式中,X 为切割条数,l 为花纹条序数,b_{ij} 为点声阵质点,h_l 为第 l 条所占的行数。

根据槽的发声模型,同样计算出花纹槽发声的时域波 $P_s(t)$:

$$P_s(t)=\sum_{l=1}^{X}P_{ss}\{\sum_{i}^{i+h_l}N[S_{ij}(t)]\} \quad (2)$$

式中,N 为槽分离矩阵函数,P_{ss} 为槽准正弦波函数。

根据同样方法,可以得到随机沙声时域波 $P_t(t)$和气柱共鸣时域波 $P_c(t)$等。然后对花纹块、花纹槽等时域波进行加权叠加,合成为花纹块、槽的时域波 $P(t)$:

$$P(t)=\alpha P_b(t)+\beta P_s(t)+\gamma P_t(t)+\eta P_c(t) \quad (3)$$

式中,α,β,γ 和 η 为加权因数。

合成时域波 $P(t)$进行离散化继而快速傅里叶变换,计算出花纹块、槽合成的噪声复频谱。依据花纹块、槽合成噪声谱推算出胎痕后沿的噪声谱,便可得到轮胎花纹噪声谱。图 3 是微机仿真出来的轮胎花纹噪声谱。

通过以上分析可以看出,实测轮胎噪声谱是在实验室条件下通过频谱分析仪记录的轮胎实际噪声谱,其与通过微机仿真得到的轮胎花纹噪声

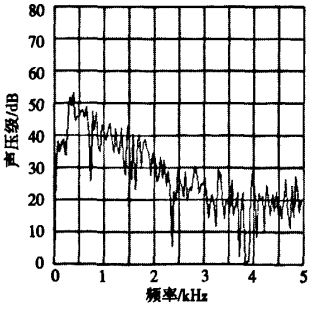


图 3 微机仿真轮胎花纹噪声谱

谱区别甚大。

2 采用实测轮胎噪声谱优化低噪声轮胎花纹不科学

用热刻花纹轮胎来测试各种花纹轮胎的噪声以优化低噪声轮胎花纹是不科学的。在实验室条件下用热刻花纹轮胎来测量的轮胎噪声，虽然可以辨别轮胎噪声声级以及频谱，但是样本太少，运算太简单，难以寻优。另外热刻花纹轮胎一个比较严重的问题是：采用同样的花纹，人工热刻花纹的轮胎往往是低噪声轮胎，而实际生产的轮胎一般是非低噪声轮胎，这是因为人工热刻轮胎花纹无规律，花纹块、槽的大小及边的曲直不均，随机性大，符合降低轮胎噪声的设计原则。

花纹降噪优化必须要有一个目标函数、目标噪声谱，这样在进行轮胎设计时才能有目标，使实际噪声谱达到设计要求，但是实验室对热刻花纹轮胎进行优化时没有目标噪声谱，这样就很难进行有效优化。

TNS/ODS软件仿真优化是以美国某测试中心为汽车生产厂家在选用配套轮胎时提出的噪声容许M标准曲线（如图4所示）为优化设计的目标曲线，将仿真出来的噪声谱线与M线进行比较，若其位于M线下，则视为达标；若其位于M线上，则视为不达标，必须进行优化处理，使仿真噪声谱线完全位于M线以下。

此外，不像热刻花纹轮胎在实测时花纹结构参数无法改变，微机仿真时参数可千变万化，故寻优空间非常大。

实验室条件下热刻花纹轮胎噪声测试没有目标噪声谱，因而难以提出一个合理的目标函数，只

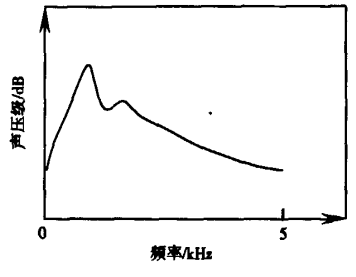


图4 美国某研究中心提出的M标准线

能以测试谱线在M线上围成的面积（阴影部分面积，见图5）作为优化目标函数，其越小越好。

通过实测轮胎噪声而优化低噪声轮胎，只能用穷举法寻优，但这必将导致数据爆炸，无法进行运算，即使用有限样本来寻优，效率也极低。

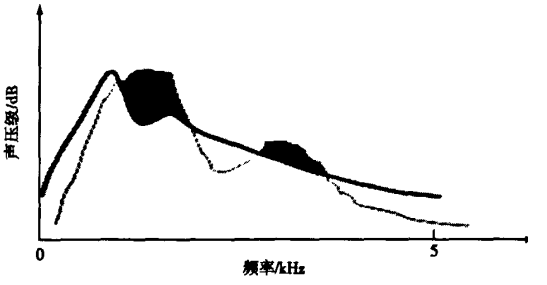


图5 阴影部分面积示意

3 微机仿真优化低噪声轮胎

3.1 优势

有的轮胎企业在低噪声轮胎研制阶段，一次次地把设计方案和热刻花纹轮胎送往国外测试中心测试，这样资金的投入大，成本高，新产品的开发周期长。

微机仿真优化低噪声轮胎是建立在轮胎花纹发声机理基础之上，根据轮胎花纹噪声数学物理模型和评判标准来实现轮胎花纹噪声微机仿真分析。微机仿真只需要轮胎生产厂家提供轮胎花纹图样，通过AutoCAD将其输入到微机或通过扫描仪输入到微机，再经过图像预处理，从而形成微机可识别的轮胎花纹二进制矩阵，然后运用TNS/ODS软件，在花纹噪声仿真分析的基础之上，寻找低噪声花纹，通过花纹相关参数的修正和调整，再综合考虑其它性能，初步优化后再经仿真软件运行操作，经过多次调整，直到花纹各项性能均达到指标要求。与前者相比，微机仿真不用将轮胎花纹刻出来就可以通过仿真获得轮胎噪声相关数据，从而及时进行优化，节省大量人力物力，缩短开发时间，提高开发效率。

3.2 自适应免疫遗传算法软件寻优方法

遗传算法是模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理的生物进化过程的计算模型，通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。为了克

服遗传算法盲目搜索、过早收敛导致早熟、近亲繁殖产生退化返祖的缺点，引进了免疫算法与遗传算法的结合方法，即免疫遗传算法(IGA)，使遗传算法的全局搜索能力及免疫算法的局部优化相配合，可大大提高搜索效率。自适应免疫遗传算法(简称 AIGA)能根据情况动态地修改遗传算法的交叉概率、变异概率的大小，可以有效地克服免疫遗传算法不能自适应、自调节的缺点，大大提高群体进化效率。

计算机计算速度很快，花纹错位可以通过穷举法来寻优，在一台普通的微机上进行 2000 次寻优仅需 3 min，在其他参数不变的前提下，易得到最优解。节距排列优化和节距比例优化则不同，对于给定长度为 99 的节距序列或比例数，其排列组合一共有 99! $\approx 9.33\times10^{155}$ 次运算；节距比例优化要寻找无理数比值，必定出现“数据爆炸”，不能直接寻找最优解。节距序列和节距比例的优化目标变成寻找满意解。所谓“满意解”是一个最优解的近似解，遗传算法是寻求这种“满意解”的最佳搜索工具。

4 结语

轮胎花纹尺寸以及组合排例变化对轮胎花纹噪声有影响，而对非轮胎花纹产生噪声如轮胎与道路间的摩擦噪声、弹性振动噪声、空气涡流噪声、崎岖噪声、道路激振噪声等是没有影响的，故试图通过实测轮胎噪声声级及噪声谱来优化低噪声轮胎花纹的试验往往以失败告终。

本研究认为，在实验室内用热刻花纹轮胎来测试噪声谱以优化低噪声轮胎花纹是行不通的，只有使用相关软件，通过微机仿真来进行轮胎花纹的设计与优化，才能避免数据爆炸，合理、快速解决寻优问题，这样投入少，产出大，是比较理想的低噪声轮胎花纹设计和优化路径。

参考文献：略

风神公司 6 种子午线轮胎花纹获外观设计专利

日前，风神轮胎股份有限公司自主设计研发的 A2207，HN277，HN377，HN336，HN367 和 HN362 六种子午线轮胎花纹获得国家知识产权局颁发的外观设计专利(专利号分别为 ZL 200930117249.0，ZL 200930119571.7，ZL 200930119575.5，ZL 200930119572.1，ZL 200930119576.X和 ZL 200930119569.X)，到目前为止，风神公司已有 88 种轮胎花纹获得了外观设计专利授权。

这 6 种花纹现已用于轮胎生产，其中 A2207 花纹为加深花纹，该花纹轮胎主要装配于铰接式自卸汽车、运载机及铲运机，具有良好的牵引性能，在松软泥泞等作业面上具有优良的排泥和防侧滑性能，自洁性、通过性及操作稳定性好；HN277 花纹轮胎主要用于长途运输汽车导向轮，也可用于拖车轮上，适合在高速和优质路面上高速行驶，此轮胎具有优良的防侧滑性能，滚动阻力低，加宽胎面使其具有较长的一次行驶里程和优越的耐磨性能；HN377 花纹轮胎主要用于长途运输汽车驱动轮，适合在等级公路等路况较好路面上行驶，封肩花纹结构使轮胎具有优异的抗不均匀磨损性能，加宽胎面和加深花纹使轮胎具有良好的耐磨性能；HN336 花纹轮胎主要用于大型货车驱动轮上，适用于普通和优质路面的中短途运输，混合型花纹结构和加宽的行驶面使轮胎具有强大的抓着力，优越的牵引性能，良好的侧向稳定性能，另外双边双层花纹有效避免了轮胎行驶中的夹石子问题；HN367 和 HN362 花纹轮胎适用于冰雪路面驱动轮上，高密度的横向花纹沟槽使轮胎具有优良的防滑性能，独特配方的胎面胶保证轮胎在较低温度下的柔软性，抓着性能好，HN367 花纹的雪泥结构使其轮胎具有良好的牵引性能 HN362 花纹加宽的胎面使其轮胎具有优越的牵引性能和耐磨性能。 陈利萍