

轮胎花纹噪声的控制

陈理君 杨 立 钱业青 施

(武汉工业大学 430070)

杨光大

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 200082]

摘要 从频域声能量均衡、时域声中心能量分布均衡和花纹沟气柱共鸣 3 个方面研究了花纹及其花纹块和花纹沟的结构与排列对轮胎噪声的影响,得出了低噪声轮胎花纹设计方法,并提出了轮胎花纹噪声控制的工作程序。

关键词 轮胎花纹,噪声控制,花纹块,花纹沟,优化设计

由于轮胎花纹的噪声主要取决于花纹的式样,因此对轮胎花纹噪声的控制归根结底为低噪声花纹的优化设计。

花纹块和花纹沟是轮胎花纹噪声的两大主要噪声源,即花纹块和花纹沟的结构与排列是影响轮胎花纹噪声的主要因素,因此低噪声轮胎花纹的优化设计应从花纹及其花纹块和花纹沟的结构与排列入手,对花纹块和花纹沟进行合理配置,达到有效控制轮胎花纹噪声的目的。

1 轮胎花纹设计的基本原则

1.1 设计参数

轮胎花纹的设计参数很多,下面介绍几个主要参数。

(1) 节距和节距比

在进行花纹设计前,必须先将整个胎面划分成若干段(各段中包含有若干花纹块和花纹沟),这些段就称为节距。一种节距构成的轮胎花纹称为等节距花纹;多种节距构成的轮胎花纹称为不等节距花纹。各个节距的长度之比称为节距比。一般来说,左右对称花纹的节距宽度为胎面宽度的 $1/2$;左右不对称花纹的节距宽度等于胎面宽度。

图 1 为 3 种不等节距花纹示意图。 L_A, L_B 和 L_C 分别为节距 A, B 和 C 的长度, L_A, L_B 和 L_C 应满足:

作者简介 陈理君,男,59 岁。武汉工业大学应用技术研究所副所长,教授。1963 年毕业于南京大学声学专业。长期从事噪声控制、模糊控制方面研究与教学工作。已发表论文三十余篇,出版专著(合著)3 部。

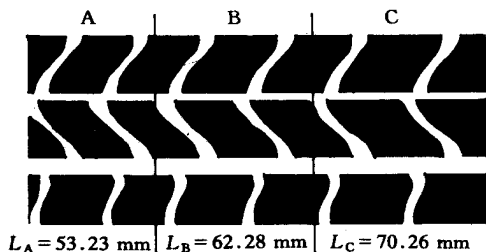


图 1 3 种不等节距花纹示意图

$$n_A \cdot L_A + n_B \cdot L_B + n_C \cdot L_C = L$$

式中 n_A, n_B 和 n_C 表示整个轮胎花纹中节距 A, B 和 C 的个数, L 为轮胎周长。

(2) 节距序列

构成轮胎花纹的节距排列顺序称为节距序列。整个轮胎花纹就是利用设计好的几种节距,按照一定的排列顺序组合而成的,如图 2 所示。一般左半花纹和右半花纹的节距排列不同,故还分为左半花纹节距序列和右半花纹节距序列。图 2 中左半花纹节距序列和右半花纹节距序列均为 AABBCCCAAABBCCCB。

(3) 错位

组合成完整轮胎花纹时,左半花纹节距序列和右半花纹节距序列之间的相对位移称为错位。图 2 中,左半花纹节距序列和右半花纹节距序列之间的错位为 12 mm。

(4) 块距

两个相邻花纹块间的距离称为块距。一般来说,不同花纹块间取不同的块距较好。

1.2 设计基本原则

由于轮胎花纹还影响到轮胎的力学性能和

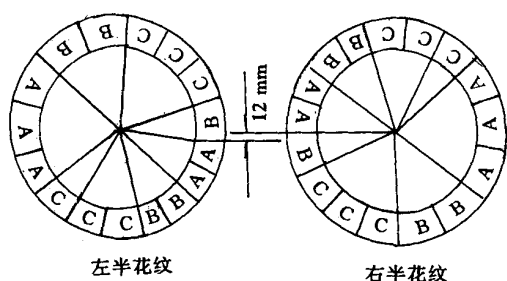


图2 花纹节距序列

耐磨性能,因此轮胎花纹设计时还要遵从以下几点基本原则^[1,2]:

- (1) 花纹块总面积为行驶面积的 60%~80%;
- (2) 必须具有纵向和横向或斜向花纹沟,且纵向花纹沟与横向花纹沟的配置要适当;
- (3) 采用不等节距,且一般采用 3~4 种不等节距在圆周上按一定顺序交替排列,轿车轮胎的节距个数一般为 30~100 个(最好为 45~75 个);
- (4) 胎肩花纹一般为连续性的,且花纹沟延伸至胎肩圆弧的终止处;
- (5) 花纹沟不宜过窄,且在接地区域仍保持开口;
- (6) 对轿车轮胎来说,斜交轮胎花纹深度为 9~10 mm,子午线轮胎花纹深度为 11~12 mm,高速轮胎花纹深度为 7~8 mm。
- (7) 选取适当的列错位值。

2 低噪声优化设计理论

我们主要从频域声能量均衡、时域声中心能量分布均衡和花纹沟气柱共鸣 3 个方面来研究花纹及其花纹块和花纹沟结构和排列对噪声

的影响。

2.1 频域声能量均衡

进行低噪声花纹优化设计的最终目标如果表现在频谱图上,就是使花纹噪声频谱类似于白噪声的频谱,使频域声能量均衡线平直。

节距是影响频域声能量分布的重要因素。对于等节距花纹,即整个轮胎花纹由数个完全相同的节距 $A_1, A_2, \dots$ 组成[如图 3(a)所示],假设 $A_1, A_2, \dots$ 在滚动时所发声音的时域波形为 $P(t)$,周期为 T ,由傅立叶变换可知,轮胎发声的基本频率 $f_0 = 1/T$,花纹噪声频谱按 f_0 的整数倍分布,如图 3(b)所示。

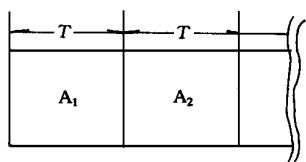
对于不等节距花纹,首先考虑 2 个不等节距 B_1 和 B_2 呈周期性排列的情况,如图 4(a)所示。假设 B_1 和 B_2 总长度与 2 个 A_1 总长度相等,则这种花纹的周期为 $2T$ 。同理,轮胎发声的基本频率 $f_0' = 1/(2T)$,花纹噪声频谱按 f_0' 的整数倍分布,如图 4(b)所示。

由图 3 和 4 可以看出,图 4(b)较图 3(b)频谱分布密集,且幅值较小,声能被分散到较多频谱线上,从噪声声能考虑,频率均衡度要比后者好,噪声较低。

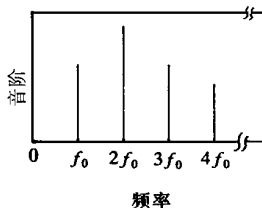
由此推出:整个轮胎花纹排列的周期越长,则基本频率越低,频域声能量分布越均衡,噪声越低。对于低噪声花纹设计,主要可体现在以下几个方面^[1]:

- (1) 同一轮胎花纹采用多种不等节距;
- (2) 花纹重复周期越长越好,最好可达到轮胎周长;
- (3) 不同花纹块的面积不等;
- (4) 不同花纹沟的容积不等。

实际上,轮胎花纹设计中采用不等节距时,节距比取不接近整数的无理数之比,如 $\sqrt{2}:\sqrt{3}$:



(a) 等节距花纹



(b) 线状频谱

图3 等节距花纹对噪声频谱的影响

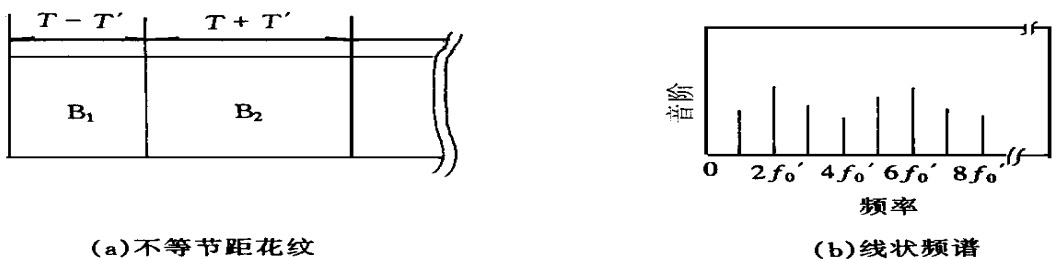


图 4 不等节距花纹对噪声频谱的影响

√5时,根据快速傅立叶变换(FFT)和微机仿真分析结果可知,花纹噪声频谱分布较均衡,噪声较低;节距比取倍数或较小整数比时,花纹噪声容易在某一频率处出现峰值,噪声较大。同理,各花纹块面积比、花纹沟容积比也应取无理数比。

2.2 时域声中心能量分布均衡

轮胎圆周上的每个花纹块和花纹沟在接地时均发声,因此每个花纹块和花纹沟都可近似地视为一个点声源。当这些点声源都较均匀地分布在轮胎圆周上时,时域声中心能量分布均衡,总噪声级降低。

图 5 为一组不同错位的等块距花纹,花纹(a)的各排花纹间错位为 0;花纹(b)的上两排花纹与下两排花纹间错位为 1/2 块距;花纹(c)的相邻花纹排间错位为 1/4 块距。这组花纹的花纹块声中心排列为:花纹(a)的 4 排花纹的同一纵向花纹块的声中心在同一参考线上,声中心分布最密集;花纹(b)错位为 0 的两排花纹的同一纵向花纹块的声中心在一参考线上,声中心相对要分散一些;花纹(c)的各排花纹块的声中心依次错开,声中心声能量分布最均匀。图 5(a),5(b)和 5(c)花纹噪声的声压级 P_a , P_b 和 P_c 由大到小的排列顺序为: $P_a > P_b > P_c$,且前

者一般要比后者大 6~7 dB。
以花纹块为例,根据试验结果(①花纹块产生的噪声强弱与其面积有关而与其形状无关;②花纹沟产生的噪声强弱与其长度和走向有关而与其深度关系不大^[2]),按下列步骤作声中心能量分布图:

- (1)按面积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,所得曲线为声中心能量累加分布曲线(也称时域声能量均衡线);
- (6)计算声中心能量累加分布曲线下的面积 A 。

图 6 是根据上述步骤作出的图 5 花纹对应的声中心能量分布图。图中, S 为声能量比例值, t 为轮胎花纹随时间变化压过路面位置的标值。图中各方脉冲的大小及分布疏密程度反映了声中心能量的分布状况,声中心能量累加

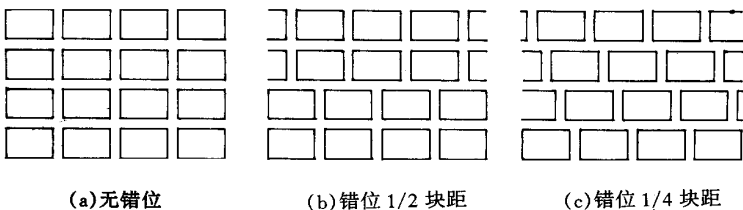


图 5 不同错位的等节距花纹

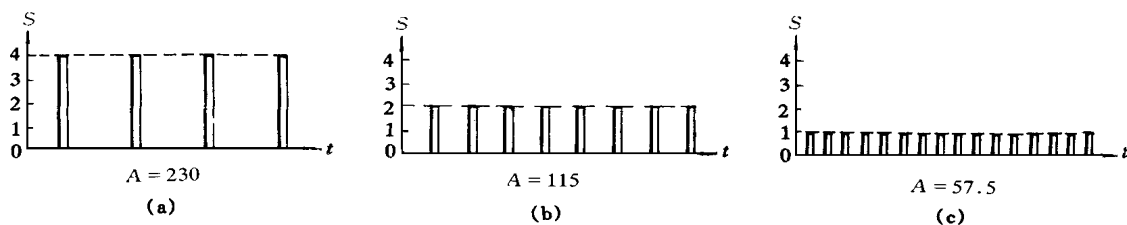


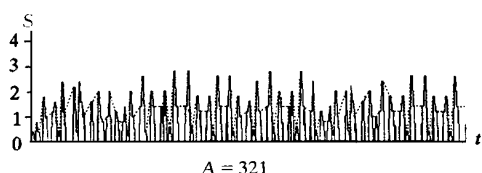
图6 图5花纹对应的声中心能量分布图

分布曲线显示了声能在位置上的集中程度, A 的大小则直观地反映了声中心能量分布的均衡度。图6的结果与前面的分析完全一致。此方法同样适用于花纹沟的优化排列。

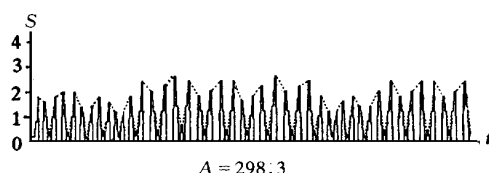
因此, 声中心能量分布图是研究花纹块与

花纹沟的排列是否合理的又一个有效准则。要尽量保证声中心能量分布图的声中心能量累加分布曲线低而平直^[3,4]。

图7为计算机仿真分析(TNS98软件)得出的两种轮胎花纹式样声中心能量分布图。



(a) 花纹块声中心能量分布图之一



(b) 花纹块声中心能量分布图之一

图7 两种轮胎花纹式样声中心能量分布图

2.3 花纹沟气柱共鸣

当轮胎花纹发声的基本频率与花纹沟的固有频率(f_n) [一端开放的花纹沟: $f_n = \frac{2n-1}{4l} \times 3400$, 二端开放的花纹沟: $f_n = \frac{n}{2l} \times 3400$, l 为花纹沟的长度(cm), $n = 1, 2, \dots$] 一致时, 就会发生花纹沟气柱管共鸣现象, 噪声将出现峰值。避免花纹沟气柱管共鸣的设计基本原则是使花纹沟两端开放, 且花纹沟应较短^[1,5]。

3 低噪声轮胎花纹设计方法

根据以上理论分析以及有关资料和试验结果, 我们提出如下低噪声轮胎花纹设计方法:

(1) 花纹设计应采用不等节距, 且节距比不可取较小整数比, 最好取不接近整数的无理数之比, 如 $L_A : L_B : L_C = \sqrt{2} : \sqrt{3} : \sqrt{5}$ 或 $\sqrt{5} : \sqrt{7} : \sqrt{11}$ 等;

(2) 节距中不同花纹块的大小之比、花纹沟的体积之比也宜取无理数之比, 不宜取较小整数之比;

(3) 花纹块(或花纹沟)的声中心声能分布应相对分散, 以保证花纹块(或花纹沟)声中心能量累加方脉冲的大小和分布均匀, 曲线下包含的面积尽可能小, 具体表现在不同排的花纹

块(或花纹沟)均匀地相对错开;

(4) 一个轮胎周向花纹排列不宜采用等分重复排列, 应采用不等分式布置花纹排列, 或采用整周布花纹法, 且相同节距花纹不要呈重复性排列;

(5) 尽量避免开横向沟槽, 可开纵向或斜向沟槽, 且互相连通;

(6) 合理选择节距数目及花纹沟的长度, 避免花纹沟的气柱共鸣现象;

(7) 花纹沟两端开放, 并尽可能取向后排挤空气方向倾斜;

(8) 花纹沟以短粗为好, 不宜为细长。

(9) 节距数以取素数为好, 诸如 3, 5, 7, 11, ..., 不宜取 2, 4, 6, 8, 9, 10 等值。

4 轮胎花纹噪声控制工作程序

在轮胎花纹的实际设计中, 要真正控制好轮胎花纹噪声, 即设计出低噪声轮胎花纹, 除要遵守设计原则外, 还必须在微机上进行仿真、评价、修改、再仿真的循环研究和设计, 才能收到较好的效果。为此, 我们建立了一套轮胎花纹噪声控制工作程序, 如图8所示。

该程序的具体工作步骤是:

(1) 花纹噪声仿真与评价。利用 TNS98

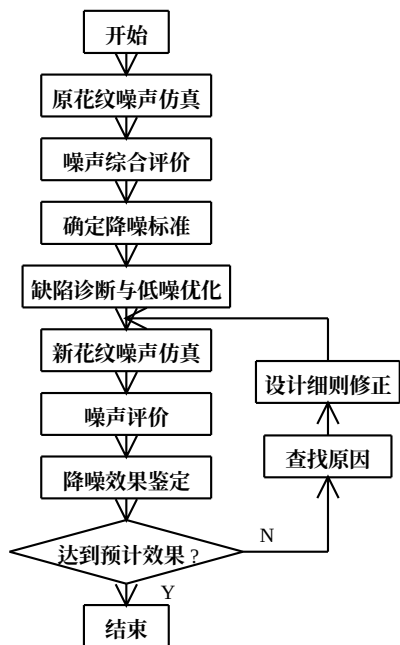


图 8 轮胎花纹噪声控制程序

软件,可以实现花纹噪声的仿真和噪声频谱的综合评价,并了解花纹设计方案的噪声状况和噪声控制的不足之处,如是否在某一频率存在较高的尖峰值或噪声能量分布是否均衡等,为噪声控制提供方向。

(2) 确定降噪标准。根据低噪声花纹的设计要求(一般由用户给出),对照被控对象的噪声状况,确定需要降低的噪声量。

(3) 缺陷诊断与低噪优化。根据‘低噪声轮胎花纹设计方法’和 TNS 98 软件,寻找花纹设计方案中存在的不足,予以修改,并设计出新的花纹图。

(4) 降噪效果鉴定。将优化设计前后的花纹噪声相比较,看是否达到预期效果。如果未达到预期效果,应查找原因,分析总结,并对花纹设计细则予以修改或采用另外一组符合条件的参数,再仿真分析,直到达到预期效果为止。

(5) 按优化好的方案投产,对成品轮胎噪声进行实测,并征询用户意见。如果效果不够理想,找出原因,对花纹设计进一步完善。如此不断仿真,不断改进,不断完善,最终必将实现对轮胎花纹噪声的有效控制,生产出低噪声轮胎。

5 结语

运用适宜的计算机软件,合理设计花纹式样及合理配置花纹块和花纹沟,是设计低噪声轮胎花纹的有效方法。

参考文献

- 1 陈理君,杨光大,董 芹. 低噪声轮胎花纹设计原则. 橡胶工业,1996,43(2):68
- 2 钱业青. 轿车轮胎花纹噪声控制的研究:[硕士学位论文]. 武汉:武汉工业大学,1998
- 3 Chen Lijun, Yang Guangda. Computer automatic synthesizer assessment for noise spectrum. Sensor World,1996,6(2):42~48
- 4 杨 立,金新航. 轮胎花纹噪声仿真系统. 轮胎工业,1998,18(2):82
- 5 Thompson J K. Plane wave resonance in the air cavity as a vehicle interior noise source. Tire Science and Technology, 1995,23(1):2~10

第十届全国轮胎技术研讨会论文

Reduction of Tire Patterns' Noise

Chen Lijun, Yang Li, Qian Yeqing and Shi Min

(Wuhan University of Technology 430070)

Yang Guangda

[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd 200082]

Abstract The influence of the tread patterns, and the structure and arrangement of blocks and grooves on the tire noise was investigated in terms of the sound energy equilibrium in frequency field, the central sound energy distributive equilibrium in time field and the air column resonance in grooves resulting in the design method of tire tread patterns with low noise and the working program of reducing tire tread patterns' noise.

Keywords tread patterns, noise reduction, block, groove, optimized design