

低噪声轮胎花纹结构参数优化方法

陈理君¹, 杨唐胜¹, 杨立¹, 李福军², 刘雨青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:在轮胎花纹低噪声优化原理及寻优方法研究基础上,重点论述了用模糊遗传算法(F-GA)对轮胎花纹的花纹块大小及比例、花纹槽大小及比例、节距排列、节距比例、错位及花纹条数八大参数进行优化的方法。通过寻优可得到多种低噪声轮胎花纹方案,再对其耐磨性、抓着力、美观程度等进行模糊综合评判,最终确定各项性能最佳的低噪声轮胎花纹方案。

关键词:轮胎;花纹噪声;优化;模糊遗传算法;花纹参数

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2002)12-0720-09

随着社会对环境噪声的日益重视,降低交通噪声成为亟待解决的问题。轮胎/路面噪声是交通噪声的重要组成部分,许多国家都制定了轮胎噪声的控制标准,出口到这些国家的轮胎都必须达到噪声的允许标准要求。因此轮胎噪声仿真优化方法及分析软件对轮胎厂家越来越重要。

轮胎花纹的花纹块大小及比例、花纹槽大小及比例、节距排列、节距比例、错位及花纹条数八大参数对轮胎噪声大小有重要影响^[1,2]。我们利用轮胎噪声分析软件(TNS2002)及优化软件(ODS2002)系统,将模糊逻辑和遗传算法相结合(F-GA),研究并制定了轮胎花纹结构参数的优化方法,现介绍如下。

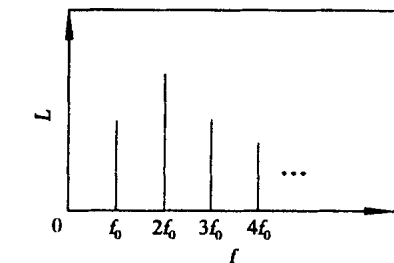
1 轮胎花纹低噪声优化原理

1.1 节距优化降噪原理

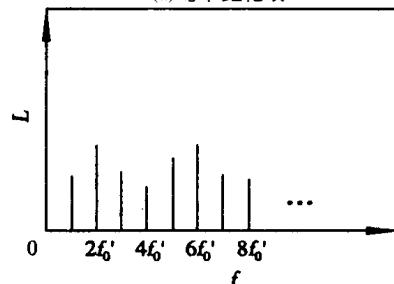
节距是指胎面图案设计段,轮胎花纹一般由几种节距图案排列组合而成^[1,3]。如果胎面由节距相等的花纹构成,各节距花纹所发声音的时域波形基本相同,时域波形呈周期性分布。假设在某车速下时域波周期为 T ,由傅立叶变换可知,胎面发声的基频 $f_0 = 1/T$,频谱按 f_0 的整数倍分布,如图1(a)所示。

如果胎面由各种不等节距花纹构成,先假设两种不等节距花纹呈周期性排列的情况。假设两个不同花纹块长度之和等于上面等节距花纹块长度的2倍,则这种花纹的周期为 $2T$ 。同理,胎面发声的基频 $f_0 = 1/2T$,频谱按 f_0 的整数倍分布,如图1(b)所示。

比较图1(a)和图1(b)可知,图1(b)频谱分布较密集,且声压级 L 的幅值较小,声能被分散到较多谱线上。从噪声声能考虑,后者的频谱均



(a) 等节距花纹



(b) 不等节距花纹

图1 节距花纹噪声谱线分布

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。

衡度比前者好,听起来烦躁度较低。

1.2 花纹块优化降噪原理

花纹块发声 N 波形的合成时域波数学描述如下^[4]:

$$P_b(t) = g_b A_b \sin(\omega_b t + \varphi) \quad (1)$$

式中, N 波形上下分配因数 g_b 如下:

$$g_b = \begin{cases} 1 & \sin(\omega_b t + \varphi) = 0 \\ 0.3 \sim 0.5 & \sin(\omega_b t + \varphi) < 0 \end{cases}$$

其中, t 为时间, ω_b 是车速和块参数的函数, φ 为相位角, $A_b = \sqrt{S}$, 为声压振幅, 与花纹块面积 S 的平方根成正比, g_b 为转换因数。因而, 在花纹低噪声优化设计中, 在确保轮胎的耐磨性能和力学性能的前提下, 应尽量使用较小的花纹块, 其大小不等且不成整数比, 这样可以使噪声能量分散到各个频段上, 从而达到降低噪声的目的。

另一方面, 采用细缝刀痕结构使花纹块柔软, 可降低花纹块击地噪声和花纹槽“泵浦”噪声^[5]。

1.3 错位低噪声优化原理

各花纹条节距排列之间的相对位移称为错位。错位从理论上分析就是改变轮胎右半花纹发声时域波(相对于左半花纹发声时域波)的相位, 尽可能让左右花纹发出的上大下小的 N 波形部分抵消, 避免相互叠加, 从而达到降噪目的。

下面以两条花纹块击地时发出的上大下小的 N 波形为例进行说明^[4](见图 2), 花纹槽发声与

花纹块类似。

从图 2 可以看出, 花纹错位后其噪声峰值比无错位时有所减小。虽然多条花纹块的时域波合成还要考虑花纹槽及其它发声因素, 时域波合成情况要复杂得多, 但仍可以通过调整系数找到较理想的错位值, 采用合理错位一般可以降低噪声 5~8 dB。

1.4 花纹槽低噪声优化原理

花纹槽的设计参数较多, 主要有花纹槽的宽度、长度、走向和开口形式等。

花纹槽发声的合成时域波如下^[4]:

$$P_s(t) = (P \sin \varphi) g_s \sin(\omega_s t + \varphi) \quad (2)$$

式中

$$g_s = \begin{cases} 1 & \sin(\omega_s t + \varphi) = 0 \\ 0.3 \sim 0.5 & \sin(\omega_s t + \varphi) < 0 \end{cases}$$

其中, P 为花纹槽面积的函数^[4]; φ 为槽与轮胎周向的夹角; ω_s 为槽逆、顺向参数, 顺向时取 1, 逆向时取 1.3~1.8, 其取值与地面刚度和车速有关; ω_s 为车速和槽宽度的函数; φ 为相位角。

从式(2)可以看出, 花纹槽的发声与槽面积和槽走向有关。研究表明, 顺向沟槽发出的噪声较逆向沟槽小。选取沟槽走向应结合其它力学性能综合考虑。

此外, 轮胎周向节距排列顺序的优化、花纹条数的优化、节距排列周期的划分及轮胎左右花纹

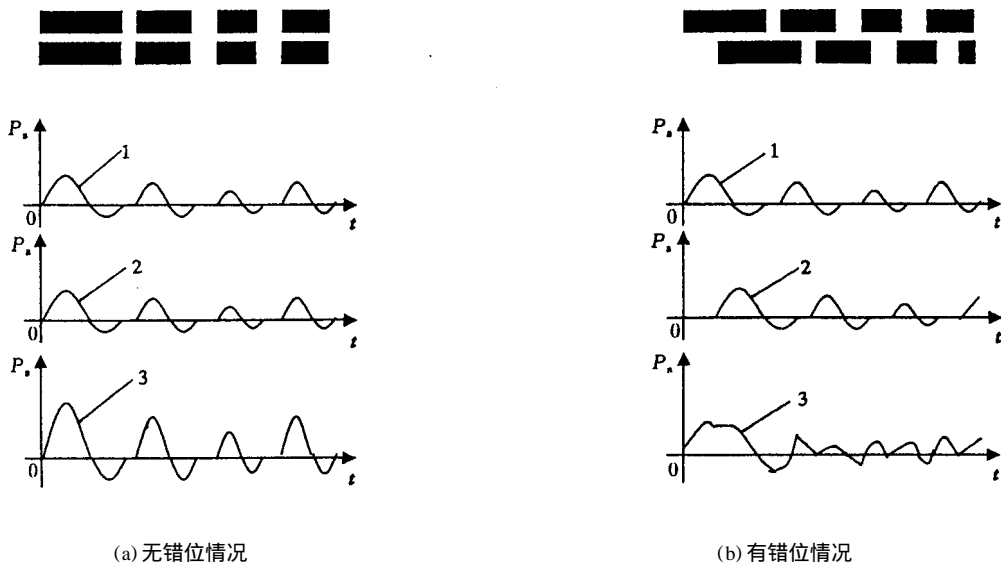


图 2 花纹块时域波合成

1—上排花纹块时域波; 2—下排花纹块时域波; 3—合成时域波

对称性调整等参数。其优化原理与前述几大参数的优化类似,均基于以下原则:

尽量使各发声单元发出的声压时域波形的同向峰值错开,避免叠加;

使轮胎所发出的噪声趋于白噪化,避免某些频段异常高峰值的形成。

2 确定优化目标函数

2.1 低噪声轮胎 M 曲线目标函数

按照美国某测试中心噪声容许 M 标准线确定优化目标函数。该测试中心要求送检轮胎在规定的测试条件下的噪声谱线在 M 标准线以下,否则判被测轮胎不满足低噪声要求(见图 3)。在对轮胎噪声进行优化时,应着重考虑超出 M 标准线的频段。下面分别用实测轮胎噪声曲线超出部分与 M 标准线围成的面积和最大声压级差值来制定目标评价函数。

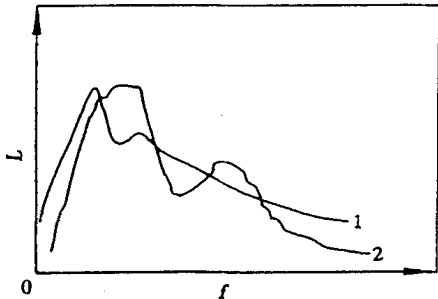


图 3 M 标准线与实测轮胎噪声曲线
1—M 标准线;2—实测轮胎噪声 N 曲线

用模糊控制理论^[6]将 M 和 N 曲线用模糊集表示,模糊化方法如下:令声压级 L 除以 100(轮胎噪声一般在 100 dB 以内)视为隶属度 μ ,将人耳能够感知的频段分为若干级,频率 f_i 对应元素 n_i ,这样可使原声压级 $L = G(f)$ 变换成模糊(Fuzzy)集。

N 曲线模糊集如下:

$$N = \frac{\mu_{n1}}{n_1} + \frac{\mu_{n2}}{n_2} + \dots + \frac{\mu_{nk}}{n_k} \quad (3)$$

式中, $n_i = i, i = 1, 2, \dots, k$ 。

式(3)可简写为:

$$N = (\mu_{n1}, \mu_{n2}, \dots, \mu_{nk}) \quad (4)$$

M 标准线模糊集如下:

$$M = \frac{\mu_{m1}}{n_1} + \frac{\mu_{m2}}{n_2} + \dots + \frac{\mu_{mk}}{n_k} \quad (5)$$

上式可简写为:

$$M = (\mu_{m1}, \mu_{m2}, \dots, \mu_{mk}) \quad (6)$$

M 标准线与 N 曲线的模糊交集如下:

$$X = M \cap N = \mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xk} \quad (7)$$

$$\mu_{xi} = \mu_{mi} \wedge \mu_{ni}$$

求出超出部分与 M 标准线所围成的面积(图 4 中阴影部分的面积) s 如下:

$$s = \sum_{i=1}^k (\mu_{ni} - \mu_{xi}) \cdot n_i \times 100 \quad (8)$$

式中, $n_i = 1$ 。

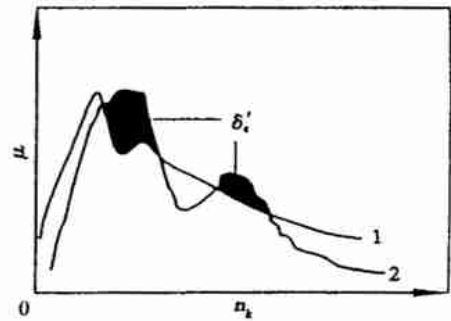


图 4 超出部分与 M 标准线所围成的面积示意

注同图 3

对式(8)进行处理之后得到模糊优化目标函数如下:

$$s = \sum_{i=1}^k (\mu_{ni} - \mu_{xi}) / k \quad (9)$$

以 s 为优化目标函数,根据实际需要定义一个小量 ϵ ,将优化后的方案参数送入前期编制的轮胎噪声仿真程序进行仿真,仿真结果满足 $s < \epsilon$ 的方案为合格方案。由于优化程序可能得到多个合格方案,我们取 s 最小的方案为最佳方案。

同理,用 N 曲线超过 M 标准线的最大差值 g (见图 5)为优化目标函数,具体操作同上。

上述两种优化目标函数都存在一定的缺陷。例如,方案仿真结果 s 很小,但 g 可能并不很小(如图 6 所示)。

谱图中出现了窄频段异常的高声压级,起落幅度很大,这种噪声很刺耳。虽然 s 很小,但不合格。为避免这种情况,采用综合目标函数 p :

$$p = \min\{s_j \mid g < \epsilon\} \quad (10)$$

即在满足 $g < \epsilon$ 的条件下对 s 进行优化。式中, j 为合格方案序号, $j = 1, 2, \dots, r$ 。

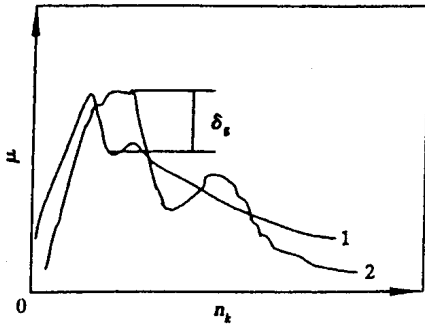


图 5 N 曲线超出 M 标准线的最大声压级差值示意
注同图 3

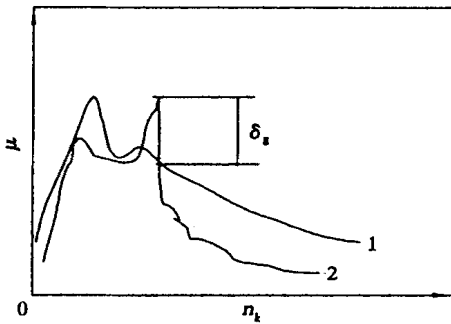


图 6 s 很小但 g 较大的 N 曲线
注同图 3

2.2 噪声能量分布目标函数

优化目标是尽量使噪声能量均匀分布在各频段上,即尽量使轮胎噪声白噪化。

将某轮胎花纹噪声频谱图模糊化,把噪声谱频段分成 m 级,声压级 L_i 转化成模糊集,隶属度函数 μ_{Li} 定义如下:

$$\mu_{Li} = L_i / 100 \quad (11)$$

则
$$\bar{\mu}_{Li} = \sum_{i=1}^m \mu_{Li} / m \quad (12)$$

定义目标函数如下:

$$z = \sum_{i=1}^m | \mu_{Li} - \bar{\mu}_{Li} | / m \quad (13)$$

具体操作时,应根据用户要求选择目标函数。

3 低噪声优化方法

我们研究了一种基于模糊推理和遗传算法^[7]的优化方法。

3.1 确定适应度函数

根据前面得到的优化目标函数定义适应度函数 f_i 如下:

$$f_i = 1 - s \quad (14)$$

或:

$$f_i = 1 - z \quad (15)$$

3.2 节距比例参数优化

3.2.1 节距比例因子编码

在产生比例因子染色体初始群体时,可以利用以前的研究成果,用素数和无理数建立比例因子数据库,如 √7, 7, √11, 11, √13, 13 ..., 比例因子 A_i, B_i, C_i, D_i, E_i ... 可以通过编程从数据库中随机挑选,这样可减少计算量。方法如下:按从小到大的顺序建立比例因子库,将各因子映射到一组连续的编码上,最大值与最小值之比受工艺设计要求限制在一定范围内(一般取 10 以内)。下面是两位用十六进制数对 256 个比例因子的编码:

因子	编码
1	00
1.17	01
1.19	02
...	...
9.77	FF

3.2.2 复制操作

按 q_i / ∑ q_i 决定第 i 个个体在下一代中应复制其自身的数目, q 为种群数目, i 为第 i 个个体的适应度。再生意味着适应度越高的个体,在下一代中复制自身的个数越多。

3.2.3 遗传操作

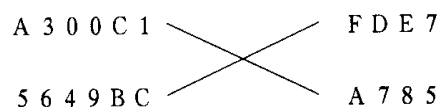
假设轮胎花纹由 5 种节距花纹构成,由这 5 种节距比例因子的编码组成染色体,例如下面两个方案的染色体:

A1 B1 C1 D1 E1 ⇒ A300C1FDE7
A2 B2 C2 D2 E2 ⇒ 5649BCA785

(1) 交叉操作

在初始比例群体中两两配对形成双亲染色体,选择一个交叉点,交叉后产生两个子染色体,配对和交叉点的选择都采用随机方式。

以上面的两个染色体为例,说明如下:



交叉后产生的子染色体如下:

子染色体 1:A300C1A785

子染色体 2:5649BCFDE7

(2) 变异操作

变异是按 2%~5% 的概率进行,产生变异的位也是按概率随机选择,取变异位的十六进制反码,如上面子染色体 1 中的第 4 位“0”产生变异后变成“F”,子染色体 2 中的第 4 位“9”产生变异后变成“6”,变异后的染色体为:

子染色体 1 :A30FC1A785

子染色体 2 :5646BCFDE7

经过上述操作,由第 g 代群体产生了新的群体。对新群体中各个体方案进行仿真,再根据仿真结果计算各个体方案的适应度,由新群体中适应度高的个体取代第 g 代中适应度低的个体,形成第 $g+1$ 代群体。

(3) 优化结果输出

经过多次 F-GA 优化后,如果群体的适应度函数值趋于一个稳态值或者迭代次数已满,就将最后一代中满足条件的所有个体方案参数输出。

3.3 节距序列排序优化^[8]

3.3.1 节距排列基因编码

轮胎花纹由 a,b,c,d,e,...节距组成,节距总数为 Z 。可按各节距排列顺序进行编码:

$$C = \{ i / i = 1, 2, \dots, Z \} \quad (16)$$

其中

$$i \in \{ a, b, c, d, e, \dots \}$$

式中, i 为节距基因, C 为节距序列染色体(或称为个体)。

3.3.2 遗传操作

节距排列的交叉操作和变异操作与节距比例类似,另外引入倒序操作。

倒序操作的目的是扩大遗传操作的搜索空间,避免遗传操作出现早熟。倒序要按概率进行,概率一般取 5%~15%。它是由随机函数产生两个正整数,以这两个数为序号来确定倒序段,将倒序段的排列顺序颠倒即可。由于节距序列的最后一个节距单元与第 1 个节距单元实际上是相邻的,将某一段倒序和将其余部分倒序的效果是一样的,为了减少计算量,只将小段部分倒序即可。即直到产生的两个随机数满足下列条件时进行倒序操作:

$$\text{Random}(1) - \text{Random}(2) < 0.5 \quad (17)$$

随机整数的产生如下:

$$r_1 = \text{int}[Z \times \text{Random}(1)] \quad (18)$$

$$r_2 = \text{int}[Z \times \text{Random}(2)] \quad (19)$$

式中, $\text{Random}()$ 函数产生一个 0~1 之间的随机数, int 是取整。

例如产生的两个正整数为 7 和 16,则将序列中从第 7 位到第 16 位这一段颠倒,如下所示:

倒序前:

acebacbbdcebccaeacdeb ...

倒序后:

acebaceaccbecdbbacdeb ...

3.4 错位优化

假设有 4 条花纹,第 2,3 和 4 条花纹与第 1 条花纹的错位值分别为 d_1, d_2 和 d_3 ,用随机数产生错位值如下:

$$d_i = R_i \times H_T / m \quad (20)$$

式中, H_T 为花纹刻模周期长度, R_i 为 0~1 之间的随机数, m 为 1~3 之间的常数。

以第 1 条花纹为基准,其它 3 条对应节距起始点与第 1 条起始点的周向位移 d_i 为优化参数(如图 7 所示)。

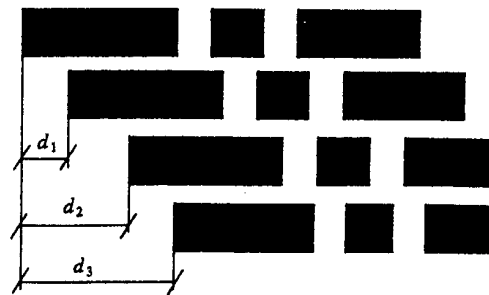


图 7 花纹条错位示意

3.4.1 错位参数编码

设计人员提供最大允许移位置 Y_{\max} ,如果设计人员没有明确限制, Y_{\max} 取最大节距单元长度的一半,即

$$Y_{\max} = \frac{1}{2} \max\{ Y_a, Y_b, Y_c, Y_d, Y_e, \dots \} \quad (21)$$

将错位量 d_i 编制成八位二进制码,设二进制码对应的十进制值为 D_i , d_i 与 D_i 之间的关系为:

$$d_i = \frac{1}{256} (D_i + 1) \times Y_{\max} \quad (22)$$

3.4.2 遗传操作

用上面的方法将错位量变成了八位二进制码,将 d_1, d_2 和 d_3 的编码串接起来形成染色体,其它操作与节距比例的遗传操作类似。

3.5 花纹块优化

以各独立花纹块的面积作为优化对象,在花纹条宽度一定的条件下,对各花纹块的长度进行优化,如图 8 所示。

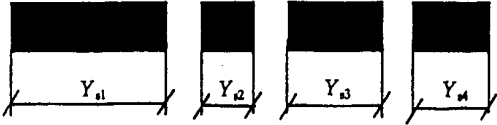


图 8 花纹块示意

花纹块长度编码:设最小允许长度为 Y_{min} ,从 Y_{min} 到 Y_{max} 等分成 255 段,把各分点及两个端点 Y_{min} 和 Y_{max} 对应的值按从小到大的顺序编成八位二进制码 00H~FFH。按块的排列顺序将各块的编码串接起来形成染色体,其优化操作与节距比例优化操作类似。

3.6 花纹槽优化

花纹块之间的缝隙即为花纹槽,其优化是基于花纹块发声与其面积有关而与其形状基本无关,花纹槽发声与其宽度、长度及走向有关^[4]的假定来进行的,故可与块互为独立地进行优化操作。花纹槽优化参数包括花纹槽宽度和槽与轮胎周向的夹角,即优化花纹槽的大小和走向。

将初始方案“槽”单独划分出来,并转化成类似的块发声矩形条,采用大硬度块材料来模拟击地时产生的波形,类同槽产生的波形,具体处理方法如图 9 所示。

图 9(a) 中的槽转换成的方块图面积 S_{g1} 如下计算:

$$S_{g1} = Kl d \sin \phi \quad (23)$$

式中, K 为槽压缩参数和转化成材料硬度的函数, l 为槽长, d 为槽宽。

图 9(b) 中的槽转换成的方块图面积 S_{g2} 如下计算:

$$S_{g2} = K(l_1 d_1 + l_2 d_2) \sin \phi \quad (24)$$

$$\phi = \frac{l_1}{l_1 + l_2} \phi_1 + \frac{l_2}{l_1 + l_2} \phi_2 \quad (25)$$

其它优化操作可借鉴花纹块优化方法。宽度

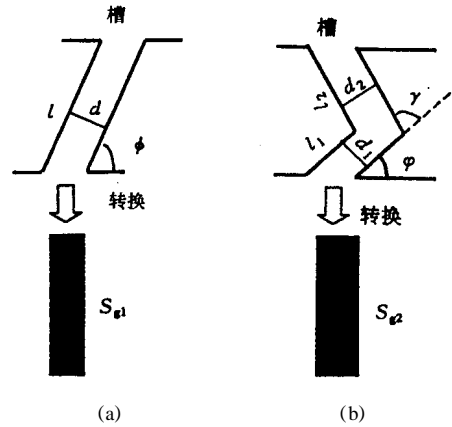


图 9 花纹槽转换成方块图示意

优化与花纹块的优化相同。角度的优化则是根据夹角的允许变化范围,将其等分成若干级,对各等分点所对应的值进行编码,然后按顺序连接各槽编码形成染色体,再对染色体进行 F-GA 优化。

3.7 花纹条数优化

花纹条数优化应综合考虑,除噪声外,还要考虑轮胎耐磨性、抓着力以及排水性能等。一般来说,随着花纹条数的增多,噪声降低、抓着力增大、排水容易,但耐磨性变差。轮胎设计人员需提供花纹条数与耐磨性能的关系数据。

将花纹条数与耐磨性能的关系数据进行模糊化处理,得到花纹条数对耐磨度的模糊集 J_n :

$$J_n = \frac{\mu_{j1}}{1} + \frac{\mu_{j2}}{2} + \dots + \frac{\mu_{jk}}{k} \quad (26)$$

上式可简写为:

$$J_n = (\mu_{j1}, \mu_{j2}, \dots, \mu_{jk}) \quad (27)$$

采用模糊综合决策来优化花纹条数,一旦花纹块和花纹槽的形状基本确定,就可以通过噪声仿真软件分别求得各花纹条数下的噪声曲线和适应度,经模糊化处理得到花纹条数对噪声适应度的模糊集 G_n :

$$G_n = \frac{\mu_{g1}}{1} + \frac{\mu_{g2}}{2} + \dots + \frac{\mu_{gk}}{k} \quad (28)$$

上式可简写为:

$$G_n = (\mu_{g1}, \mu_{g2}, \dots, \mu_{gk}) \quad (29)$$

对两个模糊集求交集:

$$Q = J_n \cap G_n = (\mu_{q1}, \mu_{q2}, \dots, \mu_{qk}) \quad (30)$$

花纹条数决策:

$$Q = \frac{(\mu_{qi} \times n_{qi})}{\mu_{qi}} \quad (31)$$

修正成整数:

$$Q = \text{int}(Q + 0.5) \quad (32)$$

3.8 花纹条宽度优化

轮胎一般由多条花纹组成,对各条花纹宽度优化的方法与花纹块优化方法相同,不再赘述。

4 优化实例

前面论述了八大参数的优化方法,其优化程序都是独立的,下面仅以节距优化为例进行说明。

节距优化包括节距比例和节距排列的优化,这里采用两层 F-GA 算法^[9],外层优化节距比例,内层优化节距排列。

优化结果在内层 F-GA 中输出,经过多次模糊遗传算法后,如果群体解已收敛于最优解的给定域或达到了给定的迭代次数,就在内部循环体中将适应度大的个体参数及节距排列顺序输出。程序如图 10 所示。

采用两层 F-GA 是基于以下考虑:

(1) 节距比例、节距排列和节距单元尺寸是相互联系的参数,优化节距比例时要用节距排列来计算节距单元尺寸;反之,优化节距排列时也要用节距比例来计算节距单元尺寸。

(2) 两层 F-GA 算法既可得到某一节距比例

下不同节距排列的满意解集,又可以得到不同节距比例的满意解集,优化结果可以相互比较,便于设计人员分析,视情况采用。

(3) 两层 F-GA 算法妥善解决了交叉和变异操作与轮胎周长不能改变之间的矛盾,算法中既给予了交叉和变异操作的充分自由,又保证了轮胎的周长为一定值。

5 仿真优化结果

应用上述遗传优化算法对 $\times \times \times / \times R15$ 轮胎花纹节距比例和节距排列方案进行优化分析,车速为 70 km h^{-1} 。从分析结果中选出的两个较好的优化方案(以 ρ 为优化目标函数)见表 1。

图 11 为上述两个优化后轮胎方案的噪声仿真曲线。

6 方案的模糊综合评价

上述寻优得到的一系列方案都是针对噪声的,虽然这些方案都满足了低噪声要求,但其它性能,如抓着力、耐磨性、美观程度等都不一样,采用哪种方案还要根据各项性能的综合评价情况。下面举例说明模糊综合评价方法。

取 u 个优化寻优后的轮胎花纹方案,请专业

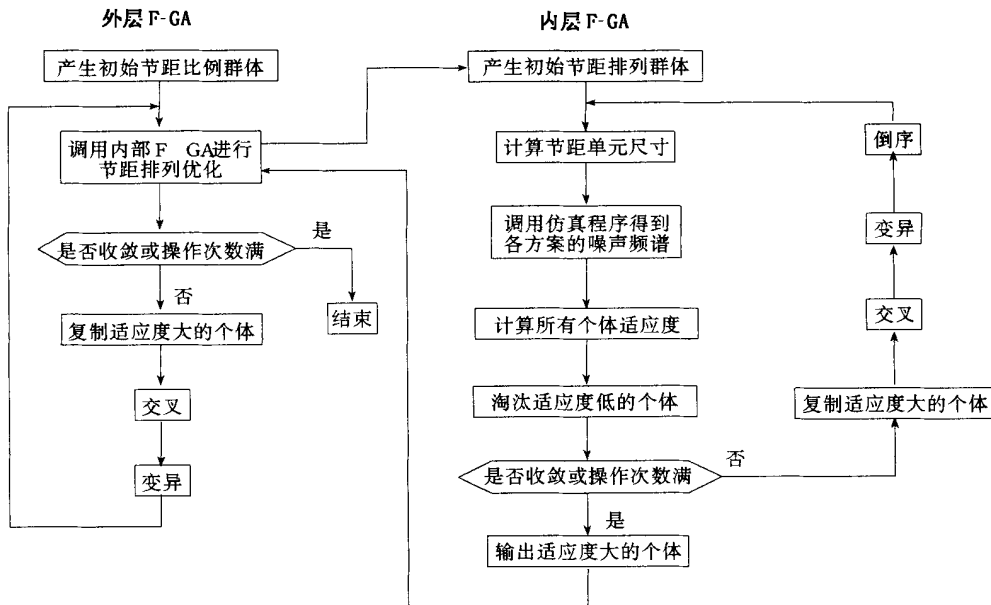
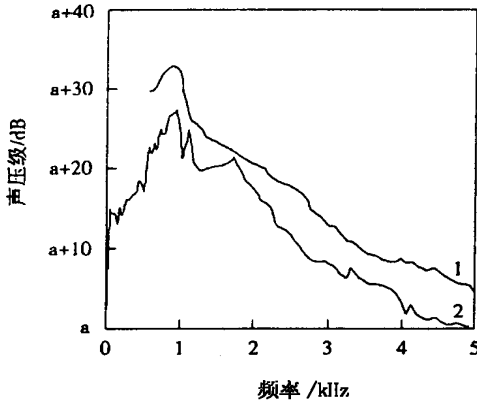


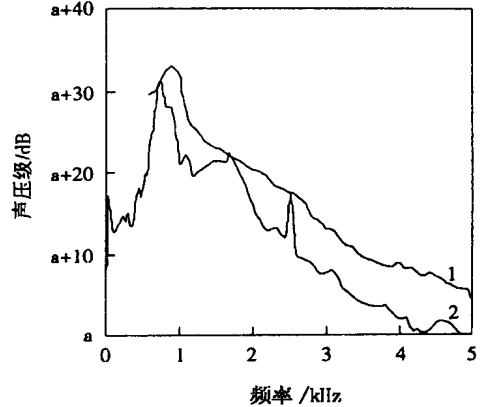
图 10 F-GA 优化流程示意

表 1 优化后的轮胎花纹数据

序号	节距比(a b c d e)	节距 a 尺寸/mm	节距排列	适应度
方案 1	29 33 38 43 47	29	edaeadadcacbdabcbacebcacabdcbabadaadbabcbasebecadbdbaeaceab	1
方案 2	19 22 25 33 37	19	decbabcdaabedacbdcecadbcabdcdcbadadcbcbcea cabcdceadbcadebedabeacedbeadbcebedcbaceda	0.98



(a) 方案 1



(b) 方案 2

图 11 优化后的轮胎方案噪声仿真曲线

1—M 标准线;2—优化曲线

人士对其噪声性能、抓着力、美观程度和耐磨性等
进行综合评价。方案 1 的综合评价结果见表 2。

由表 2 得到该方案的模糊评价矩阵 I_1 :

$$I_1 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

同理可得其它方案评价矩阵 I_2, I_3, \dots, I_u 。

按噪声、抓着力、美观程度和耐磨性顺序引入
权矩阵 V :

$$V = [V_1 \quad V_2 \quad V_3 \quad V_4] \quad (34)$$

V 矩阵中的各权值要根据设计要求和专业
人士进行调查得到。

对各方案进行模糊综合评价:

表 2 轮胎花纹方案 1 的综合性能评价结果

评价因素	评价量			
	优	良	中	差
噪声	0.8	0.2	0	0
抓着力	0.7	0.2	0.1	0
美观程度	0.3	0.5	0.2	0
耐磨性	0.5	0.5	0	0

注:评价量为该项投票数占总票数的比例。

$$O_1 = V \circ I_1$$

$$O_2 = V \circ I_2$$

...

$$O_u = V \circ I_u$$

通过模糊综合评价得到 O_i 的一般形式为:

$$O_i = (O_{i1} \quad O_{i2} \quad O_{i3} \quad O_{i4}) \quad (35)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, u$; O_{i1} 代表第 i 个方案为优的
综合评价指数, O_{i2}, O_{i3} 和 O_{i4} 分别代表第 i 个方
案为良、中和差的综合评价指数。 O_{i1} 越大, 说明
方案的综合性能越好。

在选择最佳方案时, 只需考虑 O_{i1} 和 O_{i2} 的
值, 可以用下式进行最佳方案决策:

$$O_{\max} = \max_{i=1}^u (O_{i1} + 0.7 O_{i2}) \quad (36)$$

7 讨论

(1) 建立某参数数据库时, 如果采用 n 位二
进制编码, 则库中要有 2^n 个数据, 保证经过 F-GA
算法后产生的任何代码都有相应的参数与之对
应, 使运算顺利进行。如果参数不够, 可用前面的
参数重复填充, 直到填满为止。

(2) 权函数的引入。权函数是根据人耳的听

觉特性来引入的,人耳一般能感知频率为20~2000 Hz的声音,相同功率的两个不同频率的声音,人听起来却不一样响^[10]。由于送检轮胎的噪声谱包括客观评价和主观评价,在对轮胎花纹噪声进行评价时要考虑人的听觉特性。这里根据A声级理论和轮胎的噪声频谱,在对方案进行噪声评价时引入响度权函数 W_f :

$$W_f = \begin{cases} \frac{\lg f - 1.3}{1.7} & (20 \leq f < 1000) \\ 1 & (f \geq 1000) \end{cases} \quad (37)$$

(3) 本方法一般只能获得满意解集,对满意解的参数进行微调可进一步贴近最优解。方法是以满意解集作为初始群体,调整F-GA程序参数限制变化幅度,再用F-GA求解。

(4) 优化先后问题。在征得轮胎花纹结构设计人员同意的前提下,先优化花纹条数、花纹条宽度及花纹槽走向,得到轮胎表面花纹的基本形状后再优化节距比例、节距排列、花纹块大小和比例、花纹槽大小和比例,最后优化错位参数和调整花纹对称性。上述各参数会相互影响,在优化变更这些参数时可能产生矛盾,因此要反复进行优化操作、折衷处理、合理取舍,以求得满意解。为避免准近亲繁殖陷入局部最优,可以适当增大初始群体数目和遗传操作中变异的概率。

8 结语

本方法对轮胎厂家设计、开发和生产低噪声

轮胎行之有效,可节约大量人力、物力,开发周期短、费用低,有较大的推广价值。

参考文献:

- [1] Chen Lijun, Yang Li, Ma Hao, et al. Designing method for optimization of 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.
- [2] 陈理君,张艳堃,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.
- [3] Hoffmeister K M, Bernard J E. Tread pitch arrangement optimization through the use of a genetic algorithm[J]. Tire Science and Technology, 1988, 26(1):2-22.
- [4] 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.
- [5] Tetlow D. Track tire noise[J]. Sound and Vibration, 1994, 5:18-91, 161-202.
- [6] 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.
- [7] 王耀南.智能控制系统[M].长沙:湖南大学出版社,1996.120-176.
- [8] 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.
- [9] 王吉忠,顾善发,庄继德.遗传算法在改进轮胎花纹噪声特性中的应用[J].农业机械学报,1999,30(5):9.
- [10] 郑长聚,洪宗辉,王锃贤,等.环境噪声控制工程[M].北京:高等教育出版社,1988.30-39,139-168.

第12届全国轮胎技术研讨会论文(二等奖)

Optimization for structure parameters of low noise tread patterns

CHEN Li-jun¹, YANG Tang-sheng¹, YANG Li¹, LI Fu-jun², LIU Yu-qing¹, 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 Based on the study of the optimization mechanism for low noise tread patterns and the optimum-seeking method, the optimization of eight important parameters, such as the block sizes and their ratio, the groove sizes and their ratio, the pitch arrangement and ratio, the disalignment and the rib number with the fuzzy genetic algorithm (F-GA) are described in detail. Many low noise tread pattern designs can be obtained by optimum-seeking and the final low noise tread patterns design with the best comprehensive properties is determined by the fuzzy comprehensive adjudgment of the obtained designs in terms of wear resistance, traction and appearance.

Key words tire; tread patterns' noise; optimization; fuzzy genetic algorithm; tread patterns' parameter