

# 低噪声轮胎花纹节距参数的稳健性设计

朱国军 林成花 尹海山

(桦林集团有限责任公司 157032)

**摘要** 分析了轮胎花纹大小、节距和形状等参数对噪声的影响以及节距的稳健性设计原则,并列出了设计实例及一组优化数据,使噪声对某些参数的敏感性降至最低。

**关键词** 噪声,稳健性设计,轮胎

轮胎高速行驶时产生的噪声主要是花纹噪声,而花纹噪声主要与花纹的大小、节距、形状及沟槽的几何参数等有关。其中花纹形状对噪声的影响机理很复杂,一般只能得出定性的结论,即使使用某些水平较高的计算机仿真软件亦无法得到理想的结果。而花纹的节距和大小对噪声的影响则已有较明确的结论,并已用于产品设计中。

由于制造的误差及应用条件的变化,会使节距等参数产生一定的偏差,进而影响轮胎使用性能。因此,需用稳健性设计对其进行优化,使噪声对某些参数的变化不太敏感,在一定的相对误差限度内均能具有较理想的性能。

## 1 设计原理

在一般的物理模型中,将花纹块的外表面形心作为点噪声源。实际上,每个点噪声源发出噪声的波形都呈现几个尖脉冲,故其频谱收敛较慢。相同的花纹块产生的波形很相近,因此有着基本相同的频谱分布。

以车辆匀速直线运动作为基本情况,此时,轮胎的各种运动都以轮胎行驶1周为周期。每块花纹产生噪声的持续时间与此周期相比都很短暂。对于车辆本身而言,由于行驶速度远小于声速,花纹块某一周期产生的噪声早已传播至远处,下一周期产生的噪声无法与之干涉,故不存在噪声场强的叠加情况。对于道路附近的环境,由于同一花纹块两个相邻周期发声点基线长度为轮胎外周长,小于声音在一个周期传

输的距离,同样无法形成干涉。因此,刺耳噪声只能是某一花纹块与邻近花纹块干涉形成的。

轮胎花纹噪声是在花纹触地、压缩变形和弹性恢复阶段产生的,将持续一个短暂的时间段,同时与地面接触的个花纹将同时产生噪声,这是发生干涉的必要条件。

以相邻的3个花纹块为例(见图1),假设块A与块B的距离为 $L$ ,块B与块C的距离为 $N$ ,当 $L/N$ 很近似或等于一个数值较小的整数比 $P/Q$ (大致取 $P < 100, Q < 100$ )时,将比较容易形成干涉。

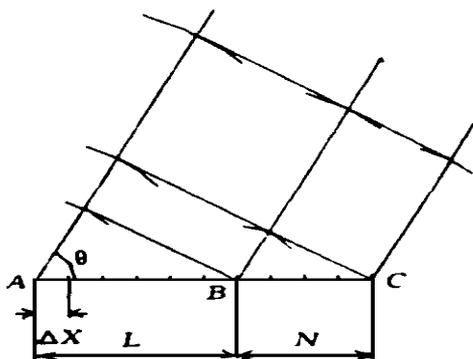


图1 相邻花纹块噪声分析

由于 $P$ 与 $Q$ 互质,故 $L$ 和 $N$ 都可分成以 $X = L/P = N/Q$ 为单位的整数个区间。对于某一频谱分量,当波长 $\lambda < X$ 时,都可找到一个适当的角度 $\theta$ ,使得在此方向上满足:

$$X \cos \theta = k$$

此时 $L \cos \theta$ 及 $N \cos \theta$ 皆为 $X$ 的整数倍,在 $A, B$ 和 $C$ 点发出的噪声中,波长为 $\lambda$ 的部分,将叠加干涉生成波阵面,以 $BC$ 线为轴形成半锥角为 $\theta$ 的锥面分布。

在无干涉时,点噪声源辐射的声波幅值按距离平方反比规律衰减;在形成干涉的情况下,

作者简介 朱国军,男,45岁。高级工程师。1982年毕业于哈尔滨工业大学物理师资班。主要从事管理信息系统开发及科学计算工作。曾发表论文十余篇。

一般按距离反比规律衰减,比无干涉情况下的衰减小得多。

干涉使噪声分布呈现出两个特点:即在空间上声能集中在某个窄小的范围内和在此范围的噪声频率范围窄,因此使噪声传输距离远且刺耳。若能在设计上使  $L$  与  $N$  公共的整数分割区间  $X$  充分小,并小于声波波长,即可避免干涉的形成。常态下,声速为  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,人耳的频率上限为  $20 \text{ kHz}$ ,对应的最小波长 ( $\lambda_{\min}$ ) 为  $17 \text{ mm}$ 。适当选取相邻节距  $L$  与  $N$  的比值,一般不难使  $L/N < \lambda_{\min}$ 。

### 2 设计实例

在实际设计中,一般选两个大于 100 的互质整数作为节距比  $L/N$  或选取无理数作为节距比。从数学上讲,此时节距比可使  $L/N$  充分小,但在制造中产生的误差及轮胎在接触地面区域内变形误差可使节距产生不可忽略的变化,使节距比接近一个分母不太大的分数值,从而使  $L/N$  变得较大。下面,我们假定以 100 作为分母的上限,对某些数值做一下数值分析。

例 1  $281/227 = 1.237\ 886$

渐近分数序列如下:

序号	渐近分数	误差			
1	5/4	0.012 114 5			
序号	渐近数值	渐近分数	渐近数值	渐近分数	误差
1	1.089 887 640	97/ 89	1.090 909 091	12/ 11	0.001 021 450
2	1.098 901 099	100/ 91	1.100 000 000	11/ 10	0.001 098 901
3	1.100 000 000	11/ 10	1.101 010 101	109/ 99	0.001 010 101
4	1.109 890 110	101/ 91	1.111 111 111	10/ 9	0.001 221 001
5	1.111 111 111	10/ 9	1.112 244 898	109/ 98	0.001 133 787
6	1.123 711 340	109/ 97	1.125 000 000	9/ 8	0.001 288 660
7	1.125 000 000	9/ 8	1.126 315 789	107/ 95	0.001 315 789
8	1.141 414 141	113/ 99	1.142 857 143	8/ 7	0.001 443 001
9	1.142 857 143	8/ 7	1.144 329 897	111/ 97	0.001 472 754
10	1.164 948 454	113/ 97	1.166 666 667	7/ 6	0.001 718 213
11	1.166 666 667	7/ 6	1.168 421 053	111/ 95	0.001 754 386
12	1.197 916 667	115/ 96	1.200 000 000	6/ 5	0.002 083 333
13	1.200 000 000	6/ 5	1.202 020 202	119/ 99	0.002 020 202
14	1.221 052 632	116/ 95	1.222 222 222	11/ 9	0.001 169 591
15	1.222 222 222	11/ 9	1.223 404 255	115/ 94	0.001 182 033
16	1.247 422 680	121/ 97	1.250 000 000	5/ 4	0.002 577 320
17	1.250 000 000	5/ 4	1.252 525 253	124/ 99	0.002 525 253
18	1.284 210 526	122/ 95	1.285 714 286	9/ 7	0.001 503 759
19	1.285 714 286	9/ 7	1.287 234 043	121/ 94	0.001 519 757
20	1.298 969 072	126/ 97	1.300 000 000	13/ 10	0.001 030 928
21	1.300 000 000	13/ 10	1.301 075 269	121/ 93	0.001 075 269
22	1.329 896 907	129/ 97	1.333 333 333	4/ 3	0.003 436 426

2	21/ 1	- 0.002 591 3
3	26/ 21	0.000 209 8

例 2  $293/229 = 1.279\ 476$

渐近分数序列如下:

序号	渐近分数	误差
1	5/4	- 0.029 475 9
2	9/7	0.006 238 3
3	23/ 18	- 0.000 169 8
4	32/ 25	0.000 524 0
5	87/ 68	- 0.000 064

对于无理数,也可得到类似的结果。

例 3  $\sqrt{5/3} = 1.290\ 994$

序号	渐近分数	误差
1	4/3	0.042 338 9
2	9/7	- 0.005 280
3	31/ 24	0.000 672 2
4	71/ 55	- 0.000 083 6

例 4  $\sqrt{7/5} = 1.183\ 216$

序号	渐近分数	误差
1	6/5	0.016 784
2	13/ 11	- 0.001 397 8
3	71/ 60	0.000 117 3

因此,对于“精心”挑选的比值,极有可能十分接近一个分母不太大的分数值。为此,我们基于稳健性设计原则,在轮胎花纹节距比为 1 ~ 100 的范围内,列举所有分母小于 100 的分数值,找出在数轴上分布稀疏的区间,并按区间的坐标排序,得到如下结果:

23	1.333 333 333	4/3	1.336 734 694	131/98	0.003 401 361
24	1.373 737 374	136/99	1.375 000 000	11/8	0.001 262 626
25	1.375 000 000	11/8	1.376 344 086	128/93	0.001 344 086
26	1.397 959 184	137/98	1.400 000 000	7/5	0.002 040 816
27	1.400 000 000	7/5	1.402 061 856	136/97	0.002 061 856
28	1.427 083 333	137/96	1.428 571 429	10/7	0.001 488 095
29	1.428 571 429	10/7	1.430 107 527	133/93	0.001 536 098
30	1.443 298 969	140/97	1.444 444 444	13/9	0.001 145 475
31	1.444 444 444	13/9	1.445 652 174	133/92	0.001 207 729
32	1.454 545 455	16/11	1.455 555 556	131/90	0.001 010 101
33	1.494 949 495	148/99	1.500 000 000	3/2	0.005 050 505
34	1.500 000 000	3/2	1.505 050 505	149/99	0.005 050 505
35	1.544 444 444	139/90	1.545 454 545	17/11	0.001 010 101
36	1.554 347 826	143/92	1.555 555 556	14/9	0.001 207 729
37	1.555 555 556	14/9	1.556 701 031	151/97	0.001 145 475
38	1.569 892 473	146/93	1.571 428 571	11/7	0.001 536 098
39	1.571 428 571	11/7	1.572 916 667	151/96	0.001 488 095
40	1.597 938 144	155/97	1.600 000 000	8/5	0.002 061 856
41	1.600 000 000	8/5	1.602 040 816	157/98	0.002 040 816
42	1.623 655 914	151/93	1.625 000 000	13/8	0.001 344 086
43	1.625 000 000	13/8	1.626 262 626	161/99	0.001 262 626
44	1.663 265 306	163/98	1.666 666 667	5/3	0.003 401 361
45	1.666 666 667	5/3	1.670 103 093	162/97	0.003 436 426
46	1.698 924 731	158/93	1.700 000 000	17/10	0.001 075 269
47	1.700 000 000	17/10	1.701 030 928	165/97	0.001 030 928
48	1.712 765 957	161/94	1.714 285 714	12/7	0.001 519 757
49	1.714 285 714	12/7	1.715 789 474	163/95	0.001 503 759
50	1.747 474 747	173/99	1.750 000 000	7/4	0.002 525 253
51	1.750 000 000	7/4	1.752 577 320	170/97	0.002 577 320
52	1.776 595 745	167/94	1.777 777 778	16/9	0.001 182 033
53	1.777 777 778	16/9	1.778 947 368	169/95	0.001 169 591
54	1.797 979 798	178/99	1.800 000 000	9/5	0.002 020 202
55	1.800 000 000	9/5	1.802 083 333	173/96	0.002 083 333
56	1.831 578 947	174/95	1.833 333 333	11/6	0.001 754 386
57	1.833 333 333	11/6	1.835 051 546	178/97	0.001 718 213
58	1.855 670 103	180/97	1.857 142 857	13/7	0.001 472 754
59	1.857 142 857	13/7	1.858 585 859	184/99	0.001 443 001
60	1.873 684 211	178/95	1.875 000 000	15/8	0.001 315 789
61	1.875 000 000	15/8	1.876 288 660	182/97	0.001 288 660
62	1.887 755 102	185/98	1.888 888 889	17/9	0.001 133 787
63	1.888 888 889	17/9	1.890 109 890	172/91	0.001 221 001
64	1.898 989 899	188/99	1.900 000 000	19/10	0.001 010 101
65	1.900 000 000	19/10	1.901 098 901	173/91	0.001 098 901
66	1.909 090 909	21/11	1.910 112 360	170/89	0.001 021 450

设计时,先确定参数的粗略值,再按上表选取相近区间的中点。先将各区间的端点取倒数

后,可对 0.5~1 范围内的参数进行类似处理。

第十届全国轮胎技术研讨会论文

## 1998 年我国农用车超过 290 万辆 产销率达到 96.15 %

据中国农机工业协会农用运输分会的最新统计,1998 年全行业农用运输车总产量为 2 931 183 辆,比 1997 年的 2 626 160 辆增长了 11.61 %。其中四轮农用运输车 1998 年产量为

469 414 辆,比 1997 年的 420 309 辆增长 11.68 %;三轮农用运输车 1998 年产量为 2 461 769 辆,比 1997 年的 2 205 851 辆增长 11.60 %。全行业 1998 年产销率超过 96 %,产销基本平衡;其中四轮农用运输车产销率为 96.15 %,三轮农用运输车产销率达到了 98.73 %。

[摘自《上海汽车报》,1999-01-31(4)]