

轮胎花纹噪声的微机仿真发声

陈理君¹, 张艳堃¹, 杨立¹, 林海军¹, 杨光大²

(1. 武汉理工大学 自动化研究所, 湖北 武汉 430070; 2. 上海米其林回力轮胎股份有限公司, 上海 200082)

摘要:从轮胎花纹的时域波形中提取信息, 运用 16 位 PCM 编码生成 WAV 格式的声音文件, 用多媒体设备播放, 并加入背景噪声, 实现轮胎花纹噪声的微机仿真发声。试验证明, 模拟噪声与实测噪声非常接近, 多普勒效应十分逼真, 为轮胎噪声主客观评价提供了经济的试验环境与有效的手段。

关键词:轮胎; 花纹噪声; 仿真发声

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2002)01-0016-05

在已经进行的轮胎花纹噪声的仿真研究中, 参照相应的测试频谱曲线, 分析了轮胎接地的物理过程^[1], 得到其发声机理^[2], 再通过数学和物理方法建立了既可反映真实的发声过程又便于求解的数学物理模型^[3]。

本工作是运用轮胎花纹噪声时域波形数据, 将其转化为 WAV 格式的音频文件, 再通过多媒体设备播放出来。通过微机仿真发声和模拟实测得到样本轮胎花纹的模拟噪声。根据模拟噪声可对样本轮胎花纹噪声性能进行初步的优劣排队, 筛选出 1~2 个最优或较优的样本进行花纹热刻, 再进行其它性能的试验。

1 轮胎花纹噪声时域波形数据文件的产生过程

轮胎花纹噪声时域波形数据文件的产生过程如下:

- (1) 将花纹的设计方案转化为位图文件;
- (2) 对位图文件进行花纹块的填充、裁剪、污点补偿及二值化处理, 产生二值块槽图像文件;
- (3) 在一定的参数条件下, 运用已建立的数学模型对二值图像进行四十线扫描, 得到相应的时域波形^[3]。

时域波形由包含噪声声压信息的 N 个离散数据组成, N 为采样点数。这 N 个离散双精度数并不能直接作为声音输出, 必须进行相应的波

形编码, 使之与标准的声卡采样所得的声音数据类型相匹配, 再按照 WAV 文件格式写入 WAV 文件的子数据块内才能使波形文件播放。我们采用的是脉冲编码调制 (Pulse Code Modulation, 简称 PCM)^[4]。

脉冲编码调制是最简单的一种波形编码方法, 在这种方法中噪声信号样本幅值被量化到 $N = 2^B$ 个码字中的一个, 这样每个样本需用 B (bit) 来表示。假设信号带宽 (Hz) 为 W , 根据采样定理, 总的比特率 ($\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$) 应大于 $2WB$ 。均匀量化 PCM 和普通的 A/D 变换是完全相同的, 它没有利用语音信号的任何性质, 没有进行压缩。这种编码方法中, 输入信号 $x(n)$ 幅值的范围被分成 N 个相同宽度的区间, 所有落入同一区间的样本都编成相同的二进制码。只要 N 足够大, 就可以合理地假设量化误差 $e(n)$ 在各个宽度为 d 的区间里是均匀分布的。均匀量化 PCM 在下列假设条件下的失真是很小的: ① 输入信号幅度变化范围已知; ② 信号幅度值在已知的范围内均匀分布。由时域波形得到的数据相当于轿车以速度 v 行驶, 每隔时间 t_s (s) 对时域波形进行采样得到的 N 个离散的声压波形信号, 其中:

$$t_s = \frac{C}{4Nv} \quad (1)$$

式中, C 为轮胎的胎面圆周长度 (普通轮胎周长为 2.09~2.13 m)。当轿车以 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 速度行驶时, 采样频率约为 37.1 kHz。经 16 位 PCM 编码后的波形数据大小在 -32 768~32 767 范围

内,声压幅度最大为 $2^{15} - 1$ 。各点的声压级 L_{p_i} 按下式计算:

$$L_{p_i} = 20 \lg \frac{P_i}{P_0} \quad (2)$$

式中, P_0 为标准声压级,当 P_i 由 $P_{\min}$ 至 $P_{\max}$ 变化时,最大声压级差即动态范围 L_p 为:

$$\begin{aligned} L_p &= 20 \lg \frac{P_{\max}}{P_0} - 20 \lg \frac{P_{\min}}{P_0} \\ &= 20 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 20 \lg \frac{2^{15} - 1}{1} \\ &\approx 90 \text{ (dB)} \end{aligned} \quad (3)$$

而轿车轮胎花纹噪声声强级一般不超过 88 dB,声压级与声强级的大小在标准情况下基本相等。因此,采用 16 位 PCM 编码可以很好地覆盖整个噪声的声压变化范围。轿车轮胎花纹块槽分布较均匀,滚动过程连续,因此能满足 PCM 编码的要求。在编码过程中,先求出 N 个样本值中绝对值最大的 $p_{\max}$,依次对样本值进行量化,量化量 P_i^* 如下:

$$P_i^* = (\text{int}) \left(\frac{P_i}{p_{\max}} \times 2^{15} \right) \quad (4)$$

式中, (int) 为运算符,将数据类型强制转换为 16 位有符号整数; p 为样本中值。

2 时域波形的重采样

从时域波形中取出代表噪声声压的样本值生成的 WAV 格式的声音持续时间相当短,因此需要将采样所得数据以 N 为周期循环写入 WAV 文件,持续时间在 6 ~ 30 s 之间为宜。而且时域波形得到的噪声样本的频率随汽车的行驶速度变化。当速度为 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,采样频率大约为 37.1 kHz;当速度提高时,采样频率也将变大。而 WAV 文件的数据只能按 11.025, 22.05 和 44.1 kHz 三种标准的速率传输声音数据,如果仍以 44.1 kHz 的频率播放,则相当于时域波形被压缩或拉伸,噪声将有很大失真,影响对轮胎花纹噪声的判断。因此,必须以 44.1 kHz 的标准频率对时域波形进行重新采样,采样点数仍然为 N 个。

重采样可以利用梯形法求解^[5],以 $\text{DATA}[nN + i]$ 表示时域波形的第 $nN + i$ 个值, $\text{WAV}[nN + j]$ 表示以标准频率 44.1 kHz 重新采样后

的第 $nN + j$ 个值。

当 $j = 0$ 时,

$$\text{WAV}[0] = \text{DATA}[0] \quad (5)$$

当 $j > 0$, 且 $(nN + i) \% N \neq 0$ (% 表示求余运算) 时:

$$\text{WAV}[j] = (\text{int}) \{ \text{DATA}[i] + (\text{DATA}[i + 1] - \text{DATA}[i]) \Delta t / t \} \quad (6)$$

式中

$$i = m \% N \quad (7)$$

$$\Delta t = jt' - mt \quad (8)$$

$$m = (\text{int}) (jt' / t) \quad (9)$$

其中, t 是 $\text{WAV}[i]$ 的采样间隔时间, t' 为标准频率的采样间隔时间。

3 WAV 文件格式

WAV 文件主要用于 Windows 环境中,提供标准的语音处理功能,以 WAV 为扩展名,使用 RIFF (Resource Interchange File Format) 的格式描述。音频文件通常运用 PCM 进行编码的文件格式,其音质与频率和采样数有关。标准格式有 12 种,从 11.025 kHz/8 bit 单声道到 44.1 kHz/16 bit 立体声,文件大小也不等。本工作中的放声波形文件采用 16 位 PCMS 数据编码,以 44.1 kHz/16 bit 单声道格式存储。WAV 文件由三部分组成,第 1 部分表明该文件是 RIFF 格式的 WAV 文件;第 2 部分是 fmt 结构,用于存储波形格式信息;第 3 部分是 data 结构,用于存储数据信息。音频文件的格式描述见图 1。

WAV 文件大小(字节) = 采样频率 × 样本量化精度/8 × 声道数量 × 声音持续时间(s)。按照此格式生成的 WAV 文件可以在 Windows 平台的多媒体设备上播放。

4 轮胎噪声的测量及模拟

轮胎噪声的场地测量主要侧重于轿车匀速行驶、滑行行驶以及侧滑时的车外噪声。车外噪声测量要求场地平坦而空旷,在距测量中心 25 m 半径的范围内不应有反射物,场地道路应有 25 m 以上平直、干燥的沥青或混凝土路面,背景噪声(包括风的声音)应比所测车辆噪声低 10 dB 以上。场地要求及测点位置如图 2 所示,拾音器距地面

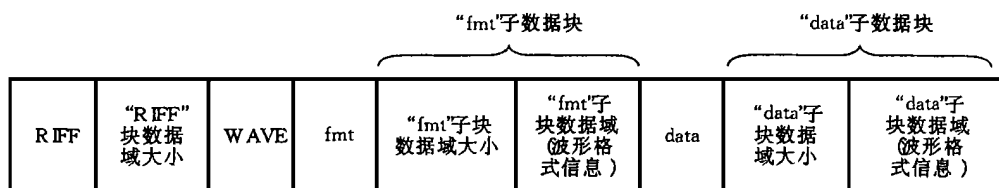


图 1 音频文件的格式描述

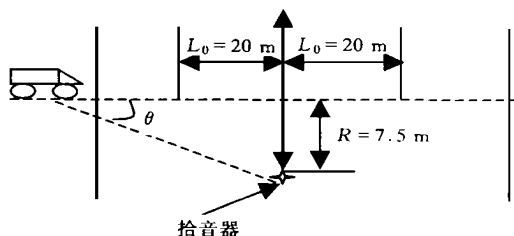


图 2 噪声场地测量示意

θ —声源和拾音器的连线与水平方向之间的夹角;

R —拾音器距汽车行进路线的距离

高度为 1.2 m。汽车一进入距拾音器水平距离 L_0 范围内马上关闭发动机。应当注意的是,同一试验应重复两次,对试验结果取算术平均值,两次测量结果之差必须小于 2 dB,否则应重新试验^[6,7]。

(1) 室内测量的模拟

室内测量模拟时,根据转鼓上的贴面不同,发声机理有所不同。首先,通过与之对应的模型得到相应时域波形数据及噪声时域波形数据文件,然后针对不同播放软件对数据的要求,对数据文件进行一系列的处理,可生成与室内测量对应的标准声音文件,再通过外围的放音设备,调节噪声的功率级,使最大噪声级不高于 88 dB,并在播放过程中,将音量调节到实测时的噪声级附近^[8]。

(2) 场地测量的模拟

在场地测量的模拟过程中,除加入随机噪声外,还应考虑多普勒效应及音量的变化,使模拟的声音与拾音器所测声音基本相同。由于轿车距拾音器较远,可以把它当作点声源来考虑。多普勒效应是指当声源与拾音器彼此相对运动时,测到某一确定声音的频率发生变化。声源由远及近时,变化着的频率 f 为:

$$f' = \frac{f_0}{1 - \frac{v \cos \theta}{c}} \quad (10)$$

式中 f_0 ——声源的静态频率, Hz;
 v ——声源水平移动的速率, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
 c ——声音在空气中的传播速率,
 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

声源由近及远时:

$$f' = \frac{f_0}{1 + \frac{v \cos \theta}{c}} \quad (11)$$

由于

$$\cos \theta = \frac{vt}{\sqrt{(vt)^2 + R^2}}$$

因此式(10)和(11)相应可表示为:

$$f' = \frac{f_0}{\frac{1 \mp v^2}{c \sqrt{R^2/t^2 + v^2}}} \quad (12)$$

频率变化曲线如图 3 所示。

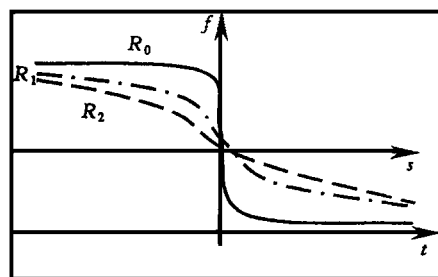


图 3 多普勒效应的频率变化曲线

R_0, R_1 和 R_2 为不同距离, $0 = R_0 < R_1 < R_2$

5 发声模型^[3]

建立一种适合于计算机仿真分析的轮胎花纹噪声物理实验模型的步骤如下:

(1) 先将轮胎胎面(限胎痕宽度 Z 内)的几何图形转化成一个 $m \times n$ 的二进制胎面矩阵 A , 其中 m 表示绕轮胎圆周的纵向行数, n 表示胎面的横向列数, a_{ij} 表示第 i 行、第 j 列的元素。

(2) 由矩阵 A 分离出花纹块矩阵 B 和花纹槽

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{花纹块元素(黑)} \\ 0 & \text{花纹槽元素(白)} \end{cases}$$

矩阵 S , 设整个胎面(限在胎痕宽度 Z 内)由 X 条花纹组成, 每条花纹占的宽度为 h_p ($p = 1, 2, \dots, X$), 且 $h_1 + h_2 + \dots + h_X = Z$, 则花纹块矩阵:

$$B = A$$

B_p ($p = 1, 2, \dots, X$) 表示大小为 $h_p \times n$ 的花纹块子矩阵。

设不同时刻 B_p 的累加量为 $B_p'(t)$:

$$B_p'(t) = \sum_{ij} b_{ij}(t)$$

花纹槽矩阵 S 可表示为矩阵 A 的补阵:

$$S = \overline{A} \quad (14)$$

(3) 对每条花纹中的块和槽进行时域波形生成。以 M 表示各发声块发声幅度函数, Z 表示各发声槽发声幅值函数, 以 P_{sb} 表示花纹块发声准正弦模型函数, P_{ss} 表示花纹槽准正弦模型函数。那么对各花纹块可依次求出 P_{sb} , 得花纹块发声的合成时域波 $P_b(t)$:

$$P_b(t) = \sum_{i=1}^X P_{sb}\{M[B_i'(t)]\} \quad (15)$$

同理可以得到 X 条花纹槽的合成时域波 $P_s(t)$:

$$P_s(t) = \sum_{j=1}^X P_{ss}\{Z[S_j'(t)]\} \quad (16)$$

(4) 将花纹块和花纹槽噪声计权合成, 得胎面花纹块和槽合成噪声时域波 $P(t)$:

$$P(t) = \alpha P_b(t) + \beta P_s(t) \quad (17)$$

式中, α 和 β 为块和槽的合成因数, 其大小可通过试验及模拟试验来确定。

(5) 对时域波进行一个周期 T_l 离散采样, 再

进行离散傅立叶变换(DFT), 得到花纹噪声频谱, 如果采样周期为 t , 采样点数为 N , 那么对 $P(t)$ 采样后得到离散量 $P(nt)$ ($n = 0, 1, \dots, N-1$)。

经 DFT 变换后, 得到花纹噪声频谱 $H(kf_0)$:

$$H(kf_0) = \sum_{n=0}^{N-1} P(nt) e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} \quad (18)$$

式中, $f_0 = 1/T_l$, 为花纹噪声的基频。

为了满足采样定理, 我们一般取 N 为 1 024 或 2 048, 具体计算可运用快速傅立叶(FFT)方法来获得噪声谱^[9,10]。

6 结语

试验证明, 模拟的测量噪声与实测噪声非常接近, 多普勒效应十分逼真, 为轮胎噪声主客观评价提供了经济的试验环境与有效的手段。

参考文献:

- [1] 杨立, 金新航. 轮胎花纹噪声仿真系统[J]. 轮胎工业, 1998, 18(2): 82-85.
- [2] 陈理君, 杨光大, 董芹. 低噪声轮胎花纹设计原则[J]. 橡胶工业, 1997, 44(3): 150-155.
- [3] 陈理君, 杨立, 钱业青. 轮胎花纹噪声的发声模型[J]. 轮胎工业, 1999, 19(10): 599-602.
- [4] 张福炎. 多媒体计算机声音和视频信息处理工具[M]. 南京: 南京大学出版社, 1996. 30-120.
- [5] 杨立, 黄向宇. 计算机噪声仿真的软硬件设计方法[J]. 声学技术, 1998, 17(4): 148-150.
- [6] 马大猷. 噪声控制学[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 414.
- [7] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996. 323.
- [8] 贺海留, 贾云海. 轿车轮胎的室内噪声测量[J]. 橡胶工业, 1997, 44(2): 102-111.
- [9] 金新航. 轮胎花纹噪声仿真系统[D]. 武汉: 武汉工业大学, 1997.
- [10] 陈理君, 张艳, 杨立. 低噪声轮胎花纹设计的原理与方法[J]. 轮胎工业, 2001, 21(5): 270-276.

收稿日期: 2001-07-21

Computer sound emission for simulating tread patterns noise

CHEN Li-jun¹, ZHANG Yan-kun¹, YANG Li¹, LIN Hai-jun¹, YANG Guang-da²

(1. Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China; 2. Shanghai Michelin Warrior Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: The information was collected from the time-domain waveform, and then formed a sound file

in WAV format by using sixteen digi PCM code , which was transmitted on a multi-media device with the background noise to realize the computer-sound emission for simulating the tread patterns noise. It was confirmed through the test that the simulated noise was very close to the measured noise ,the Doppler effect was really true ,and thus a economic test environment and an effective tool for the subjective and objective assessment of tire noise were obtained.

Key words :tire ;tread patterns noise ;simulation ;sound emission

山东玲珑橡胶集团公司 奏响节能降耗主旋律

中图分类号:F27 文献标识码:D

近几年来,轮胎市场的质量竞争、价格竞争日趋激烈,各轮胎生产厂纷纷向管理要效益,适应市场的变化。面对新的市场竞争形势,山东玲珑橡胶集团在降低成本上下功夫,在节能降耗上动脑筋,提出了“企业上下齐努力,打好节能降耗攻坚战”的战略口号,并将2001年作为企业的节能降耗年。因此公司上下量化指标、强化责任,奏响了挖潜降耗、节能增效的主旋律。经过公司广大干部职工的共同努力,仅上半年就节能增效达400多万元。

第一是领导上心。今年年初公司对上一年度各项费用的开支情况进行了分析研究,纵向考察,横向比较,提出了降耗的目标和计划。总体原则是压缩非生产性开支,降低原材料成本,提高能源和设备的利用率,并将节能降耗的指标量化到了各单位,直接把责任落实到了一把手头上,节奖超罚;每月对各单位节能降耗情况进行检查通报,对巡查时发现的问题责令所在单位一把手限期整改和整顿,使各单位有了工作压力和紧迫感。6月,销售经理发现一辆回收废钢铁的运输车上装有废钢管,而有些还可以在安装设备时派上用场,于是当即将车扣留,并责成相关部门进行排查,将能用的钢材全部从车上卸了下来,并立即召开了现场会,给有关人员上了一堂现实的节能课。

第二是部门细心。对购进的各种物资和原材料层层进行把关审计和监督,防止损害企业利益的现象发生;对内部存在的问题进行自我曝光,不掩不盖,求真务实,不放过任何节能降耗的时机。有的车间组织开展小改小革,有的部门深入市场进行调查研究,堵漏补缺。5月上旬,车间和物管部门发现原材料供应存在短斤少两的现象,听到

反映后有关部门迅速组成了检查小组,对正在使用的原材料逐一进行了排查,集足了证据,对12家原材料计量不合格的供应厂家进行了通报和处罚,维护了企业的利益。

第三是职工关心。由于节能降耗直接涉及职工的切身利益,职工对所经手使用的各种工具和用品非常关心,能省就省,能用就用,决不轻言放弃,如果自己解决不了就向部门和车间提合理化建议。6月份五车间一职工发现从仓库支领的粘合剂功能全,但价格高,而橡胶专用粘合剂使用效果和用量与仓库支领的相差无几,但价格仅相当于支领胶的1/5左右,后来反映到有关部门,降低了粘合剂费用。

由于企业员工上下同心,步调一致,我公司节能降耗工作正有条不紊地顺利开展,预计随着各项措施的进一步落实,全年节能创效将达到千万元以上。

(山东玲珑橡胶集团公司 刘纯宝供稿)

横滨橡胶与杭橡集团合资建厂

中图分类号:TQ330.8 文献标识码:D

世界第七大轮胎公司日本横滨橡胶株式会社与杭州橡胶集团合资成立杭州横滨轮胎厂。

该项目市场运作将于2002年1月启动。一期投资3000万美元,计划在2003年4月投产,年产轿车轮胎75万套,并使用由横滨橡胶株式会社研发的生产技术;二期投资3000万美元,计划在2006年扩大生产,达到年产轿车轮胎150万套。该项目已经得到中国政府的许可。新的合资公司中,杭州橡胶集团将占50%的股份,横滨橡胶株式会社占45%,其余的5%由横滨橡胶株式会社的亚洲经销商新加坡的一家公司拥有。

(摘自《中国化工报》,2001-11-14)