

轮胎花纹顺逆向沟噪声动力学分析

陈理君¹, 邹武¹, 李福军², 吴桂忠²

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430070; 2. 北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039)

摘要:从动力学角度研究不同开口方向的花纹沟的噪声差别。分析及仿真试验结果表明, 逆向沟口喷出的气团除了原有速度外, 还加入了一个向前的车速的分量, 而顺向沟喷出气团速度减去一个分量速度; 根据推导的经验公式得出逆向花纹沟的噪声比顺向沟大 3 dB 左右。

关键词:轮胎; 花纹噪声; 花纹沟; 开口方向

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2006)05-0266-04

我们已经对花纹块和花纹沟的发声机理进行了多年研究, 并在声点阵分析基础上提出花纹块和花纹沟的初级噪声模型以及轮胎花纹噪声的 3 个发声准则^[1,2]。试验表明, 花纹沟的发声与其长度、宽度和走向有关, 而与其深度基本无关。根据不同路面条件, 当车速大于 $120 \sim 140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 沟的泵浦噪声占据主导地位。

本工作对顺/逆向花纹沟发声进行动力学分析, 并计算两者的噪声差。

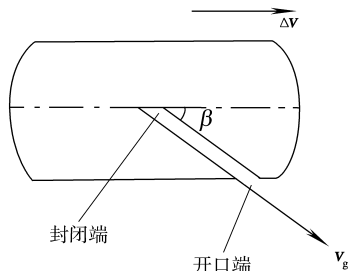
1 顺/逆向花纹沟噪声的动力学分析

在一定负荷下, 汽车以大于 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度行驶时, 花纹沟中的空气被挤压并以一定速度喷出沟外产生噪声^[3]。图 1 所示为轮胎运转时的花纹沟胎痕。图 1(a)中的花纹沟类似封闭端先着地, 图 1(b)中的花纹沟类似开口端先着地, 沟内气体在汽车行驶过程中被挤压而喷出沟外。图 2 所示为轮胎行驶时的速度方向。

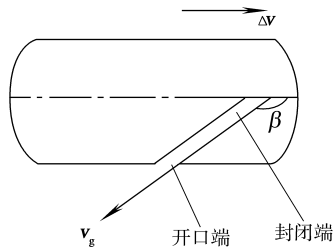
图 1 和 2 中, R 为轮胎半径, L 为胎痕长度, v_c 为汽车行驶速度, v' 为轮胎的转动线速度, v'' 为 v' 投影到车前进方向的速度分量, $\Delta v = v_c - v''$, v_g 为气团从沟内喷出时相对于车的速度, $\sin \alpha = \frac{L}{2R}$ 。

汽车行驶速度应该与轮胎转动线速度相同, 即 $|v_c| = |v'|$ 。可计算得到 $|v''| = |v'| \cos \alpha$ (一般 $0^\circ < \alpha < 90^\circ$), 因此 $|v'| > |v''|$, 则 $|v_c| > |v''|$ 。

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。



(a) 逆向沟



(b) 顺向沟

图 1 花纹沟胎痕示意

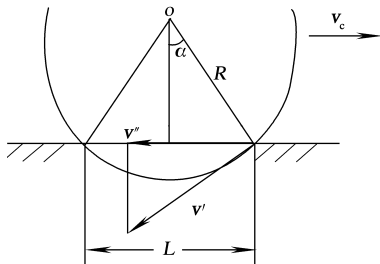


图 2 轮胎行驶时的速度方向

$|\Delta v|$ 可由下式得到:

$$|\Delta v| = |v_c| - |v''| \quad (1)$$

将 $|\mathbf{v}''| = |\mathbf{v}'| \cos \alpha$ 带入式(1)得到

$$|\Delta \mathbf{v}| = |\mathbf{v}_c| [1 - \sqrt{1 - (\frac{L}{2R})^2}]$$

$\Delta \mathbf{v}$ 投影到 $\mathbf{v}_g$ 方向上的分量 $\mathbf{v}_d$ 大小为:

$$|\mathbf{v}_d| = |\Delta \mathbf{v}| \cos \beta =$$

$$|\mathbf{v}_c| [1 - \sqrt{1 - (\frac{L}{2R})^2}] \cos \beta \quad (2)$$

沟口空气团喷出时的合成速度为 $\mathbf{v}_h$

$$\mathbf{v}_h = \mathbf{v}_g + \mathbf{v}_d$$

显然有 $R > L/2$, 得到 $1 - \sqrt{1 - (\frac{L}{2R})^2} > 0$ 。

在胎痕前沿的行驶方向上, 空气团是被压出花纹沟的, 因此具有动能(W)和势能(E)^[4]。气团从花纹沟内喷出后, 其动能和势能都将转换成热能和声能(W_s)。设 W 和 E 转换成 W_s 的比例分别为 η 和 ζ , 则 $W_s = \eta W + \zeta E$ 。气团的动能越大, 转换成的声能越多。

在一定的车速和负荷条件下, 对式(2)讨论如下。

(1) $\beta = 90^\circ$ 时, $\cos \beta = 0$, $\mathbf{v}_d = 0$, 即花纹沟为横向沟, 没有附加速度分量加在喷出的气团上, 气团的出口速度保持不变。

(2) $\beta < 90^\circ$ 时, $\cos \beta > 0$, $\mathbf{v}_d > 0$, 即花纹沟为逆向沟, 有一个正值速度分量加在喷出的气团上, 使气团的出口速度增大。

(3) $\beta > 90^\circ$ 时, $\cos \beta < 0$, $\mathbf{v}_d < 0$, 即花纹沟为顺向沟, 有一个负值速度分量加在喷出的气团上, 使气团的出口速度减小。

2 逆/顺向沟噪声声压级差量的估算

设 $R = 30 \text{ cm}$, $L = 18 \text{ cm}$, β 为 $\frac{\pi}{4}$ 和 $\frac{3\pi}{4}$, 车速为 $140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 则

$$|\mathbf{v}_h| = |\mathbf{v}_g| \pm |\mathbf{v}_c| [1 - \sqrt{1 - (\frac{L}{2R})^2}] \frac{1}{\sqrt{2}} \approx$$

$$(|\mathbf{v}_g| \pm 1.3) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3)$$

则逆向沟喷口气团速度比顺向沟大 $2.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。若喷口气团速度为 $26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 则逆向沟与顺向沟喷口气团速度比为:

$$(26 + 1.3) / (26 - 1.3) = 1.1$$

根据莱特希尔 U^8 理论^[5], 湍流噪声功率与

其喷口气团速度的 8 次方成正比, 从而可计算出逆、顺向沟发出噪声的声压级(L)之差。

$$\text{根据} \quad L = 10 \lg \frac{\omega}{\omega_0}$$

式中, ω 为噪声功率, ω_0 为参考量, 故逆、顺向沟声压级之差为

$$\Delta L = 10 \lg \frac{\omega_1}{\omega_0} - 10 \lg \frac{\omega_2}{\omega_0} = 10 \lg \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

已知 $\frac{\omega_1}{\omega_2} = (\frac{v_1}{v_2})^8$, 则

$$\Delta L = 10 \lg (\frac{v_1}{v_2})^8 = 80 \lg \frac{v_1}{v_2}$$

由式(3)得出 $\frac{v_1}{v_2} = 1.1$, 因此 $\Delta L = 3.3 \text{ dB}$ 。即开 45° 逆向沟比开 135° 顺向沟的花纹噪声声压级大 3.3 dB 。

3 噪声试验和经验公式

在实验室内的转鼓上做噪声试验时也发现, 逆向沟的噪声比顺向沟大。在这种测试条件下, 轮胎没有车前进速度的分量, 因此在沟喷出的气团上没有附加的分量速度。逆向沟噪声较大的原因在于沟的内侧口先着地, 并被胎痕区地面“封闭”, 可视为一端开口的沟, 沟内的气团是由内向外压缩, 并喷射出去; 而顺向沟是外侧端口先着地, 内侧口由于还未着地, 因此是开启的, 这样沟内气团压缩后, 向沟内、外侧两个端口喷射, 速度较小, 气团获得的动能就小。此外, 由于顺向沟是两头通气, 气团有效压缩量减小, 使沟内气团获得的动能和势能之和也较小, 一般小 50% 左右。如果其中一部分转化成噪声能, 则逆、顺向沟发出的噪声相差 3 dB 左右, 即

$$\Delta L = 10 \lg \frac{\omega_r}{\omega_c} \approx 3 \text{ dB}$$

其中, ω_r 为逆向沟噪声功率, ω_c 为顺向沟噪声功率。

纵向沟除气流的微弱高频涡流噪声外基本上不产生大的噪声, 横向沟噪声较大, 结合逆向沟噪声大的情况, 势必在逆向沟某个角度存在一个声压极值(P), 可按下式计算

$$P = K \sin \beta |\cos(\beta + \frac{70\pi}{4v_c})|$$

式中, K 是常数, v_c 为车速 (考虑其不小于 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的情况)。

P 随着 β 的变化而改变, 故需对 Hayden^[6,7] 提出的轮胎花纹沟空气泵浦噪声的经验公式进行修正。声源发出的总声压级的原式为:

$$L = 68.5 + 20\lg \frac{gl}{s} + 10\lg n + 40\lg v_c + 20\lg f_c - 20\lg r$$

上式也可表示为:

$$L = 20\lg \left(\frac{10^{68.5} gl \sqrt{n} v_c^2 f_c}{sr} \right) \equiv 20\lg \frac{P_d}{P_r} \quad (4)$$

式中, P_d 为等效声压, P_r 为参考声压, g 为沟深, l 为沟宽, s 为沟间距离, n 为胎面上横沟数, f_c 为胎面沟容积变化率, r 为测点到声源的距离。

对于逆向沟应附加声压 ΔP , 定义 $\epsilon = \frac{\Delta P}{P_d}$, 则式(4)变为

$$\begin{aligned} L' &= 20\lg \left(\frac{P_d + \Delta P}{P_r} \right) = \\ &20\lg \left[\frac{P_d \left(1 + \frac{\Delta P}{P_d} \right)}{P_r} \right] = \\ &20\lg \frac{P_d}{P_r} + 20\lg (1 + \epsilon) = \\ &L + 20\lg (1 + \epsilon) \end{aligned}$$

一般 ϵ 为 $20\% \sim 100\%$, 则逆向沟比顺向沟的声压级增大 $(2 \sim 6) \text{ dB}$ 。

4 仿真分析

逆向花纹沟的 β 角取 45° , 顺向花纹沟的 β 角取 135° 。花纹节距比为

$$a : b : c : d : e = 1 : 1.45 : 1.68 : 2.26 : 3.16$$

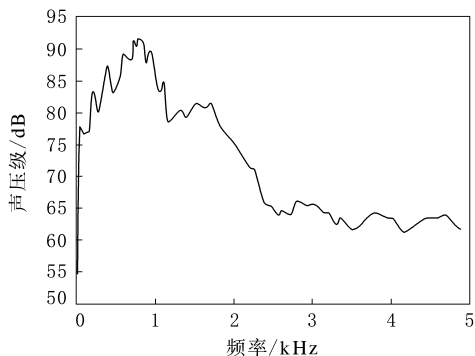
节距排列为 $badbecedbec$, 花纹周期数为 4。轮胎行驶方向外侧右边一段花纹如图 3 所示。顺、逆向沟的频域仿真曲线如图 4 所示。由图 4 可见, 逆向沟的噪声大于顺向沟。

5 结语

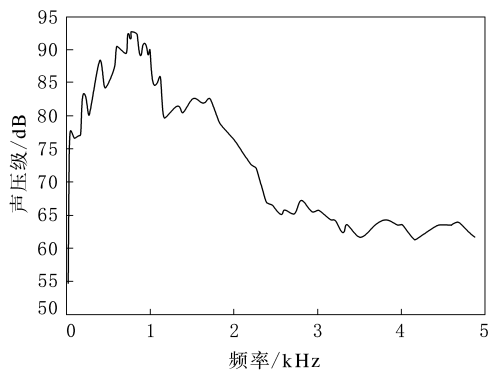
从动力学角度分析并论证了轮胎花纹逆向沟发出的噪声大于顺向沟, 逆向沟口喷出的气团除



图 3 轮胎花纹示意



(1) 顺向沟



(2) 逆向沟

图 4 顺/逆向沟花纹轮胎的噪声对比

了原有速度外, 还加入了车速方向的速度分量; 而顺向沟喷口气团速度要减去该分量速度, 从而导致两种开口方向花纹噪声的差别。

轮胎花纹设计的考虑因素还包括轮胎的抓着力, 抓着力直接影响汽车行驶的安全性。横向沟的抓着力比纵向沟大, 且排水性好; 横向弯曲沟的抓着力比横向直沟大。顺向沟可降低轮胎花纹噪声, 但同时会减小轮胎的抓着力, 降低排水性, 因此顺、逆向沟的数量要合理分析, 综合考虑。

参考文献:

[1] 陈理君,杨立,钱业青,等. 轮胎花纹噪声的发声机理[J]. 轮胎工业,1999,19(9):515-518.

[2] 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.

[3] 陈理君,张艳堃,杨立. 低噪声轮胎花纹设计原理与方法[J]. 轮胎工业,2001,21(5):270-276.

[4] 陈理君,董得义,李福军,等. 轮胎花纹噪声动力学分析[J]. 轮胎工业,2004,24(3):131-134.

[5] 马大猷. 现代声学理论基础[M]. 北京:科学出版社,2004. 293-310.

[6] Heckl M. Tyre noise generation[J]. WAEW,1989, 12(9): 167-171.

[7] Kim G J, Holland K R, Lalor N. Identification of the airborne component of tyre induced vehicle interior noise[J]. Appl. Acous,1997,51(2):141-156.

收稿日期:2005-11-14

Dynamic analysis of noise from forward and backward tread grooves

CHEN Li-jun¹, ZOU Wu¹, LI Fu-jun², WU Gui-zhong²

(1. Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China; 2. Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry, Beijing 100039, China)

Abstract: The effect of the open end directions on the noises from tread grooves was investigated from the point of view of dynamics. The results of simulation test and analysis showed that the speed of air mass jetted from the open end of backward groove was equal to the original speed plus a forward component of vehicle speed, and that of forward groove was equal to the original speed minus a forward component of vehicle speed. It was found from the experimental formula that the noise from the backward groove was 3 dB greater than that from the forward groove.

Keywords: tire; tread patterns' noise; tread groove; open end direction

三角集团获“山东省质量管理奖”

中图分类号:F27 文献标识码:D

2006年2月12日,山东省实施名牌战略工作表彰电视会议召开,三角集团荣获“山东省质量管理奖”。

“山东省质量管理奖”是山东省政府对实施卓越质量管理并取得显著质量、经济和社会效益的企业授予的质量方面最高奖项。该奖项的评审主要依据 GB/T 19580—2004《卓越绩效评价准则》和 GB/Z 19579—2004《卓越绩效评价准则实施指南》。

多年来,三角集团坚持全面深化质量管理,依靠技术创新和科学管理,不断追求卓越,“三角”品牌和三角集团的知名度不断提高。从2005年4月起,三角集团又积极采用 GB/T 19580—2004 和 GB/Z 19579—2004 标准,并将其贯彻到实际工作中。在标准实施过程中,三角集团不断总结经验,坚持“质量领先,管理科学,创新发展”的管理理念,形成了具有三角特色的质量管理方法。

“山东省质量管理奖”的获得表明了三角集团的质量创新、质量改进、质量管理工作上了一个新台阶,对推动三角集团进一步实施名牌战略、提升质量管理水平、打造名牌企业起到了推动作用。

(三角集团 邓 玮供稿)

红豆力车轮胎争创“中国第一品牌”

中图分类号:U463.341+.59 文献标识码:D

红豆集团红豆力车轮胎厂秉承创“中国第一品牌”的目标,坚持“高质量、高品位、高追求”的经营理念,落实“精益求精、尽善尽美”的品质方针,产品全部自主设计、开发、生产,至今已拥有三大系列 150 多个规格的产品,年开发新产品 30 多个。

该公司主要生产摩托车、电动自行车和三轮车轮胎,是国内唯一一家拥有从纺丝、织布、浸胶到成品轮胎产出全套生产流程的企业,产品年总销售量位于行业前三位,摩托车轮胎年销售量居全国第 1 位,产品还销往尼日利亚、希腊等 40 多个国家和地区。2005 年该公司总销售额已超过 5 亿元,上缴利税 1 000 多万元。2000~2005 年,该公司连续被国家农业部评为“全面质量管理达标企业”,其产品被评为“江苏省名牌”。

(红豆集团 红 轩供稿)