

Study of Tire Rolling Noise

Jian Huang¹, Zhonglei Man¹, Xiaomin Liu¹, Hui Song², Tingxi Li²

¹Inspection and Quarantine Technical Center of Shandong Entry & Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao Shandong

²Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

Email: litx@sdust.edu.cn

Received: Aug. 17th, 2016; accepted: Sep. 4th, 2016; published: Sep. 7th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Vehicle noise has attracted more and more attention because of the development of the automotive industry. Vehicle tire noise is the main source of noise, so, we are increasingly studying tire noise. This paper described the study of the history of the tire noise, the principle of the tire noise and the factors of the tire noise. Finally, we also described a few simple ways including using the low-noise pavement, optimizing the structure of the tire tread and changing the tread rubber material to reduce tire noise. This study has created the conditions for improving and perfecting the tire manufacturing methods.

Keywords

Tire Noise, Generating Principle, Influencing Factors, Low Noise Tires

轮胎滚动噪声的研究浅析

黄 健¹, 满忠雷¹, 刘晓民¹, 宋 慧², 李廷希²

¹山东出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 山东 青岛

²山东科技大学, 山东 青岛

Email: litx@sdust.edu.cn

收稿日期: 2016年8月17日; 录用日期: 2016年9月4日; 发布日期: 2016年9月7日

摘 要

随着汽车行业的发展, 车辆噪声越来越受到人们的关注, 车辆噪声的主要来源是轮胎噪声, 因此, 对轮

胎噪声的研究也越来越广泛。本文主要介绍了轮胎噪声的研究历史，轮胎噪声产生的原理以及轮胎噪声的影响因素等。最后，还叙述了降低轮胎噪声的几个简单方法，它们分别为：采用低噪声路面、优化轮胎的花纹结构和改变胎面胶材料。这些研究为改进和完善轮胎制造方法创造了条件。

关键词

轮胎噪声，产生原理，影响因素，低噪轮胎

1. 引言

近年来，汽车行业飞速发展起来，汽车的使用越来越多，汽车在给人们带来方便的同时，也带来了一些挑战，比如能源的枯竭、环境的污染、噪声的污染等。噪声不仅对人们的身体或听力方面产生严重的危害，还可能会对人们的心理产生不好的影响，噪声会使人烦恼、激动、易怒，甚至失去理智等[1]。另外，汽车噪声还可能会使驾驶员产生烦躁、反应迟钝，严重危害了人们的行驶安全。因此，减少汽车噪声成为广大人们所关注的焦点。

对于汽车的噪声，除发动机、车体和悬挂系统之外，大约有一半来自于轮胎。轮胎的振动特性以及噪声强弱直接关系到整个汽车的噪声大小和舒适程度。我们现在使用的汽车，在高速公路上行驶时最主要的噪声为轮胎产生的噪声。因此，轮胎现正成为当今汽车减少和消除噪声、保持静音的主要对象[2]。有研究表明，在加速行驶条件下，轮胎传递和放射的噪声，占乘用车的 30%和载重汽车的 10%；而在正常行驶时，其占有量更是高达 70%~80%和 50%~70%，显然它已上升为噪声来源的主要因素[3]。现在，降噪静音已经成为绿色环保型轮胎的重要标志之一。

轮胎噪声的产生机理相当复杂，它与很多因素都有关系，比如制造轮胎的材料性能、轮胎花纹的结构、轮胎本身的刚度以及路面状况、汽车行驶速度等。近几年，随着噪声污染问题的愈发严重性以及给人们带来的严重伤害，人们越来越对此给予广泛的关注。因此，世界各国轮胎标签法中对轮胎噪声的要求也越来越严格，轮胎噪声的研究和整顿势在必行，如何降低汽车轮胎噪声已经成了目前急待解决的问题[4]。另外，研究轮胎噪声产生的机理和影响轮胎噪声产生的因素，对于制造和设计低噪声轮胎具有重要的参考和指导意义。本文简单的叙述了轮胎噪声研究的历史、轮胎噪声产生的原理、轮胎噪声的影响因素以及降低轮胎噪声的方法等。

2. 轮胎噪声的研究历史

2.1. 20 世纪 70 年代

国外对轮胎滚动噪声的研究开始的比较早，20 世纪 70 年代人们就已经正式开始了对轮胎滚动噪声的研究。起初，只是单纯的依靠测试数据来分析，对噪声产生机理的研究是人们研究工作的主要目标和手段。除此之外，研究人员还给出一些计算模型，并简单提出了一些降低噪声的方法与措施[5]。1971 年，Hayden J. R. E.首次提出了轮胎的噪声机理主要是空气泵吸机理，并对其进行了数学描述，得出了计算轮胎花纹沟空气泵吸噪声级的半经验公式[6]；后来 S. E. Samuels 等人对 Hayden J. R. E.的模型进行了改进，但得出的模型仅限于自由滚动轮胎[7]。慢慢的关于轮胎噪声的研究开始变得越来越重视，随后相继有 F. R. Archibald [8]对车辆轮胎花纹噪声源进行了初步分析，R. K. Hillquist 和 P. C. Carpenter [9]对汽车的行驶条件和轮胎的条件参数，诸如车辆速度，车辆负载，充气压力，磨损，尺寸和路面纹理等对轮胎噪声的影响做了研究等。

2.2. 20 世纪 80 年代

到了 20 世纪 80 年代, 随着学习振动理论和物理学的不断加强, 人们关于轮胎噪声的研究已经进入试验测试和模拟研究相结合的阶段。1985 年, Lawrence J. 等人对横向花纹沟槽的研究得出了泵浦作用和气柱共鸣是横向花纹沟槽产生噪声的机理的结论。这些基础性研究工作是噪声定性和定量研究的基础, 开辟了轮胎噪声研究的道路[10]。1986 年 M. Heckl 对轮胎振动辐射特性和轮胎噪声产生的机理做了全面而详细的叙述, 他得出结论, 轮胎噪声的产生是轮胎和路面相当复杂的作用, 其中最主要的作用是由道路的粗糙度引起的音辐射和振动[11]。1987 年, Francis Campos and Yves Herbelleau [12]介绍了几种降低轮胎行驶中噪声的方法。到了 80 年代末, 许多研究专家相继开始对轮胎动态特性进行理论研究, 并且建立了轮胎动态特性模型。

2.3. 20 世纪 90 年代

20 世纪 90 年代, 人们对轮胎噪声的研究已经发展到把轮胎和路面作为一个整体系统来看待。有关日本研究专家探讨了路面粗糙度对轮胎噪声的影响。他们认为, 路面不平整必将会导致轮胎振动, 而轮胎振动就产生了轮胎的噪声, 因此, 他们认为, 轮胎振动是产生轮胎噪声的最主要的因素。另外, 他们在此理论基础上, 又随后提出轮胎-路面接触模型, 通过这个模型, 我们可以计算路面粗糙度对轮胎噪声的影响。1992 年, Nakajima Y. 等人开始对轮胎的噪声和振动进行了预先测试, 并且采用了有限元、边界元和模态分析相结合的方法[10]。Laurie W. Killian 等人研究了通过改变胎面花纹来改变其对轮胎噪声的影响[13]。随后, 又有 Wolfgang Kropp 等人研究了胎面带的刚度对轮胎噪声产生机制的影响, 并建立了描述粗糙路面上平稳轮胎滚动的一个理论模型[14]。

我国对于轮胎滚动噪声的研究起步比较晚, 开始于 20 世纪 90 年代。上海轮胎橡胶集团股份有限公司建立了国内最早的轮胎噪声实验室, 开始了国内对轮胎噪声的研究。随后, 相继有更多的人开始了对轮胎滚动噪声的研究。1996 年, 贺海留等人[15]综述了轮胎噪声发出量影响的最新研究进展, 阐明了轮胎产生声学扰动及其与车辆相互作用的基本机理。并且他们的研究介绍了能够分析轮胎对车辆总噪声产生量影响机理的一些测量方法。到了 20 世纪, 上轮集团与同济大学声学研究所共同组建了“上轮-同济轮胎噪声与振动技术中心”。后来, 在轮胎噪声发声机理的研究中, 哈尔滨工业大学建立了便于分析的物理数学模型, 并对轮胎噪声进行量化描述[16]。目前, 关于轮胎滚动噪声的研究越来越多, 国内有多所其他高校正在研究低噪声轮胎的降噪问题, 如长安大学、北京公路学院、武汉理工大学、同济大学等。有的院校从实验方法研究, 有的从轮胎花纹参数特性出发[17]。

3. 轮胎噪声产生的原理及因素

3.1. 轮胎噪声产生的自身条件

轮胎是一个高度复杂的非线性弹性体, 是由不同的材料和不同的结构部位构成的。轮胎的噪声产生的原理比较复杂, 前人的研究各不相同, 因此在这里只做简单的分析。轮胎噪声产生的机理与轮胎本身的结构和性质有关, 目前可以将轮胎噪声形成的机理分为三个方面来讨论, 它们分别为轮胎接地前沿噪声、轮胎中央噪声和轮胎接地后沿噪声[18]。

3.1.1. 轮胎接地前沿噪声

轮胎的前沿区域接触地面的瞬间, 轮胎上的花纹块与路面发生撞击, 从而使汽车轮胎发生径向、横向和纵向压缩性变形, 使胎面沟部的容积减小, 从而路面四部的空气或胎面槽内的空气便被挤出, 继而发生撞击的噪声。另外, 当运动的轮胎与路面接触时, 胎面槽中的气体被挤压出来, 产生了类似于喷射

脉冲的噪声，这股噪声沿汽车行驶的方向合成声波。该声波具有声音强度高、辐射频率大的特点，被认为是产生轮胎噪声能量的主要部分[19]。

3.1.2. 轮胎中央噪声

轮胎印痕中央区两外侧，随着轮胎沟槽与地面之间空气管的形成，强气流通过时就会产生气柱共鸣声，进而产生辐射噪声。除此之外，轮胎花纹与地面接触时，必定会因轮胎和地面之间相互摩擦而产生摩擦噪声，这种现象在急刹车时尤为常见。

3.1.3. 轮胎接地后沿噪声

轮胎的后沿区域快速离开路面时，受压缩的花纹又重新舒展，后缘胎面沟部的容积增大，空气迅速被再次吸入空腔。空气的不连续造成了压力波动，从而产生可听声。另一方面，当胎面元素离开地面时，轮胎和路面的接触区产生切向力，部分切向力导致轮胎在路面上的滑移引起轮胎外胎形变的摩擦粘滞力以及外胎的滑移导致轮胎表面的振动，从而产生噪声[19]。与前沿声波相比，后沿声波的强度更弱，辐射频率更低、声阻抗更小，是产生轮胎噪声能量的次要部分。

总之，汽车在行驶时，轮胎因滚动而在接地前使沟槽内的空气被挤出，胎面沟槽的容积变小，使轮胎产生压缩性变形。当轮胎在离开路面时，沟槽容积回复，空气又再次流回槽内，如此反复，无论是在接地或是离地时都会产生压力变化，形成噪声[20]。

3.2. 轮胎噪声产生的使用条件

轮胎噪声是随着轮胎的滚动速度大小的增加而增加的，并且在速度较大的时候增长更加明显。因此，运行速度的选择对轮胎的噪声有着较大的影响。

有研究表明，频谱对轮胎噪声也有一定的影响，不同的频谱产生不同的转速，从而使汽车轮胎噪声的产生机理不同。较低转速下噪声主要源自轮胎与路面间的粘滞噪声，主要增加高频范围内声压；而高转速下噪声则主要源于轮胎。路面粘滞噪声、空气的压缩与释放噪声与轮胎花纹剧烈击打路面产生的震动噪声，从而也使低频范围内声压增长明显。

不同路面材料对轮胎噪声的影响是不同的，具体表现在噪声的成分组成上。在同样的路面厚度下，密实路面所产生的粘附噪声(由路面材料与轮胎之间材料特性决定，接触面积越大噪声越大)与空气泵噪声(由轮胎前沿和后缘的空气压力差所产生的涡流引起)较大，而具有一定空隙的路面则可以有效地降低上述两类噪声[21]。

4. 降低轮胎噪声的方法

噪声在各个方面，各个层次都给人们带来莫大的危害，因此，我们要减少不必要的噪声，降低不可避免的噪声。基于对轮胎噪声的发声机理和影响轮胎噪声的因素的理解，我们通常采用三种方法来降低汽车噪声，一种是采用低噪声路面，优化路面纹理，减少路面产生的噪声；二是优化轮胎的花纹结构，减小因轮胎花纹而产生的噪声；三是改变胎面胶材料或改变原料配比。

4.1. 低噪声路面

在道路建设方面，采用吸声材料或吸声结构可以达到降低噪声的效果，也就是说将道路的吸声因数增大，因为吸声因数越大，吸声效果就越好。有研究显示，将废旧轮胎中的橡胶添加到传统的铺路材料如沥青、沙石中，当其比例仅占路面材料的3%时，就能使这种道路减少70%的噪声。这种方法不仅降低了轮胎的噪声，还避免了浪费，使废旧轮胎得到了很好的利用[22]。

通常，我们主要采用增大路面的粗糙度和减小路面凹凸不平度来达到优化路面纹理的目的。采用这两种方法的原因是，增大路面粗糙度到一定程度，汽车行驶时，轮胎滚动因胎面振动而产生的轮胎噪声减小，继而因摩擦振动而产生的噪声也相应减小。当路面的凹凸不平度增加时，胎面振动也跟着增加，从而轮胎的振动噪声增大。

4.2. 胎面胶材料

根据对轮胎公司的研究结果表明，不同胎面胶对噪声影响的幅度可以达到 5 dB，轮胎的噪声与轮胎的阻尼、刚度、动平衡和均匀性等有关，要降低轮胎的噪声一个非常重要的设计就是选择合适的胎面材料，可以采用高迟滞性橡胶化合物材料，这种材料的轮胎噪声虽然比一般天然橡胶的要稍大一些，但是却能提高轮胎的均匀性和动平衡、调整轮胎负荷平衡和整体刚度[23]-[25]。

4.3. 低噪声轮胎花纹优化

轮胎噪声的主要来源是轮胎胎面花纹的噪声，因此，降低轮胎噪声的主要方法是优化轮胎花纹设计。优化汽车轮胎花纹设计，降低噪声，主要包括以下几个方面的内容：

1) 优化轮胎花纹的结构。改变花纹沟槽的宽度、深度和角度以及改变花纹块的刚度和形状等来改变轮胎噪声，但是改变这些条件又会引起花纹沟槽的排水性能，因此采用较浅且较窄的辅助周向花纹沟能够减小花纹沟横断面产生的振动和泵浦噪声。另外，采用斜向花纹沟设计可降低泵气的频率，从而降低轮胎噪声[2]。

2) 优化轮胎花纹的节距。轮胎花纹一般由几种节距图案排列组合而成，节距则是胎面图案设计段。陈理君等人[26]的实验结构表明，汽车轮胎采用多种不等节距花纹时，频谱均衡度更好，因此产生的噪声更低。实验结果还表明，轮胎节距随机排列时，能使特定频率下集中音的能量分散成宽频带的音，使声音变得平滑，人耳不易感觉到。

3) 优化轮胎花纹的花纹块。有关实验证明，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噪声[27]。

4) 优化轮胎花纹的条数。轮胎花纹条数也是影响轮胎花纹噪声的重要因素。陈理君[28]等人的相关实验证明，随着轮胎花纹条数的增加，轮胎花纹的降噪效果更好，但是其它诸如耐磨性、抓着力等物理性能会下降。

何剑峰[29]等人就不同轮胎花纹的同型号轮胎产生的噪声做了比较分析，实验结果如下表 1 所示。

Table 1. The features of tire tread

表 1. 轮胎花纹特征

	横向沟槽	纵向沟槽	沟槽深度	胎肩花纹块	中间花纹块
1	深浅交替，有斜横向沟槽，宽度中等	3 条主要纵向沟槽，2 条次要纵向沟槽	8 mm	体积中等，不等节距，反对称	体积中等，反对称
2	深浅交替，有斜横向沟槽，宽度中等	4 条主要纵向沟槽	8 mm	体积中等，不等节距，不对称	体积中等，不对称
3	深浅交替，有斜横向沟槽，宽度较大	4 条主要纵向沟槽	8 mm	体积较大，不等节距，反对称	体积较大，反对称
4	深浅交替，有斜横向沟槽，宽度较大	4 条主要纵向沟槽	8 mm	体积中等，不等节距，反对称	体积较大，反对称
5	斜横向沟槽，宽度较大	2 条主要纵向沟槽，4 条次要纵向沟槽	8 mm	体积较大，不等节距，对称	体积较大，对称
6	长短交替，深浅交替，宽度较小	4 条主要纵向沟槽，2 条次要纵向沟槽	8 mm	体积较小，不等节距，反对称	体积较小，反对称

通过以上 6 组实验的比较, 他们得出结论: 具有深浅交替的横向沟槽且其宽度较小, 有较多纵向沟槽, 并且花纹块体积较小、对称的胎面花纹的轮胎产生的噪声比较低; 相反的, 胎面花纹块体积较大, 纵向沟槽少或横向沟槽宽度大的轮胎噪声比较大。

5. 结束语

综上所述, 通过对轮胎噪声的研究历史, 轮胎噪声产生的原理、轮胎噪声产生的自身和外因以及降低轮胎噪声的几个简单方法的阐述, 使我们深刻认识到轮胎噪声的研究已经取得了一定的成果, 但仍然存在一些问题。但是随着我国汽车轮胎噪声研究的不断深入, 技术水平不断的提高, 我相信未来会有更好的发展。

基金项目

国家质检公益性科研专项《轮胎安全环保关键技术与质控体系研究及应用》(201410067)。

参考文献 (References)

- [1] 顾尚华. 道路交通噪声的危害与控制措施[J]. 交通与运输, 2003(2): 24-25.
- [2] 董毛华, 李明, 闫芳. 轿车子午线轮胎噪声探讨[J]. 轮胎工业, 2009, 29(1): 24-29.
- [3] 于清溪. 轮胎噪声(静音)的探讨[J]. 橡胶技术与装备, 2013, 39(4): 6-20.
- [4] 刘海潮, 葛剑敏. 变节距花纹轮胎噪声特性研究[J]. 声学技术, 2015, 34(2): 369-372.
- [5] 冯希金, 危银涛, 冯启章, 等. 轮胎噪声研究进展[J]. 轮胎工业, 2015, 35(9): 515-523.
- [6] William, A.L. (1973) Tire Road Interaction Noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **53**, 317. <http://dx.doi.org/10.1121/1.1982295>
- [7] 于增信, 谭惠丰, 杜星文. 轮胎花纹沟噪声研究进展[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(1): 105-109.
- [8] Archibald, F.R. (1974) An Elementary Analysis of a Vehicle Tire Tread Noise Source. *Journal of Sound and Vibration*, **34**, 285-286. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-460X\(74\)80311-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-460X(74)80311-1)
- [9] Hillquist, R.K. and Carpenter, P.C. (1973) A Basic Study of Automobile Tire Noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **54**, 331. <http://dx.doi.org/10.1121/1.1978329>
- [10] 范俊岩. 轮胎噪声研究的现状与发展[J]. 轮胎工业, 2006, 26(4): 195-197.
- [11] Heckl, M. (1986) Tyre Noise Generation. *WEAR*, **113**, 157-170. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1648\(86\)90065-7](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1648(86)90065-7)
- [12] Campos, F. and Herbelleau, Y. (1987) Reduction of the Travel Noise of Tires. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **81**, 582. <http://dx.doi.org/10.1121/1.394860>
- [13] Killian, L.W. (1994) Reduced Noise Generating Tread Pattern for a Tire. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **96**, 617-618. <http://dx.doi.org/10.1121/1.410411>
- [14] Kropp, W., Larsson, K. and Barrelet, S. (1998) The Influence of Belt and Tread Band Stiffness on the Tire Noise Generation Mechanisms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **103**, 2919. <http://dx.doi.org/10.1121/1.422108>
- [15] 贺海留. 轮胎对车辆噪声产生的影响[J]. 橡胶工业, 1996, 43(3): 172-181.
- [16] 毕义成. 轮胎噪音产生机理和测试方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛科技大学, 2013.
- [17] 吴灿. 载重轮胎花纹噪声及其降噪方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [18] 陈理君, 周玲, 肖旺新, 陈弘. 道路/轮胎噪声分析及其降噪路径[J]. 轮胎工业, 2009, 29(11): 654-658.
- [19] 王万英, 靳晓雄. 汽车整车轮胎噪声研究[J]. 上海汽车, 2008(7): 22-24.
- [20] 赵书凯, 邓世涛, 丁海峰, 姜晓辉. 轮胎噪声影响因素及低噪声轮胎设计方法[J]. 轮胎工业, 2014, 34(2): 76-80.
- [21] 蔡旭, 王端宜. 轮胎/路面噪音室内测量系统研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2011, 33(S1): 161-165.
- [22] 利用旧轮胎铺路减少噪音技术[J]. 珠江经济, 1999(8): 14.
- [23] 荣英飞, 丁海峰, 于利刚, 苗岱江. 低噪声轮胎的设计理念与技术分析[J]. 轮胎工业, 2013, 33(3): 131-134.
- [24] 李正江, 姜张华. 轮胎噪声浅析[J]. 轮胎工业, 2012, 32(8): 451-454.

-
- [25] 葛志伟, 李炳辉. 汽车的轮胎噪声[J]. 世界汽车, 1999(11): 23-24.
- [26] 陈理君, 杨唐胜, 杨立, 等. 低噪声轮胎花纹结构参数优化方法[J]. 轮胎工业, 2002, 22(12): 720-928.
- [27] 陈理君, 张艳莹, 杨立, 杨光大. 低噪声轮胎花纹设计原理与方法[J]. 轮胎工业, 2001, 21(5): 270-276.
- [28] 陈理君, 李晓辉, 杨立, 杨光大. 轮胎花纹噪声及其降噪方法[J]. 噪声与振动控制, 2004, 24(1): 10-13.
- [29] 何剑峰, 靳晓雄, 彭为, 王万英. 轮胎花纹对车内噪声声品质影响的研究[J]. 汽车工程, 2012, 34(4): 345-350.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>