轮胎噪声的分析与测试方法

黄　伟[1]，曹金凤[1*]，曹金鹏[2]

（1. 青岛理工大学 理学院，山东 青岛　266033；2. 青岛英联精密模具有限公司，山东 青岛　266111）

摘要：介绍国内外轮胎噪声的研究进展及测试方法。轮胎作为车辆与地面直接接触的部件，其产生的噪声对车辆性能影响很大。目前轮胎噪声的测试方法主要有滑行法、拖车法和室内转鼓法。国内轮胎企业应加大对低噪声轮胎的研究投入，深入分析轮胎噪声的发声机理，不断提高仿真精度，为降低环境噪声做出贡献。

关键词：轮胎；噪声；花纹；测试

中图分类号：TQ336. 1　　**文章编号：**1006-8171（2019）06-0323-03

文献标志码：A　　**DOI：**10. 12135/j. issn. 1006-8171. 2019. 06. 0323

随着国民经济的迅速发展，人们对环保问题越来越重视，交通环境与人们的日常生活密切相关，在物质文化发展到一定阶段时，生活质量的改善必然是整个社会的需求。近些年国家大力弘扬可持续发展战略，传统行业正面临新的挑战，加强产品的生产、加工和使用过程的可持续性显得非常重要。当汽车车速达到60 km·h^{-1}时，轮胎噪声是车辆噪声的主要来源，影响非常大[1]，因此轮胎噪声成为轮胎行业急需解决的问题。

轮胎噪声是一种非线性接触的结果，轮胎噪声的产生机理与地面和空气阻抗有关，一般分为3种情况：（1）气动噪声[1]；（2）冲击粘附噪声；（3）放大/减小效应噪声。气流在轮罩下方猛烈流动，使得周围流体产生压强差，从而产生气动噪声，因此轮胎在车轮罩内旋转时会产生风噪声。不同特性的路面与轮胎噪声大小有间接关系。试验数据显示，光滑混凝土路面、光滑柏油路面、磨损混凝土路面和粗糙混凝土路面的噪声声压级分别为70，72，72和78 dB（A）。

在目前的交通噪声中，主要噪声是机动车辆所产生的，它严重影响了人们的生活质量。根据相关试验数据，轮胎噪声占车辆噪声很大比例。轮胎是车辆与地面接触的唯一部分，轮胎的噪声性能也反映了轮胎质量[2]。国内外许多轮胎企业在轮胎开发过程中，将噪声作为重要考核指标，以提高产品的市场竞争力。因此对轮胎噪声的研究是轮胎行业的整体趋势，也是人们生活质量提高的保证，有利于推动我国轮胎的自主研发能力。

1　国外轮胎噪声的研究进展

20世纪初，轮胎噪声的研究仅仅处于模仿实际轮胎噪声产生的过程，只是形式上去理解轮胎噪声，研究方法也是以试验为主，没有在理论上形成系统的研究成果。从70年代开始，许多学者从理论上探索轮胎噪声的发声机理，但研究工作仅局限于噪声源的识别。90年代后，噪声研究方法变得丰富，有限元和边界元的思想被应用到噪声研究工作中[3]。

1972年，J. R. E. Hayden采用空气泵浦模型研究轮胎主要噪声机理[4]，并提出一个轮胎噪声声压级计算的半经验公式，为轮胎噪声量化研究起到很好的启迪作用。但是Hayden将胎面沟容积变化率进行人为假定，因此他所提出的半经验公式有很大的不完整性，不能实现轮胎花纹噪声的等效转换。

R. J. Alfredson对Hayden提出的单极子源模型进行改进，仅考虑了简单的轮胎花纹参数，将轮胎接地前后端视为一系列的单极子源，提出了一个单极子叠加公式，但这种方法并不能从根本上解

基金项目：国家自然科学基金面上项目（51574153）；山东省自然科学基金资助项目（ZR2013EEL012）

作者简介：黄伟（1995—），男，江苏盐城人，青岛理工大学在读硕士研究生，主要从事轮胎噪声的试验与流-固耦合仿真分析。

*通信联系人（caojinfeng@qut. edu. cn）

决Hayden提出的模型缺陷。20世纪80年代早期，许多学者相继建立起轮胎滚动模型，开始对轮胎动态特性进行理论研究。

1995年，M. Bergman等通过试验手段研究轮胎的振动冲击噪声和管腔共振噪声的产生机理，在轮胎花纹底部安装切向、横向、径向的传感器，测出滚动轮胎的加速度信息，然后用FFT转换为频域数据，分析花纹噪声的频谱成分，并有针对性地提出轮胎降噪优化方案[5]。他同时探索了轮胎噪声的传播规律，以轮胎形状为自变量，设计不同方案，试验发现轮胎花纹沟与接地区域形成的管腔对放大/减小效应有影响。

20世纪末，人们将轮胎和路面当成一个整体进行刚性分析。有些学者在弹性基础上提出“弦”模型，以模拟轮胎的动态行为，认为路面属性引起花纹振动是轮胎噪声的主要原因，并提出轮胎-路面接触模型[6]。

近年来，许多学者对轮胎噪声传播特性及近远场相关性进行研究[7-8]，并利用试验与数值混合分析方法，确保了试验结果的精确性，构建了一种非等强度轮胎噪声预报模型，对近远场噪声相关性研究具有重要意义。

2 轮胎噪声的测试方法

轮胎噪声的影响因素很多，声场规律十分复杂，因此轮胎噪声的研究很难实现量化模拟[9]。目前轮胎噪声的测试方法主要有滑行法、拖车法和室内转鼓法[10-11]。通过试验发现，上述3种测试方法之间有着较好的内在规律。随后人们从测试的成本和实用性出发，对这3种方法进行补充研究，同时对测试用车、场地和室内转鼓进行声学改装，将环境对噪声的影响降至最低，从而提高了测试结果的精确性，使低噪声轮胎前期试验以及轮胎产品认证试验过程得到了技术保证。

通过噪声法最接近轮胎的真实滚动状态，一般在交通试验场开展测试工作，以空档滑行的方式通过指定的测试路段。该方法可用于对比不同种类轮胎的测试结果，但是对于不同车型测试轮胎噪声结果不具有对比性。室外拖车滑行法相比通过噪声法可以有效地排除测试车辆的噪声影响，但是这种方法需要进行2倍的重复测试量，以减小试验结果的随机性。实验室转鼓法可模拟室外自由场环境，测试场所为半消声室，可以通过对转鼓表面材料定义属性测得不同路面条件下的轮胎噪声。

研究表明，轮胎花纹噪声是轮胎噪声的主要部分。降低花纹噪声首先必须了解轮胎花纹噪声的产生机理，建立花纹结构参数与花纹噪声之间的关系，通过不同优化方案进行试验结果对比，有利于花纹优化设计。近年来，许多学者采用声学仿真分析对轮胎噪声进行研究[12]，一方面降低研究成本，另一方面也为研究工作带来新的方法，精确性较好。轮胎噪声仿真的主要思想为“流-固”耦合产生声场，通过“流-固”耦合分析，提取压力波动数据作为噪声声场分析的边界条件，在声场仿真软件中建立轮胎声学模型，之后进行流场的气动声学仿真。目前学术界用声学仿真软件主要包括VirtualLab和Sysnoise等，也可以利用二次开发的思想对所建的轮胎模型进行声学仿真分析与优化[13]。

3 国内轮胎噪声的研究情况

纵观国外大型轮胎企业，轮胎生产技术越来越成熟，生产工艺先进，而国内轮胎企业对轮胎噪声的研发投入相对较少，自主创新能力欠缺。虽然国内涉足轮胎噪声研究的高等院校很多，但其更偏向理论研究，缺少有效的试验验证，不能很好地投入到轮胎生产中。

20世纪90年代中后期，双钱轮胎集团有限公司（以下简称双钱轮胎）开始对轮胎噪声进行研究，并建立了国内最早的轮胎噪声实验室。2003年，双钱轮胎与同济大学声学研究所共同创建了轮胎噪声研发基地。该研发基地建立了半消声室，室内设备齐全（见图1和2），为轮胎噪声的研究提供了优质的试验条件。半消声室容积约为120 m^3，为横向卧式结构，室内配有大型专用转鼓试验机，可进行全钢或半钢子午线轮胎的噪声试验。双钱轮胎研制成功的轮胎噪声特性测试拖车（见图3）可对轮胎的各项性能进行一系列测试。

4 轮胎噪声标准的制定

20世纪60年代，发达国家相继对车辆噪声制

图1　轮胎噪声试验机

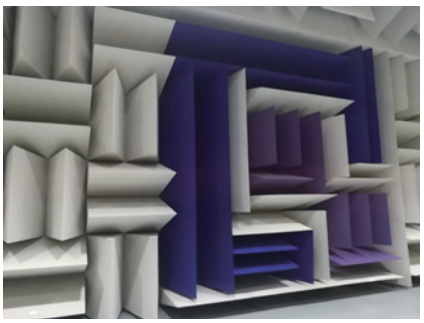

图2　轮胎噪声半消声室

图3　轮胎噪声特性测试拖车

定出严格的法规标准，并每隔3—5年修订一次，且对轮胎噪声指标提出越来越高的要求。欧盟委员会投资21.9万美元进行有关路面和轮胎相互作用的研发工作，其目的就是为了即将修订的噪声法规[14]。

20世纪80年代以来，欧盟严格控制环境噪声的限值，一直到2012年11月1日欧盟轮胎标签法的正式实施，国内汽车制造商、轮胎生产商和分销商都面临着巨大技术难题，其中包括摩擦、湿吸附、牵引和颠簸阻力等，这充分说明欧洲对降低轮胎噪声的重视。

目前，国内外科研机构都相继对轮胎水滑、噪声等方面性能进行深入研究，针对车速较高的汽车进行高速行驶试验，测得轮胎在真实工况下的噪声，通过对轮胎噪声的频率特性进行分析，得出轮胎噪声在不同频率和速度下的频谱特性。国际标准化组织也在开展此项研究工作，为国际轮胎噪声标准修订做充分的准备。

5　结语

随着我国汽车轮胎噪声研究的深入开展，国内相关企业应尽快熟悉新的国际标准，加大在低噪声轮胎方面的投入，争取在生产技术上实现突破；深入研究轮胎噪声的发声机理，不断提高仿真精度，为降低环境噪声做出应有的贡献。

参考文献：

[1] 冯希金. 卡车子午线轮胎振动噪声仿真技术研究[D]. 北京：清华大学，2015.

[2] 周海超，王国林，梁晨. 不同花纹轮胎噪声辐射特性[J]. 噪声与振动控制，2012，32(6)：175-178.

[3] 包秀图，张涛，李子然，等. 轮胎振动噪声的数值模拟[J]. 振动与冲击，2008，27(11)：6-11.

[4] 危银涛，冯希金，郑小刚，等. 乘用车子午线轮胎泵浦噪声机理的实验-数值混合分析方法[J]. 振动与冲击，2015，34(11)：166-172.

[5] 于学华. 轮胎空腔共振噪声的改进方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版)，2009，37(7)：90-93.

[6] 曹卫东，吕伟民. 轮胎/路面噪声模型研究进展[J]. 公路交通科技，2007，24(3)：46-50.

[7] 危银涛，冯希金，冯启章，等. 轮胎动态模型研究的进展[J]. 汽车安全与节能学报，2014，5(4)：311-323.

[8] 陆寅啸，葛剑敏，刘恒彪，等. 轮胎泵浦噪声非等强度多源模型试验[J]. 中国公路学报，2016，29(10)：140-148.

[9] 卢磊. 轮胎花纹对轮胎噪声影响的研究[D]. 长春：吉林大学，2017.

[10] 王琦，翟辉辉，周海超，等. 带束层结构参数对轮胎振动噪声的影响分析[J]. 橡胶工业，2018，65(5)：490-494.

[11] 陈燕，朱振华，陈弘，等. 轮胎噪声室内转鼓法与室外滑行法测试结果的相关性研究[J]. 轮胎工业，2017，37(6)：374-377.

[12] 车勇. 轮胎噪声的预测方法与试验研究及优化设计[D]. 武汉：武汉理工大学，2010.

[13] 朱家顺，葛超，张晓鹏，等. 基于TTA噪声数据库的花纹噪声仿真分析[J]. 轮胎工业，2018，38(6)：323-327.

[14] 吴秀兰. 固铂推出Mastercraft Avenger M8全天候超高性能轮胎[J]. 橡胶工业，2018，65(7)：834.

收稿日期：2019-01-16