

使用因素对子午线轮胎噪声影响的正交试验分析

周海超, 王国林*, 杨建, 赵幡

(江苏大学汽车与交通工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要:以实验室转鼓测量的轮胎滚动噪声水平为性能评价指标,采用正交试验法研究轮胎负荷、充气压力和速度对轮胎滚动噪声影响的敏感程度。试验结果表明:速度是影响轮胎滚动噪声水平的显著因素,负荷次之,充气压力影响最小;轮胎滚动噪声具有明显的指向性,轮胎附近不同测量点噪声频谱特性不同。

关键词:子午线轮胎;噪声;使用因素;正交试验

中图分类号: TB533; U463.341⁺.6; TQ336.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-890X(2014)01-0048-04

目前,交通噪声已成为城市生活的主要污染源,其中轮胎/道路噪声是车辆行驶噪声的主要来源。为提高环境质量和能源利用率,2009年欧盟委员会针对轮胎不同性能制定了强制性轮胎标签法规,对滚动噪声和滚动阻力等性能提出了具体要求,与此同时,相似的法规已经在日本和美国实施。轮胎/道路噪声的主要影响因素包括轮胎的结构、材料、速度、充气压力、负荷和路面结构等^[1]。近年来,国内外学者通过试验探讨了使用因素对轮胎噪声的影响,但测试是在不同的道路表面进行的,试验结果偏重于研究设计低噪声路面^[2-3]。由于缺乏必要的测试环境,国内公开发表的相关文献则侧重于采用数值计算的方法研究无花纹轮胎的辐射噪声^[4-5],且仿真结果对影响因素缺乏足够的定性分析,仿真对象也主要集中在轮胎结构设计方面^[6-7],并未过多关注使用因素对轮胎噪声的影响。因此,研究使用因素对轮胎噪声水平的影响敏感程度可为轮胎降噪措施的选取和数值仿真计算提供参考。

正交设计方法是目前研究和分析因素对目标敏感程度的主要方法之一,具有“均衡分散、整齐可比”的特点。本工作基于正交设计试验基本原理确定测试方案,采用实验室转鼓法对滚动轮胎噪声水平进行测试,分析轮胎速度、负荷和充气压力对辐射噪声水平影响的敏感程度,并探讨轮胎噪声辐射的分布特性。

作者简介:周海超(1984—),男,河南许昌人,江苏大学在读博士研究生,主要从事汽车现代轮胎学及车辆动态性能控制研究。

*通信联系人

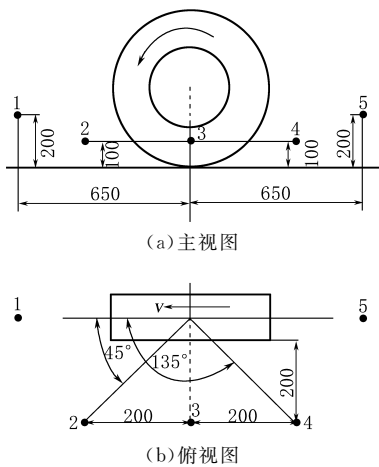
1 噪声测试方法和正交试验方案

1.1 轮胎噪声测试方法

根据声压测点与轮胎距离的远近,轮胎噪声测试方法可分为近场测试和远场测试。常用的测试方法有实车滑行通过法、拖车法和实验室转鼓法。不同的测试方法功能不同,用途也不同,测试结果之间没有可比性和相关性。实验室转鼓法主要是在全消声室或半消声室内进行,对成本要求相对较高,轮胎转鼓的曲率和表面与实际路面有所不同,造成近场测试与远场测试所得噪声结果有一定的差异。但是,实验室转鼓法属于近场测试,受外在因素的影响较小,测试结果的重复性和可比性较好,适合于对比同一轮胎、不同胎面花纹及不同胎体结构轮胎所产生的噪声大小及噪声产生机理的研究。因此,本工作轮胎噪声测试选用实验室转鼓法。

1.2 传声器布置

本试验的声学采集和测量分析系统由丹麦 B&K 公司提供。根据近场测量法的 ISO/DIS 11819-2^[1]设置轮胎传声器。测试轮胎周围布置 5 个传声器,分别与轮胎轴线成 0°,45°,90°,135°和 180°角,一个布置在轮胎滚动前端,距离轮胎接地中心 650 mm,距离地面 200 mm;另一个布置在后端,与前端测点关于接地中心相对称;3 个在轮胎的同一侧面,距离轮胎表面水平距离 200 mm,垂直地面距离为 100 mm。轮胎传声器具体布置如图 1 所示。



传声器的编号和对应位置:1—轮胎前端 0°;2—轮胎侧面 45°;
3—轮胎侧面 90°;4—轮胎侧面 135°;5—轮胎后端 180°。

图 1 传声器布置示意

1.3 正交试验方案

本研究选用轿车子午线轮胎 205/55R16 91V 系列为研究对象,其额定充气压力为 300 kPa,额定负荷为 600 kg。

轮胎行驶在道路上,胎面花纹受到来自路面的冲击,引起胎体的振动而向外辐射噪声。在一定的速度范围内,速度越快,花纹的撞击频率越高,胎体振动频率越大,轮胎振动辐射噪声也越大。但是,超过一定速度时,在轮胎材料和结构一定的前提下,轮胎花纹气动噪声则会凸显出来且起主要作用,振动噪声变化随速度变化减小。同时,速度的变化也会影响到轮胎噪声的频谱特性。不同花纹的轮胎在同一路面行驶,胎面花纹撞击的频率也不尽相同;同一花纹轮胎,在不同路面行驶时,路面的冲击频率也不相同。

负荷不仅直接影响轮胎胎侧变形、下沉量和接地印痕等特性,也会影响到胎面花纹撞击路面的应力分布。随着负荷的增大,轮胎接地长度增大,会改变花纹沟槽气体空腔共振噪声;接地长度变化也会影响到轮胎与地面形成的“冲击角”,对轮胎花纹噪声中的号筒效应产生直接影响。同时花纹应力增大,花纹块变形增加,轮胎泵吸噪声和滚动阻力随之增大。

充气压力直接影响轮胎的径向和周向刚度,降低充气压力时,胎侧变软,轮胎刚度减小,表现出一定的阻尼特性,起到减轻轮胎振动的作用;增大充气压力,轮胎径向刚度增大,胎面花纹和胎侧

变硬,轮胎阻尼减小,振动冲击幅度增大,同时传递给悬挂系统和整车结构的振动噪声也会增加。

综上所述,确定轮胎速度、负荷和充气压力作为正交设计试验对象。本正交设计试验采用标准正交表,各因子水平相同,即每个因子均取 3 个水平。根据所确定的因子水平选用 $L_9(3^4)$ 正交表,采用 9 组试验组合得到结果并进行相应的数据分析。正交设计因子水平表如表 1 所示。

表 1 正交设计因子水平表

因 子	水 平		
	1	2	3
A(充气压力/kPa)	180	240	300
B(负荷/kg)	369	492	615
C[速度/(km·h ⁻¹)]	60	80	120

1.4 噪声测试

按照 HG/T 2177—2011,测试所用轮胎是经过均衡试验、动平衡试验、X 光及外观检查合格的成品轮胎。测试轮胎进行 24 h 充气停放,使轮胎在测试时处于稳态,以提高测试结果的稳定性和重复性。试验轮胎需要按照不同的试验方案预跑 0.5 h,使轮胎结构稳定,轮胎性能得以充分体现。在噪声测试之前,室内环境温度和背景噪声按照技术标准进行设定、测量并记录。

2 结果与讨论

2.1 直观分析

直观分析法是通过比较各因子不同水平下试验结果的平均值来确定因子对目标的影响程度主次顺序,也叫做极差分析法^[8]。直观分析法可以显示出各因子水平的匹配方式。

轮胎 A 各试验方案下的噪声测试结果见表 2。由表 2 可见,第 8 号试验轮胎噪声水平最低,其对应的水平组合为 $A_3B_2C_1$ 。分析原因认为,在该测试条件下,轮胎的径向和周向刚度达到预设值,轮胎力学性能可以充分体现出来,负荷适中,胎侧变形程度小,轮胎接地压力降低,花纹对转鼓面的冲击力随之减小,轮胎花纹沟槽变形程度小,加之速度低,花纹冲击路面频率小,轮胎振动辐射和花纹噪声较小。根据 R 值可以判断设计因子对目标的敏感程度, R 值越大,该因子对目标影响越大。从表 2 可以看出,速度对轮胎噪声水平影响

表 2 轮胎 A 各试验方案下的噪声测试结果

试验序号	正交试验方案			噪声/dB(A)
	A	B	C	
1	180	369	60	84.20
2	180	492	80	87.90
3	180	615	120	97.40
4	240	369	80	85.90
5	240	492	120	94.76
6	240	615	60	88.54
7	300	369	120	92.48
8	300	492	60	82.96
9	300	615	80	88.72
$m_1/\%$	89.833	87.527	85.233	
$m_2/\%$	89.733	88.540	87.173	
$m_3/\%$	87.200	91.220	94.880	
R	2.113	3.693	9.647	

注： m 表示所在列水平相同的试验指标的平均值； R 表示 3 个平均值的极差。
最大，负荷其次，充气压力最小。

2.2 方差分析

方差分析可以将各个因素偏差与试验误差分解开来，比较平均偏差平方和，以确定各因素对试验结果影响程度和相对大小。因子对试验结果的影响程度常用 F 检验。应用方差分析法处理试验结果并对其进行分析。
轮胎 A 测试结果的方差分析结果见表 3。由表 3 可见，速度对噪声水平的影响高度显著，负荷有一定的影响，充气压力影响不明显，方差分析结果与直观分析结论一致。同时，转鼓测试所得结论与实际道路测试结论一致^[2]。

表 3 轮胎 A 测试结果的方差分析

因 子	S	f	v	F 比	显著值	显著性
A	8.53	2	4.265	6.257	0.128	影响不明显
B	21.85	2	10.92	16.02	0.059	有一定影响
C	156.2	2	78.10	114.5	0.009	高度显著影响
标准差	1.363	2	0.682			

注： S 为平方和， f 为自由度， v 为均方值。
各因子对不同结构、不同花纹轮胎 B 和 C 的影响分析结果分别见表 4 和 5。
综上所述，速度对噪声水平影响显著，负荷有一定影响，充气压力影响不明显。在城市生活中，车辆可以在依据规定行驶速度的前提下，通过改变负荷和充气压力来降低轮胎噪声。

表 4 轮胎 B 测试结果的方差分析

因 子	S	f	v	F 比	显著值	显著性
A	9.99	2	4.99	1.14	0.468	影响不明显
B	12.39	2	6.195	1.41	0.415	有一定影响
C	120.5	2	60.27	13.71	0.068	高度显著影响
统计量标准差	8.794	2	4.397			

表 5 轮胎 C 测试结果的方差分析

因 子	S	f	v	F 比	显著值	显著性
A	12.04	2	6.02	0.96	0.511	影响不明显
B	22.23	2	11.11	1.766	0.362	有一定影响
C	143.8	2	71.92	11.42	0.081	高度显著影响
统计量标准差	12.6	2	6.3			

2.3 不同测点噪声分析

考虑到城市交通的限制，车速为 $80\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时，针对方案 9 噪声测试结果获得轮胎附近各传声器测点声压的 1/3 倍程频谱如图 2 所示。

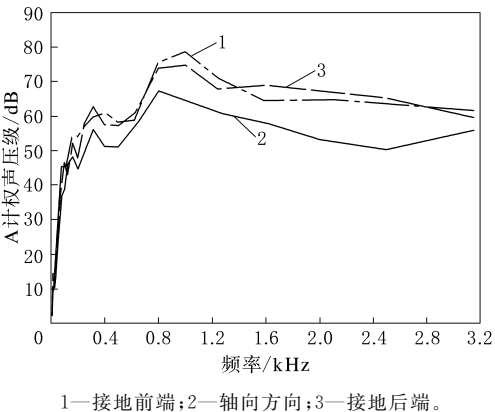


图 2 不同测点声压 1/3 倍程频谱

由图 2 可见，轮胎附近不同位置的传声器噪声声压大小不同，但各测点的频率趋势一致，接地前端和后端噪声能量主要集中在 $1\,000\text{ Hz}$ 左右，在 $1\,400\text{ Hz}$ 之前，轮胎噪声声源主要位于接地前端，随着频率的提高，轮胎主要噪声声源向接地后端移动。这主要是因为低频范围内，轮胎在接地前缘花纹受到转鼓表面冲击，主要产生径向振动，接地后缘脱离转鼓表面花纹恢复原始状态，主要产生高频的周向振动和花纹块的粘滞作用，使得噪声有所提升。轴向噪声主要来源于胎侧振动变形辐射，其能量主要集中在 800 Hz ，但在 $2\,500\text{ Hz}$ 之后，噪声有增大的趋势，主要是因为胎面振动由花纹块向胎侧过渡，加之横向花纹沟槽的存

在,使得花纹泵吸噪声加剧。

3 结论

(1)速度、负荷和充气压力等使用因素对轮胎噪声均有直接影响,其中,速度影响显著,负荷有一定影响,充气压力有影响但不明显。速度较低时,轮胎噪声频谱特性一致;速度较高时,轮胎花纹气动噪声凸显并占据主要地位,使噪声特性产生明显变化;轮胎负荷影响轮胎接地长度和花纹块变形,进而影响噪声大小;对于不同结构、不同花纹的轮胎,充气压力直接影响轮胎刚度和花纹块单位面积的受力程度,对辐射噪声影响程度略有不同。

(2)轮胎噪声能量主要集中在 800~1 100 Hz,辐射噪声呈现明显的指向性。轮胎噪声接地前端大于接地后端,轴向方向噪声最小。高频范围内,轮胎空气动力学占主要地位,但接地后端花纹的粘滞作用使得后端噪声略大于接地前端;轮胎轴向噪声在低频范围内主要是由胎侧振动辐射所产生,随着频率的提高,轮胎花纹横向沟槽泵吸

噪声逐渐凸显出来,轴向噪声增大。

参考文献:

- [1] Sandberg U, Ejsmont J A. Tyre/Road Noise Reference Book [M]. Informex, Kisa, Sweden, 2002: 207-227.
- [2] Saemann E U. Development of Low Noise Tyres in EC Project Silence[J]. J. Acoustic Soc. Amer., 2008, 123(5): 4289-4294.
- [3] Andersson P B U, Kropp W. Ripid Tyre/Road Separation: an Experimental Study of Adherence Forces and Noise Generation[J]. Wear, 2009, 266(1): 129-138.
- [4] 盛云, 吴光强, 方园, 等. 基于 ATV 的轮胎辐射噪声分析[J]. 汽车技术, 2009(6): 28-32.
- [5] 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): 7-11.
- [6] 刘占村, 李明, 刘杰, 等. 带束层结果对轿车子午线轮胎接地印痕、径向刚度及噪声的影响[J]. 轮胎工业, 2011, 31(9): 534-536.
- [7] 张典, 朱振华, 吕剑, 等. 半钢子午线轮胎胎体结构对噪声的影响[J]. 轮胎工业, 2012, 32(3): 138-140.
- [8] 章文波, 陈红艳. 实用数据统计分析及 SPSS 12.0 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 101-108.

收稿日期: 2013-07-15

轮胎行业加速绿色转型

中图分类号: TQ336.1; U463.341 文献标志码: D

轮胎由普通子午线轮胎升级为绿色轮胎是大势所趋, 轮胎行业应瞄准绿色轮胎加大转型力度。这是 2013 年 11 月 13 日于山西太原结束的 2013 轮胎先进制造技术系统及绿色轮胎发展路径研讨会上传递出的信息。

与会专家认为, 传统轮胎生产企业正面临严重的生存威胁和挑战, 企业必须走调结构、转方式的发展模式。一方面调整产品结构, 走差异化发展路线, 扬长避短; 另一方面调整市场结构, 在出口市场、配套市场和替换市场寻求新目标, 逐步实现从传统市场领域向高附加值市场领域的转换。

为达到我国橡胶行业“十二五”末实现绿色轮胎产业化, 50% 的企业可以生产绿色轮胎, 其中 50% 的企业绿色轮胎产量超过普通子午线轮胎的目标, 我国轮胎企业已经开展了大量工作。风神轮胎股份有限公司 2011 年率先在国内实现了子午线轮胎产品 100% 绿色制造。中车双喜轮胎有限公司 2013 年开始实施轮胎先进制造技术系统

与改造项目, 2013 年 1~9 月轮胎制造生产消耗大幅下降, 密炼胶料合格率达 99% 以上, 废水回收利用效率保持在 90% 以上, 总计节约成本 4 900 多万元, 提前完成综合能耗指标。但同时, 我国轮胎企业数量庞大, 不少中小企业仍以生产低端产品为主, 并未涉及绿色轮胎的研发与生产。这些产品在国际市场上很容易被贴上质次价低的标签, 影响整个行业形象, 也容易受到贸易保护壁垒的冲击。

为改变这种状况, 正在酝酿中的《轮胎行业准入条件》将从能耗、资源消耗、排放、滚动阻力系数等方面提出具体要求, 强调发展绿色轮胎。专家认为, 企业是真正推动绿色轮胎发展的实体, 但目前国内没有几家企业在专心研究绿色轮胎, 希望国家能够扶持一些绿色轮胎研发项目, 并真正落实到企业。同时, 实现绿色轮胎产业化也需要一系列配套措施和相关政策的支持, 呼吁政府有关方面进一步推动轮胎及其相关行业的绿色革命, 加大绿色轮胎研发。

(摘自《中国化工报》, 2013-11-15)