

C1类轮胎滚动噪声测试研究

刘程,田程*,张新峰,杜天强,吕恒绪,陈平,梁荣亮

(中国汽车技术研究中心有限公司 试验所零部件研究部,天津 300300)

摘要:基于欧盟ECE R117轮胎标签法,研究C1类轮胎滚动噪声的测试。结果表明:在不考虑花纹类型、速度级别等因素的情况下,轮胎最大与最小滚动噪声声压级相差7 dB(A);轮胎滚动噪声、湿地抓着性能与滚动阻力之间并不存在显著相关性,可以通过轮胎结构优化降低轮胎噪声,而不影响轮胎的湿地抓着性能和滚动阻力。

关键词:轮胎;欧盟标签法;滚动噪声;滚动阻力;湿地抓着性能

中图分类号:TQ336.1;TB533⁺.2

文章编号:1000-890X(2019)05-0382-06

文献标志码:A

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2019.05.0382

随着世界各国车辆保有量的增大,交通噪声已经成为城市中重要的噪声源之一^[1-3]。车辆噪声源自其4个子系统噪声:动力单元噪声、排气噪声、空气动力学噪声以及轮胎与道路接触噪声。随着车辆噪声控制技术的发展,动力单元噪声、排气噪声和空气动力学噪声得到有效控制,因而车辆中高速行驶时,轮胎噪声成为主要噪声源。对于轿车轮胎(C1类轮胎)而言,随着车辆行驶速度的提高,轮胎噪声增大,因此对轮胎噪声的产生机理以及试验方法进行研究很有必要。

轮胎是车辆与地面接触的唯一部件,其安全性、经济性、NVH性能(噪声、振动、声振粗糙度)直接关系到整车性能,为此许多国家和地区对轮胎性能进行认证,如欧盟ECE R117轮胎标签法,对轮胎的湿地抓着性能、滚动阻力和噪声3个方面性能进行评价,并提出两个阶段的实施限值,要求轮胎在保证基本安全性能的前提下,提高经济性和降低噪声^[4]。国外轮胎制造厂商通过轮胎基体结构和花纹设计可以满足以上性能指标要求,但是对轮胎的具体性能指标的确定方法是企业的核心机密而没有公开。国内对轮胎性能的检测主要是3C认证和行业相关的安全性能检测,对于滚动阻力性能和噪声只给出了测试方法,而没有给出具体

限值^[5]。国内轮胎制造厂商一般按照主机厂商的要求进行轮胎设计,由于轮胎设计基础数据积累欠缺,使得轮胎的性能指标具体限值没有科学的依据。

本工作利用ECE R117轮胎滚动噪声测试方法,对C1类轮胎噪声进行统计分析,并对轮胎的其他方面性能与轮胎噪声之间的关系进行研究,为轮胎的设计开发提供依据。

1 轮胎滚动噪声产生机理

1.1 振动噪声

车辆行驶时轮胎产生的噪声一部分是由于轮胎与路面相互接触而引起的轮胎振动噪声,这些振动主要包括花纹块与路面冲击振动、花纹块之间冲击振动、花纹块摩擦粘滞振动、胎侧振动和轮胎骨架振动等;另一部分是轮胎与空气接触引起的空气振动噪声,主要分为空气扰动噪声、空气泵吸噪声、赫姆霍兹共振噪声、气柱共鸣声、轮胎管腔空气共振噪声和喇叭效应噪声等^[6-7]。这些噪声产生机理并不是单独存在,而是相互作用的,不同的噪声产生机理激励的噪声频率范围不同。轮胎与地面接触时,在低频率范围(1 000 Hz以下),道路纹理与轮胎花纹相互作用使轮胎径向振动,从而引起轮胎空气振动,这些振动会被轮胎骨架共振进一步放大。在高频范围(1 000 Hz以上),轮胎与地面切向滑移产生的轮胎振动噪声或者轮胎与路面之间接触时产生的泵吸噪声会被赫姆霍兹效

基金项目:中国汽车技术研究中心有限公司重点课题(18200117)

作者简介:刘程(1985—),男,湖北十堰人,中国汽车技术研究中心有限公司工程师,博士,从事整车及零部件可靠性试验研究工作。

*通信联系人:tiancheng@catarc.ac.cn

应、气柱共鸣效应、轮胎管腔体共振、喇叭效应等进一步放大^[8]。

1.2 滚动噪声

轮胎与道路以及空气接触产生振动,这些振动一部分通过车辆悬架传递给车身,引起车身底板的振动,或空气振动激励车身振动,从而影响车体NVH性能,一般采用有效的隔离措施,如主动悬架、车身声学包装等来降低轮胎振动向车厢内的传递,另外一部分轮胎振动和空气振动通过空气向外扩散,产生轮胎的滚动噪声。为了降低轮胎滚动噪声对周围环境的影响,当前应用较多的是建立隔声屏障来阻隔声音的传递,其布置方式依赖于地理环境,且这些方式并不能从根本上解决交通噪声产生的根源,需要通过轮胎设计从根本上降低轮胎滚动噪声^[9]。

2 轮胎滚动噪声测试方法

轮胎滚动噪声测试方法主要分为室外测试方法和室内测试方法,室外测试有惯性滑行法和拖车法,室内测试有转鼓法^[10]。室内测试方法外界条件可控,但是由于轮胎与转鼓的接触并不能完全模拟轮胎与地面的接触,测试结果与室外道路试验之间的关联性存在较大争议,因此轮胎的室外噪声测试仍然是当前较为准确的反映轮胎噪声的重要手段之一。拖车法也称为轮胎近场测试法,被测轮胎安装在拖车上,拖车由另外一辆车辆牵引,为了减小背景噪声的影响,拖车上安装有隔音罩,麦克风安装在隔音罩内。拖车法是一种半消声室测试方法,测试精度会受到隔音罩内背景噪声的影响,使得此方法也没有得到广泛应用^[11]。

惯性滑行法是在发动机关闭、没有动力驱动、变速器空档的情况,测试轮胎处于自由滚动状态下的噪声,它可以真实地反映轮胎的滚动噪声。欧盟ECE R117法规对轮胎的滚动噪声测试方法就是基于惯性滑行方法。我国基于ISO 13325:2003标准^[12]制定了GB/T 22306—2008《轮胎滚动噪声测试方法》。

2.1 测试设备

测试中使用的声级计或等效的测试系统及包含制造商推荐的风罩符合IEC 60651:1979/A1:

1993第2版中对第I类设备的要求。测量使用A频率计权特性和F时间计权特性。使用周期性监测A声压级噪声水平的测试系统时,数据的采样时间不超过30 ms。

2.2 测试条件

轮胎噪声测试对试验仪器、场地、气象条件及背景噪声的要求参见GB/T 22306—2008。测试道路具体要求如图1所示。

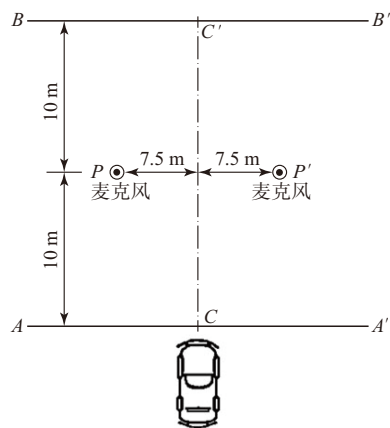


图1 轮胎滚动噪声测试道路要求

2.3 测试前准备

测试车辆条件以及充气压力、载荷与GB/T 22306—2008要求相同。磨合:试验前轮胎磨合100 km,在相同试验条件下对轮胎进行预热;试验参考车速:C1类轮胎为80 km·h⁻¹。

试验车速:在试验车速范围内,在参考车速上下至少分别选取2个试验测试车速。C1类轮胎车速范围为70~90 km·h⁻¹。

2.4 测试方法

车辆沿行驶中心线以规定试验速度匀速行驶,当车辆前端到达测试区域起始线时,驾驶员选择空档,关闭发动机,使车辆滑行通过测试区间,如图1所示。首先用声级计测量试验车辆滑行通过AA'直线和BB'直线间区域(车辆前端接触到AA',车辆后端离开BB'直线的区域)产生的最大噪声[用A计权声压级dB(A)表示]。当车辆到达PP'线时达到规定车速,车辆左右两侧同时记录车辆通过时最大声压级作为单次测量结果。车辆从AA'到BB'以一种车速行驶,然后从BB'到AA'以另外一种车速返回,参考车速的上下分别至少有8个测量结果。

2.5 滚动噪声测试的回归分析

轮胎与路面之间的滚动噪声 L_R [dB(A)]是根据回归分析按照以下公式得到:

$$L_R = \bar{L} - a\bar{V} \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} \bar{L} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \\ \bar{V} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad V_i = \lg\left(\frac{V_i}{V_r}\right) \\ a &= \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})(L_i - \bar{L})}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \end{aligned}$$

式中, $\bar{L}$ 为轮胎滚动噪声试验测量值 L_i 的平均值[dB(A)], n 为测量次数($n \geq 16$), $\bar{V}$ 为车辆纵向速度 V_i 的平均值, V_r 为参考车速, a 为回归斜率[dB(A)]。

2.6 温度修正

对于C1类轮胎,将测试结果归一化到同一路面参考温度下的噪声,用如下公式进行校正:

$$L_R(\theta_r) = L_R(\theta) + K(\theta_r - \theta) \quad (2)$$

式中, θ 为测试路面的测量温度; $\theta_r = 20^\circ\text{C}$, 为参考温度; K 为系数, dB(A) $\cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

对于C1类轮胎

$$K = \begin{cases} -0.03 & \theta > \theta_r \\ -0.06 & \theta < \theta_r \end{cases}$$

在对一套轮胎的噪声进行测试时,如果所有测试路面温度变化范围均不超过 5°C ,则只需要对式(1)得到的 $L_R(\theta)$ 利用式(2)进行修正,此时路面温度为测试路面的平均温度。否则,需要使用每次测量噪声记录的路面温度,利用式(2)对每次测量得到的轮胎滚动噪声 L_i 进行修正,然后再利用式(1)得到轮胎在参考车速及参考温度下的滚动噪声 $L_R(\theta)$ 。

2.7 结果处理

考虑测试系统误差,得到的噪声等级 $L_R(\theta)$ 应减去1 dB(A),并且向下舍入到最接近的整数值作为最后的测试结果。

3 轮胎滚动噪声测试

3.1 不同类型轮胎滚动噪声分布

对国内外不同品牌、不同规格、不同花纹的41

条C1类轮胎的滚动噪声进行测试,试验轮胎中普通轮胎规格为175/70 R14(2),185/60 R15(2),195/65 R15(3),205/65 R16(1),205/55 R16(2),225/60 R16(1),225/45 R16(1),225/45 R17(2);雪地轮胎规格为205/55 R16(4),225/45 R17(3);泥地+雪地轮胎规格为175/70 R14(1),185/55 R15(1),205/55 R16(2),205/65 R15(1),215/70 R15(1),215/60 R16(1),215/70 R16(1),215/70 R16(1),225/45 R17(1),225/50 R17(1) (括号内数字为轮胎数量,所有试验轮胎均为新轮胎)。

轮胎的滚动噪声测试如图2所示,滚动噪声分布如图3所示。由图3可见:轮胎的噪声水平基本呈正态分布,滚动噪声在71 dB(A)处比较集中,最大滚动噪声与最小滚动噪声相差7 dB(A);205规格的轮胎噪声分布较广,滚动噪声差最大;轮胎的滚动噪声并未随轮胎的截面宽度增大而增大。在ECE R117法规中,根据轮胎的截面宽度来定义轮胎的噪声辐射限值,截面宽度增大,轮胎的允许最大噪声值也增大。



图2 轮胎滚动噪声测试

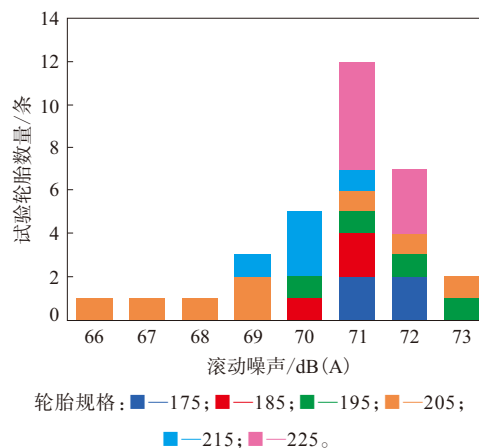


图3 不同类型轮胎滚动噪声分布

3.2 不同速度级别轮胎噪声分布

为进一步对比同规格、不同速度级别轮胎的噪声水平,对205R19 91H,205R19 91V,205R19 91W对应的普通轮胎和泥地+雪地轮胎两个类别共31种C1类轮胎进行试验研究,得到轮胎的噪声分布如图4所示。由图4可以看出:各速度级别轮胎的噪声水平主要分布在70 dB(A)附近,欧盟ECE法规中对C1类轮胎的滚动噪声规定的限值为71 dB(A),绝大多数轮胎满足要求;最大与最小噪声声压级相差4 dB(A)。滚动噪声大的轮胎还有很大改进空间。

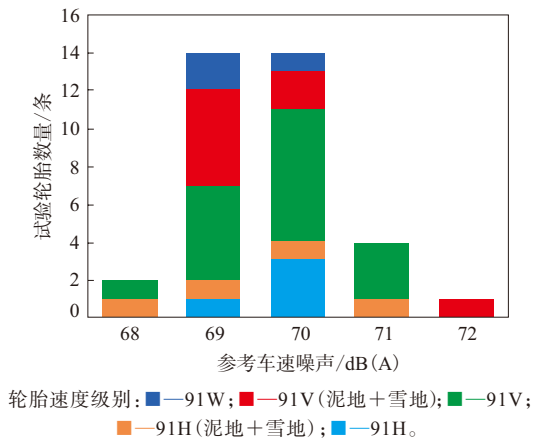


图4 不同速度级别轮胎的滚动噪声分布

不同速度级别和规格轮胎的噪声波动见表1。由表1可以看出,对于规格、载荷级别和速度级别都相同的轮胎,泥地+雪地轮胎对应的噪声分布与普通轮胎并没有显著差异,因此可以得出为了满足轮胎泥地和雪地性能的要求,可以对轮胎的结构重新设计,不会提高轮胎的滚动噪声。

表1 不同速度级别轮胎滚动噪声波动				dB(A)
轮胎速度级别	滚动噪声			平均值
	最大值	最小值	平均值	
H	70.0	69.0	69.5	
V	71.0	68.0	69.5	
W	70.0	69.0	69.5	
H(泥地+雪地)	70.0	68.0	69.0	
V(泥地+雪地)	72.0	69.0	70.5	

4 轮胎各性能之间的相关性

在ECE R117法规中,除对轮胎噪声进行规定外,还对轮胎的湿地抓着性能和滚动阻力测试方

法以及限值进行了规定。依照ECE R117测试方法,对上述轮胎的湿地抓着性能和滚动阻力进行测试^[13-16],如图5所示。



(a) 湿地抓着性能



(b) 滚动阻力

图5 轮胎湿地抓着性能和滚动阻力测试

4.1 轮胎湿地抓着性能指数和滚动阻力因数分布

轮胎的湿地抓着性能指数和滚动阻力因数的分布分别见表2和3。由表2可以看出,轮胎的湿地抓着性能指数均值在1.3附近,最小值为1.08,最

表2 不同速度级别轮胎湿地抓着性能指数波动			
轮胎速度级别	湿地抓着性能指数		
	最大值	最小值	平均值
H	1.40	1.08	1.20
V	1.50	1.18	1.40
W	1.50	1.39	1.40
H(泥地+雪地)	1.50	1.17	1.30
V(泥地+雪地)	1.50	1.14	1.30

表3 不同速度级别轮胎滚动阻力因数波动			
轮胎速度级别	滚动阻力因数		
	最大值	最小值	平均值
H	10.0	8.0	9.2
V	10.8	7.5	9.0
W	9.6	9.1	9.3
H(泥地+雪地)	9.6	8.3	8.8
V(泥地+雪地)	11.2	8.5	9.5

大值为1.50,大部分轮胎的湿地抓着性能指数都大于ECE R117中规定的1.1的限值,按照欧盟轮胎标签法分类,测试轮胎湿地抓着性能指数主要分布在B—F类。

由表3可以看出,轮胎的滚动阻力因数离散性较大,最大值比最小值大近50%,按照欧盟标签法分类,测试轮胎的滚动阻力主要分布在B—F类。

4.2 轮胎滚动噪声与湿地抓着性能之间的关系

将得到的3种测试轮胎性能进行对比,湿地抓着性能指数反映轮胎的安全性能,其值越大越好;滚动阻力直接反映轮胎的经济性,其值越小越好;噪声性能反映轮胎的环保性能,其值越小越好。轮胎滚动噪声与湿地抓着性能之间的测试数据分布如图6所示,整个数据区域按照欧盟轮胎标签法将其滚动噪声和湿地抓着性能划分为相应等级。

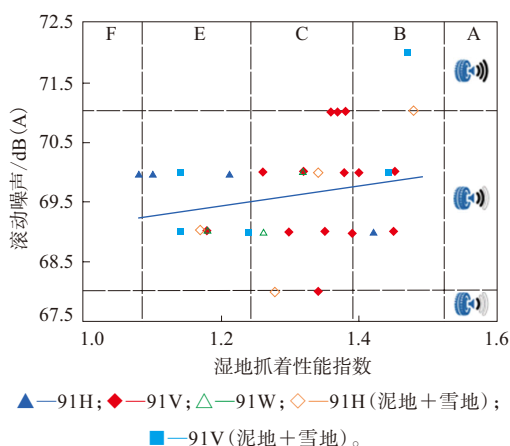


图6 轮胎滚动噪声与湿地抓着性能之间的关系

由图6可以看出,轮胎的噪声等级主要集中在二级,而湿地抓着性能主要集中在E和C级,测试轮胎中处于二级噪声且C级湿地抓着性能的最多,其次是二级噪声且E级湿地抓着性能,然后是处于二级噪声且B级湿地抓着性能。可以看出对于处于同一噪声等级的轮胎,其湿地抓着性能指数存在较大变化,表明此类轮胎湿地抓着性能有较大优化空间。对数据进行回归分析,轮胎滚动噪声与湿地抓着性能指数之间的拟合关系曲线方程如下: $y=1.6633x+67.449$,相关系数 $R^2=0.0526$,表明轮胎的滚动噪声与湿地抓着性能相关性不大,说明轮胎滚动噪声的降低,并不会降低轮胎的湿地抓着性能。

4.3 轮胎滚动噪声与滚动阻力之间的关系

图7所示为轮胎滚动噪声与滚动阻力之间的关系。由图7可见,分布最多的是噪声等级为二级且滚动阻力因数为E级的轮胎,其次是噪声等级为二级且滚动阻力因数为C级的轮胎。通过线性回归分析,得到轮胎滚动噪声与滚动阻力因数之间的关系方程为: $y=-0.1198x+70.767$, R^2 为0.017,表明轮胎滚动噪声与滚动阻力相关程度很小,降低轮胎的滚动阻力,并不会以提高轮胎的噪声为代价。当轮胎滚动噪声一定时,可以通过优化轮胎结构来降低轮胎滚动阻力,提高轮胎经济性。

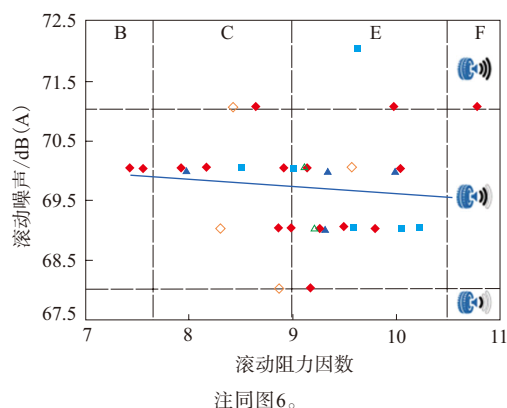


图7 轮胎滚动噪声与滚动阻力之间的关系

4.4 轮胎湿地抓着性能与滚动阻力之间的关系

轮胎湿地抓着性能与滚动阻力之间的关系如图8所示。由图8可以看出,试验轮胎的湿地抓着性能指数主要集中在B、C和E级,滚动阻力因数主要集中在C和E级,轮胎湿地抓着性能指数与滚动阻力因数之间的线性回归分析方程为: $y=-1.007x+10.599$, R^2 为0.0163,表明轮胎的湿地抓着性能

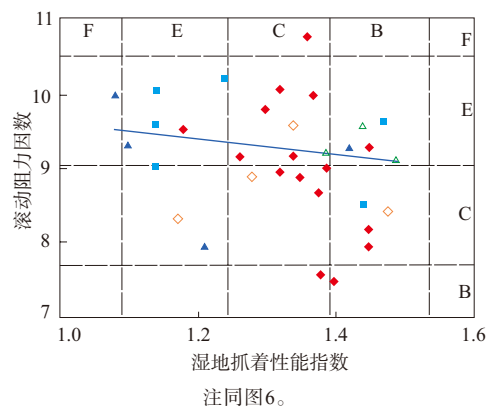


图8 轮胎湿地抓着性能与滚动阻力之间的关系

指数与滚动阻力因数之间不存在确定关系,即轮胎湿地抓着性能的提高,并不会以提高轮胎滚动阻力为代价。

5 结论

(1) 对于C1类轮胎,在不考虑花纹类型、速度级别等因素的情况下,噪声最大与最小的轮胎之间声压级相差7 dB,轮胎滚动噪声大部分集中在70 dB附近。泥地+雪地轮胎噪声与普通轮胎噪声分布相差不大。试验轮胎滚动阻力的变化范围较大,最大比最小滚动阻力大近50%。试验轮胎的湿地抓着性能指数主要分布在1.1~1.5之间。

(2) 轮胎的滚动阻力与噪声之间不存在显著相关性。可以通过改变轮胎结构提高轮胎的经济性(降低滚动阻力)及环保性能(减小轮胎噪声)。

(3) 随着轮胎交通噪声限值越来越严格,在一定范围内,降低噪声并不会以牺牲湿地抓着性能和滚动阻力为代价,通过轮胎的结构设计降低轮胎噪声的同时,可以改善轮胎的湿地抓着性能和降低滚动阻力。研究表明,对于轮胎制造企业,轮胎的安全性、经济性、环保性仍然有巨大的改善空间。

参考文献:

- [1] 李忠禹. 轮胎噪声数值分析及研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2012.
- [2] 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.
- [3] 杨建. 汽车轮胎振动噪声性能分析方法及低噪声轮胎结构设计研究[D]. 镇江:江苏大学,2015.
- [4] ECE Regulation No. 117—2011, Uniform Provisions Concerning the Approval of Tyre with Regard to Rolling Sound Emissions and to Adhesion on Wet Surfaces and/or to Rolling Resistance[S].
- [5] 徐丽红,牟守勇. 我国轮胎标签制度的形势分析[J]. 橡胶科技,2017,15(1):9-11.
- [6] 黄林. 轮胎与路面喇叭效应的特性研究[D]. 上海:东华大学,2016.
- [7] 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.
- [8] Sandberg U. Noise—the Challenge[M]. Poland: Statens Väg-och Trafikinstitut. VTI särtryck,1999:325.
- [9] 王万英,靳晓雄,彭为,等. 轮胎振动噪声结构传递路径分析[J]. 振动与冲击,2010,29(6):88-91.
- [10] 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.
- [11] 陈亚龙. C3轮胎通过噪声的室内外对比研究[D]. 北京:清华大学,2014.
- [12] ISO 13325: 2003, Tyres—Coast-by Methods for Measurement of Tyre-to-Road Sound Emission[S].
- [13] 杨永宝,危银涛,王昊,等. 轮胎噪声和滚动阻力标签数据的综述及分析[J]. 轮胎工业,2014,34(12):707-715.
- [14] 李玲,余翔,杨小峰. 欧洲汽车轮胎滚动阻力及噪声测量方法[J]. 交通节能与环保,2015(4):27-31.
- [15] Sandberg U. Noise and the Road: Is There a Conflict between Requirements for Safety and Noise?[M]. Poland: Statens Väg-och Trafikinstitut. VTI särtryck,1987:120.
- [16] Sandberg U, Ejsmont J A. Noise Emission, Friction and Rolling Resistance of Car Tires: Summary of an Experimental Study[M]. Poland:Statens Väg-och Trafikinstitut. VTI särtryck,2000:339.

收稿日期:2018-11-27

Research on Determination of Rolling Noise for C1 Type Tire

LIU Cheng, TIAN Cheng, ZHANG Xinfeng, DU Tianqiang, LYU Hengxu, CHEN Ping, LIANG Rongliang
(China Automotive Technology & Research Center Co., Ltd, Tianjin 300300, China)

Abstract: Based on the European Union ECE R117 tire label regulation, the rolling noise determination of C1 tire was studied. The results showed that the sound pressure levels of maximum and minimum rolling noise differed by 7 dB(A) regardless of the type of pattern and speed rate. There was no significant correlation among tire rolling noise, wet grip performance and rolling resistance. The tire noise could be reduced by structure optimization without affecting the wet grip performance and rolling resistance of the tire.

Key words: tire; EU tire label regulation; rolling noise; rolling resistance; wet grip performance

声明 《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》不向作者收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告,勿信诈骗信息。有任何疑问请及时与编辑部联系。