

应用理论

三聚氰胺多孔吸声材料属性对轮胎空腔共振噪声的影响

王国林, 吴靓璇

(江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要:以275/70R22.5子午线轮胎为研究对象,建立轮胎声学仿真模型。基于LMS Virtual Lab软件的间接耦合声学有限元法,在轮胎空腔填充三聚氰胺多孔吸声材料(三聚氰胺材料),研究其属性对轮胎空腔共振噪声的影响。结果表明:三聚氰胺材料对轮胎空腔声压级降低效果更明显;对于轮胎空腔降噪,三聚氰胺材料的厚度、密度和孔径存在最优值;轮胎空腔声压级随着三聚氰胺材料孔隙率和流阻的增大而降低,但三聚氰胺材料流阻对轮胎空腔声压级的影响较小。

关键词:轮胎;三聚氰胺多孔吸声材料;材料属性;空腔共振噪声;声压级;声学仿真

中图分类号:TQ336.1;TB533⁺.2;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)06-0422-08

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.06.0422



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着新能源汽车市场的崛起,大量学者致力于减少发动机和空气动力噪声,而轮胎空腔共振噪声已经成为评价车辆以及轮胎噪声、振动、声振粗糙度(NVH)性能的一项重要指标。如何有效降低固定频率下车辆的共振噪声,是汽车和轮胎公司扩大市场的一项重要手段^[1-3]。

自T. SAKATA等^[4]在一次路试中发现轮胎空腔共振噪声以来,目前已探索出几种降低该噪声的方法:改善轮胎的结构设计,如在胎体结构中开设孔道和空腔来实现共振吸声^[5];改变轮胎形状和材料,如使用椭圆形车轮或铝制车轮等来降低噪声^[6-7];改变轮胎空腔内部特性,如向空腔内充氦气、在轮辋上缠绕柔性条/带或布置亥姆霍兹共振器^[8-10]、在空腔内加吸声材料等来降低噪声。

目前汽车和轮胎公司采用的轮胎空腔降噪方法主要是在腔内加吸声材料或共振器,与共振吸声结构相比,多孔吸声材料的吸声带更宽。针对多孔吸声材料,T. SAKATA等^[4]提出轮胎空腔吸

声材料能有效抑制轮胎空腔共振引起的驾驶室内噪声,吸声材料能显著降低轮胎空腔共振引起的轮胎外部辐射噪声,这为后来的研究奠定了基础。S. BARO等^[11]指出轮胎空腔多孔吸声材料的厚度和布置方式会对轮胎空腔共振噪声产生相应的影响。Z. MOHAMED等^[12]在试验中分别将吸声材料粘贴在轮辋表面和轮胎内表面,对其在轮胎空腔共振频率上的吸声因数进行了考察,发现吸声材料有很好的抑制噪声作用。

但目前的研究鲜少剖析多孔吸声材料属性对轮胎空腔共振噪声的影响。为此,本工作以275/70R22.5子午线轮胎为例,基于LMS Virtual Lab软件,选用常用的三聚氰胺多孔吸声材料(三聚氰胺材料),将其附着于轮胎空腔共振声学模型内表面后进行声学计算,并与声学处理前的计算结果对比;然后针对多孔材料的厚度、密度、孔隙率、流阻、孔径,设计42组仿真试验方案,得到显著影响轮胎空腔共振噪声的多孔材料属性。本工作

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51675240,51605198)

作者简介:王国林(1965—),男,吉林伊通人,江苏大学教授,博士,主要从事车辆动态性能、载运工具运行安全控制及汽车轮胎力学方面的研究工作。

E-mail:1049434626@qq.com

引用本文:王国林,吴靓璇.三聚氰胺多孔吸声材料属性对轮胎空腔共振噪声的影响[J].橡胶工业,2022,69(6):422-429.

Citation:WANG Guolin, WU Jingxuan. Effect of properties of porous sound-absorbing melamine material on tire cavity resonance noise[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(6): 422-429.

的研究结果可为低噪声绿色轮胎吸声材料的选择提供一定的指导。

1 轮胎空腔共振噪声产生的基本原理及其声学仿真

1.1 噪声产生的基本原理

轮胎空腔为轮胎胎体与轮辋之间的一个环形封闭空间,空腔受到不平路面的激励后会产生振动,当空腔振动频率与轮胎胎体振动频率接近时,两者会发生耦合共振,该共振效应随着车轴悬架等汽车部件传到车厢内而引起车内噪声,从而给司机和乘客造成不适感。

T. SAKATA等^[4]研究表明,轮胎空腔共振频率主要与轮胎空腔内声音传播速度及轮胎空腔几何中心周长有关,并提出自由状态下轮胎空腔共振模型,如图1所示。

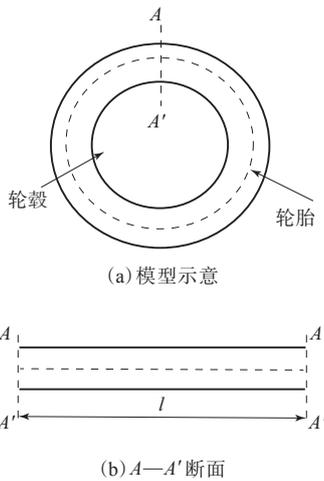


图1 自由状态下轮胎空腔共振模型
Fig. 1 Tire cavity resonance model in free state
同时给出了轮胎空腔共振频率计算公式:

$$f_i = \frac{ic}{l} \quad (1)$$

式中, i 为轮胎空腔共振的阶次, f_i 为第 i 阶的轮胎空腔共振频率, c 为空腔内的声音传播速度, l 为空腔几何中心周长。

利用式(1)可初步推断空腔共振频率所在范围,但该模型过于简化,通常计算得到的共振频率结果偏小^[13]。

1.2 声学仿真

1.2.1 声学计算流程与轮胎空腔共振声学模型

用试验方法获得轮胎空腔声学特性有一定的

困难性和局限性,建立轮胎空腔共振声学模型并进行声学计算可为轮胎空腔声学特性研究提供一定的便利。

声学特性的研究方法主要有声学边界元法、有限元法、声线法以及统计能量法。其中声学边界元法和有限元法均能计算封闭空间的内外声场,其基本原理就是在给定边界条件下求解声学方程。声学有限元法在计算封闭空间内部声场特性方面更有成效,并且能定义具体的多孔吸声材料属性,符合本工作仿真要求,其计算流程如图2所示。

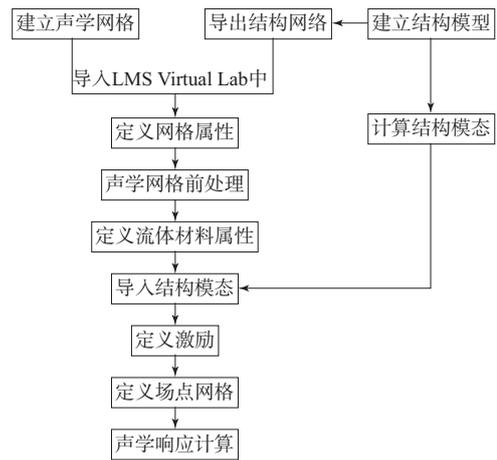


图2 声学有限元法计算流程
Fig. 2 Calculation procedure of acoustic finite element method

轮胎空腔共振声学模型以空腔为声学网格,如图3(a)所示;以外部胎体为结构网格,如图3(b)所示;声学网格与结构网格的结合模型如图3(c)所示;为防止仿真时声能的泄漏,在轮辋处进行封闭处理,封闭后的模型如图3(d)所示;场点网格如图3(e)所示,为圆环状,被置于声学空腔内。

其中,声学网格和结构网格在Hypermesh软件中提取获得;结构模态振动信息在Abaqus软件有限元仿真分析中得到;同时从Abaqus/Explicit软件模拟轮胎模型在路面滚动过程中提取轮胎在完整滚过一周后路面所给的时域上径向力,并利用快速傅里叶变换将其换成声学仿真时所需的频域下径向激励,如图4所示。

将上述声学网格、结构网格以及场点网格导入到软件中,定义声学网格为空气流体属性,密度为 $1.214 \times 10^{-3} \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,声速为 $343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;导入结构模态赋予结构网格振动信息。在径向激励力

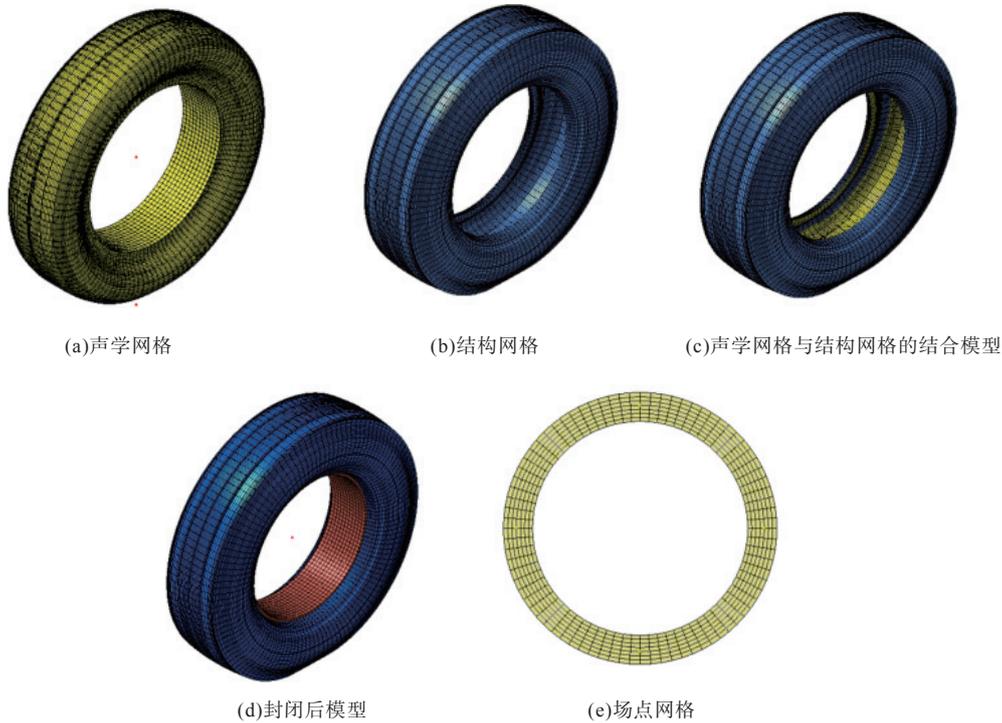


图3 轮胎空腔共振声学模型各组成部分
Fig. 3 Components of tire cavity resonance acoustic model

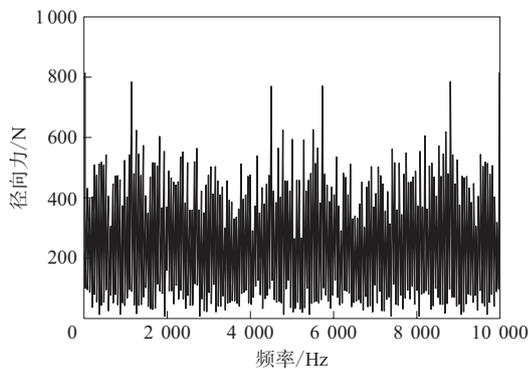


图4 声学仿真所需的频域下径向激励
Fig. 4 Radial excitation in frequency domain required for acoustic simulation

作用下先计算声腔模态,再与结构模态耦合,最终得到轮胎结构与空腔的耦合声场分布。

1.2.2 声学处理前的计算结果分析

根据式(1)计算得到轮胎的共振频率为142 Hz,提取该频率下轮胎空腔的声压级(dB)云图,如图5所示。

从图5可以看出,声压级最高处位于轮胎空腔顶部和接地位置,而左右两侧的声压级则相对较低,这与文献[14]仿真分析所得到的结果有较高的吻合度。为了系统地比较分析,选取场点网格上

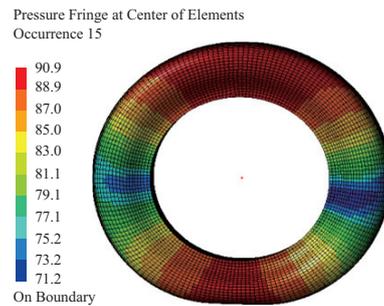


图5 142 Hz时轮胎空腔声压级云图

Fig. 5 Nephogram of tire cavity sound pressure levels at 142 Hz的4个节点为输入/输出点(见图6),以顶部节点位置为起始点,按顺时针方向将4个节点分别编号为 a, b, c, d ,以获得空腔中典型位置处的声压级频谱特征。为了模拟人耳的听觉特性,对提取得到的声压级频谱进行A计权处理,并截取100~200 Hz范围内的数据,如图7所示。

分析图7中数据可知,A计权声压(声压级)峰值出现在144 Hz附近,与使用式(1)计算的频率(142 Hz)基本吻合。而在该频率处, a, b, c, d 4个节点的声压级分别为92.37, 51.99, 92.14, 59.16 dB。为了方便、直观地比较声学处理前后轮胎空腔声学特性,在此取4个节点的平均声压级为

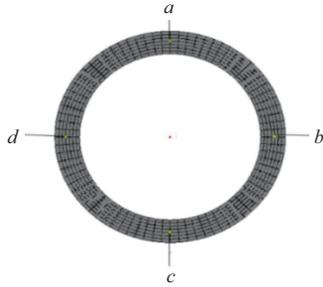
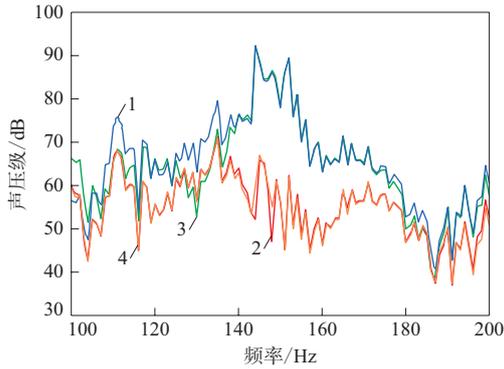


图6 场点网格节点设置
Fig. 6 Node setting of site meshes



节点: 1—*a*; 2—*b*; 3—*c*; 4—*d*。

图7 节点的声压级频谱

Fig. 7 Sound pressure level spectra of nodes

73.92 dB。

1.2.3 声学处理后的计算结果分析

三聚氰胺材料凭借其密度小、吸声性能好的优点被广泛应用于航空航天、船舶、交通等领域。本工作所用三聚氰胺材料的吸声属性值均来自文献[15]研究的国产“绿寰宇”三聚氰胺材料(泡沫),如表1所示。

表1 三聚氰胺材料的吸声属性值
Tab. 1 Sound absorption property values of melamine material

项 目	数值	项 目	数值
密度/(Mg · m ⁻³)	0.010 8	特征粘性长度/mm	0.13
孔隙率	0.99	特征热效长度/mm	0.10
流阻/(Pa · s · m ⁻¹)	10 000	曲率	1.01

在前述流程基础上,用特征角的方式在声学网格上定义内饰组,并在该组上定义三聚氰胺材料内饰属性,取材料厚度为20 mm,定义完成后材料网格与声学网格组合如图8所示。

声学仿真计算完成后,为便于比较,提取同一频率处的轮胎空腔声压级云图。声学处理后142 Hz处轮胎空腔声压级(dB)云图如图9所示。

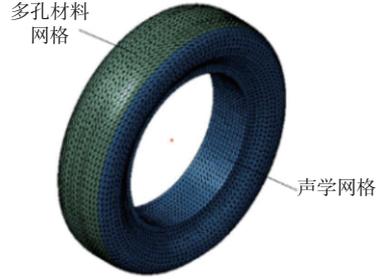


图8 内饰属性定义完成后材料网格与声学网格组合

Fig. 8 Combination of material meshes and acoustic meshes after interior attribute definition

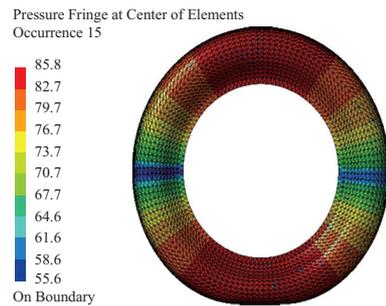


图9 声学处理后142 Hz处轮胎空腔声压级云图

Fig. 9 Nephogram of tire cavity sound pressure levels at 142 Hz after acoustic treatment

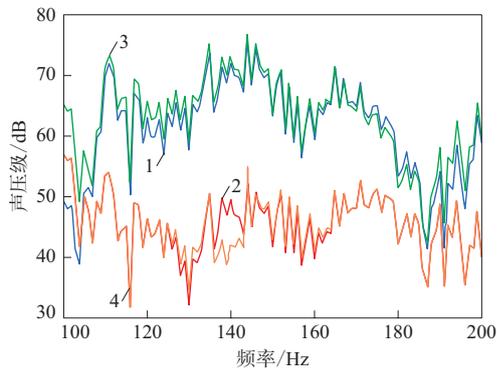
对比图5和9可以看出,声学处理后的轮胎空腔声学特性在整体分布上没有较大区别,上下与左右位置仍分别为声压级最高与最低处,但声学处理对轮胎空腔降噪效果明显,且声学处理后轮胎模型底部声压级大的区域增多,左右声压级大小互换。

同样提取场点网格上4个节点的声压级频谱,如图10所示。

对比图7和10可以看出,声学处理后所截取频率段处的声压级都有所降低,但对轮胎空腔共振频率范围处的声压级降低得更为明显。而在144 Hz处,*a, b, c, d* 4个节点处的声压级分别为75.71, 54.58, 75.73, 55.22 dB,平均值为65.31 dB。可以得出,加了厚度为20 mm的三聚氰胺材料之后,轮胎内部4个节点处的空腔共振噪声降低了8.61 dB。

2 三聚氰胺材料属性的仿真试验

为了探究三聚氰胺材料的属性对轮胎空腔共振噪声的影响规律,针对三聚氰胺材料厚度、密度、孔隙率、流阻及孔径,共设计42组仿真试验方案并进行试验及分析,相关内容如下。



注同图7。

图10 声学处理后节点的声压级频谱

Fig. 10 Sound pressure level spectra of nodes after acoustic treatment

2.1 三聚氰胺材料厚度试验及分析

以10 mm厚度为一个步长,进行10组三聚氰胺材料厚度试验,取144 Hz处4个节点的平均声压级作为轮胎空腔共振噪声的评价指标,三聚氰胺材料厚度与轮胎空腔声压级如表2所示。

表2 三聚氰胺材料厚度与轮胎空腔声压级
Tab. 2 Melamine material thicknesses and tire cavity sound pressure levels

厚度/mm	节点声压级/dB				平均声压级/dB
	a	b	c	d	
10	77.12	56.69	77.76	57.51	67.27
20	75.73	54.58	75.71	55.22	65.31
30	73.40	53.08	72.79	53.67	63.24
40	71.04	51.94	69.78	52.34	61.28
50	67.66	50.20	65.35	50.53	58.44
60	69.49	53.32	67.70	54.13	61.16
70	68.18	52.44	65.83	53.69	60.03
80	67.74	50.89	65.03	51.75	58.85
90	67.54	50.25	64.51	51.27	58.39
100	67.30	49.92	64.23	50.13	57.90

轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料厚度的关系如图11所示。

从图11可以看出:在所选三聚氰胺材料厚度范围内,三聚氰胺材料厚度与轮胎空腔降噪量并不是单调增减的关系,而是在厚度为50 mm处存在一个转折点,该点的轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料厚度为100 mm的轮胎空腔平均声压级相近,在三聚氰胺材料厚度为40与60 mm时轮胎空腔平均声压级只相差0.12 dB;在三聚氰胺材料厚度为10~40 mm时轮胎空腔降噪幅度大于三聚氰胺材料厚度为60~100 mm时轮胎空腔降噪幅度,

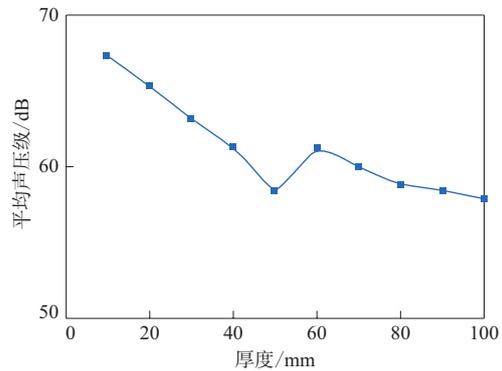


图11 轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料厚度的关系
Fig. 11 Relationship between tire cavity average sound pressure levels and melamine material thicknesses

即三聚氰胺材料厚度大于60 mm后轮胎空腔平均声压级随三聚氰胺材料厚度的增大而降幅较小。综上所述,三聚氰胺材料厚度并不是越大越好,而是存在最优值,针对本研究轮胎,三聚氰胺材料厚度最优值为50 mm。在下面的仿真试验中三聚氰胺材料厚度为50 mm(其他属性值参见表1)。

2.2 三聚氰胺材料密度试验及分析

以0.010 Mg·m⁻³密度为一个步长,进行10组三聚氰胺材料密度试验,三聚氰胺材料密度与轮胎空腔声压级如表3所示。

表3 三聚氰胺材料密度与轮胎空腔声压级
Tab. 3 Melamine material densities and tire cavity sound pressure levels

密度/(Mg·m ⁻³)	节点声压级/dB				平均声压级/dB
	a	b	c	d	
0.010 8	67.66	55.20	65.35	55.57	60.94
0.020 8	69.18	55.10	67.46	55.55	61.82
0.030 8	67.90	55.05	66.16	55.40	61.13
0.040 8	68.49	56.03	67.94	56.18	62.16
0.050 8	71.40	57.53	71.20	57.44	64.39
0.060 8	71.91	56.92	71.72	56.46	64.25
0.070 8	71.85	56.27	71.44	55.57	63.78
0.080 8	71.69	55.94	71.10	55.20	63.48
0.090 8	71.55	55.76	70.80	55.08	63.30
0.100 8	71.41	55.63	70.55	55.07	63.16

轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料密度的关系如图12所示。

从图12可以看出:在设计三聚氰胺材料密度范围内,轮胎空腔平均声压级呈现多样化趋势;在三聚氰胺材料密度为0.010 8~0.050 8 Mg·m⁻³范围内,轮胎空腔平均声压级先上升后下降再上升,而在三聚氰胺材料密度为0.040 8~0.050 8

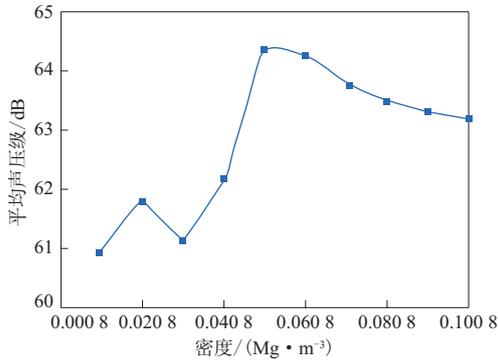


图12 轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料密度的关系
Fig. 12 Relationship between tire cavity average sound pressure levels and melamine material densities

Mg · m⁻³范围内,轮胎空腔平均声压级升高剧烈;在三聚氰胺材料密度大于0.0508 Mg · m⁻³后,随着三聚氰胺材料密度的增大,轮胎空腔平均声压级降低,但其值仍然较高。分析可得,三聚氰胺材料密度为0.0108 Mg · m⁻³时能够实现较好的轮胎降噪和轻量化效果。

2.3 三聚氰胺材料孔隙率试验及分析

三聚氰胺材料孔隙率是指材料中孔的体积与三聚氰胺材料的体积之比^[16]。以0.10孔隙率为一个步长,对三聚氰胺材料孔隙率进行6组仿真试验,三聚氰胺材料孔隙率与轮胎空腔声压级如表4所示。

表4 三聚氰胺材料孔隙率与轮胎空腔声压级
Tab. 4 Melamine material porosities and tire cavity sound pressure levels

孔隙率	节点声压级/dB				平均声压级/dB
	a	b	c	d	
0.49	71.25	56.38	69.88	56.72	63.56
0.59	71.43	55.64	70.24	56.08	63.35
0.69	70.60	55.27	69.27	55.73	62.72
0.79	69.50	55.12	67.88	55.56	62.02
0.89	68.50	55.11	66.53	55.52	61.42
0.99	67.66	55.20	65.35	55.57	61.00

轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料孔隙率的关系如图13所示。

从图13可以看出:三聚氰胺材料孔隙率为0.49~0.99时,轮胎空腔平均声压级随三聚氰胺材料孔隙率的增大而降低;三聚氰胺材料孔隙率为0.49~0.59时,轮胎空腔平均声压级的降低幅度较小;三聚氰胺材料孔隙率为0.99时,轮胎空腔平均声压级最低。

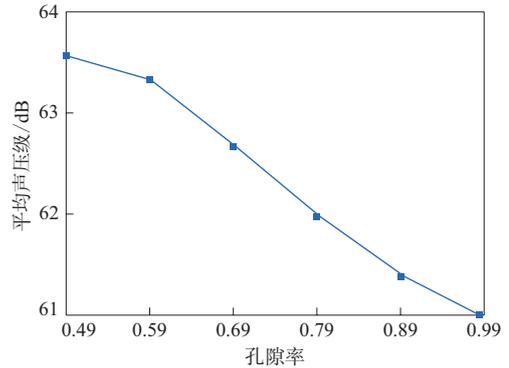


图13 轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料孔隙率的关系
Fig. 13 Relationship between tire cavity average sound pressure levels and melamine material porosities

2.4 三聚氰胺材料流阻试验及分析

固体材料流阻定义如下:

$$R = \frac{\Delta p}{hv} \quad (2)$$

式中, R 为固体材料流阻, Δp 为声波穿过固体材料后的声压级差, h 为固体材料厚度, v 为流体的流动速度。

以1 000 Pa · s · m⁻¹流阻为一个步长,对三聚氰胺材料流阻进行6组仿真试验,三聚氰胺材料流阻与轮胎空腔声压级如表5所示。

表5 三聚氰胺材料流阻与轮胎空腔声压级
Tab. 5 Melamine material flow resistances and tire cavity sound pressure levels

流阻/(Pa · s · m ⁻¹)	节点声压/dB				平均声压级/dB
	a	b	c	d	
10 000	67.66	55.20	65.35	55.57	60.94
11 000	67.61	55.17	65.31	55.54	60.91
12 000	67.56	55.15	65.26	55.51	60.87
13 000	67.51	55.12	65.19	55.48	60.82
15 000	67.39	55.07	65.05	55.43	60.74
20 000	67.09	54.96	64.65	55.32	60.50

轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料流阻的关系如图14所示。

从图14可以看出,在设计流阻范围内,轮胎空腔平均声压级随三聚氰胺材料流阻的增大有降低的趋势,但是变化不大。

2.5 三聚氰胺材料孔径试验及分析

一般用特征粘性长度和特征热效长度来表征三聚氰胺材料孔径特性。特征粘性长度表征流体与结构之间因粘性产生的能量传递,约等于2个孔间通道尺寸;特征热效长度表征空气与结构之间

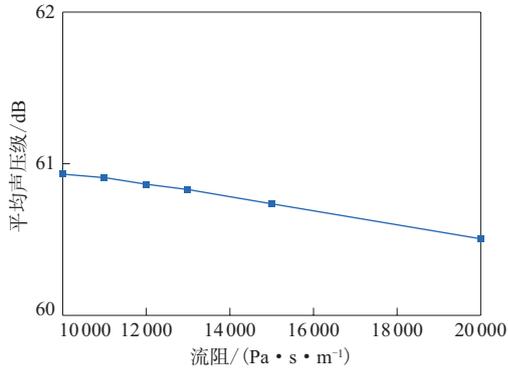


图14 轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料流阻的关系

Fig. 14 Relationship between tire cavity average sound pressure levels and melamine material flow resistances

的热能传递,约等于孔尺寸^[16]。以0.01 mm长度为一个步长,分别进行5组特征粘性长度和特征热效长度仿真试验,三聚氰胺材料特征粘性长度与轮胎空腔声压级如表6所示,特征热效长度与轮胎空腔声压级如表7所示。

表6 三聚氰胺材料特征粘性长度与轮胎空腔声压级
Tab. 6 Melamine material characteristic viscosity lengths and tire cavity sound pressure levels

特征粘性长度/mm	节点声压级/dB				平均声压级/dB
	a	b	c	d	
0.11	71.38	55.55	70.51	54.96	63.10
0.12	71.38	55.55	70.51	54.95	63.10
0.13	67.66	55.20	65.35	55.57	60.94
0.14	71.37	55.54	70.51	54.94	63.09
0.15	71.37	55.54	70.51	54.94	63.09

表7 三聚氰胺材料特征热效长度与轮胎空腔声压级
Tab. 7 Melamine material characteristic thermal effect lengths and tire cavity sound pressure levels

特征热效长度/mm	节点声压级/dB				平均声压级/dB
	a	b	c	d	
0.08	71.37	55.54	70.51	54.94	63.09
0.09	71.37	55.54	70.51	54.94	63.09
0.10	67.66	55.20	65.35	55.57	60.94
0.11	71.37	55.54	70.51	54.94	63.09
0.12	71.37	55.54	70.51	54.95	63.09

轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料特征粘性长度和特征热效长度的关系分别如图15和16所示。

从图15和16可以看出,三聚氰胺材料特征粘性长度和特征热效长度均存在最优值,分别为0.13和0.10 mm,其对应的轮胎空腔平均声压级最低,而在其他选定的三聚氰胺材料特征粘性长度和特征热效长度下轮胎空腔平均声压级变化不大。因此,三聚氰胺材料孔径过小或过大都不利

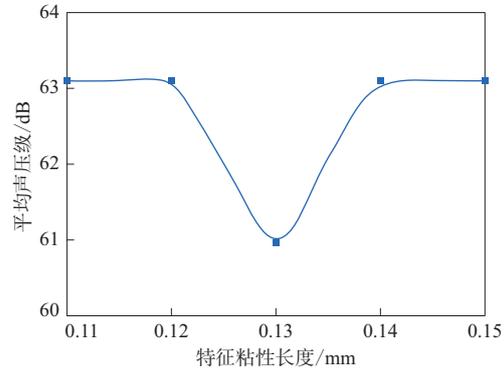


图15 轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料特征粘性长度的关系

Fig. 15 Relationship between tire cavity average sound pressure levels and melamine material characteristic viscosity lengths

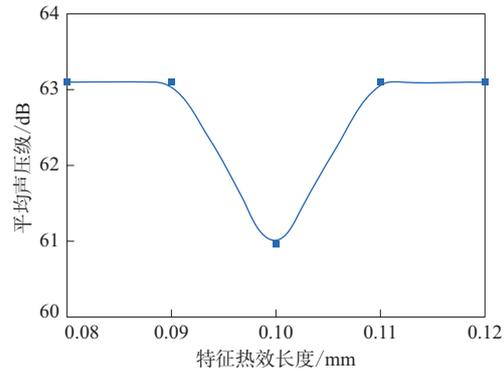


图16 轮胎空腔平均声压级与三聚氰胺材料特征热效长度的关系

Fig. 16 Relationship between tire cavity average sound pressure levels and melamine material characteristic thermal effect lengths

于降噪,孔径过小则三聚氰胺材料接近于闭孔,孔径过大则空气在三聚氰胺材料内流通更顺畅,减小了声能的吸收。

3 结论

本工作基于LMS Virtual Lab软件的声学仿真方法,通过在轮胎空腔填充三聚氰胺材料进行了封闭的轮胎空腔声学特性分析,结果如下。

(1) 对轮胎空腔进行三聚氰胺材料声学处理后,轮胎空腔声压级明显降低。

(2) 轮胎结构与空腔耦合共振噪声有4个典型位置,声压级最高处位于轮胎中心的竖直方向,最低处位于轮胎的水平方向;在竖直和水平两个方向,三聚氰胺材料对轮胎空腔噪声都有较好的吸声效果。

(3) 对于轮胎空腔降噪,三聚氰胺材料的厚度

和孔径不是越大越好,而是存在合理值;三聚氰胺材料流阻对轮胎空腔声压级的影响不大,总体上随着三聚氰胺材料流阻的增大,轮胎空腔声压级降低;从轮胎材料轻量化和降噪效果来看,三聚氰胺材料密度为 $0.0108 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 最好;同时,三聚氰胺材料孔隙率越大,轮胎空腔声压级越低。

参考文献:

- [1] 吕彩琴,王宏伟,孙权.某电动轿车车身结构优化与NVH性能提升[J].现代制造工程,2020(10):57-61.
LYU C Q, WANG H W, SUN Q. Body structure optimization and NVH performance improvement of an electric car[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(10):57-61.
- [2] 石宇鹏,张全逾,刘鹏.汽车轮胎空腔模态的获取途径及其影响因素[J].汽车零部件,2020(10):47-49.
SHI Y P, ZHANG Q Y, LIU P. Acquisition and influencing factors of vehicle Tire cavity modal[J]. Automobile Parts, 2020(10):47-49.
- [3] 吴长辉,李红卫,田健,等.轮胎空腔共振噪声改善方法[J].橡塑技术与装备,2020,46(12):25-28.
WU C H, LI H W, TIAN J, et al. Improvement method of tire cavity noise[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2020, 46(12):25-28.
- [4] SAKATA T, MORIMURA H, IDE H. Effects of tire cavity resonance on vehicle road noise[J]. Tire Science and Technology, 1990, 18(2):68-79.
- [5] NICOLAS D. Device for attenuating cavity noise in a tire and wheel assembly[P]. WO:EP 1 932 689, 2008-06-18.
- [6] YAMAUCHI H, AKIYOSHI Y. Theoretical analysis of tire acoustic cavity noise and proposal of improvement technique[J]. JSAE Review, 2002, 23(1):89-94.
- [7] SCAVUZZO R W, CHAREK L T, SANDY P M, et al. Influence of wheel resonance on tire acoustic cavity noise[Z]. USA: Society of Automotive Engineers, 1994.
- [8] WAISANEN A S, BIOUGH J R. Road noise TPA simplification for improving vehicle sensitivity to tire cavity resonance using helium gas[C]. SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition. St. Charles, Illinois, USA: Society of Automotive Engineers, 2009:16470-16477.
- [9] SAINTY S, TAWAF A, RICHARD J, et al. Analysis of potential solutions to audible tire cavity and rim coupling resonance noise[C]. International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. New York, USA: American Society of Mechanical Engineers, 2012:4457-4463.
- [10] KAMIYAMA Y. Development of twin-chamber on-wheel resonator for tire cavity noise[J]. International Journal of Automotive Technology, 2018, 19(1):37-43.
- [11] BARO S, CORRADI R, ABOM M, et al. Modelling of a lined tyre for predicting cavity noise mitigation[J]. Applied Acoustics, 2019, 155(12):391-400.
- [12] MOHAMED Z, WANG X. A study of tyre cavity resonance and noise reduction using inner trim[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2015, 50-51:498-509.
- [13] 冯冠雍.子午线轮胎空腔模态特性的研究[D].厦门:厦门理工学院,2020.
- [14] YI J J, LIU X D, SHAN Y C, et al. Characteristics of sound pressure in the tire cavity arising from acoustic cavity resonance excited by road roughness[J]. Applied Acoustics, 2019, 146(5):218-226.
- [15] 湛相宇.基于三聚氰胺泡沫和Helmholtz共鸣器的整流罩降噪技术研究[D].北京:北京理工大学,2017.
- [16] 詹福良,徐俊伟. Virtual.Lab Acoustics声学仿真计算从入门到精通[M].西安:西北工业大学出版社,2013.

收稿日期:2021-12-24

Effect of Properties of Porous Sound-absorbing Melamine Material on Tire Cavity Resonance Noise

WANG Guolin, WU Jingxuan

(Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Taking 275/70R22.5 radial tire as the research object, the tire acoustic simulation model was established. Based on the indirect coupled acoustic finite element method of LMS Virtual Lab software, the tire cavity was filled with porous sound-absorbing melamine material (melamine material), the influence of melamine material on the tire cavity resonance noise was studied. The results showed that melamine material had obvious effect on reducing the tire cavity sound pressure level. For tire cavity noise reduction, the thickness, density and pore size of melamine material had the optimal values. The tire cavity sound pressure level decreased with the increase of the porosity and flow resistance of melamine material, but the effect of the flow resistance on tire cavity sound pressure level was less significant.

Key words: tire; porous sound-absorbing melamine material; material property; cavity resonance noise; sound pressure level; acoustic simulation