某叉车排气消声器设计研究

安徽合力股份有限公司 白迎春

文章首先基于有限元法分析比较三款消声器的传递损失、尾管噪声，然后分别测试三款消声器装配到某叉车后在不同工况下的插入损失、排气阻力。仿真和测试结果为叉车选配消声器提供依据，有很高的工程应用价值。

一、引言

排气噪声在叉车整车噪声中占据了重要分量，如何降低排气噪声是叉车噪声控制中的重要课题。通过设计排气消声器可以衰减和阻碍声能向外传播以达到降噪目的，所以消声器性能的优劣直接关系到降噪效果和发动机功率损失，如何平衡消声器声学性能和空气动力学性能，设计出综合性能较好的消声器是一难题。在分析声学性能方面，有限元法在设计前期具有较强的优势，可用于预测其传递损失、尾管噪声；而试验测试方法则可以更直接地比较不同消声器的性能，为叉车选配消声器提供实际依据。本文首先介绍消声器分析和试验的基本原理；其次结合某叉车排气噪声频谱特点，设计和分析三款消声器；然后将试制出的三款消声器装配到某叉车上，比较它们在不同工况下的插入损失、排气阻力；最后综合比较消声器的声学和空气动力学性能，为该叉车选配合适的消声器。

二、消声器分析和试验的基本原理

1. 消声器分析原理

有限元法计算消声器传递损失可以参考文献[1]，文中详细介绍边界条件、吸声材料、穿孔管的处理以及传递损失的计算公式。尾管噪声的预测综合了发动机排气频谱和消声器的消声特性，更接近于实际工况，首先选择距离发动机排气尾管 500mm、45 度角处的测点测量声压，进而计算发动机排气口处声压，然后根据声学原理，把排气口等效为圆形平面活塞辐射器，计算得到活塞辐射器的振速幅值，其公式如下[2]，最后将计算得到的振速幅值作为有限元的速度边界条件，就可以分析得到消声器出口管处噪声。

$$U_{0m}=\frac{P_{\theta m}}{\rho_0 sfR(\theta)} \qquad (1)$$

其中，$P_{\theta m}$ 为测点出声压、U_{0m} 为活塞辐射器的振速幅值、r 为发动机排气口中点到测点距离、s 为发动机排气

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn IMCHINA@idnovo.com.cn

口面积、ρ_0 空气密度、f 即频率、$R(\theta)$ 即方向性函数。

2. 消声器试验方法

插入损失是指一个系统中插入消声元件之前和之后，在出口处得到的声压级的差值[3]。本文采用 LMS Test.Xpress 系统，在离发动机排气口 500mm、45 度角处测出消声器装配到叉车上前后的 A 计权声压级。

排气阻力测试采用的是公司的内控标准，将发动机前排气管(接消声器进气口)上攻小孔，再连接一个灌水的 U 型管，并记录发动机在不同工况下 U 型两端的水压差。

三、消声器设计与分析

消声器的设计不仅要考虑内部消声单元的频率特性，也要考虑发动机排气噪声的频谱特性。比如赫姆霍兹消声单元作用于 40−200Hz 的低频，三管迷路用于 100−500Hz 的中频，阻性消声单元频率作用范围在 500Hz 以上。对于某叉车所配的四缸发动机排气尾管噪声频谱如图 1 所示：其中，中低频主要成分是 2 、4 和 6 阶，高频成分在 500Hz 以上也比较显著，所以设计的消声器要兼顾各个频率段的消声效果。根据排气噪声的频谱特性，设计出三款消声器（G、L、W 型）依次从左到右如图 2 所示，依据有限元法分析得到每个消声器的传递损失如图 3 所示。

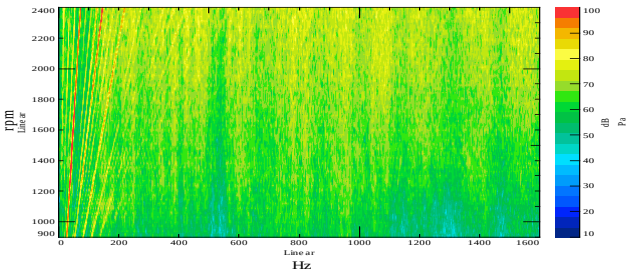

图 1 某叉车排气噪声瀑布图

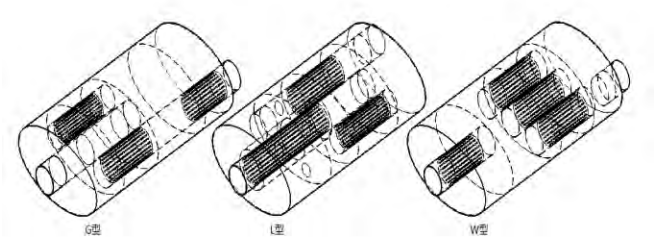

图 2 三款消声器三维图

从传递损失曲线图上可以观察到， G、L 和 W 型在中低频（400Hz 以下）消声效果非常好，特别是 W 型在 120Hz 和 250Hz 存在两个消声峰值频率；这三款消声器在中频（300−400Hz）附近消声效果均不理想；在 500Hz 以上的高频区域，W 型渐渐逊色于 G 型和 L 型。

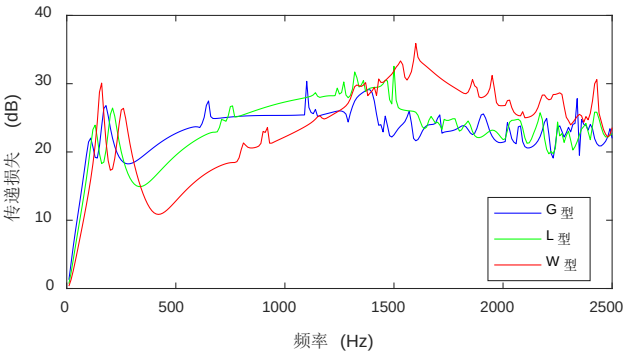

图 3 三款消声器传递损失

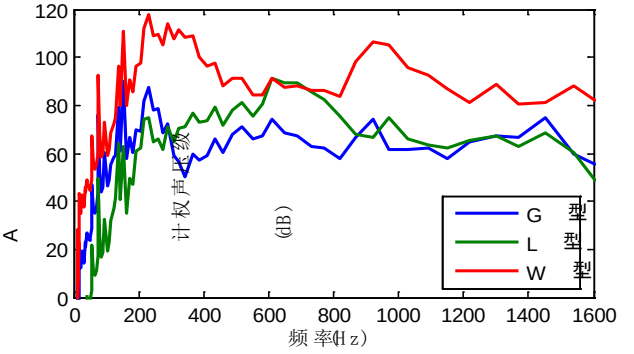

图 4 溢流工况时预测消声器尾管噪声

叉车在溢流工况下排气噪声较大，可以采集该工况下的排气频谱，再通过公式（1）计算得到有限元法所需要的入口振动幅值的边界条件，进而预测比较各消声器尾管噪声的大小如图 4 所示，图中 W 型尾管噪声远高于其他二者；L 型相比 G 型在 100−400Hz 的中低频较小，而在 500−1000Hz 的高频较大。若从 A 计权总声压级的角度考虑，W 型最大、G 型次之、L 型最小。

四、试验结果分析

有限元分析在产品设计前段，能很好预测产品性能，然而测试结果不但能更真实的反映产品性能，还能验证 CAE 分析的准确性。图 5 为消声器装到此叉车后离排气口 500mm、45 度角处测到尾管噪声瀑布图，与图 1 相比较，中低频的 2、4 和 6 阶成分明显降低，500Hz 以上的高频成分也显著减少。但综合比较，L 型消声效果最好，它比 G 型在 300Hz 以上消声效果好，300Hz 以下基本相当；比 W 型

500Hz 以下的中低频消声效果要好很多，但到 800Hz 以上的高频区域 W 型就更占优势了；G 型和 W 型相比，前者的优势在中低频，后者在高频，这与 CAE 分析很吻合，也证明有限元法的准确性。

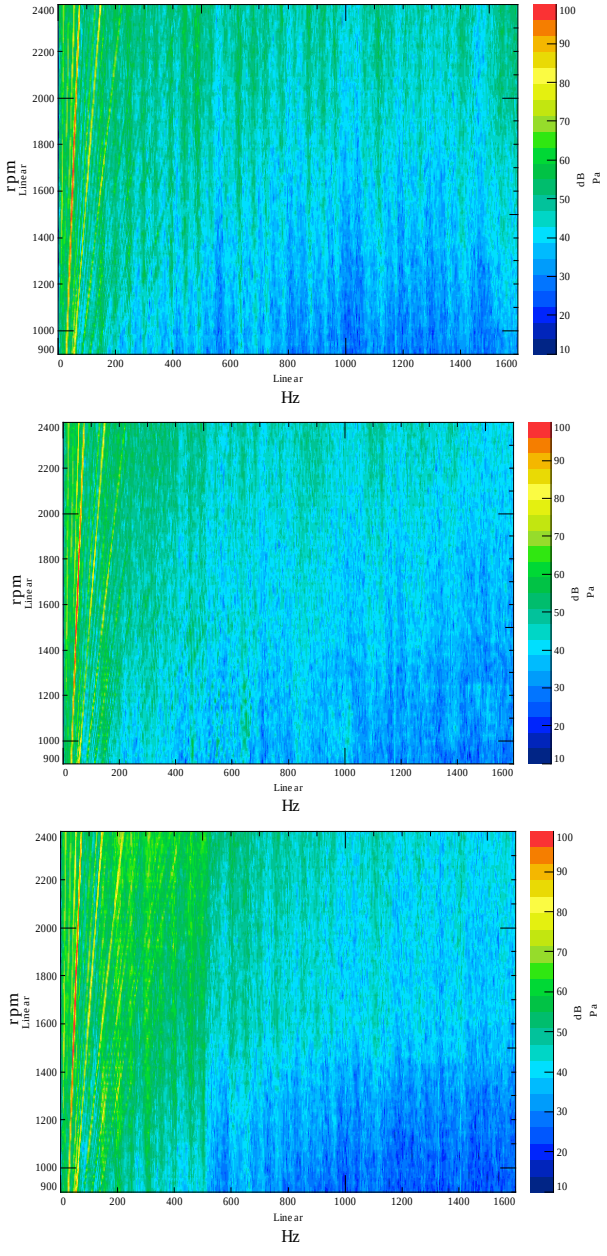

图 5 G、L、W 型消声器尾管噪声瀑布图

图 6 为不同消声器尾管噪声 A 计权声压级与转速的关系图，其中空管则表示未装消声器时的尾管噪声，L 型在整个转速条件下比其他消声效果都好，G 型在 900−1800rpm 转速下比 W 型好 1−2dB，但到更高转速时它们基本相当。

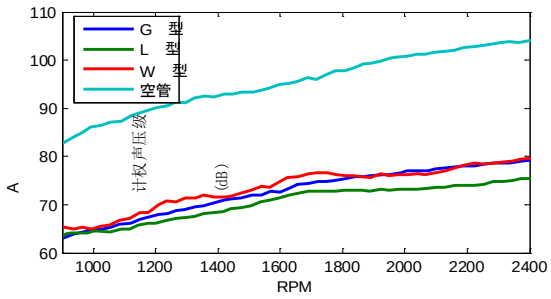

图 6 不同消声器尾管噪声与转速关系图

叉车选配消声器不仅要考虑声学性能，也要兼顾空气动力学性能，表 1 为三款消声器在不同工况下的插入损失和排气阻力，L 型消声器虽然插入损失大，但它的排气阻力也是最高的，特别是在全速工况下；G 型声学性能略好于 W 型，尤其在溢流工况下要好2.7dB,但是它们的排气阻力相差不大。

表 1　不同工况下消声器插入损失和排气阻力表

性能	插入损失 (dB)			排气阻力 (mmH2O)		
工况	G 型	L 型	W 型	G 型	L 型	W 型
怠速	21.8	23.2	21.0	138	136	256
全速	26.6	30.8	25.7	578	818	592
溢流	27.1	30.1	24.4	1030	1096	1012

五、总结

有限元法和试验法均是消声器设计的必要手段，其中有限元法主要应用于设计前期预测声学性能，这样可以缩短研发周期和降低设计成本；试验法则是验证设计优劣的最直接手段，所以两者要结合于一起。本文所设计的三款消声器性能均满足要求，建议在对噪声排放控制严格的高端车型上选配 L 型消声器，在对排气阻力要求小的叉车上选配 W 或 G 型消声器。

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn