

文章编号:1006-1355(2019)03-0226-04

消声器的模块化设计开发理念

齐 昀, 贾维新, 赵 明, 李 恒

(上海大创汽车技术有限公司, 上海 201804)

摘 要:消声器结构能有效抑制特定频率范围的噪声成分,以降低辐射噪声水平,已广泛应用于管路系统的NVH解决方案。消声结构的设计原理与工程开发,目前已相对较成熟,但如何提高NVH调音效率又保证声学调校的精度?如何实现通用化与多平台的共用,从而降低生产制造成本?为解决这些问题,未来消声器结构设计的全新理念——模块化开发应运而生。首先详细阐述模块化开发的理念与相应结构的声学特性,然后结合实际工程案例论证模块化消声器在增压中冷管NVH开发中的作用,最后对模块化开发的发展优势进行深入探讨。

关键词:声学;消声器;模块化;NVH;生产成本

中图分类号:TK402

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2019.03.043

Modular Development Concept of Muffler Design

QI Yun, JIA Weixin, ZHAO Ming, LI Heng

(Datro Auto Technology Co., Ltd., Shanghai 201804, China)

Abstract: Muffler structure can effectively suppress the noise components in specific frequency bands and reduce the noise level. Therefore, it is widely utilized for NVH issue solution of duct systems. Currently, design principle and engineering development of the muffler structures have matured. However, how can we improve the efficiency and ensure the accuracy of acoustic tuning simultaneously? How can we promote multi-platform sharing and assembling so as to reduce production and manufacture costs? These problems are needed to be solved urgently. Thus, a new future development concept for muffler design, so called modular development, has appeared. In this paper, the principle of modular development of the muffler structure and its acoustic characteristics are introduced in detail. In addition, combined with an actual engineering case, the modular muffler is designed and manufactured, and its great effect in charged air duct NVH issue is proved. The compressor hiss noise is well attenuated when the modular muffler is attached to the vehicle. Finally, the trend of modular muffler development in the future is deeply discussed.

Keywords: acoustics; muffler; modular development; NVH; manufacturing cost

消声器结构的设计与应用^[1],已然成为动力装置管路系统NVH开发的重要内容。进气系统、排气系统、增压器进气管系统、泵系统,风道系统等,几乎所有管路系统的NVH问题改善与解决,都会普遍涉及消声器结构。

抗性消声器^[2-3],作为管路系统NVH设计中最常见的消声技术与手段,具备工艺简单、成本较低、声学性能稳定,对其它性能影响较小等优点,也常常是NVH技术人员首选的调音方案。因此,本文

内容主要基于抗性消声结构进行阐述,暂不讨论阻性/复合式消声器(内部填充吸声材料^[4])。首先论述消声器结构的模块化开发理念,其次重点研究典型模块化消声器的声学特性,最后基于实际工程案例探究了增压中冷管NVH问题,有效论证模块化消声器在管路系统NVH开发过程中的优势。

1 模块化开发理念

针对样件NVH调音阶段而言,常规消声器的开发,过程一般为:结构设计—样件试制—装车验证。当消声器样件试制完毕即表征声学状态基本冻结,若有效通过整车声学验证,那么NVH调校工作即可完成。但实际工作过程中往往并非如此,需考虑整车状态下的实际工作环境、温度、压力、气流等因素影响(尤其是增压管路工作条件下),实际的声学特性并非与设计目标相一致。此时便需要对结构参

收稿日期:2018-08-22

作者简介:齐昀(1982-),女,江苏省太仓市人,工学学士,主要研究方向为发动机进气系统NVH研究。

E-mail: yun.qi@datro-tech.com

通信作者:李恒,男,浙江省兰溪市人,工学博士,主要研究方向为发动机CAE设计及进、排气系统噪声研究。

E-mail: alfred.li@datro-tech.com

数进行调整与调校,因此不得不重启新一轮“结构设计—样件试制—装车验证”工作。同样地,主机厂面对的是所有车型、发动机的项目,而很多情况下同一款发动机将配置到多款不同车型,同时多款发动机也常常会配置同一套进气管路系统,这就需要考虑单个零部件的通用化率的问题。传统的消声器开发思路,通常只能适用于特定的一款车型,多款车型必然需要启动多副模具,这在产品开发阶段将占据相当大的成本。

为了解决常规消声器NVH调音效率低、单个零件无法平台化通用化、生产成本高等问题,模块化设计开发理念应运而生,模块化消声器的主体结构由外壳体与内芯子组成,如图1所示。外壳体的设计,需分析研究发动机的噪声特点,定义合适的声学腔体尺寸,以满足解决实际噪声问题的需求。此外,外壳体结构亦可根据管路布置、整车边界等因素进行定制化设计,而内部芯子结构即采用模块化设计理念。芯子结构严格定义了外形尺寸,以实现跨平台、多项目之间的通用化应用目的,主要区别则在于芯子表面穿孔/开槽等形式以及相应的参数。从NVH技术角度分析,确定外壳体消声容积后,仅通过调整内部芯子的声学参数实现不同频段的消声特性。由此,实际消声器声学调校时仅需通过选择更换芯子实现特定消声特性的快速调整,可大大提高NVH工作效率。

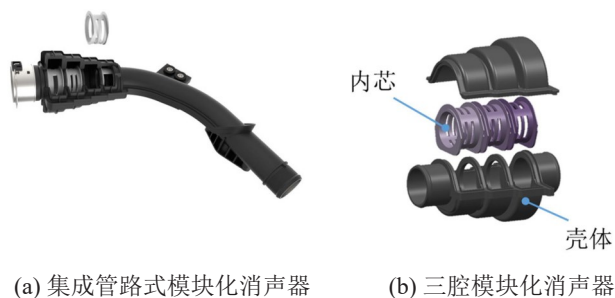


图1 模块化消声器示例

2 模块化消声器的声学特性

传递损失^[5](TL)为入射声功率级 L_{mi} 与透射声功率级 L_{tr} 的差值,反映消声元件本身的固有声学特性,常用于评价消声元件或系统的消声性能

$$TL = L_{wi} - L_{tr} = 20 \lg \left| \frac{p_i^+}{p_i^-} \right| + 10 \lg \frac{S_i}{S_t} \quad (1)$$

式中: p_i^+ 为消声元件进口处入射声压; p_i^- 为末端无反射条件下,消声元件出口处透射声压; S_i 为消声元件进口处截面面积; S_t 为消声元件出口处截面面积。传递损失的实验主要采用两负载法测量^[6-8],消声元件上、下游各设置2个传声器(共4个传声器),分别测量不同声学末端特性的两次试验,即可通过测得

传递矩阵最终获得系统的TL,如图2所示。

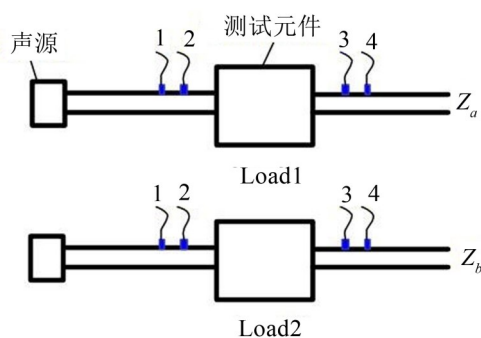


图2 两负载法测量传递损失

图3所示为设计的典型模块化消声器,能满足市面上多数涡轮增压中冷管尺寸边界。该消声器为直段式穿孔管抗性消声器,主管路内径为35 mm,即消声器进、出口内径均为35 mm,共有4个声学腔体,声学容积由大至小(1#—4#)依次为120 ml、80 ml、50 ml、30 ml,内芯尺寸先后共设计了多达20多种,适用于不同频段的针对性消声。传递损失实验测量时,通过更换不同的内芯即可获得相应的TL曲线结果。

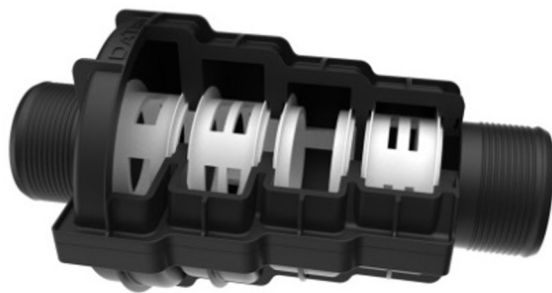


图3 四腔模块化消声器

图4所示为该模块化消声器的传递损失实验测量结果,下面一条黑色曲线表征选取的4个芯子为最低频芯子,以确认该模块化消声器的消声频率下限,同理,上面一条蓝色曲线表征该模块化消声器的消声频率上限。TL结果显示:1#声腔可调频率范围900 Hz~1 900 Hz,4#声腔可调频率范围2 000 Hz~3 800 Hz;而整体消声器的消声特性可实现900 Hz~6 000 Hz宽频段内任意频率成分的消声,TL幅值均高于20 dB以上;而实际的消声频段更高,能满足12 000 Hz~15 000 Hz超高频成分的消声,这主要是由于实验测试存在截止频率,因此实验测试最高可信频率上限为6 000 Hz左右。

模块化消声器,尤其适用于发动机的平台化应用,相同发动机采用同一外部结构,通过调整内部声学模块来匹配不同的车型,可大幅度提升单个零件的平台化率。目前团队所设计开发的模块化消声器,涵盖了直管式、弯管式、圆周式、偏心式等多

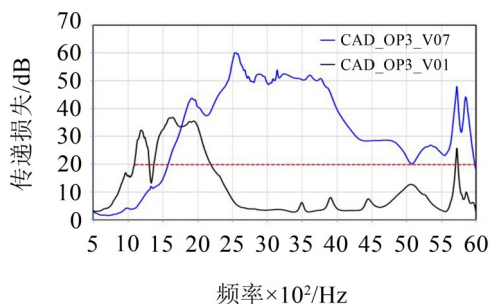


图4 四腔模块化消声器TL实验测量结果

种不同外形的结构,还开发了近20款内芯结构以适用于不同的消声特征。

3 增压管路模块化消声器

在工程实际开发过程中,国内某款尚未上市的小型乘用车,发动机为三缸1.5 T汽油机,整车加速行驶过程中,车内主观能明显感知“嘶嘶”声,以三档满负荷加速1 400 r/min~2 000 r/min转速工况最为明显。经整车NVH噪声源测试与传递路径排查分析,其噪声源主要为涡轮增压器,低流量高压比工况下增压器的不稳定工作引起的不稳定气流噪声(亦称“Hiss”声)^[9],且其主要传递路径为增压中冷管管路表面辐射。基于整车原中冷管路的布置于边界,设计了弯管/偏心式增压管路模块化消声器,如图5所示。



图5 弯管式模块化消声器

消声器整体由于管路走向设计为弯管式结构,内部共设计了3个声学腔体,3个芯子外轮廓相同而相互独立可分别调节。将消声器置于静态传递损失测试台架,采用前述二负载法进行实验测试,经过多轮内芯的选型与调整,最终得到最优的消声器声学特性如图6所示。

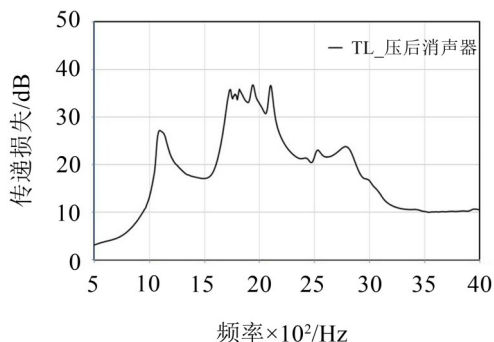
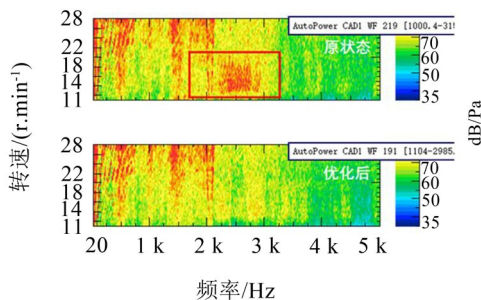


图6 增压管路模块化消声器TL实验测量结果

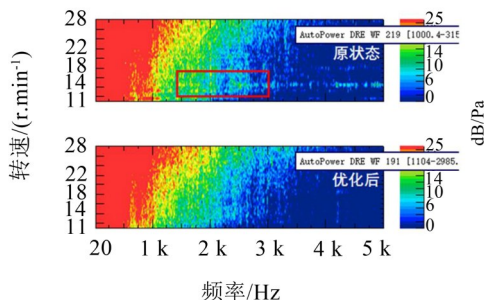
该模块化消声器在1 050 Hz~2 850 Hz其TL幅值均高于20 dB,消声峰值体现在1 700 Hz~2 200 Hz,其幅值达36 dB左右,能有效针对加速工况增压中冷管“Hiss”辐射噪声成分。

将该模块化消声器安装于增压中冷管处(压机出口段)进行整车道路试验,于增压管路表面近场约2 mm设置声学测点,测量管路表面辐射噪声;同时,于驾驶员右耳旁设置声学测点,测量车内噪声水平。声学采样频率设为25 600 Hz,最高分析频率可达12 800 Hz,基本满足声学分析所需,时域信号经快速傅里叶变换(Fast Fourier Transfer, FFT)得到测点噪声时频谱。

图7所示即为安装模块化消声器前后的各测点噪声时频谱结果,图7(a)为增压中冷管路近场辐射噪声,原状态加速工况1 400 Hz~3 000 Hz存在明显的“Hiss”成分,且能量较高贡献量较大。优化后的管路辐射噪声整体声压级水平降低明显,尤其在2 000 Hz~3 000 Hz频段内的噪声成分得到显著降低,优化后1 400 r/min~2 000 r/min转速区间基本



(a) 增压中冷管路近场辐射噪声



(b) 车内噪声

图7 安装模块化消声器前后测点噪声时频谱对比

无明显“Hiss”声成分。图7(b)为车内驾驶员右耳处噪声对比,与中冷管路辐射噪声相对应,中低转速区域车内噪声1 500 Hz~3 000 Hz成分也有明显的降低。由于车内噪声量级本身并不高,因此从客观数据反映不如增压管近场噪声明显,但车内主观感受“Hiss”声成分基本消失,优化效果明显,也提升了车内声品质水平与驾乘舒适性。

4 结 语

本文详细阐述了模块化开发的理念,深入探究了模块化设计开发在消声器设计领域的应用,并结合工程项目解决了实际NVH问题,声学优化效果明显,且大大提高了工作效率。

模块化开发理念在管路系统消声器的应用将是未来NVH领域的发展趋势。从技术层面考量,可实现NVH调音由传统的“设计—样件—验证”循环往复蜕变为“选芯—验证”的简单工作;从经营角度考量,模块化产品将实现多平台共用,大大节约了技术开发、模具生产等成本;从管理角度考量,模块化内芯便于实现声学调校与匹配,也有效降低了产品开发后期的风险。

参考文献:

- [1] 陈南. 汽车振动与噪声控制[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [2] 庞剑, 谌刚, 何华. 汽车噪声与振动[M]. 北京:北京理工大学出版社,2006.
- [3] 徐航手, 季振林, 康钟绪. 抗性消声器传递损失预测的三维时域计算方法[J]. **振动与冲击**, 2010, 24(4):39-41.
- [4] 王营, 赵武, 黄丹. 多孔材料声学模型及其应用[J]. **材料导报**, 2015(5):5-149.
- [5] MUNJAL M L. Acoustics of ducts and mufflers with application to exhaust and ventilation system design[M]. New York: Wiley, 1987.
- [6] TAO Z, SEYBERT A. A review of current techniques for measuring muffler transmission loss[J]. **SAE Technical**, 2003, Paper 2003-01-1653.
- [7] 李恒, 郝志勇. 涡轮增压器进气口消声器设计与性能评估[J]. **汽车工程**, 2015, 37(4):435-439.
- [8] 王雪仁, 缪旭弘, 季振林, 等. 管道和消声器声学性能的试验测量技术研究[J]. **内燃机工程**, 2009, 30(2):39-44.
- [9] PEAT K S, TORREGROSA A J, BROATCH A, et al. An investigation into the passive acoustic effect of the turbine in an automotive turbocharger[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 2006, 295: 738-756.

(上接第225页)

参考文献:

- [1] 切戈达耶夫著, 李中郢译. 金属橡胶构件的设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2000:20-66.
- [2] BUGRA H ERTAS, LUO HUAGENG, DARREN HALLMAN. Dynamic characteristics of shape memory alloy metal mesh dampers[C]. 50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2009: 1-5.
- [3] BUGRA H ERTAS. Complaint hybrid journal bearings using integral wire mesh dampers[C]. Proceedings of ASME Turbo Expo 2008, June 9-13, 2008: 1-12.
- [4] BUGRA H ERTAS, LUO HUAGENG. Nonlinear dynamic characterization of oil-free wire mesh dampers[J]. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, 2008, 130: 032503-1-032503-8.
- [5] ZHANG B, LANG Z Q, BILLINGS S A, et al. System identification methods for metal rubber devices[J]. **Mechanical Systems and Signal Processing**, 2013, 39(1-2): 207-226.
- [6] 李中郢, 卢正人. 金属橡胶减振器组合刚度特性研究[J]. **哈尔滨工业大学学报**, 2005, 37(10):1327-1329.
- [7] 邹广平, 刘泽, 唱忠良, 等. 金属丝网橡胶隔振器振动性能试验研究[J]. **兵器材料科学与工程**, 2015, 38(5):4-8.
- [8] 唱忠良, 邹广平, 刘泽, 等. 金属丝网橡胶隔振系统冲击响应[J]. **哈尔滨工程大学学报**, 2017, 38(1):80-85.
- [9] 邹广平, 刘泽, 唱忠良, 等. 金属丝网橡胶的本构关系[J]. **航空动力学报**, 2016, 31(10):2318-2324.
- [10] 邹广平, 程贺章, 唱忠良, 等. 丝网编织金属橡胶的静态力学性能[J]. **哈尔滨工程大学学报**, 2015, 36(3):332-336.
- [11] 李宇艳, 黄协青. 承载面积对金属橡胶材料本构关系的影响[J]. **振动、测试与诊断**, 2010, 30(5):544-546.
- [12] 王尤颜, 白鸿柏, 侯军芳. 金属橡胶疲劳损伤性能研究[J]. **机械工程学**, 2011, 47(2):65-71.
- [13] 陈宏霞, 马福民, 黄林滨, 等. 超润性金属网的制备及工艺优化[J]. **材料工程**, 2017, 45(9):59-65.