

越野车排气消声器的设计

排气消声器的设计研究开始于20世纪20年代,目前,消声器的初步设计仍然采用传统经验方法。近年来,随着计算机技术的快速发展,大批专业化的计算机软件正日渐成熟并在实际工作中得到广泛应用,GT-Power软件在设计应用中是较为优秀的软件之一。

本文以某越野车六缸柴油机排气消声器设计为例,用经验设计方法对消声器进行初步设计,再用GT-Power软件对其声学 and 流体动力学性能进行分析,从而对初步设计进行优化。

消声器的初步设计

消声器的性能主要包括:声学性能、流体动力学性能和结构性能。设计消声器时,应满足三方面的性能要求。

(1) 声学性能要求 具有高的消声值和宽的消声频率,即在所需的消声频率范围有足够大的消声量。

(2) 流体动力学性能要求 消声器的气流阻力小,安装消声器后所增加的阻力损失,要控制在实际允许的范围内。

(3) 结构性能要求 体积小、质量轻、结构简单和寿命长。

消声器的性能评价指标有传递损失、插入损失和阻力损失。因此,消声器的设计主要满足消声器的消声能力要求和排气背压要求。

1. 结构参数的选择

消声器的结构参数主要包括有效容积、外形尺寸

及腔数等。

(1) 容积 消声器的容积与消声量有关,容积越大,消声效果越好。美国Nelson消声器公司推荐的消声器容积计算公式为:

$$V = \frac{Q \cdot n \cdot V_{ST}}{1000 \sqrt{\tau \cdot i}}$$

式中 V ——消声器容积, L;

n ——发动机转速, r/min;

i ——缸数;

τ ——冲程数;

V_{ST} ——发动机排量, L;

Q ——与消声效果有关的修正系数。

其中, $Q=2 \sim 6$, 对消声器要求越高时, Q 应越大。汽车消声器 Q 取5~6。

(2) 外形尺寸 消声器的外形尺寸包括直径 D 和长度 L 。主要由消声器安装的可能性及汽车总体布置的协调性等方面来确定。由于汽车总布置的限制,消声器的直径不可能做得很大,可通过扩张比 M 、消声器进口直径来确定,对消声器插入损失要求越大,扩张比 M 选择值越大;消声器出入口管的直径不得小于发动机排气出口或排气管口的直径,否则因排气背压会增高,引起功率损失增加,同时也使排气流速增加,容易激发再噪声。根据统计资料,消声器的长径比应满足 $3 < L/D < 4$ 。

(3) 腔数选择 消声器大多由2~4腔组成。消声量并不是随腔数的增加而按比例增加的。相反,腔数

越多,排气背压大,功率损失也越大,超过四腔将会得不偿失。消声器腔数选择原则是在满足消声量的前提下,尽量选用腔数少的消声器。

2.初步设计方案

根据以上经验,考虑到用于越野车辆,因此消声器采用抗性消声器,其优点是结构简单,耐高温,寿命长(见图1)。柴油机发动机参数: $n=2500\text{ r/min}$, $i=6$, $\tau=4$, $V_{\text{缸}}=6.7\text{L}$, $Q=5.5$ 。

将参数代入容积计算公式,得到消声器的容积 $V=20.5\text{L}$ 。

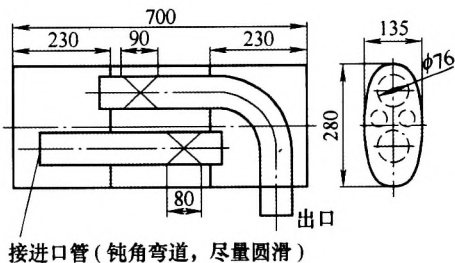


图1 消声器的结构

由于总体布置的局限性,为了节省空间,消声器的截面为椭圆形。以满足发动机要求,排气管直径为75mm,消声器的进口管的直径 $D_i=76\text{mm}$ 。参考同类型消声器的结构,确定了消声器的初步方案。此消声器截面积为 $31\,347\text{mm}^2$,进口截面积为 4206mm^2 ,实际容积为 21.9L ,扩张比 $M=31\,347/4206=7.45$,相当于圆形消声器的直径 $D_m=D_i \cdot M^{1/2} \approx 207$,则长径比 $L/D_m=700/207=3.3$,满足要求。

声学性能和流体动力学性能分析

GT-Power软件是以一维的CFD计算为基础,采用有限容积法对热流体进行模拟计算的软件。应用该软件对发动机及消声器进行模拟和仿真,不仅能预测消声器的特性,而且还能对消声器和发动机进行有效地匹配。

1.声学性能计算

消声器的声学性能指标有传递损失和插入损失,计算方法可采用一维有限体积数值方法,应用软件为商用软件GT-Power。

首先应用GT-Power软件的Muffler模块建立消声器结构图,并生成数值离散模型。进口管弯头方向应为与出口方向垂直侧,由于软件建模功能限制原因,此

等效对声学 and 流体动力学性能没有影响。

(1) 传递损失 初步设计以消声器的传递损失为设计目标。传递损失是消声器进口入射声功率级和出口透射声功率级之差。采用GT-Power中的传递损失模块计算,该模块中采用双传声器法计算消声器进口入射和出口透射声功率级。消声器的传递损失结果如图2所示。

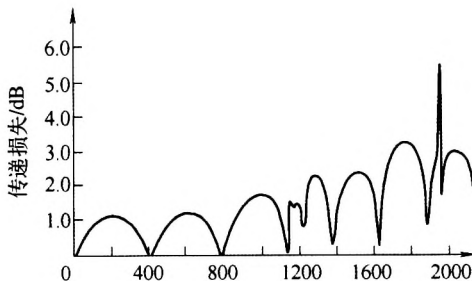


图2 消声器的传递损失

(2) 插入损失 消声器的插入损失定义为安装消声器前后,尾管外给定测点、测距下测得的声压级之差。消声器插入损失的计算需要建立发动机模型。首先根据发动机厂商提供参数建立发动机的热力学模型,再根据插入损失定义在排气口外(偏离中心 45° ,距离出口0.5m处)设置传声器模型读取辐射声压级,分别在安装消声器前后测量各工况下的排气尾管辐射噪声声压级,并计算其差值得到消声器的插入损失,如图3所示。

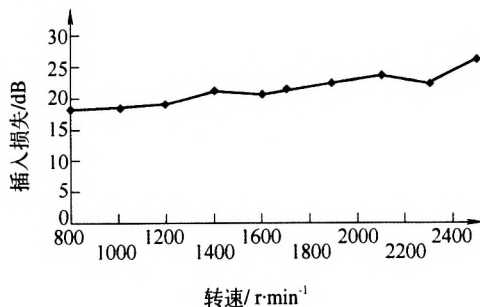


图3 消声器的插入损失

2.排气背压计算

排气系工作时的阻力损失同样采用一维有限体积法计算,所需软件仍为GT-Power。采用Muffler模块建立的消声器模型,利用发动机模型,将消声器模型安装在发动机模型中,计算安装消声器后各工况下消声器前管道内的气体压力,可得消声器造成的排气背压,结果如图4所示。

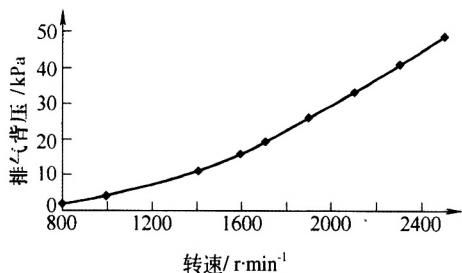


图4 消声器的排气背压

消声器的优化设计

针对原消声器的优点和缺点，对消声器进行改进设计，减少腔数，对插入管的小孔进行重新分配，增加了进、出口管的穿孔长度，以保证进口管9%、出口管9.8%的穿孔率（见图5）。

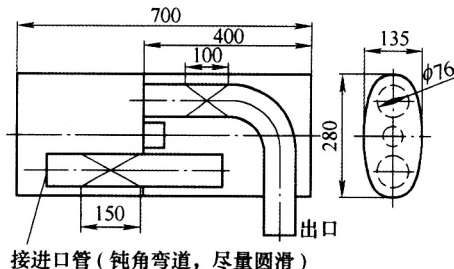


图5 优化后的消声器结构

采用GT-Power软件建模，用以上方法分析，得出传递损失、插入损失和排气背压的分析结果（见图6~图8）。

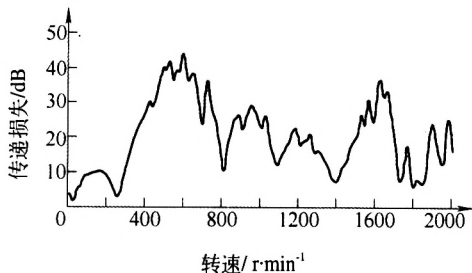


图6 消声器传递损失结果

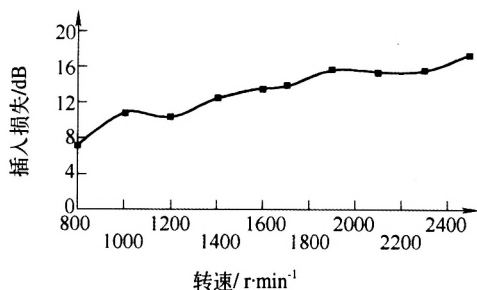


图7 消声器插入损失结果

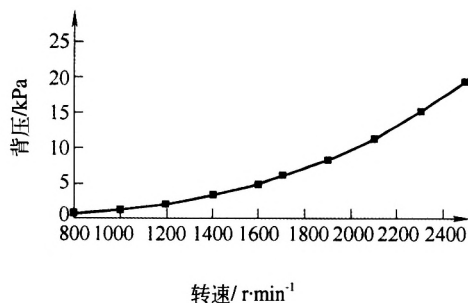


图8 消声器排气背压结果

结果对比分析

由GT-Power软件分析结果显示，原消声器声学性能良好，但阻力损失过大，造成的排气背压过高，造成的发动机功率损失约为9%。优化设计后的消声器的声学性能稍低，造成的功率损失约在3%。

由于消声器的消声量和功率损失相互矛盾，如果为了保证低功率损失，其消声量就会减小。消声器的设计应满足整车的综合要求，考虑到消声器是用于越野车，根据车辆的用途要求功率损失较小，因此，优化后的消声器比原消声器更利于车辆的匹配。

结语

传统经验法是一种近似的理论方法，理论成熟，计算简单，适用于消声器的初步设计方案。

GT-Power软件建立的消声器性能分析模型是可行的，它为包括消声器在内的发动机总成设计提供了一个很好的分析工具，其消声器的性能分析模块具有良好的预测性能，这对消声器的结构优化和消声器与发动机的匹配提供了一个很好的方法和途径。用GT-Power软件，在消声器的实际设计中，可根据车辆的综合性能要求，有针对性地对消声器的结构进行改进，产生很好的效果。

关键词：

柴油机 排气消声器 越野车

(收稿日期20130122)