

正交设计法在消声器设计中的应用

郑 邴 江 伟

(湖北十堰市,第二汽车制造厂技术中心, 442001)

本文利用正交试验方法对 EQ140 汽车的排气消声器进行优化设计。弄清了不同参数对消声器性能的影响程度和规律。在不改变原消声器结构和外形尺寸的条件下,使消声器的各项指标得到了提高。为消声器的改进设计提供了试验研究方法。同时,为使用正交试验方法的一些影响因素多、设计或试验周期长的其他产品的开发提供了参考。

当前,噪声污染是世界三大公害之一。汽车噪声是交通噪声和城市噪声污染的主要来源。国标 GB1495《机动车辆允许噪声》中规定了对汽车的噪声限值。排气噪声是汽车的主要噪声源。因此,在每辆汽车上都配装有排气消声器。汽车消声器的设计是个比较复杂的问题。虽然在消声器设计方面有些理论计算公式。但由于这些公式的计算结果往往与实际情况相差较大。所以,在实际设计消声器时这些公式除少部分外几乎都不使用。而常用试错法通过反复设计、试制、试验来研制消声器。这种方法所需研制周期长,费用高。本文利用正交试验设计方法,通过安排少量的多因素的消声器试验,以及对试验数据的数学分析,很快试制出了性能良好的消声器供汽车使用。通过分析还找出了影响该类结构消声器性能的主要因素,为进一步的改进提供了方向。

1 正交试验方法及步骤

正交试验方法是一种科学地安排多因素试验的数学方法。它是利用一种具有均衡搭配特性的特制表格——正交表来安排试验。

收稿日期: 92-2-13 修回日期: 92-4-24

并通过一定的数学方法来分析试验结果,从而得出最佳的参数组合,并能得出影响产品性能的主要因素。为下一步的设计提供基础。

正交试验法的一般步骤为:

- (1) 明确试验目的, 确定考核指标。
- (2) 挑因素, 选各因素的水平。
- (3) 选择合适的正交表, 制定因素水平表, 确定试验方案。
- (4) 对试验结果的分析, 其中有:
 - (i) 直接看。
 - (ii) 计算: (a) 指标的数量化与综合评分。(b) 各水平的指标和与极差的计算。(c) 找出因素主次和水平的优劣, 得出可能好配合或大范围内的可能好配合方案。
 - (iii) 综合以上分析结果, 并参照实际经验和理论上的认识, 提出展望或最后确定参数组合方案。

2 正交试验设计

2.1 试验的目的

通过对现有参数的优化组合, 研制出性能优良的排气消声器供汽车使用。对汽车排气消声器的考察指标为: 排气口噪声级和排气背压两项。这两项指标的数值越小, 消声

器的性能越好。

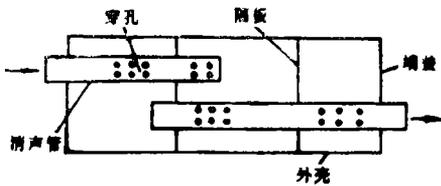


图1 消声器结构简图

2.2 排气消声器试验参数的选取

此次研制的消声器属于抗性消声器，它是由扩张室、共振室复合而成(见图1)。基本零件有：消声管、隔板、端盖及外壳。根据有关理论计算和以往的经验，此次选取消声管穿孔率、穿孔直径和消声管直径几个因素对消声量(插入损失)和阻力(排气背压)的影响。正交试验的因素、水平见表1。

表1 正交试验因素和水平的选取

| | 因素 | 水平 | | |
|---|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| A | 前消声管的穿孔直径(mm) | $A_1 = \phi 2.5$ | $A_2 = \phi 3.5$ | $A_3 = \phi 5.0$ |
| B | 前后消声管的穿孔率(%) | $B_1 = 0.02$ | $B_2 = 0.03$ | $B_3 = 0.05$ |
| C | 后消声管的穿孔直径(mm) | $C_1 = \phi 2.5$ | $C_2 = \phi 3.5$ | $C_3 = \phi 5.0$ |
| D | 消声管直径(mm) | $D_1 = \phi 60.0$ | $D_2 = \phi 65.0$ | $D_3 = \phi 62.5$ |

注：这里因素A、B、C、D和水平1、2、3的先后顺序对正交试验结果无影响。

2.3 正交表的选取

由于正交表的形式多种多样。选取正交试验表时应是在满足因素、水平的基础上，尽量选用较小的正交表。这样可以进一步减少试验的工作量。本次试验选用 $L_9(3^4)$ 正交表。该表结构如表2所示。

表2 正交试验安排表 $L_9(3^4)$

| 各因素 试验号 | 因素 水平 | 因素 | | | |
|------------|----------|----|---|---|---|
| | | A | B | C | D |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |

3 试验方法

在发动机台架上对消声器的性能进行对比试验。发动机按标准JB3743—84《汽车发动机试验方法》要求调试，使发动机处于良好的工作状态。声学测量部分按国标GB4759—84《内燃机排气消声器测量方法》进行。测点设在排气管口，与排气管轴线成 45° 夹角；距离为0.5m；测点距地面高度大于1.5m。如图2。

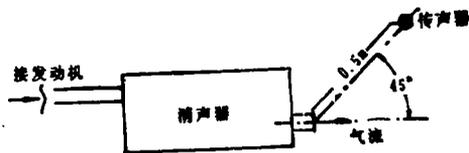


图2 测点位置示意图

试验时，消声器由排气管引出试验室，并用隔声障板堵住试验室大门以防止室内发动机噪声传出对测量点产生影响。

测量仪器使用日本RION公司NA-61型精密声级计,在测量前、后及中途分别用RION NC-72型活塞发生器对测量系统进行

行标定。使系统测量前后的误差 $\leq 0.2\text{dB}$ 。在发动机全负荷工况下测量由表2试制出9个消声器的性能指标。

表3 3200r/min时消声器试验结果及分析表

| 列号 试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 排气噪声 dB(A) | 排气背压 KPa |
|-----------|-----|-------|-------|-------|---------------|-------------|
| | A | B | C | D | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 102.5 | 8.94 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 103.5 | 6.67 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 101.5 | 6.14 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 101.5 | 8.67 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 104.0 | 7.60 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 104.5 | 6.80 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 104.5 | 8.00 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 104.0 | 7.87 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 104.5 | 7.87 |
| 排气噪声 | I | 307.5 | 308.5 | 311.0 | 311.0 | |
| | II | 310 | 311.5 | 309.5 | 312.5 | |
| | III | 313 | 310.5 | 310.0 | 308.0 | |
| | 极差 | 4.5 | 3.0 | 1.5 | 5.5 | |
| 排气背压 | I | 21.75 | 25.61 | 23.61 | 24.41 | |
| | II | 23.07 | 22.14 | 23.21 | 21.47 | |
| | III | 23.74 | 20.81 | 21.74 | 22.68 | |
| | 极差 | 1.99 | 4.8 | 1.87 | 2.94 | |

4 结果与分析

(1)由表2试制出的9个消声器在发动机转速为3200r/min时排气口噪声级和消声器的排气背压值以及正交分析结果见表3。

由正交试验理论知,极差值大的因素即为对试验结果影响大的因素。所以由表3可得出发动机3200r/min时影响排气噪声的主次因素顺序为: DABC; 最优参数组合为: D_3, A_1, B_1, C_2 。影响排气背压的主次因

素顺序为: BDAC。最优参数组合为 B_3, D_2, A_1, C_3 。对于某个排气消声器来说,影响排气噪声和排气背压两者指标的因素往往是矛盾的。因此,最优方案应是综合二者的最佳设计。从前面分析结果可以得出对两项指标分别影响最大的DB二因素应取 D_3, B_3 。A因素取 A_1 。C因素对两项指标的影响都小,可以根据实际加工省时,易加工等方面来考虑选取参数。从加工角度来看,C因素(即后消声管的穿孔直径)取 C_3 为好。所以可得出消声器在发动机3200r/min时的最优

工程条件方案是：A₁ B₃ C₃ D₃。重复以上步骤得出该消声器在发动机转速为1000r/min, 2000r/min和3000r/min时的最优方案也均为A₁ B₃ C₃ D₃。可见该最优方案对高、中、低转速时均适合。从表2的正交设计中得知，该最优方案正好是3*消声器。

(2)将最优方案的消声器与EQ140车用消声器在台架上作对比测量。测得发动机为3200r/min时结果如表4。

表4 3200r/min时两消声器的测试结果

| 样品 | 排气噪声 L _p , dB(A) | 排气背压 KPa | 功率 损失比 | 插入损失 dB(A) |
|--------|--------------------------------|-------------|-----------|---------------|
| 不装消声器 | 123.0 | 2.40 | | |
| 装3*消声器 | 101.2 | 6.14 | 2.6% | 21.8 |
| 用消声器 | 102.5 | 11.50 | 4.6% | 20.5 |

在表4的数据中，插入损失是表明该消声器的消声量，该值越大越好。其它三项指标是越小越好。从表4的测量结果可以看出，新设计的3*消声器的各项指标均优于EQ140车用消声器。

5 结论

(1)用正交试验法对汽车消声器参数进行优化设计，用少量的样品试验和对数据分析后即可找出大范围内的最优工程条件和影

响性能指标的主要参数。此次应用，取得了较好的效果。

(2)由正交设计法得出的最优方案消声器在插入损失，功率损失比，排气背压等各项指标均优于EQ140车用消声器。而且新消声器与现生产车用消声器的外形和结构相同，极易换型推广使用。

(3)由正交试验的结果分析得出。该类结构的消声器的消声管直径(D因素)对排气噪声影响最大。但消声管直径太大或太小均对排气噪声的降低不利；消声器的前、后消声的穿孔率(B因素)对排气背压的影响最大。穿孔率高时对排气背压的降低有益；前消声管的穿孔直径(A因素)取小值对排气噪声和排气背压均有利。消声器的后消声管的穿孔直径(D因素)对两项指标的影响都小，可以根据实际加工工艺和费用等方面来选取合适的值。

参考文献

1. 郑郢, 杨正江, 发动机台架试验的排气系统共振及对噪声的影响, 内燃机工程, 1991; 12:40~45
2. 北京大学数学力学系, 正交试验法, 化学工业出版社, 1979.
3. 赵松龄 噪声的降低与隔离 下册, 同济大学出版社, 1989.
4. 江伟, 消声器主要参数的评价方法, 二汽科技, 1984; 6.

(上接45页)

measuring capillary—speed flow velocities with strong stationary echoes, Ultrasonics, 1992; 30(4): 225—231,

9. B. Schrope, V.L. Newhouse, V.

Uhlendorf, Simulated capillary flood flow measurement using a nonlinear ultrasonic contrast agent, Ultrasonic Imaging 1992; 14(2): 134~158,