

文章编号:1000-582X(2005)10-0013-04

共振式消声器腔体形状对共振频率影响的修正*

阮登芳, 邓兆祥

(重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400030)

摘要:以三维有限元计算结果为基础,针对计算简单的古典集中参数频率计算公式,提出了新的连接管长度修正公式,以估算具有不同共振腔深宽比的消声器的共振频率,解决了古典集中参数频率计算公式存在估算精度较低甚至在某些共振腔尺寸条件下失效的问题。

关键词:共振式消声器;腔体形状;共振频率;修正

中图分类号: TB535

文献标识码: A

共振式消声器是一种通过管道开孔与 Helmholtz 共振腔相联而成的结构。旁支型共振式消声器由于具有结构简单、流动损失小等优点,被广泛应用于进气噪声的控制^[1-2]。以往常采用古典的集中参数频率公式^[3]来估算共振式消声器的共振频率 f_r ,即

$$f_r = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S_c}{lV}}, \quad (1)$$

式中, c_0 为声速, V 为共振腔容积, S_c 为连接管内孔截面积, l 为连接管长度。经 Rayleigh 修正公式 $\delta_1 = 0.849d_c/2$ 修正以后的集中参数频率估算式(1),在估算消声器共振频率时仍与实际值存在较大偏差,特别是当深宽比 h/a 约大于 3.05 以后,相对误差高达 88%^[3-4]。此时,公式(1)已不能再用于共振式消声器的频率估算。为了提高公式(1)的估算精度,解决其在某些共振腔尺寸条件下失效的问题,笔者以经实验验证可行的三维有限元分析方法为基础,提出了新的连接管长度修正公式,该公式可进行不同腔体深宽比条件下的共振频率估算。

1 连接管长度修正公式的提出

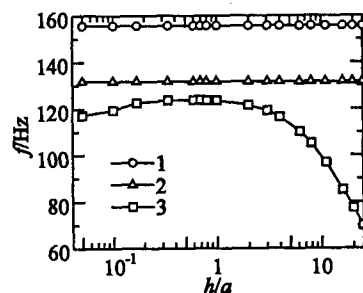
文献[4]的分析结果表明:共振腔深宽比对消声器的共振频率有较大的影响。从其影响规律来看,共振腔深宽比在 0.34 ~ 1.00 范围内变化时,共振频率最大、且变化较小,但仍与三维结果存在较大的偏差,深宽比大于 1.00 或小于 0.34,共振频率均减小,其影响效果就如同在公式(1)中将连接管长度加长一样;共

振腔截面宽高比对共振频率的影响相对较小,特别是当宽高比小于 4 以后,其影响可忽略不计。基于以上影响规律,可设想在考虑共振腔深宽比的影响基础上,通过对公式(1)中连接管长度加以修正的方式来使公式(1)的估算值与实际值接近。为提高修正公式的估算精度,在文献[4-5]分析基础上,细化了共振腔深宽比的计算间隔,计算结果如图 1 所示。修正公式的提出方法是:以三维有限元计算结果为基础,采用修正量曲线拟合方式,对公式(1)进行两段式修正,并以深宽比等于 1.00 作为分界点。根据修正量拟合得到的连接管长度修正量估算公式分别为:

$$\delta_2 = 0.075 3t^4 - 0.184 0t^3 + 0.157 5t^2 - 0.055 4t + 0.020 4 \quad (\text{m}) \quad (t \leq 1), \quad (2)$$

$$\delta_2 = 10^{-2}(0.000 1t^3 + 0.013 41t^2 + 0.094 15t + 1.266 90) \quad (\text{m}) \quad (t \geq 1), \quad (3)$$

式中, t 为共振腔深宽比, $t = h/a$ 。



1. 未修正; 2. Rayleigh 修正; 3. 三维模型计算结果
图 1 不同深宽比时各消声器主共振频率比较

* 收稿日期:2005-05-10

基金项目:重庆市科技计划项目(2000-6644)

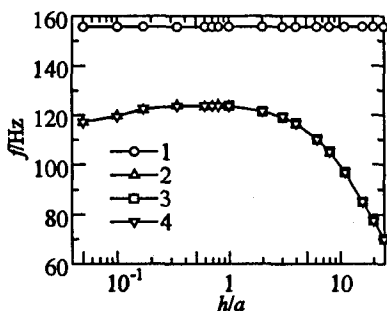
作者简介:阮登芳(1963-),女,重庆大学副教授,在职博士研究生,主要从事内燃机振动、噪声及其控制方面的研究。

针对具有不同深宽比共振腔的各消声器结构尺寸,用公式(2)、(3)对公式(1)中连接管进行长度修正以后的计算结果比较如图 2 所示.从图中可看出,修正以后的频率估算值与三维结果误差很小,完全能满足工程需要.但是,上述修正公式中仅体现出了共振腔深宽比一个影响因素,从共振频率的影响因素分析知,修正公式中还包括了固定不变的其它几个因素,如共振腔容积、连接管直径和主管直径的影响.由于现有公式中已经体现了共振腔容积及连接管长度的影响,实际消声器主管直径变化不大,因此,暂假定上述因素对修正量的影响较小,仅考虑由于管口辐射而引起的连接管直径对修正量的影响,将连接管直径在上述修正公式中用变量表示,注意到 $t = h/a$,于是,式(2)、(3)改写为:

$$\delta_2 = 0.849 \frac{d_c}{2} + \frac{d_c}{2} [6.845(h/a)^4 - 16.727(h/a)^3 + 14.318(h/a)^2 - 5.036(h/a) + 1.006] \quad (h/a \leq 1) \quad (4)$$

$$\delta_2 = 0.849 \frac{d_c}{2} + \frac{d_c}{2} [-0.01545(h/a)^3 + 1.21909(h/a)^2 + 8.55909(h/a) - 30.27273] \times 10^{-2} \quad (h/a \geq 1) \quad (5)$$

修正公式(4)和(5)的第 1 部分是 Rayleigh 提出的连接管长度修正公式,是管口声辐射的影响修正,第 2 部分是共振腔结构形状对共振频率的影响修正.



1. 未修正; 2. 修正式(2); 3. 修正式(3); 4. 三维模型计算结果
图 2 修正后各消声器主共振频率比较

2 共振腔容积变化时修正公式的适用性

2.1 方案确定

由于修正公式(4)、(5)是在共振腔容积不变的条件下提出的,为充分考查共振腔容积变化时上述修正公式的可用性,分别采用以下 3 个方案进行讨论:

1) 保持主管直径、连接管直径和长度不变,将共振腔容积改为 $4.5 \times 10^6 \text{ mm}^3$,考查共振腔容积改变时修正公式的可用性.消声器共振腔结构尺寸如表 1 所示.

2) 保持主管直径、连接管直径和长度、共振腔截

面边长不变,改变共振腔深度,考查共振腔纵向尺寸在较大范围内变化时修正公式的可用性.消声器共振腔结构尺寸如表 2 所示.

3) 保持主管直径、连接管直径和长度、共振腔截面形状及深度不变,改变共振腔截面边长,考查共振腔横向尺寸在较大范围内变化时修正公式的可用性.消声器共振腔结构尺寸如表 3 所示.

表 1 消声器腔体结构尺寸

h/a	$a = b/\text{mm}$	h/mm
0.05	448.14	22.41
0.17	298.03	50.67
0.34	236.55	80.43
0.60	195.74	117.45
0.70	185.94	130.16
0.80	177.85	142.28
1.00	165.10	165.10
3.05	113.84	347.22
6.20	89.87	557.18
11.00	74.24	816.58
24.82	56.60	1404.77

表 2 消声器腔体结构尺寸

h/mm	$a = b/\text{mm}$	h/a	$V \times 10^{-6}/\text{mm}^3$
20	125.99	0.16	0.3175
40	125.99	0.32	0.6349
80	125.99	0.64	1.2699
126	125.99	1.00	2.0000
160	125.99	1.27	2.5398
320	125.99	2.54	5.0795
640	125.99	5.08	10.1590
1280	125.99	10.16	20.3181
2000	125.99	15.87	31.7470

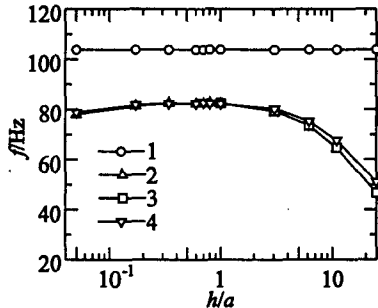
表 3 消声器腔体结构尺寸

h/mm	$a = b/\text{mm}$	h/a	$V \times 10^{-6}/\text{mm}^3$
125.99	60	2.10	0.4536
125.99	100	1.26	1.2600
125.99	126	1.00	2.0000
125.99	150	0.84	2.8348
125.99	200	0.63	5.0396
125.99	250	0.50	7.8744
125.99	300	0.42	11.3391
125.99	450	0.28	25.5130
125.99	600	0.21	45.3564
125.99	1000	0.13	125.9900

2.2 结果分析

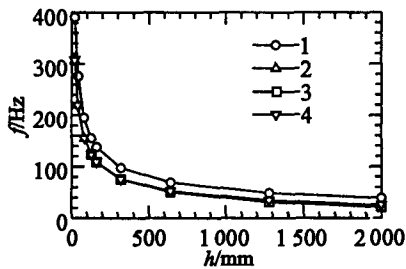
计算结果见图 3-5,比较可知,当共振腔容积改变,共振腔深宽比小于 1.00 时,用公式(4)对公式(1)中连接管长度进行修正以后的估算结果与三维结果吻合较好,最大相对误差小于 1%;当共振腔深宽比大于 1.00 时,用公式(5)对公式(1)中连接管长度进行修

正以后的估算结果在深宽比小于 6.20 时与三维结果吻合较好,最大相对误差小于 3%,因此,在共振腔容积改变时,修正公式(4)的适用性较好,公式(5)在深宽比小于 6.20 时是可适用的。



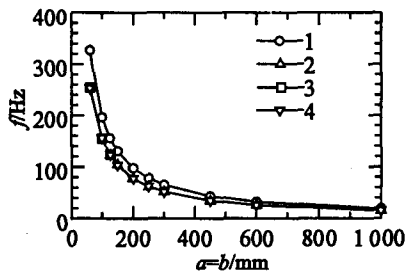
1. 未修正;2. 修正式(4);3. 修正式(5);4. 三维模型计算结果

图 3 共振腔容积对修正公式的适用性影响



1. 未修正;2. 修正式(4);3. 修正式(5);4. 三维模型计算结果

图 4 共振腔深度对修正公式的适用性影响



1. 未修正;2. 修正式(4);3. 修正式(5);4. 三维模型计算结果

图 5 共振腔宽度对修正公式的适用性影响

3 主管直径变化时修正公式的适用性

保持连接管直径和长度不变、共振腔容积也不变,仅改变主管直径,采用三维有限元法计算具有不同共振腔结构尺寸的部分消声器的共振频率,以考查主管直径改变时修正公式(4)和(5)的适用性.主管直径分别取 22,30,40,50,60 和 80 mm,结果如图 6、图 7 所示.显然,当共振腔深宽比大于约 3.05 以后,主管直径大小对共振频率的影响较小,当深宽比小于 3.05,主管和连接管直径之比 d_p/d_c 约大于 1.5 时,共振频率最大相对误差小于 2%,在 d_p/d_c 小于 1.5 以后共振频率变化率增大,但最大相对误差仍小于 5%,满足工程设计要求.因此,当主管直径在 22~80 之间变化时,修

正公式(4)、(5)是适用的。

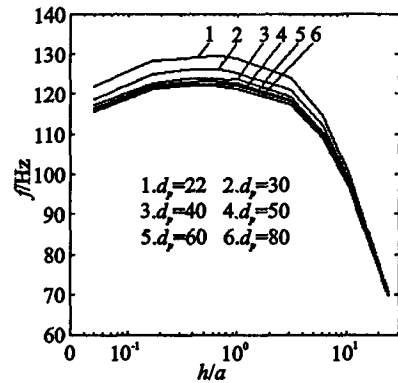


图 6 消声器主共振频率随 h/a 的变化

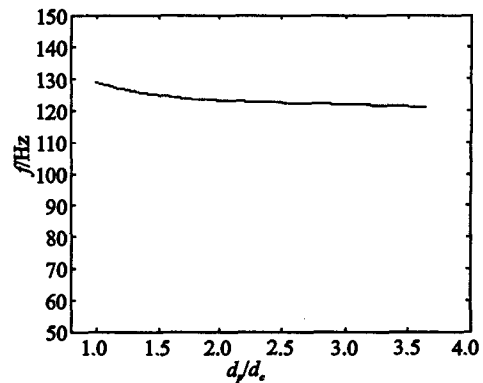
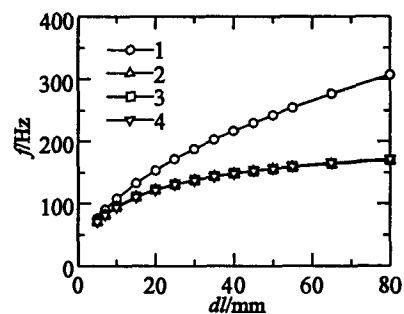


图 7 消声器主共振频率随 d_p/d_c 的变化

4 连接管结构对修正公式适用性的影响

修正公式(4)、(5)的提出是在连接管结构尺寸一定的条件下提出的,当连接管结构参数发生变化时,已提出的修正公式是否可用,需进一步验证.以下针对文献[6]中的 8 号消声器,保持共振腔形状不变,仅改变影响连接管结构形状的参数 $dl = d_c^2/l_c$,以考查连接管形状对修正量的影响(连接管直径不变,取 23.5 mm).计算结果见图 8.显然,当连接管形状从短圆柱形变为长圆柱形时,经公式(4)和(5)修正以后的估算频率的最大相对误差小于 1%,表明连接管形状对修正量的影响较小,此时,修正公式(4)和(5)的适用性较好。



1. 未修正;2. 修正式(4);3. 修正式(5);4. 三维模型计算结果

图 8 连接管形状对修正公式的适用性影响

5 结论

连接管长度修正公式(4)和(5)可分别用于不同深宽比条件下公式(1)的修正,以估算轴对称、截面形状为矩形的共振式消声器的共振频率。当共振腔深宽比小于等于1时,采用经修正公式(4)修正以后的公式(1)来估算消声器的共振频率,当共振腔深宽比大于1.0小于6.2时,采用经修正公式(5)修正以后的公式(1)来估算消声器的共振频率,当共振腔深宽比大于6.2时,公式(1)不能用于共振式消声器的频率估算,此时,可考虑采用经上述修正公式修正的一维轴向模型频率公式,但需求解超越方程,估算过程相对复杂。

参考文献:

- [1] 杨诚,邓兆祥,阮登芳. 进气噪声产生机理研究[J]. 汽车工程,2005,(1):4-8.
- [2] 邓兆祥,张振良,杨诚. 微型轿车的降噪实验[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2003,26(5):18-21.
- [3] 赵松龄. 噪声的降低与隔离[M]. 上海:同济大学出版社,1989.
- [4] 阮登芳,邓兆祥,杨诚. 共振式消声器声学性能分析[J]. 内燃机工程,2005,26(3):28-31.
- [5] 张振良,王树荣,阮登芳. 共振型进气消声器腔体尺寸对其共振频率影响研究[J]. 噪声与振动控制,2004,24(2):38-41.
- [6] 阮登芳. 共振式进气消声器设计理论及应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2005.

Effect Correction of the Cavity Geometry of a Resonant Silencer on the Resonance Frequency

RUAN Deng-fang, DENG Zhao-xiang

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: A new connector end correction is presented on the basis of the three dimensional finite element results, which is for the lumped-parameter formula used to predict the resonance frequency of a silencer having various depths to width ratio of the cavity. The problems of the low accuracy are solved even no use for some cavity dimensions of the lumped-parameter formula.

Key words: resonant silencer; cavity geometry; resonance frequency; correction

(编辑 成孝义)