

锯齿形翅片对喷管流动及噪声特性的影响分析

汤涛, 谈力成, 张会生

(上海交通大学, 上海 200240)

摘要: 喷注噪声理论表明, 改变喷口形状会使喷注噪声发生改变。针对发动机排气系统, 设计了锥型喷管及锯齿形出口的锥形喷管, 建立相应的喷注射流模型, 利用数值手段对2种喷管进行喷注流场分析和噪声预测, 研究锯齿形翅片对流动和噪声特性带来的影响。

关键词: 锥型喷管; 锯齿形翅片; 流动特性; 射流噪声; 数值计算

中图分类号: TB53 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)03-0090-04

Analysis on Effect of Serrated Fin on the Flowing and Noise Performance of Exhaust Nozzle

TANG Tao, TAN Li-cheng, ZHANG Hui-sheng

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Lighthill theory showed that jet noise will change as the shape of the nozzle changed. Conical nozzle and chevron nozzle were designed based on engine exhaust system. The relevant jet flow models were established. Flow analysis and noise prediction of the two kinds of nozzle were carried out with numerical simulation method. Numerical simulation showed that the new nozzles will bring some noise suppression.

Key words: conical nozzle; serrated fin; flow performance; jet noise; numerical simulation

气流的起伏运动会产生空气动力性噪声。喷注噪声是最常见的一种, 如工业管道的排放气、飞机喷气等, 它是噪声污染的重要祸源。研究喷注噪声并寻求改善途径具有重要的现实意义。

一直以来, 对喷注噪声的研究方法以实验手段为主, 马大猷等人利用实验与理论结合的方法, 对喷注噪声进行过深入的研究, 掌握了大量的实验规律,

并且建立了相对完整的实验理论^[1]。随着计算流体力学技术及计算机技术的发展, 数值模拟结合试验手段已成为气动噪声研究的主要方法, 并且数值模拟在预测及分析噪声方面有很迅速的发展^[4]。

笔者以发动机排气系统为对象建立了2种喷管模型, 用以分析锯齿形翅片对喷注流场和噪声特性的影响。

收稿日期: 2010-12-16

作者简介: 汤涛(1987—), 男, 江西人, 硕士研究生, 主要研究方向为排气红外抑制装置性能、排气系统流动与噪声特性。

1 喷管排气噪声分析

气流自喷口以一定速度喷射出来,离开喷口会产生卷吸作用,吸入周围空气与主流掺混,该过程产生的噪声称之为喷射噪声。理想情况下亚声速喷流结构如图1所示:喷口至 $5D$ (D 为喷管出口直径)处是强烈的混合区,在此混合强烈,湍流强度高;射流核心结束处至 $10D$ 处为过渡区,该区流动复杂;在射流 $10D$ 后区域,则为完全掺混区。研究表明噪声大部分来自混合区^[5]。

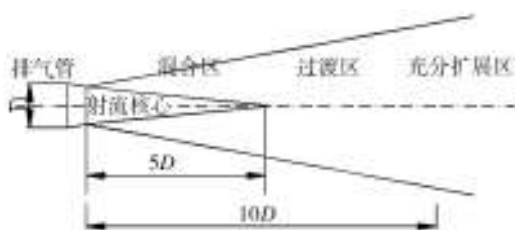


图1 亚声速喷流结构示意图

Fig. 1 Schematic of subsonic jet

Lighthill从流动基本方程出发,根据湍流射流特性,推导出气流中的湍动是声的发射源,并通过理论计算得到著名的速度8次方定律:

$$P_T = K_0 \cdot \frac{\rho D^2}{\rho_0 C_0^5} \cdot v^8 \quad (1)$$

式中: P_T 是喷流的总辐射声功率; ρ 是喷流气体密度; ρ_0 是环境密度; D 是喷管出口直径; C_0 是环境声速; v 是气流出口速度。

式(1)是针对亚声速喷流的,表明排气喷管的辐射声功率与喷流的结构和喷流的速度(v)有关,这为降低喷注噪声提供了理论基础。

降低喷注噪声主要是通过降低喷流速度或改变喷流结构来实现。通过改变喷流结构来降噪的方法大致有如下几种:旁通气流偏心与导流片使次流偏斜、锯齿形出口(chervon nozzle)、微射流掺混等方式。这些都是从声源上来降低或控制噪声。

2 排气喷管流场特性及噪声预测

2.1 排气喷管模型建立

笔者设计了2种不同结构的喷管(如图2所示)

来分析锯齿形出口对喷管流场特性和噪声特性的影响。为排除喷流速度的因素,采取“出口面积相同”的原则来确定喷管尺寸,即2种喷管除了喷口形状不同,其余结构参数都相同,分别命名为:Pipe.0(圆柱锥形出口),Pipe.2(锯齿形出口)。

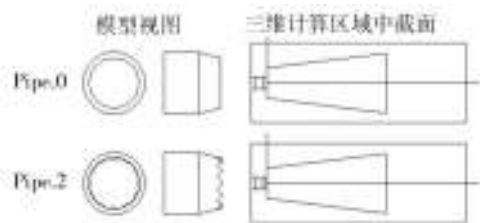


图2 喷管结构

Fig. 2 Schematic of jet pipes

如图3所示建立射流的几何模型。整个射流区域自喷口出口处起,射流方向长度为 $20D$,轴向方向为 $4D$ 。因为模型具有部分对称型,为节约计算机资源,在保证计算精度的情况下,文中的模拟没有进行全尺寸建模,而是建立了1/6的模型。另外,根据喷射噪声的发声特点,建立图4所示的梯形区域,以利于噪声预测时噪声源的选取^[6]。

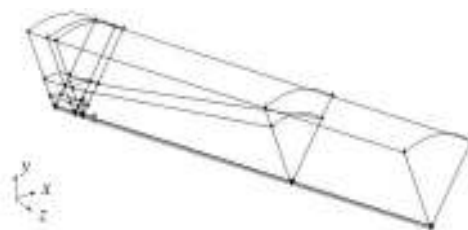
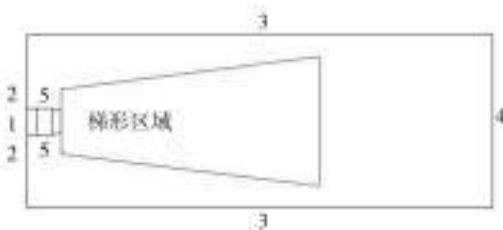


图3 仿真计算模型

Fig. 3 Simulation model of jet pipes



1.速度入口; 2.压力入口; 3.对称边界; 4.压力出口; 5.壁面

图4 边界条件的定义

Fig. 4 Definition of boundary conditions

2.2 流场分析

边界条件:入口速度为22 m/s;射流区域边界条件为压力边界,其值为大气压力。

湍流模型:大多数的喷注流动都是湍流情形^[7]。针对湍流流动的特点,在现有的计算条件下,采用了 Realizable $k-\varepsilon$ 模型,能够达到计算的精确度。

对于喷注流场,给出了喷管流动模型中截面上的速度场及湍流强度场,来分析不同结构喷管的流动特性。

2.2.1 速度场

图5和图6分别给出了锥形喷管和锯齿形翅片喷管射流场的中截面速度分布。从图5,6来看,2种喷管流场都具有如下特点:1)射流混合区的内边界相交形成一个核心区,这个核心区内速度不变;2)沿着射流方向,射流引入伴随流进行掺混,使得混合区厚度逐渐增大;3)射流混合区后,轴向速度连续下降。



图5 Pipe.0中截面速度分布

Fig. 5 Velocity distribution at $x=0$ cross section of pipe.0



图6 Pipe.2中截面速度分布

Fig. 6 Velocity distribution at $x=0$ cross section of pipe.2

相比之下,锯齿形翅片使得射流情况发生了改变:1)pipe.2的射流核心长度较pipe.0短一些;2)Pipe.2较pipe.0混合段的速度下降较快。这是锯齿形翅片引入的扰流作用,使得主流卷吸了更多的空气掺混。

2.2.2 湍流强度场

图7和图8分别给出了2种喷管喷射流场的中截面湍流强度分布,可以看出 pipe.2 较 pipe.0 在喷管出口、混合段的湍流强度有所降低。这是锯齿形翅片伸入到喷注流体中,引入了涡流改变喷流的掺混的结果。这表明喷管出口处加装锯齿形翅片后会引

入流向涡,会改变喷流的流动特性。具体有以下表现:1)改变了射流核心长度;2)增加了卷吸的环境空气量,改变了主气流和卷吸气流的掺混过程。

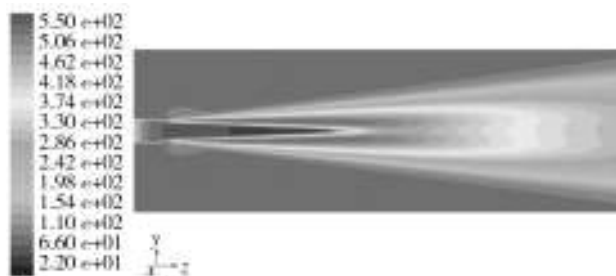


图7 Pipe.0中截面湍流强度分布

Fig. 7 Turbulent intensity distribution at $x=0$ cross section of pipe.0

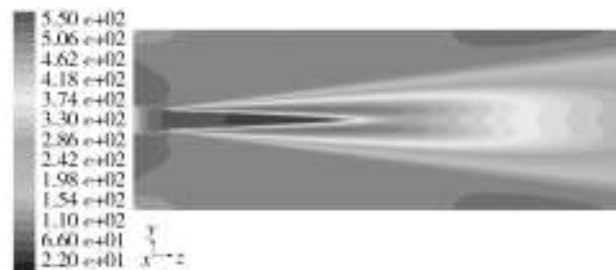


图8 Pipe.2中截面湍流强度分布

Fig. 8 Turbulent intensity distribution at $x=0$ cross section of pipe.2

2.3 噪声预测

声学理论表明媒质中质点受到声波作用时,会不断地产生压力强弱变化。声压是媒介中压力超过静压的值,一般指有效声压,一定时间间隔内瞬时声压的均方根值见式(2)。数值模拟可以得到指定位置的声压信息,为喷注噪声预测提供了可能。

$$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int p^2(t) \cdot dt} \quad (2)$$

式中: $p(t)$ 为瞬时声压, N/m^2 。

喷流时2股流体在喷口处形成的间断面不稳定,会出现漩涡,并且2股流体之间发生动量、质量、能量的交换,因而会发出很大的噪声。研究表明喷气噪声与气流的结构有关^[7],而出口处锯齿状翅片的引入,使得喷流的流动情况改变了,因此会导致喷注噪声的变化。

FLUENT中喷注噪声预测的关键在于找到声源。依据喷流噪声的特点,声源选取如下区域(如图4所示):起始于喷口处,直径为3倍出口直径,直线

段为12倍出口直径,末端直径为6倍出口直径的一个渐扩区域。为了得到喷管的近场声压级信息,需要布置相应的声压力接收点,如图9所示呈阵列布置:这些点自喷口出口面起,沿着轴向和径向方向布置,并保证位于喷口的压力边界之外^[8]。

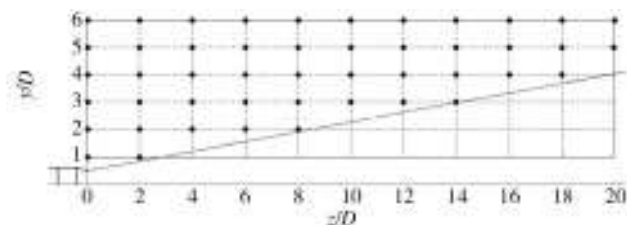


图9 声压力接收点分布

Fig. 9 Receiver points distribution

数值计算可以得到各个接收点的时域声压信号,对这些信号进行处理可得到如图10、图11所示的近场噪声云图。图9—图12中: z/D 表示沿射流方向,距喷口距离与喷管出口直径的比值; y/D 表示沿径向方向,距喷口轴线距离与喷管出口直径的比值。

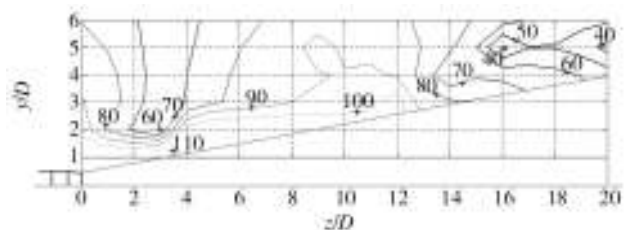


图10 Pipe.0声压级分布

Fig. 10 SPL map of pipe.0

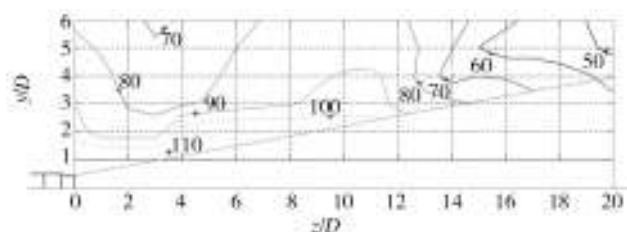


图11 Pipe.2声压级分布

Fig. 11 SPL map of pipe.2

其中,距离喷口轴线 $6D$ 处,2种喷管沿射流方向的噪声级对比如图12所示。从图12来看,2种喷管的近场噪声分布有下述特点。

1) 噪声沿喷注方向整体上随距离逐渐降低。因为沿着喷注方向,喷注的宽度随着距离逐渐扩散,即流速连续降低,意味着噪声逐渐降低。

2) 这2种喷管的射流噪声在流动下游方向与轴线成约 30° 角方向上较强。

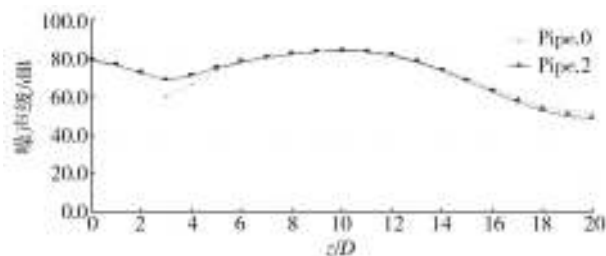


图12 2种喷管各测点声压级对比

Fig. 12 SPL comparison between two type of pipes

3) 整体上看,锯齿形小翅片的引入使得近场噪声约有1~2 dB的降低,但是,锯齿形翅片也改变了近场噪声的分布。比如射流方向距喷口距离轴向 $2D$ 附近,噪声级相对有所提高,这是由于喷口附近涡流的影响,但是整体上,锯齿形翅片的引入还是使得噪声有所降低。

3 结论

使用数值手段,对圆柱形喷管出口处引入锯齿形翅片前后的流场和噪声特性进行了分析,有如下结论。

1) 锯齿形翅片的引入,改变了喷管的流动特性,如射流核心长度变短、湍流强度降低、射流掺混增加。

2) 改变了喷注噪声的分布,由于喷口处涡流影响,噪声级略有上升。然而,整体上锯齿形翅片使得喷注噪声有约1 dB的降低。

参考文献:

- [1] 马大猷. 小孔喷注噪声和小孔消声器[J]. 中国科学, 1977 (5): 445—455.
- [2] 马大猷. 湍流喷注噪声的压力关系[J]. 物理学报, 1987 (2): 121—125.
- [3] 马大猷. 湍流喷注噪声定律的发展[J]. 声学学报, 1987, 12(5): 321—328.
- [4] 黄磊. 工业喷嘴喷注噪声的抑制技术研究[J]. 振动与冲击, 2009, 28(8): 106—109.
- [5] 李立国. 航空用引射混合器[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 91—94.
- [6] 韩阳泉. 喷注噪声的数值模拟[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- [7] 谢象春. 湍流射流理论与计算[M]. 北京: 科学出版社, 1975: 1—14.
- [8] HOWES W L, MULL H R. Near Noise Field of a Jet-Engine Exhaust, I-Sound Pressure, NACA, TN3764[R]. 1956.