

# 某车型空调通风管道气动噪声数值模拟与优化

## Optimization and Simulation of Aero acoustic of HVAC Ducts

严旭 龚旭 孙庆岭 谭传智 叶坚

长安汽车工程研究总院CAE工程所

**摘要:** 本文通过 RANS 稳态计算结合 DES 瞬态模拟对长安某车型中左吹面风管进行了气动噪声的分析与优化, 得出结论: 风管气动噪声能级与管道内部流动平顺度呈同向趋势, 即气流分离越少、涡流越少、流动越平顺则气流产生的流动噪声越小; 原状态中左风管存在严重的风噪问题, 需三个方案组合才能使气流平顺, 风噪降低至可接受范围, 单个方案无法实现。

**关键词:** DES、气流分离、流动噪声、方案组合

**Abstract:** Simulation and optimization of aero acoustic of HVAC ducts has been done by RANS steady case and DES unsteady case. In general, less separation and vortex leads lower aero acoustic, and all the three schemes are needed in order to smooth the airflow which leads the flow acoustic, while taking only one of these couldn't carry the point.

**Key words:** DES, separation of airflow, flow acoustic, scheme combination

## 1 引言

现代汽车工业发展至今, 在经历从无到有的过程之后, 用户更加关注操控与乘坐舒适等性能, 其中乘坐舒适性包括热舒适性、座椅舒适性、感观舒适性、噪声舒适性等, 几个因素各有侧重缺一不可, 各大整车厂的新款产品往往以其中一到两个舒适性作为亮点宣传, 以提升产品竞争力吸引顾客眼球, 可见舒适性作为现代汽车必备性能的重要性。

在噪声舒适性方面, 除了发动机噪声、高速风噪、轮胎噪声等几大传统意义上的分类之外, 近年来空调系统通风噪声也成为乘用车车内噪声级重要的舒适性评价指标。在平直路面低速行驶工况, 某些汽车的暖通空调 (heating ventilation air conditioning, HVAC) 系统就是重要的车内噪声源<sup>[1]</sup>。而气动噪声是 HVAC 系统的主要声源<sup>[2]</sup>。HVAC 系统气动噪声与空调风道的布置及结构等有关, 风道尺寸及方向的突变、尖角等局部结构特征对其影响很大。在设计阶段就预测 HVAC 系统的气动噪声, 可大大降低汽车开发的成本与风险。随着计算流体力学和气动声学的发展, 用数值方法研究流场噪声成为可能。本文采用分离涡模拟方法 (Detached Eddy Simulation, DES) 计算出空调管道的瞬态流场, 在此基础上, 对监测点和面的压力脉动信息进行 FFT 变化, 对其气动噪声进行预测。

## 2 数值计算理论

### 2.1 理论基础

现代计算技术以及高阶差分计算格式的发展使得用数值方法计算气动噪声的产生以及传播成为可能。从计算区域角度来看,可以将气动声学的数值模拟分为两类,全场模拟和分区模拟法。全场模拟法无需引入额外的声学近似模型,能考虑所有的基本物理过程,如反射、散射、共鸣等,从而更好的理解噪声产生与传播的机理。但由于声场与流场在尺度、能级上的差异以及声扰动比气动扰动小得多,使得这种方法需要非常精细的网格,主要应用于近声场的预测<sup>[3][4]</sup>。

众所周之,RANS、DNS、LES等几种湍流模拟方法在精度及其所需计算量上各有优劣,DNS由于直接求解NS方程组,其所需计算资源过大,目前尚未广泛应用。而若在紊流边界层内采用RANS方法而在其他区域采用LES方法,就可以把计算时间和计算资源大大降低,同时所得到的计算结果与RANS相比又会有较大改善。DES方法就是基于该思想,把RANS方法及LES方法结合起来的模拟有脱体涡的紊流流场的数值模拟方法。其主要思想是在紊流附面层内采用RANS方法通过雷诺平均假设模拟附面层内的湍流流动,在其他区域采用LES方法模拟脱体涡运动<sup>[5]</sup>。

### 2.2 计算设置

由于噪声瞬态计算周期较长,而计算时间随网格数量增长呈指数增长趋势,因此减少网格数量是缩短计算时长的有效途径;同时考虑到噪声计算对网格尺寸的要求,本次取噪声较大的中左空调吹面风管作为分析及优化对象,以通过简化几何的方式减少网格规模,而非放大网格尺寸。

进行瞬态求解前,选择 Realizable  $k-\varepsilon$  湍流模型进行稳态求解,并将计算收敛的稳态结果作为瞬态求解的初始值。瞬态计算求解的时间步长为 0.0001s,计算总时间为 0.3s。由于流场有一个振荡到稳定的过程,采样时间从 0.1s 开始,每个时间步的迭代次数为 25 次。

## 3 流动分析及优化

### 3.1 基础方案

图 1 所示,为中左风管原方案数据,从其几何形状可看出,从进风端到出风端存在两处明显的扩张段,易造成气流分离甚至产生旋涡,而参考车的管道设计(图 2)最大限度地避免了突变和扭曲,在必须弯曲的地方也是通过圆弧过度以疏导气流。

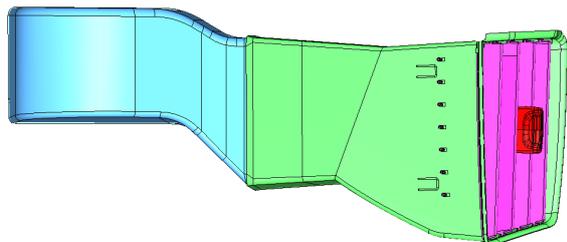


图 1 长安某车型吹面风管(中左风口)

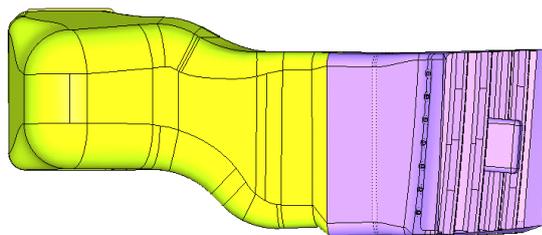


图 2 参考车吹面风管(中左风口)

由图 3、图 5 可看出，由于原方案数据扩张段的存在，导致内部气流大量分离且扭转，在偏外侧出风口处形成明显旋涡，而图 4、图 6 可看出参考车管道内部流动未形成大的旋涡，气流整体呈平顺状态流出，这样的流动形式不但有利于降低压力损失、降低风噪，更有利于气流流入到乘员舱后的集束性，对于噪声舒适性及热舒适性提升均有益处。

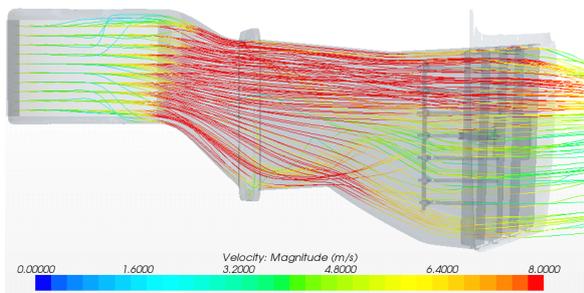


图 3 原方案内部流线（俯视图）

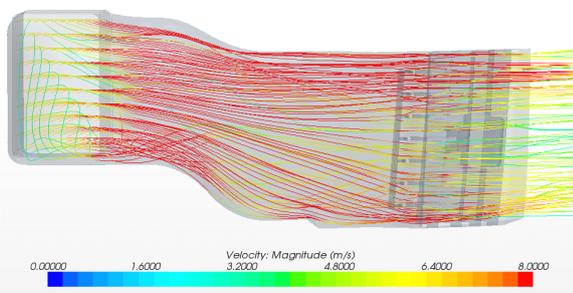


图 4 参考车内部流线（俯视图）

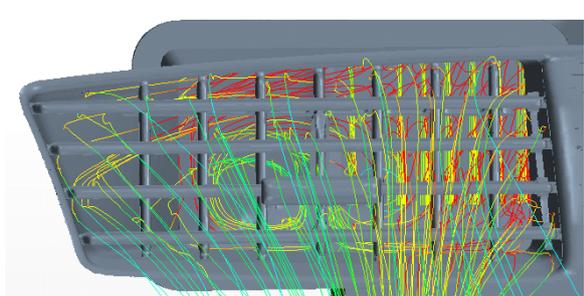


图 5 原方案内部流线（正视图）

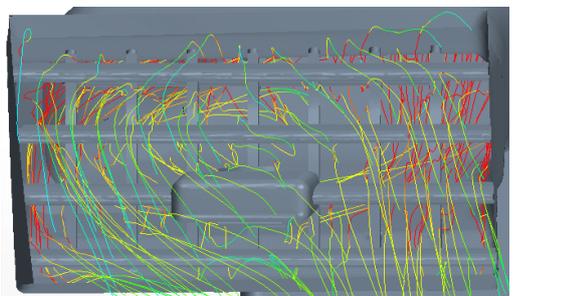


图 6 参考车内部流线（正视图）

由 100Hz 频率段的表面声能级分布云图（图 7）可看出，在气流分离严重，存在较大旋涡处声能级明显提高，达到甚至超过 100dB，而若流动较平顺，该处声能级在 80~90dB 范围内，可见涡的产生在一定程度上与噪声能级呈对应关系。

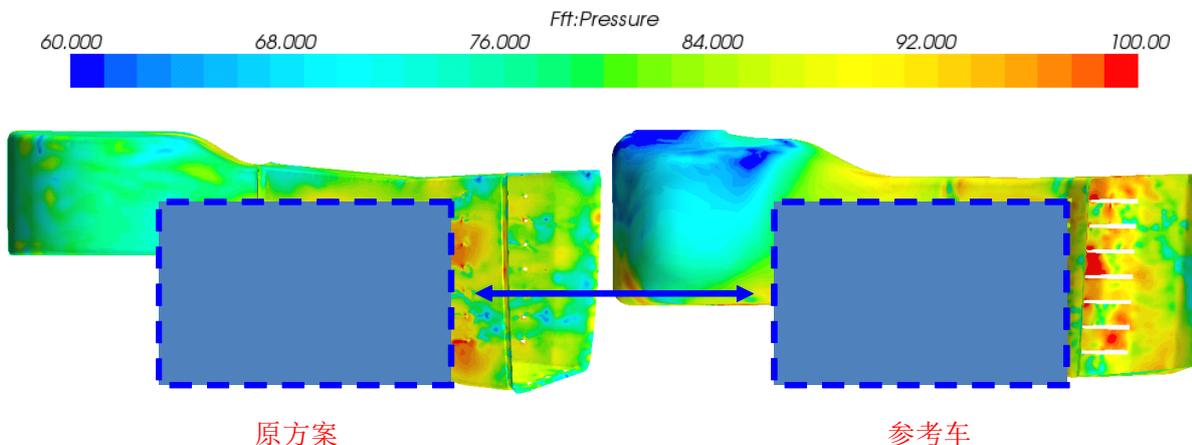


图 7 风管表面声能级分布（100Hz）

## 3.2 优化方案

### 3.2.1 全方案效果

通过对原方案及参考车内部流动的分析研究，降低风噪的途径主要包括减少管道流动阻力、减少气流分离、减少涡流几方面。结合长安该车型工程实际情况，在无法进行颠覆性改动的情况下，对原方案进行了3处改动（图8），包括1、2处对管道内壁弧度的缓和以及3处添加60mm长的长直导流板，以尽可能避免两段扩张段。

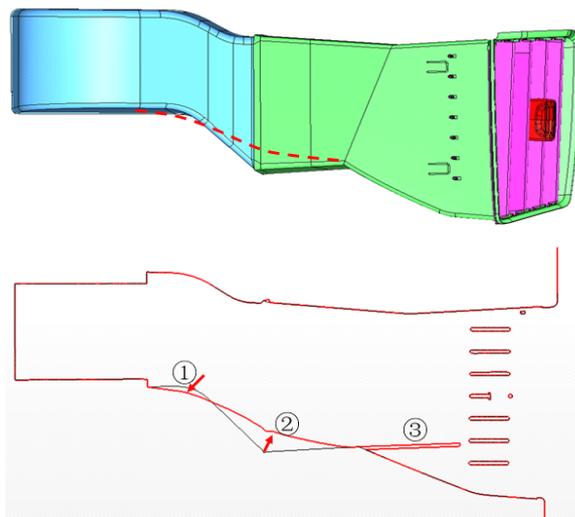


图8 风管几何优化示意（全方案）

从优化后的分析结果来看（图9），添加3种方案后，管道内部流动分离明显减少，大涡消失，流动情况显著改善，出风性能与参考车相当，甚至更优。

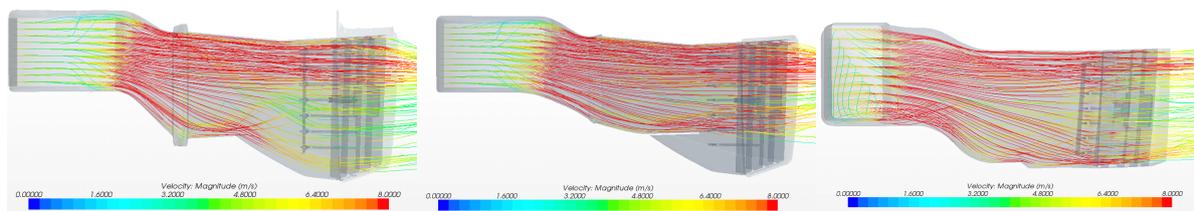


图9 原方案、优化后、参考车风管内部流线图

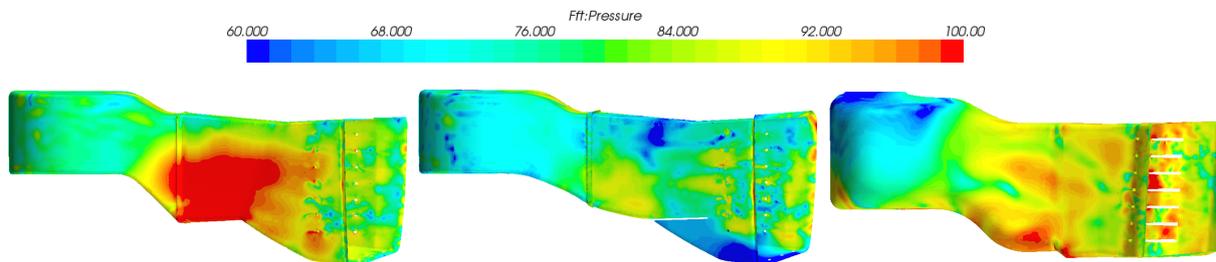


图10 原方案、优化后、参考车风管表面声能级分布（100Hz）

如图10，优化方案的风管表面声能级降低至60~70dB，较原状态大幅改善，且由于添加方案后气流扭转程度比参考车更轻微，所以表面声能级低于参考车。

### 3.2.2 分解方案验证

考虑到多方案优化会使产品变更成本增加及开发周期延长，进一步验证了方案 3 单独添加长直导流板的情况（图 11），以寻找最简单最经济的解决方案。（即原状态的两个扩张段，仅优化一处）

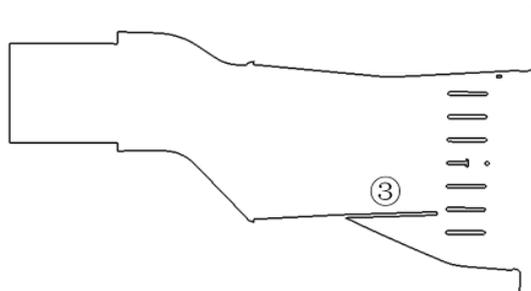


图 11 方案 3 示意图

从方案 3 与原方案表面声能级分布看（图 12），只添加方案 3 对于降低噪声能级无明显作用，同理可以类推，若仅添加方案 1、2 而无方案 3，管道内仍然存在一个扩张段，同样无法实现有效降低风噪的目的，因此证明需要方案 1、2、3 组合使用方能起到平顺气流，降低风噪的作用。

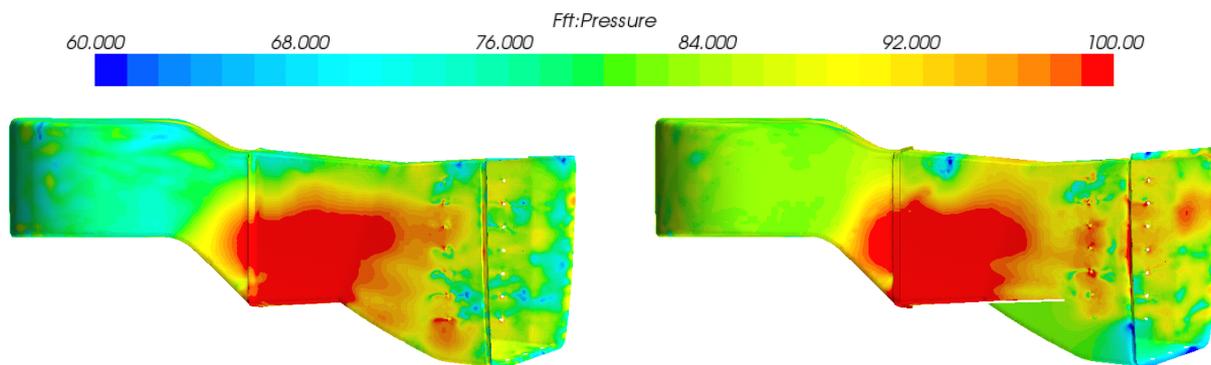


图 12 原方案、方案 3 风管表面声能级分布（100Hz）

## 4 结论

本文通过 RANS 稳态计算结合 DES 顺态模拟对长安某车型中左吹面风管进行了气动噪声的分析与优化，得出以下结论：

（1）风管气动噪声能级与管道内部流动平顺度呈同向趋势，即气流分离越少、涡流越少、流动越平顺则气流产生的流动噪声越小；

（2）原状态中左风管存在严重的风噪问题，需三个方案组合才能使气流平顺，风噪降低至可接受范围，单个方案无法实现。

## 5 参考文献

- [1] 靳晓雄,张立军. 汽车噪声的预测与控制[M]. 上海:同济大学出版社, 2004.
- [2] Mohanty Amiya R, Pierre Barry D St, Suruli2Narayanasami P.Structure2borne Noise Reduction in a Truck Cab InteriorUsingNu2merical Techniques[ J ]. App lied Acoustics, 2000, 59: 1 - 17.
- [3] An C F, Mitchell M, and Puskarz, et al., Attempts for Reduction of Rear Window Buffeting Using CFD. 2005, SAE Technical Paper 2005-01-0603
- [4] An C F, and Kanwerdip S. Optimization Study for Sunroof Buffeting Reduction. 2006, SAE Technical Paper, 2006-01-0138
- [5] 刘学强, 伍贻兆. 用 DES 数值模拟具有横向喷流的紊流流场. 航空学报, 2004, 25(3): 209-213