

# 汽油发动机进气系统流场模拟及结构改进

## CFD Analysis and Improvement of Air Intake System in Gasoline Engine

尹曼莉 叶伊苏 王伟民 蔡志强 许文志

(东风汽车公司技术中心 430058)

**摘要:** 本文利用 STAR-CCM+ 软件对某汽油发动机进气系统的流动规律进行数值模拟, 通过对压力场及速度场的分析, 找出影响阻力的关键部位, 提出了两种改进方案。通过对比, 确定进气阻力最小的改进方案 2 为最佳设计, 并通过试验对分析结果进行了验证。

**关键词:** 进气系统; 进气阻力; 多孔介质; 结构改进; STAR-CCM+

**Abstract:** In this paper the gas flow-field in a gasoline engine intake system was simulated by STAR-CCM+. According to the results, pressure, velocity were analyzed to find out the key parts of the influence of the resistance. And two improved objects were presented. Results show that the second object whose inlet resistance was least to be the best one by contrast. And though the experiment, the analysis results were verified.

**Keywords:** Air intake system; Inlet resistance; Porous Medium; Structure Optimization; STAR-CCM+

### 1 前言

进气系统是车辆的重要组成部分, 进气系统的性能影响着发动机和整车性能, 其内部复杂的流动是影响其性能的重要因素。流动的不均匀性, 会产生涡流和气流分离的现象, 引起流动阻力的增加, 造成滤清效率的降低, 缩短其使用寿命; 此外, 气流通过滤芯时产生的阻力所造成的压力损失, 也影响发动机的动力性和经济性。因此, 如何减少进气系统内气流速度分布的不均匀性并降低通过滤芯的压力损失, 是进气系统结构设计的关键。

进气系统流动的研究和分析可以通过试验和数值模拟两种方法, 试验的方法既费时又昂贵, 且易受主、客观条件的影响, 而数值模拟可高效、准确地对进气系统的流动性能进行预测。本文采用流体软件 STAR-CCM+, 将滤芯视为多孔介质, 对某汽油发动机进气系统的流场进行了数值模拟。研究的主要内容包含流场的变化, 速度、压力的分布, 结构对流场的影响, 通过分析对其引气管结构进行了改进, 并通过试验对分析结果进行了验证, 具有一定的实际意义。

### 2 进气系统评价指标

## 2.1 进气阻力

进气系统的进气阻力评价是基于《汽车用空气滤清器试验方法》定义进气阻力为进气系统的评价标准。

## 3 模型建立

### 3.1 三维模型建立及网格生成

应用 CATIA 建立了某发动机进气系统的三维几何模型，由于进气系统的结构比较复杂，在三维建模时需作适当的简化处理。建立的进气系统几何模型，用 STAR-CCM+进行了网格划分，计算区域网格模型如图 1 所示。该进气系统体网格数总共约为 73 万。



图 1 进气系统网格示意图

### 3.2 数学模型的建立

为了简化模型，作如下的简化和假设：

- 1) 空气的密度变化很小，为不可压缩流体流动；
- 2) 空气的物性与多孔介质（滤芯）的分布情况，是各向异性的；
- 3) 工作过程中温度不变，是等温过程。

基于以上假设，选择  $k-\varepsilon$  湍流模型。

### 3.3 边界条件及初始值

在假设流场中，压力为标准大气压  $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ ，环境温度为  $20^\circ\text{C}$ ，空气密度为  $1.205 \text{kg/m}^3$ 。

为了与台架试验对应，对入口、出口边界条件作以下设置：

入口条件：将入口定义为滞止边界。

出口条件：将出口设为流量边界，因实际台架试验时，是用抽气机在出口吸气，所以，出口流量设为负值。

壁面条件：设为无滑移壁面条件。

多孔介质参数：在处理空气滤清器滤芯时，采用 STAR-CCM+ 中的多孔介质模型，其中流阻参数根据试验值或经验值得到。在本文，流阻参数是根据试验值推导而来，在此做个简要的介绍。

通过试验室只能得到整个空滤的任意流量点的流阻值，需要在 STAR-CCM+ 中先期计算处相应流量下处滤层以外区域的流阻值，然后再通过数学运算得出该流量下滤层的流阻。

根据多点计算得出的流阻值可以通过插值求出多孔介质上的系数。并根据实测及模拟的数据可以拟合出一条滤纸区域的“速度—压降”曲线，假设其方程为：

$$\frac{\Delta P}{L} = -(-P_v + P_i|v|)v$$

式中  $P_v$  为粘性阻抗因子， $P_i$  为惯性阻抗因子， $\frac{\Delta P}{L}$  为单位长度压力损失， $v$  为滤芯表面的平均流速，

其中系数  $P_v$ ， $P_i$  为所需的流阻参数。

## 4 计算结果分析

### 4.1 初始方案压力场分析

在 STAR-CCM+ 中进行了数值计算，得出了进气系统的压力场。如图 2 为进气系统的压力云图。从图中可以清楚观察到该方案各段的压力变化，发现前引气管段的压力变化较大，红色标记区域较为明显，而造成此现象的原因是由于过渡弯角过小。

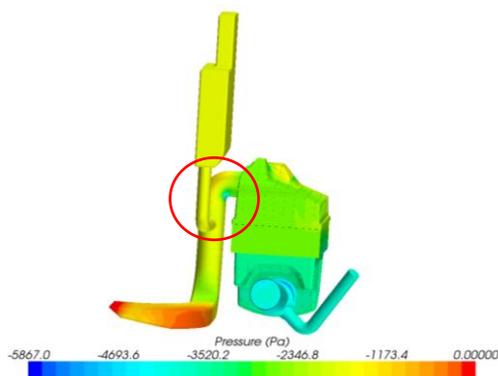


图 2 进气系统初始方案压力云图

### 4.2 初始方案速度场分析

由初始方案进气系统的 CFD 分析得到内部速度流线图，如图 3 所示。通过观察可以发现，该进气系统的谐振腔内没有气流进入，对进气阻力没有影响。但是，气流在通过滤芯时产生了涡流现象，会降低滤芯表面流动均匀性能。

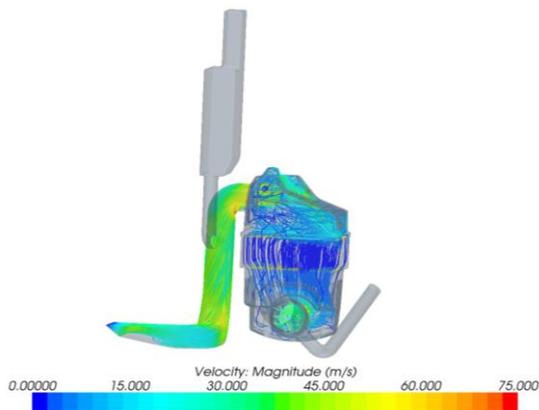


图 3 进气系统初始方案速度流线图

## 5 进气系统改进及 CFD 分析

### 5.1 进气系统改进方案

鉴于以上对初始方案进气系统的压力场和速度场的分析，发现造成进气系统压力损失较大是引气管的入口及过渡弯管形状造成的。为了减小流动压力损失，建议增大入口面积。改变过渡弯管形状及管径，改进主要区域（红色标记）及改进后网格如图 4 所示。

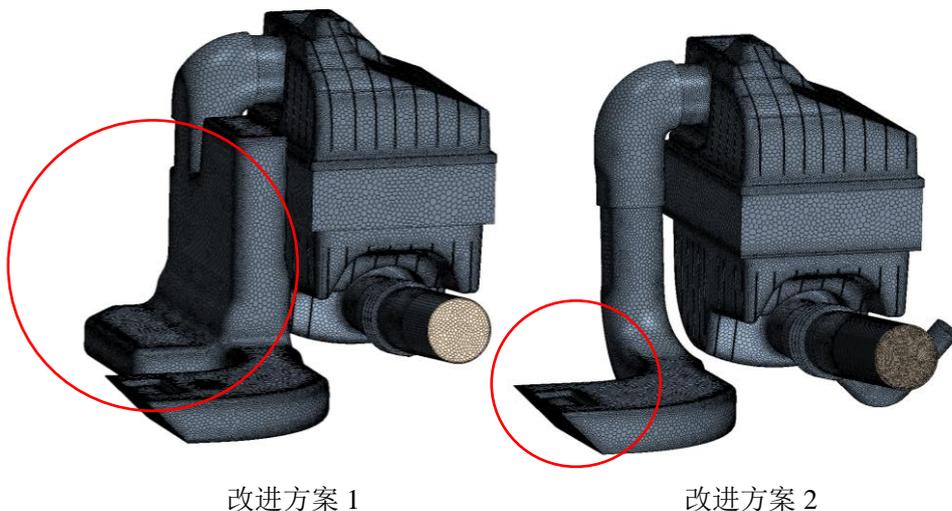


图 4 进气系统改进方案网格示意图

### 5.2 改进方案压力场分析

图 7 是改进方案进气系统的压力分布云图。从图 5 中可以发现两种改进方案的压力场分布较初始方案得到一定改善。由于引气管的改形使得进口的压力变化较初始方案偏小，从而减小流动压力损失。

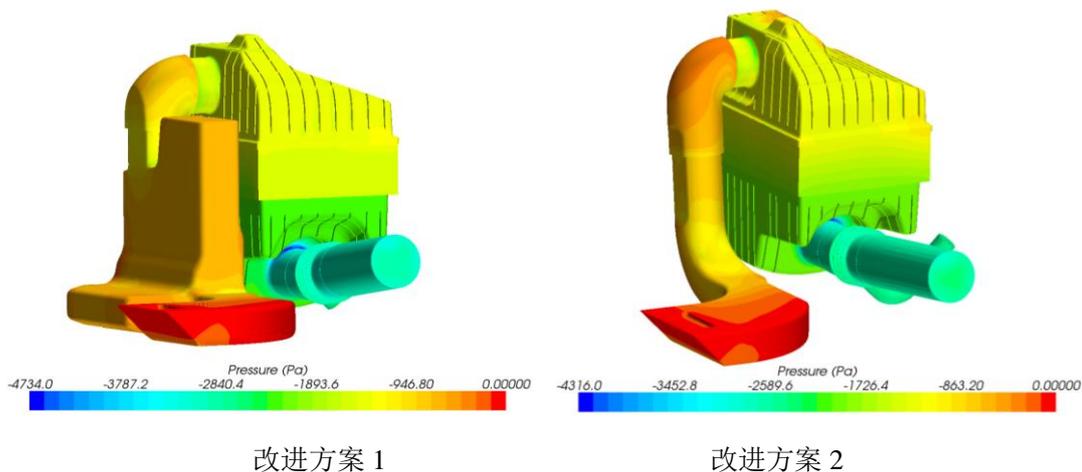


图 5 进气系统改进方案压力云图

### 5.3 改进方案速度场分析

图 6 是改进方案 1、2 的速度流线图。在对引气管的形状进行优化后，空滤内部的气流涡流现象有所改善，提高了滤芯表面的流动均匀性能。

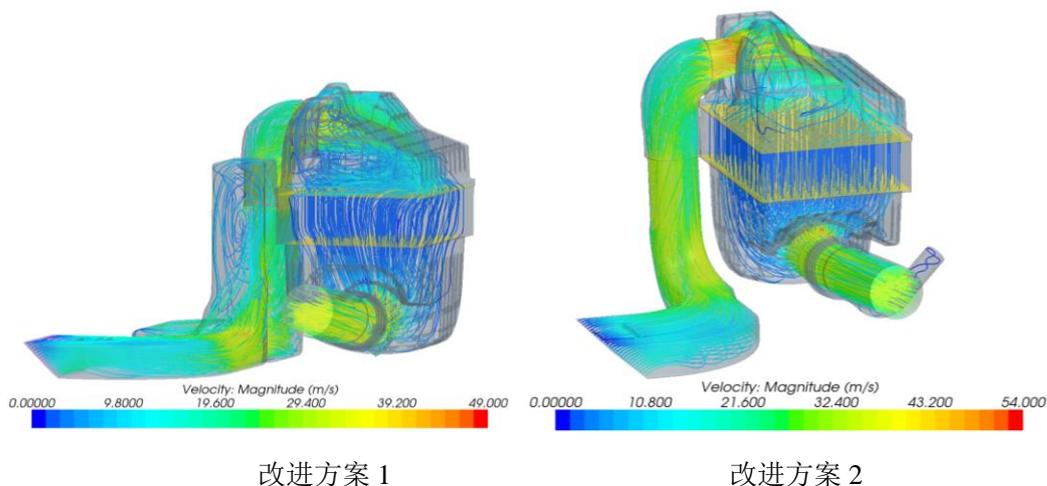


图 6 进气系统改进方案速度流线图

## 6 试验验证

在对所有方案进行了计算后，通过计算结果与试验结果的对比，计算结果与试验结果相似度在 90% 以上，同时也说明多孔介质参数的推导方法有一定的实际意义。

表 1 进气系统流阻计算值与测试值对照表

方案	流量 (kg/h)	计算流阻 (kPa)	测试流阻 (kPa)
原方案	317	4.10	4.53
改进方案 1	317	2.97	2.83
改进方案 2	317	2.45	2.23

## 7 结论

- (1) 通过分析对初始方案的 CFD 分析, 发现进气阻力较大、内部流动均匀性较差的可能原因, 并提出改进建议。
- (2) 改进方案 1、2 的 CFD 分析结果显示, 进气阻力都有所减小, 内部流动均匀性也有所改善。其中, 改进方案 2 的优化效果更为明显, 认为此方案为最佳方案。
- (3) 通过 STAR-CCM+进行进气系统的 CFD 分析计算可以预测其流动性能, 为进气系统的开发设计提供一定的理论依据, 提出优化改进意见, 减少试验数量和缩短开发周期。
- (4) 多孔介质参数的推导方法, 为计算结果的真实有效性打下了良好的基础。

## 8 参考文献

- [1] 王治林, 成凯, 林源, 基于 CFD 的车辆进气系统流场仿真与分析[J]. 工程设计学报.10.3785/j.issn.1006-754X.2011.04.007.
- [2] Rizalman Mamat, Abdel-Fattah M.Mahrous, Hongming Xu, Mirosław L.Wyszynski.  
CFD Analysis of Air Intake System with Negative Pressure on Intake Grill[C]//SAE2008-01-1643