

空气滤清器总成的气动性能优化

Aerodynamics Optimization of Air Filter Assembly

冯伟 刘鹏

长城汽车股份有限公司技术研究院

摘 要 运用 STAR-CCM+ V4.02 对长城某车型开发的四个空气滤清器总成方案进行气动分析, 通过 CFD 分析计算得出各个空气滤清器总成的气动性能, 通过对压降以及流动的比较选出较优的设计方案。

关键词 汽车, 空气滤清器总成, 优化, STAR-CCM+

Abstract: this report presents the performance of air filter assembly of GWM vehicle using STAR-CCM+ Version 4.02. Under a specified mass flow rate, the resistance and pressure drop of No.4 design is slightly less than the other design, the performance of No.4 design better than the other design, to provide the basis for the development of air filter assembly.

Key words: Auto, Air Filter Assembly, Optimization, STAR-CCM+

1 背景

车辆的空气滤清器是汽车进气系统中最为重要的部件之一, 空气滤清器总成的作用: 保护发动机, 滤除空气中的硬质灰尘颗粒, 向发动机提供清洁空气, 防止灰尘造成发动机磨损, 对发动机的可靠性和耐久性起关键作用。它的气动性能影响到整车的动力性能和 NM 性能。

本文对某车型的四个空气滤清器总成设计方案进行气动性能分析, 分别在指定流量下求出四个设计方案空气滤清器总成的压降, 从而选出结构最优设计方案。

2 数值方法和理论依据

2.1 管路中的压力损失

管路设计中要注意风道中的压力损失, 压力损失是由沿程压力损失和局部阻力损失组成。

2.1.1 沿程压力损失

沿程压力损失是空气沿管壁流动时, 由空气与管壁之间的摩擦、空气分子内部之间的摩擦而产生的。对于分支管路多的空调系统, 沿程压力损失不可忽视。它要求风道内的表面光滑平整, 以降低风道表面的绝对粗糙度, 从而减少摩擦阻力, 减低压力损失。空气在截面不变的管道中流动且空气量保持不变, 沿程压力损失可按下式计算:

$$\Delta P_m = \lambda \frac{1}{4R_i} \frac{V^2 \rho L}{2}$$

式中： λ 摩擦阻力系数； V 风道内空气的平均流速 (m/s)； ρ 空气的密度 (kg/m^3)； L 风道的长度 (m)； R_s 风道的水力半径 (m)； $R_s=A/p$ A 风道的过流断面面积 (m^2)； p 湿周，即风道的周长 (m)。

由上式可见风道直管段摩擦阻力与空气本身的黏度、管壁粗糙度、水力半径、气流速度等因素有关。

2.1.2 局部压力损失

局部阻力是由于空气在管道中的流动时，其流动的方向、流量或速度骤然突变，在风道内产生涡流和速度的重新分布，从而使流动阻力大大增加，造成能量损失。这类损失称为局部阻力损失。

如风道中的三通、弯头、截面扩大或缩小及进出口处，都会使空气的速度或流向发生改变，从而产生局部阻力损失。这种局部阻力损失，会使空调噪声加大。

2.2 计算流体动力学

空气滤清器总成管路设计可利用试验方法来确定风道的尺寸和位置，但耗费很大，且难于找到影响阻力的主要因素，利用计算机仿真技术代替真实系统进行研究，可以减少反复试验造成的浪费。计算流体力学 (CFD, Computational Fluid Dynamics) 是一门用数值计算方法直接求解流动主控方程 (Euler 或 N-S 方程) 以发现各种流动现象规律的学科。它综合了计算数学、计算机科学、流体力学、科学可视化等多种学科。CFD (计算流体动力学) 是近年发展较快的一种计算机辅助设计技术，其作用是对各种工况下气流组织的温度、速度场的模拟仿真。在汽车空气滤清器开发中应用 CFD 技术，可以有效的在产品未成型之前进行气流组织仿真设计，从而有效的减少设计成本，缩短设计周期。

本课题计算采用标准的“N-S 方程组”的迭代求解方式，给定初场，然后通过联立求解每个网格单元上的 N-S 方程组，不断迭代，直到计算达到收敛。对于压力项和速度项之间的耦合关系采用 SIMPLE 算法，此算法早已得到计算业界的广泛认可。在计算中考虑 N-S 方程组中的连续性方程、动量方程、能量方程共三个方程组，分别如下：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = S_m$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\vec{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h$$

计算中使用湍流模型为标准的 $k-\varepsilon$ 两方程湍流模型，壁面处采用了标准壁面函数法。

3 前处理

将空气滤清器四个设计方案的 Catia 数模 (去掉滤芯) 以 Stl 格式导出。这里主要考察空气滤清器形状对其气动性能的影响，不考虑滤芯的作用，故将滤芯略去。将简化模型文件导入 STAR-CCM+

v4.02中对流体域进行面网格几何清理和面网格重构。在 STAR-CCM+ v4.02生成 Polyhedral 流体网格，方案一、二、三和四流体网格如图 1 2 3 4所示。

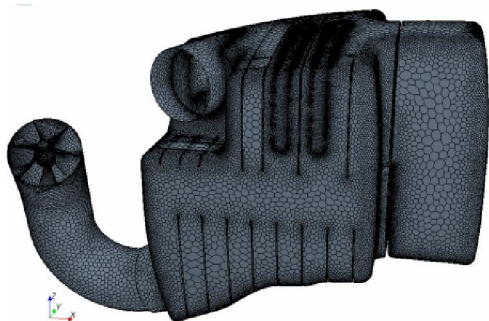


图 1 方案一体网格

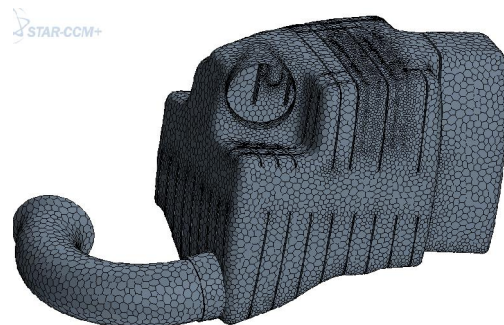


图 2 方案二体网格

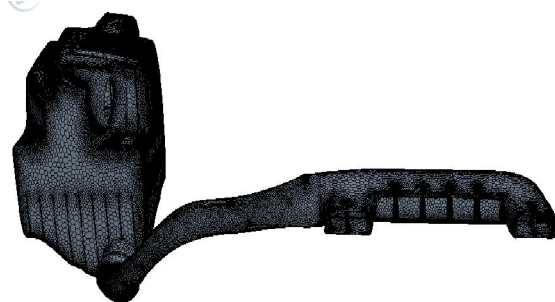


图 3 方案三体网格

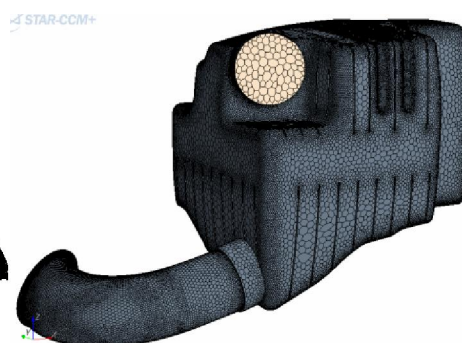


图 4 方案四体网格

由上述图形可以看出四种方案的区别主要集中在引气口形状和开口方位，引气管形状、长度以及管径，其中方案一进气口结构较为复杂，有类似风扇的扰流装置，比较美观；方案二引气管直径大其他两种方案，结构简单，管路顺畅；方案三的结构最为复杂，进气口较大，且引气管长度较长；方案四与方案二类似，区别在于引气管弯度小于方案二，长度略短，进气口形状为椭圆形。

4 边界条件及结果处理

4.1 设计方案一压降分析

边界条件设置：

如图 5-6 所示，Inlet 为气流入口，边界条件为环境压力，Out let 为气流出口，边界条件为质量流量，流量为 $650\text{m}^3/\text{h}$

计算结果：

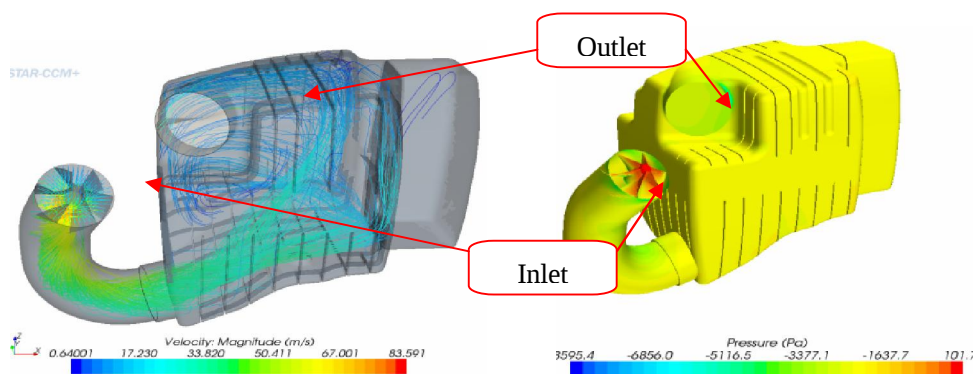


图 5 方案一流线

图 6 方案一压强

由于方案一引气口处设置一个类似风扇的扰流结构，使得前引气管内气流呈螺旋式流动，在进入空滤后一部分气流垂直吹到谐振腔前的空滤壳体上，导致气流急剧变向，存在较大的流动不合理，入口处的扰流装置所受进气压力较大，减小进气口的面积，将会增大进气阻力。图 5、6 所示。

分析结果得出设计方案一的压差为：2651.77Pa

4.2 设计方案二压降分析

边界条件设置：

如图 7、8 所示，Inlet 为气流入口，边界条件为环境压力，Outlet 为气流出口，边界条件为为质量流量，流量为 $650\text{m}^3/\text{h}$

计算结果：

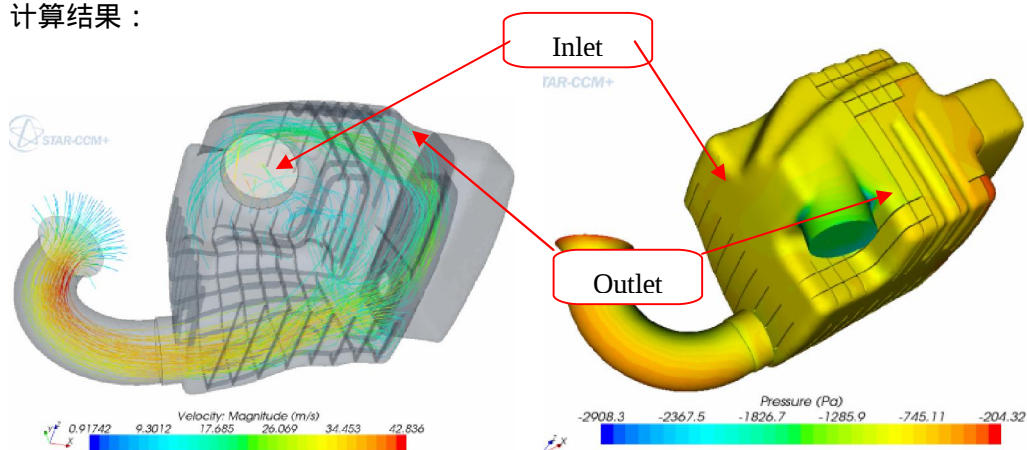


图 7 方案二流线

图 8 方案二压强

设计方案二结构简单，管径较大，管路较短，较大的引气管弯度会增大进气的阻力，但是过度平滑，整体气流流动顺畅，图 7、8 所示。

分析结果得出设计方案二的压差为：1686.97Pa

4.3 设计方案三压降分析

边界条件设置：

如图 9、10 所示，Inlet 为气流入口，边界条件为环境压力，Outlet 为气流出口，边界条件为为质量流量，流量为 $650\text{m}^3/\text{h}$

计算结果：

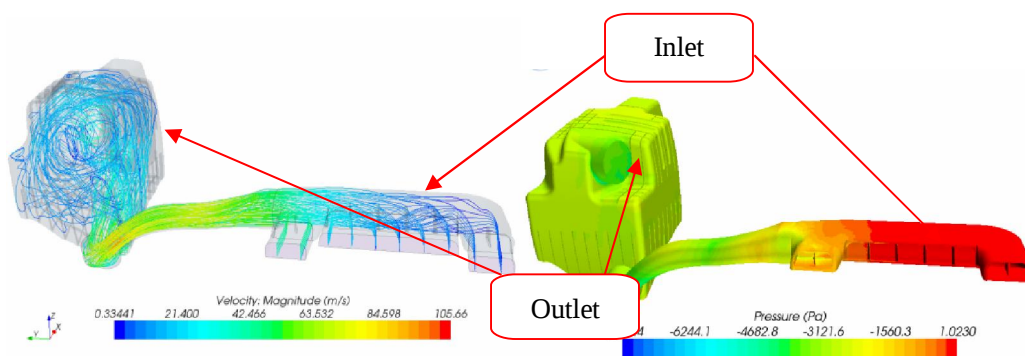


图 9 方案三流线

图 10 方案三压强

方案三设计的进气口位于水箱横梁上方，有利于提高车辆行进中的进气量，由于进气面积较大，但是引气管管径较小，使得进气口处压强较大；较长的引气管会增大进气阻力，引气管管路截面无剧烈变化，压强变化梯度均匀，气流顺畅，图 9 10所示。

分析结果得出设计方案三的压差为：3471.16Pa

4.4 设计方案四压降分析

边界条件设置：

如图 11 12所示，Inlet为气流入口，边界条件为环境压力，Outlet为气流出口，边界条件为质量流量，流量为 $650\text{m}^3/\text{h}$

计算结果：

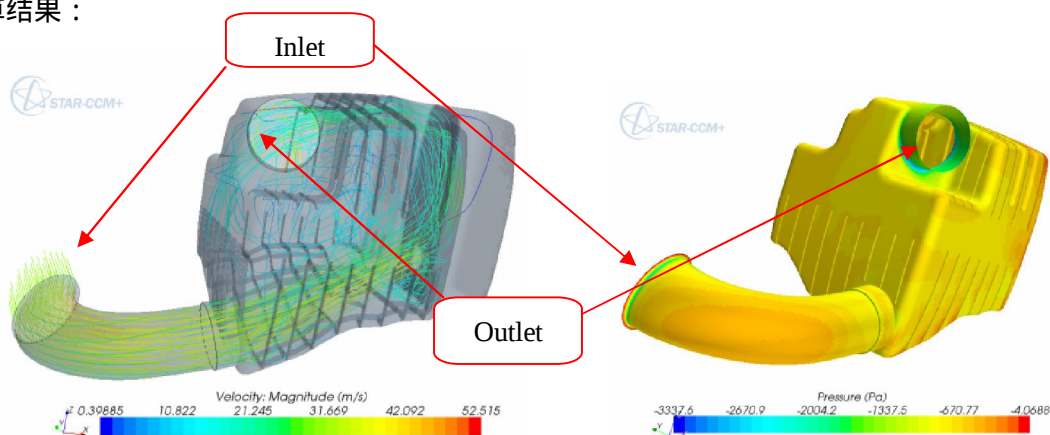


图 11 方案四流线

图 12 方案四压强

方案四的设计与方案二类似，结构简单，管径较大，管路较短，区别在于进气口的方位和形状、引气管的弯度。方案四进气口形状为椭圆形，进气口圆角半径小于方案二，使得进气口截面积小于方案二，不利于降低进气阻力；方案四引气管弯度小于方案二，较小的弯度有利于降低气流阻力，引气管截面过度平滑无突变，有利于降低管路对气流的阻力，引气管内气流顺畅。图 11 12所示。

分析结果得出设计方案三的压差为：1009.71 Pa

4.5 结果对比

表 1结果对比

设计方案	压降
方案一	2651.77 Pa
方案二	1686.97 Pa
方案三	3471.16 Pa
方案四	1009.71 Pa

从计算结果得，方案四压降最小，进气阻力最小，比方案一压差低 61%，比方案二压差低 40%，比方案三压降低 70%，可以得出四个设计方案中方案四进气气阻最小。

5 结论

(1) 从结构气动性能角度分析，方案四压差比方案一低 61%，比方案二低 40%，比方案三低 70%，气动阻力明显小于其他三个方案；

(2) 在车辆开发中，使用 CFD 分析方法能够很快的进行多方案的对比，进行初步的优选，为车辆零部件选型开发提供依据。

5 参考文献

- [1] 王福军.计算流体动力学分析-CFD 软件原理与应用.北京:清华大学出版社.2008
- [2] 傅立敏.汽车空气动力学[M].北京:机械工业出版社.1998
- [3] 陈卓如.工程流体力学(第二版).高等教育出版社.2004
- [4] STAR-CCM#帮助文档