

涡轮增压汽油机催化器排气管 CFD 分析

张小矛, 陈明

上海汽车集团股份有限公司乘用车公司技术中心, 上海市 201804

Email: zhangxiaomao@saicmotor.com

摘要: 以某 1.8T 涡轮增压汽油机为例, 利用 Star-CCM+ 三维流体软件, 对该机催化器排气管进行了催化器和氧传感器位置的 CFD 分析, 并对该机排气管提出了改进建议。

关键词: 排气管, 催化器, 氧传感器位置, CFD 分析

排气管是汽油机重要的零部件, 其设计的优劣直接影响到发动机动力性, 经济性和排放性。一般自然吸气汽油机催化器安装在排气歧管汇集后, 对于涡轮增压汽油机三元催化转换器和氧传感器一般安装在涡轮增压器之后。催化转换器是降低汽油机有害排放的有效装置, 其内部复杂的流动、传热是影响其性能的重要因素。催化器前端面流动的不均匀性既会产生涡流和气流分离现象, 引起流动阻力的增加, 又会造成温度分布的不均匀, 温度过高的区域使催化剂过度工作, 容易造成催化器烧焦裂化最终堵塞催化器, 这样发动机背压过高, 直接导致发动机功率下降。温度过低的区域催化剂又得不到充分利用, 使总体转化效率降低。而且, 温度分布的不均匀性造成载体径向温度梯度增大, 容易产生热应力从而造成载体热变形和损坏。因此, 催化器的 CFD 流动分析成为其开发的重要内容之一。

另外, 排气管上氧传感器位置的选取也非常重要。氧传感器的位置不仅要考虑整车和发动机的空间布置, 而且要着重考虑氧传感器能否正确检测到排气中的氧浓度, 因为这直接影响到 ECU 标定中控制的空燃比, 如果传感器位置选取不合适, 氧传感器则不能精确氧浓度, 因此无法测量空气进气流量, 从而无法精确控制喷油量, 直接影响到发动机的动力性和排放性能。因此, 涡轮增压汽油机排气管氧传感器周围的 CFD 流动分析也是汽油机排气系统开发的重要内容。

迄今为止, 国内外对排气管的上述两项 CFD 分析做了大量的工作。技术上趋于成熟。本文以某 1.8T 涡轮增压汽油机为例, 对该机排气管进行了催化器和氧传感器位置的 CFD 分析, 并对该机排气歧管提出了改进建议。

1 排气歧管催化器评价指标

1.1 流动均匀性指数 Gamma 值

流动均匀性指数 Gamma 是用于评价气体流通三元催化器截面均匀性的参数, Gamma 范围为 0~1 之间, 1 代表完全均匀, 当大于 0.9 时代表截面流动均匀性较好;

$$\gamma = 1 - \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(w_i - w_{mean})^2}}{w_{mean}}$$

式中: γ 为 Gamma;

w_i 为截面上网格单元流速, m/s;

w_{mean} 为截面上网格单元平均流速, m/s;

n 为截面上网格单元数

1.2 U_{max}/U_{mean} 值

U_{max}/U_{mean} 是催化器载体截面上网格单元气流最大流速与该截面网格单元平均流速的比值, 该值越小代表流动均匀性越好, 一般小于 1.5 时表征该截面流动均匀性较好, 可以接受。

2 三维模型及边界条件

2.1 三维模型



图 1 三维几何模型

2.2 边界条件

本排气歧管 CFD 分析采用稳态分析，在发动机 5500r/min 全负荷时，进口质量流量设置为 0.1333kg/s，进口温度设置为 1123K，尾端为出口压力为 1.41bar。

三元催化器载体的阻力特性由以上试验确定。测试方法：让特定流量的气体通过三元催化剂，测量通过前后的压力降，气体温度为室温(15)。压降阻力数据如下表所示。

气体流量(m ³ /h)	200	400	500	600
压降(kPa)	0.499	1.415	2.031	2.806

对于多孔介质，在 Star-CCM+中按照如下公式进行设置：

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

其中：v 为通过介质的流速，m/s；

P_i 和 P_v 为多孔介质的阻力系数，可根据试验测量的压降阻力数据计算出来根据上述公式，计算出本排气管催化器阻力系数 P_i=14.25，P_v=253.16。

3 计算结果及分析

3.1 流场分析

如图 2 所示，气流在经过催化器时沿轴线方向流动。

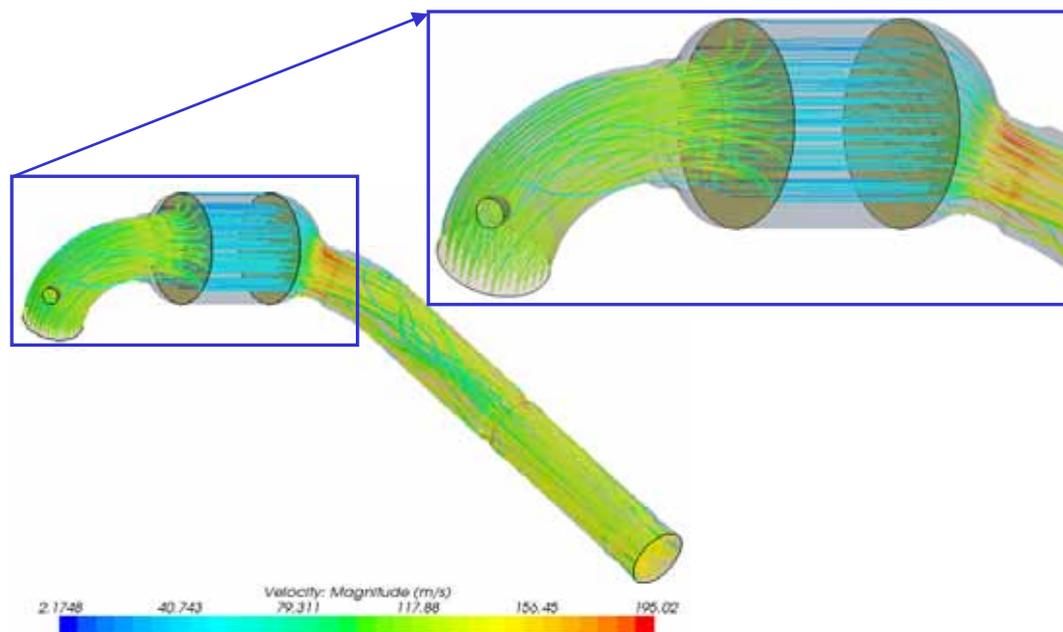


图 2 迹线图

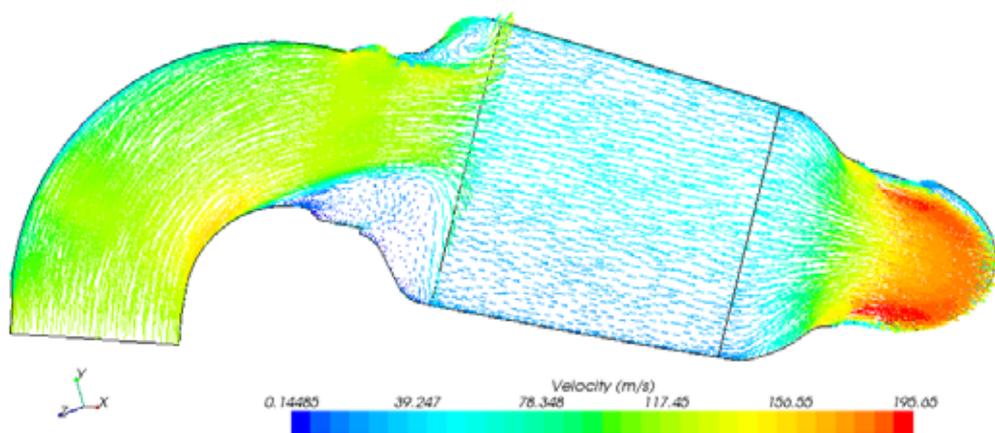


图 3 速度矢量

图 3 为某截面的流场图，在催化器前端面，存在两个明显的漩涡，这样将导致较大的阻力损失。

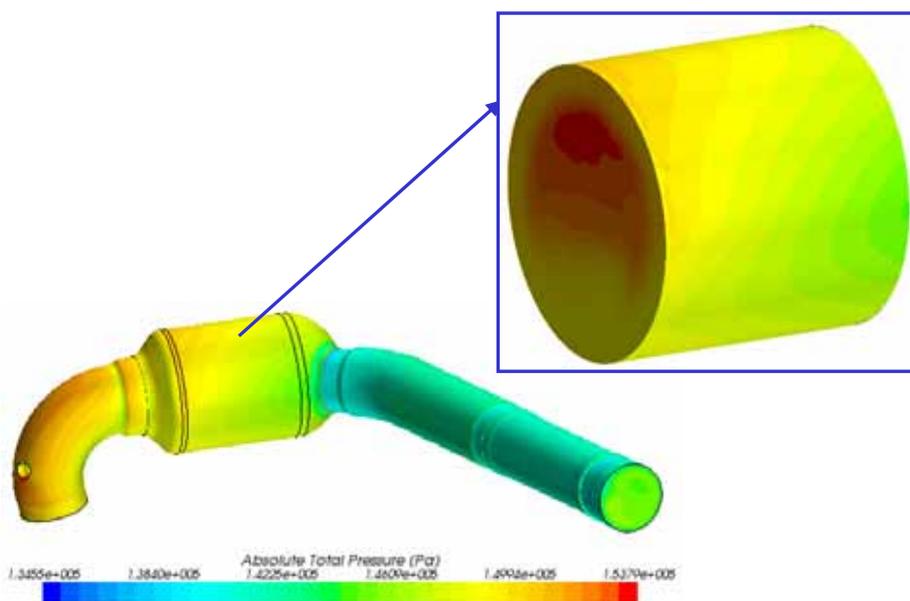
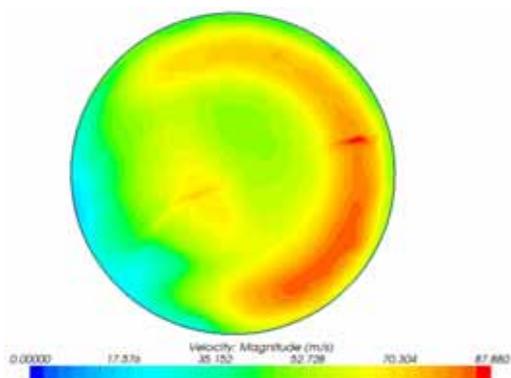


图 4 总压分布图

如图 4 所示，催化器前端面压降分布不均匀，且沿催化器轴线方向不呈层状分布。

3.2 各缸三元催化器前端面均匀性分布



Gamma=0.848

Umax/Umean=1.61

图 5 均匀性流速分布

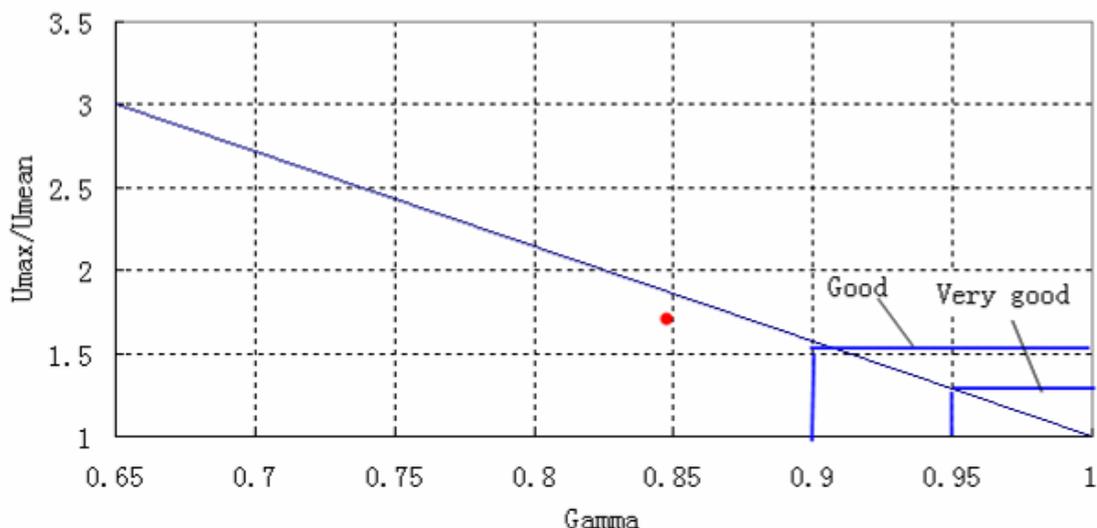
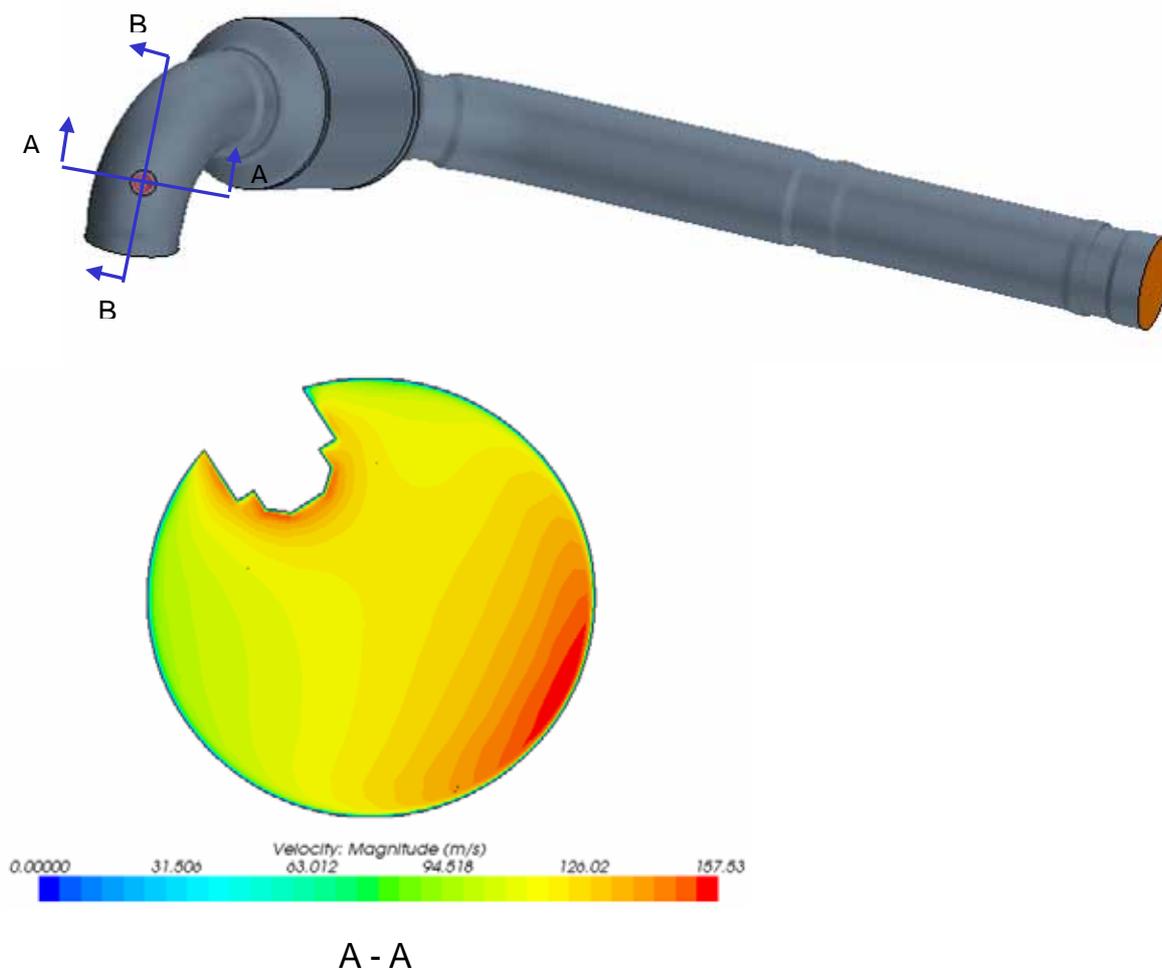
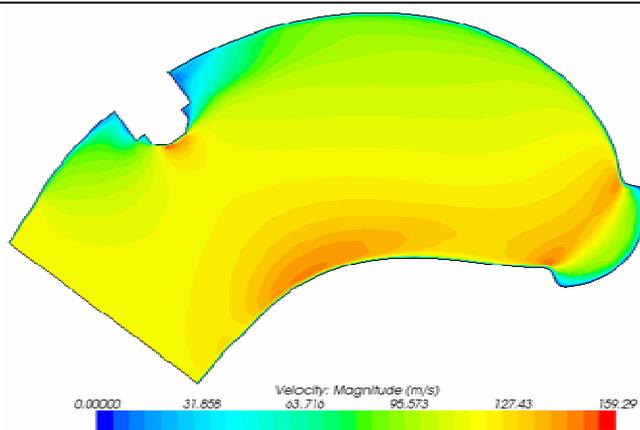


图 6 Gamma 值落点位置

如图 5 和图 6 所示，各缸三元催化器前端面均匀性指数 Γ 为 0.848，小于 0.9； U_{max}/U_{mean} 值均远大于 1.5； Γ 指数和 U_{max}/U_{mean} 值均落在非理想区域；该排气管三元催化器端面排气流动均匀性较差，这对三元催化器转化效率有不利影响，需要改进。

3.3 各缸氧传感器周围流场分布





B - B

图 7 氧传感器周围流速分布

如图 7 所示，氧传感器气周围流速较高，氧传感器位置较合理。

4 改进建议

如图 8 所示，为了改善流动分布均匀性，建议加长催化器前端面锥台体长度，锥台体且设计成偏心扩张型。

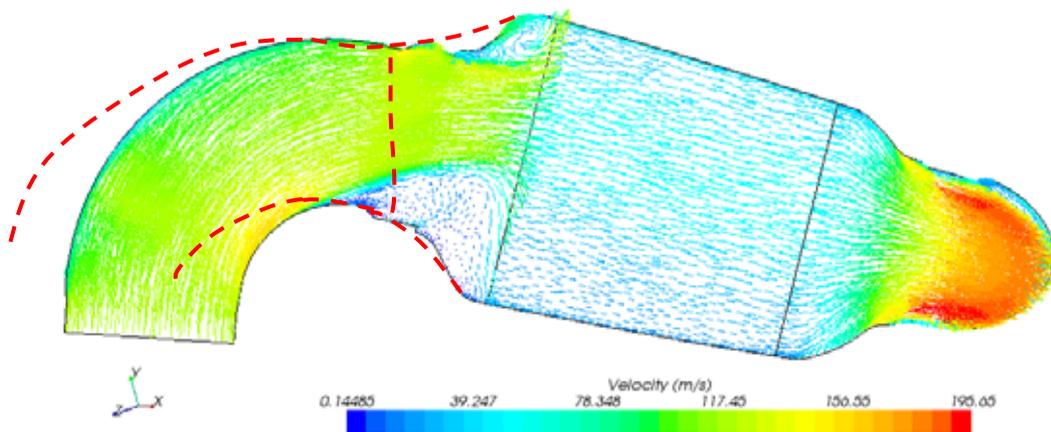


图 8 改进建议方案

5 结论

- (1) 某 1.8T 涡轮增压汽油机催化器排气管三元催化器前端面排气流动均匀性较差，这对三元催化器转化效率有不利影响，该设计不可接受，建议改进；
- (2) 氧传感器气周围流速较高，氧传感器位置较合理；
- (3) 对该排气管提出了改进建议，为了改善催化器流动分布均匀性，建议加长催化器前端面锥台体长度，锥台体且设计成偏心扩张型。

参考文献

- [1] 陈玲玲, 刘卫国, 六面体网格下复杂型转化器的三维数值模拟, 车用发动机, 2007, 167 (1), 61-64
- [2] 龚金科, 周立迎等, 三效催化器转换器压力损失对发动机性能的影响, 汽车工程, 2006, 26 (4), 413-416.
- [3] V6 2.9l Engine Exhaust Manifold Coupled WAVE/VECTIS Flow Analysis Baseline Results, GangLi, Ricardo plc, RD05_394901, 2005