

发动机催化转化器的优化

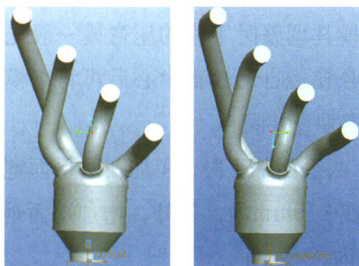
带催化转化器的排气歧管内部流场的气流特性非常复杂,而气流特性直接影响到催化转化器内部的催化反应效率等。另外,整车OBD系统(车载自动诊断系统)要求在催化转化器的前端安装氧传感器,而氧传感器对流经的气流速度有一定的要求。

本文建立的模型是包括氧传感器的催化转化器的排气歧管三维模型。分析计算的评价指标有以下两点:催化器载体前端的速度均匀性系数;氧传感器布置的位置。

模型建立

1. 数模

共设计了两种排气歧管方案,模型如图1所示。由于该排气系统为紧耦合式(即排气歧管直接与催化器相连接),因此,在分析催化器的速度均匀性系数时,必须将排气歧管与催化器作为一个整体进行分析。



(a) 方案一 (b) 方案二
图1 两种方案排气歧管结构

2. 网格划分

此次计算使用FAME生成以六面体为主的计算网

格。考虑到壁面附近的边界层影响,在壁面上生成一层边界层网格,为避免回流,在进出口各拉伸20层左右的网格。整个排气系统的网格如图2所示。

3. 求解器参数

采用迎风离散格式,一阶隐式格式离散时间项,压力与速度耦合算法选择SIMPLE。设定管内空气流动为可压

缩粘性流动,空气为理想气体,湍流模型为 $k-\epsilon-f$ 方程。使用混合壁面描述壁面附近边界层流体速度和压力等的分布,且要求贴近壁面的网格的 $y+$ 值在11~200,残差 <0.0001 。

4. 边界条件

催化器最重要的工况是最大体积流量工况点,该工况气流分布较差。因此本文对发动机额定工况点进行了数据计算。

进口条件:质量流量360kg/h,进口温度855℃,湍流强度3.06%,湍流尺度0.004m。出口条件:静压边界 $1.27 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

壁面条件:壁面函数:Hybrid Wall Treatment,换热系数 $20 \text{W/m}^2\text{K}$,环境温度30℃,外壁放射率0.25。

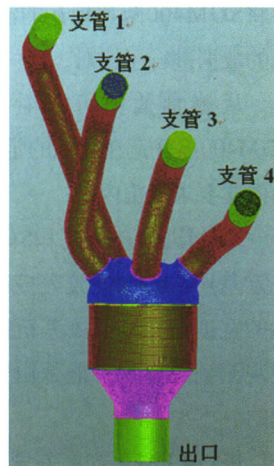


图2 网格图



计算结果分析

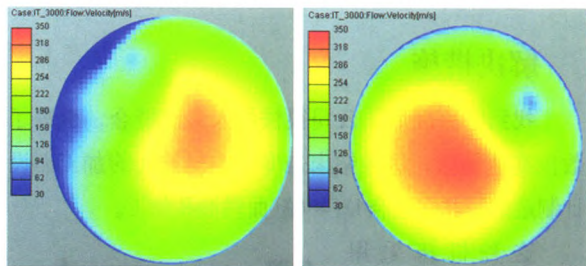
1. 评价标准

(1) 速度均匀性系数 γ 对于催化剂而言, 进入其中的气流分布越均匀, 则催化效率越高, 而评价气流分布均匀的指标就是速度均匀性系数。通常 γ 值在 0~1, 越大表示均匀性越好, 一般要求其 ≥ 0.85 。

(2) 最大平均流速 (AFV) 和最大流速差异性系数 (FSD) 最大平均流速和最大流速差异性系数均是评价氧传感器位置的指标。只有 $AFV \geq 100\text{m/s}$, 同时 $FSD \leq 1$ 时, 才能评判氧传感器的位置满足要求, 否则氧传感器的位置必须重新布置。另外氧传感器需要位于废气集中流经的部位。

2. 计算结果

(1) 速度均匀性系数 图 3a 所示为方案一载体前端气流分布, 四个支管的速度均匀性系数分别为 0.768、0.861、0.876 和 0.742。第 1 缸和第 4 缸的均匀性系数小于 0.85, 第 2 缸和第 3 缸的均匀性系数 > 0.85 。图 3b 为方案二载体前端气流分布。从图中可以看出, 四个支管的速度均匀性系数分别为 0.858、0.877、0.868 和 0.885。四个缸的均匀性系数均 > 0.85 。



(a) 方案一载体前端气流分布 (b) 方案二载体前端气流分布

图 3

方案一中第 1 缸和第 4 缸排气时, 气流集中流经的部位偏离了催化器的中心, 导致速度均匀性系数低, 催化转化效率降低。其他两缸排气时, 气流集中流经的部位经过催化器的中心, 没有发生偏离, 有助于催化转化效率的提高, 增加催化转化器的使用寿命。

(2) 氧传感器位置 方案一和方案二各缸分别排气时氧传感器表面最大速度见表 1 和表 2。方案一中第 1 缸排气时, 氧传感器表面最大速度为 78.3 m/s , 第 4 缸排气时, 氧传感器表面最大速度为 81.2m/s 。这两者均 $< 100\text{m/s}$, 这是因为氧传感器没有位于废气集中流经的部位。第 2 缸和第 3 缸排气时, 氧传感器表面最大速度分别为 163.0m/s 和 178.1m/s 。这两者均 $> 100\text{m/s}$, 这是因为

氧传感器位于废气集中流经部位附近。

表 1 方案一氧传感器表面参数

	氧传感器表面最大速度/ m s^{-1}	AFV/ m s^{-1}	FSD
CYL1	78.3	125.15	0.80
CYL2	163.0		
CYL3	178.1		
CYL4	81.2		

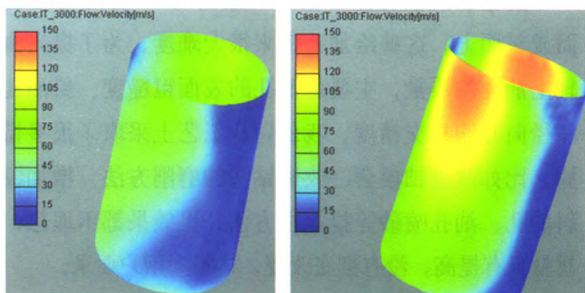
表 2 方案二氧传感器表面参数

	氧传感器表面最大速度/ m s^{-1}	AFV/ m s^{-1}	FSD
CYL1	241.3	208.05	0.35
CYL2	191.1		
CYL3	167.9		
CYL4	231.9		

方案二中第 1~4 缸排气时, 氧传感器表面最大速度分别为 241.3m/s 、 191.1m/s 、 167.9m/s 和 231.9m/s 。四个缸排气时, 氧传感器表面最大速度均 $> 100\text{m/s}$, 这是因为氧传感器位于废气集中流经部位附近。

当氧传感器表面最大速度 $< 100\text{m/s}$ 时, 会导致氧传感器不能准确测出废气中氧气的含量, 导致汽车油耗的增加。当氧传感器表面最大速度 $> 100\text{m/s}$ 时, 可以较准确地测出废气中氧气的含量, 达到整车 OBD 的要求。

方案一和方案二中第 1~4 缸排气时, 氧传感器周围的气体速度分布见图 4。



(a) 方案一

(b) 方案二

图 4 氧传感器周围的速度分布

结语

通过对方案一和方案二的计算流体动力学分析计算, 得到以下结论:

方案一中, 第 1 缸和第 4 缸排气时, 其速度均匀性系数不满足要求, 并且这两缸排气时氧传感器没有位于废气集中流经的部位。

方案二中, 各缸排气时, 其速度均匀性系数均满足要求, 并且各缸排气时氧传感器均位于废气集中流经的部位。

CFD 分析可以用于催化转化器优化设计, 减少其设计开发周期以及实验、人工等费用。

关键词:

发动机 催化转化器 CFD 优化

(收稿日期 20140331)