

涡轮增压发动机排气歧管CFD分析与改进

CFD Analysis and Improvement of Exhaust Manifold for Turbocharged Engine

汪源利 王伟民 蔡志强 李宛珊

(东风汽车公司技术中心 湖北 武汉 430056)

摘要: 本文研究排气歧管的压力损失及其不均匀性, 利用 STAR-CCM+三维流体软件, 对某款涡轮增压发动机的排气歧管进行 CFD 分析, 提出改进建议并获得较好的改进效果。

关键词: 排气歧管; 不均匀性; STAR-CCM+

Abstract The pressure loss and non-uniformity were studied in the paper. The CFD analysis of exhaust manifold had been done by STAR-CCM+ and some suggestions for improvement had been given. Results showed that the improved model was better than the old one.

Key words: exhaust manifold; non-uniformity; STAR-CCM+

1. 前言

排气歧管是汽车发动机的重要部件之一, 其压损不均匀性和内部流通特性的好坏将直接影响汽油发动机的动力性、经济性和排放性。对于涡轮增压发动机而言, 如果排气歧管压损均匀性较差将导致增压器工作不稳定, 进而影响汽油发动机的输出功率。排气歧管的压力损失越小, 流通特性越好, 发动机的性能就越好。由此可知, 发动机的性能提升和排气阻力将直接取决于排气歧管的合理设计。因此利用三维流体分析软件分析汽油发动机排气歧管的压力损失及其不均匀性, 为排气歧管的设计提供理论依据和改进意见则显得十分重要。

目前为止, 国内外关于排气歧管的流动压力损失及其不均匀性方面的分析已经做了很多工作, CFD 分析技术上也基本趋于成熟。本文以某涡轮增压汽油发动机为例, 借助 CFD 分析软件 STAR-CCM+, 对排气歧管进行稳流流场分析, 为排气歧管的结构改进、性能提升提供一定的理论依据, 并保证改进后的排气歧管流动性能。

2. 排气歧管评价指标

2.1 各歧管流动压力损失

各歧管流动压力损失是评价排气歧管流通特性的重要参数。一般该值都是源于 Benchmark 数据, 本机型根据 Benchmark 分析, 初步定义流动压力损失的目标限值。

2.2 压损不均匀度

压损不均匀度 E 是用于评价排气歧管流动均匀性, 其值越小代表越均匀。一般我们要求排气歧管的最大压损不均匀度满足我们的性能要求。排气歧管的压损不均匀度 E 的计算公式如式 1 所示。

$$E = \frac{\Delta P_i - \Delta P_{ave}}{\Delta P_{ave}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： ΔP_i 为各歧管的流动压力损失；

ΔP_{ave} 为排气歧管的压损平均值。

3. 模型建立及边界条件

3.1 几何模型建立及网格划分

先运用 CATIA 工具进行排气歧管流体计算域空间的几何抽取工作，再利用 STAR-CCM+ 的网格生成工具进行面、体网格的划分工作。所生成的网格类型为多面体网格，基本尺寸为 4mm，体网格数约为 30 万。其中排气歧管的进出口均延长了当量直径的 2.5 倍长度。

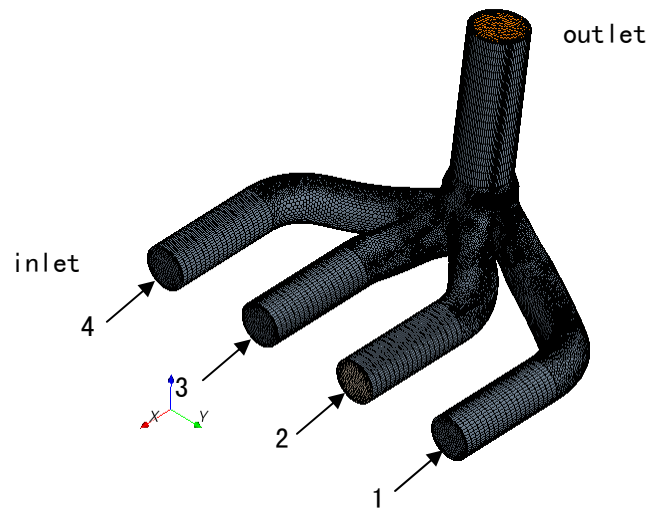


图 1 排气歧管体网格示意图

3.2 边界条件参数设定

针对排气歧管采用稳态 CFD 分析，流动介质为高温可压缩气体，模拟工况：5500r/min 全负荷，歧管进口质量流量为 0.1141kg/s，进口气体温度为 1180K (907℃)，歧管出口压力为 1.5bar。湍流模型采用标准 k-ε 模型。

4. 计算结果分析

为了保证排气歧管的设计质量，先针对原始方案的排气歧管进行 CFD 分析，针对计算结果进行分析，并提出相应的改进建议。

4.1 初始方案计算结果

针对初始方案的排气歧管进行稳态流动分析。通过计算得到该方案排气歧管的压损及其不均匀度如图 2 所示。

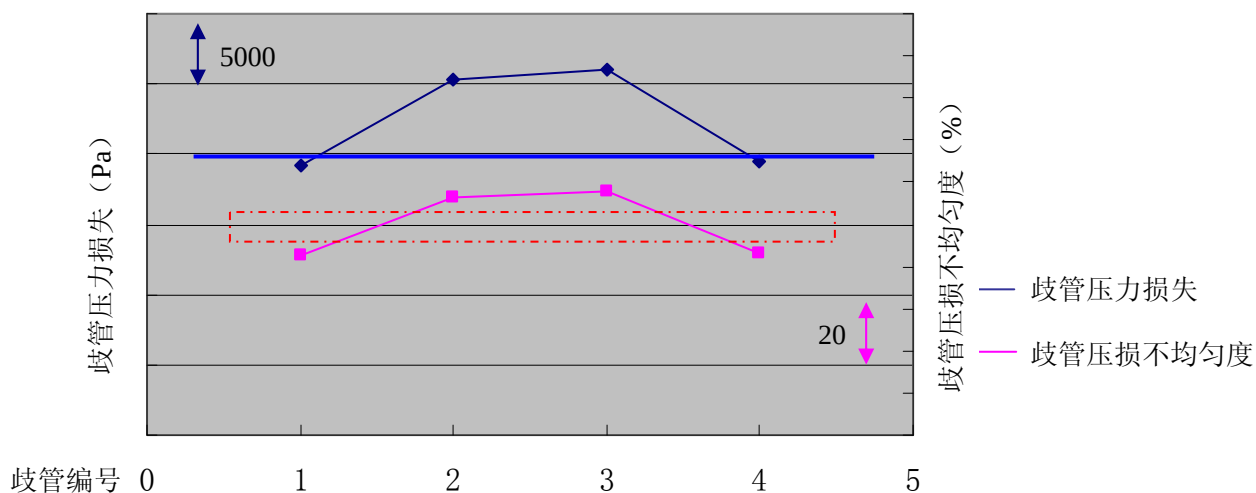


图 2 初始方案歧管压损及压损不均匀度计算结果

从图 2 中可以看到该方案歧管 2、3 的流动压损超过目标限值（蓝色线）。而各歧管的不均匀度已超过目标范围（红色）。由此可知，该方案排气歧管不满足设计要求，需进行必要的改进。

4.2 初始方案压力场分析

由初始方案排气歧管的 CFD 分析结果得到各歧管进口开启时的整体压力分布，如图 3 所示。从图 3 中可以清楚地观察到各歧管单独开启时，在进口段未产生较大的压力变化。但在出口附近，由于歧管管路的过渡圆角较小导致此处的压力变化较大。

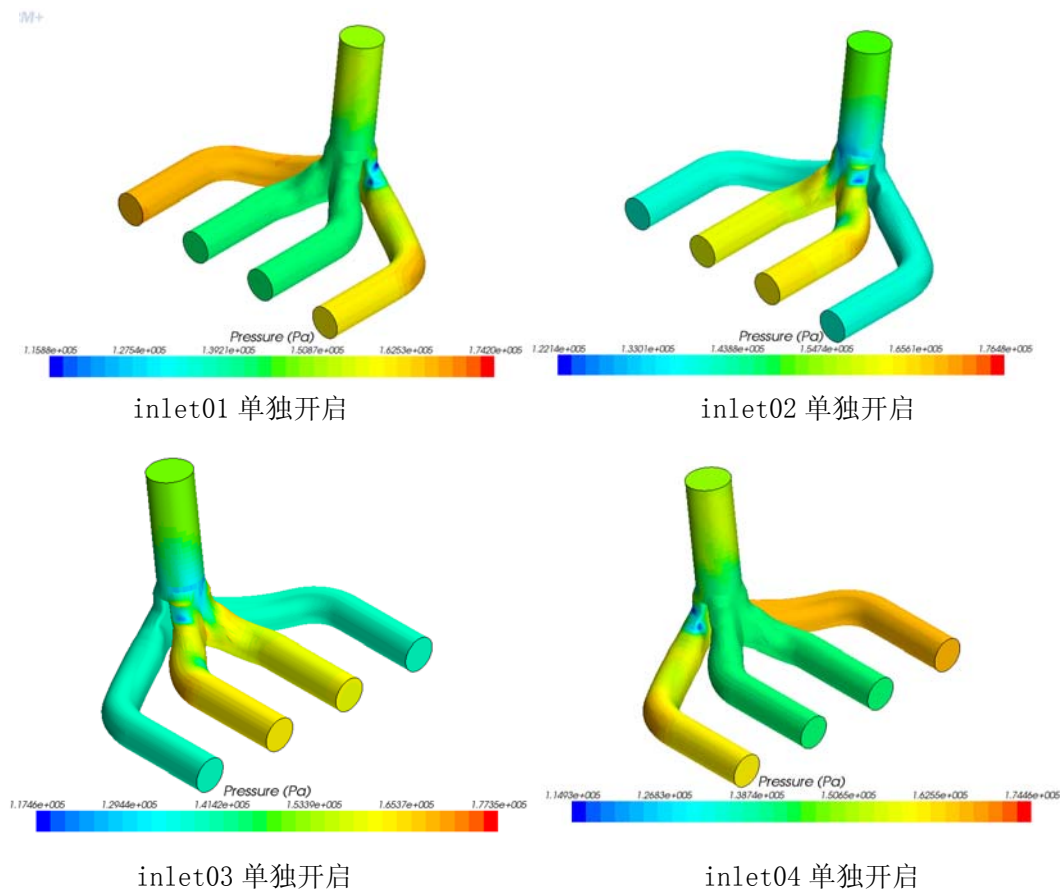


图 3 初始方案各歧管开启压力分布示意图

4.3 初始方案速度场分析

由初始方案排气歧管的 CFD 分析结果得到各歧管进口开启的中心截面速度矢量分布，如图 4 所示。通过观察图 4 可以发现各歧管单独开启时，在出口处弯曲半径较小的区域，其流速发生较大变化。由此说明该处应进行必要的改进，以保证气流顺畅。

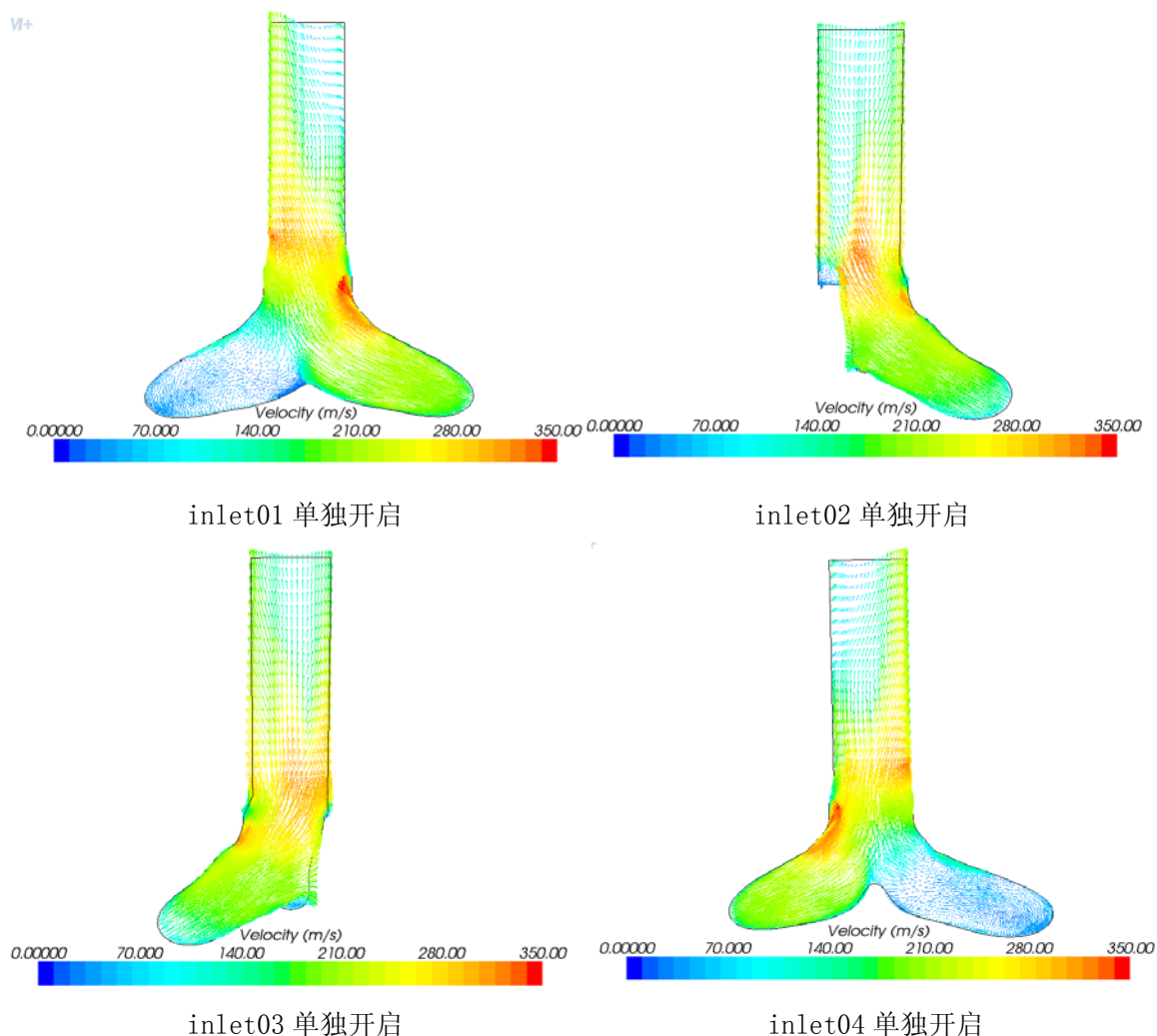


图 4 初始方案各歧管开启速度矢量分布示意图

5. 排气歧管改进及CFD分析

5.1 排气歧管改进方案

鉴于以上对初始方案排气歧管的压力场和速度场的分析，发现造成排气歧管压力损失较大和均匀性较差应是由歧管与出口的过渡形状造成的。为了减小流动压力损失，提高歧管均匀性，建议更改出口形状，并增大歧管与出口连接段的弯曲半径。改进主要区域（蓝色标记）及改进后网格如图 5 所示。

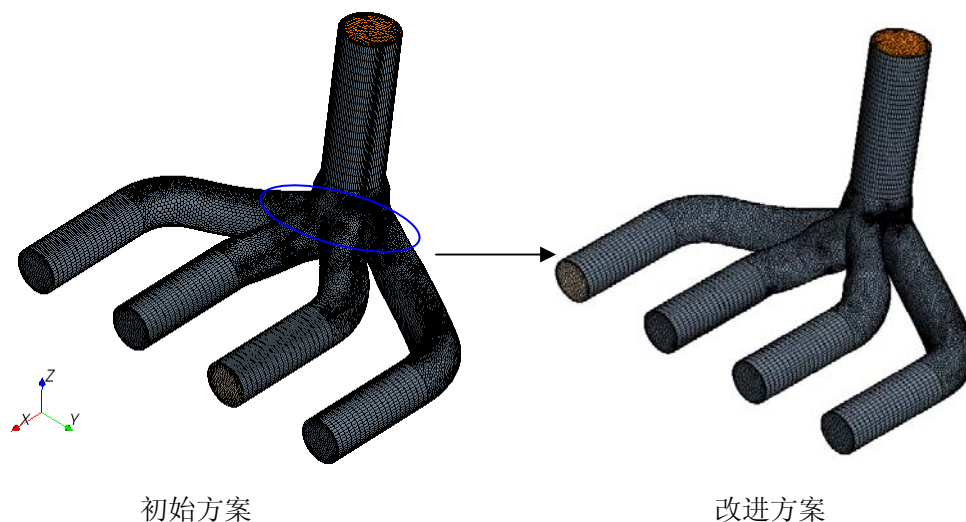


图 5 改进方案排气歧管体网格示意图

5.2 改进方案计算结果

针对改进方案的排气歧管进行稳态流动分析，网格、边界设定与初始方案一致。通过三维流动分析计算得到结果如图 6 所示。

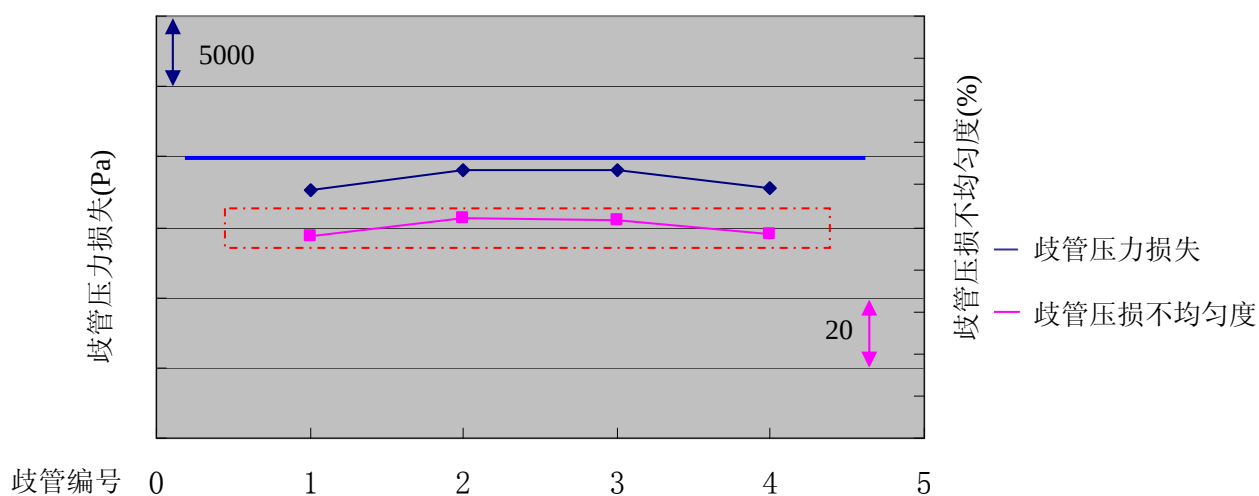


图 6 改进方案歧管压损及压损不均匀度计算结果

从图 6 中可以发现，各歧管的压损基本满足目标要求。同时各歧管的压损不均匀度也满足设计要求。由此可知，根据改进建议使得排气歧管的性能得到一定的提升，同时也达到了初定设计目标。下面对改进方案进行压力场和速度场分析。

5.3 改进方案压力场分析

图 7 是改进方案排气歧管各歧管开启时压力分布示意图。从图 7 中可以发现当各歧管单独开启时，其压力场分布较初始方案得到一定改善。由于过渡圆角的增大及管路的改形使得出口附近的压力变化较初始方案偏小一些，从而减小流动压力损失，并提高了歧管的流通性能。

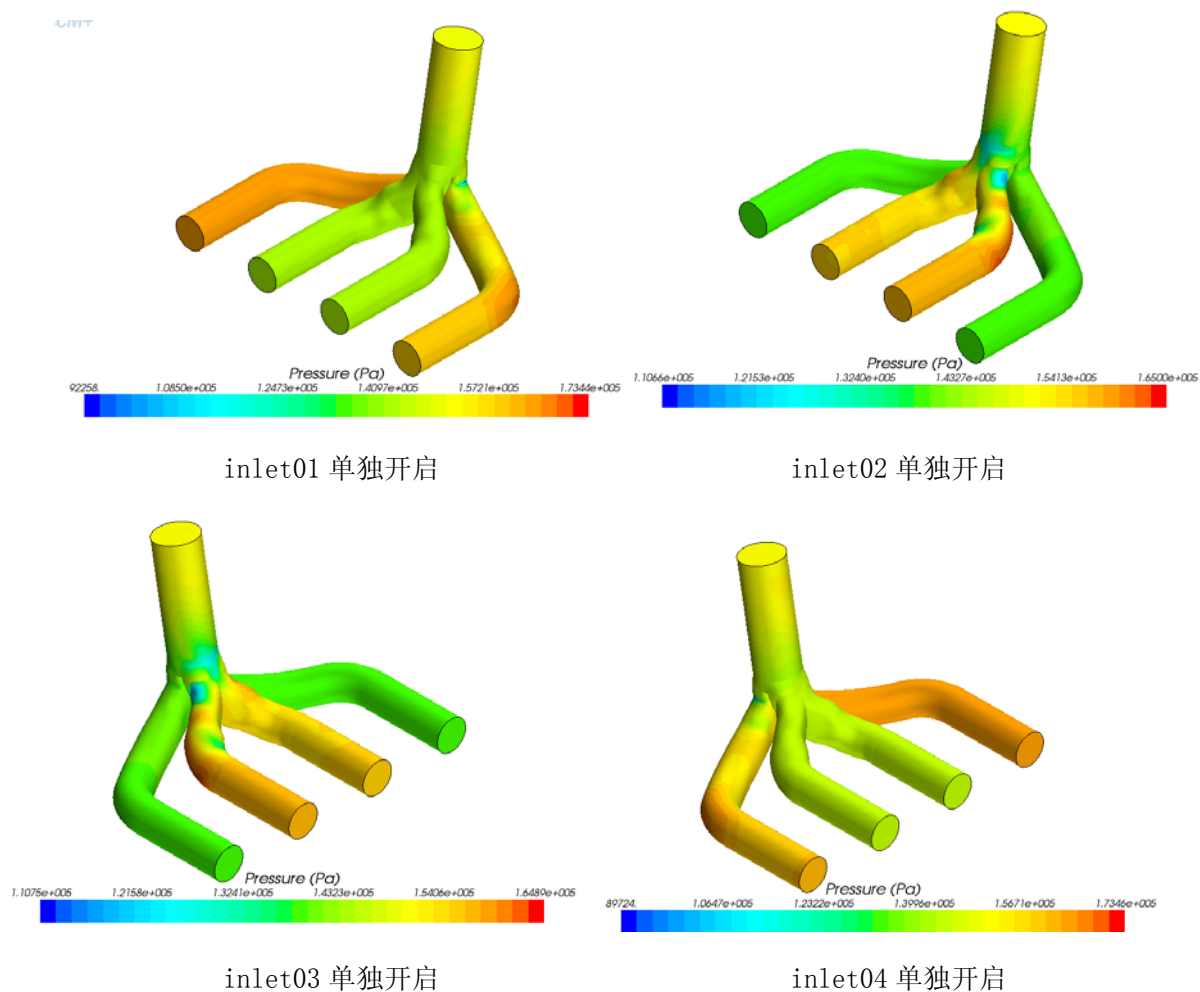
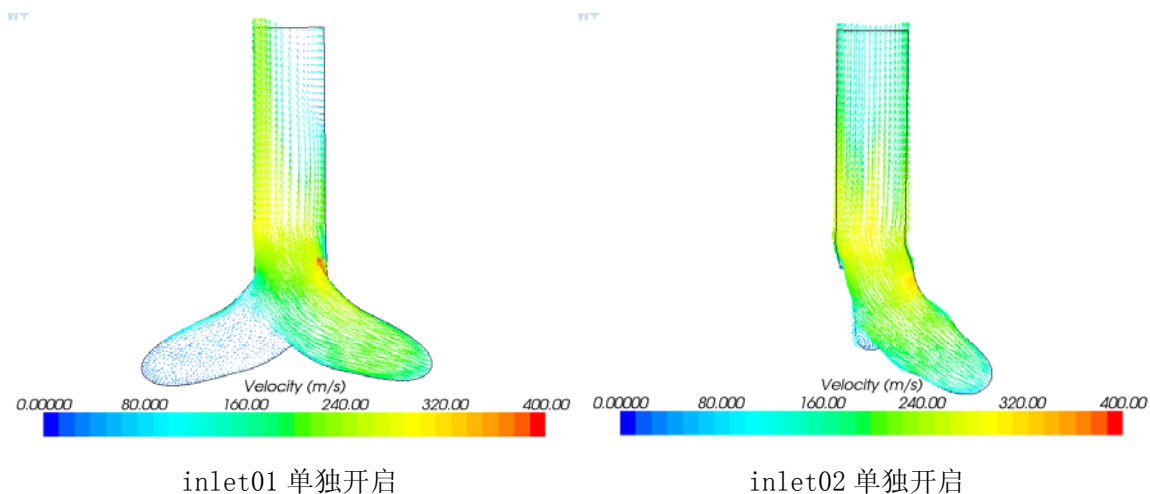


图 7 改进方案排气歧管压力分布示意图

5.4 改进方案速度场分析

图 8 是改进方案排气歧管各歧管开启时歧管中心截面速度矢量分布示意图。从图 8 中可以发现，各歧管单独开启时，其截面速度矢量分布较初始方案有一定改善。在歧管出口附近未产生较大速度变化区域和明显的漩涡，保证了排气歧管的流通性。



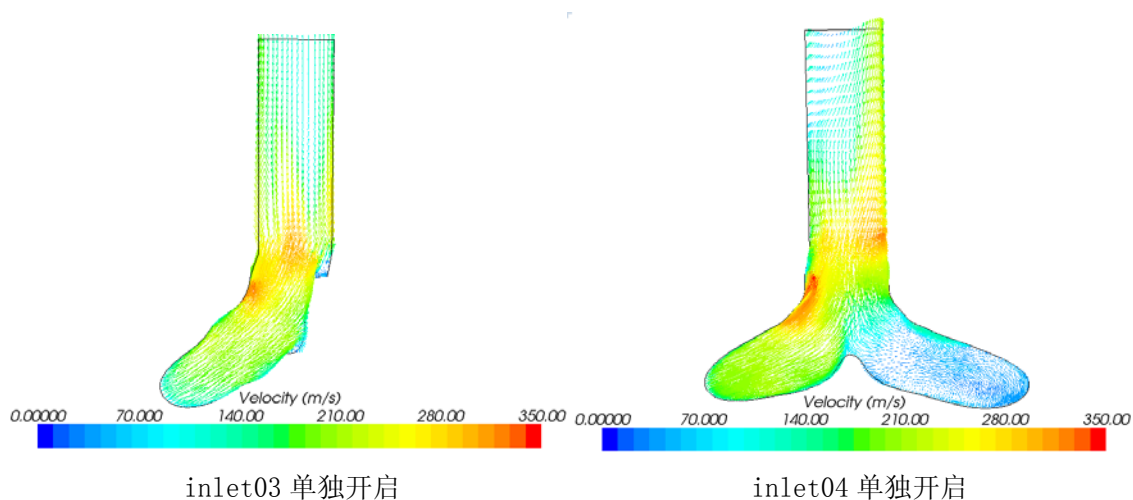


图 8 改进方案排气歧管截面速度矢量分布示意图

6. 结论

- (1) 通过分析对初始方案的 CFD 分析, 发现流动压力损失较大、各歧管压损均匀性较差的可能原因, 并提出改进建议。
- (2) 改进方案的 CFD 分析结果显示, 歧管流动压力损失减小, 各歧管压损不均匀度均小于 4%, 处于合理范围内。
- (3) 通过 STAR-CCM+进行排气歧管的 CFD 分析计算可以得到试验台架上无法测试的管内流场详细信息, 为排气歧管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。

7. 参考文献

- [1] 李湘华, 张小娇. 柴油机排气歧管流场分析与结构优化[J]. 柴油机. 2006. No. 4: 25-27.
- [2] 马帅营, 陈传举, 王雅丽. 发动机排气歧管稳流试验研究[J]. 内燃机与动力装置. 2008. No. 5: 11-15.
- [3] STAR-CCM+帮助文档