

基于 modeFRONTIER 的排气后处理器进口管路优化

Applications of modeFRONTIER in Exhaust Aftertreatment Inlet Pipe Optimization

白鹭^[1,2], 赵铮^[1,2], 伊士旺^[1,2]

1. 长城汽车股份有限公司技术中心, 河北保定市 071000
2. 河北省汽车工程技术研究中心, 河北保定市 071000

摘要: 排气后处理器为控制排放重要组成部分, 其载体内部流场均匀性是影响排放的重要因素之一, 本文利用 modeFRONTIER 软件对某柴油机排气后处理器的进口管路进行优化, 使其均匀性满足设计要求。

关键词: modeFRONTIER DOC+DPF 优化 均匀性

Abstract: Exhaust aftertreatment is the important part for control emission, the velocity Uniformity in it is one of the most influence factor for emission. The main content in this paper is about Exhaust aftertreatment inlet pipe optimization for a diesel engine use modeFRONTIER software.

Key words: modeFRONTIER DOC+DPF Optimization Uniformity

1 前言

由于近几年环境污染严重, 排放达到欧六已经成为大多数车企的技术发展目标。目前排放达到欧六的主要技术路线有: SCR 后处理路线、高低压 EGR 路线、低温燃烧路线。无论采用哪种技术路线, 排放后处理系统都是实现目标不可缺少的一部分。

对于柴油机, DPF 为其常用的后处理器, 主要对碳烟颗粒进行捕集。然而, 欧六排放法规对柴油机的 HC、NO_x 的排放提出了更高的要求, 因此针对柴油机, 在原有 DPF 后处理器的基础上增加了 DOC 后处理器, 主要对 HC、NO_x 进行捕集。后处理器其载体中流速的均匀性对其后处理效果有很大的影响, 而进口管路形状决定了载体内流速的均匀性。

我公司某柴油机采用高低压 EGR 技术降低排放, 后处理器采用 DOC+DPF。为了缩短低压 EGR 取气管路长度, 将后处理器布置在发动机上, 但由于布置受限, 后处理器进口管路难以保证流入载体气流均匀性, 为此需要对进口进行优化。本文利用 modeFRONTIER 联合 starCCM+ 以及 meshwork 网格变形软件对某柴油机 DOC+DPF 后处理器进口结构进行优化, 得到载体流速均匀性满足要求的进口结构。

2 分析模型

2.1 CFD 模型

CFD 模型由 starCCM+ 软件建立, 采用多面体网格, 边界层设置为两层。湍流模型采用标准 $k-\varepsilon$ 模型, 流体介质定义为理想气体。其中 DOC 和 DPF 载体设置为多孔介质, 主要对其粘性阻力系数和惯性阻力系数进行定义。为了使排气背压计算精准, 将流体介质属性按照废气属性进行详细设定, 并设置为随温度变化值, 同时进口设定流量边界, 出口设定压力边界。网格模型如图 1 所示。

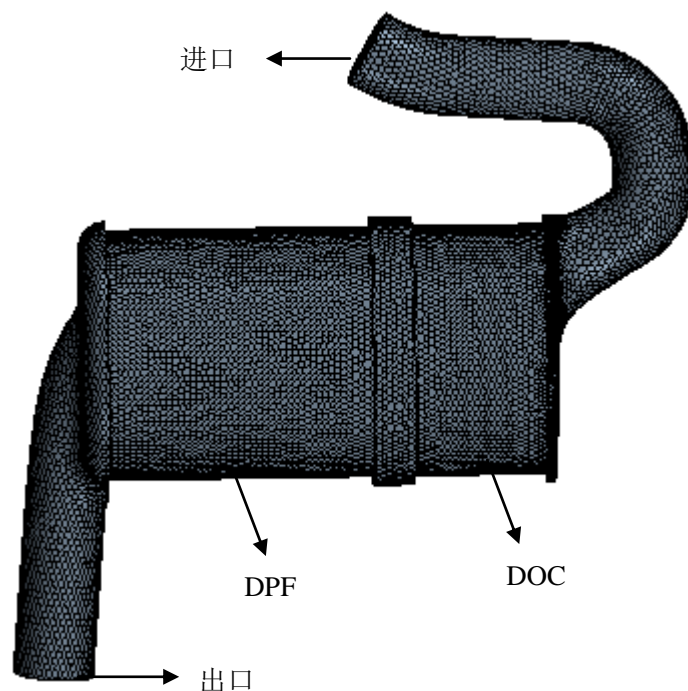


图 1 CFD 网格模型

2.2 meshwork 网格变形

本文采用 meshwork 网格变形软件对优化变量和变量参数进行设定。根据以往 CFD 分析经验, 共识别六个变化点会对载体截面均匀性产生影响, 因此对后处理器进口管路共设置 6 个变量 s1~s6, 具体变形位置如图 2 所示。考虑发动机布置空间限制和后期样件制作, 对各个变量设置合理参数, 具体数值在此不做详细介绍。

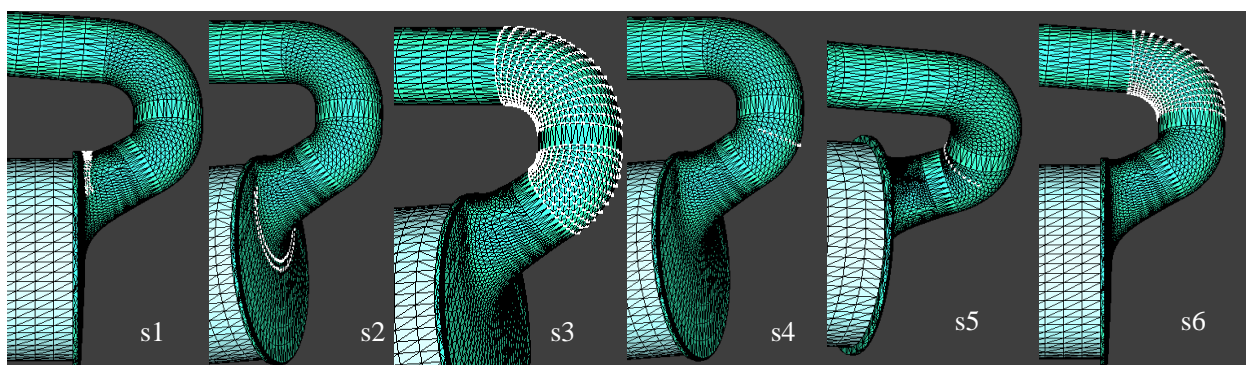


图 2 进口管路网格变形位置

2.3 modeFRONTIER 模型

通过 modeFRONTIER 软件将 starCCM+ 软件和 meshwork 网格变形软件集成, 建立自动优化流程。流程运行过程中, 由 meshwork 软件得到六个变量同时变形后的网格文件, 之后 starCCM+ 对变形后的网格进行计算。

由于 DPF 前面有 DOC 对气流起到弥散和缓冲作用, DPF 载体内气流流动均匀性能够满足要求, 因此, 本次优化仅将 DOC 载体内气流流动均匀性作为优化目标。将 DOC 载体靠近进口截面的流速均匀性做为计算结果输出, 并将其最大值设定为优化目标。

流程运行过程中 CCM+ 软件和 meshwork 软件均采用脚本调用形式, 实现流程的完全自动化。本文优化流程 DOE 方法采用 Random 方法, 共 300 个算例, 完整优化模型如图 3 所示。

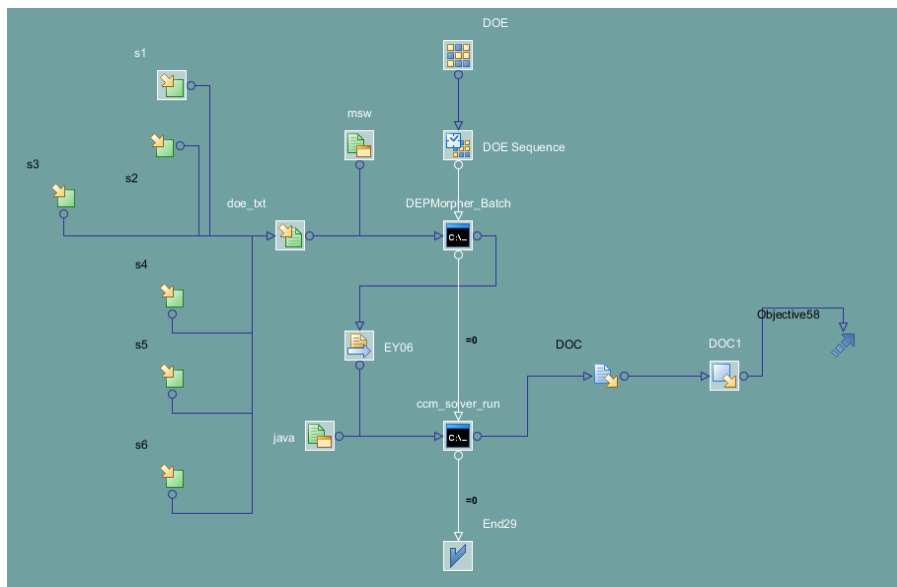


图 3 优化模型

3 优化结果

3.1 算例计算结果

算例计算结果统计如图 4 所示。将原始方案与优化后最优方案进行对比, 优化前原始方案的 DOC 均匀性为 0.75, 优化计算完成后共有 9 个算例 DOC 均匀性能够达到 0.9 以上, 最高达到 0.92。

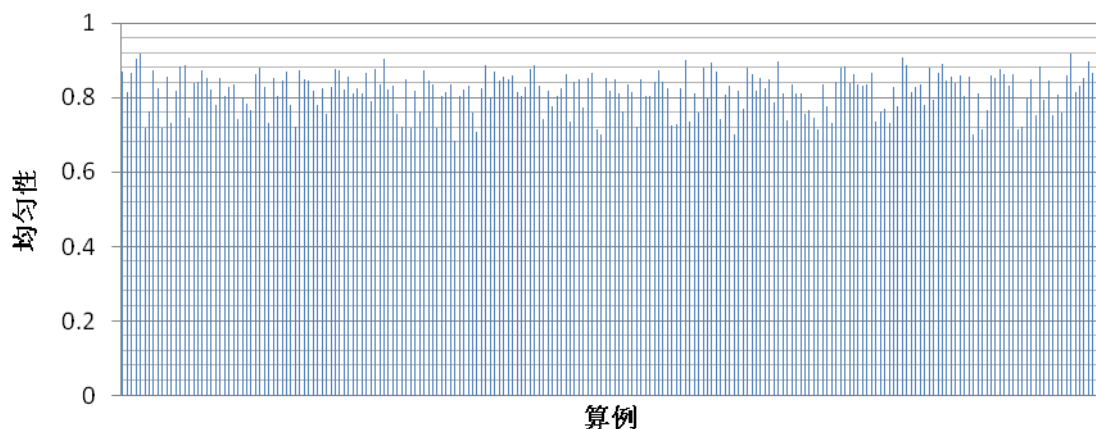


图 4 算例计算结果

优化计算完成后, 选取最优结果对应下的网格模型做参照, 对后处理器进口管路 CAD 数模进行修改, 优化前后及最终进口管路模型如下图所示。

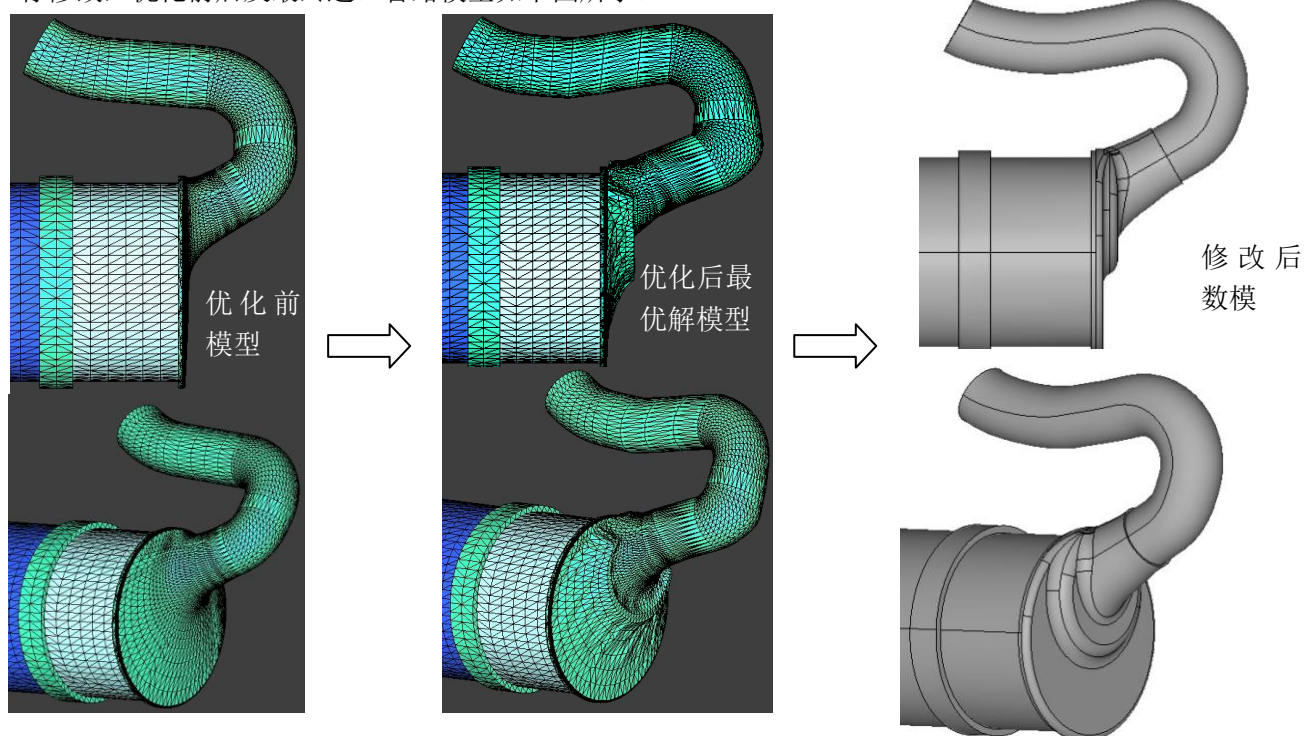


图 5 优化前后及最终模型

对修改后的后处理器重新进行 CFD 计算, 计算后结果显示 DOC 载体均匀性达到 0.89, 较原始方案提升了 18%。优化前后及最终方案 DOC 载体截面流速分布如图 6 所示。优化后及最终方案 DOC 载体截面流速均较原始方案分布均匀。

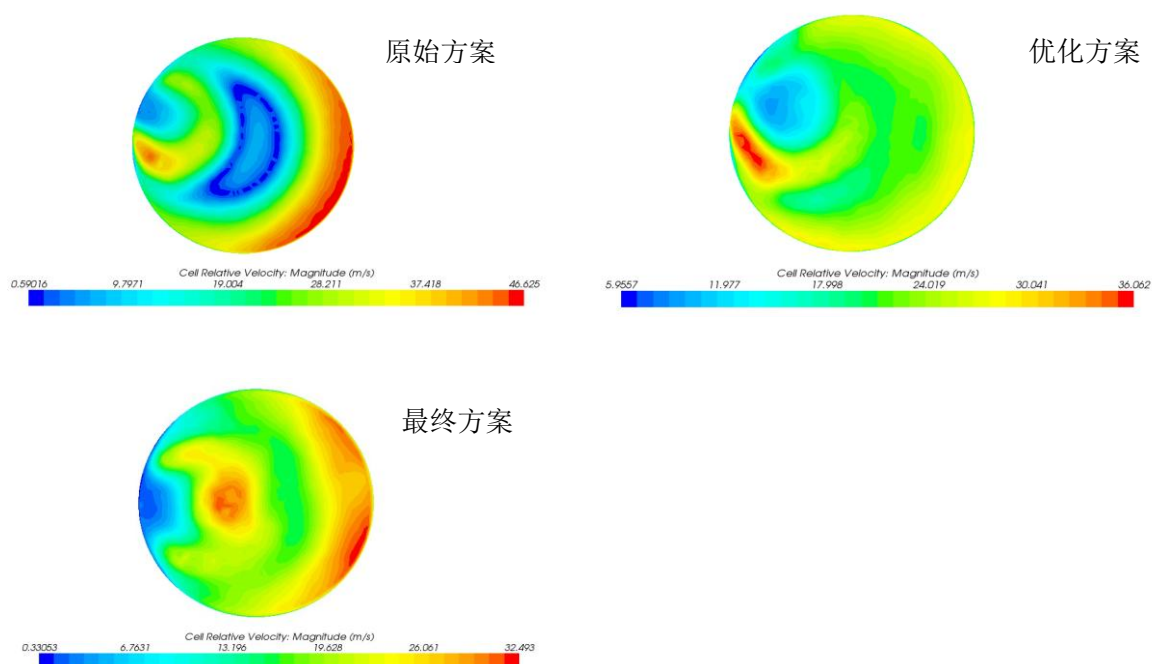


图 6 流速分布

3.3 相关性分析

采用 modeFRONTIER 自动化分析找到最优解的同时还可找到各变量与目标值之间的相关性，为后期设计指明方向。如图 7 所示，颜色越深相关性越强，呈红色为正相关，呈蓝色为负相关，其他为弱相关。由图可以看出，s1、s2 和 s6 三个变量和均匀性的相关性较强，其他变量相关性较弱。

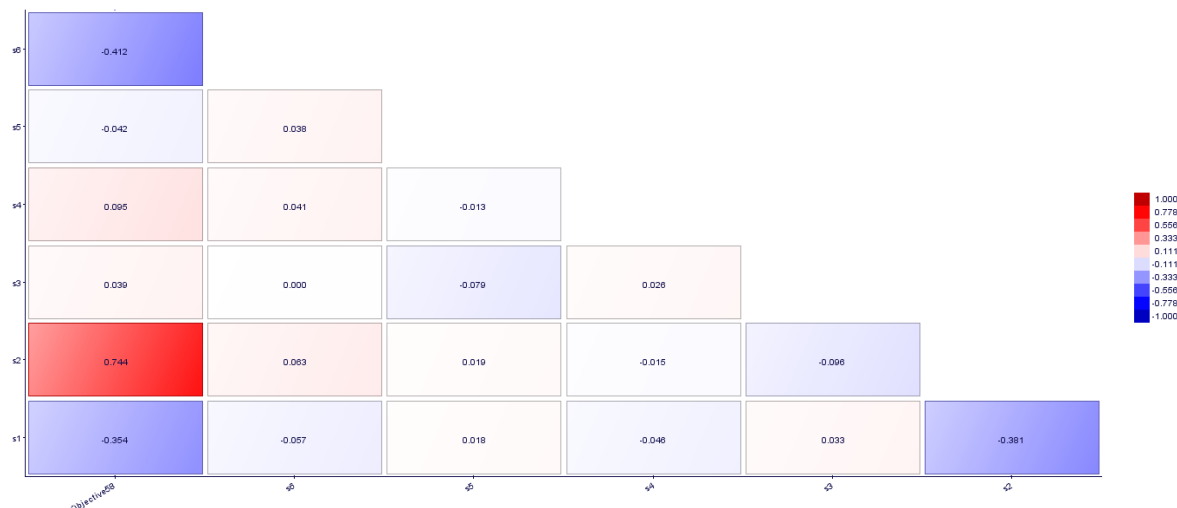


图 7 设计变量与目标值相关

查看 s1、s2 和 s6 三个变量优化结果，如图 8 气泡图所示。纵坐标代表均匀性，横坐标为 s1 变量，气泡颜色代表 s6 变量，气泡大小代表 s2 变量。由气泡图也可以看出 s1、s6 越小，s2 越大，均匀性越好。

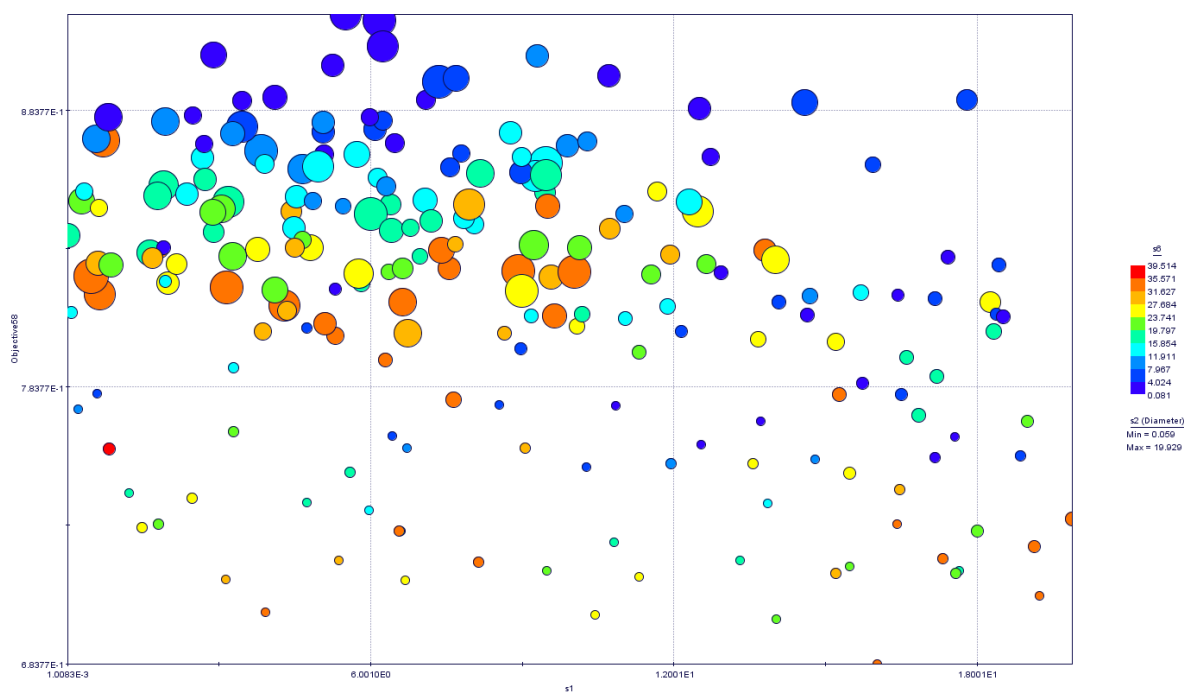


图 8 优化结果

4 总结

本文运用 modeFRONTIER 软件联合 starCCM+ 和 meshwork 软件建立了排气后处理器 DOC+DPF 的自动化分析流程, 实现 300 个算例完全自动化分析, 快速得到最优解。然后以优化后的最优方案做参照, 对后处理器 CAD 数模进行修改并对其重新进行 CFD 分析。修改后 DOC 载体均匀性由 0.75 升高到 0.89, 提高 18%。同时也找到了与设计目标相关性较强的变量, 为设计工程师后期设计明确了方向。

5 参考文献

- [1] 汽车发动机原理/王建昕, 帅石金、主编. --北京清华大学出版社, 2011. 3
- [2] U. Asad, may 2006, "Thermal Response Analysis from In-cylinder Combustion to Exhaust Aftertreatment" MASc Thesis, University of Windsor, Canada.
- [3] starCCM+软件帮助文档
- [4] meshwork软件帮助文档
- [5] modeFRONTIER软件帮助文档