

基于 modeFRONTIER 软件的客车除霜风道多目标优化

Multi-objective optimization of bus defroster duct based on modeFRONTIER software

刘东升 侯亚帮 陈群 徐哲 马凯 于泽美
中国第一汽车集团有限公司研发总院

摘要: 采用 modeFRONTIER 软件, 建立自动优化流程, 对客车除霜风道进行多目标自动优化。以风道分风筋的位置为参数变量, 通过 CFD 流体计算得出的一系列结果, 选出优化目标符合要求的点, 再带回客车模型中进行验证计算, 结果显示优化后风窗玻璃上的主要视野区基本已无零风速区, 基本达到优化目标。

关键词: 客车除霜风道, modeFRONTIER, 多目标自动优化, 计算流体力学

Abstract: The modeFRONTIER software is used to establish an automatic optimization process to automatically optimize multi-targets for defrosting duct of a bus. Taking the position of the wind tunnel as variable parameters, a series of results are calculated through fluid dynamics computing, and the point where the optimization target meets the requirements is selected, and then returned to the bus model for verification calculation. The result shows that there is no zero wind speed zone in the main visual field on the optimized windshield glass, which basically achieves the optimization goal.

Key words: Bus defrost duct, modeFRONTIER, Multi-objective automatic optimization, Computational fluid dynamics

前言

在寒冷的冬季, 在室外久置之后, 客车的风挡玻璃外会因低温和水汽形成霜层; 或者在行驶中, 乘员呼出的水汽在接触到温度较低的玻璃表面后, 会在玻璃内部形成雾或霜。玻璃内外的霜雾会影响驾驶员视野, 给驾驶带来安全隐患[1]。汽车挡风玻璃的除霜性能是汽车空调系统的主要功能之一, 也是国家标准中规定强制检测的一项指标[2]。客车除霜主要靠除霜风道从除霜器引出热风, 通过仪表板上的喷口喷射在前挡风玻璃上[3]。因此, 除霜风道的结构对于除霜吹风的流量分配, 除霜效果和最终性能的达成有着重要影响。目前, 在工程中, 除霜风道的结构优化主要靠工程师根据一些流体力学理论, 经验和直觉, 调整若干个优化方案, 分别进行 CFD 运算, 从达到性能要求的方案中择优采用。但工程中受到时间和人力成本的限制, 能够计算得到的结果数量往往比较有限, 一般达到性能要求以后不会再进一步优化方案, 所以所采用的方案一般仍有优化空间。采用自动优化可节省手动调试的时间, 同时也可以有限的时间内尽可能多的尝试优化方案, 以求更优的设计方案; 或者得出各调试验参数对优化目标的影响程度的大小, 以明确参数的主要关注方向, 提高优化效率。

本文试基于 modeFRONTIER 软件搭建的多目标自动优化流程, 将 modeFRONTIER 和前处理软件 ANSA 关联后, 利用 ANSA 软件的 Morph 变形模块对模型进行参数化自动变形, 自动输出变形结果的网格文件[4]。

1 仿真模型

为了节省调试和计算时间，本次计算将某型号客车的除霜风道从整车模型中取出，单独优化。

1.1 模型简介

模型入口为除霜器和除霜风道的接口，出口为除霜风道和喷嘴的接口。入口面积为 20848 mm^2 ，四个中间除霜的面积大致相等，在 3900 mm^2 左右。风道中间有两条分风筋，初始两条分风筋最下端的距离为 33.1 mm ，左分风筋最下端距离中轴面的水平距离为 13.3 mm 。中间除霜的出风口对前风挡玻璃的视野区影响较大，故本次计算将中间除霜四个出风口的流量分配和入口到这四个出口的静压压降设为优化的目标进行重点观测。模型出口由左向右依次为中间除霜出风口 1、2、3、4，如图 1 所示。

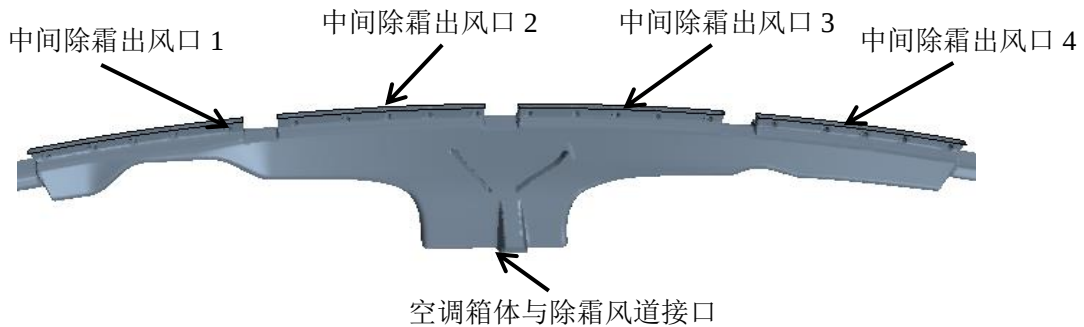


图 1 除霜风道 3D 模型

1.2 参数定义

在 ANSA 中设置两个参数，分别控制左右两片分风筋水平位移。左分风筋的参数变化范围为 $-20.0 \sim 0.0 \text{ mm}$ ，右分风筋的变化范围为 $0.0 \sim 20.0 \text{ mm}$ 。如图 2 所示。

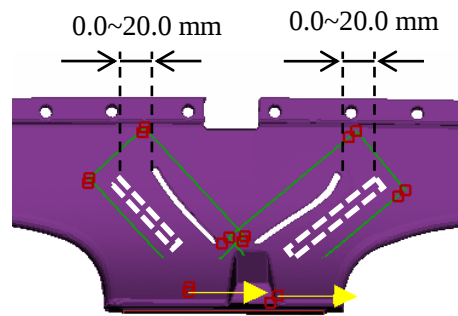


图 2 风道分风筋示意

1.3 CFD 模型设定

本文采用 STAR-CCM+ 软件生成网格和求解。计算区域为风道内部，入口为质量流量入口，出口为标准大气压的压力出口。计算选用多面体网格和边界层对计算区域进行离散。为了防止返流，在出口拉出一定长度的体网格。本文选用 K-Epsilon 模型进行稳态分析。

2 modeFRONTIER 软件搭建的多目标自动优化流程

本文通过试验设计(DOE)优化拉丁超立方的方法对不同的参数组合选取若干个样本点,通过 ANSA 的 Morph 变形,输出模型面网格到 Star-CCM+。由于在 ANSA 中通过 Morph 进行自动变形,有可能会引起网格穿刺、重叠、干涉等情况,导致面网格质量下降,影响后续体网格的生成和模型的计算。因此在生成体网格之前会前用 Star-CCM+对 ANSA 导出的面网格进

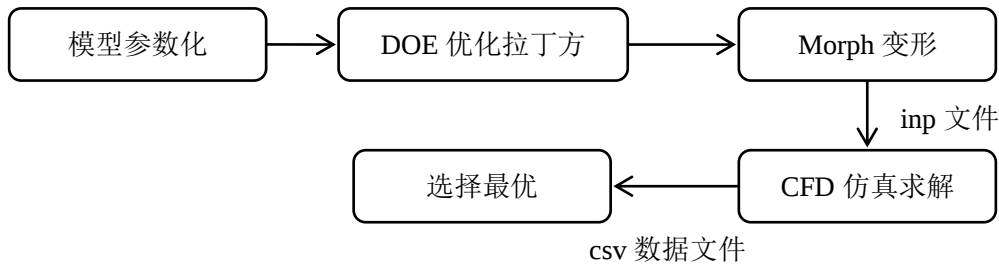


图 3 除霜风道自动优化流程图

行网格包面 (Wrap) 和面网格重构 (Remesh), 以保证体网格的顺利生成。通过 Star-CCM+ 中宏的录制和重放的功能, 自动进行网格包面->重生成网格->生成体网格->CFD 仿真计算, 计算并输出中间除霜四个出风口的流量分配和入口到这四个出口的静压压降、总压压降。流量分配用于判断各视野区除霜的风量是否合理, 静压压降用于判断风道的阻力是否过大, 总压压降用于判断空气在风道中流动后的能量损失是否过大。多目标自动优化流程, 如图 3 所示。在 modeFRONTIER 环境下的客车 CFD 模拟与优化设计流程, 如图 4 所示。

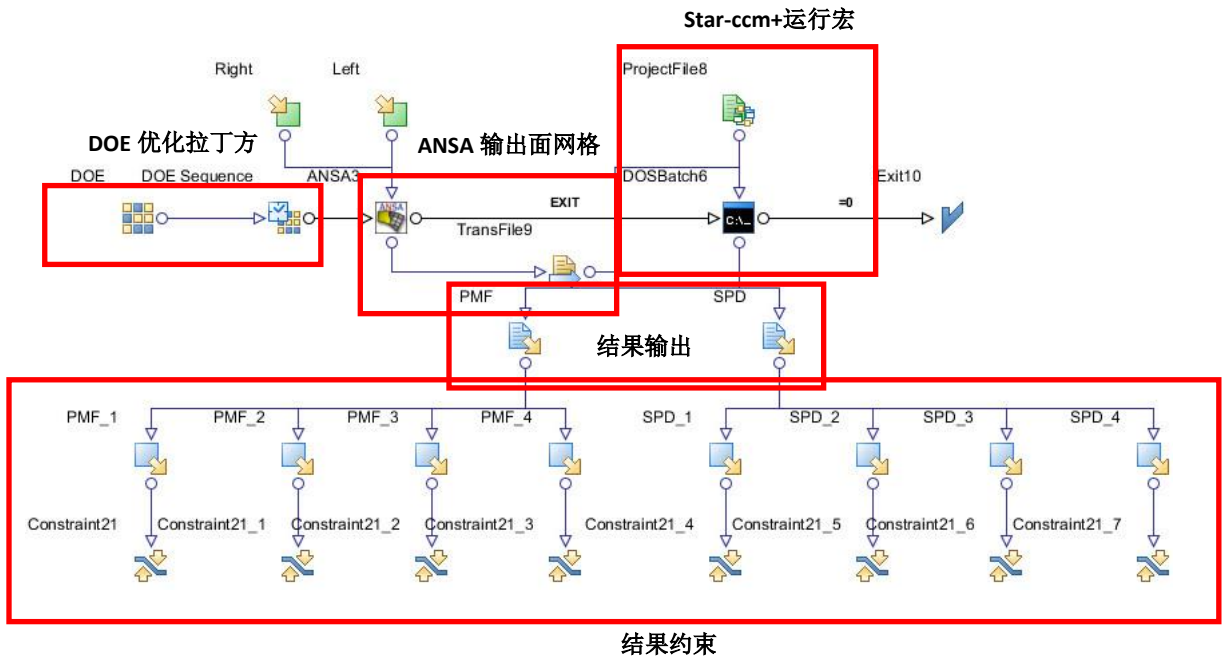


图 4 modeFRONTIER 环境下的客车 CFD 模拟与优化设计流程

3 结果分析

3.1 参数分析

通过观察优化目标的计算结果, 除霜风口 1 的质量流量比例由 PMF_1 代表, 静压压降由 SPD_1 代表, 总压压降由 TPD_1 代表, 以此类推。在本除霜模型中, 所测试的分风筋位移范围内, 左分风筋的位移对除霜出风口 2、3 的静压压降影响相对较显著, 对除霜风口 1、

4 的质量流量比例, 除霜风口 2、3 的总压压降有一定影响, 不如对静压压降显著; 而右分风筋的位移对除霜出风口 3 的静压压降影响相对较显著, 对除霜出风口 3、4 的质量流量比例, 除霜风口 2、3 的总压压降有一定影响, 不如对静压压降显著。四个出风口流量比例、静压压降、总压压降的关系如图 5 所示。

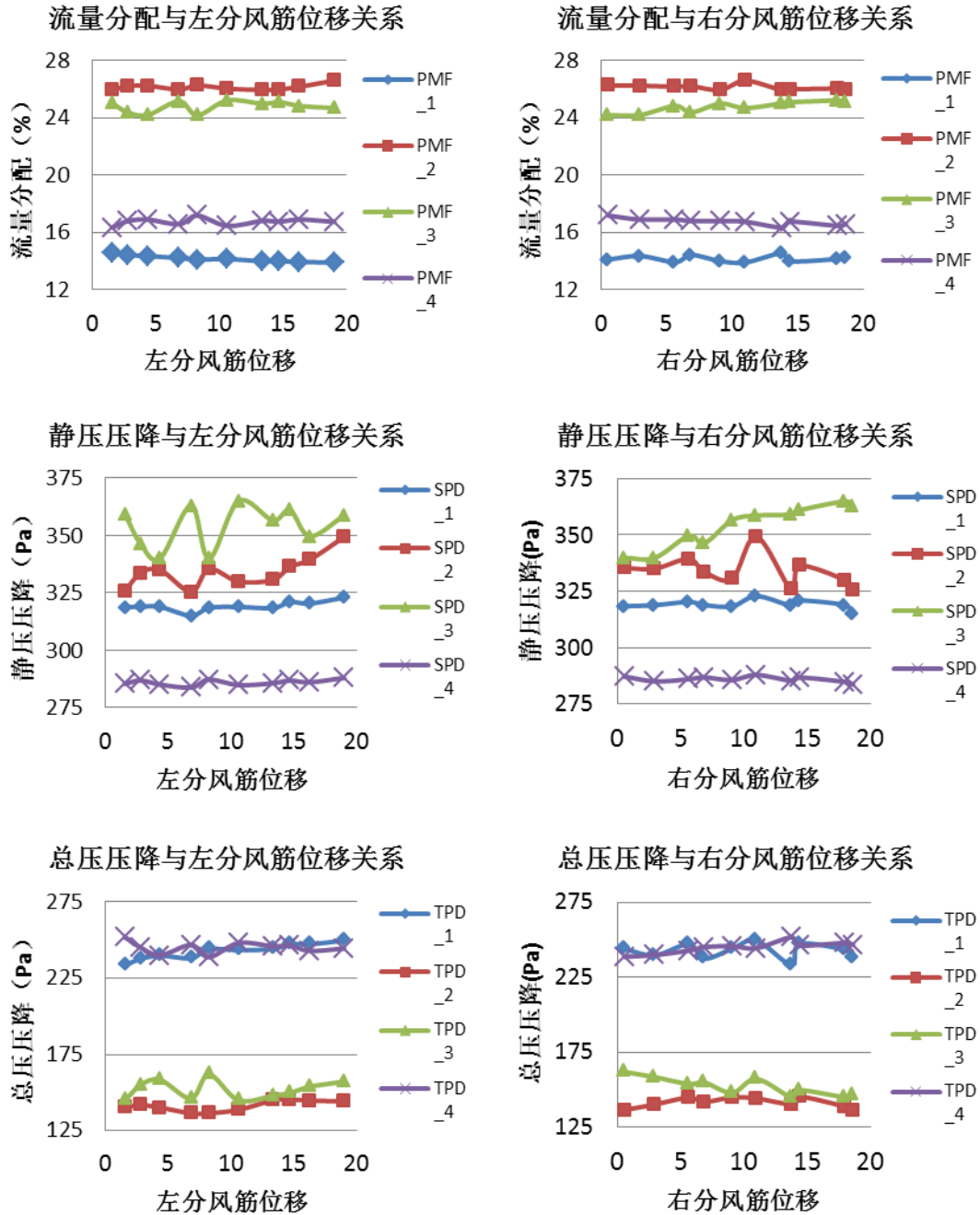


图 5 各风道出口计算目标结果与参数的关系

3.2 结果验证

选择其中流量分配合适, 静压总压压降在允许范围内的风道带到带驾驶员座的客车前部模型中验证。取左分风筋位移为 15.9 mm, 右分风筋位移 14.4 mm。客车除霜模型, 如图 6 所示。

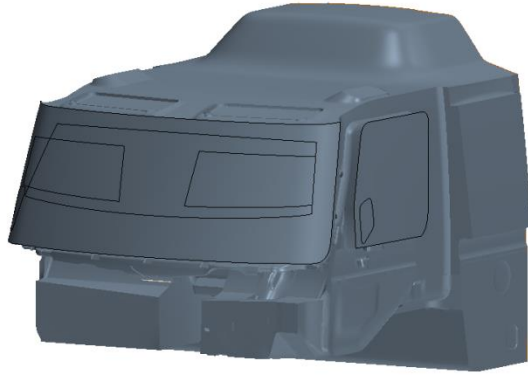


图 6 带驾驶员座的客车前部模型

所得出的各出风口流量分配和静压结果如表 1、表 2 所示。两者流量分配和总压压降大致相近，但静压压降差别较大。推测是因为在只计算单独风道的时候，为了防止回流，对出风口进行了拉伸，和完整模型有一定差别。前风窗玻璃的流速分布，如图 7 所示，优化后风窗玻璃上的主要视野区基本已无零风速区。

表 1 各出风口流量分配结果

	PMF_1	PMF_2	PMF_3	PMF_4
单独风道	14.1%	26.2%	25.0%	16.7%
客车模型	14.7%	27.4%	24.9%	19.1%

表 2 各出风口静压压降结果

	SPD_1	SPD_2	SPD_3	SPD_4
单独风道 (Pa)	322.2	335.7	360.1	286.5
客车模型 (Pa)	284.1	305.9	297.4	289.7

表 3 各出风口总压压降结果

	TPD_1	TPD_2	TPD_3	TPD_4
单独风道 (Pa)	246.3	143.9	152.5	246.2
客车模型 (Pa)	251.4	173.5	172.3	249.8

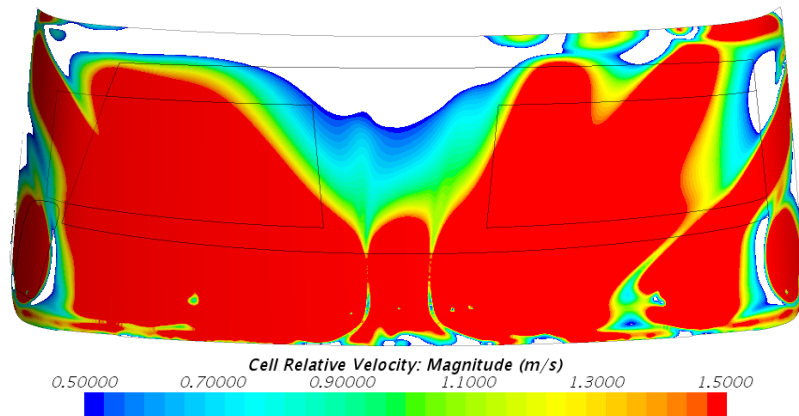


图 7 前风窗玻璃表面的流速分布

4 结论

使用 modeFRONTIER 软件建立自动优化流程, 对客车除霜风道进行多目标自动优化。以风道分风筋的位置为参数变量, 通过 CFD 流体计算得出的一系列结果, 从中选出优化目标符合要求的点, 再带回客车模型中进行验证计算, 结果显示优化后风窗玻璃上的主要视野区基本已无零风速区, 基本达到优化目标。

本次计算尝试了在实际工程算例中使用 modeFRONTIER 软件进行多目标优化。初次尝试, 只是从计算的点中选取符合要求的点, 之后会尝试 MOGA-II 等多目标遗传算法。遗传算法使用的神经网络模型呈现着高度的非线性, 同时, 神经网络能够处理连续的模拟信号以及不精确和不完全的模糊信息, 这使得神经网络给出的通常是满意解而非精确解。神经网络可以经过一段时间的训练或感知, 对给定的输入产生期望的输出, 因此, 神经网络具有自学习、自组织及自适应性。神经网络的上述特点, 使得它在优化计算中取得了较好的应用效果[5]。

为了节省计算资源, 同时也为了自动的变形、包面、网格划分等能顺利进行, 优化计算的模型常常会进行简化, 所得出的结果有可能和完备的模型有差异, 得出结果后需要进一步验算。如果计算资源和时间允许, 直接用完整模型进行计算会更加准确。

5 参考文献

- [1] 董素艳, 客车挡风玻璃除霜性能试验与数值模拟[J], 系统仿真技术, 2011, 07(3):190-195.
- [2] 张晓兰, 施俊业, 陈江平, 汽车挡风玻璃除霜性能数值模拟[J], 汽车工程, 2007, 29(11):1009-1013
- [3] 杜子学, 叶双平, 汽车挡风玻璃除霜性能数值模拟分析[J], 汽车实用技术, 2014(3):36-39
- [4] 刘欢, 韩思远, 李飞, 基于 modeFRONTIER 软件的空气动力学多目标智能优化[J], 汽车工程师, 2018(5)
- [5] 马锐, 人工神经网络原理[M], 机械工业出版社, 2010: 6-9