

汽车空调除霜性能分析

The CFD Simulation of Auto HVAC Defrosting Performance

王天英, 黄涛, 朱杰

(上汽集团股份有限公司技术中心/动力总成集成部, 上海, 201804)

关键词: 汽车空调, 除霜, 风道, 计算流体力学 (CFD)

摘要: 汽车空调除霜性能对汽车的安全性至关重要。本文利用数值模拟方法对不同的侧除霜出风口的除霜性能进行对比研究, 从中选出合适的方案新车使用。并模拟霜层融化过程, 考察当前风道的除霜效果。

Abstract: The defrosting performance of auto HVAC is very important for driving and traffic safety. This paper studies defrosting performance with different side defrosting outlet and to select one type for new car. To study the effect of defrosting with current duct, we also simulated the process of the frost thawing.

Key words: Auto air condition, Defrosting, Duct, Computational fluid dynamic (CFD)

1. 前言

汽车空调是空调技术在汽车上的应用,其目的在于创造车室内舒适的气候环境,保护驾驶员和乘客的身体健康,改善驾驶员的工作条件,提高汽车的安全性能。我国幅员辽阔,南北气候差异大,因此在北方地区除霜问题显得尤为重要。除霜功能是指清除前风窗玻璃上附着的霜层,为驾驶员提供安全可行的视线环境。在国内,GB11556-94对汽车的除霜系统性能做出了严格的要求^[1]。

在某车的研发过程中,造型提出了两种侧除霜风口位置方案。方案1为侧除霜风口在中控台上(图1),方案2为风口在两侧门板上(图2)。本文对某车研发过程中不同的侧除霜方案做出分析。利用STAR-CCM+对不同的侧除霜出风口方案进行稳态情形全热除霜模式下的CFD分析。得到了除霜风道各出风口风量分配,风道和客舱内的流线和压力分布,特别是前侧窗上的速度分布图。本文还使用STAR CD对其中一方案进行了非定常除霜过程的分析。

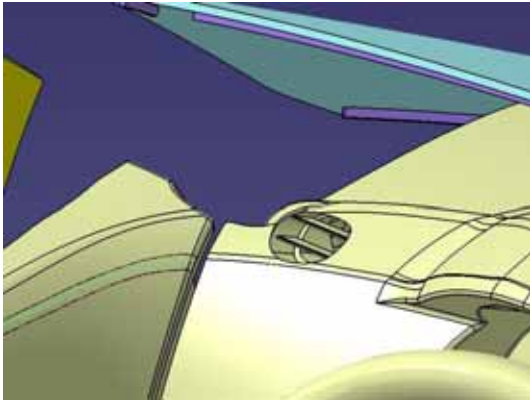


图1. 侧除霜风口方案1

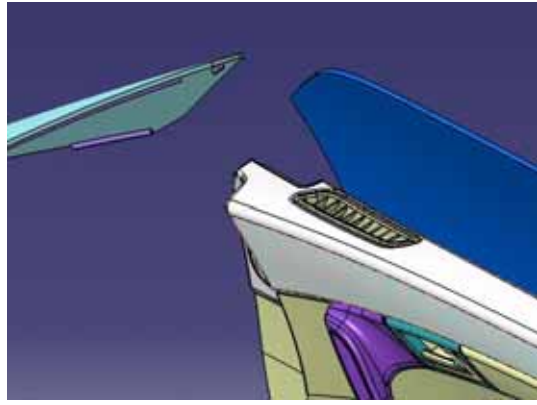


图2. 侧除霜风口方案2

2. 计算模型的建立及方案确定

2.1 几何模型建立

根据某型车的三维数模建立数值模拟的计算空间。计算空间包括除霜风道及乘客舱。考虑到工艺数模的复杂性,在不影响计算精度的前提下对模型做了一些简化处理,去除不必要的信息,对一些缝隙进行修理,以减少网格总数及计算时间。但是关键部件如风道,风挡玻璃尽量保留。在CATIA中修理几何后,得到一个封闭空间的计算域,并存成STL格式。

2.2 网格生成

稳态分析直接使用STAR CCM+生成网格。把STL格式的几何数模导入CCM+后经检查没有几何错误或间隙后就可以直接生成计算所需体网格。相对其他网格生成软件,CCM+自带的网格生成器生成网格更快更方便。在得到完整的几何文件后只要输入网格尺度控制参数,无需先生成面网格,就可以直接生成计算所用体网格。对关心的区域可以使用控制体控制某处的网格密度。本文使用CCM+生成多面体体网格。风道及风档玻璃处局部加密,保证模拟精度。方案1共生成了371207个多面体网格,方案2共生成了293817个多面体网格。

在使用STAR CD进行非定常除霜工作的分析中,使用ICEM CFD的TETRA生成约130万四面体网格。



图3 方案1计算网格



图4 方案2计算网格

2.3 边界条件

模型使用除霜风道的进口作为流量进口,给定流量及温度值。为了防止进口处出现倒流,把进口几何适当加长。本计算使用压力出口边界条件。

2.4 计算过程

分析求解了Navier-Stokes方程组,采用了二阶离散格式,设置的残差标准为:最大残差为0.001,湍流模型采用了默认的高雷诺数k-ε模型。本次CFD分析过程主要包括前处理,数值求解及后处理三部分。^{[2][3]}

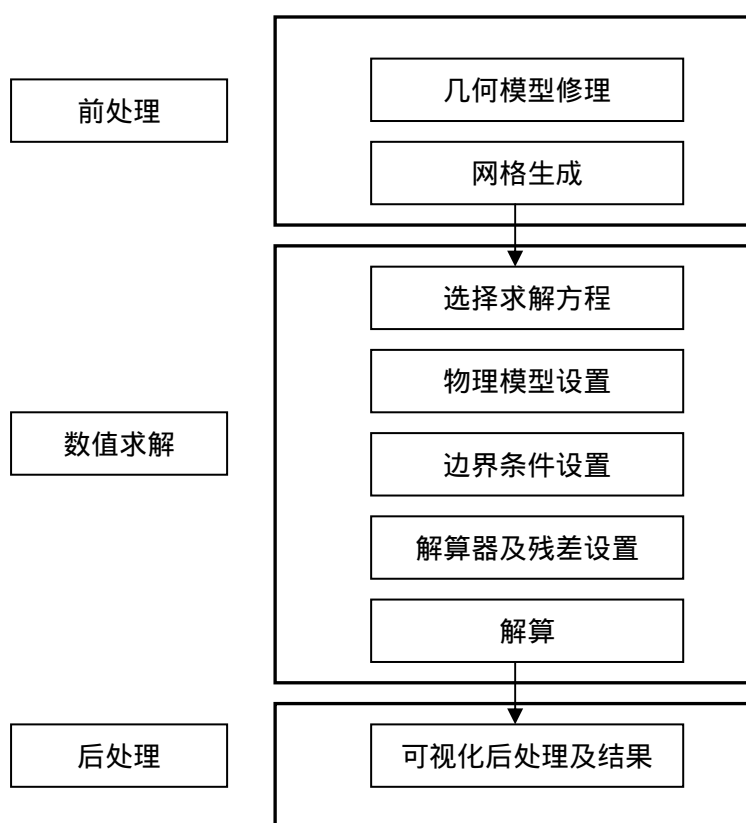


图5 CFD分析流程

3. 计算结果分析

本文对两种不同的侧除霜风道的除霜效果进行了除霜效果的对比分析。侧风档玻璃表面速度分布见图6-图9。

由计算结果可见,两种方案基本都能满足侧风窗除霜的要求,侧窗玻璃表面大部分区域速度都大于1.8m/s。两种方案的有效除霜范围基本相同。但是方案1(出风口在中控台两侧)可以使侧风档玻璃获得更大的除霜吹除速度,有利于侧风档玻璃的热交换,相对方案2可使侧风档玻璃上的霜层融化更快。图10、图11为两种方案流线图。从流线图可以看出,两种方

案的侧除霜气流都能很好地附着在侧风档玻璃上，这样都能获得比较好的除霜效果。但是方案1显然比方案2的效果更好。

表1为两种方案除霜风道风量分配。由于方案1的侧除霜风道结构较简单，因此流动阻力较小，侧除霜风口风量较大，因此对于侧风档玻璃的除霜效果要好。

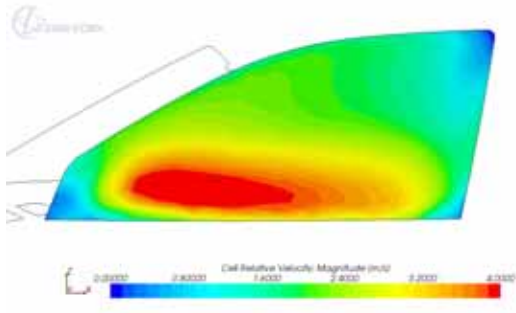


图6 方案1左侧风档速度分布

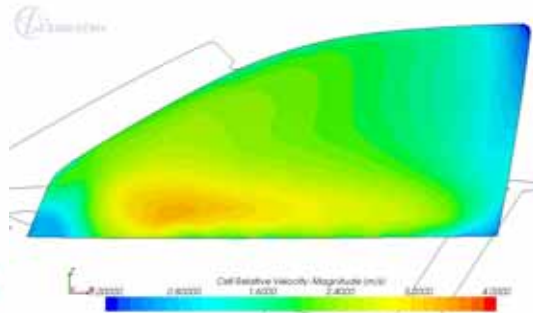


图7 方案2左侧风档速度分布

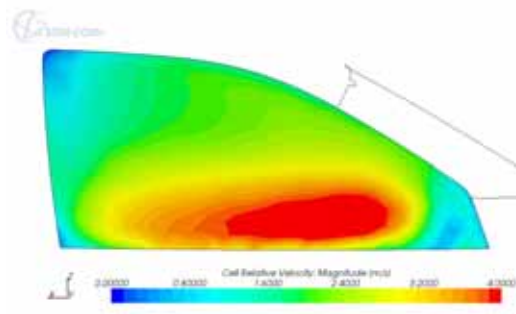


图8 方案1右侧风档速度分布

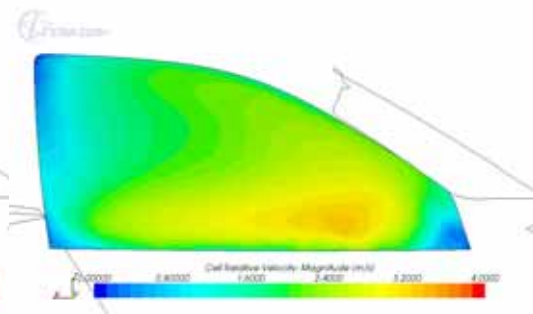


图9 方案2右侧风档速度分布

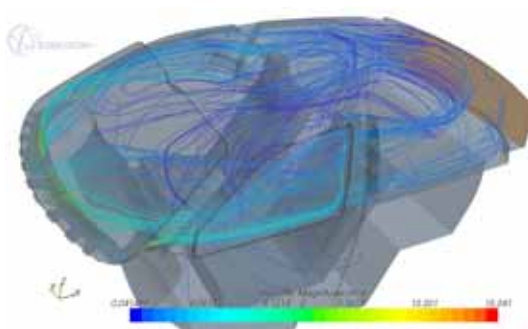


图10 方案1车厢内流线图

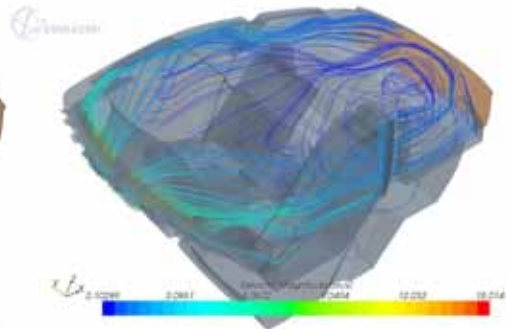


图11 方案2车厢内流线图

表1 两种方案除霜风道风量分配 (单位kg/s)

	left	mid-left	mid-right	right
case1	9.50E-03	4.76E-02	4.81E-02	9.20E-03
case2	4.65E-03	5.22E-02	5.23E-02	5.00E-03

在方案1的基础上做了正风档玻璃除霜过程模拟，考察当前风道的除霜效果。在原有数模的基础上使用ICEM CFD重新生成了四面体网格，拉伸出5毫米的玻璃层，并在前风档玻璃上生成了0.5毫米厚的柱状网格模拟霜层。使用STAR CD作为求解器模拟霜层溶解过程。

图12到图15为整个溶解过程中霜层厚度分布。由计算结果可见此风道对正风档玻璃副驾驶一侧除霜效果不是很好，需要通过调整风道出口导流片或优化风道结构来改善其除霜性能。

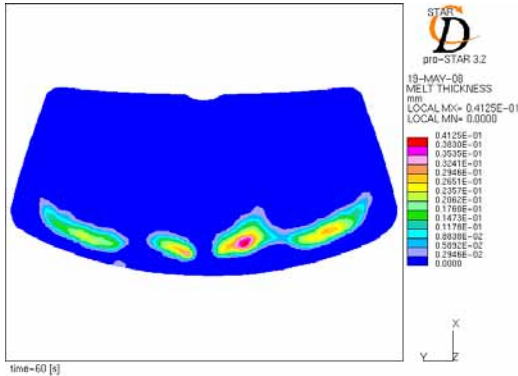


图12 60秒时前风档玻璃霜层厚度分布

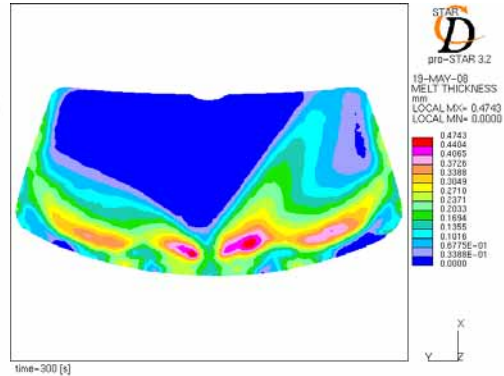


图13 300秒时前风档玻璃霜层厚度分布

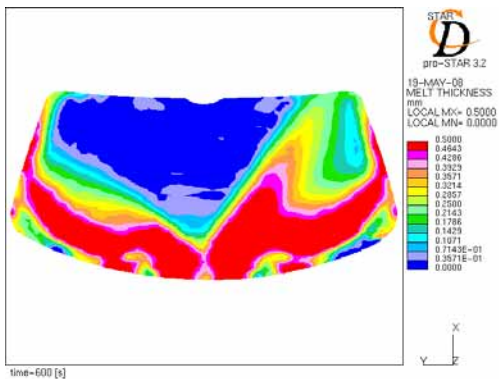


图14 600秒时前风档玻璃霜层厚度分布

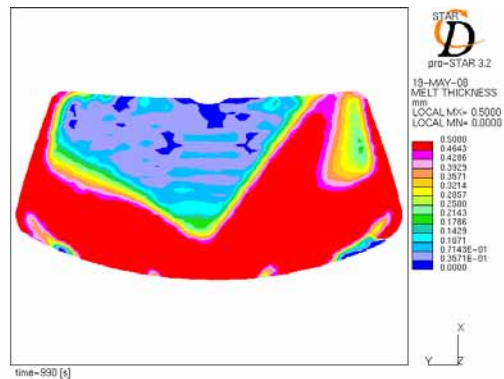


图15 990秒时前风档玻璃霜层厚度分布

4. 结论

(1) 通过对两种不同侧除霜出风口方案的数值模拟可以看出，两种方法都可以满足侧除霜的性能需求。但是侧除霜风口在中控台两侧的方案效果更佳。

(2) 此风道对前风档玻璃的除霜效果不太理想，需要通过出风口齿片角度及风道优化来改善其性能。

(3) 通过CFD方法可以在汽车设计的概念阶段就对不同的方案进行对比分析，从中选出合适的方案进行产品设计。由此可以大大减少设计时间，节省试验经费。

(4) 通过CFD方法可以观察到一些试验中难以观察的流动现象，也可以比较准确地得到

某些通过试验方法很难测量的数据。因此有助于对在产品早期阶段就对一些部件进行优化改进。

(5) 相对于之前使用的传统的CFD软件, STAR CCM+是一个更面向工程师的CFD软件, 可以对汽车空调设计中所关心的问题快速建模并解算。本文中的侧除霜稳态计算从导入几何到计算完成并进行可视化处理只需要一天时间, 大大减轻了工程师的负担及设计周期, 可以对更多的方案进行快速的评估与选型。

(7) 数值模拟计算得到的结果还需要通过环模试验进行验证。

参考文献

- [1] 中国国家标准GB 11556-1994. 汽车风窗玻璃除霜系统的性能要求及试验方法. 1994
- [2] STAR CCM+帮助文档
- [3] STAR CD帮助文档