

汽车除霜系统性能的数值模拟

The CFD Simulation for Automotive Defrost System Performance

王俊, 陈如意, 李慧强

(吉利汽车研究院工程分析部, 浙江临海, 31700)

摘 要: 本文通过 STAR-CCM+ 中的稳态计算来预测汽车空调的除霜性能。并对修改后的侧除霜性能进行了验算。最后用瞬态模拟, 获得前挡风玻璃上随时间变化的除霜效果图, 与国标要求进行对比, 为汽车除霜系统性能的模拟工程提供了参考。

关键字: CFD, 除霜分析, 汽车空调, STAR-CCM+

Abstract : The performance of automotive defrost system is evaluated by using steady simulation in STAR-CCM+. Then, The same method is adopted to analyse the Modified model. Finally, Implicit unsteady simulation is used to research the contours of liquid fraction on windshield, which is evaluated by referring to national standards(GB11556-1994). This article provides a reference to the simulation on the defrost performance of automotive HVAC system.

Key words: CFD, Defrost, Automotive HVAC system, STAR-CCM+

1 前言

随着消费者对汽车性能的要求越来越高, 为了及时赢得市场份额, 汽车厂商的研发周期愈来愈短, 对研发人员的设计能力也提出了新的挑战。单纯使用传统的经验设计方法, 周期长, 试验成本高, 这已经不能适应市场要求。

挡风玻璃的除霜性能设计是汽车的重要安全性能指标之一, 国家提出了相应的法规要求(GB11556-1994)。汽车挡风玻璃的除霜性能与除霜风道的设计有密切的关系。在汽车除霜风道的设计开发中, 传统的方案是凭借经验进行设计, 这需要在整车试制完成后才能进行试验测试, 此时改变除霜风道, 可能会涉及布置、内饰甚至模具的修改, 成本和代价很大。因此, 通过 CFD 的方法, 可以反映车辆内部复杂流场中的流动特征并提供任意截面与位置上的流速、压力等参数。通过瞬态模拟, 还可以获得随时间变化的除霜效果图。这些信息可用于指导车辆设计与改进, 替代或部分替代耗费较大的模型或实车试验, 为其深入研究提供有效手段。

STAR-CCM+Ver3.06 加入的除霜模块, 使这项经典分析更加方便和快捷。本文通过 STAR-CCM+ 来验算评估新车型开发过程中的空调系统的除霜性能。对存在的问题提出改进建议, 并负责验算。配合设计部门, 更加快捷高效地完成符合国标要求的产品。

2 模型的建立和方案确定

2.1 前处理与分析条件

收集整理 CATIA 数模, 包括车窗玻璃、内饰件、座椅和除霜管道等, 在 Hypermesh 中修剪形成封闭的求解域并划分网格, 导出 .nas 的格式后输入到 STAR-CCM+ 中。在 STAR-CCM+ 中整理 Boundaries 并命名, 方便前后处理。

检查面网格, 修改提示的错误, 并提高网格质量使计算容易收敛。在 STAR-CCM+ 中划分 Trimmer 体网格, 设置除霜风道的边界层为 4mm (3 层), 采用多处局部加密, 得到求解域的体网格数量为 2,827,498。



图 1 有限元分析模型

Fig.1 FEM Model

2.2 边界条件和计算设置

计算中假定空气为不可压缩气体, 湍流模型为 Realizable K-epsilon 模型, 空间离散采用二阶迎风差分格式, 迭代方式选用 Simple 算法, 计算边界条件如下所示:

- (1) 入口条件为 $300\text{m}^3/\text{h}$, 温度 313K;
- (2) 出口边界为自由出流;
- (3) 其他边界: 壁面边界;
- (4) 初始条件: 以进口条件给定, 环境温度为 255K;

瞬态计算时, 拉伸玻璃层 5 层, 厚度为 5mm, 冰层厚度为 0.5mm, 计算 2400 秒, 步进 1 秒, 每步迭代 10 次。

3 稳态结果分析

正确地布置出风口和设计除霜风道形状, 才能获得理想的除霜效果。除霜性能涉及除霜风量、送风速度和风温等因素。GB11556-1994 只对前挡风玻璃作出法规要求, 因此, 本文将只从稳态计算分析来考查侧挡风玻璃的除霜性能。考查点包括流量分配、挡风玻璃上的风速及流场流线等方面, 用其分析某车型的除霜性能。

3.1 出风口的流量分配

除霜风道的设计对汽车挡风玻璃的除霜性能起着至关重要的作用。风道的形状决定了各个出风口的流量，流量的分配与除霜性能密切相关，其为关键的考查点之一。

为了便于在 STAR-CCM + 中计算各出风口的流量及对流量迭代值的监控，可在各出口处生成对应的 Interface。通过 Reports 中的流量统计模块，获得各出口流量分配值如表 1。

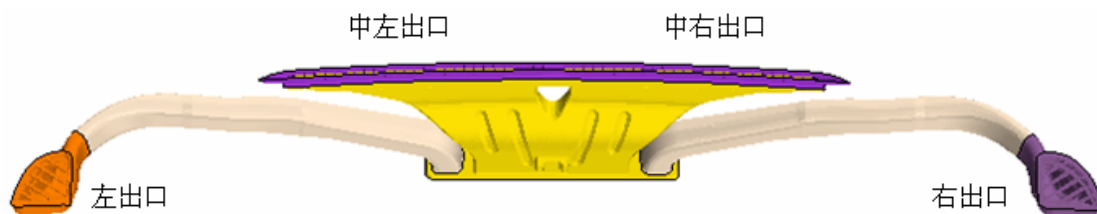


图 2 风道各出口示意图

Fig.2 Location of Defrost Outlets

对比项目开发的目标值，各个出口的流量分配比例合理，满足流量分配的设计要求。这为除霜要求奠定了基础。

表 1 各个出风口的流量分配值

Tab. 1 Mass flow split of Defrost Outlets

出口位置 流量分配	左出口	中左出口	中右出口	右出口
目标值	8% ~12%	38% ~ 42%	38% ~ 42%	8% ~12%
计算值	11.7%	38.2%	38.3%	11.8%

3.2 侧车窗玻璃的除霜分析

对于侧除霜是没有法规要求的，但是，会影响到用户观察后视镜及对汽车品质的评价。侧窗仅从稳态来分析预测，不作瞬态融冰计算。

在 STAR-CCM + 中导入后视镜的模型，将后视镜的外边缘投影到车窗玻璃上，切分出除霜区作为单独的 Boundaries，便于通过 Reports 中的速度统计模块，获得除霜区的平均速度值。同时，便于考查速度分布情况。（本文中后视镜的位置仅做参考）

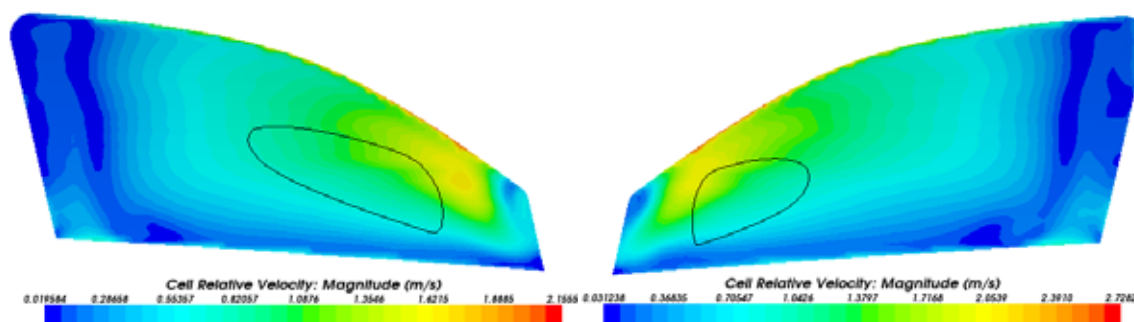


图 3 左侧窗玻璃的速度标量图

Fig.3 Velocity scalar of Front left window

图 4 右侧窗玻璃的速度标量图

Fig.4 Velocity scalar of Front right window

左侧（即驾驶员侧）和右侧玻璃上的速度最大值均远离除霜区域，位于玻璃上边缘，这对除霜是不利的。左侧和右侧的除霜区的平均速度分别为 0.9m/s 和 1.2m/s，显然，两侧速度太低，无法达到除霜要求。两侧玻璃上的气流击点位置靠前且靠上，不利于气流展开，气流到达除霜区时，速度迅速降低，不利于能量交换，难以满足除霜要求。

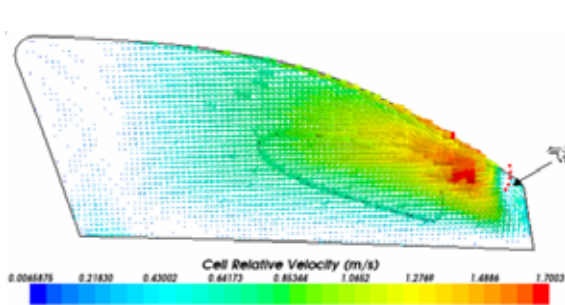


图 5 左侧窗玻璃的速度矢量图

Fig.5 Velocity vector of Front left window

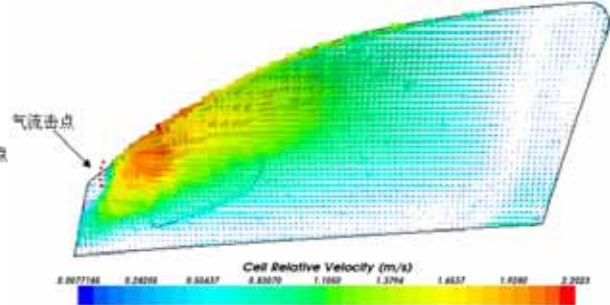


图 6 右侧窗玻璃的速度矢量图

Fig.6 Velocity vector of Front right window

此外，可以通过流线图看出，流线的高度不合适，未经过除霜区域，预测除霜效果不好。

3.3 侧窗除霜性能的改进

侧窗上气流击点位置的不合适，导致除霜区域速度较低，除霜性能差。对此，可修改风道的走向或者调整格栅数模的高度和角度。对修改后的模型再进行稳态计算。

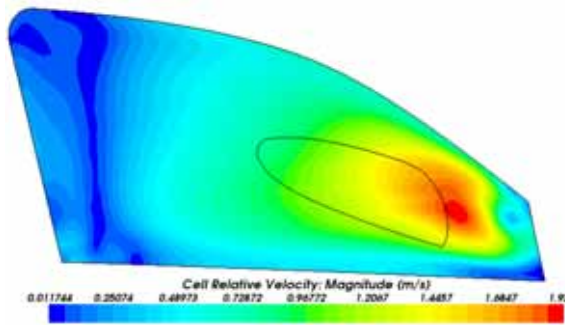


图 7 左侧窗玻璃的速度标量图（改）

Fig.7 Velocity scalar of Front left window (M)

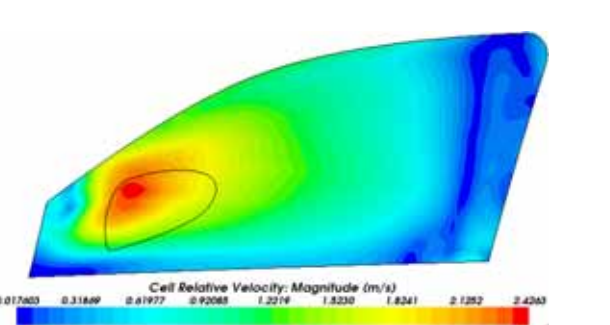


图 8 右侧窗玻璃的速度标量图（改）

Fig.8 Velocity scalar of Front right window(M)

由图 4 和图 5 可知，右侧玻璃上的速度最大值位于除霜区域内，这对除霜是有利的。左侧玻璃上的速度最大值位于除霜区域正前方，除霜效果将差于右侧。左侧和右侧的除霜区的平均速度分别为 1.4m/s 和 1.9m/s，该值较为合理，预测侧除霜效果好于修改前。

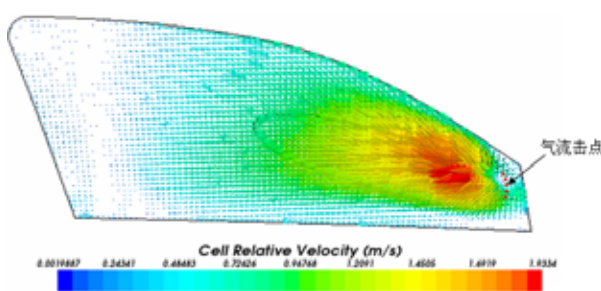


图 9 左侧窗玻璃的速度矢量图（改）

Fig.9 Velocity vector of Front left window(M)

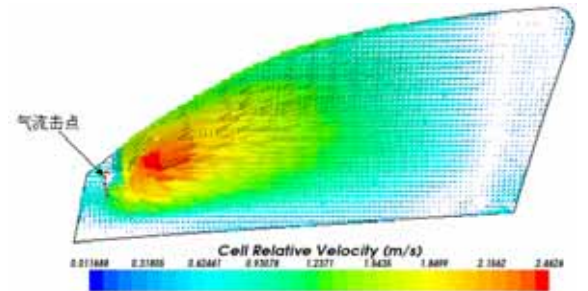


图 10 右侧窗玻璃的速度矢量图（改）

Fig.10 Velocity vector of Front right window(M)

由图 9 和图 10 可知,两侧窗玻璃上的气流击点位置合理,有利于气流展开,除霜区能获得较大的速度,有利于能量交换,加快除霜速度。此外,从流线上可以看出,流线的高度合适,流线能附着在车窗除霜区域的表面,有利于能量交换,加快除霜速度。

3.4 前挡风窗除霜性能的分析

通常情况下,最有效的除霜方法是使热风在到达挡风玻璃后尽快地达到湍流流动,并且尽可能覆盖挡风玻璃表面,增加换热面积。

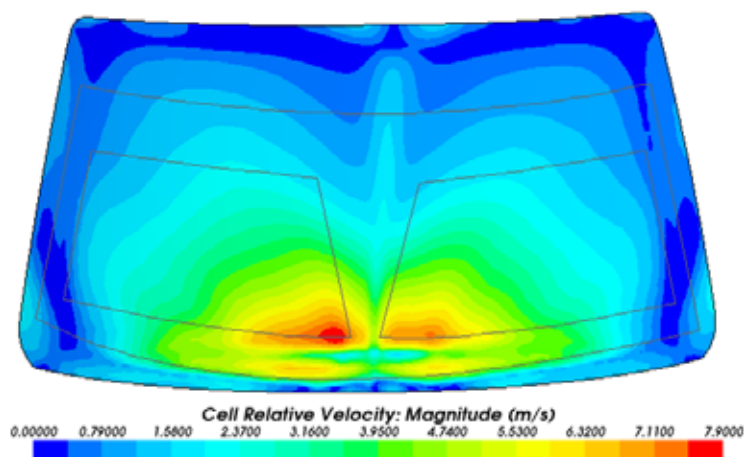


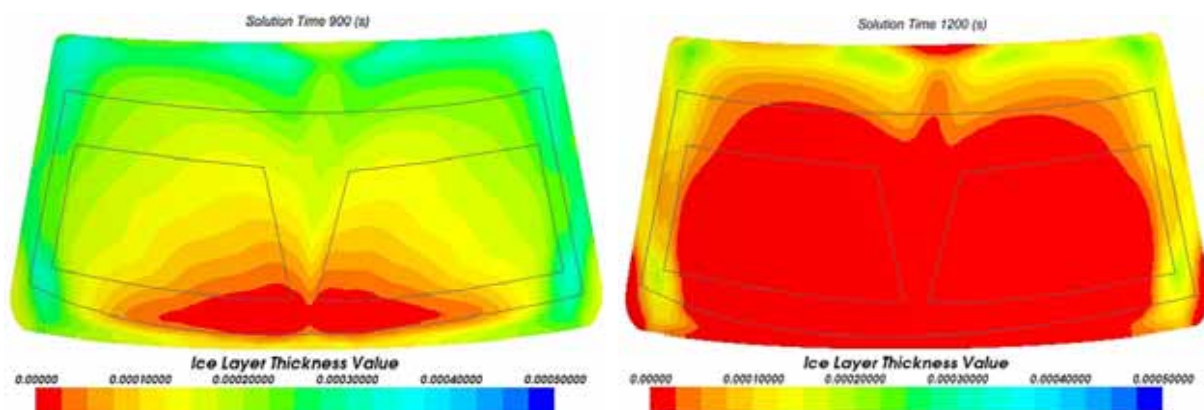
图 11 前挡风玻璃的速度标量图

Fig.11 Velocity scalar of Windshield

由图 11 可以看出, A 区和 A'区基本对称,这与除霜管道对称有关。左右气流分别呈扇形散开,边缘有回流。速度分布的形状比较合理,除霜区域内不存在死区,大部分的 A 区、A'区及 B 区都有合理的气流速度。其中,速度在 2.0 m/s 以上的区域约占 A 区和 A'区的 80%。法规要求 A 区和 A'区在规定的时间内 80%面积的霜除净,那么从稳态上预测,除霜性能是能满足要求的。但是,还是需要瞬态来协助分析及实验验证。

4 瞬态结果分析

应用瞬态计算进行前挡风玻璃上的融冰模拟分析,考察风道的除霜效果。



a) 15 分钟 15minutes

b) 20 分钟 20 minutes

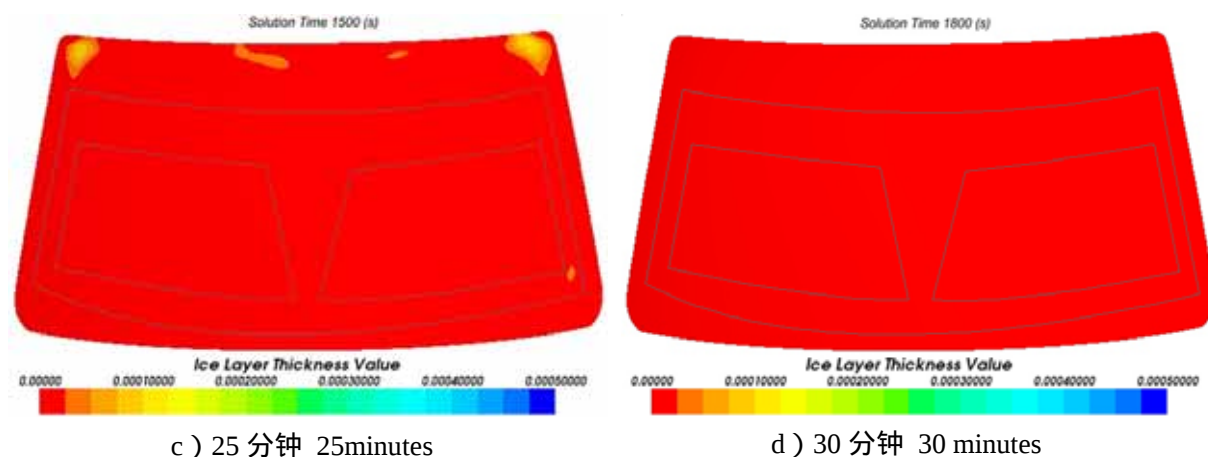


图 12 前挡风玻璃的融冰图

Fig.12 Contours of Liquid Fraction on Windshield

图 12 为不同时刻所对应的冰层厚度分布图。由此可知早期的融冰图与稳态计算的速度分布图很相似，回流使部分风窗边缘的冰层融化。20 分钟时，A 区的冰层融化约 90%左右。25 分钟时，A'区的冰层全部融化，B 区 95%以上融化。30 分钟时，前风挡的冰层全部融化。可以满足国标要求。

5 结论

(1) 一般而言，合理的流量分配是保证除霜性能的前提条件。在分析除霜性能前，进行除霜风道的流量分配计算，可以节省资源。

(2) 对于侧除霜而言，如果气流击点的位置合理，那么，除霜区域的气流流速将在合适的范围内，亦能保证其流线能附着在车窗除霜区域的表面，可以预测除霜性能较好。可以通过修改风道走向和出风口格栅的角度来调整气流击点位置，优化除霜性能。

(3) 利用瞬态进行融冰分析，得到前风挡玻璃上不同时刻对应的冰层厚度，但是，实际的实车除霜性能会根据加热器的输入温度和发动机发热量等因素而变化，需要进一步的试验验证，试验将于近期开展。

6 参考文献

- [1] 国家发展和改革委员会. GB11556—1994. 汽车风窗玻璃除霜系统的性能要求及试验方法[S]. 1994.
- [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] 唐因放. 景逸汽车除霜系统的CFD优化设计[J]. 装备制造技术, 2008, 244(22): 51 ~ 53.
- [4] 梁学文,王丽华. 除霜除雾风管及格栅的设计方法[J]. 企业科技与发展, 2005, 33(11): 77 ~ 79.