

# 应用 starCCM+ 进行 乘员舱空调制冷 CFD 瞬态分析

崔津楠 赵志明 贾宏涛

长安汽车股份有限公司汽车工程研究院 CAE 所

**摘要** : 本文利用 starCCM+ 对长安某车型乘员舱空调制冷过程进行 CFD 瞬态分析, 得到了速度分布以及温度场随时间变化情况。对舱内关注点进行了温度监控, 与实验测出的温度曲线进行了对比。

**关键词** : 乘员舱冷却 starCCM+ CFD 瞬态

## Transient CFD Analysis of Cabin Cooling by star CCM+

**Abstract** : The transient CFD simulation of cabin cooling for a Changan vehicle was performed by star CCM+. The cooling process lasted for 30 minutes and the flow field and temperature field were calculated. The results of probe points were compared with the experiment.

**Key words** : cabin cooling starCCM+ CFD transient

### 1 前言

随着我国汽车工业的迅猛发展, 人们对汽车内部舒适度要求也越加强烈。为了创造出一个温度、湿度适宜, 空气清新洁净的环境, 现代汽车都采用汽车空调系统来满足人们对汽车舒适性的要求。当前, 从市场需求方面看, 汽车空调装置应进一步降低成本, 提高燃油经济性。从乘客和驾驶员方面看, 车内温度要合理分布。汽车的热舒适环境对于驾驶员非常重要, 驾驶员在舒适的环境中驾驶可以增加行驶的安全性。目前汽车设计的趋势, 比如增加玻璃的使用、降低燃料使用和使用更加环保的制冷剂, 使得控制乘客的热舒适变得非常困难。出于节约能源的目的, 优化空调系统的设计显得尤为重要。

美国供暖、制冷和空调工程师协会 (ASHRAE) 经过多年研究后得出结论, 大部分人在有效温度为 23.9-26.7 范围内感到舒适。从人的出汗实验可知, 环境温度从较低温度逐渐上升到 28 时, 人体出汗时在身体的局部范围且汗量很少; 当环境温度从 28 往上升时, 人体出汗的范围和量都将急剧上升。汽车座舱内的空气相对湿度, 一般以保持在 30%~70% 为宜, 温度高时取上限, 温度低时取下限。汽车在驾驶过程中, 车内的空气过热、过冷或污染, 必然会干扰驾驶员的注意力和反应能力, 并且影响乘客的舒适性。为了能对乘客提供舒适的热环境条件, 必须在车内进行空气调节, 使汽车座舱内的空气温度、湿度和风速等指标, 保持在人体感觉舒适的范围内。CFD 技术在空调开发前期过程中能够对空调冷却进行模拟, 为空调设计进行指导, 提

高空调开发的成功率，缩短了开发周期，降低了开发成本，在汽车设计中得到了广泛的应用。

本文应用流体力学计算软件 starCCM+对长安某款轿车乘员舱空调制冷进行瞬态分析。

## 2 计算基本方程

1. 连续性方程：

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \vec{V} = 0$$

2. 动量方程 (N-S 方程)：

$$\frac{DV_i}{Dt} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \mu \frac{\partial^2 V_i}{\partial x_j \partial x_j}$$

3. 能量方程：

$$\frac{De}{Dt} = -\frac{p}{\rho} \nabla \cdot \vec{V} + \phi + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + q_R$$

$$\text{式中 } \phi = \frac{1}{\rho} \left( \mu' - \frac{2}{3} \mu \right) (\nabla \cdot \vec{V})^2 + \frac{2}{\rho} \mu \varepsilon_{ij} \varepsilon_{ij}$$

其中， $\phi$  为机械能耗散函数， $q_R$  为辐射热。

## 3 star CCM+在空调制冷瞬态分析中的应用

### 3.1 几何模型建立

应用前处理软件 Hypermesh 对该车型乘员舱及空调管道进行几何清理，形成封闭腔体，并生成表面网格，如图 1 所示：



图 1 乘员舱几何外型

### 3.2 计算域网格生成

将经前处理得到的网格导入 starCCM+中，生成体网格总数约为 300 万。

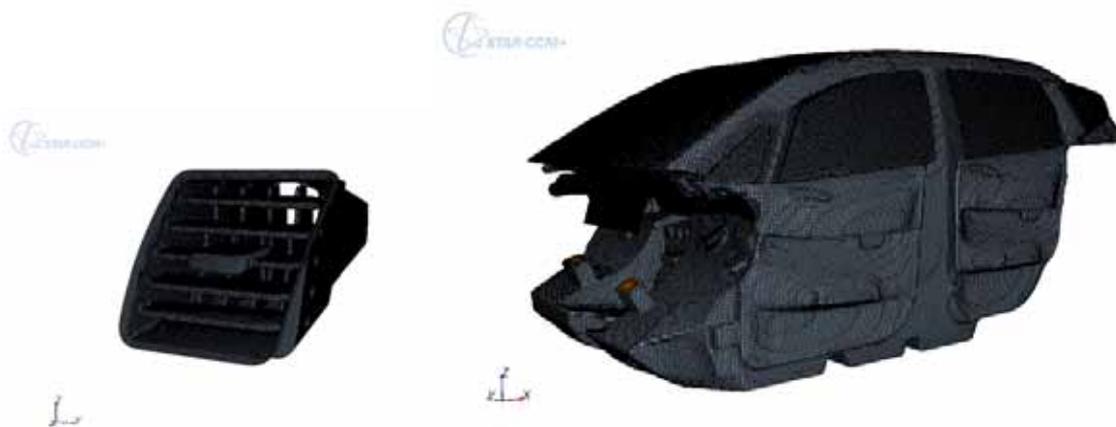
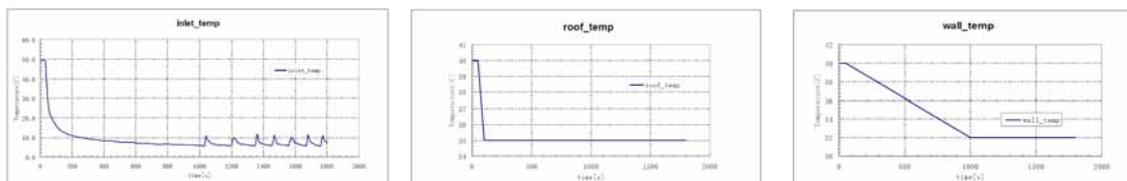


图 2 模型体网格

### 3.3 边界条件及初始化

模型由于所使用的风管进口温度曲线是由仪表板格栅出风口平均温度曲线代替，因此吹面风管壁面和格栅采用绝热边界条件，玻璃壁面采用恒定温度 40 摄氏度，出口处使用压力边界条件，进口和顶棚温度曲线如图，其余壁面采用壁面温度曲线。

初始时计算域及外界环境温度均设为 40 。



进口温度曲线

顶棚温度曲线

壁面温度

图 3 边界条件

### 3.4 计算设置

采用 RANS 方法，二阶离散精度，realizable k- $\epsilon$  湍流模型，近壁采用 high y+壁函数处理。瞬态分析时间总共为 1800s，时间步长取 5s，每个时间步长的内迭代步数为 20 步。

### 3.5 瞬态结果分析

3.5.1 通过瞬态分析得出结果，各管道的流量分配如图所示，

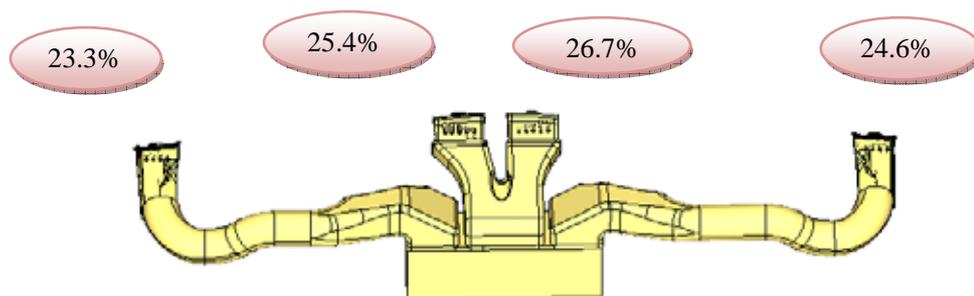


图 4 各管流量分配

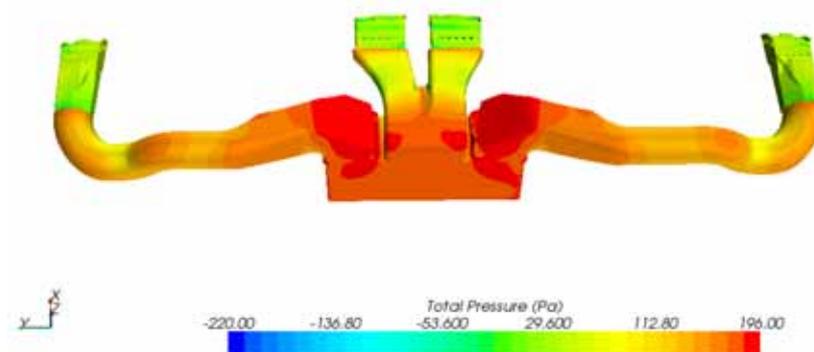
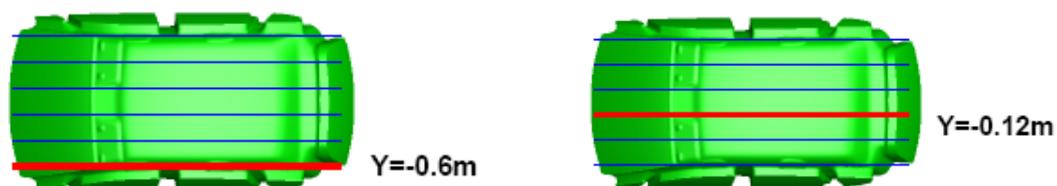


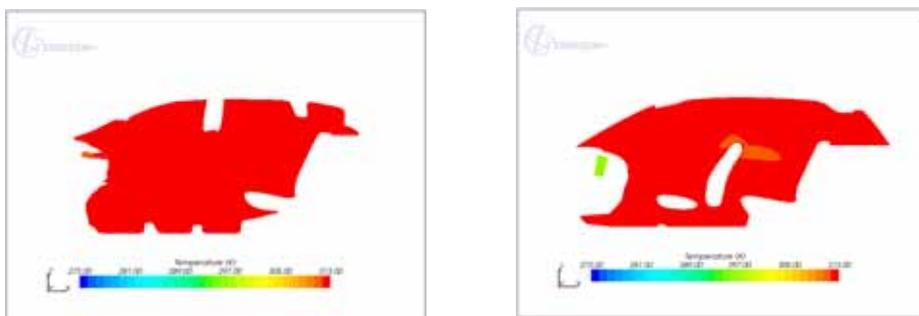
图 5 管道总压分布

从图可知，空调管道设计较为合理，流量分配较均匀。总压损失为 154.88pa，没有总压损失过大的区域，总压分布较合理。

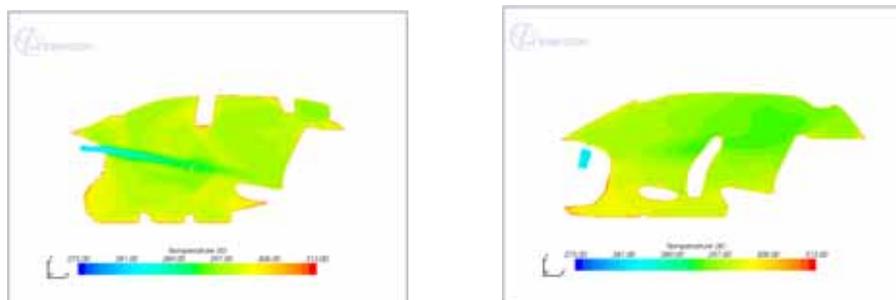
### 3.5.2 乘员舱空调冷却过程



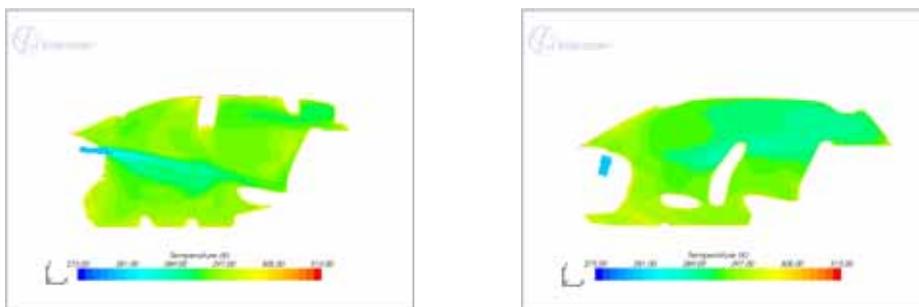
Time=1min



Time=5min



T=15min



T=30min

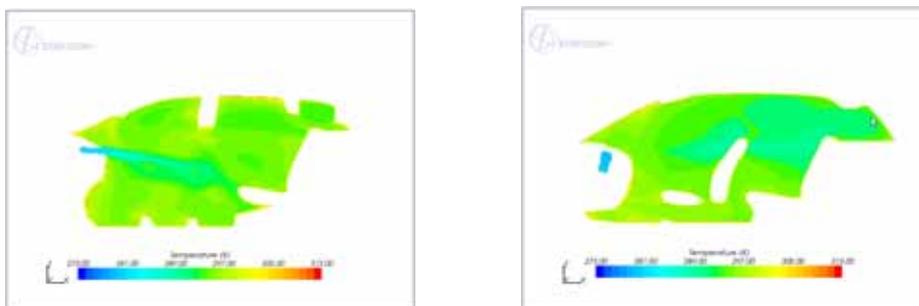


图7 截面温度分布

从云图中可清晰看出在乘员舱冷却  $T=1\text{min}$  没有明显效果,  $T=5\text{min}$  时乘员舱基本都达到了 28 摄氏度, 温度较为适宜, 乘员舱后排冷却速度比前排略快,  $T=15\text{min}$  过后乘员舱温度基本稳定不再变化, 温度在 23.9~26.7 范围内, 已达到人体感到舒适温度. 舱内后排中间位置温度偏低. 但由于舱内没有安置假人, 因此无法精确地预测人身体各部位温度感应程度.

### 监控点的温度变化



图 8 舱内监控点布置

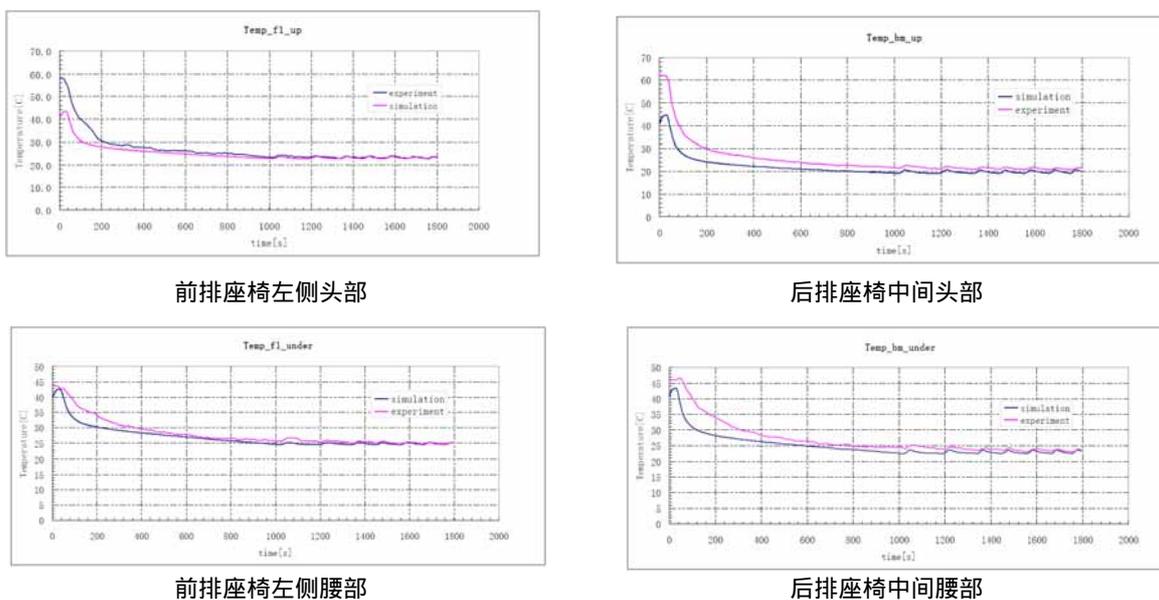


图 9 监控点温度随时间变化曲线

我们提取乘员舱不同区域监控点和实验值进行对比，由温度曲线可看出试验值和计算值基本符合。由于初始流场的温度为 40 摄氏度，与实验时的真实初始温度有偏差，因此各条温度曲线在开始一段出现较大差异，但冷却过程中温度曲线基本相同，若能提供更准确的初始条件，数值模拟与实验结果将会更加吻合。

## 4 结论

本文对长安某车型乘员舱空调冷却过程进行了 30 分钟的瞬态计算得出结论如下:各管流量分配较均匀,总压分布合理,没有压力损失过大的区域。舱内关注点温度曲线与实验所测温度曲线基本吻合,由云图和温度曲线可看出乘员舱  $T=15\text{min}$  过后乘员舱温度基本稳定不再变化,温度在 23.9~26.7 范围内,已达到人体感到舒适的温度,舱内后排中间位置温度偏低。

StarCCM+软件方便,快捷,设计人性化,其包面功能节省了表面处理所消耗的很大部分时间,提高前期处理的工作效率。直观清晰地用户界面能让新用户在短时间内就可熟练掌握基本操作,可视化后处理让用户轻松提取计算后需要的各项结果。

## 参考文献

- [1] star CCM+除霜除雾教程
- [2] star CCM+帮助文档