

高速动车组车内流场数值分析

Numerical Research of airflow distribution of High-speed EMU

韩璐, 李明, 李明高

(唐山轨道客车有限责任公司技术中心, 河北 唐山, 063035)

摘要: 本文运用 STAR-CCM+ 软件对高速动车组车内三维流场进行了数值模拟, 计算中考虑了车内部件及乘客等。通过计算获得了车内气流组织形式、速度场分布, 得出客室内风速满足 UIC553 的相关规定, 同时对影响流场分布的相应结构进行了分析。这些分析结果可用于指导高速动车组空调系统及车内气流组织的优化设计。

关键字: STAR-CCM+; 高速动车组; 气流组织

Abstract:: By using STAR-CCM+ software, and considering the compositions of the train and passengers, a numerical simulation on 3D airflow field of High-speed EMU is performed. The airflow distribution and velocity scalar were obtained by simulation, and the velocity of the train satisfied the provisions of UIC553. The compositions that affect the airflow distribution were analyzed. The results provide directions for optimizing the airflow in train and HVAC.

Keywords: STAR-CCM+, High-speed EMU, airflow distribution

1 前言

动车组的高速化、舒适化对空调系统提出了更高的要求, 车内环境的舒适程度直接关系到旅客的旅行生活质量。车内空气流场的研究是车内环境控制的重要方面, 合理的车内气流组织能有效改善旅客的乘车舒适性。通过对影响车内流场的各种因素的分析, 可以有针对性地对存在的问题加以改进, 达到有效利用能源和改善车内环境, 提高高速动车组乘坐舒适度的目的。

本文以某高速动车组一节车为研究对象, 对车内空气流场进行了稳态数值分析, 依据分析结果对其空调系统性能及车内组织布局进行评估。

2 计算模型及方法

2.1 计算模型及网格划分

(1) 计算模型

本文采用某高速动车组的一节车为计算模型, 如图 1 所示, 包括车体、通过台、设备间、厕所、车窗、塞拉门、内端门、车内部件及乘客。

该车空调送风道由主风道及支风道组成。主风道沿车顶中部设置，夏季工况有 75%冷风进入主风道，通过其下部的孔板进入客室内；主风道两侧连有支风道，在夏季有 25%的冷风通过两侧支风道，从车体下部进入客室内。

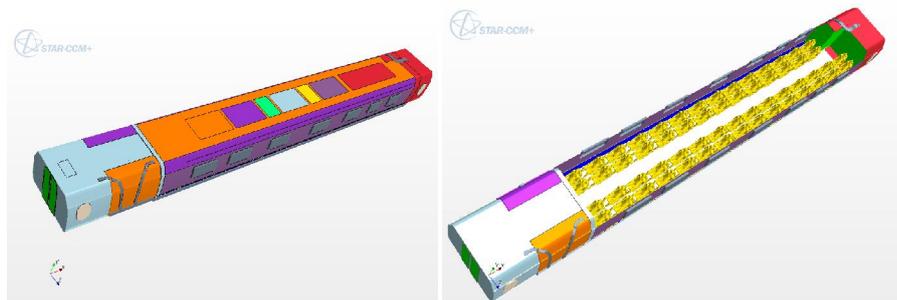


图 1 车体及乘客计算模型

(2) 网格划分

采用六面体网格；在车内及乘客体表生成 2 层边界层网格，总厚度为 0.01m；在内端门下部通风孔等尺寸较小区域的设置网格加密区；整个计算域的网格总数约为 980 万。图 2 为整车、中间纵断面、横断面及近壁面处和加密区的网格。

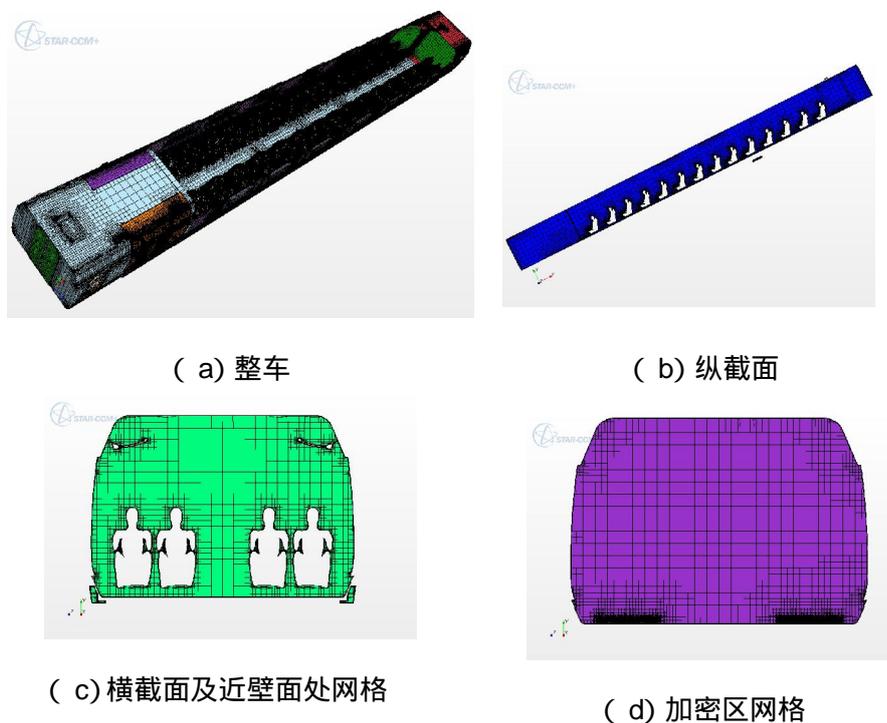


图 2 网格划分

2.2 边界条件及计算设置

采用 CFD 软件 STAR-CCM+ 进行并行计算。空气为恒定密度；流动为稳态流动；不考虑重力；采用 Realizable K-epsilon 湍流模型和壁面函数法；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) 入口边界条件：客室顶部及下部各送风入口流量采用空调送风道数值计算得到的数据，速度均匀分布，方向垂直于边界。

(2) 出口边界条件：回风口和废排出口边界根据已知的流量分配采用 split-outlet 边界。

3 计算结果及分析

为了得到详细的车内速度分布信息，分别从不同横、纵断面和垂断面观察客室的速度场。

3.1 客室横断面速度分布

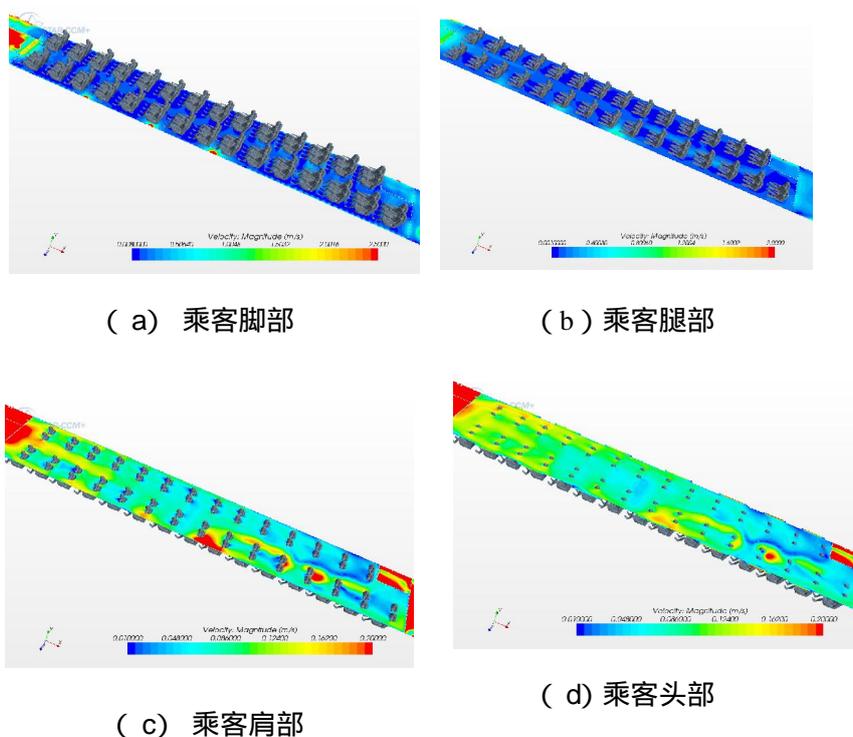


图 3 客室横断面速度分布

图 3 显示了客室内乘客脚部、膝部、肩部和头部的速度分布情况。客室内空气流动明显低于车厢两端通过台；一位端因存在空调回风口，空气流速高于二位端通过台；一位端通过台回风口附近空气流动状况随截面高度的升高而趋于平缓，有利于乘客的乘车舒适性。

乘客脚部、膝部截面乘客周围的速度在 0.008-0.5m/s 之间；乘客肩部、头部截面的速度在 0.05-0.2m/s 之间，且分布均匀；在空调排风口附近空气流动明显强于其他区域，可见空调排风口结构对车内流场存在较大影响。

3.2 客室纵断面速度分布

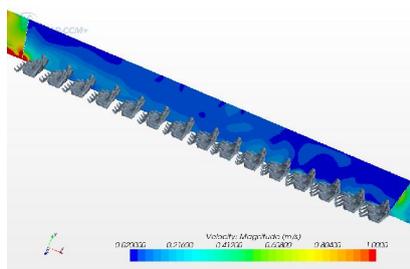


图 4 客室中间纵断面速度分布

图 4 显示了客室中间纵断面的流速分布情况。由图可知一位端、二位端通过台的空气流速高于客室内空气流动；因一位端内端门下部通风口面积狭小，此处风速较高；由一位端至二位端，客室内的流动情况趋于平缓。可见一位端内端门下部的通风孔、在一位端设置空调回风口等结构均对车内流场存在影响。

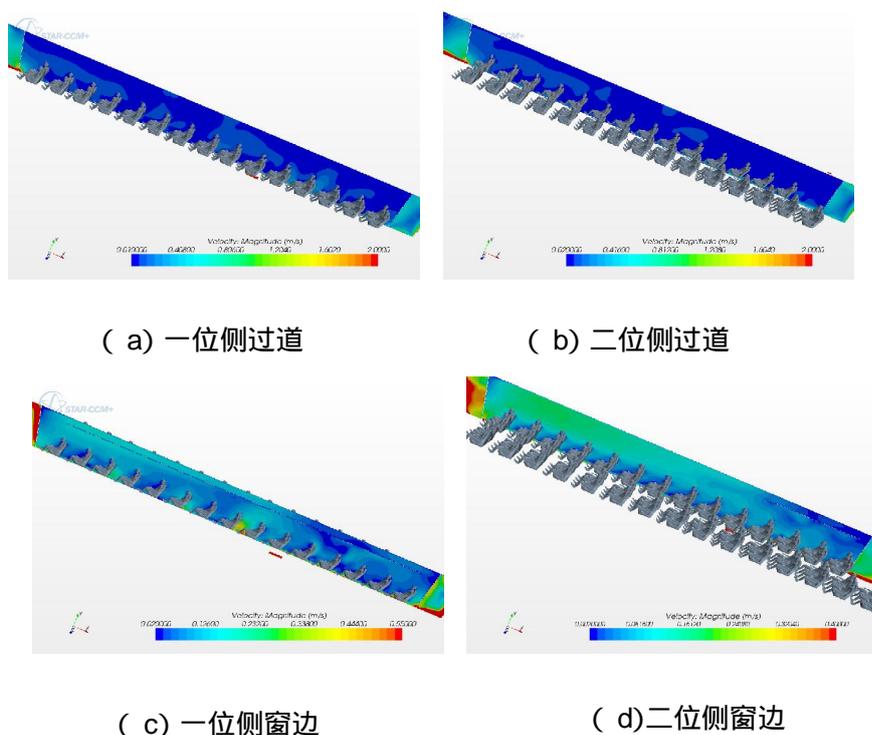


图 5 客室纵断面速度分布

图 5 显示了客室各纵断面的流速分布情况。可以看出，客室各纵断面的流速分布整体上较为均匀，只在一位端通过台下部通风孔处存在高速区；其中客室中间过道两侧乘客周围风速在 0.02-0.5m/s 之间，乘客脚部风速比其他区域稍高。

客室内一位侧的行李架为整车长度，二位侧的行李架为其长度的一半。由图 5(c) 和图 5(d) 可知，一位侧靠窗乘客比二位侧靠窗乘客周围的空气分布更均匀，行李架的设置对客室内流动有较大影响。

3.3 客室垂断面速度分布

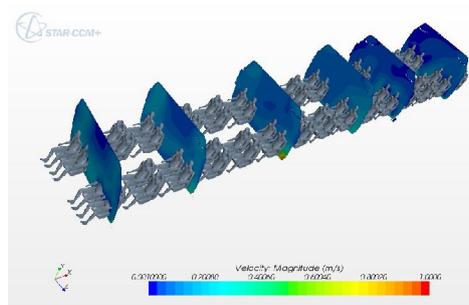


图 6 客室垂断面速度分布

图 6 显示了客室各垂断面的流速分布情况，各断面流速均在 0.001-0.6m/s 之间。图中各断面对应的车内结构和风道结构不同，流动情况存在差异，但各断面乘客周围的流动情况均比较稳定。

3.4 乘客体表空气流速分布

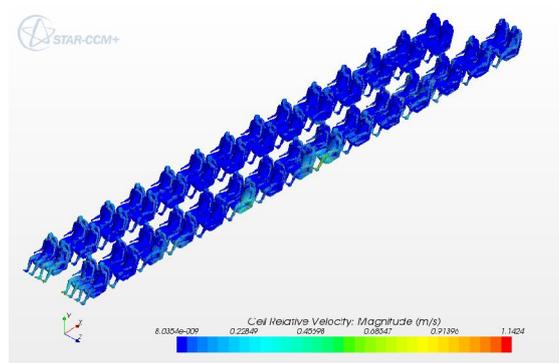


图 7 乘客体表空气流速分布

图 7 为乘客体表空气流速分布情况。由图可知，空调风道前端部分（即靠近一位端）乘客的体表空气流速稍比尾部（即靠近二位端）的乘客高，但均在 0.2m/s 以下。乘客腿部风速比头部普遍偏高，且靠近废排风道排风口的风速最高，在 0.3m/s 左右。

4 结论

本文采用 CFD 技术，对夏季工况下某高速动车组车内流场进行了分析。计算中考虑了车内部件及乘客对车内流场的影响，符合实际情况。本文的分析结果形象直观地对客室内的空气流场作出分析和评价，可为工程设计提供指导。

(1) 客室内横、纵、垂断面均在 0.6 m/s 以下，速度分布较均匀；乘客周围微风速为 0.05~0.6m/s，分布均匀，满足 UIC553 中“客室内风速要求在 0.05~0.6m/s 之间”的规定。

(2) 在夏季工况下，该空调通风系统能使车厢内得到比较合理的微风速分布，满足乘客舒适性要求。

(3) 空调送风口、排风口的位置和结构, 以及车内部件布置, 均对车内流场存在较大影响, 可作为进一步优化研究的目标。

5 参考文献

- [1] Hara J, Fujitani K, et al. Computer Simulation of Passenger Compartment Air-flow[C]. SAE paper 881749, 1988.
- [2] UIC553-2004 《客车通风、采暖及空调》.
- [3] 王刚. 新型高速列车气流组织与热舒适性研究. 哈尔滨工业大学博士论文. 2003, 6.
- [4] 谭洪卫. 计算流体动力学在建筑环境工程上的应用. 暖通空调. 1999, 29(4): 31~ 35.
- [5] 孙剑, 汤广发, 李念平, 刘云川. 复杂外形建筑室内气流数值模拟研究. 暖通空调. 2002, 32(2): 8~ 10.
- [6] 陈焕新, 黄素逸, 张登春. 空调列车室内气流分布的数值模拟. 流体机械. 2002, 30(4): 59~ 61.