

轨道客车环境实验室内部空气流动的数值仿真研究

Numerical Simulation of Internal Air-Flow in an Environmental Laboratory for Railway Vehicles

王云霄 夏春晶 刘凤华 刘涛

长春轨道客车股份有限公司技术中心基础研发部

摘 要 : 采用 STAR-CCM+软件对轨道客车环境实验室内部空气流动进行数值仿真研究, 得出送风通道水平截面及车厢纵截面的速度分布。研究发现上路送风速度较大且分布均匀, 而下路送风情况相反。车厢顶部南北两侧各存在一气流漩涡。尽管车厢南侧空气速度略大于车厢北侧空气速度, 但整体空气分布均匀性仍较好。

关键词 : 轨道客车环境实验室; 内部流动; 数值仿真; STAR-CCM+;

Abstract: A numerical simulation of internal air-flow in an environmental laboratory for railway vehicles is performed by STAR-CCM+ from which the velocity distribution of air-inflow channel and the vehicle's vertical section are got. It can be found that the velocity of the upper air-inflow channel is bigger and the air distribution is more uniform than the lower. Two eddies exist at top of the vehicle. It is proved that the uniformity of the air distribution is good enough though the velocity at south side of the vehicle is a little bigger than the north side.

Keywords: environmental laboratory for railway vehicles; internal flow; numerical simulation; STAR-CCM+

1 引言

随着国民经济水平的不断提升, 我国轨道客车制造业已跨入快速发展的新时期, 不断投入运营的各种轨道客车为旅客往来于城际及市内提供便利。然而, 轨道客车在保证安全和快捷的同时, 也应满足舒适方面的要求。为研究轨道客车内部的各种舒适性指标, 可通过建立轨道客车环境实验室模拟不同外部环境, 使轨道客车置于其中进行实验。业内著名公司如德国西门子及法国阿尔斯通均建有包括环境实验室在内的试验中心, 为其产品开发提供数据支持。国内的中国南车及中国北车亦相继建立包括环境实验室在内高速列车系统集成国家工程实验室, 为该领域的研究打下坚实基础^[1]。

为深入了解轨道客车环境实验室内部空气的流动特点, 采用 STAR-CCM+软件对其进行数值仿真研究。得到空气速度分布, 并对其分布均匀性进行分析, 以此为改进环境实验室送风方式以提高空气分布均匀性提供参考。

2 数值仿真模型

2.1 几何模型

鉴于主要研究环境实验室内部的空气流动状况，因此对其真实结构进行合理简化，简化后的几何模型如图 1。

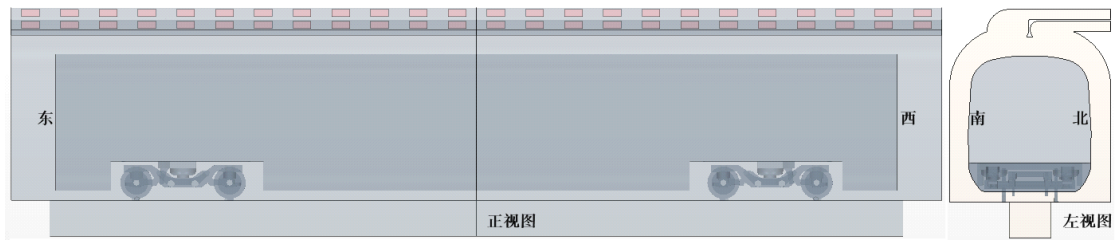


图 1 环境实验室几何模型

库体顶部北侧安装有 24 台风机，自东向西编为 1#至 24#。24 台风机将空气送入库内，空气经过方形分配通道变为流量相等的上下两路气流；上路气流沿库体南侧顶部弧面向下流动至车厢南侧，下路气流流经库内中上方回转导流板后改变方向，沿库体北侧顶部弧面向下流至车厢北侧；两路气流向内下流至地面后通过车厢底部向库体正下方的地沟汇聚，最终由地沟风口流出。

由于空气流经空间结构沿东西方向的中心面对称，因此选取其二分之一作为计算区域。计算区域主要采用四面体网格进行离散，同时对库体及车厢壁面进行边界层网格处理。图 2 为计算区域的网格示意，网格总数约为 310 万。

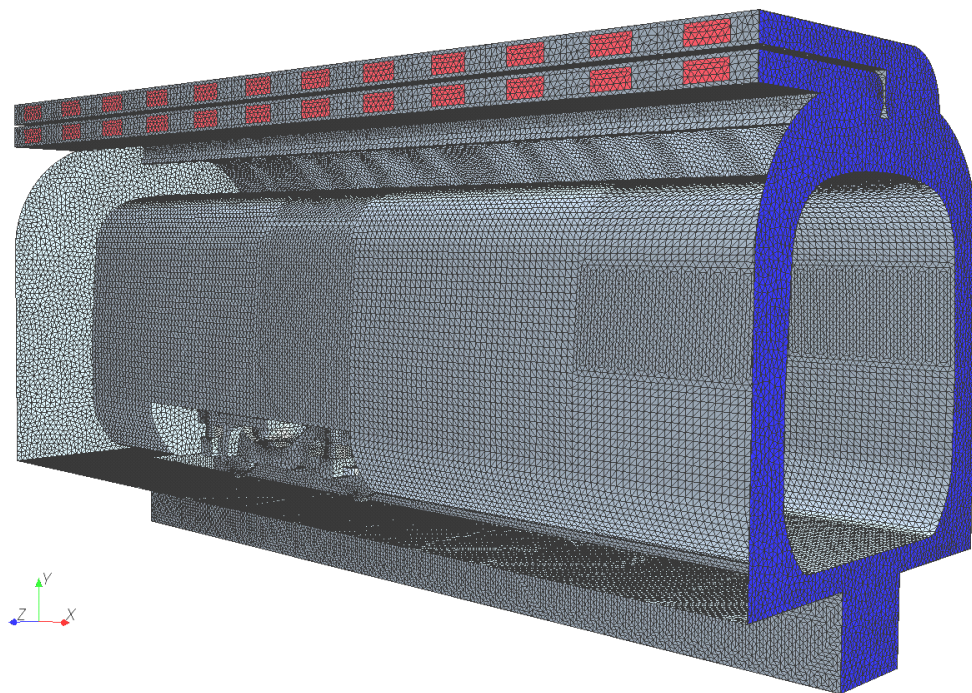


图 2 计算区域网格示意

2.2 数学模型

由于计算区域为立体空间，只考察稳定状态下的气流分布，计算区域仅存在单相气体，因此依次选择 Three Dimensional、Steady、Liquid 模型。内部空气的温度范围为 -40°C 至 $+40^{\circ}\text{C}$ ，速度范围为

1m/s 至 3.5m/s,在此条件下空气不可压缩即密度为常数,因此依次选择 Segregated Flow 和 Constant Density 模型。流动状态为湍流,选用 Standard K- ϵ 模型。

库体顶部的空气方形分配通道截面作为计算区域入口,空气速度设为 1m/s;库体底部地沟风口作为计算区域出口,空气全部由此口流出;库体东西方向的中心面作为计算区域对称面,其余库体及车厢壁面作为计算区域边界。表 1 中列出计算区域及边界的类型。

表 1 计算区域及边界的类型及主要技术参数

	描述	类型
计算区域	库体内部车厢外部的空气流动空间	Fluid
计算区域边界	库体顶部的空气方形分配通道截面	Velocity Inlet
	库体底部地沟风口	Flow-Split Outlet
	库体东西方向中心面	Symmetry
	库体及车厢壁面	Wall

3 结果分析

3.1 送风道气流速度分布

库体顶部有上下两路送风通道,图 3 为该两路通道水平方向中心截面的速度分布。空气自风机以 1m/s 的速度进入送风通道,该速度保持一段距离后逐渐衰减,且各支气流之间存在明显的一对气流漩涡。对于上路风道,由于长度较大,气流融合状况较好,遇库体南侧顶部弧面前气流速度约为 0.3m/s,沿库体东西方向分布均匀;而对于下路风道,由于长度较小且遇有导流板阻挡,此处气流速度在 0.1m/s 至 0.3m/s 之间,沿库体东西方向分布不均匀,无明显规律。

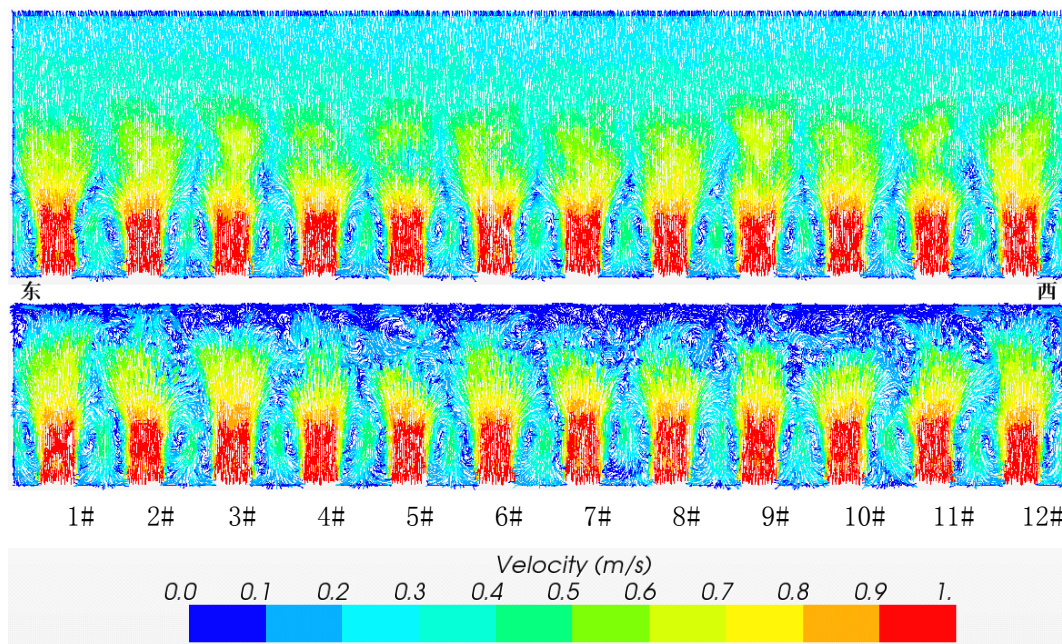


图 3 上路风道及下路风道速度分布

3.2 库体纵截面气流速度分布

为考察环境实验室内车厢端部、转向架部及车厢中部的纵向气流分布规律，对应选取 2#、6#、12#风机所在处的库体纵截面作为研究对象，该三个截面的速度分布见图 4。

由图中的三幅典型截面可见，上路气流遇拱顶向下转向后，大部分气流沿车厢南侧壁向下流动，小部分气流遇车厢顶部后速度逐渐减小，改变方向后向上回旋，在主流区域与导流板之间形成漩涡。下路气流离开送风通道进入库内后方向逐渐向下偏移，遇导流板后主流急剧转向沿车厢北侧壁向下流动，转向前后的主流之间存在漩涡，同时有部分气流越过导流板与其南侧的气流漩涡融合。

对于车厢两侧的气流速度，南侧明显大于北侧。由于环境实验室采用由北至南、上下两路的送风方式，通往车厢北侧的气流遇导流板转向，相比之下压力损失较大，且有部分气流越过导流板汇入南侧气流，因此综合导致车厢南侧气流速度小于车厢北侧气流速度。

对于地沟方面，由于转向架处的地沟上方空间较大，因此该处地沟内部气流速度较小。

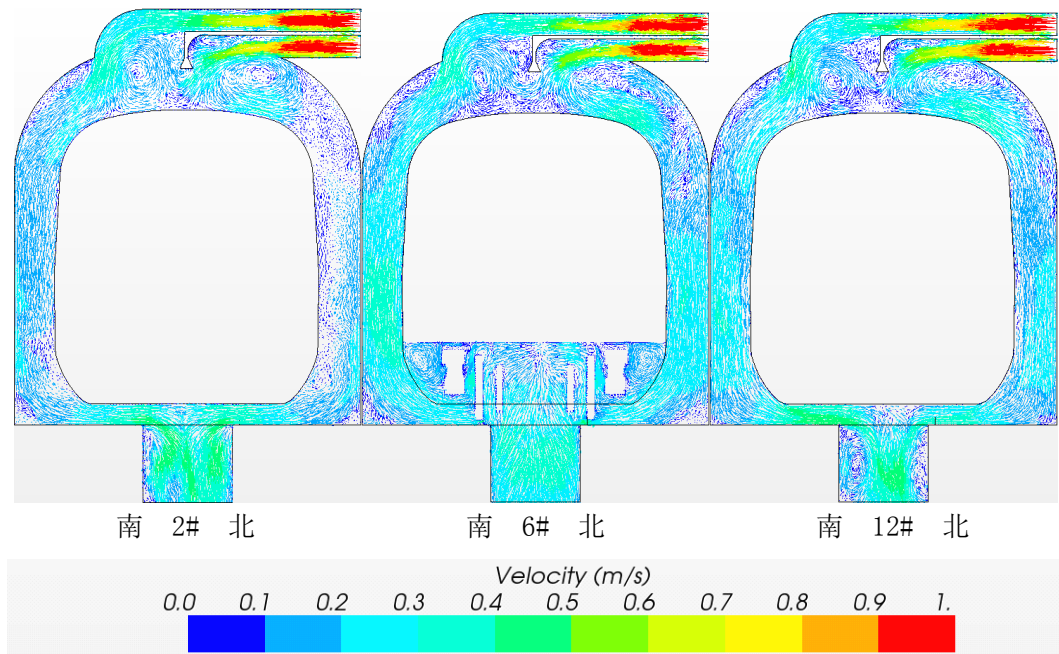


图 4 2#、6#、12#风机处纵截面速度分布

3.3 车厢两侧纵截面气流速度分布

车厢南北两侧壁面由于面积较大，因而是车厢内外交换热量的主要部分。侧壁附近的气流速度直接影响对流换热系数，所以应对此处进行重点考察。距车厢南北侧壁最外缘 10cm 处沿东西方向各取一纵截面，并在该截面上分别自车厢东端至车厢中心、由车底即距地面 0.4m 起，每隔 1m 向上作一条直线，至距地面 4.4m 止，每侧各 5 条直线，如图 5 所示。将 10 条直线的速度分布作于图 6，可以看出，同一高度下南侧直线上的速度高于北侧直线上的速度，平均值最大不超过 0.08m/s。

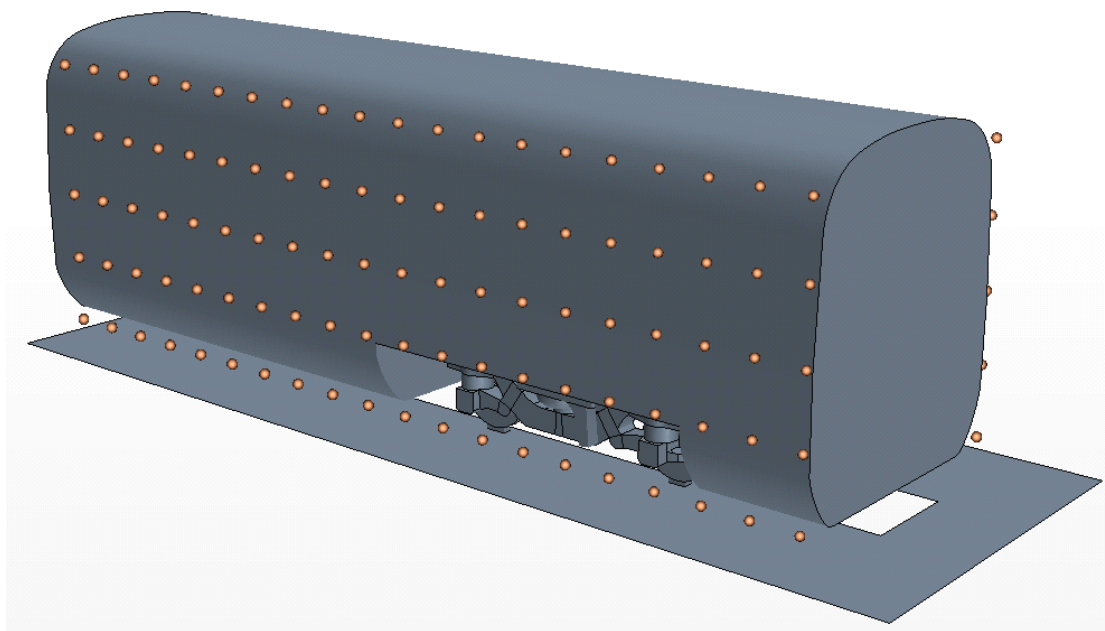


图5 车厢南侧北侧纵截面各高度直线示意

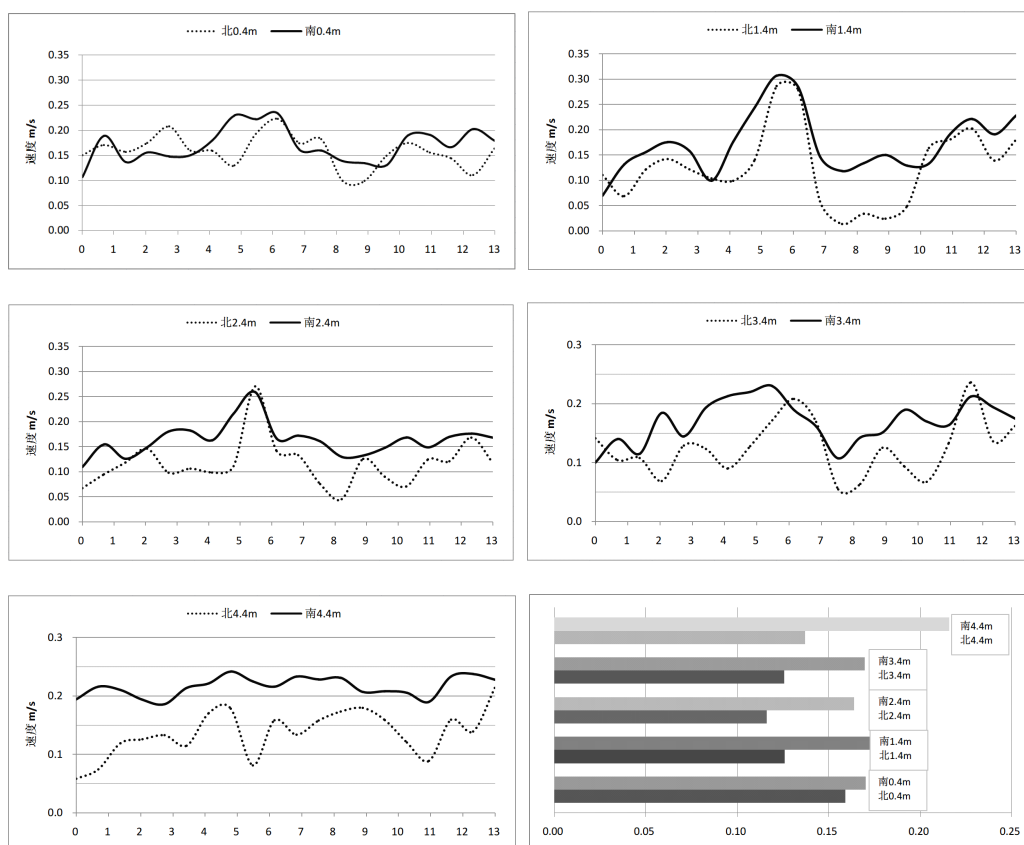


图6 车厢两侧不同高度直线速度分布及平均值对比

4 结论

通过数值仿真可知,空气以 1m/s 的速度进入送风通道后速度逐渐衰减,各支气流之间存在一对气流漩涡。上路风道气流融合状况较好,沿库体东西方向分布均匀;而下路风道因有导流板阻挡,此处气流速度在 0.1m/s 至 0.3m/s 之间,沿库体东西方向分布不均匀。

上路气流遇拱顶向下转向后,大部分气流沿车厢南侧壁向下流动,小部分气流遇车厢顶部后后向上回旋形成漩涡。下路气流进入库内后方向逐渐向下偏移,遇导流板后转向沿车厢北侧壁向下流动,并在转向前后的主流之间形成漩涡,同时有部分气流越过导流板与其南侧的气流漩涡融合。

由于环境实验室采用由北至南、上下两路的送风方式,通往车厢北侧的气流遇导流板转向,相比之下压力损失较大,且有部分气流越过导流板汇入南侧气流,因此综合导致车厢南侧气流速度小于车厢北侧气流速度。通过数据分析,同一高度下南侧直线上的速度高于北侧直线上的速度,但平均值最高相差不超过 0.08m/s,气流分布均匀性较好。

参考文献

- [1] 熊伟.高速列车系统集成国家工程实验室的关键研究领域.城市轨道交通研究.2010,02.