

汽车方舱空调系统的仿真分析

徐晓明, 赵又群

(南京航空航天大学 能源与动力学院, 210016 南京, xuxiaoming3777@163.com)

摘要: 为选择合适的汽车方舱空调系统和进出风模式,运用 FLUENT 软件,对升温、降温和考虑辐射 3 种工况进行仿真计算,得到相应的舱内速度和温度分布. 升温时,经过 300 s 舱内平均温度从 243 K 升到 290 K;降温时,经过 300 s 舱内平均温度从 343 K 降低到 302 K;降温时考虑辐射,经过 264 s 舱内平均温度从 343 K 降低到 302 K. 对不同进、出风模式进行仿真计算,得到制冷(热)效果较好的进、出风模式. 结果表明:选择左进左出模式有利于利用方舱上层空间;选择右进右出模式有利于利用方舱下层空间;复杂进风模式的通风效果比简易进风模式优越;前出风模式比下出风模式优越. 上述结论为空调选择和进出风模式确定提供了参考依据.

关键词: 汽车方舱;空调系统;进出风模式;仿真分析;辐射

中图分类号: U461 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2012)03-0092-04

Simulation analysis of car shelter air-conditioning

XU Xiao-ming, ZHAO You-qun

(College of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 210016 Nanjing, China, xuxiaoming3777@163.com)

Abstract: Simulations on three kinds of working conditions (heating, cooling and radiation) and different kinds of air-inlet and air-outlet patterns to gain the corresponding distribution of air velocity and temperature inside the shelter were done with FLUENT software. The results indicated that: the cabin average temperature rose from 243 K to 290 K after 300 s when heated; the temperature reduced from 343 K to 302 K after 300 s when cooling; the temperature reduced from 343 K to 302 K after 264 s when considering the effect of radiation during the course of cooling. The results also indicated that: the average air velocity of left-in and left-out pattern was the biggest in the upper space of shelter, while it was the biggest in the lower space of shelter by choosing the right-in and right-out pattern; ventilating effect of complicated air-inlet pattern was better than that of simple air-inlet pattern, and the front-direction removal pattern was better than the down-direction removal pattern.

Key words: car shelter; air-conditioning; air-inlet and air-outlet patterns; simulation analysis; radiation

汽车乘员对乘坐的舒适性要求比较高,研究如何形成合理的气流组织,满足车内人员的舒适性要求,以达到良好的空调效果并满足节省能耗的要求,具有十分重要的理论意义和实际价值^[1]. 车内有设备和乘员,不但几何边界复杂,而且还存在太

阳辐射、人体和设备散热等复杂的热边界条件,很难进行数值模拟. 近些年来,随着数值计算方法的改进和计算机性能的提高,CFD(Computational Fluid Dynamics)技术得到了飞速的发展^[2-6]. 采用 CFD 模拟空调车室内环境的技术已经运用到汽车空调的设计中,通过对汽车室内空气流动和传热的数值模拟,可得到空间的流场和温度场的分布,进而指导汽车空调的优化设计^[7-10].

本文应用 FLUENT 软件,对不同进出风模式的汽车方舱空调系统进行仿真,得出气动参数并

收稿日期: 2011-01-27.

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划资助(CXLX11-0182).

作者简介: 徐晓明(1982—),男,博士研究生;
赵又群(1968—),男,教授,博士生导师.

进行比较分析,期望为空调选择和进出风模式的确定提供参考依据。

1 计算模型、方法和边界条件

1.1 计算模型

图1为方舱空调系统不同进出风模式示意。

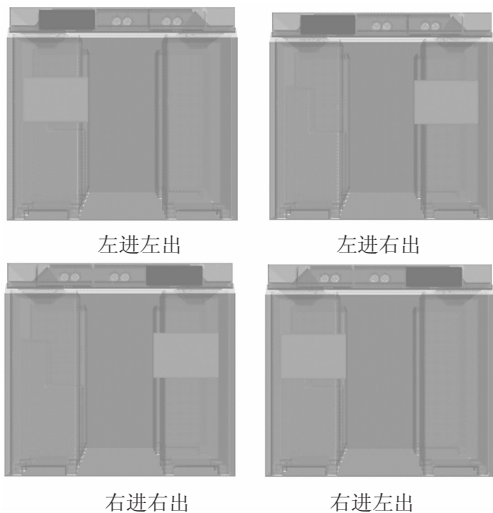


图1 方舱空调系统不同进出风模式

1.2 数学模型

通常状态下,汽车空调系统的空气流动为不可压缩流动,空气介质的物性参数恒为常数。考虑到汽车空调系统的空气流动具有分离现象,应按湍流处理。其控制方程组如下。

连续方程:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0; \quad (1)$$

动量守恒方程:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{v}; \quad (2)$$

能量守恒方程:

$$\rho c_p \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} + u \frac{\partial t}{\partial x} + v \frac{\partial t}{\partial y} + w \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (3)$$

式中: \mathbf{v} 为速度矢量; p 为压力; ρ 为空气密度, 1.205 kg/m^3 ; μ 为空气动力粘性系数, $1.81 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ 。

1.3 计算方法

采用三维不可压缩雷诺平均方程 N-S 方程和标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型;控制界面的物理量应用二阶迎风差分格式获得;运用 SIMPLE 压力修正法进行迭代^[11]。

1.4 边界条件

入口处的湍流度设为 0.1%;出口为压力出口边界条件,为标准大气压;壁面采用无滑移边界条件,速度为零,且与外界热交换;方舱壁外温度

视具体算例给定。

2 结果分析

2.1 稳态分析

表1为方舱不同进出风模式各截面平均速度比较表。方舱上层空间:左进左出模式的截面平均速度最大,需要有效利用方舱上层空间时宜选用左进左出模式;方舱下层空间:右进右出模式的截面平均速度最大,需要有效利用方舱下层空间时宜选用右进右出模式。

表1 方舱不同进出风模式各截面平均速度比较 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Z	左进左出	左进右出	右进右出	右进左出
1.5	0.290 5	0.288 7	0.277 1	0.280 6
1.4	0.267 8	0.266 5	0.256 1	0.251 0
1.3	0.251 6	0.249 5	0.246 0	0.237 7
1.2	0.252 2	0.246 7	0.250 2	0.243 9
1.1	0.243 0	0.233 7	0.242 0	0.242 9
1.0	0.246 9	0.231 9	0.245 3	0.246 2
0.9	0.257 5	0.238 0	0.256 9	0.255 7
0.8	0.263 7	0.240 0	0.267 9	0.265 7
0.7	0.262 8	0.252 5	0.267 3	0.262 9
0.6	0.259 0	0.255 1	0.262 7	0.255 6

2.2 瞬态分析

进风口流量为 0.26 kg/s ,方舱舱体壁厚为 50 mm ,传热系数为 $1.5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$ 。

2.2.1 升温过程

选用的方舱空调系统为左进左出模式,进风口温度为 295 K ,外界温度为 243 K 。图2为截面取 $Y = 0 \text{ m}$ 时,温度随时间变化图,图3为舱内平均温度随时间变化图。升温时,前 60 s 内温度上升迅速,随后缓慢增长,舱内平均温度在 300 s 时达到 290 K ,比进风口温度低 5 K 。

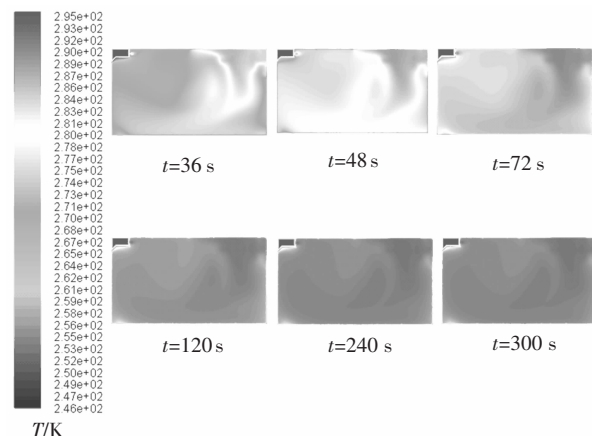


图2 升温过程 $Y = 0 \text{ m}$ 时温度随时间变化

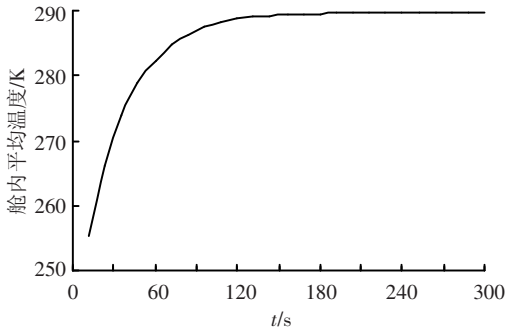


图3 升温时舱内平均温度随时间变化

2.2.2 降温过程

选用的方舱空调系统为左进左出模式,进风口温度为 298 K,外界温度为 343 K.图 4 为截面取 $Y = 0$ m 时,温度随时间变化图,图 5 为舱内平均温度随时间变化图.降温时,前 60 s 内温度下降迅速,随后缓慢降低,舱内平均温度在 300 s 时达到 302 K,比进风口温度高 4 K.

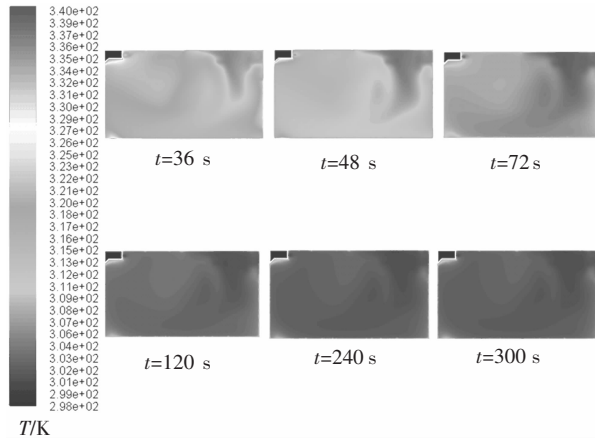


图4 降温过程 $Y = 0$ m 时温度随时间变化

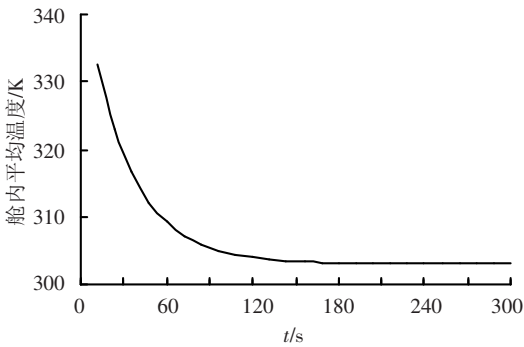


图5 降温时舱内平均温度随时间变化

2.3 降温时考虑不同进风口温度的影响

进风温度的高低直接影响降温效果,选用的方舱空调系统为左进左出模式,进风口温度分别为 298 K 和 302 K,相差 4 K,外界温度为 343 K.图 6 为降温时考虑不同进风口温度的影响,舱内平均温度随时间变化.进风口温度为 298 K 的舱内平均温度下降比进风口温度为 302 K 的快,两者舱内平均温度在 300 s 时分别达到 302 K 和

306 K,相差仍然为 4 K.

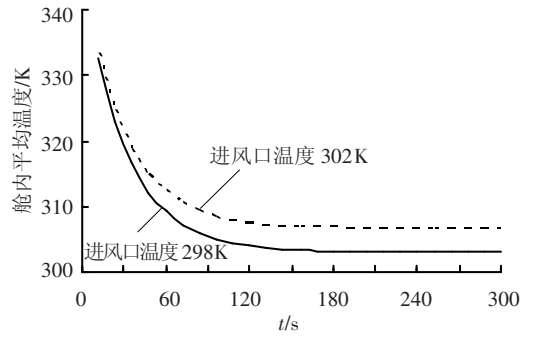


图6 降温时考虑不同进风口温度影响的情况下舱内平均温度随时间变化

2.4 降温时考虑辐射的影响

选用的方舱空调系统为左进左出模式,内部设备发热量为 2 300 W,太阳平均辐射强度为 634 W/m^2 ,方舱舱壁吸收率为 0.85,进风口流量为 0.52 kg/s ,进风口温度为 278 K,外界温度为 343 K.图 7 为截面取 $Y = 0$ m 时,温度随时间变化图,图 8 为降温时考虑辐射的影响,舱内平均温度随时间变化图.降温时,前 30 s 内温度下降迅速,随后缓慢降低,舱内平均温度在 264 s 时达到 302 K.

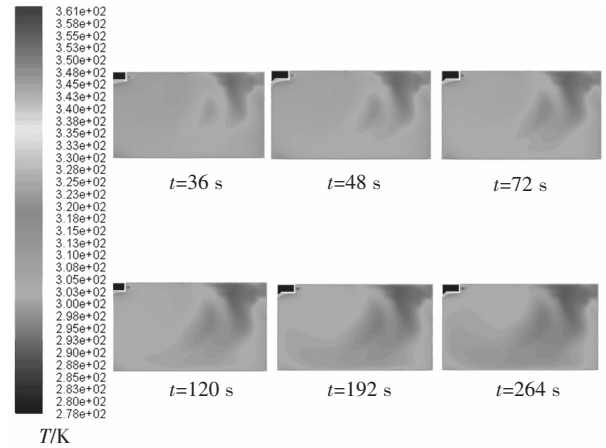


图7 $Y = 0$ m 时温度随时间变化

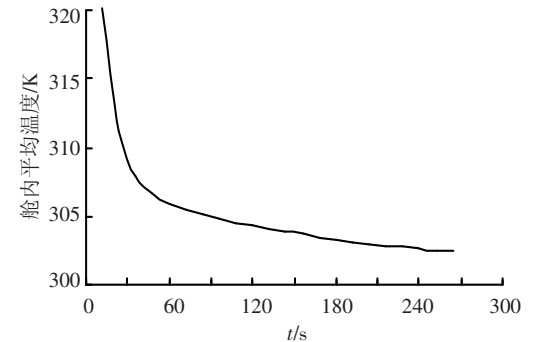


图8 降温时考虑辐射影响的情况下舱内平均温度随时间变化

3 不同进风模式的比较

图9 为简易进风模式示意图(复杂进风模式

如图1所示).

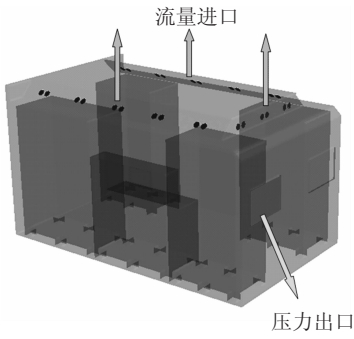


图9 简易进风模式示意图

表2为两种不同进风模式的截面平均速度比较表.复杂进风模式的平均速度比简易进风模式大,说明复杂进风模式各截面所经过的空气流量更大.复杂进风模式出风口截面平均速度为1.424 5 m/s,简易进风模式出风口截面平均速度为1.245 2 m/s,也是复杂进风模式较大.综上所述,复杂进风模式的通风效果较优越.

表2 两种不同进风模式的截面平均速度比较 $m \cdot s^{-1}$

Z	复杂进风模式	简易进风模式
1.5	0.290 5	0.219 1
1.4	0.267 8	0.213 2
1.3	0.251 6	0.212 9
1.2	0.252 2	0.230 2
1.1	0.243 0	0.227 3
1.0	0.246 9	0.229 0
0.9	0.257 5	0.233 6
0.8	0.263 7	0.234 3
0.7	0.262 8	0.235 9
0.6	0.259 0	0.221 0
0.5	0.257 6	0.203 1

4 不同出风模式的比较

4.1 下出风模式

图10为下出风模式.

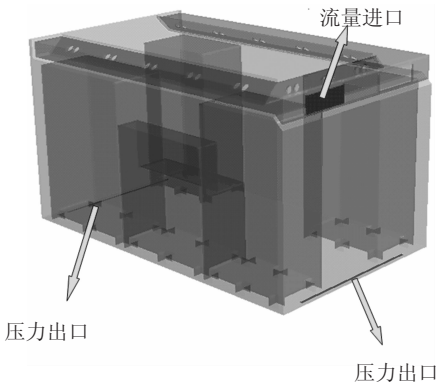


图10 下出风模式

4.2 升温过程的比较

进风口温度为295 K,外界温度为243 K.图11为升温时,不同出风模式舱内平均温度随时间变化图.前出风模式的舱内平均温度略高于下出风模式,且空调运行初始阶段升温速度快于下出风模式,两者舱内平均温度在300 s时达到290 K.升温时,前出风模式较优越.

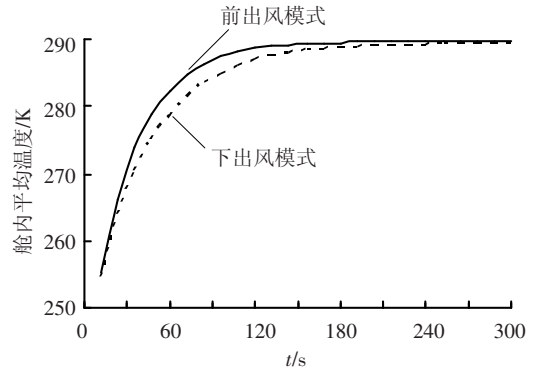


图11 升温时不同出风模式舱内平均温度随时间变化

4.3 降温过程的比较

进风口温度为298 K,外界温度为343 K.图12为降温时,不同出风模式舱内平均温度随时间变化图.前出风模式的舱内平均温度略低于下出风模式,且空调运行初始阶段降温速度快于下出风模式,两者舱内平均温度在300 s时达到302 K.降温时,前出风模式较优越.

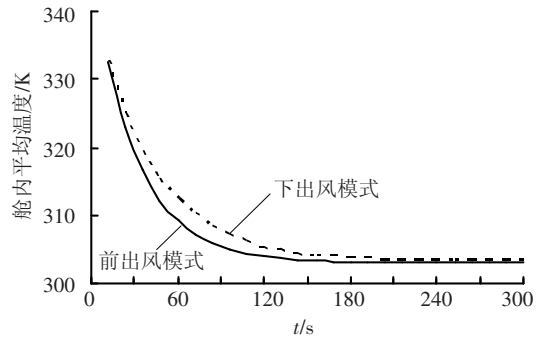


图12 降温时不同出风模式舱内平均温度随时间变化

5 结论

1)选用的方舱空调系统为左进左出模式,升温时,舱内平均温度在300 s时达到290 K;降温时不考虑辐射,舱内平均温度在300 s时达到302 K;降温过程中,考虑辐射影响的舱内平均温度在264 s时达到302 K.

2)对两种不同进风模式进行比较分析,复杂进风模式的通风效果比简易进风模式优越.

3)对两种不同出风模式进行比较分析,空调运行时,前出风模式比下出风模式优越.

(下转第101页)