

文章编号:1671-6833(2014)03-0124-05

基于 Isight 和 Fluent 软件的轿车空调风向优化研究

谢金法, 段 冉

(河南科技大学 车辆与动力工程学院, 河南 洛阳, 471003)

摘 要: 运用计算流体力学软件 FLUENT, 采用压力基耦合求解器, RNG $\kappa-\varepsilon$ 两方程模型作为三维湍流模型, 研究乘员舱在降温过程中非定常温度场的仿真计算. 建立集成数值仿真、近似模型以及优化算法三部分的工作流程. 运用数值仿真训练近似模型, 采用径向基函数神经网络近似模型代替费时的仿真计算, 选用多岛遗传算法优化进风方向. 将优化后风向与垂直于进风风口的风向分别代入仿真软件进行仿真计算. 对比优化前后的热流量值以及温度云图可知, 前座椅热流量优化后提高 11.98%, 后座椅热流量优化后提高 17.81%. 且优化后的降温面积与降温程度得到改善.

关键词: 进风方向; 径向基函数神经网络; 多岛遗传算法; 车室降温速率

中图分类号: U462.1 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.03.030

0 引言

夏日停放在户外的车辆, 乘员舱温度会迅速飙升到 50℃ 以上, 这对汽车车室舒适性评价产生严重影响. 因此需要提前打开车内空调降低车内温度. 笔者在假设空调风速最大和进风温度最低的情况下, 优化进风风向, 使车内温度下降速度最大化.

目前, 国内外对车内温度场的研究是运用 CFD 技术对车室内空气流动、换热^[1-4]以及在不同空调风口布置情况下^[5]的数值模拟研究, 探讨人体热舒适性 with 空气流场、速度场的关系. 因此需要对提高车室降温速率优化空调风向的方法进行探索研究. 本文是以仿真计算为基础, 采用计算机辅助优化平台 Isight, 使近似模型组件与仿真软件数据连接, 实现近似模型组件自动调用仿真程序. 通过仿真计算得到的数值点来拟合近似模型, 达到精度的近似模型代替费时的数值仿真. 然后优化组件与近似模型组件实现数据连接并进行优化, 节约优化的时间, 符合精度要求. 该优化策略的流程原理图如图 1 所示.

1 仿真计算

1.1 几何模型

以双排轿车乘员舱为研究对象, 车室长 2.4 m,

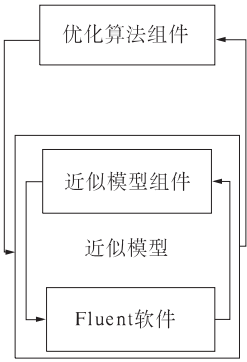


图 1 优化策略流程图

Fig. 1 Flow chart of optimization strategy

宽 1.6 m, 高 1.4 m. 由于发动机舱, 后备箱以及车轮对乘员舱内流场没有影响, 因此将其忽略简化. 轿车座舱内部结构非常复杂, 车内细微结构对空气流动影响很小. 因此, 对乘员舱结构模型进行如下简化: ①简化车室壁面与座椅的几何形状. ②忽略转向盘, 简化前排仪表盘的细微结构. ③计算中忽略除霜的影响^[6]. ④对车舱进行对称处理, 降低计算规模.

简化后的车室如图 2 所示, 冷气流通过前端 4 个进风口进入车舱, 从位于控制台下方中线位置的出风口流出. 简化后的模型如图 2 所示.

1.2 数学模型

笔者研究的是车内温度下降过程, 不考虑车

收稿日期:2013-11-03; 修订日期:2013-12-12

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(082300440100)

作者简介:谢金法(1964-), 男, 江苏宜兴人, 河南科技大学教授, 博士, 主要从事车辆工程方面的研究, E-mail: jfx-
ie821@163.com

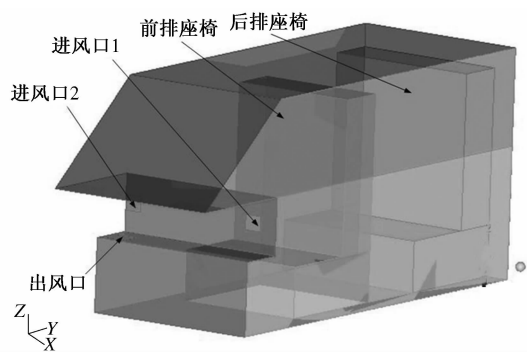


图 2 车室简化图

Fig. 2 Compartments simplified picture

室缝隙与外界的空气流动,舱室内气密性良好.故车内流场采用不可压非定常流场,车内空气流动为湍流,采用 $\text{RNG}k-\varepsilon$ 模型模拟该流场.

各控制方程微分方程如下.

1) 连续方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0. \tag{1}$$

2) 动量方程:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u} u_i) = \text{div}(\mu \text{grad} u_i) - \frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i. \tag{2}$$

3) 能量方程:

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u} T) = \text{div}\left(\frac{k}{c} \text{grad} T\right) + S_T. \tag{3}$$

4) 湍动能:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u} k - \frac{\mu}{\sigma_k} \text{grad} k) = G - \rho \varepsilon. \tag{4}$$

5) 湍动能耗散率方程:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u} \varepsilon - \frac{\mu}{\sigma_\varepsilon} \text{grad} \varepsilon) = \frac{\varepsilon}{k} (C_1 G - C_2 \rho \varepsilon). \tag{5}$$

式中: ρ 表示空气密度; t 表示时间; \vec{u} 表示速度矢量; p 表示大气压力; u_i 表示 x_i 方向的速度分量; S 表示广义源项; k 表示湍动能; G 表示湍动能生成项; μ 表示空气黏性系数; σ_k 、 σ_ε 分别表示与湍动能 k 与耗散率 ε 对应的 Prandtl 数; C_1 、 C_2 为经验常数;一般取 $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.2$, $C_1 = 1.44$, $C_2 = 1.92$ ^[7].

1.3 网格前处理

车室的网格划分需要计算机仿真计算量小,能够较好地控制网格生成质量,同时保证边界层网格等特点,但是非结构化网格计算量大,而结构化网格具有以上优点.因此对车厢内采用 ICEM^[8] 软件进行结构化网格处理,分别对车室生成网格数为 359 817,202 033,117 668,92 680.将不同的结构化网格导入 Fluent 数值计算,计算得

到的前后座椅的热流量值如表 1,网格数359 817,202 033 与 117 668 的热流量值相差小于 2%,而网格数 92 680 与其他网格数的计算热流量值大于 5%.最终在权衡计算成本与网格质量,生成网格数为 117 668.

表 1 不同网格数计算的前后座椅的热流量值

Tab.1 heat flow value of front and rear seats in different mesh count

热流量	网格数			
	359 817	202 033	117 668	92 680
前排座椅热流量	48.542 60	48.101 86	47.163 81	44.333 98
后排座椅热流量	43.388 08	43.080 08	43.166 42	45.324 74

1.4 仿真设置

根据热工理论,车室内空气满足气体状态方程;其次,车室内的空气流速都是在 10 ~ 20 m/s 以下的低速流动,因此,可认为车内空气为不可压缩流体.并且车室内空调通风下的空气密度变化不大,车内空气流动符合 Boussinesq 假设.室内空气的黏性不可忽略,其空气流动是自然对流和强迫对流并存的混合对流^[9].由于温度场下降过程时间短变化快,从而忽略太阳辐射在非定常计算过程中的辐射换热.主要考虑车内空气与固体壁面的对流换热.选用 FLUENT 作为舱内流场数值模拟的求解器.参数设置的具体步骤如下:

(1) 激活 FLUENT Start Journal 命令,从而开始脚本录制进程,命名脚本文件为 input. jou 为 FLUENT 集成到 Isight 中制作命令流文件.

(2) 选用非定常压力基耦合求解器(PBCS).

(3) 选用 $\text{RNG}k-\varepsilon$ 两方程模型作为车室三维湍流模型.

(4) 设置各个壁面的边界条件,进风口选用速度入口条件,速度设为 2 m/s,速度方向变量用笛卡尔坐标系表示,进风温度设为 16 ℃.出风口选用 outflow 出口,对称面选用 symmetry 条件.

(5) 设定初始温度为 53 ℃,时间步长设为 0.05 s,时间步数为 200,最大迭代次数为 50.在固定的时间 10 s 内,通过 FLUENT 的仿真运算,计算出前后座椅的热通量作为优化的目标函数.

(6) 计算完成后,激活 Start Transcript,选择 Report/Fluxes/seat.然后关闭 Transcript,保存为 output. dat.

(7) 关闭 Fluent.

2 近似模型建立

车室温度场近似模型以及优化计算都是建立

在 Isight 软件优化平台上. Isight 具备广泛的 CAD/CAE 乃至自编程序集成接口,用户可以拖拽方式快速建立复杂的仿真分析优化流程,设定和修改设计变量以及目标,自动进行多次分析循环^[9]. 创建近似模型的过程如图 3 所示.

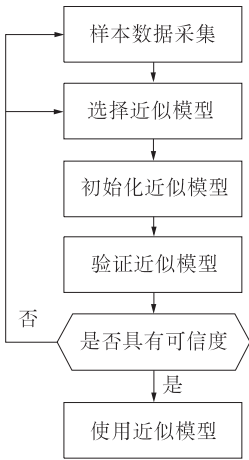


图 3 近似模型工作流程图

Fig.3 Approximate model work flow chart

近似模型的数据采集,需要有输入值(称为因子)和输出值(称为响应),风向在笛卡尔坐标系的方向分量为输入因子并定义为 $\text{inlet} - x/y/z$,侧边的进风口为 inlet1 ,中间的进风口为 inlet2 . 乘员上车后,首先身体会和车座直接接触,最主要的不舒适因素是来自车座的热量传递. 提高汽车室内降温速率主要考虑车座的降温速率,定义固定时间 10 s 内的车座热流量为输出响应,前车座为 output1 ,后车座为 output2 .

2.1 仿真程序集成

运用 Isight 的 Simcode 组件集成调用 Fluent 软件,Simcode 集成仿真程序的方法是:①解析输入文件,更新输入参数;②通过命令行执行仿真程序;③解析输出文件读取仿真结果.

编写 Fluent 批处理文件 fluent. bat 使可以 Simcode 组件调用 Fluent 程序,输入文件为网格文件与脚本文件 input. jou ,输出文件为 output. dat . 其原理如图 4 所示.

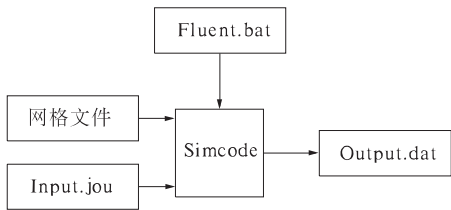


图 4 Simcode 集成原理图

Fig.4 Principle diagram of Simcode

2.2 近似模型的选择与搭建

选择径向基函数(RBF)神经网络代替高强度的仿真计算. 径向基函数神经网络具有单隐层的三层前馈网络,RBF 网络可以任意精度逼近任意的非线性函数,且具有全局逼近能力,从根本上解决 BP 网络的局部最优问题,而且拓扑结构紧凑,结构参数可实现分离学习,收敛速度快,提高神经网络的学习泛化能力.

近似模型通过 Simcode 组件自动调用 FLU-ENT 程序实现数据采集,采集方法选用优化超立方设计(Optimal Latin Hypercube Design)方法采集样本点. 优化超立方设计方法可以使采样点在设计空间均匀随机采样,并通过优化的方法使得采样点尽可能的分布均匀,避免缺口区域出现. 近似模型一共采集 200 个样本点, R^2 分析达到 0.9 以上,符合工程要求,成功建立近似模型.

3 优化过程

选用多岛遗传算法(Multi-island GA),遗传算法(GA, Genetic Algorithm)主要借助生物进化过程中“适者生存”的规律,模仿生物进化过程中的遗传繁殖机制,对优化问题解空间的个体进行编码(二进制或者其他进制),然后对编码后的个体种群进行遗传操作(如:选择、交叉、变异等),多岛遗传算法是对并行分布遗传算法的改进,MI-GA 将一个大的种群分成若干个子种群(subpopulation),形象成为“岛”,而在每个岛上运用传统的 GA 算法进行子群进化. MIGA 算法每隔一定的代数,会按一定的比例选择各岛的个体,转移到其他的岛上,完成种群间个体的交换,增加个体的多样性,因此它具有比传统遗传算法更优良的全局求解能力和计算效率.

应用 Isight 中的优化组件,建立近似模型与优化组件的工作流如图 5 所示. 优化算法的参数设定:①子种群规模(Sub-Population Size)设定为 600;②岛(子群)的个数(Number of Generation)设定为 10;③总进化的代数(Number of Generation)设定为 5;④交叉概率(Rate of Crossover)设定为 1.0;⑤变异概率(Rate of Mutation)设定为 0.01;⑥岛间迁移率(Rate of Migration)设定为 0.01.

将优化结果的风向代入 Fluent 仿真计算得到前后座椅的热流量,将优化结果与风向垂直于进风风口面时座椅的热流量进行对比,结果如表 2 所示. 可以看出,前座椅热流量优化后提高

11.98%,后座椅热流量优化后提高17.81%.

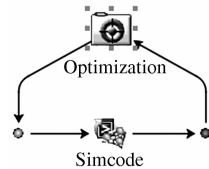


图 5 优化工作流程图

Fig.5 optimization work flow chart

对比风向垂直进风风口面前后座椅的温度云图与优化风向前后座椅的温度云图. 对比图 6、7 可知,风向垂直风口面的前座椅降温区域最低温度为 44℃,优化风向的前座椅降温区域最低温度为 42℃,明显低于前者,且最低温度区域与降温区域面积都显著大于优化前的降温区域面积. 对比图 6、7 可知,风向垂直风口面的后座椅降温区域最低温度与优化风向的后座椅降温区域最低温度同为 45℃,但优化风向的降温区域面积显著大于优化前的降温区域面积. 可见,前后座椅的降温程度与降温面积在优化后得到改善.

4 结论

通过 Isight 定义探索策略并自动驱动仿真软件 Fluent 获取最佳设计. 相比传统的人工优化流

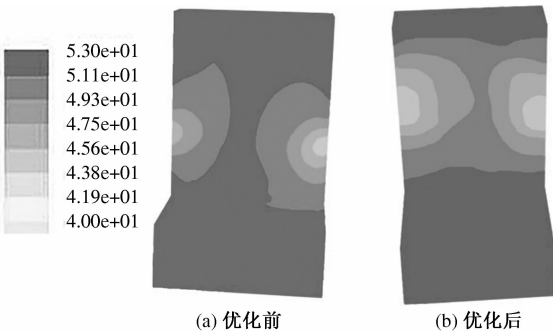


图 6 风向垂直风口及风向优化后的前座椅温度云图

Fig.6 Temperature nephogram of front seat in condition of the direction of vertical supply-air tuyere surface & optimizea direction

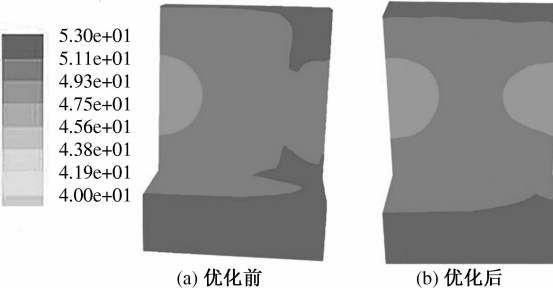


图 7 风向垂直风口及风向优化后的后座椅温度云图

Fig.7 Temperature nephogram of rear seat in condition of the direction of vertical supply-air tuyere surface & optimized direction

表 2 风向垂直及风向优化后侧边进风口 (inlet1) 与中间进风口 (inlet2) 风向坐标分量以及前座椅热流量 (output1) 与后座椅热流量 (output2)

Tab.2 Supply-air broadside inlet (inlet1), supply-air middle inlet (inlet2), the heat flow of front seat (output1), the heat flow of rear seat (output2)

风向	inlet1 - x	inlet1 - y	inlet1 - z	inlet2 - x	inlet2 - y	inlet2 - z	output1/W	output2/W
优化风向	-0.032 7	1.000 0	0.301 2	0.023 5	1.000 0	0.224 6	47.163 81	43.166 42
风向垂直	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	42.117 84	36.637 77

程,笔者运用的优化技术实现自动迭代仿真流程,自动寻找最佳设计方案,实现 24 h 工作,最大程度地缩短设计周期. 搭建仿真计算、近似模型以及全局优化的工作流程,实现多学科协同设计.

(1)采用优化技术得到的风向在数值计算取得的前后座椅温度云图相比无优化的温度云图最低温度降低 2℃,且降温区域面积大于无优化风向的降温区域.

(2)优化取得的前后座椅热量流量值对比无优化风向的热流量值共提高 20.83%,达到优化风向提高降温效果的目标.

参考文献:

[1] 熊可嘉,杨志刚. 轿车空调车室内流动换热计算

[J]. 同济大学学报:自然科学版,2011,39(5):3-10.

[2] 张文灿,陈吉清,兰凤崇. 太阳辐射下车窗玻璃特性对车内温度场的影响研究[J]. 机械工程学报,2011,47(22):119-125

[3] BESSOU DO M,TZEMPELIKOS A. Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices—Part I :Experiments and building thermal model[J]. Building and Enviroument, 2010(45):2506-2516

[4] HAN T Y,CHEN K H,KHALIGHI B. Assessment of various environmental thermal loads on passenger thermal comfort[R]. SAE,2010-01-120,2010.

[5] 莫志姣,杨易,邓峰. 车用空调风口布置 CFD 数值仿真研究[J]. 建筑热能通风空调,2008,27(1):63

- 67.

[6] 肖红林,李洪亮,王远,等. 考虑人体散热的轿车座舱内流场数值仿真研究[J]. 计算机仿真,2011(6):240 – 251.

[7] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2011.

[8] 纪兵兵,陈金瓶. 网格划分技术实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012. 6.

[9] 李先庭,赵彬. 室内空气流动数值模拟[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

[10] 赖宇阳. Isight 参数优化理论与实例详解[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2012.

Research on Optimization of Car-Air Conditioning Wind Direction
Based on Isight and Fluent Software

XIE Jin-fa, DUAN Ran

(College of Vehicle and Power Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: The cooling process of unsteady temperature field in the crew capsule is simulated, making use of computational fluid dynamics software FLUENT and the algorithm of PBCS, in addition to $RNG\kappa-\varepsilon$ two equation model replaced with the three-dimensional turbulence model. And then the workflow is established, which includes numerical simulation, approximate model and optimization algorithm. The numerical simulation trains approximation model, using radial basis function (RBF) neural network approximation model instead of the high cost of the simulation calculation. Multi-island GA is chosen to optimize the wind direction. The wind direction optimized and the wind direction vertical surface of inlet tuyere are calculated by simulation software respectively. Compared before and after the optimization of heat flow value and temperature contours, front seat heat flow increases by 11.98% after optimization, rear seat heat flow increases by 17.81% after optimization, and the optimized cooling area and cooling degree are improved.

Key words: wind direction; RBF; multi-island A; cooling rate of the crew capsule

(上接第 123 页)

Finite Element Analysis of Preventing the Reflective Cracking of Rubber
Powder Modified Asphalt Stress Absorbing Layer

TANG Ying

(Key Laboratory of Highway Construction and Maintenance Technique in Loess Area , Shanxi Provincial Research Institute of Communications, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The mechanical effects of reflective cracking prevention on rubber powder modified asphalt stress absorbing layer is calculated and analyzed by ANSYS modeling. Then the stress effects of the various interlayer parameters are also discussed. The results show that the stress absorbing layer of rubber modified asphalt can effectively prevent reflective cracking of asphalt layers paved on the old cement pavement, the stress condition of the surface layer can be improved significantly by reducing modulus of the stress absorbing layer, and the reflective cracking could be reduced correspondingly. The author recommends the reasonable modulus range of the rubber powder modified asphalt stress absorbing layer is 50 Mpa ~ 200 Mpa, and the reasonable thickness is 0.5 cm ~ 2.5 cm.

Key words: rubber powder modified asphalt; stress absorbing layer; reflective cracking; mechanical analysis