

燃料电池客车暖风系统及热舒适性优化

蔡思远¹ 刘丛浩² 井绪宝³

辽宁工业大学, 辽宁 锦州 121012

[摘要] 为了对暖风系统进行优化, 减少其散热器数量, 并使其能满足客车的采暖需求及乘员舱热舒适性要求, 文中以某燃料电池汽车的暖风系统为研究对象, 将 8 散热器的暖风系统优化为 6 散热器的暖风系统, 通过 AMESim 软件建立了两种工况下的乘员舱换热模型, 对乘员舱进行取暖及与外界环境换热的仿真, 得到车舱内温度、人体舒适性指标等仿真结果, 将结果进行舒适性优化, 可看出该车优化后的暖风系统能满足客车的采暖需求及热舒适性要求。

[关键词] 暖风系统; 热舒适性优化; AMESim

DOI: 10.33142/sca.v4i5.4887

中图分类号: U463.851

文献标识码: A

Heating System and Thermal Comfort Optimization of Fuel Cell Bus

CAI Siyuan¹, LIU Conghao², JING Xubao³

Liaoning University of Technology, Jinzhou, Liaoning, 121012, China

Abstract: In order to optimize the heating system, reduce the number of radiators and make it meet the heating requirements of passenger cars and the thermal comfort requirements of passenger compartment, this paper takes the heating system of a fuel cell vehicle as the research object, optimizes the heating system of 8 radiators into the heating system of 6 heat diffusers, and establishes the heat exchange model of passenger compartment under two working conditions through AMESim software. The simulation of heating and heat exchange with the external environment is carried out for the passenger compartment, and the simulation results such as temperature in the cabin and human comfort index are obtained. After the comfort optimization of the results, it can be seen that the optimized heating system of the vehicle can meet the heating requirements and thermal comfort requirements of the bus.

Keywords: heating system; thermal comfort optimization; AMESim

暖风是现代客车不可或缺的一个重要的系统, 在寒冷的冬季时, 其可以快速提高客车内温度, 大大的提升了汽车的舒适性, 而在汽车驾驶室等相对封闭的环境下, 客车散热器的数量对内部空间布局及人体的舒适性都有着重要的影响。因此对于暖风系统的散热器数量进行优化及乘员舱内的热舒适性研究的重要性就不言而喻了。

国内外也有许多的学者对汽车暖风系统及热舒适性进行了研究。张文安等^[1]研究了客车的暖风系统对整车续航里程的影响, 得到了低温会加大暖风的能耗, 从而使续航里程下降的结论。张炳力等^[2]对客车的取暖系统进行了匹配计算, 以研究其暖风性能, 并使用 AMESim 进行仿真, 以提高暖风性能。张丹等^[3]综合考虑了车舱与外界的太阳辐射和车舱内部的辐射量情况, 进行了车舱的冷流场与温度场之间联合仿真, 以评价车舱的舒适性。Piao Canghao^[4]等基于 Amesim, 对车舱内升温时的温度和湿度进行了仿真分析, 以评价车舱的热舒适性。本文以燃料电池汽车的暖风系统为研究对象, 在一维仿真软件 AMESim 中建立了乘用舱的内部采暖及与外界环境换热模型, 比较了 8 散热器与 6 散热器能否达到同样的采暖目的, 并对热舒适性进行了优化。

1 计算公式

1.1 透明玻璃换热

客车的透明玻璃进行的热交换主要有三种方式: 一是与外界环境的自然对流、二是太阳辐射、三是与车内部环境的对流交换^[5]。其各部分的数学计算公式如下。与外界对流换热计算公式:

$$q = hA\Delta T \quad (1)$$

式中: h 表示材料表面传热系数 ($W/(m^2 \cdot K)$); A 表示换热面积 (m^2); ΔT 为玻璃表面与外界环境之间的温度差 ($^{\circ}C$)。

太阳辐射换热计算公式: 得到的辐照功率 q_s 为:

$$q_s = h_s A_s \quad (2)$$

式中: h_s 表示太阳辐照度 (W/m^2); A_s 为辐射交换面积 (m^2)。穿过因子 τ 和吸收因子 e 必须在范围 0 到 1 内, 并且遵守下式:

$$\tau + e < 1 \quad (3)$$

从大气到地面的辐射功率 q_r 计算如下:

$$q_r = \sigma \varepsilon_{gw} A_s \Delta T \quad (4)$$

式中: σ 为 Stefan-Boltzmann 常数 ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} (\text{W}/\text{m}^2 / \text{K}^4)$); ε_{gw} 为表面的发射因子, A_s 为辐射交换面积 (m^2); ΔT 为玻璃表面与外界环境之间的温度差 ($^{\circ}\text{C}$)。

穿过玻璃的功率为:

$$q_1 = e \times q_s + q_r \quad (5)$$

玻璃吸收的功率为:

$$q_2 = \tau \times q_s \quad (6)$$

玻璃表面与外界辐射的功率为:

$$q_3 = (1 - \tau - e) q_s - q_r \quad (7)$$

玻璃表面与车厢内部的对流换热计算公式同式 (1), 其中的 ΔT 为玻璃与车厢内部流体之间的温度差。

1.2 非透明车体换热

客车的非透明车体换热部分主要包括两个部分, 一个是车顶部分, 另一个是车侧面的壁面部分。其中车顶部分可以看成是由外部金属材料、空气层、内部帆布层组成的三层壁面与太阳辐射及自然对流之间的换热。车侧面的车壁可以看成是由外部金属材料、空气层、内部金属层组成的三层壁面与太阳辐射及自然对流之间的换热。两部分的计算公式相同, 需要考虑的只是不同材料之间传热系数的差异。其对流换热与辐射换热的计算公式与式 (1) 至 (4)、(6)、(7) 相同, 只需要考虑材料的换热系数, 与外表面金属材料的吸收因子。

1.3 仪表盘及座椅换热

由于阳光可以透过玻璃直射仪表盘与座椅上, 因此还需考虑它们与车厢内部之间的换热。其吸收的功率即为式 (5) 中的 q_1 , 其与内部流体之间的换热计算公式与式 (1) 相同。

1.4 车舱内热负荷计算

想要建立车舱的换热模型必须先进行驾驶室的热负荷计算, 从而计算出暖风系统散热器出风温度, 进一步的再暖风系统的进行优化。客车的热负荷 Q 的计算公式如下^[6]:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (8)$$

式中, Q_1 为车体非透明部分换热 (包括壁面与太阳辐射之间的换热及与车舱内部的换热); Q_2 为透明玻璃表面的换热 (包括玻璃表面的自然对流换热与玻璃表面的太阳辐射换热); Q_3 为车内仪表盘与车内的对流换热; Q_4 为车内座椅与车内的对流换热。

2 AEMSsim 建模及参数标定

2.1 建立车舱热交换模型

在 AEMSsim 中建立包含 8 个散热器的车舱热交换模型, 以 8 个湿空气源代替汽车暖风系统的散热器, 其模型图如图 1 所示。

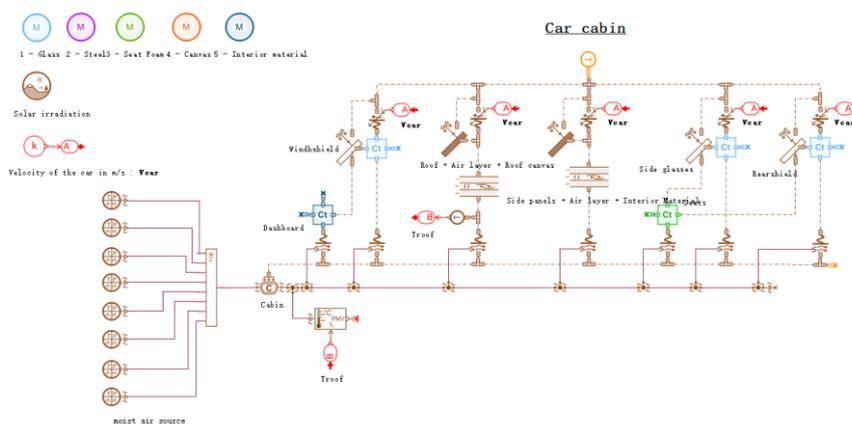


图 1 含 8 散热器的车舱热交换模型

同理，只需将湿空气源数量减少即可得到 6 散热器暖风系统的车舱热交换模型，如图 2 所示。

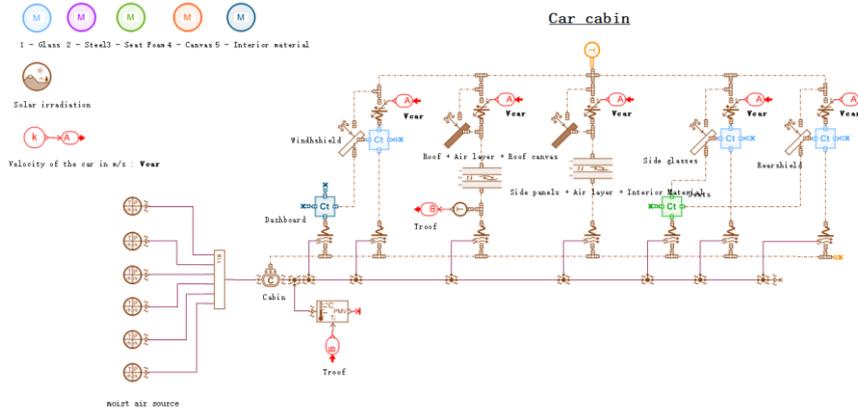


图 2 含 6 散热器的车舱热交换模型

2.2 参数标定

假定外部环境为 12 月份的北京，客车为白色的车体，由此可在 AEMSIm 设定太阳辐射功率，车外部壁面的吸收因子与外部环境温度如表 1 所示。

表 1 气温及材料吸收因子参数表

环境温度 (°C)	吸收因子
5	0.2

对于散热器，本论文不考虑热水流经每个散热器之间的热损失，并将其都定为恒温，因此各散热器可看做为参数相同同一个散热器。其参数如表 2 所示。

表 2 散热器参数表

出风温度 (°C)	相对湿度 (%)	质量流量 (Kg/S)
30	20	0.5

3 仿真结果分析及优化

3.1 仿真结果分析

设定客车的速度为 0，将各参数输入模型中，开始运行程序。根据冬季客车采暖的要求，至少要保证暖风系统可以在 10 分钟内将车厢内的温度加热到可以使人感觉到温暖的程度。图 3 是车舱内的温度变化图，从图中可以看出，散热器散热 10 分钟时可以将车内温度提升到 26°C 左右，当车内温度 28°C 左右达到稳态，满足客车冬季采暖的要求。

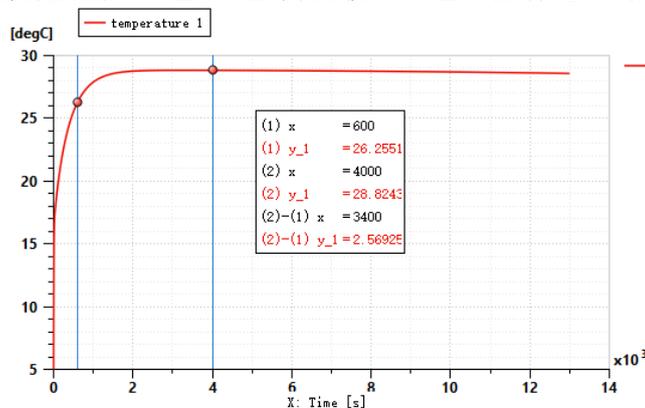


图 3 含 8 散热器车舱温度变化图

图 4 是 6 散热器的车舱内的温度变化图，从图中可以看出 10 分钟时，车舱内的温度可以达到 25°C 左右，50 分钟

左右车舱内的温度达到稳态，大约 28℃ 左右，同样可以满足客车冬季采暖的要求。

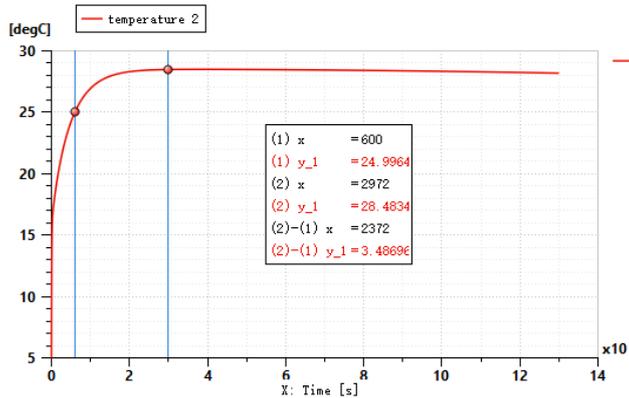


图 4 含 6 散热器车舱温度变化图

对比图 3 与图 4 可以看出，相比较于 8 散热器的暖风系统，6 散热器的暖风系统使车厢升温的速度慢些，但两者都可以满足客车冬季采暖的要求。

3.2 热舒适度优化

从上文可知，6 散热器的暖风系统能够满足采暖需求，但并未考虑人的热舒适性，因此对于散热器的出风温度并未做要求。为了使车内温度能够稳定在使人感到最舒适的范围内，需要对散热器的出风温度进行优化。打开人体舒适性评价元件，如图 5 所示，找到人感到最舒适的温度区间，可以看出人体所感到的最舒适的温度大概为 25℃ 左右。

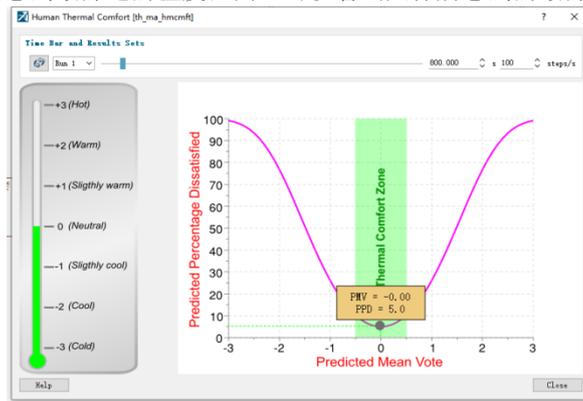


图 5 人体舒适度评价指标图

以散热器出风温度为输入，车舱内温度为输出进行优化设计，图 6 为优化结果图，图 7 为散热器温度优化曲线，从两图中可以看出当散热器温度为 26.76℃ 左右时，车舱内的温度为 25℃ 左右。

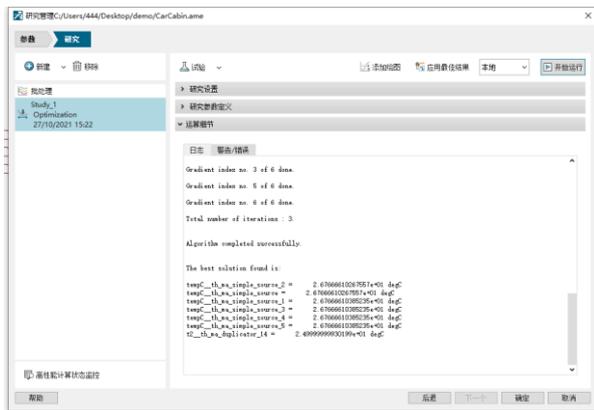


图 6 优化结果图

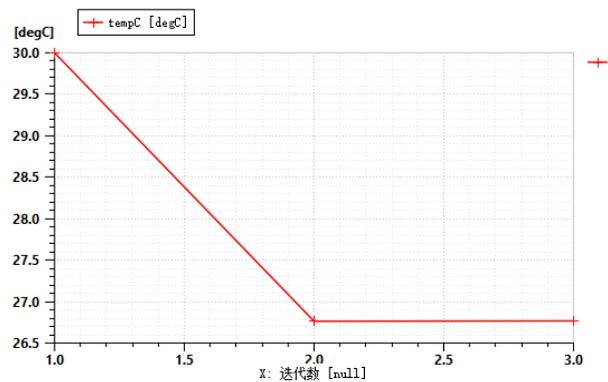


图 7 散热器温度优化曲线图

优化前后车舱内的温度变化对比图如下：

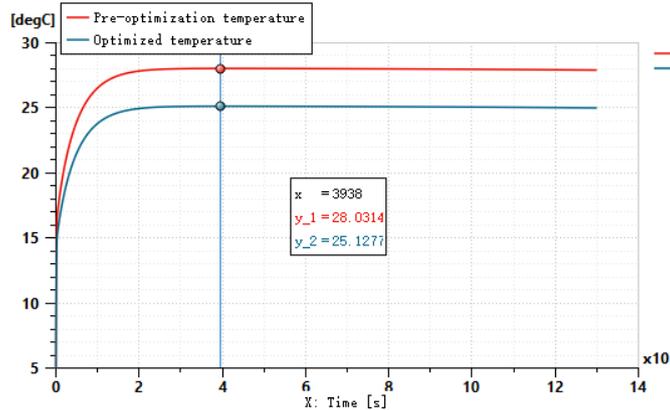


图8 优化前后对比车舱温度变化图

因此在不改变其他条件的前提下，将散热器温度从 30℃ 改为 26.76℃ 时，可以使人感到最舒适。

4 结论

- (1) 将客车暖风系统中的 8 个散热器减少为 6 个，改善了车厢内部布局。
- (2) 将客车暖风系统中的 8 个散热器减少为 6 个以后，并不影响其取暖性能，同样可以满足客车冬季采暖的要求。
- (3) 将散热器的温度从 30 优化到 26.76 可以在保持取暖性能的同时达到最大的舒适度要求，使人感到最舒适。

[参考文献]

- [1] 张安文, 赵强, 刘焕东. 燃料电池公交车暖风系统对续驶里程的影响[J]. 内燃机与动力装置, 2020, 37(3): 77-80.
- [2] 张炳力, 张高超, 窦聪. 车辆采暖系统匹配计算与性能分析[J]. 汽车科技, 2013(5): 1-5.
- [3] 张丹, 徐新洁, 刘希东. 某轻卡乘员舱热舒适性分析[J]. 汽车工程学报, 2020, 10(6): 448-457.
- [4] Piao C, Wang W, Liu Z. Research on vehicle cabin temperature and thermal comfort optimal control based on fuzzy PID[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1865(3): 32-39.
- [5] 宋黎明, 胡见, 于哲. 基于 AMESim 的某纯电动车型热管理系统的研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2018, 36(3): 430-435.
- [6] 曹晓玉. 基于 Amesim 的汽车空调系统能耗研究[J]. 交通节能与环保, 2020, 16(3): 13-20.

作者简介：蔡思远（1996-），学校：辽宁工业大学，职务：研究生。