

# 基于人体热舒适性评估的直升机空调通风系统优化设计

毛晓东, 代子杰, 曾文, 王鹤翔

(沈阳航空航天大学航空发动机学院, 沈阳, 110136)

**摘要** 直升机座舱空间狭小、乘员密集并且热载荷大,需要引入新鲜制冷空气以满足多乘员热舒适性要求。因此,优化设计座舱空调通风系统具有重要意义。针对典型直升机座舱布局,建立了舱室和乘员三维模型。定义乘员周围温度、温度偏离、乘员周围速度、PMV和空气龄作为热舒适性评估指标;设计并计算3种不同空调通风系统布局方案,通过对热舒适性评估指标的综合比较分析,选定最优布局方案;在此基础上,采用多目标遗传算法,定义以PMV和空气龄为基础的双目标函数,对空调送风口位置参数开展仿真优化。通过分析结果数据和帕累托前沿,确定最优空调送风口位置参数,完成座舱空调通风系统最优设计。最后对仿真优化结果进行了试验研究,验证了仿真计算的准确性和有效性。

**关键词** 直升机座舱;空调通风系统;热舒适性

**DOI** 10.3969/j.issn.2097-1915.2023.01.008

**中图分类号** V271.4 **文献标志码** A **文章编号** 2097-1915(2023)01-0051-08

## Optimization Design of Helicopter Air Conditioning Ventilation System Based on Human Thermal Comfort Evaluation

MAO Xiaodong, DAI Zijie, ZENG Wen, WANG Hexiang

(School of Aero-engine, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

**Abstract** Aimed at the problems that helicopter cockpit is narrow in space, passengers are high at density of population and thermal load is heavy, and multiple passengers are thirsty for introducing a fresh cooling air of thermal comfort, an optimization design of air conditioning and ventilation system for cabin is proposed. In view of the typical helicopter cockpit layout, a three-dimensional model of cabin and crew is built. Defining the occupant ambient temperature, temperature deviation, occupant ambient speed, PMV (predicted mean vote) and air age as thermal comfort evaluation indicators, three different layout schemes of air conditioning and ventilation systems are designed and calculated, and the optimal layout scheme is selected through the comprehensive comparative analysis of thermal comfort evaluation indicators. On the basis of the optimal layout scheme, the multi-objective genetic algorithm is used to define the double objective function based on PMV and air age, and the simulation optimization of the location parameters of the air supply outlet of the air conditioner is carried out. Through the analysis of the result data and Pareto front, the optimal location parameters of the air supply outlet of the air conditioner are determined, and the optimal design of the cabin air conditioning and ventilation system is completed. And the accuracy and effectiveness of simulation are verified.

**收稿日期:** 2022-08-29

**基金项目:** 辽宁省“兴辽英才计划”(XLYC1802092)

**作者简介:** 毛晓东(1984—),男,辽宁大连人,副教授,研究方向为飞行器环控系统。E-mail:maoxiaodong@sau.edu.cn

**引用格式:** 毛晓东,代子杰,曾文,等.基于人体热舒适性评估的直升机空调通风系统优化设计[J].空军工程大学学报,2023,24(1):51-58.  
MAO Xiaodong,DAI Zijie,ZENG Wen,et al. Optimization Design of Helicopter Air Conditioning Ventilation System Based on Human Thermal Comfort Evaluation[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2023, 24(1): 51-58.

**Key words** helicopter cabin; air-conditioning ventilation system; thermal comfort

随着航空工业的快速发展,飞机面临更复杂的外界环境,飞行员对座舱热舒适的要求越来越高<sup>[1]</sup>。直升机一般都在高空飞行,面临着气温低、气压低和空气稀少等条件恶劣的外部环境,热舒适性差会使驾驶人员感到不适或疲劳,进而成为威胁飞行安全的重大隐患。因此,通过优化设计座舱空调通风系统,从而满足多乘员热舒适性指标要求,具有十分重要的意义。

近年来,针对各类舱室空调通风系统及乘员热舒适性的研究受到了越来越广泛的关注。文献[2]通过模拟研究不同送风形式和送风条件对船舶舱室气流组织舒适性和排污能力的影响,得出了适合该船舶舱室的最佳送风方案。文献[3]研究了空调送风方式对车辆舱室热舒适性的影响,得出了人员热舒适性最佳时的送风位置高度。文献[4]对商业飞机客舱的空气分配系统进行了评估,结果表明在空气分配系统中,个性化的通风使人员舒适性达到最佳。文献[5]模拟了飞机客舱内的流场,并对舱室内人员进行了热舒适性评价。文献[6]等针对某型机驾驶舱热舒适性的问题,对其驾驶室进行了仿真模拟,得出了热舒适性最佳时的送风温度。

目前针对船舶、车辆和民用客机舱室的空调通风系统及热舒适性研究较为普遍<sup>[7-15]</sup>,而针对直升机座舱的研究很少<sup>[16]</sup>。直升机座舱乘员密集且热载荷大,对空调通风系统流量要求较高。又因其空间狭小,舱内结构复杂,不利于气流组织的合理分布。因此,通过对空调通风系统的优化设计,改善直升机座舱乘员热舒适性,保证成员操作能力,具有十分重要的意义。

本文基于典型直升机座舱三维模型,结合热舒适评价指标,利用 CFD 及多目标遗传算法,对直升机座舱空调通风系统布局及空调送风口位置参数开展仿真优化研究。通过试验,验证仿真计算结果的准确性和有效性。

## 1 仿真模型建立

### 1.1 座舱及乘员三维模型

建立直升机典型座舱及乘员三维模型,座舱布局如下:舱室内共有 5 名乘员,前排 2 位主副驾驶员加后排 3 位乘员、1 个仪表台、1 个主副驾驶员中央操作台和前后排分割挡板。考虑到实际座舱的复杂性,在不影响流场计算的情况下对内部结构进行简化,去掉所有细节特征,操作台仅保留其外形。

采用盒式人体模型,人体尺寸参数<sup>[17]</sup>采用 50

百分位人体数据作为设计标准。根据相关规范<sup>[18-20]</sup>,确定前后排座椅安装位置及相关姿态参数。最终三维模型及乘员编号,如图 1 所示。

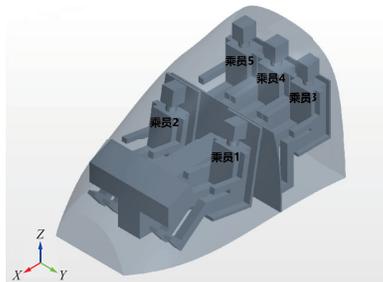


图1 座舱及乘员三维模型示意图

分别在 5 位乘员的头部、腹部和脚部设置 3 个测点,用于测量乘员的流场参数。各测点距离乘员表面 5 mm,具体位置如图 2 所示。

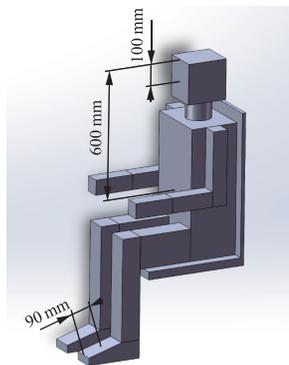


图2 乘员测点位置图

### 1.2 网格划分

采用切割体网格对计算域进行网格划分,根据舱室大小定义基础网格尺寸为 0.05 m,边界层网格 6 层。此外,对于人体及仪表台等特征表面进行适当的网格加密,保证仿真模型的固有形状。对于送风口和回风口位置也要进行局部网格加密,确保计算结果合理。通过网格无关性验证,最终确定网格数约 400 万。图 3 为定义的 4 个关键截面处的网格。

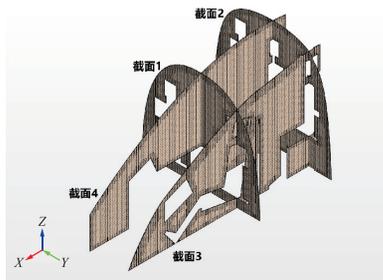


图3 座舱网格模型

### 1.3 边界条件

空调通风系统总送风量为 1 400 kg/h,空调送风口最大供气速度为 2.5 m/s。各送风口送风量及送风口尺寸根据空调通风系统管网设计得出。根据环

控系统试验数据,制冷工况下空调系统送风温度为 16 ℃。人体热载荷 116 W,仪表台功率 200 W。服装热阻和座舱初始温度根据 GJB 1193—1991 中相关参数选取,乘员在夏季热环境下的服装热阻为 1.0 clo,极热天外环境温度为 38 ℃,座舱初始温度 46 ℃。

## 2 热舒适性评估指标

为了综合评估乘员热舒适性,作为后续空调通风系统布局及参数优化的研究基础,根据国军标基本要求以及热舒适性相关研究现状,定义 5 个评估指标,分别为:乘员周围温度、温度偏离、乘员周围速度、热舒适性指标 PMV 和空气龄。

### 2.1 乘员周围温度

根据 GJB 1193—1991 并结合本文座舱情况,定义乘员周围温度如下:

$$T_i = \frac{T_{A_i} + T_{B_i} + T_{C_i}}{3} \quad (1)$$

式中:下角标  $i$  表示乘员编号; $T_i$  为第  $i$  个乘员周围温度(℃);下角标  $A$  表示乘员头部位置测量值;下角标  $B$  表示乘员腹部位置测量值;下角标  $C$  表示乘员脚部位置测量值。

### 2.2 温度偏离

定义温度偏离,即乘员周围任意测点温度偏离乘员周围温度的最大值:

$$\Delta T_i = \max(|T_{A_i} - T_i|, |T_{B_i} - T_i|, |T_{C_i} - T_i|) \quad (2)$$

式中: $\Delta T_i$  为第  $i$  个乘员的温度偏离(℃)。

GJB 1193—1991 中指明,驾驶员周围任意点温度偏离“驾驶员周围温度”不得超过  $\pm 3$  ℃。

### 2.3 乘员周围速度

定义乘员周围速度为各测点速度的最大值,即:

$$V_i = \max(V_{A_i}, V_{B_i}, V_{C_i}) \quad (3)$$

式中: $V_i$  为第  $i$  个乘员的周围速度(m/s); $V$  为各测点速度值(m/s)。

GJB 1193—1991 中指明,流经空勤人员附近的空气速度限制在 1.5~2.5 m/s 范围内,空勤人员迎面气流速度不超过 1 m/s。

### 2.4 热舒适性指标 PMV

PMV 值是表征人体热舒适性的重要指标<sup>[21]</sup>,代表在同一环境中大多数人的平均冷热感觉。在有限空间内,人员的热舒适性由 6 个主要因素决定,其中空气温度、平均辐射温度、相对湿度和空气流速由环境决定,人体新陈代谢率和服装热阻则由人体决定。PMV 值越接近 0 表示热舒适性越好<sup>[22]</sup>,正值表示人体感觉偏热,负值表示人体感觉偏冷。具体公式如下:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & [0.303 \exp(-0.036M) + 0.0275] \{ (M - W) - \\ & 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42 \times \\ & [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M \times (5867 - p_a) - \\ & 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times \\ & [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \quad (4) \end{aligned}$$

式中: $M$  为乘员代谢率( $\text{W}/\text{m}^2$ ); $W$  为乘员对外做功( $\text{W}/\text{m}^2$ ); $p_a$  为周围空气中水蒸气分压(Pa); $t_a$  为乘员周围空气温度(℃); $t_{cl}$  为服装外表面温度(℃); $t_r$  为周围环境平均辐射温度(℃); $f_{cl}$  为乘员服装面积系数; $h_c$  为对流换热系数( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )。

### 2.5 空气龄

空气龄是评价座舱空气品质的指标<sup>[23]</sup>,是众多评价指标中最直接反映座舱空气新鲜程度和舱内换气快慢程度的指标,其定义式为:

$$\varphi = \frac{\int_0^{\infty} c_p(\tau) \tau d\tau}{c_p(0)} \quad (5)$$

式中: $c_p(\tau)$  为测点在  $\tau$  时刻气体的浓度; $c_p(0)$  为测点在初始时刻气体的浓度; $\varphi$  为测点计算的空气龄。测点处空气龄数值越小,表明对应位置空气越新鲜。

## 3 座舱空调通风系统优化研究

### 3.1 座舱空调通风系统布局优化

首先针对空调通风系统布局方案,开展仿真计算与优化分析,共设计了 3 种空调通风系统布局方案。3 种布局送回风口,如图 4 所示,其中布局 2 及布局 3 仅标示出修改部分。

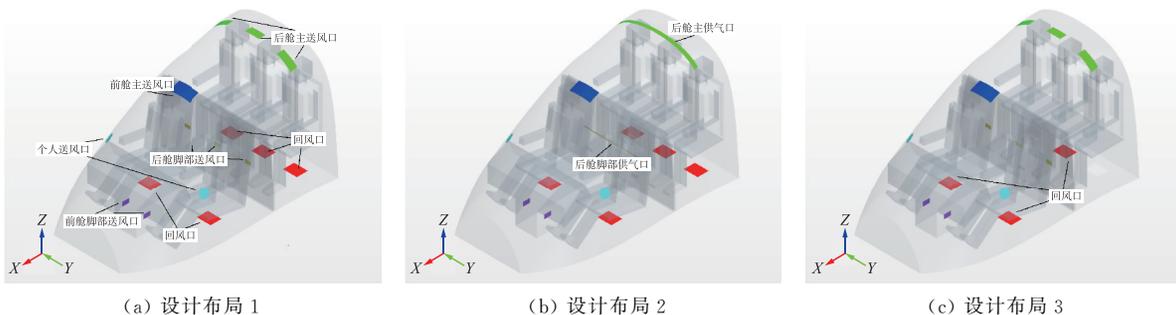
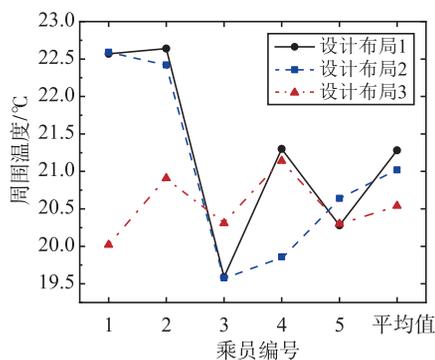


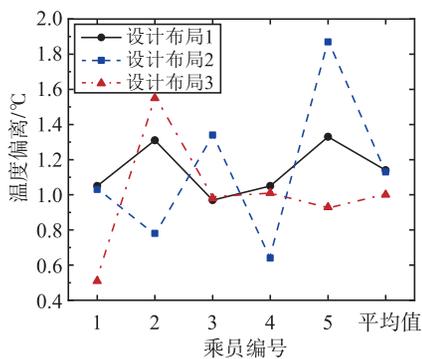
图 4 空调通风系统设计布局示意图

设计布局 1 参考了民用客机典型空调通风系统布局,结合直升机座舱热载荷分布及制冷需求,包括前舱顶部 1 个前舱主送风口,后舱座椅上方 3 个后舱主送风口,前舱两侧舱壁处各 1 个主副驾驶个人送风口,前舱中央控制台下方两侧各 1 个前舱脚部送风口,前后隔舱壁上 3 个后舱脚部送风口以及 5 位乘员座椅下方的各 1 个回风口;设计布局 2 在设计布局 1 的基础上,考虑后排乘员的排座特性,将后排的 3 个主送风口和 3 个脚部送风口,修改成单一长条形格栅主送风口和脚部送风口;设计布局 3 在设计布局 1 的基础上,考虑舱内空调气的滞留,将后舱的 3 个回风口减少为中间座椅下方的单一回风口。

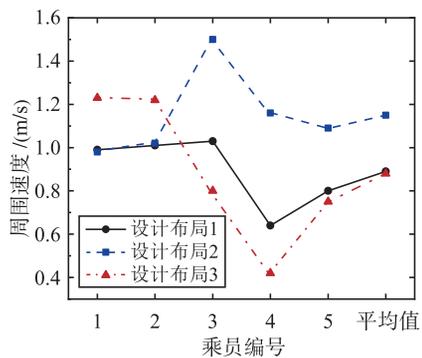
通过整理仿真计算结果,得到 3 种设计布局下每位乘员的各项热舒适性评估指标,如图 5 所示。



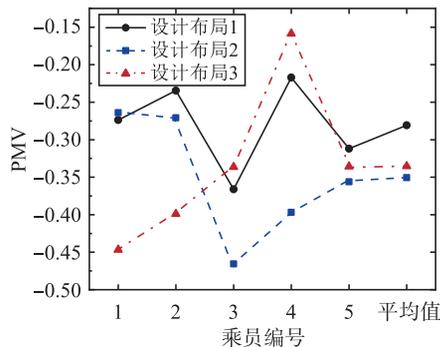
(a) 周围温度



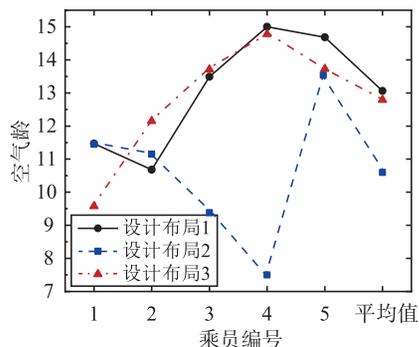
(b) 温度偏离



(c) 周围速度



(d) PMV



(e) 空气龄

图 5 评估指标计算结果

由图 5(a)中乘员周围温度曲线可知,3 种方案乘员周围温度在 19~23 °C 之间波动,均满足国军标制冷要求。由于前排热载荷较大,故设计布局 1 与设计布局 2 中前排驾驶员温度略高于后排乘员。设计布局 3 通过减少后排回风口数量,使空调气能在座舱内进行更充分的换热,前后排乘员周围温度差略有减小;图 5(b)表明 3 组设计布局温度偏离均小于 3 °C,满足国军标要求。其中设计布局 1 的温度偏离最为均匀,表明每位成员周围温度的均匀性最好;图 5(c)表明各乘员周围速度均小于 2.5 m/s,满足国军标中对乘员周围空气流速的要求。设计布局 1 各乘员周围速度相差最小,表明速度均匀性最好;图 5(d)为 PMV 变化曲线,其中设计布局 1 的 PMV 整体均匀性最好,并且平均值更接近 0,各乘员的热舒适度最为理想;由图 5(e)空气龄变化曲线可知,各设计布局空气龄的值均满足空气新鲜程度指标要求。设计布局 2 的空气龄数值最小,表示空气最为新鲜,但其均匀性不及设计布局 1 和设计布局 3。

综合以上分析结果,全面考虑各热舒适性评估指标,选定设计布局 1 为最优空调通风系统布局方案。

### 3.2 座舱空调通风系统送风口位置优化

为进一步提高座舱热舒适性,基于上节空调通风系统布局优化结果,对空调送风口位置参数继续开展优化研究。

#### 3.2.1 优化原理

采用多目标遗传算法,对模型中空调送风口的位置进行参数化处理,以 PMV 和空气龄作为目标

函数,实现整个流程的自动化,最后使用统计学方法对优化结果进行后处理,得到多目标优化的帕累托最优解集。

### 3.2.2 优化变量

该座舱空调送风口有:前舱 1 个主送风口、后舱 3 个主送风口、前排舱壁 2 个人送风口、前舱 2 个脚部送风口和后舱 3 个脚部送风口。每个座位下共 5 个回风口。受限于座舱表面情况,并且考虑到对应送风口对称布局情况,最终确定 4 个优化变量,如表 1 所示。其中参数变化范围参照座舱实际情况确定,增量考虑到计算量及实际工程情况,选取 1 cm 并确定优化分辨率。

表 1 优化变量设置

优化变量	变化范围/m	增量/m
前舱主送风口位置	0.30~0.50	0.01
后舱主送风口位置	0.18~0.38	0.01
前舱脚部送风口位置	0.13~0.23	0.01
后舱脚部送风口位置	0.20~0.40	0.01

### 3.2.3 目标函数

目标函数为送风口位置参数变化与乘员热舒适性关系。座舱中乘员的舒适性取决于多个变量因素,这些因素相互影响和制约,并在座舱中形成十分复杂的耦合物理场,因此对目标函数的选取十分关键。本文基于多目标优化理论,定义了 2 个目标函数对座舱热舒适性进行评价。

目标函数一定义为 5 位乘员平均 PMV 绝对值最小。由 PMV 含义可知,目标函数一的值越接近 0,意味着热舒适性越好。

$$f_1 = \min |\overline{PMV}| = \min \left[ \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \left( \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 |PMV_{ij}| \right) \right] \quad (6)$$

PMV 模型并没有将人体周围的空气质量考虑在内,而空气质量也是反映人体舒适性的重要指标之一。因此定义目标函数二为 5 位乘员头部测点平均空气龄最小。头部测点空气龄越小,则空气质量越好,仿真结果越优。

$$f_2 = \min \varphi = \min \left[ \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \varphi_i \right] \quad (7)$$

### 3.2.4 约束条件

约束条件是在解决规划问题时,对于决策方案的各种限制条件。本文约束函数保证座舱空调通风系统性能指标满足设计要求,根据 GJB 1193—1991 中的规定,选取 3 个约束条件如下:

$$\begin{cases} 15 \leq T_i \leq 27 \\ \max(\Delta T_i) < 3 \\ \max(V_i) \leq 2.5 \end{cases} \quad (8)$$

即每位乘员周围温度需在 15~27 °C 范围内,5 位乘员温度偏离的极大值不应超过 3 °C,5 位乘员周围速度的极大值不应超过 2.5 m/s。

### 3.2.5 优化计算结果

考虑到计算量,共进行了 48 组设计参数的优化计算,其中失败 0 组,成功 48 组。在成功的 48 组中,满足所有约束条件的可行设计方案 34 组,不满足的 14 组。图 6 为优化计算结果分布图。

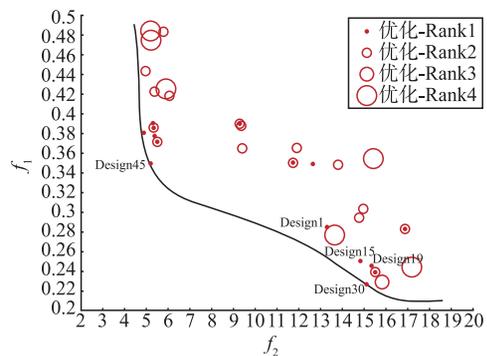


图 6 优化结果分布图

通过分析图 6 可得,处在帕累托前沿的最优解集有 Design1、Design15、Design19、Design30 和 Design45。进一步分析各评估指标的详细分布情况,在空气龄满足基本要求的前提下,优先考虑 PMV,确定最优设计为 Design30,对应的参数值为:前舱主送风口位置 0.4 m,后舱主送风口位置 0.28 m,前舱脚部送风口位置 0.18 m,后舱脚部送风口位置 0.4 m。

图 7~图 10 展示了座舱热舒适性最优设计状态下,各个截面处评估指标的计算结果云图。由图可知,舱内各乘员周围的空气流场较为均匀,各热舒适性评估指标均满足国军标基本要求,PMV 绝对值接近于 0,乘员热舒适性为佳。

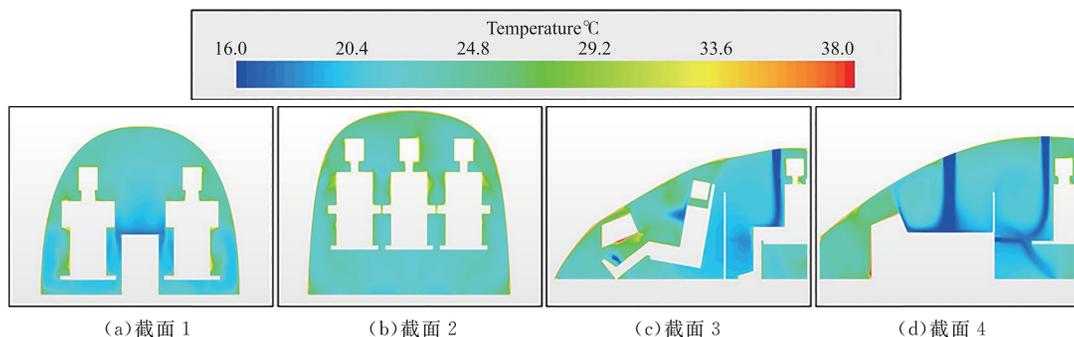


图 7 最优设计结果温度云图

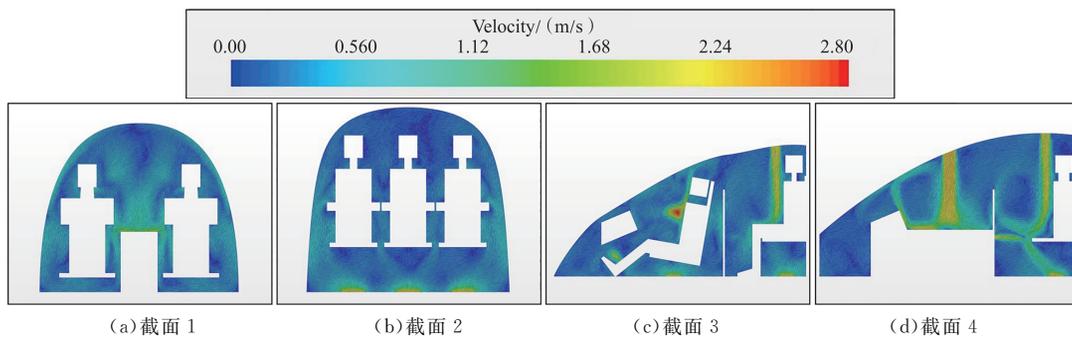


图 8 最优设计结果流速云图

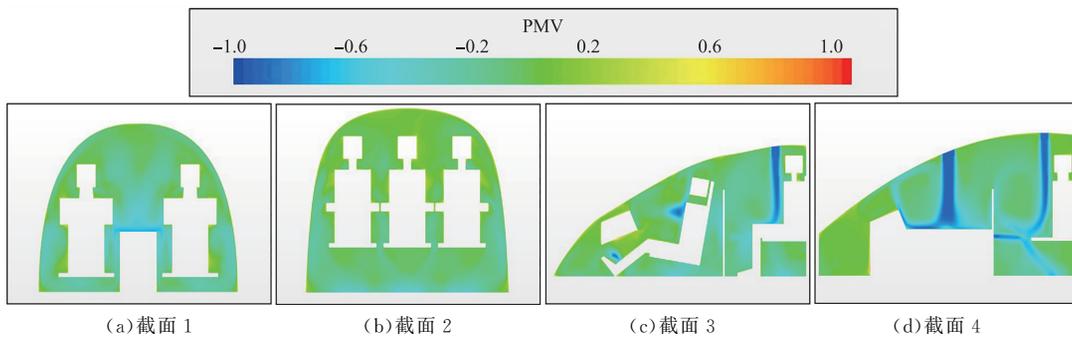


图 9 最优设计结果 PMV 云图

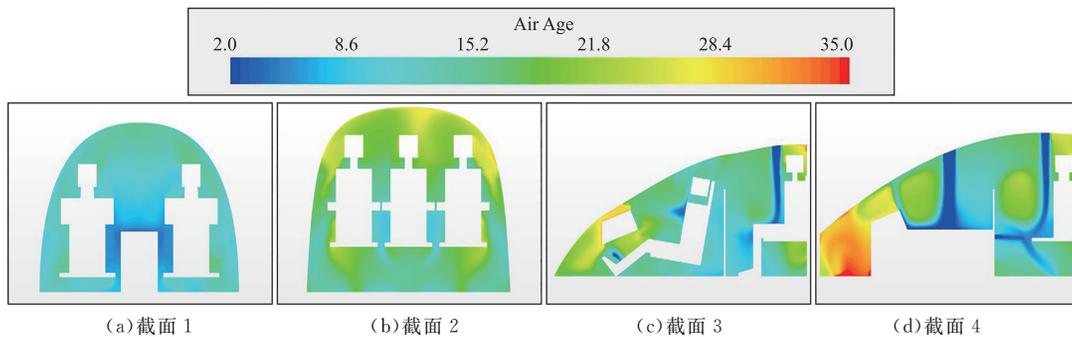


图 10 最优设计结果空气龄云图

### 3.3 试验验证

以前文优化布局及优化参数为基础,搭建试验平台。舱室形状和舱内布置与仿真模型保持一致,供气管网及各送风口连接如图 11 所示。在主要支路设置限流环,通过调节限流环尺寸,使各送风口流量符合预设流量。

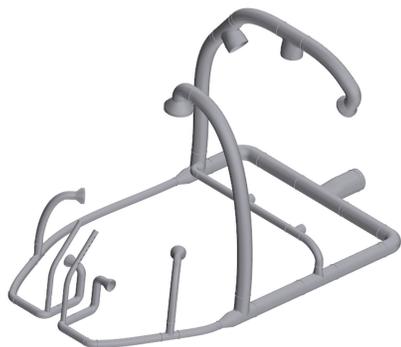
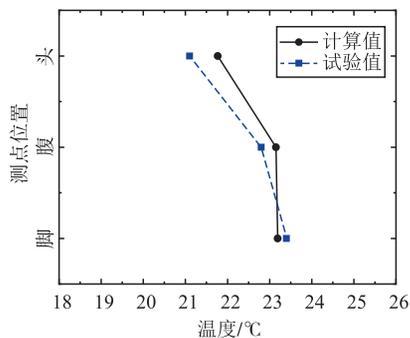
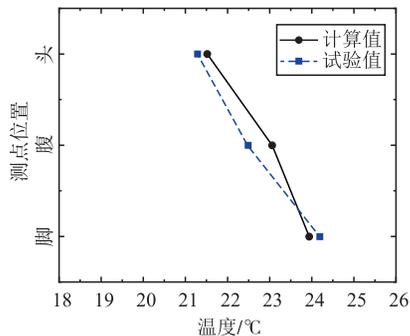


图 11 供气管及送风口示意图

在各乘员头、腹、脚的仿真测点相同坐标处,布置温度测点,测量流场稳定后的温度值。将试验结果与仿真计算结果进行对比验证,结果如图 12 所示。



(a) 乘员 1



(b) 乘员 2

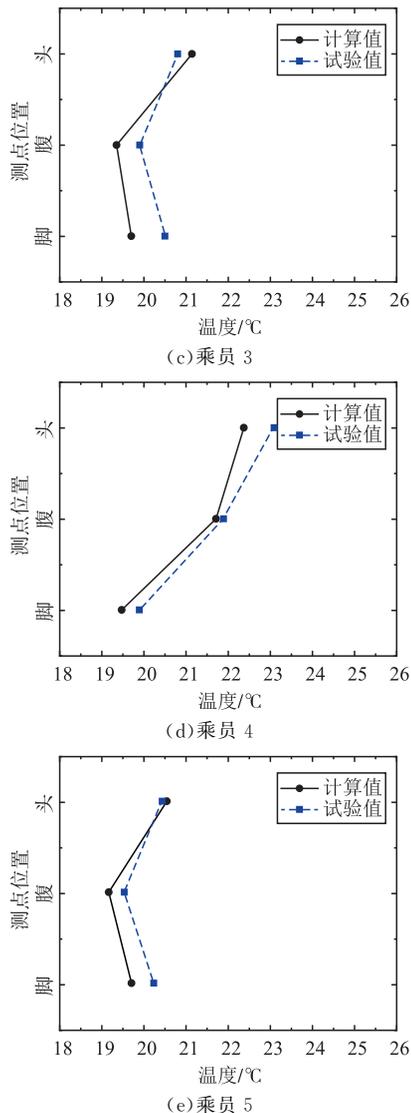


图 12 仿真计算与试验对比图

由图 12 可知,各乘员各测点仿真计算温度同试验温度基本一致,误差最大仅为  $0.8^{\circ}\text{C}$ ,满足工程精度要求,验证了仿真计算结果的准确性和有效性。

## 4 结论

本文基于人体热舒适性评估,针对直升机座舱空调通风系统,开展了仿真优化设计及试验研究。结论如下:

1)定义了乘员周围温度、温度偏离、乘员周围速度、PMV 和空气龄作为热舒适性评估指标。可以全面综合地对座舱热舒适性进行评估。

2)在空调通风系统布局优化研究中,提出 3 种不同布局方案。利用评估指标对仿真结果进行分析比较,得到设计布局 1 为最优的空气分配系统布局。

3)在空调通风系统参数优化研究中,采用遗传算法对设计布局 1 的送风口位置进行进一步优化仿真,通过数据对比分析,得到送风口位置的最优设计点参数。所对应的参数值为:前舱主送风口位置

0.4 m,后舱主送风口位置 0.28 m,前舱脚部送风口位置 0.18 m,后舱脚部送风口位置 0.4 m。

4)针对仿真优化结果,开展了试验研究。结果表明,各乘员测点温度一致性较好,误差小于  $0.8^{\circ}\text{C}$ ,验证了仿真计算结果的准确性和有效性。

5)利用计算机仿真技术手段开展直升机空调通风系统优化设计,可以大为缩短研制周期,减少研制成本。而且可以采用 PMV、空气龄等试验不易测量的指标参数,对人体热舒适性进行更为全面、综合的评估。

## 参考文献

- [1] 王炬,郭秉汉,王倩. 飞机座舱空气分配系统设计与仿真研究[J]. 航空科学技术, 2015,26(1):25-31.
- [2] 莫慧玲. 船舶舱室舒适度数值模拟研究[D]. 大连:大连理工大学, 2020.
- [3] 向清河,康伟,朱启文,等. 车辆空调送风方式对车辆客室热舒适性的影响[J]. 城市轨道交通研究, 2019,22(12):76-80,84.
- [4] YOU R Y, LIN C H, WEI D, et al. Evaluating the Commercial Airliner Cabin Environment with Different Air Distribution Systems[J]. Indoor Air, 2019, 29(5):840-853.
- [5] 高飞飞,姚冰,梁益华. 飞机客舱内流场数值模拟与舒适性评价[J]. 航空计算技术, 2019, 49(3):20-23.
- [6] 薛长乐,李艳娜,张涛波. 基于 PMV 指标的驾驶舱热舒适性研究[J]. 制冷与空调, 2020, 34(4):416-421,441.
- [7] CUI W, WU T, OUYANG Q, et al. Passenger Thermal Comfort and Behavior: A Field Investigation in Commercial Aircraft Cabins[J]. Indoor Air, 2017, 27(1):94-103.
- [8] PANG L P, XU J, FANG L, et al. Evaluation of An Improved Air Distribution System for Aircraft Cabin [J]. Building and Environment, 2013, 59(1): 145-152.
- [9] ZÍTEK P, VYHLÍDAL T, SIMEUNOVIC G, et al. Novel Personalized and Humidified Air Supply for Airliner Passengers[J]. Building and Environment, 2010, 45(11):2345-2353.
- [10] PANG L P, LI P, BAI LZ, et al. Optimization of Air Distribution Mode Coupled Interior Design for Civil Aircraft Cabin[J]. Building and Environment, 2018, 134(4):131-145.
- [11] CHO J, YANG J, PARK W. Evaluation of Air Distribution System's Airflow Performance for Cooling Energy Savings in High-Density Data Centers[J]. Energy and Buildings, 2014, 68: 270-279.
- [12] FIŠER J, JÍCHA M. Impact of Air Distribution System on Quality Ofventilation Insmallaircraft Cabin [J]. Building and Environment, 2013, 69(11): 171-182.

[13] CVOK I, RATKOVIC I, DEUR J. Multi-Objective Optimisation-Based Design of an Electric Vehicle Cabin Heating Control System for Improved Thermal Comfort and Driving Range[J]. Energies, 2021, 14(4):1203.

[14] DANCA P, VARTIRES A, DOGEANU A. An Overview of Current Methods for Thermal Comfort Assessment in Vehicle Cabin [J]. Energy Procedia, 2016,85(1) :162-169.

[15] 徐刚, 庞丽萍. 特种车辆舱室送风系布局仿真优化[J]. 化工学报, 2020, 71(S1):335-340.

[16] 于琦. 国外直升机发展特点及市场态势分析[J]. 航空科学技术, 2021, 32(1):23-28.

[17] 中国人民解放军总装备部. GJB 4856—2003 中国男性飞行员人体尺寸[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2003:16-10.

[18] 中国人民解放军总装备部. GJB 1471A—2012 军用直升机座舱几何尺寸[S]. 北京:中国人民解放军总参谋部陆航部,2013.

[19] 中国人民解放军总装备部. GJB 3838—1999 直升机抗坠毁座椅通用规范[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2000.

[20] 中华人民共和国工业和信息化部. HB 7046—2013 民用运输类飞机驾驶员座椅通用要求[S]. 北京:中国航空综合技术研究所,2013.

[21] FANGER P O. Thermal Comfort Analysis and Application in Environment Engineering [J]. Thermal Comfort Analysis and Applications in Environment Engineering, 1972, 3(3): 225-240.

[22] Thermal Environmental Conditions for Human occupancy: ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 [S]. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004.

[23] SANDBERG M. What is Ventilation Efficiency? [J]. Building and Environment, 1981, 16(2):123-135.

(编辑:陈斐)

## 《空军工程大学学报》近 3 年优秀审稿人名单

近年来,在大学各级组织以及广大作者、审者、编者、读者的共同努力下,《空军工程大学学报》保持了高质量发展,2022 年继续入选 CSCD 来源期刊、中国科技核心期刊行列,学术影响力和知名度不断扩大。为进一步吸引优质稿源,提升办刊水平,学报编辑部组织开展了优秀审稿人评选活动,向作出重要学术贡献的优秀审稿人致以崇高敬意、充分认可和衷心感谢! 希望广大审稿人继续关注支持学报发展!

### 校外审稿人

- |                |                |               |
|----------------|----------------|---------------|
| 查宇飞(西北工业大学)    | 冯 婕(西安电子科技大学)  | 唐世阳(西安电子科技大学) |
| 王红军(国防科技大学)    | 潘鹏飞(中国飞行试验研究院) | 肖和业(西北工业大学)   |
| 侯志强(西安邮电大学)    | 张增平(长安大学)      | 刘汝兵(厦门大学)     |
| 王莉莉(中国民航大学)    | 魏志强(中国民航大学)    | 李小龙(电子科技大学)   |
| 刘高高(西安电子科技大学)  | 张恒巍(信息工程大学)    | 葛亚维(军事科学院)    |
| 雷晓波(中国飞行试验研究院) | 李兵强(西北工业大学)    | 李长海(国防大学)     |
| 刘卫国(西北工业大学)    | 刘小虎(信息工程大学)    | 施宏宇(西安交通大学)   |
| 严俊坤(西安电子科技大学)  | 殷丕磊(中国航天科工集团)  |               |

### 校内审稿人

- |     |     |     |     |     |     |        |     |        |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|--------|-----|-----|
| 李战武 | 王 瑛 | 王甲富 | 王 强 | 程邦勤 | 梁晓龙 | 王 旭    | 郭基联 | 张登成    | 何宇廷 | 卢 虎 |
| 宋慧敏 | 杨后川 | 景 博 | 万路军 | 郭建胜 | 曹祥玉 | 雷晓彝    | 魏瑞轩 | 杨晓阔    | 陈士涛 | 何立明 |
| 胡国平 | 黄国荣 | 罗 迎 | 张 鹏 | 张永顺 | 贾 敏 | 孔星炜    | 寇英信 | 王 刚(导) |     | 吴建峰 |
| 向 新 | 程嗣怡 | 董淑福 | 韩建定 | 刘勇智 | 茹 乐 | 王 刚(信) |     | 翁兴中    | 徐浩军 | 翟旭升 |
| 张 群 | 何卫锋 | 李颖晖 | 蔡 通 | 姚小强 | 冯存前 | 贺思三    | 张 厚 | 陈长兴    | 甘旭升 | 韩 统 |
| 寇雅楠 | 李 炯 | 李开明 | 马 健 | 商长安 | 杨俊超 | 张执国    | 郑东良 | 齐子森    |     |     |