

# 民用飞机客舱个人通风喷嘴布置研究

王刚, 冯超, 郑丽

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 201323)

**摘要:** **目的** 获得民用飞机客舱个人通风喷嘴的最佳布置方案。**方法** 针对下拉式行李箱的客舱布局, 建立单排客舱个人通风的  $k-\epsilon$  模型, 使用 ICEM CFD 进行网格划分。梳理并分析国内外个人通风的标准手册, 将人体头部高度处的风速大于 1 m/s 作为设计指标。提出 2 种喷嘴布置方案——分散布置和集中排列布置, 设计 5 种工况, 运用 FLUENT 软件进行数值计算。**结果** 分散布置方案, 第一种工况下, 头部最大风速仅 0.39 m/s; 第二种工况下, 仅中间位置乘客能获得 1 m/s 以上的风速, 两边的乘客基本无吹风。集中排列方案, 第三种工况下, 头部最大风速为 0.9 m/s; 第四种工况下, 乘客 1 头部最高风速只能达到 0.52 m/s。在个人通风量不变的前提下, 工况 5 将喷嘴口径缩小为 20 mm, 乘客 1 头部处风速可达 1.09 m/s。**结论** 作为民用飞机客舱内主通风系统的辅助调节手段, 个人通风系统可以减轻乘客的闷热感, 对于安装了下拉式行李箱的客舱, 因其 PSU 空间狭小, 导致喷嘴布置较为困难。根据计算结果, 分散布置方式无法满足左右两侧乘客的需求。在喷嘴口径缩小为 20 mm 后, 集中排列方式能满足所有乘客的需求, 目前该方案已应用于某型民机客舱的个人通风系统。

**关键词:** 民用飞机; 个人通风; 喷嘴布置; 下拉式行李箱; 设计指标; 数值模拟

**中图分类号:** V245.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9242(2021)09-0043-07

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2021.09.007

## Study on Personal Ventilation Nozzles Arrangement in Civil Aircraft Passenger Cabin

WANG Gang, FENG Chao, ZHENG Li

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 201323, China)

**ABSTRACT:** To obtain the best arrangement scheme of civil aircraft cabin personal ventilation nozzles. For the cabin layout of pull-down trunk compartment, the  $k-\epsilon$  model of individual ventilation in single row cabin was established and meshed by ICEM CFD. After sorting out and analyzing the standard manual of personal ventilation at home and abroad, the wind speed at the human head greater than 1 m/s was taken as the design index. Two kinds of nozzle layout schemes were put forward—decentralized arrangement and centralized arrangement. 5 conditions were designed and numerically calculated by FLUENT. For the decentralized layout scheme, the maximum wind speed at the head was only 0.39 m/s under the first condition. While under the second condition, only the passenger in the middle position could obtain the wind speed greater than 1 m/s, the passengers on both sides were basically not blown. For the centralized layout scheme, the maximum wind speed at the head was 0.9 m/s under the third

收稿日期: 2021-04-23; 修订日期: 2021-06-09

Received: 2021-04-23; Revised: 2021-06-09

作者简介: 王刚 (1987—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为人机与环境工程。

**Biography:** WANG Gang (1987—), Male, Master, Research focus: man machine and environment engineering.

引文格式: 王刚, 冯超, 郑丽. 民用飞机客舱个人通风喷嘴布置研究[J]. 装备环境工程, 2021, 18(9): 043-049.

WANG Gang, FENG Chao, ZHENG Li. Study on personal ventilation nozzles arrangement in civil aircraft passenger cabin[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(9): 043-049.

condition, and the maximum wind speed of passenger 1 could only reach 0.52 m/s under the fourth condition. Under the condition of constant personal ventilation, the nozzle diameter was reduced to 20 mm in condition 5, and the wind speed at the head of passenger 1 could reach 1.09 m/s. As an auxiliary adjustment method for the main ventilation system in civil aircraft passenger cabin, the personal ventilation system will relieve the passenger's hot feeling. For cabins with pull-down trunk, it is difficult to arrange nozzles due to the small space of PSU. According to the calculation results, the decentralized layout cannot meet the needs of the left and right passengers. After the nozzle diameter is reduced to 20 mm, the centralized arrangement can meet the needs of all passengers. At present, this scheme has been applied to the personal ventilation system of a civil aircraft cabin.

**KEY WORDS:** civil aircraft; personal ventilation; nozzles arrangement; pull-down trunk; design index; numerical simulation

民用飞机客舱通风系统一般由主通风和个人通风组成,主通风系统给舱内提供充足的空气量,并进行温度控制,而个人通风系统作为辅助调节手段,可以满足部分乘客的舒适性要求。个人通风系统由分配集气管和通风喷嘴组成,喷嘴可以产生附加的空气运动,给旅客提供新鲜而温度适宜的空气,从而减轻旅途中的不适感<sup>[1]</sup>。喷嘴送风温度一般比舱内温度低 5℃,送风方向和风速可由乘客自由调节。由于飞机座舱空间的限制,个人通风喷嘴一般位于行李舱下方、人体头顶上方,具体布置方式需要综合考虑各方面因素。

当前国内外学者侧重于舱内通风系统性能<sup>[2-4]</sup>、舱内舒适性<sup>[5-8]</sup>、舱内污染物控制研究<sup>[9-11]</sup>,对个人通风的研究还较少。天津大学郭勇等<sup>[12]</sup>对 MD-82 客机上个性送风出口的送风气流特征进行了数值研究,发现机舱喷嘴的气流扩散要强于喷嘴圆管射流,且湍流强度更大。Julia Winzen 等<sup>[13]</sup>在多尼尔 728 的飞机模型舱内营造了两种舱内温度工况,研究了 60 名受试者的热舒适感觉和个人喜好。结果表明,受试者对舱内气候参数的评估与个人喜好有重要的关系,尤其对热和气流的偏好,因此受试者对热舒适的期望越高,舱内微气候就越不舒适,这从侧面反映设置个人通风系统是有必要的。在不同季节下测量了 23 个航班舱内温湿度,并开展了热舒适性问卷调查。方赵嵩<sup>[14]</sup>

发现,由于客舱内明显的闷热,超过 60%的乘客认为需要设置个人送风喷嘴,且多数乘客选择部分开启状态进行调节。王健等人<sup>[15]</sup>在重庆大学地面模拟舱内进行了真人实验,并对影响热舒适的因素进行了分析。结果表明,喷嘴出口风速和送风角度会对乘客热感觉产生显著影响,而送风温差并不存在显著影响。这是由于 5℃ 以内的非等温送风对人体周围部分的温度场影响不显著。

民用飞机客舱内两种行李箱构型如图 1 所示。下拉式行李箱可以增加舱内乘客活动空间,减少乘客压抑感,但旅客服务单元 (PSU) 空间较小,个人通风喷嘴布置较为困难。目前已有的文献和研究都是基于上翻式行李箱的客舱构型开展的,对下拉式行李箱构型的个人通风研究几乎没有涉及。文中基于选定的设计指标,运用 CFD 仿真的方法对某型民用飞机客舱内乘客头部风速和速度场进行了计算分析,得到一种较合适的布置方式,为下拉式行李箱构型的客舱个人同分喷嘴的设计提供了参考。

## 1 客舱个人通风系统模型

### 1.1 CFD 计算模型

对某型单通道民用飞机的单排人椅建立了仿真模型,+Y 方向为正航向,+X 方向乘客编号依次为 1—3,

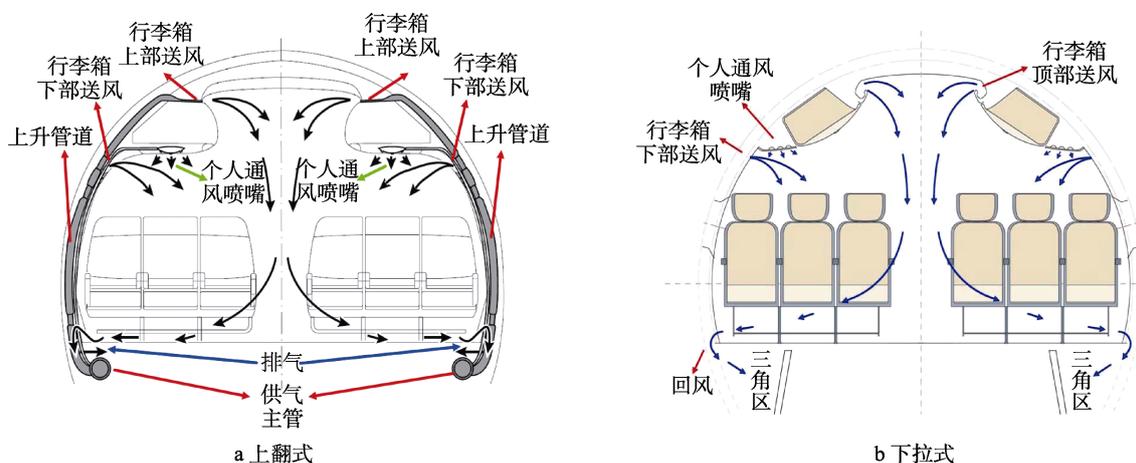


图 1 两种不同行李箱构型客舱内通风示意

Fig.1 Cabin ventilation diagram of two different trunk configurations: a) flip-up; b) pull-down

如图 2 所示。考虑到客舱的对称性，对模型进行了合理简化，建立了右侧客舱个人通风计算模型，客舱通道对称面假设为标准的空气壁面，排风隔栅位于右侧舱壁踢脚板处，个人通风喷嘴布置在 PSU 上。在不影响舱内流场的情况下，对人体和座椅结构做了一定简化，对棱角做了圆滑处理。网格划分采用 ICEM CFD 中六面体和四面体结合的方法，并对喷嘴送风、底部排风区域进行加密处理。

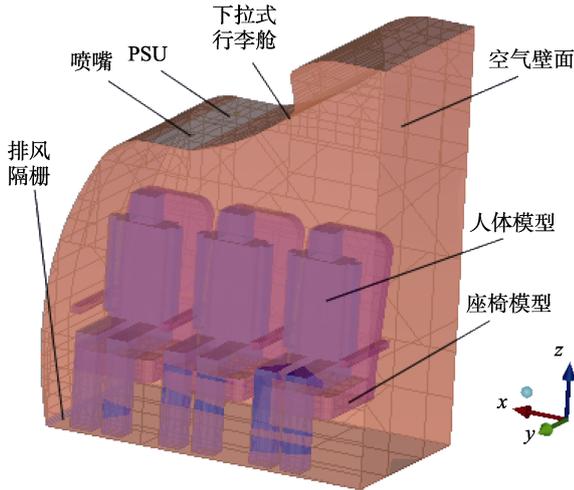


图 2 客舱个人通风计算模型

Fig.2 Calculation model of cabin personal ventilation

### 1.2 数学控制方程

基于 1.1 节中的模型和假设，客舱内连续性方程、动量方程、能量守恒方程、标准  $k-\epsilon$  双方程<sup>[16]</sup>分别为：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i' u_j'} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho T) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu}{Pr} \frac{\partial T}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j' T'} \right) + S_T \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (5)$$

式中： $u_i$ 、 $u_j$  为速度分量； $\rho$  为密度； $\mu$  为黏性系数； $T$  为时间量； $Pr$  为普朗特数； $S_T$  为合并后的源项； $k$  为湍流动能； $\epsilon$  为湍流耗散率； $G_k$  为层流速度梯度

产生的湍流动能； $G_b$  为浮力产生的湍流动能； $Y_M$  为扩散产生的波动； $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 、 $C_{3\epsilon}$  为常量； $\sigma_\epsilon$  是  $k$  方程和  $\epsilon$  方程的湍流普朗特数； $S_k$  和  $S_\epsilon$  为自定义参数。

### 1.3 求解策略

基于上述数理模型，湍流模型为标准  $k-\epsilon$  双方程，能量方程不激活，壁面为静态无滑移壁面，喷嘴为速度进口，排风隔栅为 outflow。计算工具为 ANSYS FLUENT 13，采用压力和速度耦合的 SIMPLE 算法，压力的离散选择标准格式，其他参数的离散均选择一阶迎风格式。由于没有能量选项，计算过程选择默认的收敛标准，即所有变量（连续性、xyz 速度、 $k$ 、 $\epsilon$ ）残差低于  $10^{-3}$ 。

## 2 仿真分析

### 2.1 设计指标

国内外标准手册中对客舱的温湿度、风速、新风量、污染物浓度等都有严格要求，但未对个人喷嘴送风的设计参数作严格规定，一般只规定了喷嘴开启情况下，人体就坐时头部高度风速应达到的下限值。相关标准手册<sup>[17-20]</sup>中对民用飞机客舱内个人通风的温度、速度要求见表 1。

表 1 个人通风系统设计指标  
Tab.1 Design index of personal ventilation system

标准	温度	风速
ASHRAE standard 161—2007	无	人体头部高度的风速应大于 1.0 m/s
ASHRAE Handbook-HVAC Applications	无	无
SAE-ARP 85E—2007	无	当个性化送风喷嘴开启时，人体坐着头部高度的风速应大于 1.0 m/s
GB 9673—1996	无	无

这些标准手册都没有对喷嘴送风温度作出要求，这是因为喷嘴射流的紊流系数较大，气流从喷嘴出来后，很快便与周围空气充分混合，而且舱内主通风系统流量占主导，所以个人喷嘴几乎没有温度调节能力。目前仅有文献[1]提到为减轻乘客的闷热感，个人送风温度需低于舱内温度 5 °C。

对于个人通风的风速，目前国内还没有明文规定。文中采用国外标准即个人通风开启时，人体坐着时头部高度的风速应大于 1 m/s。下文将以该指标为判据进行数值计算。

### 2.2 分散布置方式

第一种方案为分散布置，如图 3 所示。个人通风喷嘴平均分布在 PSU 面板上，沿 +Y 方向的喷嘴按阿

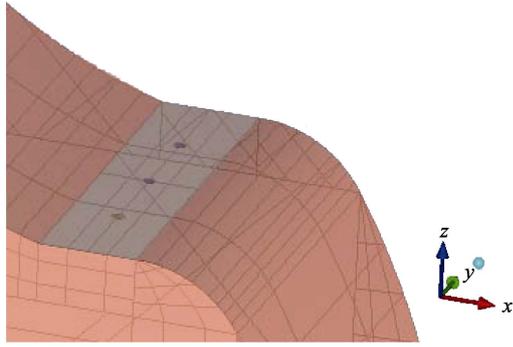


图3 喷嘴分散布置

Fig.3 Nozzles of decentralized arrangement

拉伯数字顺序编号 1—3, 喷嘴出风口简化为直径为 30 mm 的圆。

模拟工况 1: 喷嘴出口方向和壁面垂直, 出口速度为 10~20 m/s 中的 6 个值。选取三位乘客头部上方 20 mm 处为观察点, 计算结果如图 4 所示。随喷嘴出流速度的增加, 人体 1—3 头部风速总趋势也随之升高。在工况 1 送风方式下, 即使出口流速达到 20 m/s, 人体头部最大风速仅有 0.39 m/s, 只有很小的吹风感, 不满足设计指标。最大出流速度时, 3 位乘客头部中央区域的合速度场如图 5 所示, 可直观看出喷嘴出流衰减极快, 且 3 位乘客头部区域基本“吹”不到风。

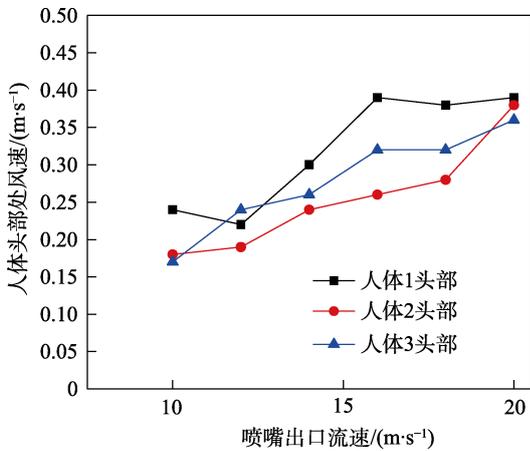


图4 工况 1 人体头部高度处风速

Fig.4 Wind speed at the head of condition 1

个人通风在实际使用时一般不会是垂直射流方式, 乘客可以按需调节出流角度。模拟工况 2: 喷嘴出口 1—3 依次正对人体 1—3 头顶, 出口速度为 10~20 m/s 中的 6 个值, 仍然选取 3 位乘客头部上方 20 mm 处为观察点, 计算结果如图 6 所示。坐在中间位置的乘客 2 调节喷嘴角度后, 在出流速度为 14 m/s 时, 就可获得大于 1 m/s 的头部风速, 而坐在两侧的乘客, 即使调节喷嘴直吹, 仍然无法获得 1 m/s 以上的风速。喷嘴出口流速为 20 m/s 时, 三位乘客头部中央区域的合速度场如图 7 所示。

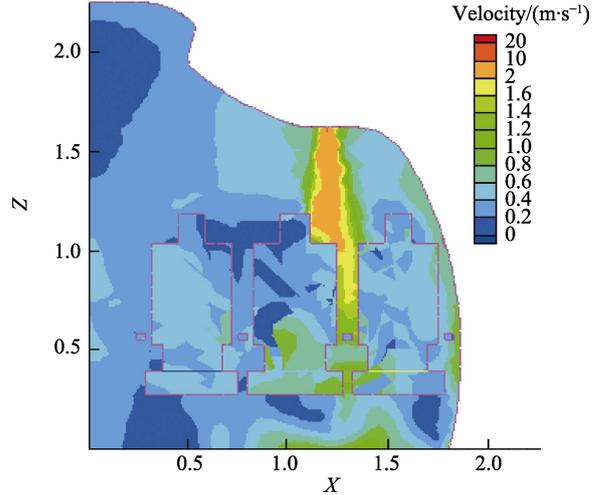


图5 工况 1 乘客头部中央区域合速度场

Fig.5 Resultant velocity field in central area of passenger head of condition 1

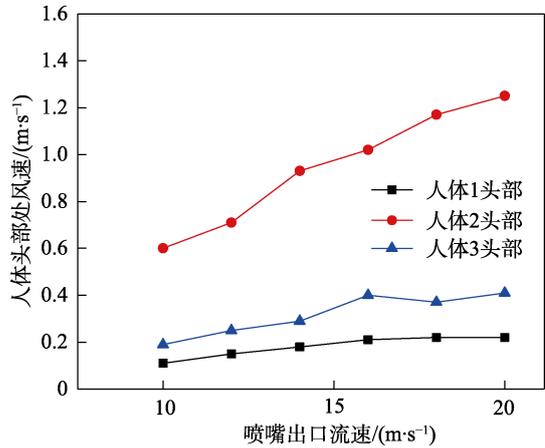


图6 工况 2 人体头部高度处风速

Fig.6 Wind speed at the head of condition 2

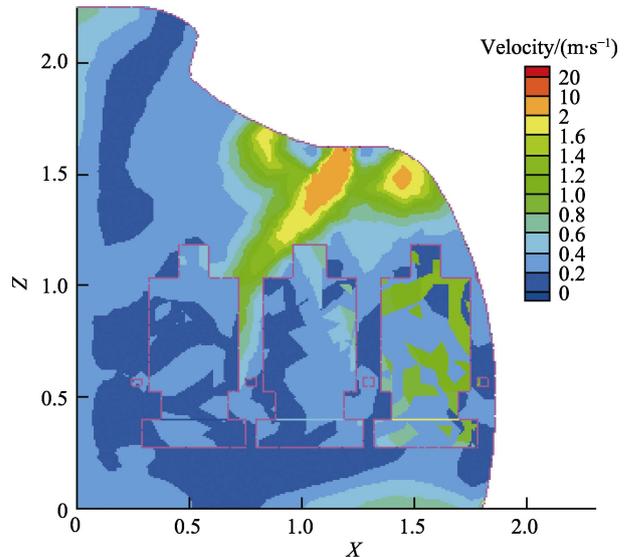


图7 工况 2 乘客头部中央区域合速度场

Fig.7 Resultant velocity field in central area of passenger head of condition 2

### 2.3 集中排列布置方式

2.2 节的计算结果表明，对于分散式的喷嘴布置方式，无论是垂直射流还是调整射流角度直吹，在最大出流速度 20 m/s 时，左右两侧乘客都无法获得大于 1 m/s 的风速。其根本原因为，喷嘴 1 至乘客 1、喷嘴 3 至乘客 3 头顶空间距离较远，气流在到达时已充分衰减。为减小喷嘴出口至乘客头顶的空间距离，并考虑到 PSU 上其余系统（氧气面罩、照明灯、扬声器等）的布置，将喷嘴集中排列在 PSU 面板上，如图 8 所示。沿 +X 方向的喷嘴按阿拉伯数字顺序编号 1—3。

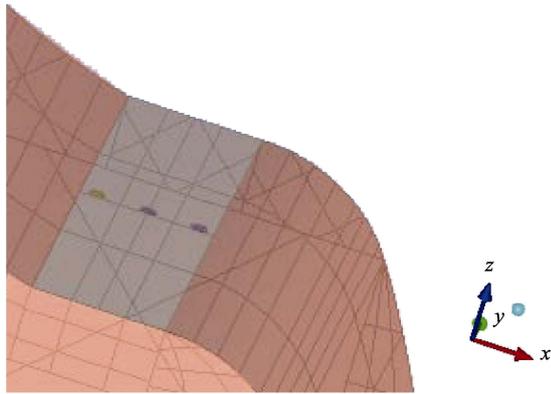


图 8 喷嘴集中排列布置  
Fig.8 Nozzles of centralized arrangement

对于新构型的仿真计算，同样考虑两种工况 3 和 4；喷嘴出口速度为 10~20 m/s，射流角度分别为垂直射流、喷嘴对乘客头部直吹。工况 3 的计算结果见图 9 和图 10。类似于工况 1，在不调整喷嘴角度时，只有中间乘客能获得明显的吹风感，但仍未达到 1 m/s，两侧乘客头顶几乎无气流。

工况 4 计算结果如图 11 和图 12 所示。中间位置乘客在喷嘴出流速度 12 m/s 时即可获得大于 1 m/s 的风速，乘客 3 在出流速度 14 m/s 时也能获得满足设

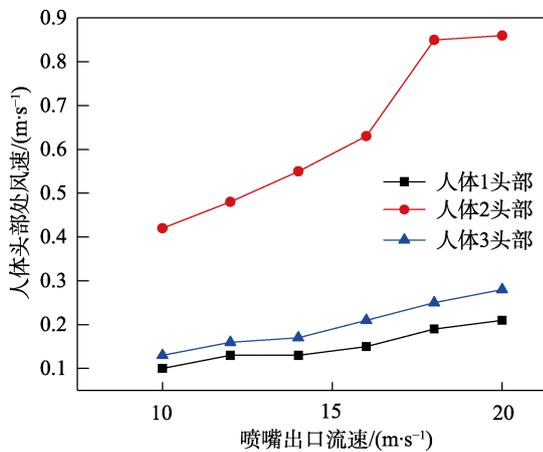


图 9 工况 3 人体头部高度处风速  
Fig.9 Wind speed at the head of Condition 3

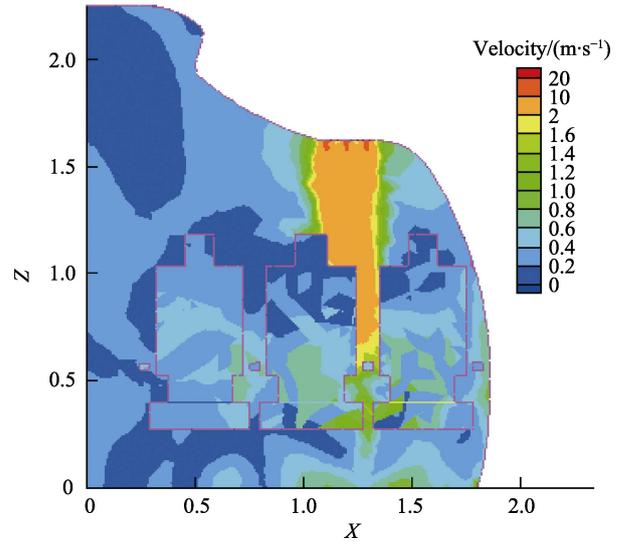


图 10 工况 3 乘客头部中央区域合速度场  
Fig.10 Resultant velocity field in central area of passenger head of condition 3

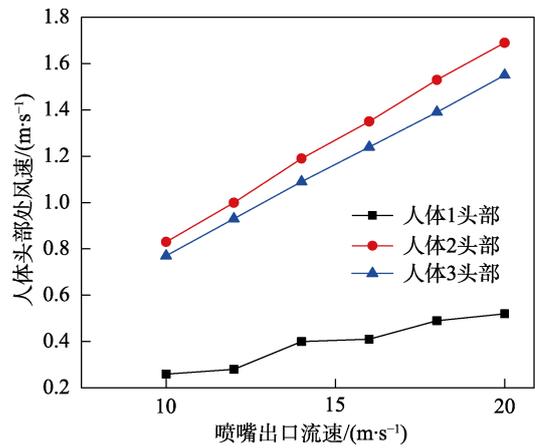


图 11 工况 4 人体头部高度处风速  
Fig.11 Wind speed at the head of condition 4

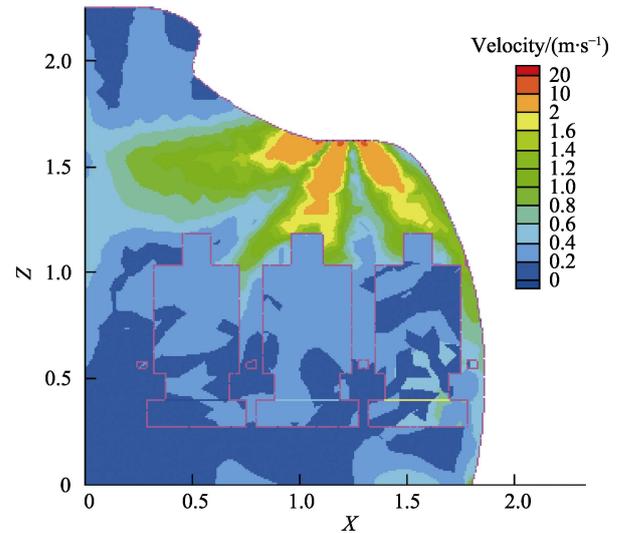


图 12 工况 4 乘客头部中央区域合速度场  
Fig.12 Resultant velocity field in central area of passenger head of condition 4

计指标的风速。乘客 1 则由于空间距离最远，其最大头部风速只能达到 0.52 m/s。

考虑到乘客 1 与喷嘴的物理空间较远，需大幅增加喷嘴 1 的出口流速，才能满足设计指标，而这将大幅增加个人通风流量，减少主通风系统送风量。在个人通风流量不变的前提下，将喷嘴开口面积减小，则可获得更大的出口流速。将圆形喷嘴直径缩小为 20 mm，在工况 4 的基础上计算工况 5：喷嘴出口速度 22.5~45 m/s，射流角度为喷嘴对乘客头部直吹，计算结果如图 13—14 所示。喷嘴出口流速 22.5 m/s 时，乘客 2 和 3 头部处风速已超过 1 m/s；喷嘴出流速度达 45 m/s 时，乘客 1 头部处风速达 1.09 m/s，满足设计指标。

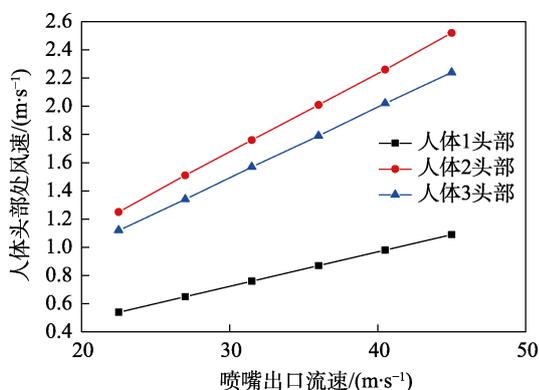


图 13 工况 5 人体头部高度处风速  
Fig.13 Wind speed at the head of condition 5

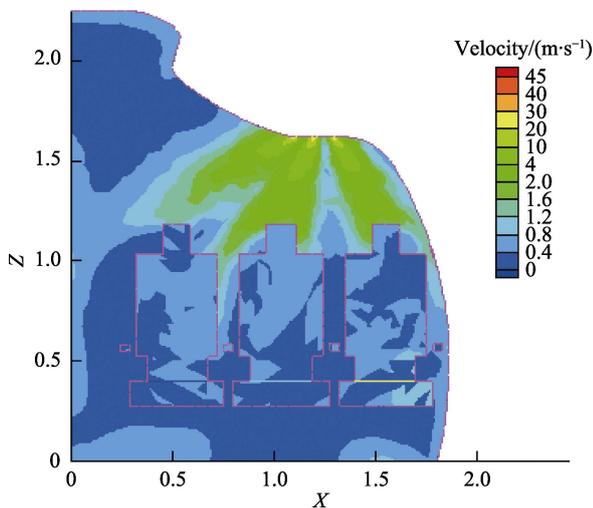


图 14 工况 5 乘客头部中央区域合速度场  
Fig.14 Resultant velocity field in central area of passenger head of condition 5

从图 2 的个人通风计算模型可看出，客舱内下拉式行李箱的设计导致 PSU 本身空间较小，且靠近右侧舱壁，喷嘴集中排列布置的方案优于分散布置。为满足 3 名乘客的个人通风需求，且不影响主通风系统流量，喷嘴出口直径可设计为 20 mm。此时乘客 1 已将喷嘴流速调至最大。目前该方案已成功应用于某型号民机客舱的个人通风系统，如图 15 和 16 所示。

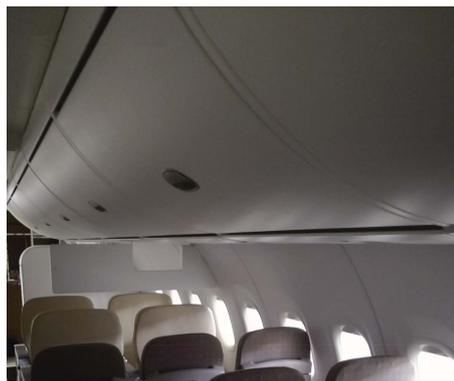


图 15 带下拉式行李箱的客舱  
Fig.15 Cabin with pull-down trunk



图 16 集中排列布置的喷嘴  
Fig.16 Nozzles of centralized arrangement

### 3 结论

文中对安装了下拉式行李箱的民用飞机客舱进行简化后，建立了 *k-ε* 计算模型，考察了两种个人通风喷嘴布置方式。根据所选的设计指标，评价了两种方案的优劣，得到以下结论：

1) 民用飞机客舱内个人通风系统采用国外标准作为设计指标是可行的，即乘客就坐时头部高度风速需大于 1 m/s。

2) 对于直径为 30 mm 的个人通风圆形喷嘴，采用分散排列的布置方式，由于出风口和头部空间距离较远，两侧乘客无法获得大于 1 m/s 的风速。采用集中排列的布置方式，可以满足乘客 2 和 3 的需求，但满足不了乘客 1 的需求。在保证相同流量的前提下，将喷嘴直径减小为 20 mm，提高喷嘴出口流速，则 3 名乘客均能获得符合指标的风速。

3) 对于安装了下拉式行李箱的客舱，集中排列布置的个人通风喷嘴集是更有利的，该方案已运用于某型民机。

#### 参考文献：

[1] 朱春玲. 飞行器环境控制与安全救生[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006: 289-291.

- ZHU Chun-ling. Environmental control and safety rescue of aircraft[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics & Astronautics Press, 2006: 289-291.
- [2] 赵颖杰. 大型飞机座舱流场的数值计算[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.  
ZHAO Ying-jie. Flow disciplinarian numerical value caunt of large aircraft cabin[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009.
- [3] 刘炜. 大型客机座舱气流组织的模拟与逆向设计[D]. 天津: 天津大学, 2016.  
LIU Wei. Simulation and inverse design on air distribution in commercial airliner cabins[D]. Tianjin: Tianjin University, 2016.
- [4] 张丽杰. 大型客机座舱内考虑送风系统的流动数值模拟策略[D]. 天津: 天津大学, 2016.  
ZHANG Li-jie. Simulation strategy on the airflow characteristics in aircraft cabin with ventilation systems[D]. Tianjin: Tianjin University, 2016.
- [5] 崔惟霖. 大型客机座舱热舒适的影响因素及评价方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2016.  
CUI Wei-lin. Influencing factors and evaluation method of thermal comfort in commercial aircraft cabin[D]. Beijing: Tsinghua University, 2016.
- [6] 尹英娟. 民航客舱环境舒适性的实测与分析研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2016.  
YIN Ying-juan. Measurement and analysis of environmental comfort of civil aviation cabin[D]. Qingdao, China: Qingdao Tehcnology University, 2016.
- [7] 刘俊杰, 贾素素, 康健. 大型客机座舱环境舒适性评价[J]. 暖通空调, 2018, 48(9): 90-93.  
LIU Jun-jie, JIA Su-su, KANG Jian. Comfort evaluation of cabin environment in commercial aircrafts[J]. Heating ventilating & air conditioning, 2018, 48(9): 90-93.
- [8] 吴丹. 飞行器座舱热舒适性研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.  
WU Dan. Investigations of the thermal comfort in an aircraft cabin[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011.
- [9] 李政. 飞机座舱颗粒物污染特征及新型过滤材料性能研究[D]. 北京: 清华大学, 2014.  
LI Zheng. Research on characteristics of particulate pollutants in aircraft cabin and performance of a new filter material[D]. Beijing: Tsinghua University, 2014.
- [10] 杨建忠, 王振斌, 陈希远. 飞机座舱内呼吸性污染物浓度分布实验研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(30): 361-364.  
YANG Jian-zhong, WANG Zhen-bin, CHEN Xi-yuan. Experimental investigation on expiratory contaminant concentration distribution in aircraft cabin[J]. Science technology and engineering, 2017, 17(30): 361-364.
- [11] 费春国, 蔡珊珊, 王阳, 等. 点源作用下的飞机客舱空气污染物分布[J]. 中国民航大学学报, 2019, 37(5): 41-45, 59.  
FEI Chun-guo, CAI Shan-shan, WANG Yang, et al. Simulation on aircraft cabin air pollutant distribution under point source effect[J]. Journal of civil aviation university of China, 2019, 37(5): 41-45, 59.
- [12] GUO Yong, JIANG Nan, YAO Shi-yong, et al. Turbulence measurements of a personal airflow outlet jet in aircraft cabin[J]. Building and environment, 2014, 82: 608-617.
- [13] WINZEN J, MARGGRAF-MICHEEL C. Climate preferences and expectations and their influence on comfort evaluations in an aircraft cabin[J]. Building and environment, 2013, 64: 146-151.
- [14] 方赵嵩. 机舱个人喷嘴通风系统对人体热舒适的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.  
FANG Zhao-song. Impacts study of personal nozzle air supply system on human thermal comfort in aircraft cabin[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [15] 王健. 座舱环境下热舒适性性别差异的实验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.  
WANG Jian. Experiment study of gender differences in thermal comfort under cabin environment[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [16] 陈鹏. 客机驾驶舱供风系统的初步设计与数值模拟[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.  
CHEN Peng. Preliminary design and simulation of airflow distribution in aircraft cockpit[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [17] ASHRAE Standard 161—2007, Air quality within commercial aircraft[S].
- [18] ASHRAE. ASHRAE handbook—HVAC applications (chapter 12)[K].
- [19] SAE.SAE-ARP85E—2007, Air conditioning systems for subsonic airplanes[S].
- [20] GB 9673—1996, 公共交通工具卫生标准[S].  
GB 9673—1996, Hygienic standard for public transport[S].