

文章编号: 2095-2163(2020)12-0032-11

中图分类号: V223

文献标志码: A

# 在太阳辐射下客机驾驶舱内乘员舒适度研究

黄长城, 严平

(上海工程技术大学 航空运输学院, 上海 201620)

**摘要:** 本文参照空客 A320 客机驾驶舱空调系统, 建立了民用客机驾驶舱的空气流场仿真模型。运用商用 CFD 软件 Fluent 模拟舱内空气流动, 记录舱内人体周围各个关键位置的空气温度、速度、局部湍流强度, 再结合吹风感导致的不满意率 (PD), 从而确定乘员工作最舒适的工况。在考虑热天太阳辐射的情况下, 设置一组初始算例, 通过调整驾驶舱内不同出风口的送风工况, 计算人体舒适性结果, 挑选舒适性结果较好的若干算例, 进行送风工况的调整及优化, 进而获得乘员的最佳舒适性工况。当空调系统处于送风温度为 18℃, 顶部出风偏向乘员头后部, 中部出风保持水平的送风工况时, 乘员的舒适性最好。  
**关键词:** 客机驾驶舱; 人体舒适性; CFD; 太阳辐射; 空气流场

## Research on Passenger Comfort in Cockpit of Airliner under Solar Radiation

HUANG Changcheng, YAN Ping

(School of Air Transport, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** Referring to the cockpit air conditioning system of Airbus A320 passenger aircraft, a simulation model of air flow field in cockpit of civil passenger aircraft is established. The commercial CFD software Fluent is used to simulate the air flow in the cabin, record the air temperature, velocity, and local turbulence intensity at key locations around the human body in the cabin, combined with the dissatisfaction rate (PD) caused by the sense of blowing, so as to determine the most comfortable work for the crew. Considering the solar radiation in hot weather, a set of initial examples is set. By adjusting the air supply conditions of different air outlets in the cockpit, the human comfort results are calculated, and several examples with better comfort results are selected for air supply. Adjustment and optimization of working conditions to obtain the best comfort working conditions for the occupants. It is found that when the air-conditioning system is at a supply air temperature of 18 °C, the top air is biased toward the rear of the occupant's head, and the middle air is maintained at a horizontal air supply condition.

**[Key words]** Airliner cockpit; Human comfort; CFD; Solar radiation; Air flow field

## 0 引言

客机驾驶舱作为飞机的中枢机构, 对于飞行安全起着至关重要的作用。飞行员作为驾驶舱内的乘员, 须保证其良好的工作状态, 因此驾驶舱内乘员舒适性一直是人机工程领域非常关注的问题。对于飞机驾驶舱内的环境分析, 袁修干最早建立战斗机座舱与简化人体模型, 并通过数值模拟技术研究了舱内的人体周围空气的温度及速度分布<sup>[1]</sup>; 王黎静建立了简化的波音 737-800 客机驾驶舱模型, 结合 PMV(预测平均评价) 指标估计了驾驶员的舒适性<sup>[2]</sup>; 袁建新研究了多种工况下飞机客舱内的乘客周围流场分布<sup>[3]</sup>。有文献探究了太阳辐射对密闭舱内环境造成影响<sup>[4]</sup>; 探究了在真实的飞机环境中测量了速度、温度、污染物浓度的分布<sup>[5-6]</sup>; 探究了飞机客舱内的乘客整体与局部热感觉之间的关系<sup>[7]</sup>。

驾驶舱作为一个封闭空间, 空调通风系统直接影响舱内的空气环境, 进而影响乘员的人体舒适性。驾驶舱内空间较为狭小, 舱内空调系统出风口与回风口数量较多, 分布于舱内各处, 相互作用关系非常复杂。出风口的大小, 送风管道的规格, 送风角度均会影响舱内空气环境。如遵循经验, 设置实验进行验证, 花费巨大, 且耗时颇长, 仿真分析软件越来越广泛的应用在模拟飞机舱内的气流流动及空气流场, 节省了大量的实验时间和研究成本。

本文通过 CFD 数值模拟技术, 模拟客机的实际飞行工况, 研究了在太阳辐射下, 不同送风工况(温度、角度、速度)对驾驶舱内乘员舒适性的影响。

## 1 仿真实验设置

### 1.1 三维模型

本文参照空客 A320 客机驾驶舱空调系统, 建立了客机驾驶舱简化的几何模型, 如图 1 所示。由

**作者简介:** 黄长城(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 民用客机舱内环境分析; 严平(1963-), 女, 学士, 教授, 主要研究方向: 动力机械设计制造、节能装置设计及自动控制。

**通讯作者:** 严平 Email: pingy@yeah.net

**收稿日期:** 2020-08-28

于实际的驾驶舱内设备密集, 边角众多, 为了仿真可以顺利进行, 同时保证驾驶舱的框架结构及舱内设备的位置与大体轮廓不发生改变, 对一些对舱内空气流场的分布影响微乎其微的边角(仪表板按钮、

乘员衣着)进行了简化。舱内共 5 处 9 个出风口, 3 个回风口。其中, 出风口 1 为顶部出风口; 出风口 2 为中部出风口; 出风口 3 为前窗出风口; 出风口 4 为主驾驶/副驾驶出风口; 出风口 5 为腿/脚部出风口。

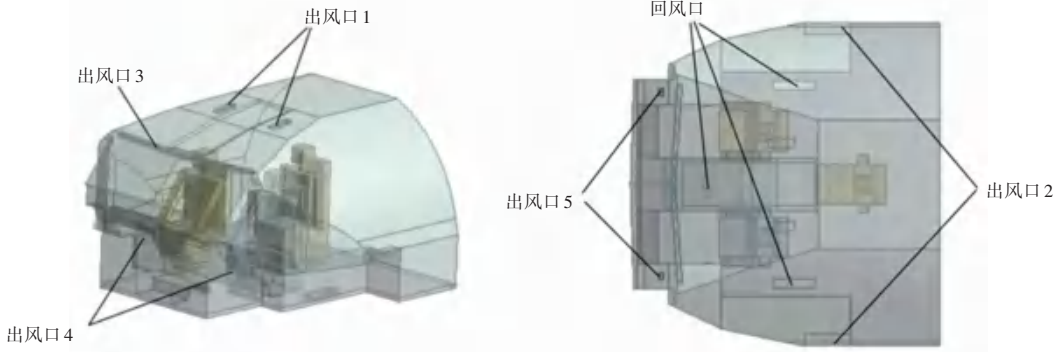


图 1 驾驶舱简化模型

Fig. 1 Simplified cockpit model

## 1.2 网格划分

使用 ANSYS Mesh 对该模型进行网格划分, 如图 2 所示。模型中各几何体均采用协调分片算法划分为四面体网格, 对狭窄处及环形区域进行网格加密。同时对人体与空气、设备壁面与空气的交界面处进行网格加密。全局网格最大尺寸设置为 80 mm, 最小尺寸设置为 0.8 mm, 网格数量约为  $3 \times 10^6$ 。



图 2 驾驶舱网格划分

Fig. 2 Cockpit Meshing

## 1.3 数学模型

本研究假设驾驶舱内流体密度为定值, 由于气流速度较低, 故为不可压缩的牛顿粘性流体。该仿真遵循 3 个理论方程, 即质量守恒方程、动量守恒方程、能量守恒方程。3 个理论方程可归纳为一个通用流体方程(1):

$$V_{cell} \frac{\partial(\rho\varphi)}{\partial t} + \sum_f \rho_f V_f \varphi_f \cdot A_f = \sum_f \Gamma_\varphi \tilde{N} \varphi_f \cdot A_f + S_\varphi V_{cell} \quad (1)$$

其中,  $V_{cell} \frac{\partial(\rho\varphi)}{\partial t}$  为瞬态项;  $\sum_f \rho_f V_f \varphi_f \cdot A_f$  为对

流项;  $\sum_f \Gamma_\varphi \tilde{N} \varphi_f \cdot A_f$  为扩散项;  $S_\varphi V_{cell}$  为源项。

## 1.4 设置边界条件及求解方法

本研究模拟客机在飞行过程中驾驶舱内的空气流场。在多数情况下, 客机在高空飞行, 太阳辐射无法避免, 因此需要考虑太阳辐射对舱内流场的影响, 主要是能量经驾驶舱玻璃及外壁传导至舱内, 舱内的设备和乘员模型的表面因太阳辐射受热而产生的自然对流现象对舱内空气流场的影响。

本文采用 RNG k-e 湍流模型, 充分考虑浮升力作用。在实际飞行中, 由于驾驶舱内设备及乘员所着衣物表面均具有一定的粗糙度, 非镜面, 且多为深色及黑色, 故其受太阳辐射后二次传热的效果很小, 因此在仿真时, 只进行一维传热的计算, 选用 Fluent 辐射模型中的太阳光线追踪模型, 考虑到飞机在高空, 太阳的光照强度相对于水平面高度有明显增强, 故在太阳追踪模型中设置经纬度, 假设飞机正处于欧洲某地, 日期为六月二十一日下午 13 点, 此时的光照强度最大。由于客机驾驶舱玻璃具有一定的厚度, 存在一定的折射, 故将太阳散射强度设置为 0.8, 主窗设置为玻璃半透明材质; 驾驶舱壁面设置为保温材质; 舱内设备材质为铝, 设置发热功率为 100 W; 人体设置为保温材质; 地面设置为等温壁面。舱内空气初始温度场为 26.85 °C, 由于乘员人体表面的温度也设置为 26.85 °C, 乘员身体无发热; 头颈部无衣服包裹, 设置驾驶员头颈部的发热功率为 80W; 乘员与空气、设备与空气两相接触的壁面

条件为耦合。

采用 Fluent 进行计算,所有出风口均设置为速度入口(Velocity-inlet)边界条件;回风口设置为压力出口(Pressure-outlet)边界条件;耦合算法选择 Simple;求解单元中心的变量梯度方法选择 Green-Gauss cell-based;由于舱内气流存在自然对流现象,且具有较高的雷诺数,故压力插值方法选择 Body Force Weighted;空气密度选项设置为 Boussinesq;其余选项设置为二阶迎风格式;设置出口质量流量监控,当出口质量流量曲线反映为一条直线,能量残差曲线已达  $10^{-7}$ ,其余参数残差均低于  $10^{-3}$ ,视为达到收敛状态。

### 1.5 工况设置

本研究将出风口 1、出风口 2 设置为变量,由于不考虑个性送风,故出风口 3、4、5 送风工况维持不变,送风角度均为法向,送风速度设置为  $1.6 \text{ m/s}$ 。为了找到符合人体舒适性的工况,同时减少计算量,先设置一组初始算例。通过分析初始算例的计算结果,设置优化算例,找到需要的解。初始算例中出风口 1、出风口 2 速度同样设置为  $1.6 \text{ m/s}$ 。机头朝向方向设置为左,具体见表 1。

表 1 初始算例

Tab. 1 Initial examples

算例编号	送风工况
1	出风口 1:方向垂直向下;风速 $1.6 \text{ m/s}$ 出风口 2:方向水平居中;风速 $1.6 \text{ m/s}$
2	出风口 1:左偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$ 出风口 2:方向水平居中;风速 $1.6 \text{ m/s}$
3	出风口 1:右偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$ 出风口 2:方向水平居中;风速 $1.6 \text{ m/s}$
4	出风口 1:方向垂直向下;风速 $1.6 \text{ m/s}$ 出风口 2:左偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$
5	出风口 1:方向垂直向下;风速 $1.6 \text{ m/s}$ 出风口 2:右偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$
6	出风口 1:左偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$ 出风口 2:右偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$
7	出风口 1:右偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$ 出风口 2:左偏 $30^\circ$ ;风速 $1.6 \text{ m/s}$

### 1.6 测量截面的选取

由于客机驾驶舱是一个封闭的三维区域,若只选取单个截面来观察舱内人体周围的速度或温度是不全面的。需要以人体为基准,选取两个位于人体中线位置,方向为  $x$ 、 $y$  且相互垂直的两个截面。通过观察上述截面的速度场、温度场可以更加完整反映舱内人体周围的空气流场,测量截面图如图 3 所示。

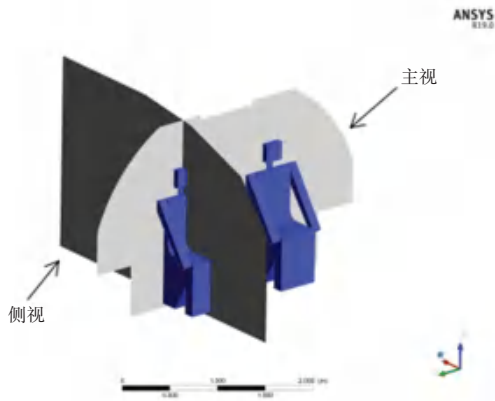


图 3 测量截面图

Fig. 3 Measurement section

## 2 数值模拟结果及人体舒适性分析

### 2.1 仿真结果分析

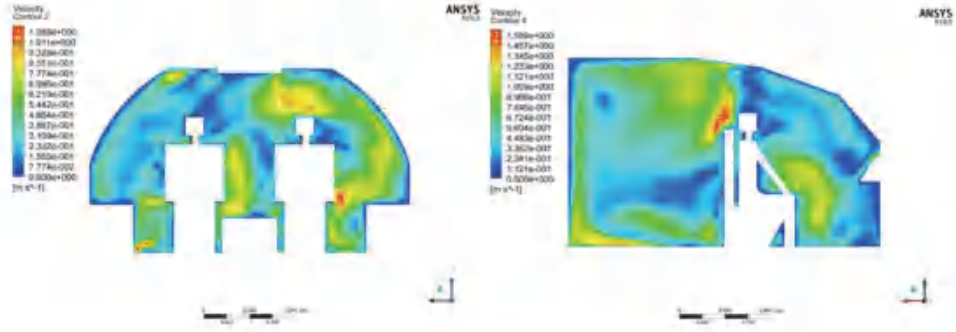
#### 2.1.1 初始算例速度场分析

驾驶舱的主视方向及侧视方向,舱内气流速度的分布情况如图 4 所示。通过观察算例 1~算例 7 的速度云图可以清楚的看到,由于出风口 1 与出风口 2 送风工况的改变,驾驶舱内空气速度场发生了十分显著的变化。其中,通过观察速度云图主视方向,2 个乘员中间位置处的速度总是要高于身体的另外一侧,且由于出风口 2 处于驾驶舱高度中间位置的缘故,乘员臀部位置的速度较其余位置较快。通过观察速度云图侧视方向,可以看到随着出风口 1 的送风角度改变,舱内乘员头部周围的气流速度也随之发生明显的变化;由于以上算例中出风口 3、4、5 的工况一致,故乘员身体前部位置的速度分布也较为一致,气流速度较乘员身体周围较快。

#### 2.1.2 初始算例温度场分析

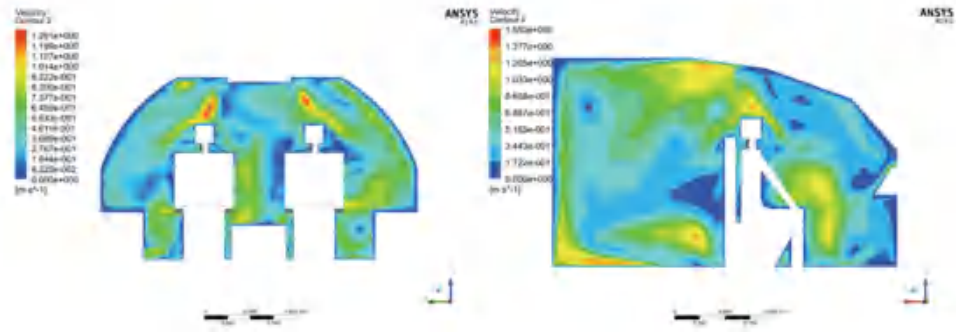
驾驶舱的主视方向及侧视方向,舱内温度的分布情况如图 5 所示。通过观察温度云图主视方向,乘员周围被一层冷流围绕,乘员中间位置处的温度总是要低于身体的另外一侧,这与速度云图中所反映的一致。通过观察温度云图侧视方向,由于出风口送风温度低于舱内空气原始温度,故仍然可以从云图中清晰的辨别出出风口 1 的送风角度,由于舱内出风口的分布,乘员身体周围同样粗略的包裹着一层冷流;在靠近前窗的位置,温度反映为红色及较深的绿色,这是由于太阳对前窗玻璃的辐射加热,以及其周围的空气被玻璃所散发高温加热;查看温度云图左上侧的量值,人体周边气流温度均在  $23 \text{ }^\circ\text{C} \sim 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ;通过观察驾驶员温度云图可知,太阳辐射的热量主要集中在驾驶员的膝盖及小腿处,膝盖处的温度最高,可达  $44 \text{ }^\circ\text{C}$ 。





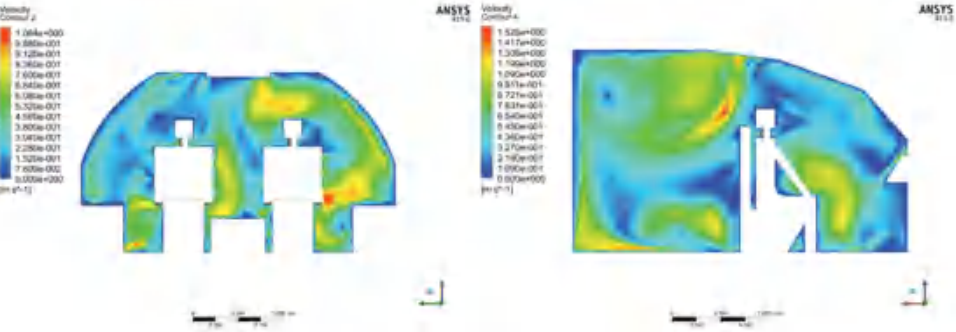
(a) 初始算例 1 速度云图

(a) Initial calculation example 1 velocity cloud diagram



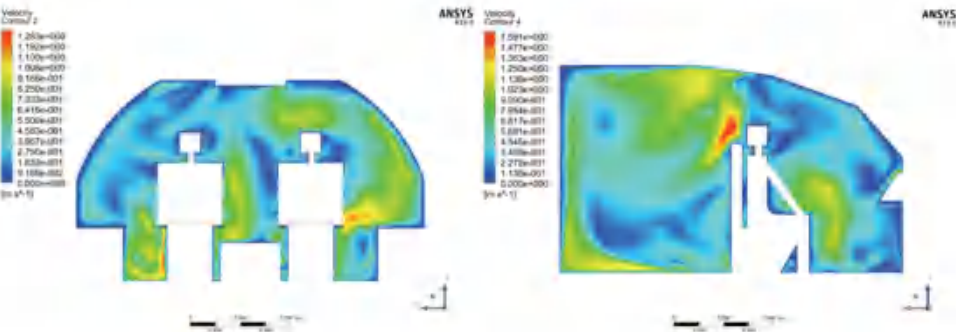
(b) 初始算例 2 速度云图

(b) Initial calculation example 2 velocity cloud diagram



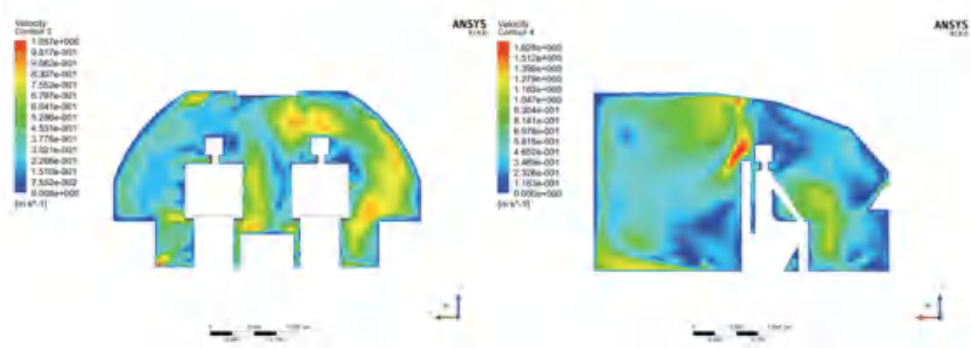
(c) 初始算例 3 速度云图

(c) Initial calculation example 3 velocity cloud diagram



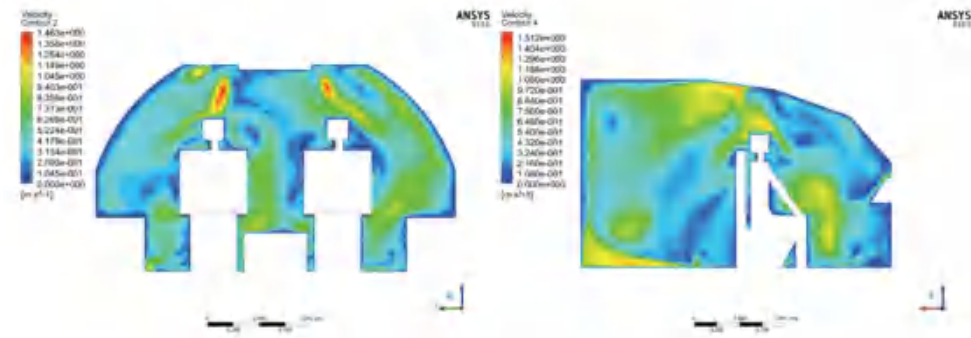
(d) 初始算例 4 速度云图

(d) Initial calculation example 4 velocity cloud diagram



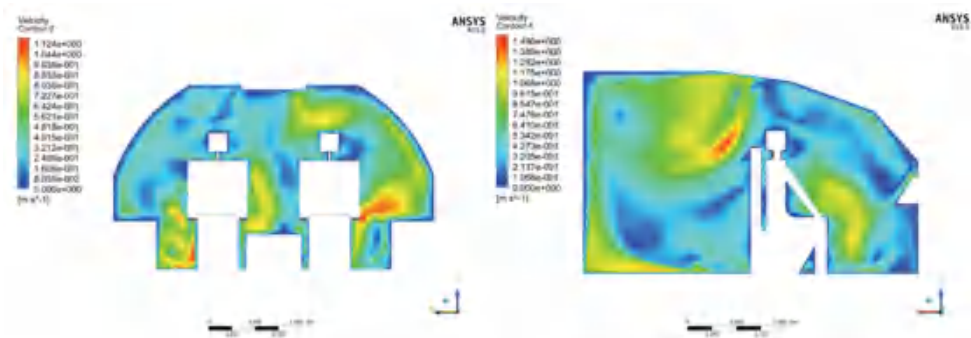
(e) 初始算例 5 速度云图

(e) Initial calculation example 5 velocity cloud diagram



(f) 初始算例 6 速度云图

(f) Initial calculation example 6 velocity cloud diagram

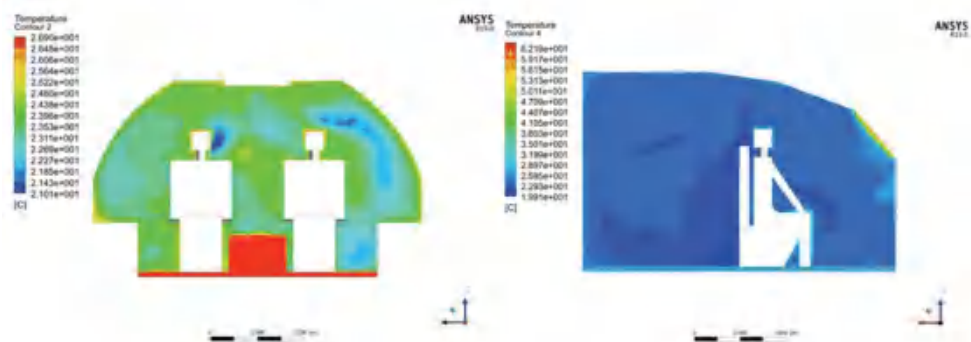


(g) 初始算例 7 速度云图

(g) Initial calculation example 7 velocity cloud diagram

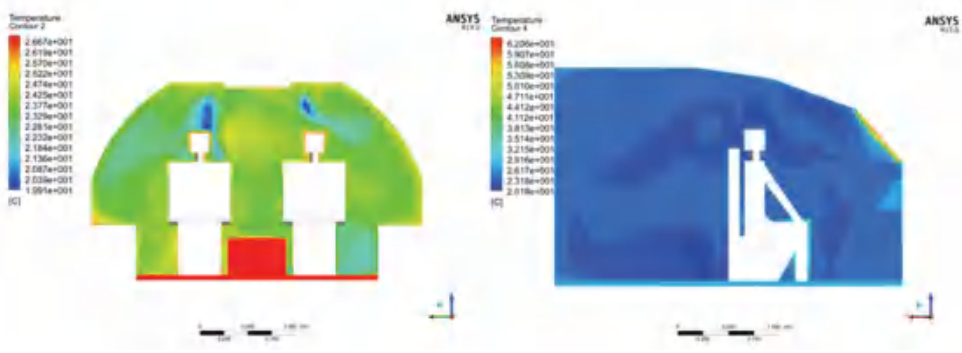
图 4 初始算例-驾驶舱速度场云图

Fig. 4 Initial example-Cloud diagram of cockpit speed field



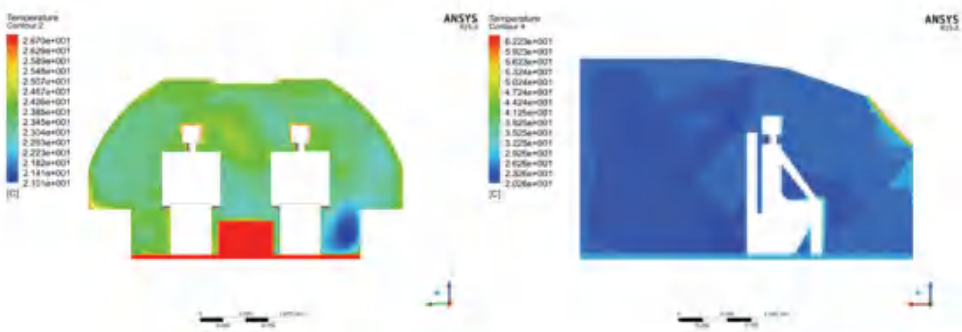
(a) 初始算例 1 温度云图

(a) Initial calculation example 1 Temperature cloud diagram



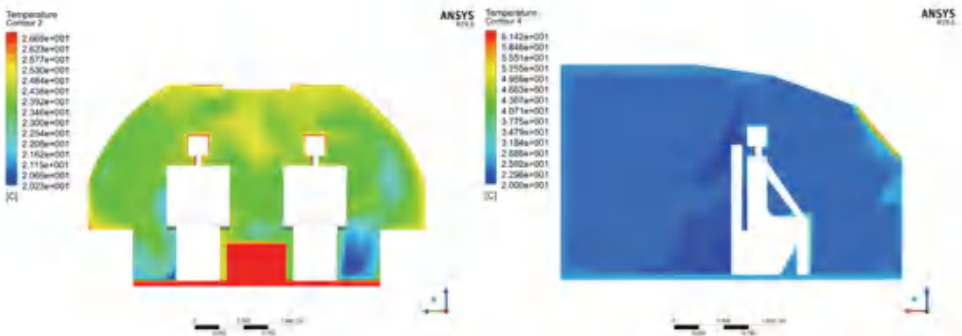
(b) 初始算例 2 温度云图

(b) Initial calculation example 2 Temperature cloud diagram



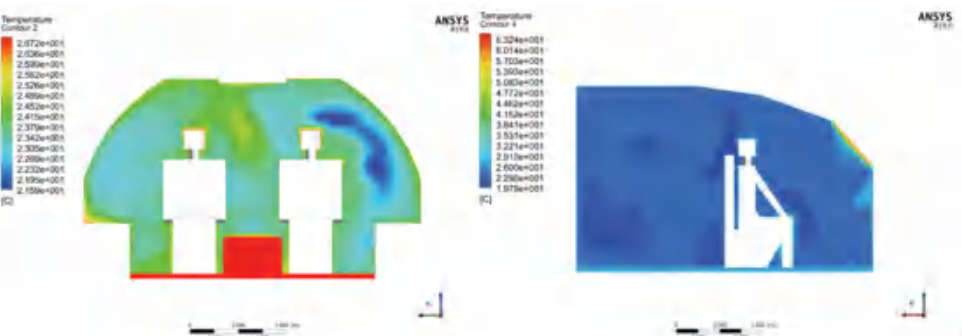
(c) 初始算例 3 温度云图

(c) Initial calculation example 3 Temperature cloud diagram



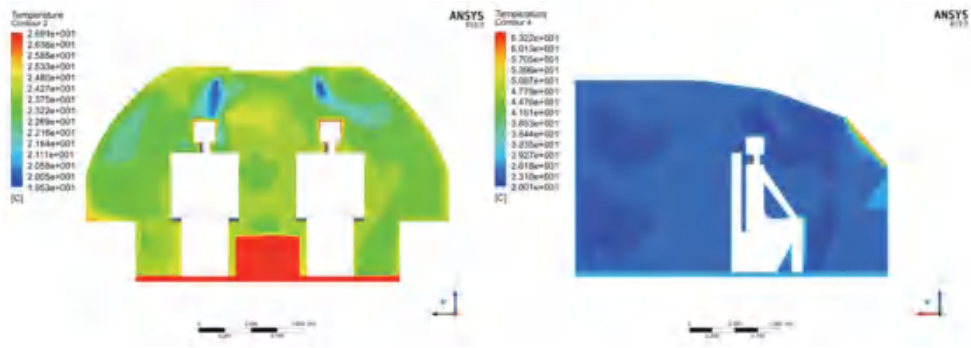
(d) 初始算例 4 温度云图

(d) Initial calculation example 4 Temperature cloud diagram



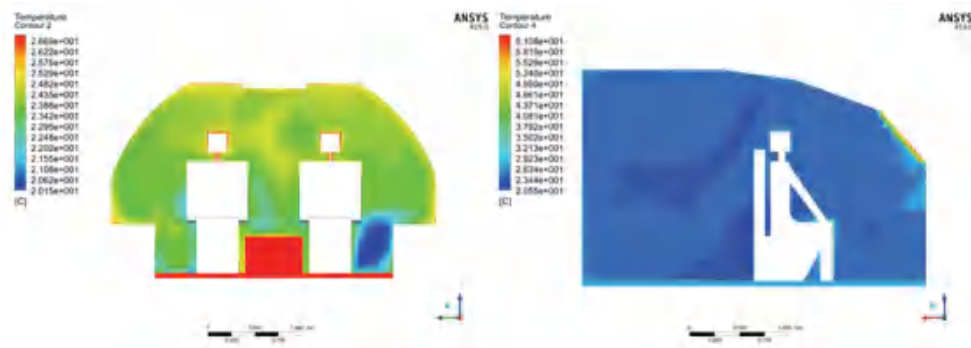
(e) 初始算例 5 温度云图

(e) Initial calculation example 5 Temperature cloud diagram



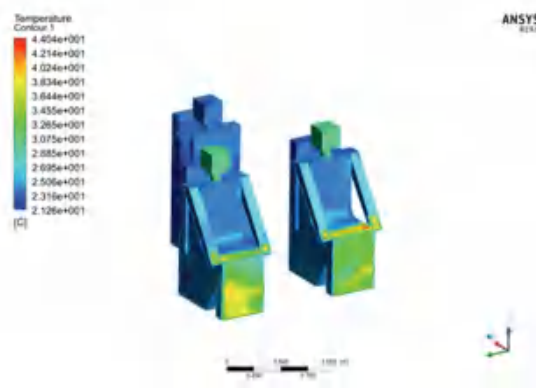
(f) 初始算例 6 温度云图

(f) Initial calculation example 6 Temperature cloud diagram



(g) 初始算例 7 温度云图

(g) Initial calculation example 7 Temperature cloud diagram



(h) 乘员温度云图

(h) Crew temperature cloud map

图 5 初始算例-驾驶舱温度场云图

Fig. 5 Initial example-Cloud diagram of cockpit temperature field

## 2.2 人体舒适性评价标准

本研究将采用 Fanger(PD) 模型对人体的舒适性进行评价。PD 模型是目前评价人体舒适性指标中应用范围较广的一种吹风感不满意率预测模型。根据 ASHRAE55-2004 标准中的推荐值,  $PD \leq 20\%$ 。预测吹风感导致的不满意率方程(2):

$$PD = (34 - t_a) \cdot (v - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot v \cdot Tu + 3.14). \quad (2)$$

其中,  $PD$  为预测吹风感引起的不满意率, %;  $t_a$  为温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $v$  为速度,  $\text{m/s}$ ;  $Tu$  为湍流强度, %。

吹风感导致的不满意是指当空气流经未被衣物覆盖或被较薄衣物覆盖的皮肤表面时,所引起的人体的不适感。为了使得结果更加准确和全面,本文将记录人体周围 14 个关键位置的数据,分别计算这 14 个位置的预测吹风不满意率,并计算每个算例对应工况的 PD 平均值。具体测量位置如图 6 所示。

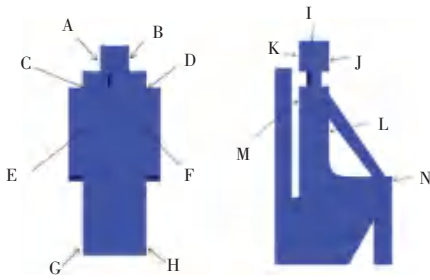


图 6 人体测量位置分布图

Fig. 6 Distribution of anthropometric positions

其中, A 为头左侧区域; B 为头右侧区域; C 为左肩区域; D 为右肩区域; E 为胸左侧区域; F 为胸右侧区域; G 为左脚踝区域; H 为右脚踝区域; I 为头顶区域; J 为前脸区域; K 为后脑区域; L 为胸前区域; M 为后背区域; N 为膝盖区域。

2.3 舒适性结果及分析

初始算例的计算结果见表 2、表 3。

表 2 基于初始算例的 PD 值

Tab. 2 PD values based on initial examples

算例编号	人员位置	吹风感预测不满意率/%							
1	左	A	B	C	D	E	F	G	
		16.80	3.35	8.47	0	12.377	18.35	15.15	
		H	I	J	K	L	M	N	
	16.40	19.92	2.79	9.02	0.81	11.37	2.52		
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		7.91	9.07	13.4	6.06	5.06	8.39	10.65	
H		I	J	K	L	M	N		
10.26	0	0	24.46	10.62	27.6	6.73			
2	左	A	B	C	D	E	F	G	
		18.35	4.98	4.74	1.87	7.82	15.82	14.12	
		H	I	J	K	L	M	N	
	14.05	16.28	5.22	11.123	0	14.56	1.91		
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		20.6	8.59	12.85	7.122	6.92	9.07	10	
H		I	J	K	L	M	N		
8.88	16.71	10.85	16.57	7.85	28.16	6.35			
3	左	A	B	C	D	E	F	G	
		14.47	4.04	10.43	0.69	13.47	18.32	16.07	
		H	I	J	K	L	M	N	
	17.14	16.34	4.08	7.87	1.54	7.76	2.98		
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		10.53	7.21	13.08	7.60	7.18	8.75	10.46	
H		I	J	K	L	M	N		
10.96	2.18	5.55	2.8	10.64	23.13	7.25			
4	左	A	B	C	D	E	F	G	
		14.52	1.11	8.56	1.79	9.94	19.00	15.04	
		H	I	J	K	L	M	N	
	18.88	16.98	2.25	8.62	4.11	13.32	2.22		
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		4.80	6.85	13.01	8.60	22.76	8.16	0	
H		I	J	K	L	M	N		
8.3	3.35	4.74	16.67	9.15	21.71	5.31			
5	左	A	B	C	D	E	F	G	
		14.90	3.61	9.17	3.27	10.26	14.40	13.87	
		H	I	J	K	L	M	N	
	13.72	18.21	5.07	8.66	3.47	12.04	2.40		
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		11.47	3.67	15.60	7.11	5.77	8.29	10.68	
H		I	J	K	L	M	N		
10.49	1.677	4.94	21.02	9.035	25.29	7.03			
6	左	A	B	C	D	E	F	G	
		18.88	4.69	4.34	0	5.75	13.63	11.88	
		H	I	J	K	L	M	N	
	13.15	16.65	5.61	11.24	0	14.65	1.89		
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		20.144	7.72	12.69	8.15	5.63	9.25	10.63	
H		I	J	K	L	M	N		
14.13	17.57	10.18	19.50	7.12	28.03	7.34			
7	左	A	B	C	D	E	F	G	
		13.36	0	10.75	0	11.07	19.03	15.53	
		H	I	J	K	L	M	N	
	20.68	15.52	1.27	8.81	1.41	12.97	2.23		
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		2.11	7.69	11.63	9.30	21.23	8.82	1.84	
H		I	J	K	L	M	N		
5.97	2.67	4.47	5.59	10.69	20.50	6.08			

注 1: 当所测位置的风速小于 0.05m/s 时, PD 值为 0。

每一组算例中都存在有 PD 值高于 20% 的位置, 算例 3 的结果稍好, 只有 1 处位置 PD 值高于

20%, 其余算例均存在 2 处或 2 处以上的 PD 值高于 20% 的位置, 其中的绝大多数都是 E、F、M, 即胸左



侧、胸右侧、后背这3处位置,而这3处位置的空气流动主要是受出风口2的影响。因此,需要调整和优化初始算例中的出风口送风工况的设置。算例3的送风工况为:出风口1方向右偏30°—风速1.6 m/s;出风口2方向水平居中—风速1.6 m/s。初始算例中与算例3工况相似的为算例7,存在3处PD值高于20%的位置,分别是右脚踝、胸左侧、后背3处位置,PD值分别为20.68%、21.23%、20.50%,但数值上并未超过20%太多。再结合以上初始算例的计算结果,当出风口1送风角度右偏时,即偏向乘员头后部时,PD值普遍较低。由于胸左侧、胸右侧、后背的PD值受出风口2的影响最大,故可以基于出风口1送风角度右偏30°—风速1.6 m/s的工况,着重对出风口2的送风工况进行调整,以期达到更好的人体舒适性。

表3 基于初始算例的PD平均值(总)

Tab. 3 Average of PD based on initial examples (total)

算例编号	PD平均值/%
1	9.91
2	10.76
3	9.38
4	9.63
5	9.83
6	10.73
7	8.97

注2:PD平均值(总)=(左侧驾驶员PD平均值+右侧驾驶员PD平均值)/2

### 3 优化

#### 3.1 优化算例送风工况设置

根据初始算例结果的分析,将基于出风口1送风角度右偏30°—风速1.6 m/s的送风工况,着重对出风口2的送风工况进行调整,见表4。由于PD的值与空气温度、空气速度、湍流强度这三者直接相关,因此将降低出风口2的送风速度。考虑到出风口2的送风速度降低,会导致驾驶舱内空气温度的升高,因此将所有出风口的送风温度调整为18℃,其余出风口工况保持默认与初始算例一致。

表4 优化算例

Tab. 4 Optimization examples

算例编号	送风工况
1	出风口1:右偏30°;风速1.6 m/s 出风口2:方向水平居中;风速1.0 m/s
2	出风口1:右偏30°;风速1.6 m/s 出风口2:左偏30°;风速1.0 m/s

#### 3.2 优化算例速度场分析

优化算例1、2的主、侧视方向的速度云图如图7所示。主视图方向,由于出风口2的速度的降低,驾驶员臀部位置的气流速度出现了较为明显的减弱;侧视图方向,同样是由于出风口2送风速度的降低,对比初始算例中工况设置类似的算例的计算结果,乘员前部位置以及座椅背后位置的气流速度已有较为明显的减弱。

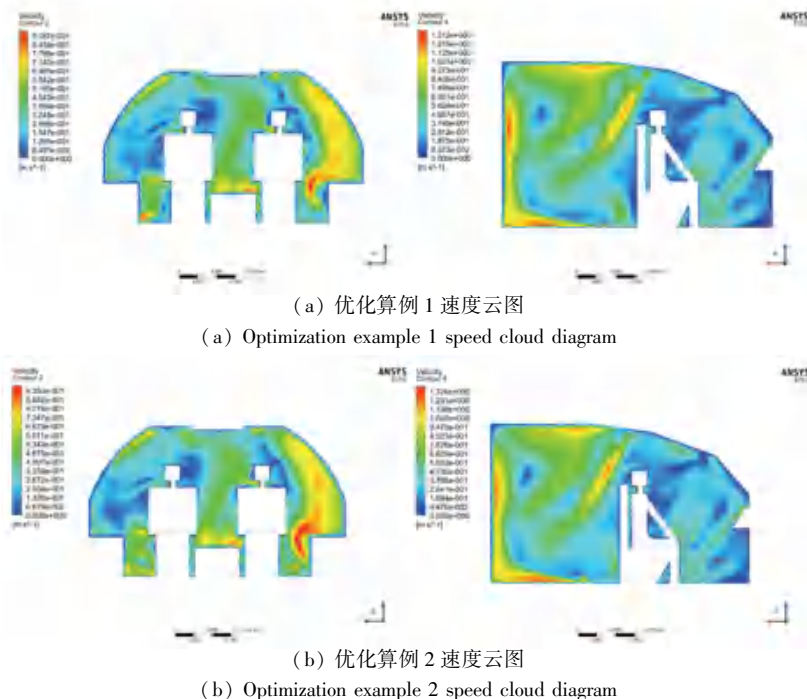


图7 优化算例-驾驶舱速度场云图

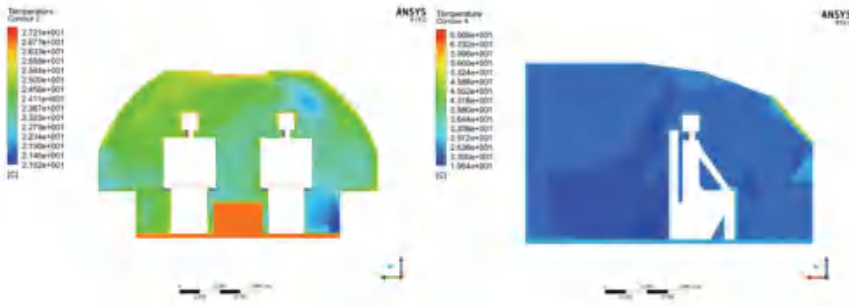
Fig. 7 Optimization example-cockpit speed field cloud diagram

### 3.3 优化算例温度场分析

优化算例 1、2 的主、侧视方向的温度云图如图 8 所示。主视图方向, 乘员座椅位置旁边的低温区域有较为明显的缩小; 侧视图方向, 对比初始算例中工况设置类似的算例的计算结果, 乘员膝盖处及乘员座椅背后位置的深蓝色区域存在一定程度的减小, 原因是送风速度减小导致的冷空气量减少而引起的温度上升; 乘员周围空气温度保持在 23 °C ~ 24 °C。

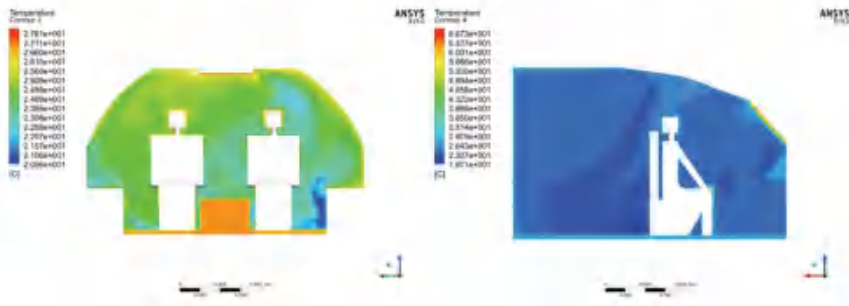
### 3.4 优化后算例舒适性结果及分析

优化后算例的 PD 值见表 5。优化算例的计算结果见表 6 和图 9 所示, 发现算例中被测位置的预测吹风感不满意率 (PD) 均已低于 20%, 且优化算例的 PD 平均值较初始算例已有明显的降低, 说明全部被测位置的 PD 值均有较大改善, 可见经过调整的工况可以更加有效保障乘员的舒适度。其中, 优化算例 1 的 PD 平均值小于优化算例 2 的 PD 平均值, 故优化算例 1 的工况是最为合适的。



(a) 优化算例 1 温度云图

(a) Optimization example 1 temperature cloud diagram



(b) 优化算例 2 温度云图

(a) Optimization example 1 temperature cloud diagram

图 8 优化算例-驾驶舱温度场云图

Fig. 8 Optimization example-Cloud diagram of cockpit temperature field

表 5 基于优化后算例的 PD 值

Tab. 5 PD values based on optimized examples

算例编号	人员位置	吹风感预测不满意率/%							
		A	B	C	D	E	F	G	
1	左	A	4.58	3.07	3.23	9.90	14.16	6.78	
		H	I	J	K	L	M	M	
		8.48	5.36	4.78	1.35	5.41	16.3	3.07	
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		15.57	0	11.39	1.25	0.57	10.05	6.99	
		H	I	J	K	L	M	N	
		8.41	3.84	6.54	1.76	0	19.70	6.94	
2	左	A	B	C	D	E	F	G	
		0.84	6.87	2.49	3.00	9.43	14.10	6.97	
		H	I	J	K	L	M	M	
			12.79	5.54	4.71	2.14	5.12	17.01	3.07
	右	A	B	C	D	E	F	G	
		14.42	0	11.22	1.70	0	9.91	4.28	
H		I	J	K	L	M	N		
		7.81	4.12	7.03	3.69	0	19.13	6.41	