

文章编号: 1671-6612 (2020) 03-312-04

民用飞机座舱温度场仿真分析与研究

杨 智¹ 龙正伟² 汪光文¹

(1.上海飞机设计研究院 上海 201210;

2.天津大学环境科学与工程学院 天津 300072)

【摘 要】 极端气候条件下民用飞机座舱温度场验证是民用飞机设计的难点, 首先基于某型民用飞机座舱几何参数, 建立 CFD 计算模型; 其次采用该模型计算常温环境下的座舱温度场, 并与试验对比以验证模型; 最后再采用验证过的模型计算极端气候条件下的座舱温度场, 以验证某型民用飞机极端气候条件下座舱温度场是否满足设计要求。

【关键词】 座舱; 温度场; CFD

中图分类号 V245.3 文献标识码 A

Simulation Research and Analysis of Cabin Temperature Filed for Civil Aircraft

Yang Zhi¹ Long Zhengwei² Wang Guangwen¹

(1.Shanghai Aircraft Design and Research Institue, Shanghai, 201210;

2.School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin, 300072)

【Abstract】 The cabin temperature filed verification is difficult at extreme cold and hot day in civil aircraft design. In this paper, the CFD calculation model was built duet to the cabin geometry parameter. Then the cabin temperature filed at stand day was calculated to use the CFD model, and at the same time the calculation result was compared with the test to validated the model. With the validated model, the cabin temperature filed at extreme cold and hot day was calculated to validate the cabin temperature filed requirement is met or not.

【Keywords】 Cabin; temperature filed; CFD

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2012CB720100)

作者 (通讯作者) 简介: 杨 智 (1984.10-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, E-mail: yangzh@comac.cc

收稿日期: 2019-05-25

0 引言

舒适性是民用飞机的关键要求之一, 座舱温度是旅客感受民用飞机舒适性的直接因素。同时民用飞机的飞行高度一般在 9000~12000m 左右, 舱外环境温度在可低至-65℃左右。在如此极端的环境下, 维持座舱温度场在合适的范围内是民用飞机的基本要求之一。为此, 民用飞机的设计要求中规定了座舱温度场的相关设计要求, 这些设计要求的验

证是民用飞机研制中非常重要的环节。极端气候条件下如地面环境温度为-40℃时, 座舱温度设计要求如何验证是民用飞机研制中的难题, 一是地面环境温度为-40℃的气候条件较难寻找, 且影响民用飞机研制进度; 二是若采用试验验证, 花费巨大且耗时耗力; 三是座舱人员对座舱温度场影响较大, 而民用飞机试飞时座舱人员很难满载。因此若可通过计算验证极端气候条件下座舱人员满载时的座

舱温度设计要求,将对民用飞机的研制有积极地推动和指导作用。

本文针对极端气候条件下民用飞机座舱温度场设计要求验证问题,基于某型民用飞机座舱真实的几何参数,建立 CFD 计算模型,采用该模型计算常温环境下的座舱温度场,并与试验对比验证模型后,再用于极端气候条件下的座舱温度场计算,以验证某型民用飞机极端气候条件下座舱温度场是否满足设计要求。

1 民用飞机座舱温度场设计要求

SAE ARP 85^[1]中定义了民用飞机座舱温度需要满足的要求,如表 1 所示。

表 1 SAE ARP 85 座舱温度要求

参数	标准
座舱温度	运行时的温度范围: 18℃至 29℃
空间温度变化要求	在系统稳定条件下,座舱温度变化不超过 2.8℃(从距地板 50mm 到座椅头靠位置的垂直面内)

SHRAE161-2007^[2]也规定了飞机座舱温度设计要求,如表 2 所示。

表 2 ASHRAE 161-2007 座舱温度要求

参数	标准
座舱温度	(1) 在飞行和地面运行时的温度范围: 18.3℃至 23.9℃; (2) 不论飞机上娱乐系统 (IFE) 是否开启,飞行时的温度都不得超过 26.7℃;地面运行时温度应不超过 26.7℃(如果没有 IFE 或 IFE 不工作)或 29.4℃(如果 IFE 工作)
空间温度变化要求	(1) 温度控制区横向温度变化不大于 4.4℃; (2) 座椅处垂直方向温度变化不大于 2.8℃,分别测量距离地板 100mm、610mm、1090mm 处的温度; (3) 左、右靠近窗户座位中心线之间的整个距离上测量的温度变化不大于 2℃

2 座舱温度场计算模型

2.1 物理模型及网格划分

根据某型飞机座舱真实三维几何模型,建立相应的 CFD 数值模拟模型。座舱天花板附近及行李架附近左右两侧各设置一送风口,即总共有四个送风口。回风口设置于地板附近两侧侧壁面上,几何模型如图 1 所示。

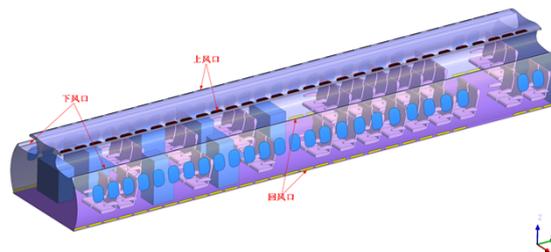


图 1 座舱几何模型示意图

Fig.1 Cabin geometry model graph

网格生成工具采用 Gambit 软件,网格划分形式采用非结构网格,生成的网格数量为 1000 万。为保证计算结果的准确性及计算资源的合理利用,网格划分时分别对座舱内送风口、回风口及壁面附近进行了加密处理,网格示意图如图 2 所示。

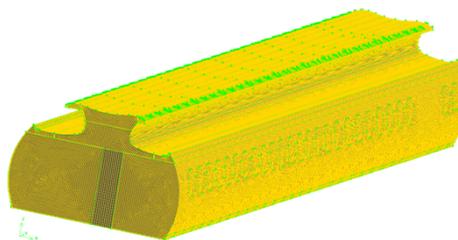


图 2 座舱网格示意图

Fig.2 Cabin grid graph

2.2 数学模型

采用 RANS 湍流模型中稳态 RNG $k-\varepsilon$ 模型对座舱内气流分布进行模拟预测。对于稳态 RNG $k-\varepsilon$ 模型,压力与动量方程的耦合方式采用 SIMPLE 算法;空间离散方法中,压力离散采用 PRESTO 算法,动量的差分格式采用有限中心差分准则,其它变量的压力差分格式都采用二阶向前差分准则。当能量的残差低于 10^{-7} ,其他变量的残差低于 10^{-4} 时,认为所计算的流场已经达到收敛。

2.3 模型验证

2.3.1 常温天座舱温度场测试

按照 ASHRAE161-2007 中的要求,分别在某型飞机座舱前部、中部以及后部区域布置三维风速仪,测量了座舱无乘客时每个区域距离地板

100mm、610mm、1090mm 处的温度和速度; 并使用热成像仪测量了座舱天花板、地板、内饰壁面等模型计算中采用的边界参数。试中采用的超声波风速仪如图 3 所示。

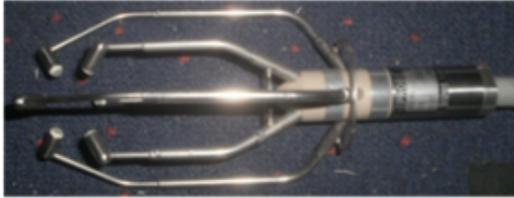


图 3 超声波风速仪示意图

Fig.3 Dimensional sonic anemometer graph

2.3.2 常温天座舱温度场计算

采用模型计算了常温天时座舱无乘客时流场与温度场, 计算时采用的边界条件如表 3 所示。

表 3 常温工况座舱内边界条件

Table 3 boundary of Cabin at stand day

边界	参数
左侧送风温度 $^{\circ}\text{C}$	21.3
右侧送风温度 $^{\circ}\text{C}$	19
上风口送风风速 m/s	1.45
下风口送风风速 m/s	1.36
上风口单侧送风量 kg/s	0.2293
下风口单侧送风量 kg/s	0.1791
左侧壁面温度 $^{\circ}\text{C}$	24
右侧壁面温度 $^{\circ}\text{C}$	21
左侧窗户温度 $^{\circ}\text{C}$	30
右侧窗户温度 $^{\circ}\text{C}$	27
天花板温度 $^{\circ}\text{C}$	20
地板温度 $^{\circ}\text{C}$	27
座椅	绝热
回风口温度 $^{\circ}\text{C}$	24.3

座舱流场与温度场计算结果示意如图 4~6 所示。

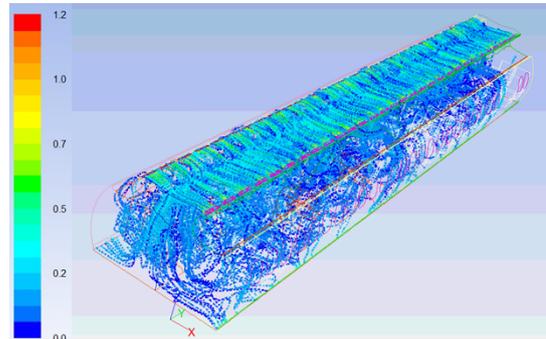


图 4 座舱内流场分布

Fig.4 Cabin flow filed distributing

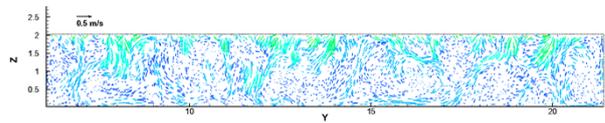


图 5 座舱内走廊中央沿机身方向流场分布

Fig.5 Cabin flow filed distributing in the central of floor through aircraft

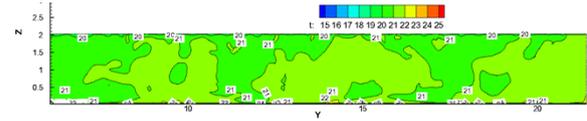


图 6 座舱内走廊中央沿机身方向温度分布

Fig.6 Cabin temperature filed distributing in the central of floor through aircraft

2.3.3 座舱温度场测试与计算结果对比

常温天座舱温度场测试与试验测量结果对比如图 7 所示。

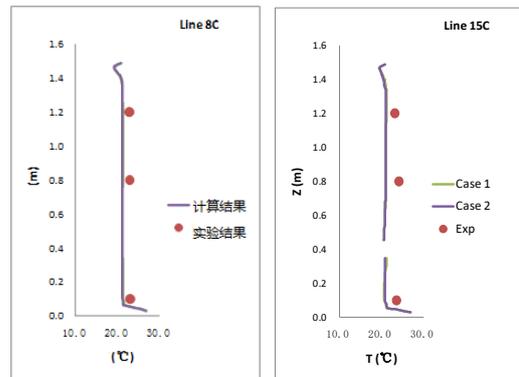


图 7 座舱温度场测试与计算结果对比

Fig.7 Cabin temperature contrast between test and calculation

根据模拟结果与实测结果的对比情况可以看出, 无论是从数值的大小与变化的趋势上看, 两种计算工况下的数值计算结果与实验测量数据都能

有较好的吻合,证明了现有数值计算方法对座舱温度场进行预测的正确性,即计算模型可以用来验证极端气候条件冷天工况下的座舱温度场。

3 极端气候冷天座舱温度场计算

采用上述计算模型对某型飞机冷天座舱人员满载时座舱流场与温度场进行了计算,以验证极端气候条件冷天(地面环境温度为 -40°C)工况下、座舱人员满载时的座舱温度场要求。计算时采用的边界条件设置如表 4 所示。

表 4 冷天地面工况座舱内边界

Table 4 Boundary of Cabin at ground cold day

边界	参数
左侧送风温度 $^{\circ}\text{C}$	27.7
右侧送风温度 $^{\circ}\text{C}$	27.7
上风口送风风速 m/s	1.45
下风口送风风速 m/s	1.36
上风口单侧送风量 kg/s	0.2293
下风口单侧送风量 kg/s	0.1791
左侧壁面温度 $^{\circ}\text{C}$	18.9
右侧壁面温度 $^{\circ}\text{C}$	18.9
左侧窗户温度 $^{\circ}\text{C}$	4.9
右侧窗户温度 $^{\circ}\text{C}$	4.9
天花板温度 $^{\circ}\text{C}$	18.7
地板温度 $^{\circ}\text{C}$	4.5
座椅	绝热
人体 $^{\circ}\text{C}$	31
回风口温度 $^{\circ}\text{C}$	21

座舱流场与温度场计算结果示意如图 8~13 所示。

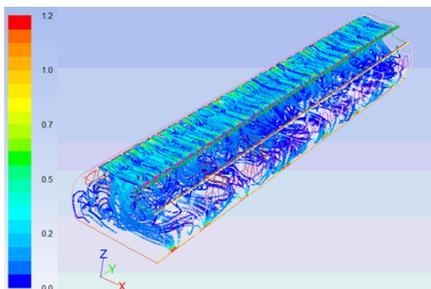


图 8 座舱内流场分布

Fig.8 Cabin flow filed distributing

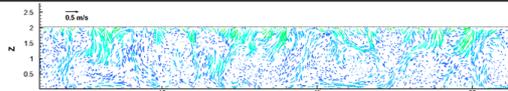


图 9 座舱内走廊中央沿机身方向流场分布

Fig.9 Cabin flow filed distributing in the central of floor through aircraft

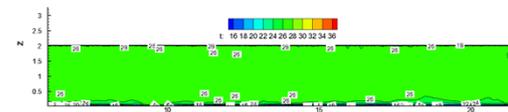


图 10 座舱内走廊中央沿机身方向温度场分布

Fig.10 Cabin temperature filed distributing in the central of floor through aircraft

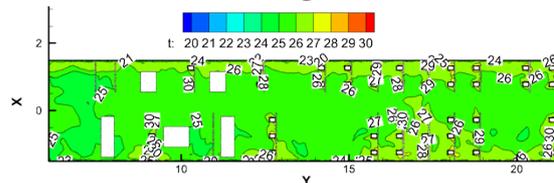


图 11 座舱温度场分布示意图(头靠位置)

Fig.11 Cabin temperature filed distributing at the position of head

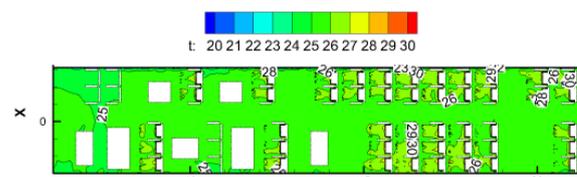


图 12 座舱温度场分布示意图(腰部位置)

Fig.12 Cabin temperature filed distributing at the position of waist

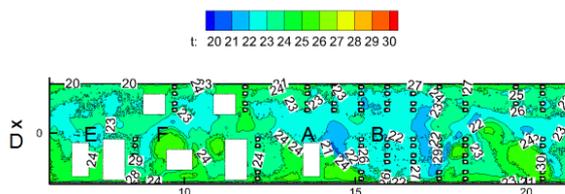


图 13 座舱温度场分布示意图(脚部位置)

Fig.13 Cabin temperature filed distributing at the position of foot

座舱内空间温度变化计算结果如表 5 所示。

表 5 空间温度变化计算结果

Table 5 Calculation result of Cabin temperature change

参数	计算结果
横向温度变化 $^{\circ}\text{C}$	2.1
纵向温度变化 $^{\circ}\text{C}$	1.7

参数	计算结果
垂直温差/℃	2.25

由表 5 可知,某型飞机冷天座舱空间温度变化满足表 2 中 ASHRAE 161-2007 座舱温度要求。

4 结论

基于某型民用飞机座舱真实的几何参数,建立了 CFD 计算模型。采用计算模型计算了常温天地面环境下的座舱温度,并与试验对比验证了计算模型后;采用验证后的计算模型计算了极端气候条件冷天下的座舱温度,解决了极端气候条件下座舱温度验证问题,并减少试验测试,节约了飞机研制成本。

(下转第 325 页)