

某型机供气分配系统故障分析与设计改进

安 杨 马 俊 刘伟东 魏树壮 李 爽 唐 兵

(航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司, 哈尔滨, 150066)

摘要: 本文对某型机空调供气分配系统出现的问题进行了研究, 通过运用流体仿真手段对供气分配系统的压力损失、温度、流量和流速进行计算分析, 并与空调系统性能试验结果进行对比分析, 选择合理的驾驶舱和客舱分配比例, 最终确定了空气分配系统的改进方案, 改进后的供气分配系统操作简单, 维护方便, 经试验测试性能满足空调系统设计要求。

关键词: 分配不均; 压力损失; 分配箱; 截流; 分配比例

中图分类号: V228.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2615(2017)S-0158-05

Fault Analysis and Improvement of Air Feed-Distribution System for X Type Aircraft

AN Yang, MA Jun, LIU Weidong, WEI Shuzhuang, LI Shuang, TANG Bing

(AVIC Harbin Aircraft Industry Group Co., Ltd., Harbin, 150066, China)

Abstract: We discussed the problem in the air-condition air feed-distribution system of X type aircraft. We calculated pressure loss, temperature, flux, and velocity of flow by using hydro-simulation. Then, we compared the air-condition capability test data with the simulation results. After the analysis, we chose the best distributing scales of cockpit and cabin, and finally determined the best improvement scheme of air feed-distribution system. The improved system is freindly to operation and maintenance, and can well meet the performance requirement.

Key words: distributing imbalance; pressure loss; distributing box; hold up flux; distributing scale

飞机空调系统的功能是为座舱提供足够的新鲜空气, 保证座舱空气的洁净度^[1], 并且能够对座舱内的温度进行适当地调节^[2], 在各种飞行条件下为驾驶员和乘客提供适宜的温度、湿度, 并能为风挡玻璃除雾、除霜, 确保座舱空气环境舒适^[3]。某型机空调系统的设计亮点是集成化空气分配系统^[4], 自然通风系统、空调系统共用该套集成化空气分配系统, 这种设计形式的优点是节省安装空间^[5], 减少空气分配系统重量。

1 故障现象

某型机的空调系统在安装、调试、地面试验及飞行任务过程中却遇到了如下问题:

1.1 通风活门操纵手柄易断问题

通风系统操纵手柄安装在副驾驶员的右前侧地板上, 距副驾驶右脚较近, 系统设计之初未考虑副驾驶脚会踢到操纵手柄, 副驾驶员在执行飞行任务及调节座椅位置时, 副驾驶员脚易碰到通风系统操纵手柄, 此外, 在驾驶舱进行维护活动工作的相关人员也会不小心损坏操纵手柄。

1.2 通风活门不密封和维护性差问题

某型机通风系统最初使用手动通风活门, 通过上拉和下推操纵手柄带动操纵钢索移动来控制通风活门的打开和关闭^[6], 通风活门操纵组件中钢索的应力较大, 钢索操纵不灵敏, 致使通风活门在开/关的状态下活门片不到位, 冬天使用空调加温功能

收稿日期: 2017-05-15; **修订日期:** 2017-06-20

通信作者: 安杨, 男, 高级工程师, 副主任设计师, E-mail: anyan214@sina.com.

引用格式: 安杨, 马俊, 刘伟东, 等. 某型机供气分配系统故障分析与设计改进[J]. 南京航空航天大学学报, 2017, 49(S): 158-162. AN Yang, MA Jun, LIU Weidong, et al. Fault analysis and improvement of air feed-distribution system for X type aircraft[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2017, 49(S): 158-162.

时,外界冲压冷气易从通风活门串入空调分配系统,导致空调系统加温效果差,飞机座舱内温度过低。

通风活门安装在副驾驶操纵杆下方,维护时需拆卸驾驶舱座椅、地板、驾驶杆组件,维护性差,不满飞机整机维护要求。

1.3 驾驶舱和客舱气量分配不均问题

空气分配系统使用过程中出现驾驶舱/客舱空气分配不均的问题,总体表现是分配至驾驶舱的加温气量不足,冬季在 3 000 m 高度飞行时,驾驶舱内温度仅仅为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度过低导致飞行员无法正常执行飞行任务^[6]。

1.4 客舱脚加温前后不均问题

客舱气量较大但分配不均,前段脚加温气量大,温度高,后段脚加温气量小,温度低,致使飞机客舱内部空间冷热分布不均^[6]。

2 原因分析

查阅空调系统的设计图纸,对空调管路走向、空调分配形式以及空调管路的保温形式等进行分析、论证,归纳总结导致空调系统性能不好的因素如下所述。

2.1 空调分配箱组件设计不合理

如图 1 所示,空调分配箱组件仅是一个简单五通结构,完全靠气体静压实现空气分配^[7],受管路流阻的影响较大,不能起到按比例分配空气流量的作用,且冷/热空气的供气方向不易控制,容易串气。另外,使用空调加温功能,客舱脚加温盒和天棚分配均出气,空调气体分流过多,导致分配到每个空气出口流量和流速过小。此外,选择空调制冷/加温功能时,需在地面手动打开机上的空调附件维护口盖,手动调节冷气和热气的供气方向,空中无法实现天棚或脚加温供气,调节分配箱活门片实现的,操纵笨拙。

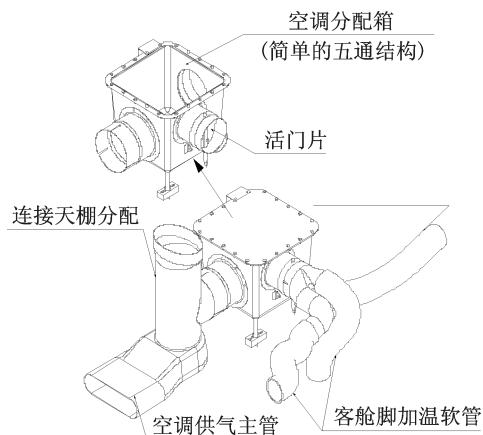


图 1 原供气分配箱

Fig. 1 Former supply air box

2.2 通风活门设计不合理

通风活门的打开/关闭是通过副驾驶员提起/按下通风手柄实现的,由操纵钢索将动作传递至通风活门的活门片位置实现活门的打开/关闭。但实际安装中,总装车间不能保证钢索手柄与钢索护套的同轴度,导致钢索走向上存在几处转弯,使得钢索的操纵应力过大,副驾驶员提起/按下操纵手柄时,由于钢索手柄与钢索护套的不同心,虽然手柄到达设计位置,但是活门片并没有到达设计打开或关闭位置,导致通风活门片在通风系统打开/关闭时不到位,使得外界空气串入空调分配系统,降低空调系统性能。

通风活门安装在副驾驶操纵杆下方,维护时需拆卸驾驶舱座椅、地板、驾驶杆组件,维护性差,安装和维护时无法目视检查通风活门的工作状态,只能用手摸索着安装,拆卸驾驶杆组件非常繁琐,涉及很多系统,拆卸和安装至少需要两周时间,需要重新调整整个飞机操纵系统、操纵线系、相关的航电设备,不满飞机整机维护要求。

2.3 除雾系统设计不合理

除雾管路先穿过驾驶舱地板下右侧隔板,进入前起落架舱,后穿过地板进入驾驶舱,实现脚加温和除雾功能。由于飞机飞行过程中,大量冲压空气进入前起落架舱,使前起落架舱内空气温度过低,造成除雾管路的热量损失严重,除雾管路内气体温度降低,影响驾驶员脚加温和风挡玻璃除雾/除霜功能;此外,除雾扩散器和驾驶员脚加温盒出气孔面积过大,造成气体流速低,除雾、脚加温性能不理想,如图 2 所示。

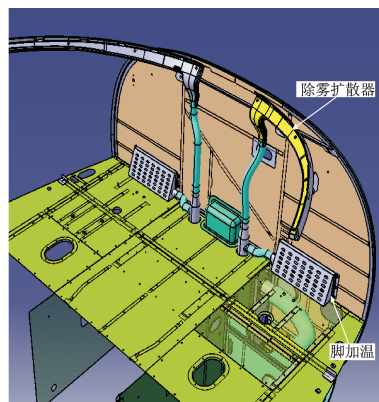


图 2 驾驶舱内除雾系统

Fig. 2 Cockpit demist system

2.4 客舱脚加温设计不合理

客舱前段脚加温盒、后段脚加温盒的出气口面积一致,致使客舱脚加温前段出气量大、后段出气量小,如图 3 所示。

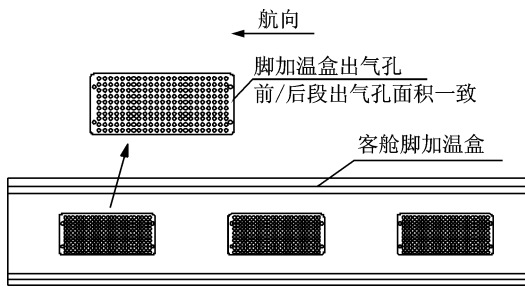


图3 客舱脚加温出气口

Fig. 3 Cabin feet heating outlet

3 解决措施

3.1 原空调系统供气管路仿真分析

利用 FLUNT 仿真软件对原空调系统供气管路,压力场和速度场分别参如图 4~6 所示,从压力

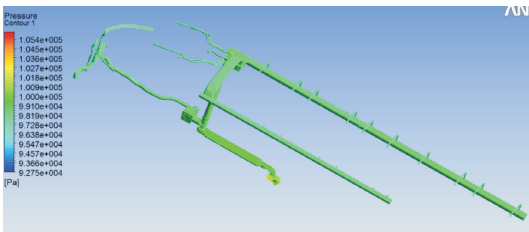


图4 压力分布云图

Fig. 4 Pressure distribution

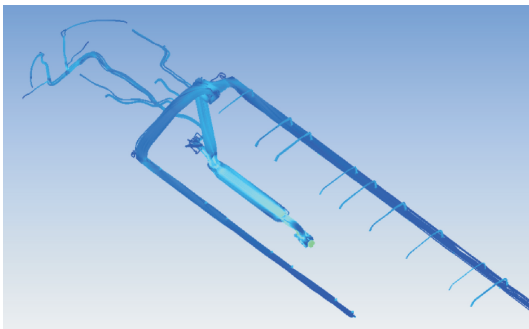


图5 速度迹线图

Fig. 5 Velocity track

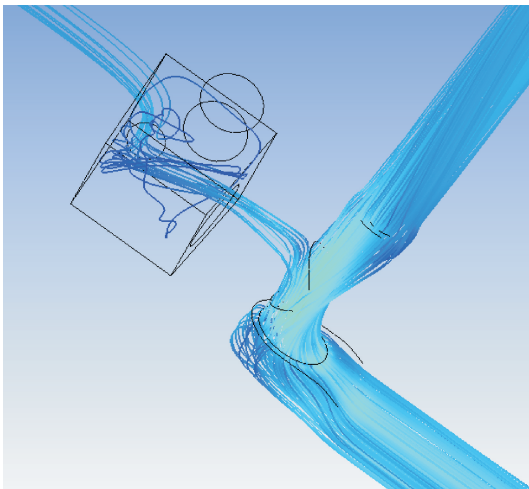


图6 分配箱部分速度细节图

Fig. 6 Velocity track detail

分布云图 4 可计算分配管路中的压力降,从流速迹线图 5、6 可计算分配管路中的流量分配值,迹线粗代表流量大,迹线细则流量小,通过仿真得出进入驾驶舱的气量非常少。

仿真计算得出的管路压降为 0.029 2 MPa(入口压力为 140 000 Pa,计算得出最远端出口压力为 110 800 Pa,即客舱右侧最后端供气支路出口)。从各支路流量分配所占比例可知,有 49.9%的冷空气流向了客舱右侧(航向)支路,34.9%的冷空气流向了客舱左侧支路,4%的冷空气流向驾驶舱脚加温,5.6%的冷空气驾驶舱顶棚制冷,6.3%流向了风挡除雾。同时风挡除雾部分出口流速很小,后部出口速度接近 0。

3.2 供气分配系统设计改进

3.2.1 供气分配箱改进

对某型机进行热载荷分析,重新设计空气分配箱,并在下部分配主管中增加截流装置^[8],如图 7 所示。分配主管中截流装置能够确保驾驶舱/客舱的空调气体分配比例始终为 1/2;改进后的分配箱结构简化、体积降低,用手柄与护套一体的推拉钢索控制分配箱的供气方向^[9],驾驶员通过推拉操纵钢索,实现分配管路内冷/热空气的供气方向控制,进而实现选择空调系的制冷/加温功能,操纵灵活,改进了人机功效。

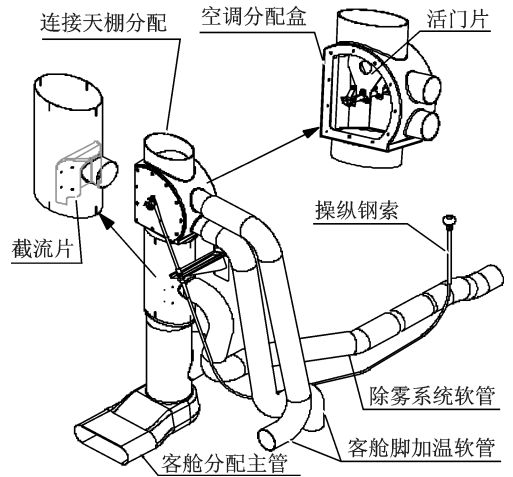


图7 新供气分配箱

Fig. 7 Current supply air box

3.2.2 通风活门改进

通风系统选用电动通风活门,代替手动通风活门及通风活门操纵组件。该电动通风活门能够确保通风系统的密封性,该通风活门设计有活门完全打开和关闭的位置信息,可以判断活门的工作状态。电动通风活门的安装区域已经协调结构设计室加强,且经强度设计室针对电动通风活门的安装位置、安装形式进行强度校核,强度计算结果满足

设计要求。

电动通风活门由在副驾驶操纵杆下方向后平移一个框,维护时无需拆卸驾驶杆组件,仅需拆卸副驾驶座椅和地板即可维护,满飞机整机维护要求。

3.2.3 驾驶舱分配管改进

如图 8 所示,除雾软管由地板下部空间直接进入驾驶舱,避免进入前起落架舱,造成不必要的热量损失;在驾驶舱脚加温、风挡除雾之间增加带有隔板的导管组件,隔板具有分流作用^[10],能够保障驾驶舱脚加温、风挡除雾的供气比例分为 1 : 1;同时减小除雾扩散器、脚加温盒的出气孔面积,以达到提高空气出气流速的目的。

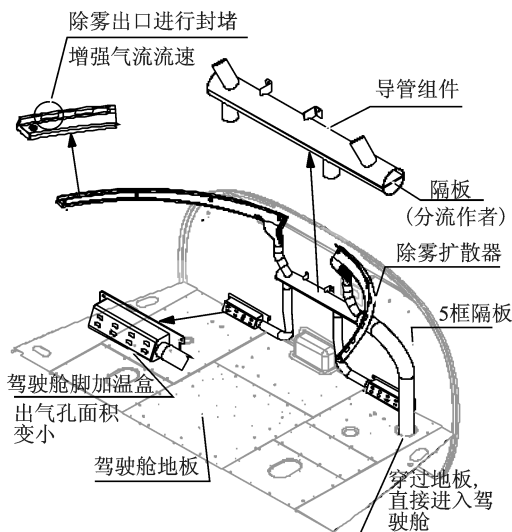


图 8 新除雾系统

Fig. 8 Current demist system

3.3 新空调系统供气管路仿真分析

对新空调系统供气管路,压力场和速度场分别参如图 9~11 所示,从图 11 的迹线图可以看出进入驾驶舱和客舱的气量基本能够实现设计分配比例 1 : 2。

4 仿真结果与试验数据对比

供气分配系统按上述方案改装完成后,对加温

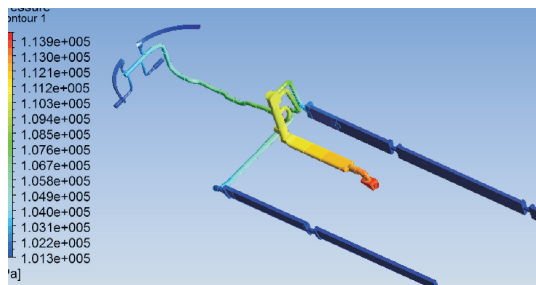


图 9 压力分布云图

Fig. 9 Current pressure distribution

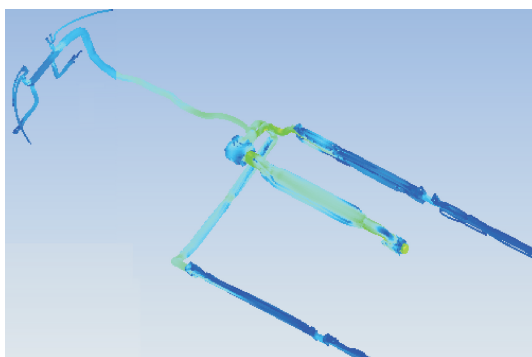


图 10 速度迹线图

Fig. 10 Current velocity track

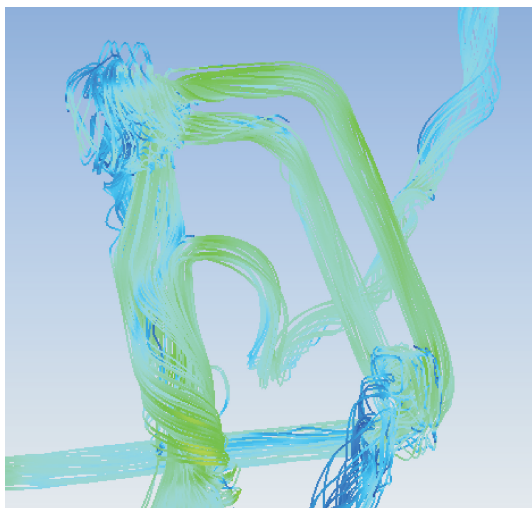


图 11 速度迹线细节图

Fig. 11 Current velocity track detail

系统进行了地面试验,试验时发动机功率为 $N_g = 86\%$,地面环境温度 $-17\text{ }^\circ\text{C}$,测量了加温系统打开 6 min 后的出口数据,具体见表 1 的第 2 列,仿真结果见第 3 列。

表 1 试验与仿真数据对比表

Tab. 1 Comparison of test data and simulation data

位置	参数	试验数据 (6 min 出气 状态稳定)	仿真模拟数据 (输入环境 温度 $-17\text{ }^\circ\text{C}$)
除雾管	T	30 $^\circ\text{C}$	42 $^\circ\text{C}$
中部出口	V	1.5 m/s	2.4 m/s
驾驶舱	T	35 $^\circ\text{C}$	45 $^\circ\text{C}$
脚加温	V	1.54 m/s	3.8 m/s
客舱后端	右	T 30 $^\circ\text{C}$	38 $^\circ\text{C}$
	脚加温	V 1.1 m/s	2.2 m/s
左	T	26 $^\circ\text{C}$	42 $^\circ\text{C}$
	V	2.0 m/s	2.1 m/s

其中仿真分析得出的数据比试验数据温略高,出口速度略大,存在这些差别的原因如下:

(1) 实际装机中的环控系统供气管路由于受到空间的限制,存在急转弯、压瘪等现象,而仿真用

管路数模是圆滑过渡,切内壁光滑。

(2) 实际装机中的环控系统管路由于各种铆接和接头等会使气密性不好,空调系统管路气体有一定外漏,仿真软件分析中认为整个系统完全气密。

(3) 由于网格质量不够好,会对仿真结果带来一定的误差,导致精度下降。

5 结 论

本文通过对某型机环控系统供气管路的仿真计算分析,得出在不改变整个管路走向、系统布局及尺寸的情况下,重新设计空气分配箱,重新设计驾驶舱脚加温和风挡除雾,重新设计客舱脚加温出气孔面积。在主供气管路增加截流片是最有效的改进措施,可以很好地改善流量分配情况,是对整个系统改动最小的改进措施。

从仿真结果来看,改进后的流量和出口温度速度都是可以满足对加温和制冷的需求的。从表1的对比结果可得出,供气分配系统引入仿真手段确实可以提高设计的成功概率,规避设计风险。但由于仿真分析用的管路系统是简化并且理想化的模型,是内壁光滑,过渡圆滑的绝对气密的理想系统,同样的系统安装在飞机上时,实际效果会比仿真分析得到的略差。尽管如此,系统设计初期的仿真分析对整个设计周期和系统设计的作用仍是不可忽视的,可以定性和部分定量的模拟出系统可实现的效果。

参考文献:

[1] 饶勃. 实用通风空调工手册[M]. 上海:上海交通大学出版社,2014.
RAO Bo. Utility vent/air condition manual [M]. Shanghai:Shanghai Jiaotong University Press,2014.

[2] 寿荣中,何慧珊. 飞行器环境控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
SHOU Rongzhong, HE Huishan. Aircraft ECS control[M]. Beijing:Beihang University of Aeronautics & Astronautic Press,2004.

[3] 电子工业部十院. 空气调节设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.

[4] 吴临武. 飞机空气调节系统设计手册[M]. 北京:国防工业出版社,1977.
WU Linwu. Airplane air condition system design manual [M]. Beijing: National Defence Industry Press,1977.

[5] 《飞机设计手册》编委会. 飞机设计手册第15册:生命保障和环控系统[M]. 北京:航空工业出版社,1999.
Airplane air condition system design manual N0. 15: Life guarantee and ECS design[M]. Beijing: Aviation Industry Press,1999.

[6] 方捷. 飞机设计问题论文集[M]. 北京:国防工业出版社,1963.
FANG Jie. Airplane design problem discourse collection [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1963.

[7] 朱自强. 现代飞机设计中的空气动力学[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1995.
ZHU Ziqiang, Aerodynamics of modern airplane design[M]. Beijing:Beijing University of Aeronautics & Astronautics Press,1995.

[8] 黄虹玉. 空气调节设计基础 [M]. 北京:新兴图书公司,1979.
HUANG Hongyu. Air condition design base [M]. Beijing: Xinxing Books Company,1979.

[9] 古德文. 流体动力系统[M]. 北京:煤炭工业出版社,1980.
GU Dewen. Hydro-dynamical system [M]. Beijing: Coal Industry Press,1980.

[10] 张二骏. 流体动力学的有限元分析[M]. 北京:水利电力出版社,1980.
ZHANG Erjun. Finite element analysis of the hydrokinetics[M]. Beijing: Waterpower and Electric Power Press,1980.

[11] 阎超. 计算流体力学方法及应用[M]. 北京:清华大学出版社. 2006.
YAN Chao. Calculate hydrodynamics method and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.