

文章编号: 1671-6612 (2020) 05-524-03

座舱供气流量分配试验研究

李 骊

(航空工业第一飞机设计研究院 西安 710089)

【摘 要】 依据差压式流量测量原理, 提出用带密度补偿的流阻试验曲线 $\rho \cdot \Delta p \sim G$ 描述管路流阻特性的方法, 经理论证明和试验验证可以依据地面试验结果和高空座舱供气状态参数计算出座舱供气分配系统管路高空状态的流量特性。提出了大流量分配法, 实现通风支路流阻较小系统的流量分配试验。

【关键词】 座舱供气; 流量分配; 流阻特性; 密度补偿; 大流量分配法

中图分类号 V216 文献标识码 A

A Research of the Flow Rate Distribution for Cabin Air Supply

Li Li

(AVIC the first aircraft institute, Xi'an, 710089)

【Abstract】 According to the measuring method of flow rate which based on the pressure difference, this paper gives a method to describe the relation between flow rate and pressure drop for a duct, by using the curve ($\rho \cdot \Delta p \sim G$) with density compensation. Both theoretical calculation and experiments verification show that we can figure out the flow rate character of the cabin air distribution ducts in high altitude, based on experiments in ground and calculation of air supply parameter in high altitude. This paper gives a method of large flow rate distribution, and it is used in the flow rate distribution experiment with small pressure lost in the ducts.

【Keywords】 cabin air supply; flow rate distribution; the relation between flow rate and pressure lost; density compensation; large flow rate distribution method

作者(通讯作者)简介: 李 骊 (1968-), 男, 本科, 高级工程师, E-mail: lee603@sina.com

收稿日期: 2019-12-16

0 引言

座舱供气流量分配试验用于确定飞机座舱供气分配系统各管路的通风流量、管径和流阻是否满足设计要求, 并通过试验适当调整部分通风支路的流阻满足各通风支路的流量分配比例, 以使座舱内人员周围的速度场和温度场达到最佳状态。

在环控系统地面模拟试验和飞行试验中, 对气体流量的测量往往由于座舱供气分配系统管路的安装位置和空间情况的限制, 很难采用加装流量计测量的方法。一般采用流阻曲线 $\Delta p \sim G$ 方式表征支路流阻特性, 使用流阻曲线计算流量。由于流量分配试验关注的各供气支路流量分配比例关系在

地面试验和工况条件下不变, 所以地面试验加装限流环后, 供气总流阻在地面条件满足系统设计要求。但在真实工况高空状态质量流量不变流阻增大, 环控系统组件出口反压增加, 影响环控系统工作性能。所以需要试验室模拟不同飞行状态的高空环境对限流环进行修正。

本文提出用带密度补偿的流阻试验曲线 $\rho \cdot \Delta p \sim G$ 描述管路流阻特性的方法。解决了地面试验不能准确描述高空状态的座舱供气支路流阻特性问题, 可不在需要高空试验修正。

1 $\rho \cdot \Delta p \sim G$ 流阻曲线理论依据

飞机座舱供气分配系统质量流量与差压(流阻)的关系符合 GB/T 2624-2006 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量的规定,因此质量流量可以用公式(1)确定:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho} \quad (1)$$

式中: q_m 为质量流量, kg/s; C 为流出系数, 无量纲数; β 为截流直径比, 无量纲数; ε 为可膨胀系数, 无量纲数; d 为节流孔直径, m; Δp 为差压, Pa; ρ 为测量时温度和压力下的流体密度, kg/m³。

对于同一套座舱空气管路节流装置流量计算公式可简化为公式(2):

$$q_m = K \sqrt{\Delta p \rho} \quad (2)$$

式中: K 为流量系数, 无量纲数。

如式(2)所示在质量流量与密度和差压的关系中, 密度和差压具有相同的权重。对于不可压缩流体可以不考虑密度变化, 仅用差压就能描述质量流量; 空气作为可压缩流体, 密度随压力和温度变化所以仅用差压变化描述质量流量会带来很大的局限性和误差。

2 试验结果对比

为验证上述理论结果, 设计了某座舱供气系统地面与高空环境流阻特性试验, 地面试验数据如表 1 所示, 高空试验数据如表 2 所示。

表 1 地面试验数据

Table 1 Ground experimental data

试验状态	供气流量 kg/h	环境压力 kPa	供气压力 kPa	气流温度 °C
1	700	96.47	97.63	24
2	800	96.47	98.02	25
3	900	96.47	98.45	25
4	1000	96.47	98.93	25
5	1100	96.47	99.51	25
6	1200	96.47	100.14	28
7	1300	96.47	100.76	28

表 2 高空试验数据

Table 2 High altitude experimental data

试验状态	供气流量 kg/h	环境压力 kPa	供气压力 kPa	气流温度 °C
1	700	61.6	62.57	26
2	800	61.6	63.05	26
3	900	61.6	63.49	26
4	1000	61.63	64.15	26
5	1100	61.73	64.94	27
6	1200	61.64	65.59	27
7	1300	61.7	66.57	27

1	700	61.6	62.57	26
2	800	61.6	63.05	26

续表 2 高空试验数据

试验状态	供气流量 kg/h	环境压力 kPa	供气压力 kPa	气流温度 °C
3	900	61.6	63.49	26
4	1000	61.63	64.15	26
5	1100	61.73	64.94	27
6	1200	61.64	65.59	27
7	1300	61.7	66.57	27

采用差压的流阻 Δp 和带密度补偿的流阻 $\rho \cdot \Delta p$ 计算结果如表 3 所示。

表 3 流阻计算结果

Table 3 Pressure lost calculation data

供气流量 kg/h	地面 Δp Pa	高空 Δp Pa	地面 $\rho \Delta p$ kg/m ³ ·Pa	高空 $\rho \Delta p$ kg/m ³ ·Pa
700	1160	1890	1320.73	1377.53
800	1550	2520	1762.39	1846.84
900	1980	3210	2256.28	2361.27
1000	2460	3950	2810.16	2918.46
1100	3040	4870	3483.03	3627.61
1200	3670	5830	4176.32	4364.37
1300	4290	6770	4897.25	5127.04

地面与高空环境流阻特性试验流阻曲线 $\Delta p \sim G$ 对比如图 1 所示。

密度补偿流阻曲线 $\rho \cdot \Delta p \sim G$ 如图 2 所示。

两种试验曲线高空环境与地面状态误差对比如表 4 所示。

由图 1 和图 2 对比可以看出对同一试验数据用两种流阻曲线描述时有很大区别, 其中 $\Delta p \sim G$ 流阻曲线在地面和高空状态即使在空气温度无明显变化的工况下差别依然很大; $\rho \cdot \Delta p \sim G$ 密度补偿流阻曲线则在高空和地面工况下有着很好的一致性。

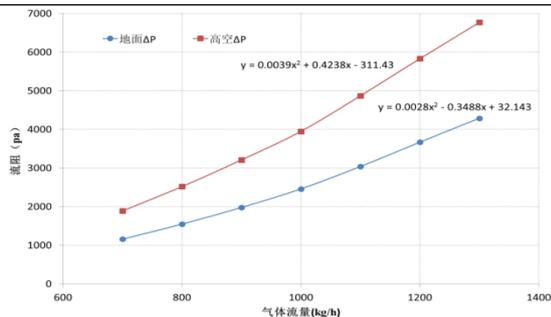


图 1 $\Delta p \sim G$ 流阻曲线

Fig.1 $\Delta p \sim G$ Pressure lost curve

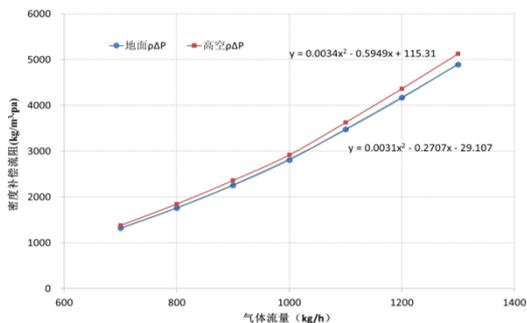


图 2 $\rho \cdot \Delta p \sim G$ 密度补偿流阻曲线

Fig.2 $\rho \cdot \Delta p \sim G$ Pressure lost curve with density compensation

表 4 试验曲线误差

Table 4 Error of experimental curves

试验状态	供气流量 kg/h	Δp %	$\rho \cdot \Delta p$ %
1	700	62.93	4.30
2	800	62.58	4.79
3	900	62.12	4.65
4	1000	60.57	3.85
5	1100	60.20	4.15
6	1200	58.86	4.50
7	1300	57.81	4.69

表 4 中计算了地面和高空试验 Δp 和 $\rho \cdot \Delta p$ 的误差对比,在相同的质量流量下同一套管路系统流阻 Δp 相差达到 60%左右,而经过密度补偿的流阻 $\rho \cdot \Delta p$ 在相同的质量流量下误差小于 5%,地面试验结果可以描述高空状态流阻特性。

3 大流量分配法

通常座舱供气管路支路流速低、流量小、对应的流阻 Δp 较小准确测量困难,依据已经理论和试验证明的流量分配比例特性,即对同一套座舱供气

管路流量分配比例几乎不随总流量和飞行高度的变化而变化。在不改变气体沿管道的流动状态条件下,可以放大系统供气流量提高流阻值进行流量分配试验。经试验验证采用放大系统供气流量试验方法可极大地简化试验步骤、减少标准流量设备和高精度传感器使用量。

管路大流量分配试验方法为:依据流阻特性试验结果,流阻最大的支路不加限流环,控制系统供气标准流量为该支路流量与流阻次大的支路设计流量之和的倍数;上述支路流量按 $\rho \cdot \Delta p$ 流阻特性曲线计算,调节流阻次大支路限流环直径,使两个支路流量均满足流量分配比例要求;依次调节其余支路限流环直径,使各支路流量均满足流量分配比例要求。

4 结论

本文依据 GB/T 2624-2006《用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量》规定的流量计算公式从理论上证明了采用流阻(差压)描述空气流量特性时不能忽略空气密度的影响,并利用某座舱空气分配系统管路进行了地面和高空状态对比验证。提出密度补偿流阻 $\rho \cdot \Delta p$ 概念和 $\rho \cdot \Delta p \sim G$ 流阻曲线,可使用地面试验数据描述同一套座舱空气管路在各不同工况下的流阻特性。

大流量分配试验方法可以较好的解决座舱供气流量分配试验中较小流阻测量难题。

$\rho \cdot \Delta p \sim G$ 流阻曲线和大流量分配试验方法同样适用于飞机电子设备冷却系统供气流量分配试验。

参考文献:

- [1] GB/T 2624-2006,用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [2] CCAR-25-R4,中国民用航空规章 第 25 部:运输类飞机适航标准[S].中国民用航空局,2011.
- [3] 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,2004:31-133.
- [4] 达道安.真空设计手册[M].北京:国防工业出版社,2004:97-133.
- [5] 席中琴.飞机电子设备冷却系统流量分配比特性的理论证明[J].航空学报,1995,16(1):38-41.
- [6] 任玉峰.差压式流量传感器测量一般气体流量时的温

- 度压力补偿方法[J]. 工业仪表与自动化装置, 2006, (6):56-58.
- [7] 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.
- [8] 党晓民,禄宏志,容汇.一种大型管网流量分配试验方法[P].中国专利:201110113958.8, 2013-06-12.