

民用飞机空气导管内外温度分布研究

彭丹祺 刘鹏

(上海飞机设计研究院环控氧气系统设计研究部,上海 200235)

Research on Civil Aircraft Temperature Distribution Inside and Outside Air Ducting

Peng Danqi Liu Peng

(Environmental Control and Oxygen System Department of SADRI, Shanghai 200235, China)

摘要:对空气导管内外温度分布进行了研究,建立具体的换热模型并采用两种方法进行了计算,同时还分析了导管布置对空气传热和流动特性的影响。

关键词:空气导管;温度分布;导管布置

[Abstract] This article studies the temperature distribution inside and outside air ducting, builds a specific heat transferring model and performs calculations using two methods. Meanwhile, this article also analyses the effect of air ducting layout on air heat transferring and flow characteristic.

[Key words] Air ducting; Temperature distribution; Pipe arrangement

0 引言

空气管理系统是飞机的重要机载系统之一,其作用是对飞机座舱压力、温度、湿度、供气量、空气品质等参数进行调节和控制及对电子设备进行冷却,并从发动机、APU 或地面高压气源引气,为座舱空调、增压、机翼防冰,燃油箱惰化和水箱增压及发动机起动等系统提供气源^[1]。空气导管是空气管理系统的重要组成部分,是连接气源和用气系统之间的桥梁和纽带。空气导管穿过发动机短舱、吊挂、机翼、机身、翼身整流罩等多个区域,空气管理系统工作时导管会与舱内的空气发生热交换,若舱内空气温度超过一定要求,则会影响舱内其他部件的正常工作,所以导管所经过区域管外的温度分布是导管可靠性分析的重要部分。本文以某截面空气导管为研究对象,通过工程计算方法和二维有限体积数值模拟方法研究空气导管外绝热层和舱内空气的温度分布特性。

1 传热模型建立

管内空气通过管壁外绝热层向舱内空气传热,舱内空气同时也会跟舱外环境以及相邻的机舱进行换热。本文仅就空气导管向导管壁外的传热计算进行分析,由于对计算模型进行了简化,不考虑舱壁热容的影响,不对舱壁内外传热的情况进行分析,认为舱壁内外表面温度是均匀一致的。具体换热模型如图 1 所示,图中 $Q_{out} = 0W$ 。

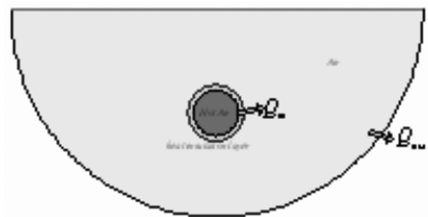


图 1 空气传热示意图

输入参数见表 1 ~ 表 3。

表 1 管内空气的热物理特性

温度(℃)	密度(kg/m ³)	比热(kJ/kg×K)	流速(m/s)	动力粘度(kg/m×s)	导热系数(W/m×K)	普朗特数
260	1.802	1.006	75	7.6×10^{-6}	1.8×10^{-2}	0.74

表 2 舱内空气的热物理特性

温度(℃)	密度(kg/m ³)	比热(kJ/kg×K)	流速 m/s	动力粘度(kg/m×s)	导热系数(W/m×K)	普朗特数
40	1.14	1.006	0.1	16.8×10^{-6}	2.72×10^{-2}	0.7

表 3 绝热层热物理特性

厚度(mm)	密度(kg/m ³)	导热系数(W/m×K)
25.4	9.6	0.079

导管内外温度分布场的计算方法分两种:一种是将舱内空气的热物理特性视为均匀的工程计算方法^[2];另一种是利用有限体积数值模拟的方法,详细地计算出舱内空气的二维温度分布剖面。

2 温度分布计算

2.1 工程计算方法

以舱内空气为研究对象,热平衡方程为:

$$mc_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

$$Q_{in} = K_i A_i (T_1 - T_2) \quad (2)$$

上式(1)、(2)中: Q_{in} 为管内空气向舱内空气传递的热量, W ; Q_{out} 为舱内空气向舱外环境传递的热量,本文中简化为零; K_i 为管内空气向舱内空气传热的传热系数, $W/(m^2 \times K)$; A_i 为管内空气与舱内空气的传热面积, m^2 ; T_2 为舱内空气温度, K ; T_1 为管内空气温度, K 。

其中 K_i 的计算方法如下:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta_0}{\lambda_0} + \frac{1}{h_2}} \quad (3)$$

式中: h_1 为导管内壁与管内空气的对流换热系数, $W/(m^2 \times K)$; h_2 为绝热层外表面与管外空气的对流换热系数, $W/(m^2 \times K)$; δ_0 为绝热层的厚度, m ; λ_0 为绝热层的导热系数, $W/(m \times K)$ 。

$$R_e = \frac{\rho u l}{\mu} \quad (4)$$

流体在管内作强制对流可用式(5)计算平均对流换热系数:

$$Nu_u = \frac{hl}{\lambda} = 0.023 R_e^{0.8} P_r^{0.3} \quad (5)$$

流体在管外流过时,平均对热换热系数可用式(6)计算:

$$Nu_u = \frac{hl}{\lambda} = 0.26 R_e^{0.6} P_r^{0.33} \quad (6)$$

式中 Re 为雷诺数; Nu 为努塞尔数; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; u 为流体流速, m/s ; l 为特征长度,流体在管内对流运动时 l 取管内径,流体在管外流动时 l 取管外径, m ; μ 为流体粘度, $kg/(m \times s)$; λ 为流体导热系数, $W/(m \times k)$ 。

通过经验公式(4)、(5)、(6)和前面的输入条件计算得到:导管内表面对流换热系统 h_1 为 $692W/(m^2 \times K)$;绝热层外表面对流换热系数 h_2 为 $6.28W/(m^2 \times K)$ 。因而得出:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{692} + \frac{0.0254}{0.079} + \frac{1}{6.28}} = 2.074 \quad W/(m^2 \times K) \quad (7)$$

本文设计了一个简单实用的工程计算软件,在本研究工况下的计算结果如图2所示,经过25min以后,舱内空气稳态的平均温度为61℃左右。

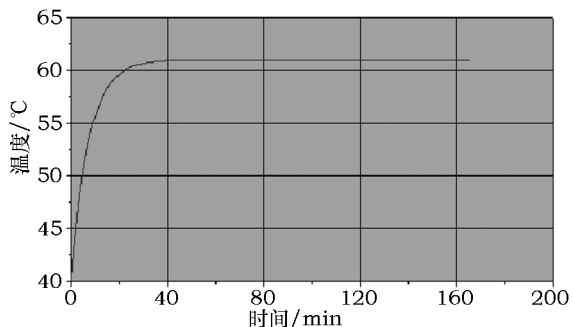


图2 舱内空气温度随着时间的变化曲线图

2.2 有限体积数值模拟方法

有限体积数值模拟法模拟舱内空气的传热和流动情况主要通过 Fluent 软件平台来实现。空气导管内高温高压气体首先通过绝热层的导热将热量传递到绝热层的外表面,然后加热舱内空气,舱内空气通过自然对流和导热将热量扩散。基于上述理论, Fluent 模拟主要的传热和流动现象为导热和自然对流。同时本文对3种不同的导管布置模型进行了计算分析以考察导管布置对传热和流动特性的影响,如图3所示。第一种为导管置于几何体的正中间;第二种为导管往右偏移400mm;第三种为导管往上偏移200mm。

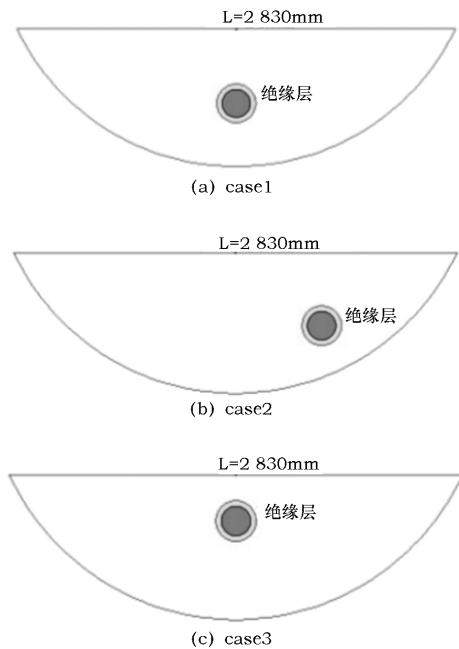


图3 三种计算模型示意图

对以上三种模型进行建模并划分网格,其计算结果如图4、表4所示。

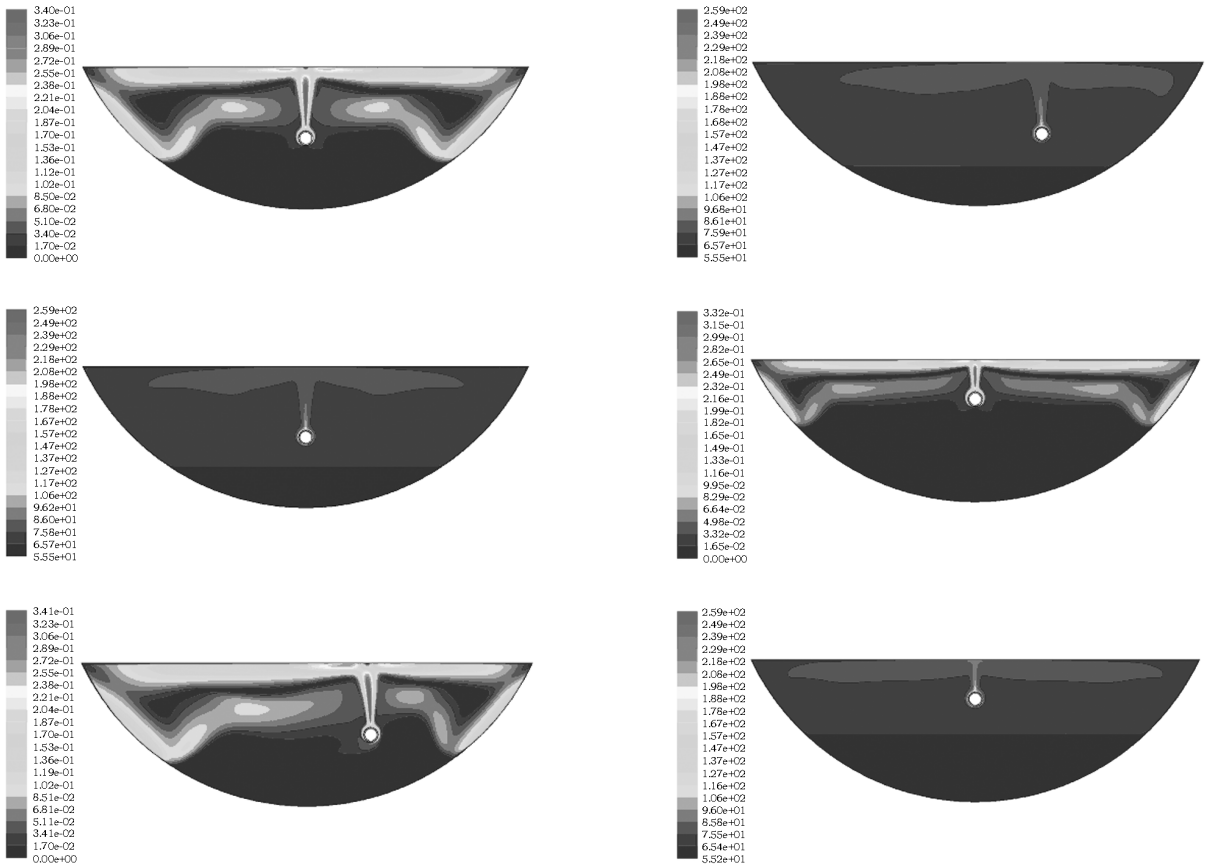


图4 三种计算模型下的速度分布和温度分布图

表4 三种计算模型下的各种计算参数结果

CASE	绝热层外表面的平均对流换热系数 ($W/m^2 \times K$)	舱体上表面的平均对流换热系数 ($W/m^2 \times K$)	舱内空气的平均温度 (K)	绝热层外表面的平均温度 (K)	舱体上表面的平均温度 (K)
1	14.75	9.22	343.01	424.20	338.92
2	16.11	8.40	343.67	423.18	338.90
3	15.34	13.73	340.76	423.05	340.98

由图4可知,绝热层外表面附近的气体被加热向上流动,并沿着两侧的壁面向下在舱体区域内形成各种不同大小的漩涡,冷气体由于其密度比较大而集聚在舱体的下半部分,因而加剧了舱内空气的流动和换热。由表4可知,三种不同的导管布置形式对舱内空气和绝热层外表面的平均温度影响不大。而从图5和图6的舱体内表面温度随着x方向的变化曲线图可知,导管越往上布置,舱体上表面温度的最大值越高,但对下表面温度的影响却不大。所以在导管实际布置中需考虑通过改善绝热层的绝热性能来减少空气导管向舱内传递的热量,同时应尽量将导管布置在舱体的下方,防止过高的绝热层外表面温度对座舱环境控制系统的影响。

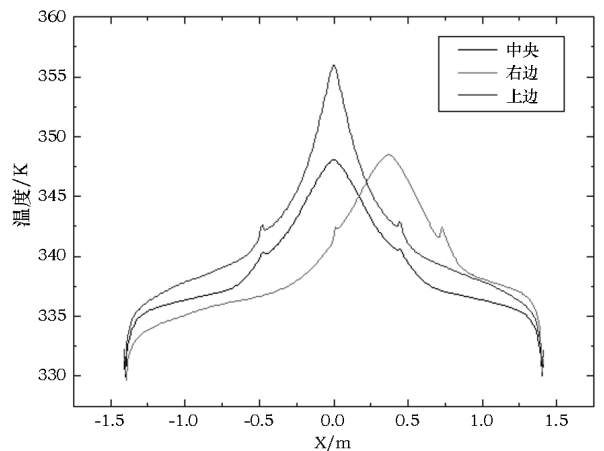


图5 舱体上表面温度沿着x方向变化的曲线图

