

尾吊布局民机短舱防火区热影响计算分析

Analysis to Heat Influence on Tail Mounted Engine Nacelle Fireproof Zone

马建 戚学峰 唐宏刚 / 上海飞机设计研究院

摘 要: 本文给出了尾吊布局的民机发动机短舱与机身组合体的三维空气流动与传热的物理和数学模型, 根据发动机短舱和机身的组合模型特点, 应用非结构化网格和柱状附面层网格对计算区域进行划分, 采用 $k-\epsilon$ 湍流模型和相应的对流换热、辐射换热模型模拟了短舱风扇罩表面着火后对附近机身的热影响, 分析认为采用CFD分析可在防火区选型设计阶段起到辅助作用, 可为尾吊布局的民机发动机短舱防火区设计提供一定的参考价值。

关键词: 尾吊布局民用飞机; 发动机短舱; 防火区

Keywords: tail mounted civil aircraft; engine nacelle; fireproof zone

0 引言

目前有很多民用飞机和小型公务机采用了尾吊布局, 即其发动机短舱被布置在飞机尾部距离后机身较近的位置。为了避免在严酷环境下短舱着火后对机身的热影响过大或者烧穿机体, 同时考虑到防火区大小对短舱重量的影响, 需要对发动机短舱防火区域进行合理的设计。按照适航法规的要求, 每架飞机发动机罩和短舱蒙皮的设计和构造必须能防止危险量的可燃液体或火焰从该隔舱进入飞机的其他部分, 应使在任何火区内出现的着火不能通过开口或烧穿外蒙皮进入其他任何火区或增加危险区域^[1]。在短舱防火区的初步设计和优选阶段, 常常需要对多种方案进行分析和优选, 为避免反复多次试验。本文尝试用CFD方法对严酷环境下短舱火区着火后的热流场进行模拟, 分析短舱温度场的分布及其与防火区变化的关系, 对短舱防火区的初步设计和优选具有一定的辅助作用。

1 计算几何模型的建立

为了模拟短舱着火对机身的最大

影响状态, 在计算时将飞机设定为在地面静止状态下, 短舱表面处于高温状态, 高温天气下遭遇最大侧风下的强对流换热, 由于计算时来流垂直于机身且计算主要考虑短舱对附近机身的热影响, 因此选取短舱及短舱附近的一段机身作为计算对象, 以发动机轴心为原点, 以通过发动机轴心和吊挂的水平线为起始线, 上下各偏转 100° 和上偏 100° 、下偏 150° 两种防火区构型, 如图1所示。

2 计算网格生成

该模型的热流场流动较为复杂, 计算中需要对对流换热和辐射换热进行计算, 需要考虑流动边界层及热边界层的计算, 因此需要对网格进行加密处理, 以达到较好的计算结果。整个模型的空间域填充采用四面体网格, 由附面层外表面的网格向空间按照一定比例生长填充, 附面层网格为由表面三角形网格向空间柱状增长, 形成12层三棱柱附面层体网格(如图2)以捕捉附面层热流流动, 附面层第一层网格为 0.0005mm , 总网格数约300万左右。

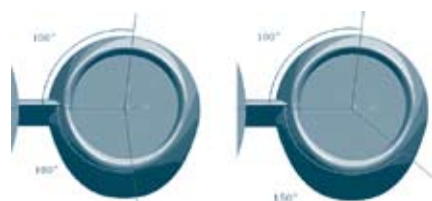


图1 $\pm 100^\circ$ 、 $+100^\circ/-150^\circ$ 两种短舱防火区域构型

3 数值方法与边界条件

模拟计算的控制方程是连续性方程、Navier-Stokes方程、能量守恒方程以及辐射换热模型等。复杂的流动、传热过程均可以采用一组偏微分方程描述, 通过建立数学物理模型并数值求解, 即可描述各种物理量的空间分布及其随时间的变化。数值模拟中的基本控制方程如下:

1) 连续性方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

2) Navier-Stokes方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i$$

3) 能量守恒方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(k + k_r) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + S_h$$

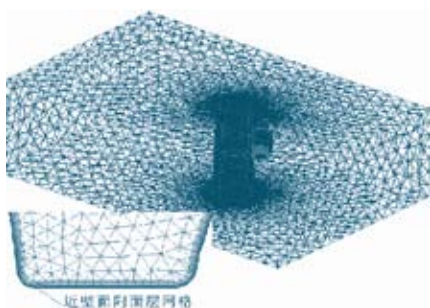


图2 短舱和机身组合体模型网格划分

本算例主要针对发动机短舱外流场环境进行热仿真模拟,得到靠近发动机风扇罩耐火区附近的机身流场参数。作为初步分析,对严酷环境下 $\pm 100^\circ$ 风扇罩防火构型在耐火区烧穿后的流场环境进行了三维数值热力学分析。计算域的边界条件设置如图3。

计算中三维流场计算热边界条件设置为:

- 1) 计算状态为地面、最大侧风25节;
- 2) 湍流流场的定常计算;
- 3) 使用 $k-\epsilon$ Realizable湍流模型,包括对流换热和辐射换热模型;
- 4) 机身、吊挂及短舱表面设为绝热壁面边界条件;

5) 短舱火区温度设为定温壁面,温度为 2000°F ;远场边界来流速度为 12.861m/s ,环境温度为 $\text{ISA}+45^\circ$ 。

上述条件选取为热影响最严酷的状态,两种不同着火区域计算模型都采用相同的边界条件设置以便于对比。

4 计算结果分析

由短舱与机身吊挂相连接处截面的三维计算结果如图4和图5可以看出,由于短舱上下的不对称性,导致流场右侧来流经过短舱后产生在吊挂上下分布的不对称涡,涡的流动较为强烈,吊挂下方的涡较大,而且吊挂下方的“峡谷”空间较吊挂上方的大,气流在吊挂下方的“峡谷”空间内驻足时间较长,流

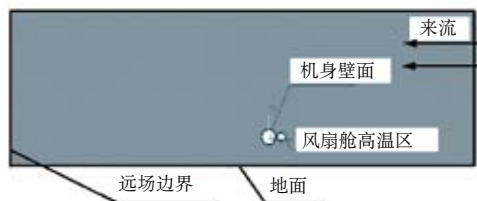


图3 计算域边界条件定义

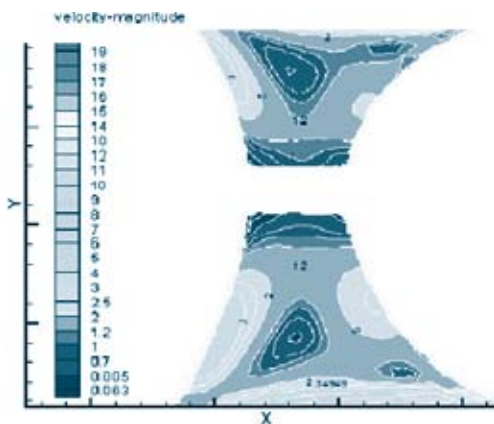


图4 流场局部速度分布

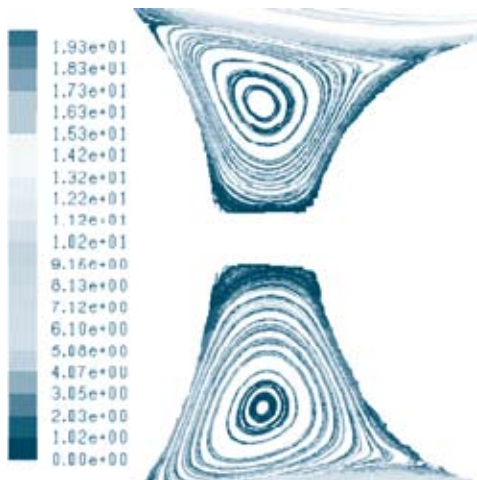


图5 流场局部流线分布图

速更低,在此处堆积的气流较多,另外短舱在吊挂下方比在吊挂上方的尺寸大。经过加热的侧向来流经过短舱底部后主流更靠近机身底部流过,对机身的热影响区域更靠近机身底部;吊挂上方的短舱尺寸较下方小,经过加热的侧向来流经过短舱上方后主流打在机身侧面较多,因此侧面的高温区域面积较大,如图5、图6所示。

从温度分布图6和图8中看出,两种构型下耐火区高温对吊挂表面的热影响很小,对相邻机身表面的热影响也较小,吊挂中心线上方的机身表面高温影响区比下方的大,机身表面高温区温度在 355K 以内。

而且两种构型的模型表面的气流流动是相似的,温度分布区域不同,主要是火区的面积不同造成的,从图6~图9来看,在 $+100^\circ/-150^\circ$ 短舱防火构型下,机身背部表面受到的热影响明显要强于机身腹部表面,机身腹部表面的热影响弱于 $\pm 100^\circ$ 的构型。这是由于 $+100^\circ/-150^\circ$ 构型下火区离机身腹部的距离较 $\pm 100^\circ$ 构型的远,侧向气流流经短舱表面火区时,通过对流和辐射换热,气流被加热,气流流过短舱底部后,一部分被加热的主流继续沿着短舱底部切线方向吹向对面的机身底部表面,这样气流的流径路程较短直接到达机身表面,换热明显;另一部分气流经过短舱底部后进入短舱和机身之间的“峡谷”,形成大漩涡,而进入漩涡的气流的温度不高,且经过与“峡谷”空间的气流在漩涡中充分掺混,温度继续降低,到达机身表面时温度已经较低,因此对机身在吊挂下方的侧面影响较小,这两种防火构型在火区热影响下机身表面温度不高。

5 结论

由 $\pm 100^\circ$ 和 $+100^\circ/-150^\circ$ 两种着火区域构型的三维流场的初步数值模拟结果可以看出,短舱表面高温区域的分布直接影响着机身表面的高温区域分布,短舱高温区越靠近机身,则对应位置的温度越高, $\pm 100^\circ$ 和 $+100^\circ/-150^\circ$ 两种防火构型对机

常规布局涡扇发动机实现变循环功能的技术途径初探

Analysis of the Technical Approach of Actualizing VCE Based on the Conventional Turbofan Engine

苏桂英 孙立业 / 中航工业沈阳发动机设计研究所

摘要: 结合常规布局涡扇发动机特点, 通过热力循环参数分析, 对现有涡扇发动机实现变循环功能的技术途径进行了初步分析, 为利用现有发动机开展变循环技术研究、实现变循环功能及提高发动机的任务适应性提供参考。

关键词: 变循环发动机; 技术途径; 涡扇发动机

Keywords: variable cycle engine; technical approach; turbofan engine

0 引言

变循环发动机(VCE)是一种具有优秀综合性能的推进系统, 它把涡喷发

动机超声速性能和涡扇发动机的亚声速性能综合到一台发动机上, 通过多个部件/机构的几何调节实现不同工作模

式的转换, 扩大涵道比变化范围。国外已开展大量变循环发动机研究及验证工作, 借鉴国外经验, 本文以常规布局

身热影响均不会对机身造成危害。在短舱防火区域初步设计和优选中, 根据重

量等相关约束, 可以用CFD方法对多种防火区域设计方案进行计算分析, 多轮

优选, 最终对优选出的方案进行试验验证, 从而节约试验花费。综上所述, 采用CFD流场热分析的方法可以对尾吊布局民用飞机的短舱防火区域初步设计起到一定的辅助作用。

AST

参考文献

- [1] CCAR-25-R3运输类飞机适航标准[S]. 中国民用航空局。
- [2] 约翰·安德森. 计算流体力学基础及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007。
- [3] 詹金森, 等, 著. 中国航空研究院, 译. 民用喷气飞机设计[Z]. 2001。

作者简介

马建, 助理工程师, 主要研究方向发动机进排气系统及通风冷却。

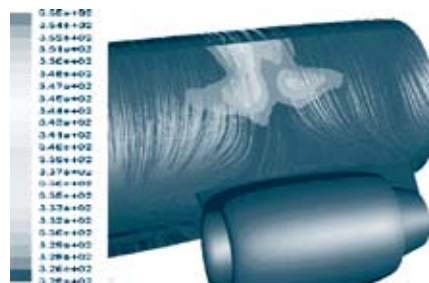


图6 $\pm 100^\circ$ 防火构型下机身附近静温流线分布图



图7 $\pm 100^\circ$ 风扇罩防火构型的流场静温分布云图

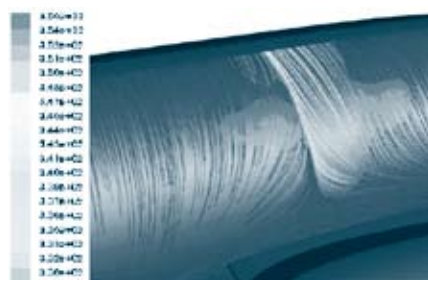


图8 $+100^\circ/-150^\circ$ 防火构型下机身附近流场静温流线分布图



图9 $+100^\circ/-150^\circ$ 风扇罩防火构型下吊挂和机身附近流场静温分布云图