

座舱蒙皮外表面气动加热的物理仿真研究

方贤德 朱学欧

(南京航空航天大学 105 教研室, 南京, 210016)

PHYSICAL SIMULATION OF AERODYNAMIC HEATING ON OUTSIDE SURFACES OF CABIN SKINS

Fang Xiande, Zhu Xueou

(Department of Aircraft Engineering, Nanjing University of
Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

摘 要 座舱蒙皮外表面气动加热的物理仿真是座舱热特性试验研究的重要基础。把平行射流理论应用于座舱蒙皮外表面气动加热的物理仿真, 提出了气动加热物理仿真的新方法。该方法能够满足座舱动态热特性物理仿真的需要, 且在人力、物力上较省。提出了用数学仿真控制座舱热特性试验的方法。这些方法已成功地应用于飞机座舱热载荷和热特性试验中。

关键词 座舱 气动加热 热特性 热载荷 仿真 试验

中图分类号 TK12, V216

Abstract The physical simulation of aerodynamic heating on outside surfaces of cabin skins is an important basis of cabin thermal process tests. Parallel efflux theory has been used so that a new method of physical simulation of aerodynamic heating has been developed. It is economical and can meet the needs of cabin dynamic thermal characteristic simulation. A method using mathematical simulation to control the cabin thermal characteristic test has been worked out. These methods have been used in the actual airplane cabin thermal process and heat load tests successfully.

Key words cabins, aerodynamic heating, thermal characteristic, heat load, physical simulation, test

座舱热特性物理仿真试验是飞机环境控制系统研究中的常规试验之一。虽然试验件一般是原型尺寸的机身段, 但试验件外表面的气动边界层无法在试验中实现, 因为很难造成速度与飞机飞行速度相当的大量空气流。因此, 试验件外表面气动加热的仿真成了座舱热特性物理仿真的难点。对于气动加热的仿真, 传统的方法有两种: 辐射加热方法和风道强迫对流加热方法。辐射加热方法一般用红外线电热元件实现, 使用中常见的有石英灯、远红外加热管、远红外合金加热条以及远红外加热带等。风道强迫对流加热方法用低速热气流吹过试验件来模拟高空高速飞行时蒙皮的温度。实现的方法一般是在试验件外安装一外套风道, 风机强迫热空气流过风道与试验件之间的间隙。

辐射加热方法中的石英灯和远红外加热带热惯性小, 加热速度快, 适合于动态仿真试验, 但投资较大。风道强迫对流加热方法简单易行, 投资较小, 但加热速度慢, 用于动态仿真试验有困难。因此有必要研究出一种既经济、又适合于动态仿真试验的方法。在物理仿真试验中, 如何确定控制变量, 制定什么样的试验方案既能避免不必要的重复又可获得必需的试

验数据,也是有待解决的问题。

1 气动加热物理仿真分析

对气动加热方法的基本要求是既经济,又有效。所谓经济,是指人力、财力、物力和时间较省。所谓有效,是指能够满足动态仿真需要,试验结果真实可信。

在有效性方面,主要做到加热能力充足,加热速度变化大,加速均匀,以便能够模拟实际飞行中的气动加热。加热量 Q 可简单地表示为

$$Q = F A (t_0 - t_w) \quad (1)$$

式中: F 为试验件外表面积; A 为放热系数; t_0 为热源温度; t_w 为试验件外表面温度。一般试验件为实际的座舱段, F 固定。 t_w 变化速度相对较小,所以,能够快速改变 A 与 t_0 是实现气动加热量模拟的关键。

飞机飞行速度较大,在试验中无法达到真实飞行时的气流流场,所以一般是模拟气动加热量 Q 。 Q 本身的测量比较困难,不易做为控制变量。在相同的舱内热过程条件下,如果 Q 相同,则试验件外表面温度 t_w 应该相同。因此可以通过控制 t_w 实现对 Q 的控制。但是,这需要确定 t_w 在真实过程中的实际变化。

2 气动加热仿真的平行射流加热方法

当有多股平行射流时(如图1所示),射流在干扰点 A 之后将互相干扰和重叠。在干扰点之前,最大速度在单股射流的轴心线上;在干扰点之后,总射流的中轴速度逐渐加大,直至成为最大速度。在气流组织的设计中,采用平行射流方法,可以获得较为均匀的速度场和温度场^[1]。因此,可以通过管网的合理设计,形成向被试座舱外表面的平行射流包围,使射流在离试验件外表面给定距离时,开始互相干扰和叠加,以便到达试验件表面时,形成均匀的速度场和温度场,达到均匀加热的目的。

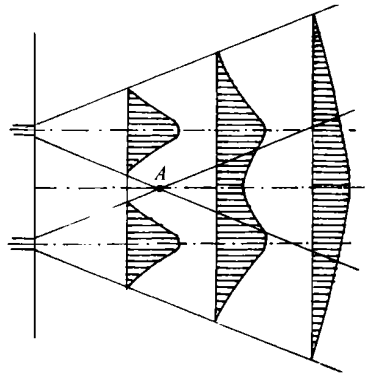


图1 平行射流的叠加

为了形成快的加热速率,可设置冷、热两个气路,并同时调节电炉加热功率。通过调节气流流量、冷热气流混合比以及电炉的加热功率,就能达到快速调节公式(1)中的 A 和 t_0 的目的,因此这种方法能够适应动态仿真需要。该方法简单易行,对空气分配器(即侧面上有一系列供气小孔的管网)材料要求不高,因此投资较少。

平行射流加热方法的难点是气流均匀分布的设计,这是影响加热是否均匀的关键因素。有两种方法可以获得均匀的气流分布:一种方法是保持空气分配器截面积不变,改变侧孔的大小和间距;另一种方法是保持侧孔大小相等,间距相同,而使空气分配器呈一定锥度缩小截面积。变截面空气分配器不易加工,因而这里只讨论等截面的情况。对于均匀供气的等截面空气分配器,已知第一个侧孔面积 f_1 时,第 i 个侧孔的面积 f_i 可用以下关系求出^[2]

$$f_i = f_1 \frac{\frac{F}{L f_1 n}}{\left(\frac{F}{L f_1 n} \right)^2 + U} \quad (2)$$

$$U = \left[1 - \left(1 - \frac{x}{L} \right)^2 - K \frac{L}{D} \frac{1 - \left(1 - \frac{x}{L} \right)^3}{3} \right] \quad (3)$$

式中: L 为侧孔流量系数; n 为侧孔总数; $x/L = (i-1)/n$ 。

3 计算机仿真用于座舱热特性物理仿真的控制

物理仿真试验中,实际的飞行条件无法实现,一般可通过对座舱蒙皮表面温度的控制,实现对气动加热的仿真。给定飞行状态下的座舱蒙皮外表面温度,可以通过计算机仿真方法确定。即用经过验证的数学仿真软件,计算出飞行过程中座舱蒙皮外表面温度的变化规律,作为试验控制的依据。为了剔除不必要的试验状态,减少试验测点及试验重复次数,可以根据试验的内容和要求,先进行计算机仿真,对于试验的可能结果进行预测,以作为制定试验方案的依据。

4 某机座舱蒙皮外表面气动加热物理仿真试验研究

仿真试验台主要由热动力分系统、座舱空气调节分系统、座舱蒙皮外表面气动加热仿真室分系统、座舱内热源仿真分系统、测量与控制分系统及实际的座舱段组成。

座舱蒙皮外表面气动加热仿真室分系统包括仿真室围护结构和空气分配管网(图2)。仿真室围护结构外形与座舱段相似,营造一个非气密的封闭空间,座舱段置于其内。座舱外壁距仿真室围护结构内壁大于400mm。空气分配管网主要由主管和支管组成。主管用内径76mm的钢管,做成外绕机身的与机身相应位置横断面外形相似的环。供气经仿真室围护结构外两侧的引气管进入主管,然后到支管,再从支管的空气分配孔向机身方向喷出,形成平行射流。

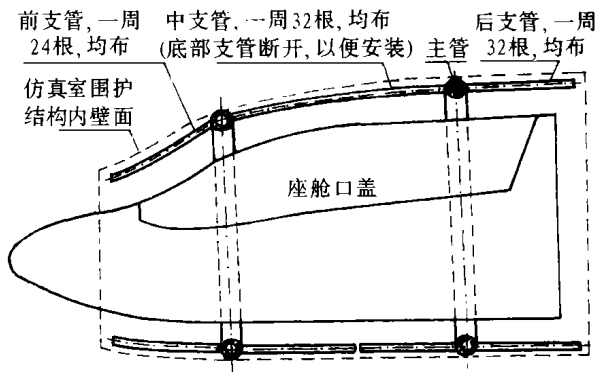


图2 座舱蒙皮外表面气动加热物理仿真室示意图

支管材料为1塑料管。相互之间基本互相平行。由平行射流理论,按均匀加热要求,粗算孔间距。再用式(2)、式(3),按等孔间距算出各孔面积。在具体实施中,为了便于加工,采取等孔面积,通过调孔间距的方法,达到均匀供气的目的。为了检验平行射流方法的实施效果,对蒙皮外表面温度分布进行了测试。结果表明,蒙皮各部位温度差一般在3以内,满足均匀加热要求。用仿真软件FXDCTC对座舱蒙皮外表面温度进行了预测,作为试验过程控制和试验方案制定的依据。典型状态下座舱平均温度变化试验结果见表1。

表1 典型状态下座舱平均温度的变化(单位)

状态序号	状态特征	起始	3min	10min	15min
1	H = 0m, 机体常温, 发动机慢车	26.4	34.7	43.0	45.7
2	H = 0m, 机体热透, 发动机40%额定	60.7	46.5	43.2	42.5

5 结论

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
本文提出了座舱热特性物理仿真的平行射流气动加热方法和用计算机仿真控制物理仿

真试验的方法。这些方法已成功地用于飞机座舱热载荷和热特性试验中。

在平行射流气动加热仿真中,气流引气通过加热设备进入专门设计的空气分配管网(空气分配器)。管网中每根支管都开设有一些方向基本朝着试验件的小孔。通过管网支管排列的密度、排列方式和小孔的直径、方向和分布密度等的设计,形成朝着试验件的平行射流,在到达试验件表面之前,温度分布和速度分布基本均匀,实现均匀加热。通过改变加热功率、引气流量和冷热气流混合比,可以同时调节式(1)中的 t_0 和 A 因而加热量变化速率容易调节。

把计算机仿真用于试验控制变量的确定,并指导试验方案和数据采集方案的制定。选取试验件外表面温度 t_w 为气动加热仿真控制变量,通过计算机仿真,得到 t_w 在给定外扰和内扰条件下的逐时变化,作为试验控制的依据。

参 考 文 献

- 1 俞勤芳. 飞行器空气调节系统. 北京:国防工业出版社,1980. 237~238
- 2 寿荣中,方贤德,何慧姗. 空气调节技术. 北京:北京航空航天大学出版社,1992. 141~143

《航空学报》加入 ChinaInfo 信息服务系统申明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,经研究决定,本刊入网“ChinaInfo(中国信息)网络资源系统《电子期刊》”(网址: <http://www.chinainfo.cn.net/periodical> 或 <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>),所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入 ChinaInfo 信息服务系统,进入因特网提供信息服务。凡有不同意见将自己稿件纳入因特网传送交流的作者,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬,不再另付。

ChinaInfo 系统是由国家科委创办,国家科委信息司组织实施,中国科技信息研究所万方数据网络中心编辑制作的开放式因特网络信息资源系统,《电子期刊》是该系统中的重要信息服务栏目之一,将在年内逐步制作编入 200 种科技期刊的全文内容。本刊内容将采用原文照录方式制作编入 ChinaInfo 系统电子期刊栏目,读者可上因特网进入 ChinaInfo 系统免费(明年开始酌情收费)查询检索本刊内容,也欢迎各界朋友通过 ChinaInfo 系统提供的公告牌向我刊提出宝贵意见和建议或征订本刊。

特此申明

《航空学报》编辑部
一九九八年元月