

大型客机座舱舒适性发展分析

Development of Cabin Comfortability for Large Airliner

中航工业中航飞机有限责任公司 袁领双
北京航空航天大学 庞丽萍 王 浚



袁领双

博士,毕业于北京航空航天大学人机与环境工程专业;现就职于中航飞机有限责任公司,主要从事民用飞机发展规划及研制管理工作。

客机座舱舒适性内涵

1 舒适性概念

近年来人体在微环境中的舒适性已越来越受到全世界的关注。舒适性是在综合作用影响下人们所产生的主观感觉,日常生活中经常使用,但人们却很难清楚描述其含意,并且经常与热感概念混淆^[1-4]。热感也是一种自我感觉状态,是人体对热环境所具有的一种满足的心理状态,处于稳定状态下,大多数人的冷热感

目前,国际航空运输市场竞争激烈,现代民航飞机向着大运力、低消耗、高舒适性和高安全性方向快速发展。舒适、经济、安全已经成为民用航空市场竞争的三大法宝,以人为本的设计理念渗透到飞机研发、设计、市场竞争的各个环节。

觉由6个因素决定:空气温度、空气湿度、空气流速、平均辐射温度以及人的活动量和衣着,人体对热环境的感受是这些因素综合作用的结果。舒适性是比热感内涵更广的一个概念,包括了作为人体热状态指标在内的热感。人体的舒适状态同样受到多种因素决定:声学(噪声)、嗅觉与呼吸(空气质量)、机械感觉、视觉(色调影响)、热感觉(温度、湿度、气流)、微环境的振动和摆动、特殊因素(太阳辐射、电离)、安全卫生因素、人员密集程度、意外危险影响等。舒适性是上述外界条件的综合结果,而且相互作用机理复杂。舒适性对人体生理和心理起着重要作用,由于人体差异性,凡是外部因素使80%的人感到满意的就可以认为是舒适状态了。

目前的研究都是试图确定使处于微环境中的人获得舒适状态时诸因素的作用范围,同时还致力于研究多种因素综合作用对人体舒适的影响,其中重要的可控因素常与热感(温、湿、风速)有关。

2 客机座舱舒适性研究内涵

飞机座舱作为典型的特殊微环境,与一般室内环境相比,具有明显不同之处,如飞机座舱内空间狭小,人员密集,不能任意走动;飞机座舱在高空有增压需求;在飞行中乘员受到多种环境因素的综合影响,包括低湿度、低气压、气体污染物(臭氧、一氧化碳、二氧化碳和各种微生物等);如环境控制系统不工作,污染物能够迅速地聚集,温度也会迅速升高。所以,对于飞机座舱舒适性影响

因素就包括了^[5-6]:空气质量(臭氧、一氧化碳、各种有机物及生物病毒)、热环境(温度、低湿、风速)、座舱压力(低气压)、噪声、振动、灯光照明、空间布局、微波辐射等,它们的综合作用形成了座舱的舒适感。

客机座舱舒适性发展意义

目前,国际航空运输市场竞争激烈,现代民航飞机向着大运力、低消耗、高舒适性和高安全性方向快速发展。舒适、经济、安全已经成为民用航空市场竞争的三大法宝,以人为本的设计理念渗透到飞机研发、设计、市场竞争的各个环节。

国外研究机构纷纷展开针对大型飞机座舱舒适性控制技术的综合研究,其研究内容包括了高空复杂飞行条件下的传热、传质、噪声传播、新型热力/制冷循环等机理性基础研究^[7],及机舱多目标、非线性、分布参数复杂系统的控制策略,客舱环境事故的安全检测、故障诊断与预报技术等诸多关键技术研究。英国、德国、加拿大、美国等国家研究机构为了开展这一领域内的深入研究,不惜重金建立了全尺寸地面模拟试验设施,还在A300上安装座舱环境检测设备,以取得第一手客舱环境数据,充分体现了对座舱舒适性和安全性保障技术研究的重视。

我国研制的大型客机及支线客机要想占有一定的市场份额,从开始设计就必须瞄准2020年世界前沿,同时又要兼顾我国实际情况,抓住竞争焦点才有可能与国外飞机同台竞争。纵观民用飞机的三项关键评价标准——安全性、经济性和舒适性,无论在科研经费投入还是技术难度攻关上,座舱环境舒适性的改善更易于实现,并有可能达到且在某些方面超过国外现有技术水平,创造更为舒适宜人的座舱综合环境,从而提升我国大型客机的市场竞争力。因此,细致、深入地开展民用飞机座舱舒适性

和安全性保障技术研究不仅是顺利实施我国国家中长期科技规划的必然要求,而且也是我国自行设计制造的大型飞机及支线飞机在未来激烈的航空市场竞争中能够得以生存发展的必要保证,具有重要工程价值、应用前景和科学意义。

客机座舱舒适性研究现状

1 国外研究现状

在国际民用航空市场激烈的竞争背景下,飞机设计重点已经由最初的飞机结构、飞机安全性设计,发展到目前的座舱舒适性设计。如图1所示为民机设计发展方向。

在上述总体发展趋势下,国外研

究组织很大程度决定了乘客的热感,同时也是座舱舒适性的重要保证。基于上述原因各国学者均将注意力投入到精细规划座舱通风模式上。在这方面,欧洲空客和美国波音公司一直处于研究前列^[8-11]。图2是以新型A380客舱为对象开展的气流组织研究。

但是当前飞机上采用的集中回风、集中处理、分别送风的方式,空气混合现象严重,非常利于病菌通过循环空气形成交叉感染,只注重座舱内气流组织优化,很显然并不能解决这一难题。因此,飞机通风系统和气流组织设计需要进行重大改进,才能截断疾病传染途径,降低疾病传染危

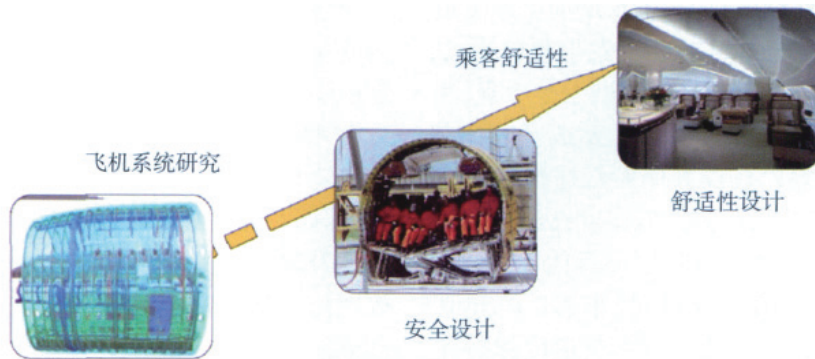


图1 民航设计发展方向

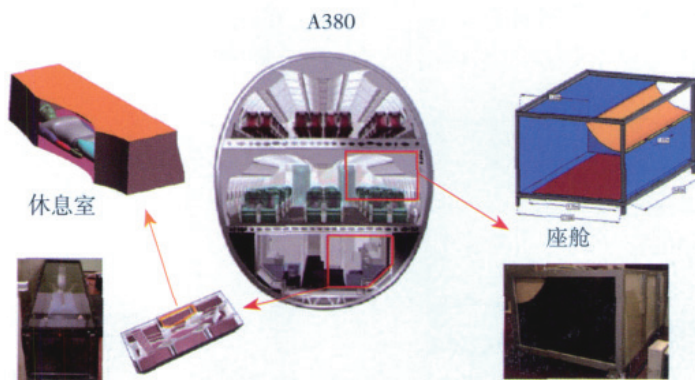


图2 A380气流组织试验与仿真研究示意图

究机构在民用飞机座舱舒适性研究进展包括以下两方面。

1.1 与客机座舱舒适性相关研究

(1) 气流组织研究。

座舱温度、湿度和气流速度共同作用形成座舱气流组织。良好的气

害^[12-15]。美国学者研究了波音767-300飞机座舱通风模型,建议飞机采用下送上回送风与个体送风形式相结合的模式能有效提高飞机座舱舒适性和空气健康性,如图3所示。

(2) 座舱湿度研究。

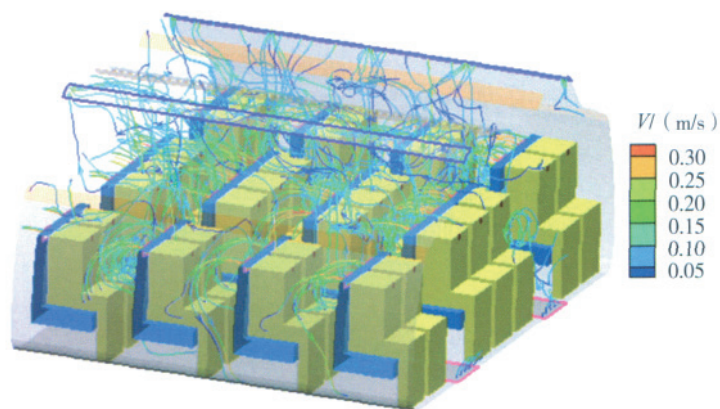


图3 下送上回送风模式和个体送风模式研究

高海拔巡航飞行时,座舱空气会变得非常干燥,使乘客感觉不适,引起高原反应或者眼干、喉咙疼痛等症状,需加湿来提高舒适性。但是加湿也存在问题,如携带水增加了起飞重量;加湿器附近会诱发生物体生长;高湿度会导致机舱内壁发生冷凝、滴水和湿气冻结等现象,造成腐蚀等安全问题。在提高座舱舒适性的大环境背景下,提高座舱湿度已经成为一个必须解决的问题。目前波音 787 机身采用复合材料(非铝),因此其舱内空气系统能将空气湿度保持在 15% 左右,比当前 4% 的水平感觉更加舒适。

(3) 座舱压力控制研究。

座舱压力要求是指对座舱高度、

压差、压力变化速度及压力制度所提出的相应要求,它是影响座舱舒适性的重要因素。飞机爬升和下降,发动机供气量的变化等都会使座舱压力发生变化,造成人体不适。当大气压力变化速度达到一定数值后,还会引起航空性中耳炎、航空性鼻窦炎、航空性牙痛。当外部压力迅速降低时,按照降低速度的数值会依次引起耳鸣、耳痛及轻度眩晕等。当外部压力迅速升高时,中耳腔出现较大负压,按照压力增加速度的数值会依次出现剧烈的耳痛、明显的耳鸣、并常伴有眩晕、恶心。目前美国为了最大限度降低压力变化为座舱舒适性的影响,在波音 787 上采用了新型的压力调节规律。

(4) 空气质量。

空气质量是影响座舱舒适性和安全性的重要因素。发动机润滑油和液压油由各种各样的有机成分组成,在非正常状况下,它们或它们的分解物(如一氧化碳、和甲醛)进入舱内,将会造成严重空气污染,危害乘客健康。因而美国已经组建了多领域专家组成的民机座舱空气质量协会,主要实施有关航空污染毒性及其对健康的危害等方面的评价研究。该协会建议飞机上安装和使用臭氧转换器、空气清洁设备、供气管道一氧化碳处理器,对没有安装上述设备的飞机需要根据高度和路线严格控制操作程序,保证浓度满足健康最低要求。目前大型客机一般都安装有高效粒子过滤器 HEPA,能够净化微生物、烟雾;采用催化转化器净化臭氧。但对于净化 VOCs 和病毒却没有非常有效的成熟方法,只能用活性炭吸附。

(5) 民机座舱降噪技术研究。

在舱内噪声控制方面,美国航空航天局不但制定了专门的飞机降噪计划 AST 计划和 QAT 计划,还积极开展与飞机“无源”和“有源”降噪技术相关的基础研究,其研制的 ASAC 有源结构声学控制技术已通过了风洞试验和飞行试验;此外,道蒂公司也研制成功了基于“有源”声控制的主动式控制系统,萨伯公司在其数百架 SAAB340B 型飞机上进行了具体使用,使舱内降噪明显;另外英国的 Ross 还将自适应数字滤波技术应用用于管道有源消声系统,并完成了相应的风洞试验。

1.2 地面大型客机座舱舒适性研究试验平台

(1) 欧洲座舱环境测试平台 ACE。

欧洲座舱环境测试平台 ACE (见图 4) 隶属于英国建筑物物理研究所 BRE, 2002 年竣工,主要用于研究座舱空气质量、噪声、振动以及人

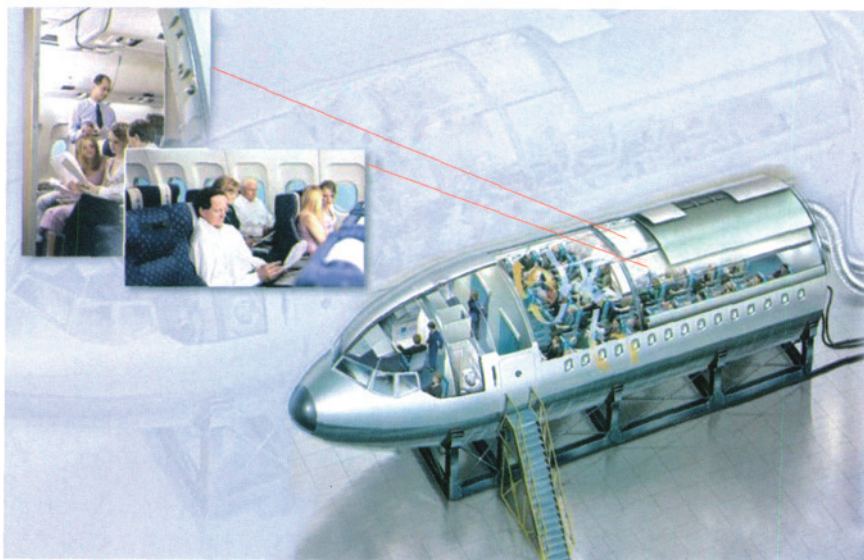


图4 BRE的飞机座舱环境测试平台ACE



图5 低压飞机环境测试设施FTF

机工程学间的相互影响。ACE 主体为 A300 B4 前机身,能容纳 40 位乘客进行试验。ACE 座舱内可模拟多项实际环境条件,包括噪声、温度、风速、低湿度、振动、空气质量、冷热辐射、照明、座位、多媒体系统、安全系统。机身前舱配备测试设备。目前在该平台基础上已完成多项研究计划。

(2) 欧洲低压飞行环境测试设施 FTF。

德国的 Fraunhofer 建筑物理研究所在 2005 年欧盟资助下建造了低压飞行环境测试设施 FTF (见图 5),并在该试验平台上开展了庞大的理想座舱环境 ICE 研究计划。低压飞行环境测试设施 FTF 的目标是实现逼近真实的飞行环境,可用来研究包括飞行高度在内的各飞行参数对乘客和机组人员身心健康的影响。FTF 包括一个巨大的高空环境模拟舱(长 37m,内直径 9.6m),里面放置 A310-200 前座舱部分,可以模拟飞机周围飞行环境(包括压力)对座舱内部环境的影响。座舱内最多能承载 80 位测试人员,在地面实现高空飞行环境。

2 国内研究现状

随着我国民机项目的进行,国内进行了部分舒适性研究工作,但研究还没有提升到战略高度。

在整舱舒适性研究方面基本上还没有考虑,只在目前座舱通风系统设计中考虑了,还参考了空客关于温度场和座舱压力要求,满足通风、调温、增压要求,其中通风仅满足 CCAR25 部中 CO、CO₂ 浓度要求。

在制冷量设计时只是估算能够满足新风量要求,而且新风量较少,影响到了座舱的空气品质。随着大型客机项目的开展,更充分地考虑了座舱新风量问题。

在气流组织设计方面国内没有开展针对具体机型的气流组织优化试验研究。部分机型只计算了温度、气流控制、流量面积、排气格栅等,并完成通风管路地面流量分配均匀性试验。在复杂恶劣环境下使用,飞机座舱环境并不另人满意,影响到座舱舒适性。在空气品质研究方面,国内正在受到重视。

飞机座舱噪声主要是低频噪声,中航工业强度所在噪声控制方面提高多项主动和被动噪声控制技术,收

到较好的降噪效果,但需要进一步研究。在座舱内部,已经开展了针对通风管路的降噪技术前期研究工作。

客机设计中除了空气质量和热感外,另一个倍受关注的是座舱内部空气几何布局问题。我国飞机普遍存在空间几何不舒适,主要体现在空间狭小、座椅尺寸不舒适等方面。

我国客机座舱舒适性研究可能的突破点

由于客机座舱舒适性及安全性涉及的研究内容众多,我国可能的突破点包括:

- (1) 基于舒适性的飞机座舱气流组织优化研究;
- (2) 座舱加湿对舒适性影响;
- (3) 新型数字压调技术;
- (4) 座舱清新空气技术研究;
- (5) 内饰空间几何舒适性;
- (6) 新型座舱降噪方法研究。

我国客机应该从设计理念、整体方案、设计方法等方面吸收国外先进经验,结合国内各研究团队力量,全方位创新,力争在这两方面达到波音 787 或 A380 的研究水平,形成具有自主知识产权的产品体系,提高市场竞争力,并力争在未来十年内使我国在大型飞机座舱舒适性与安全性技术研究上,处于国际先进水平。

结束语

本文分析了国外在大型客机座舱舒适性方面的研究现状,以及未来可能的发展趋势。我国发展的大型客机若想占有一定的市场份额,必须瞄准 2020 年的研究前沿,兼顾我国实际情况,建议重点发展座舱舒适性,以提升我国大型客机在市场上的竞争。结合我国实际情况,指出了发展我国客机舒适性的可能突破技术。

本文共有参考文献 15 篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 小城)