

# 综述

zong shu



## 大型客机舱内声学设计方案综述(一)

扈西枝 韩峰 何立燕 陈玲  
(上海飞机设计研究院结构设计研究部,上海 200232)

Overview of the Cabin Acoustic Design for the  
Large Commercial Aircraft(I)

Hu Xizhi Han Feng He Liyan Chen Ling

(Structures Department of SADRI, Shanghai 200232, China)

**摘要:**噪声是飞机的固有特性,舱内噪声伴随着飞机从地面开车、起飞到降落整个旅程,严重影响乘坐舒适性。由于降噪效果的局限性,如何在设计的初始阶段,就将声学设计融入到飞机设计中显得尤为重要,也是需要长期探索和研究的课题,正是基于上述因素提出大型客机舱内声学设计方案。

**关键词:**噪声;舒适性;声学设计

**[Abstract]** Acoustic performance is a characteristic of aircraft, relating the amenity of the civil aircraft during the grounding, the take off, the cruise and the landing. Own to the limitation of the reducing noise method, it's very important for aircraft designer that it need to be introduced the acoustic engineering into the aircraft design when the concept design process. It is an issue for studying and researching along time. Therefore, based on the above-mentioned situations, the paper overviewed the main cabin acoustic program of the large commercial aircraft.

**[Key words]** Noise;Amenity;Acoustic Design

## 0 引言

民航噪声影响民航的安全性、适航性及舒适性,民航舱内噪声是影响民航舒适性的主要因素之一。虽然国际上没有统一的标准,但新研制的民航都制定有自己的舱内噪声指标,目的是营造一个安静舒适的客舱环境,满足乘客的需求,同时让自己的产品在市场上具有竞争力。

## 1 飞机舱内噪声评定参数

为了能够客观、综合地反映舱内的噪声状况,参照国际标准化的建议,舱内噪声通常用 A 计权声级 dB(A) 和语言干扰级 SIL 评定。

### (1) A 计权声压级

A 计权声级(A-weighted sound pressure level)是对频率进行计权后求得的总声压级,它是根据人耳对声音的灵敏程度提出的,用 A 计权对连续宽频带噪声所做的响应测试,能很好地反应人耳对声音的主观反应。计算式为:

$$L_A = 10 \lg \left[ \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{pi} + \Delta L_{Ai})} \right] \quad (1)$$

### (2) 语言干扰级 SIL

语言干扰级 SIL(speech interference level)是描述语言清晰度指数的一个噪声评价指标,用其衡量舱内混响声对人员交谈的影响。计算式为:

$$SIL = \frac{L_{P500} + L_{P1000} + L_{P2000} + L_{P4000}}{4} \quad (2)$$

## 2 舱内噪声特性分类

从舱内噪声的特性上来讲,可分为以下几种。

(1)空气声:直接由发动机及机体噪声通过机身侧壁透射传入座舱的噪声;

(2)结构声:由各种声源、振源包括发动机和机体气动力及飞机内部振源激起机体和座舱结构振动而辐射到座舱内的噪声;

(3)舱内发声系统及管道产生的噪声;

(4)舱内混响声:各声源的声波在舱内反射加上座舱空间布局而产生的附加混响声。

舱内主要噪声及传播途径如图 1 所示。

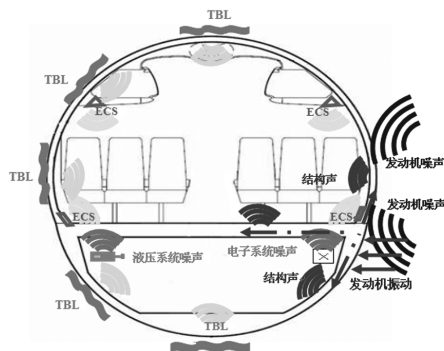


图 1 舱内主要噪声及传播途径

## 3 典型声学分析系统

一个典型的声学分析系统包含了三个要素:接受者、声源、传播途径,其相互关系如图 2 所示。



图2 典型声学分析系统

民用飞机舱内声学分析系统也是从这三方面考虑的,民用飞机舱内声学分析系统与典型声学分析系统的对应关系如下。

(1)接受者:制定声学设计目标。

(2)声源:设计飞机外形、机体时要考虑其产生的噪声,在对动力系统、辅助动力系统、环境控制系统、发声设备等设计时要提出明确的声学设计要求。

(3)传播途径:声源控制设计。通过隔声设计、吸声设计、隔振设计、管道消声设计和密封设计等方法降低向舱内传播的噪声。

从声学分析系统可以看出:声源的大小是最重要的。要控制噪声,最简单的方法是控制噪声源的强度。

## 4 舱内噪声源控制

影响舱内声学环境的主要噪声源,归结为气动外形、发动机、环控系统、机上发声设备产生的噪声。由于控制气动噪声涉及的因素太多,目前来讲,控制气动噪声比较困难,付出的代价比较大,但可以限制发动机、环控系统、机上发声设备等噪声的强度。

(1)发动机的选型

发动机噪声是影响适航及座舱声学环境的主要声源,因此在飞机发动机选型时,要对发动机的噪声和振动提出相应的声学要求。

(2)环控系统的选型

环控系统噪声是舱内主要的噪声源,在飞机环控系统选型之时,不仅要限制各个组件的噪声,也要对总的系统提出声学要求。

(3)机上发声设备

对于机上发声设备,例如:液压系统、电子设备等,需要对它们提出声学要求。

## 5 舱内噪声控制方案

控制噪声源对舱内环境的影响,首先要分析舱内噪声源的强弱、频率特性,清楚机身、壁板结构、舱内装饰、隔振系统、管道系统等各个部件或系统的声学特性,针对客舱内噪声源特点,采用声传播途径控制方案,通过部件或舱段的隔声、吸声、隔振等关键技术的研究,设计出部件或系统的最佳声学结构形

式。例如,通过对舱壁隔声、隔振、吸声等声学特性研究,制订出壁板最佳的声学结构形式,为确定整机的最佳声学设计方案奠定基础,这是大型客机声学设计过程中的一个重要环节。

### 5.1 隔声设计

飞机舱内相当一部分噪声是由外部传递进来,壁板隔声量的大小直接影响舱内噪声级,因此有必要对壁板结构的隔声性能进行研究,遵循等透声量、重量分配和重量控制原则,对飞机的蒙皮+绝热隔声层+装饰板的组合结构进行筛选优化,确定符合重量分配要求的最佳隔声结构,这是进行座舱舒适性设计的重要一环。

根据试验测试数据与经验,飞机座舱最薄弱的隔声部件是门、窗,特别是飞机舷窗。在设计过程中等隔声量设计原则是非常关键的,因为只有当门窗的隔声能力与机身蒙皮区域隔声能力基本相等时,平均隔声效应才与机身结构相一致。为此,针对飞机门、窗的设计提出几点设计参考建议。

(1)舱门隔声设计

舱门应作双壁声学设计,中间可加足够的吸声纤维层,两壁间采用软连接,周边为压力密封,同时内侧应有吸声处理。

(2)舷窗声学设计

舷窗采用二层或三层窗声学设计,每层材料厚度不相等,层间略有斜度(不平行),舷窗面积尽量小,层间周边采用软连接,周边密封。如有必要,具体的设计参数可经过隔声试验优选。

### 5.2 隔声性能研究

对于部件级的隔声性能测试,一般在混响室一半消声室中进行隔声试验,利用声强测量技术或声压测试技术。混响一半消声结构隔声试验测试原理如图3所示。

用机身段作为声学试验平台对座舱的噪声研究,可以采用声压测量技术或声压测试技术,也可用声导进行测试研究,声导法测试原理如图4所示。

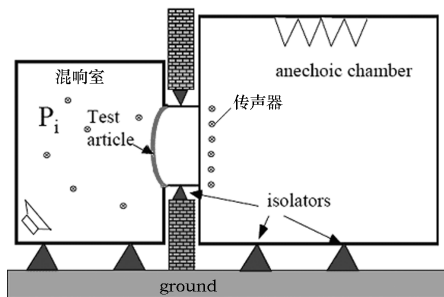


图3 混响一半消声隔声试验

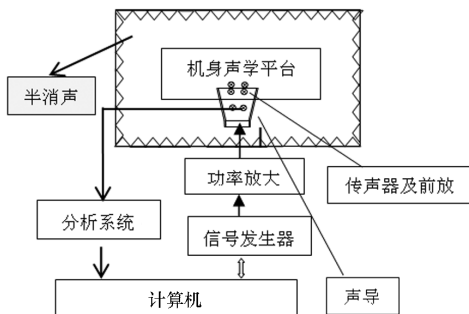


图4 声导法测试原理

### 5.3 吸声设计

飞机舱内吸声设计目的是降低舱内的混响声,使舱内的声学环境和语言干扰级达到设计目标,保证客舱内人员交谈顺利。为此有必要利用吸声测试手段对飞机舱内有可能使用的吸声材料、吸声体的吸声特性进行全面了解,对局部部件进行适当的吸声设计,这样才能优选和设计出吸声效果佳的飞机舱内布局。

(1)穿孔板和微穿孔板正入射时吸声的频带比较宽,在混响场中吸声要更好些,利用这个特点可提议对座舱内的天花板、顶板、隔板等构件局部设计成适当的穿孔或微穿孔图案,用于飞机设计阶段的内装饰设计,这样既能吸声又兼顾美观。

(2)除地毯有吸声要求外,可对地板进行软安装,周边密封,并且在地板的下表面贴上吸声材料层,能够减少底舱噪声及其对座舱的传递。

总之,根据需要对飞机舱内进行一系列的吸声设计,使舱内的声学环境和语言干扰级达到设计目标。

### 5.4 减振和隔振系统设计

结构传声是机械振动源(如:发动机的振动),直接激发结构振动(如:机翼、发动机架等),这种振动以弹性波的形式在结构中传播,同时通过结构向舱内辐射声能,这种声能影响着舱内的声环境产生。以发动机为例,由于发动机在整个飞行阶段都处于工作状态,因此结构声一直伴随着乘客的空中旅程。同时各种电子设备、仪器、仪表以及其它一些设备都只能耐受一定的振动量值,亦即它们都存在一定的振动阈值,一旦振动超过了阈值,其工作性能便会出现故障,直到振动减轻或停止才可以恢复正常。隔振技术是消除结构声的有效方法,通过研制隔振器来消除结构声,从而减少声与振动的传递。

由各种声源、振源,包括发动机和飞机内部振动源等都会激起机体及座舱结构振动而辐射入座舱,所以对大型客机而言,一般的机载特设系统均要求

用减振系统进行安装,特别是那些本身还会发生振动或噪声的成品附件更应进行减振安装,座舱壁板的阻尼减振见图5,飞机上使用隔振器见图6,行李架、装饰板、地板的减振系统见图7,发动机的减振装置见图8。



图5 壁板阻尼减振



图6 飞机上使用的隔振器

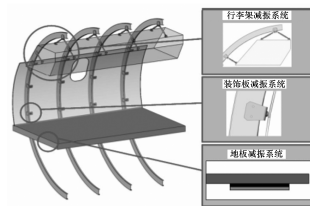


图7 行李架、装饰板、地板的减振系统



图8 发动机的减振装置

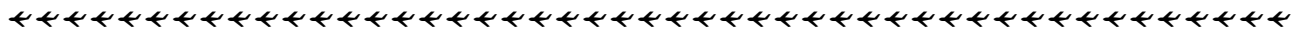
隔振器是减振系统中的重要元件,隔振器的设计应注意的因素:隔振器的安装频率应当与飞机振源的主要频率、安装部位构件的主要共振频率、振动或发声部件的主要频率相分离,若存在相互耦合,将会加剧成品振动,对其造成预料之外的损坏。

(下转第36页)

(上接第 34 页)

### 3 总结

飞机在低温环境下的运行会使燃油中形成游离水并结冰,有阻塞阀、泵、过滤器和滤网的可能,从而影响燃油系统供油,导致飞行安全事故。所以燃油系统必须证明在结冰条件下的合格性能,可通过设计说明、计算分析、实验室试验和设备鉴定等方法来表明燃油系统的结冰适航符合性。试验通常都采用实验室试验而不采用飞行试验,因为飞行试验难以达到试验标准和要求,并且试验危险程度高。实验室试验有系统级和部件级之分,由于部件的工作环境更严酷,部件结冰试验要求的添加水比系统结冰试验多。



(上接第 3 页)

### 5.5 消声设计

气流在管道中流动时会产生噪声,为消除管道噪声,对飞机管道设计时要考虑管道的消声设计,对一些噪声严重的进、排气管道还应当加装消声器,且可将消声器看作是管道的一部分。消声器及管道示例如图 9 所示。

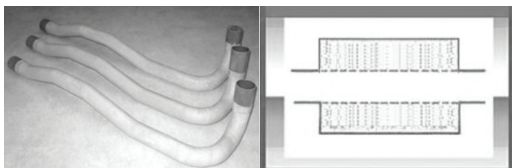


图 9 消声管道及消声器

### 6 声学设计

声的研究表明:声具有强弱、频域的特性。影响客舱声学环境的声源来源不同,导致噪声源的特性不同,因此控制噪声采取的方案也不同,为保证舱内声学环境达到舱内噪声设计目标而采用的控制方案如图 10 所示。

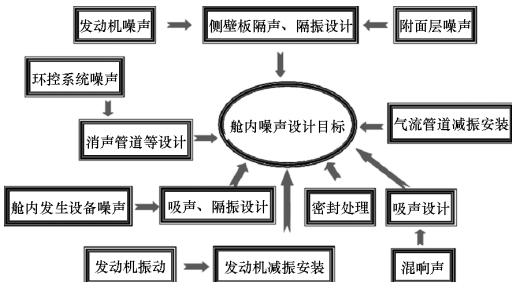


图 10 噪声控制方案

### 参考文献:

- [1] SAEAIR790 Considerations on ice Formation in Aircraft Fuel Systems.
- [2] 中国民用航空局. 中国民用航空规章 25 部 运输类飞机适航标准[M]. 中国民用航空局. 2009.
- [3] SAEARP1401 Aircraft Fuel System and Component Icing Test.
- [4] SSG-2009 Department of Defense Joint Services Specification Guide.
- [5] MIL-F-17874B Fuel System: Aircraft, Installation and Test of.
- [6] Roy Langton, Chuck Clark, Martin Hewitt, Lonnie Richards. Aircraft Fuel Systems [M]. John Wiley & Sons, Ltd, 2009.

### 7 总结

飞机舱内声学设计是一门复杂的交叉性学科,涉及的知识领域包括结构动力学、材料科学、气动声学、动力装置、机载设备、制造工艺等,并且由于飞机声学环境受制于全机的每一个部件和系统,飞机的各个部件和系统都会对声学环境产生影响。因此,在大型客机设计过程中,声学设计需要与总体设计、结构设计、系统集成等专业相互配合、密切协作,在平衡飞机的经济性、安全性、舒适性、环保性等因素的前提下,开展一系列的声学设计和研究工作,最终确保舱内噪声指标达到设计要求。

### 参考文献:

- [1] 扈西枝. 民机舱内噪声源及其特性分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(2): 10-13.
- [2] 扈西枝. 声导技术在飞机壁板隔声测试中的应用[J]. 噪声与振动控制, 2009, 6(29), 增刊.
- [3] 扈西枝, 候峰, 秦浩明. 利用机身声学试验平台研究结构的吸声特性[J]. 结构强度研究, 2009, 1(69).
- [4] 王彦琴, 盛美萍, 孙进才. 统计能量分析预测飞机壁板隔声量及舱室内声场分布[J]. 声学技术, 2003, 22(4).
- [5] 姚起杭. 飞机噪声工程[M]. 西北工业大学出版社, 1998 年.
- [6] 乔渭阳. 大型客机起飞着陆过程噪声辐射特性对比分析[J]. 航空学报, 2008, 29(3).
- [7] M. P. Norton. 工程噪声和振动分析基础[M]. 北京: 航空工业出版社, 1989.