

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2020.04.011

国内主流机型客舱声品质表现分析

崔玺康^{1*} 樊彦予² 张絮涵²

(1. 中国商飞北京民用飞机技术研究中心, 北京 102211; 2. 上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 舱内声环境是决定飞机乘坐舒适性的主要因素之一,而声品质是声环境的一个重要特征。目前声品质分析通常采用主观评价和客观评价两种途径,其中声品质客观评价通过分析噪声数据的频谱特性等物理参数,能更客观的反映声音特性。本文通过高精度的双耳采集设备实测了国内主流机型在巡航阶段的声环境数据,并对相关数据进行声品质客观分析。根据本文测量结果的分析,飞机客舱内的 A 声级在 69.4 dB(A) ~ 83.9 dB(A) 之间,响度在 28.4 sone ~ 52.5 sone 之间,尖锐度分布较均匀,数值在 1.1 acum ~ 1.4 acum 之间。根据频谱云图结果,噪声源主要集中在 200 Hz ~ 400 Hz 频段,并且噪声强度在客舱中后部有明显增强。总体来说,各个采样机型客舱内的声品质表现整体处于可接受的水平,其中客舱前部的声品质表现要优于客舱中后部位置。

关键词: 声品质;双耳传声器;响度;尖锐度;粗糙度;最佳语言干扰级

中图分类号: V223

文献标识码: A



0 引言

舱内声环境是决定飞机乘坐舒适性的主要因素之一^[1],而声品质又是声环境的一个重要特征,是人体对声音最直接的感官体验,属于心理声学的一个重要概念,Blauert 提出了声品质的明确定义:声品质是在特定的技术目标或任务内涵中声音的适宜性^[2]。声品质主要是分析噪声源的频率对听觉的感官影响,涉及到响度(Loudness)、粗糙度(Roughness)、尖锐度(Sharpness)等参数,对噪声源的采样频率要求比较高^[3]。

目前声品质在汽车行业应用比较深入和广泛,国内对飞机客舱内的声品质研究相对较少,其中杨立学^[4]对客舱内的声品质做了比较深入的研究,但是该研究采用的声音样本大多来源于国外公司,声音样本还包含了一部分螺旋桨飞机,并不能反映国内运营航班客舱内的声环境情况。张絮涵等在 2017 年对某宽体客机客舱内的声环境进行了详细测量^[5],并分析了客舱各个区域的声品质表现,但

是该研究仅针对一种机型,并不能完全反映国内主流机型客舱内声品质现状。

截至 2019 年年底,中国民航机队规模达 3 818 架,其中空客 1 838 架,占 48.32%;波音 1 786 架,占 46.95%。最受欢迎的空客 A320 系列和波音 737 系列飞机分别为 1 551 和 1 509 架,两者占总机队规模的 80% 以上。516 架宽体机全部来自波音和空客,其中波音最受欢迎的机型是波音 777 和波音 787,两者共计 197 架,空客最受欢迎的机型是 A320 和 A330,两者合计 275 架,这些国内运营的主流机型基本覆盖了目前民航运输的主力航班,为填补国内航线客舱内的声环境数据空白,本文采集了这些主流机型舱内高精度的声环境数据,并对相应数据进行声品质分析。

1 数据采集

1.1 采集机型与航班信息

本文主要采集了国内航线主流机型的声环境数据,窄体机型为 A320 和波音 737,宽体机型为 A330、A350、波音 777 和波音 787,具体的飞行数据

* 通信作者。E-mail: cuixikang@comac.cc

引用格式: 崔玺康,樊彦予,张絮涵. 国内主流机型客舱声品质表现分析[J]. 民用飞机设计与研究,2020(4):57-62. CUI X K, FAN Y Y, ZHANG X H. Performance analysis of cabin acoustic quality for domestic mainstream aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research,2020(4):57-62(in Chinese).

如表 1 所示:

表 1 采集航班飞行数据

序号	机型	巡航高度/m	巡航速度/(km · h ⁻¹)
1	A320-NEO	10 356	863
2	A330-300	9 174	838
3	A350-900	10 973	962
4	波音 737-86N	9 174	671
5	波音 777-300	7 193	840
6	波音 787-9	10 394	861

为了保证采集数据的稳定性,在飞行巡航阶段实施声音采集,且应该尽可能涵盖客舱内的典型位置,即前舱、发动机前部、发动机后部、后舱、过道(A 位置)、靠窗(B 位置)等位置,采集点高度高于小桌板 30cm~40cm(与人耳平齐),相关采集措施与要求满足《GB / T 20248-2006 声学飞行中飞机舱内声压级的测量》^[6],具体的采集点如下图 1 所示:

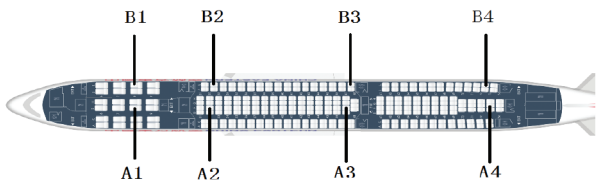


图 1 声音采集点示意图

1.2 采集设备

客舱内声环境的声品质分析需要高质量的声音数据源,本文采用一种头戴式高精度采集设备,由高精度双耳传声器、双通道数据采集卡、平板电脑、采集/分析软件和校准器构成,其中高精度双耳传声器符合 IEC 61672 I 型标准,具体参数如下:

频率响应:20 KHz~20 KHz

动态范围:29 dBA~127 dBA

开路灵敏度:50 mV/Pa

双通道数据采集卡参数:采样频率 48 K/s & 44.1 K/s,24 位 & 16 位。

支持离线采集与在线分析模式,性能稳定且使用方便,属于无发射源电子设备,能够在民航飞机上安全使用。

校准器符合 IEC 60942:2003 I 型标准、ANSI S1.40-1984(R1997) 和 GB/T 15173-1994 I 型标准,具有 94 dB@1000 Hz 和 114 dB@1000 Hz 两种校准模式。

2 声品质参数

声品质是反映主观感受的概念,目前主要通过

两个方法来进行评估:主观评价和客观评价。主观评价是受测者通过相关听声流程对声音作出的相关评价,也叫听音评价。主观评价方法直接通过真实的听音过程来反映人耳对声品质的感受,是对声品质最直观的评价。但是主观评价会受到人对声音感知的不可重复性的影响,因此,声品质主观评价的稳定性较差,无法对声音细微的特性进行评价与甄别。

声品质客观评价是基于声音的物理特性(比如时间历程、频谱等参数)对声品质进行的评价,其评价结果具有客观性和不变性。科学家在上世纪六七十年代就对声品质客观评价进行了比较深入的研究,并取得了丰富的成果^[7]。经过几十年的发展,目前对声品质客观评价主要集中在响度,尖锐度,粗糙度和最佳语言干扰级这几个参数。根据声音采集设备的特点,本文分别采用以下模型和公式计算相关参数:

响度:Moore 模型^[8]

尖锐度:Aures 模型^[9]

粗糙度:Aures 模型^[10]

最佳语言干扰级:PSIL = SIL + 3 (dB)^[9]

3 结果分析

3.1 波音 737 机型

图 3 是波音 737 机型客舱不同位置的声品质参数分布,从图中可以看出,客舱内的声压级(A 计权)在 76.2 dB~81.9 dB(A) 左右,靠近走廊位置的响度值要低于靠窗位置,客舱前部位置的响度值要低于客舱中后部,这是因为客舱中后部更靠近发动机,并且发动机的喷流加剧了气流的湍流度。由于采集的是巡航阶段,因此整个飞行状态比较平稳,客舱内的尖锐度变化不大,维持在 1.0 acum~1.3 acum 之间,而粗糙度和响度大小关系较大,因此响度较大的区域(客舱中后部)其粗糙度相应的也大一点。客舱内的最佳语言干扰级较高,在 66.8 dB(A)~72 dB(A)之间,对乘客间的交流影响较大。

图 4 是 A1 位置和 B3 位置的频谱云图,从频谱云图可以看出,在 A1 位置,噪声在 200 Hz~400 Hz 和 500 Hz~800 Hz 这两个频段范围具有较高的强度。相对于 A1 位置,B3 位置 200 Hz~400 Hz 频率段的噪声强度明显要升高,而 500 Hz~800 Hz 频率段的噪声强度基本保持不变,这证明 200 Hz~400 Hz 频率段的噪音应该是和发动机喷流相关的,B3 位置更加靠近发动机喷口位置,因此该频率段的噪声强

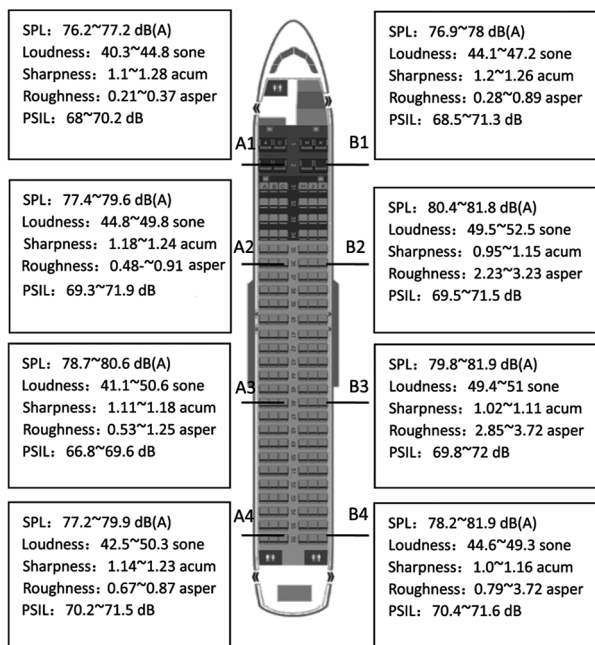


图3 波音737机型客舱不同位置的声品质参数分布

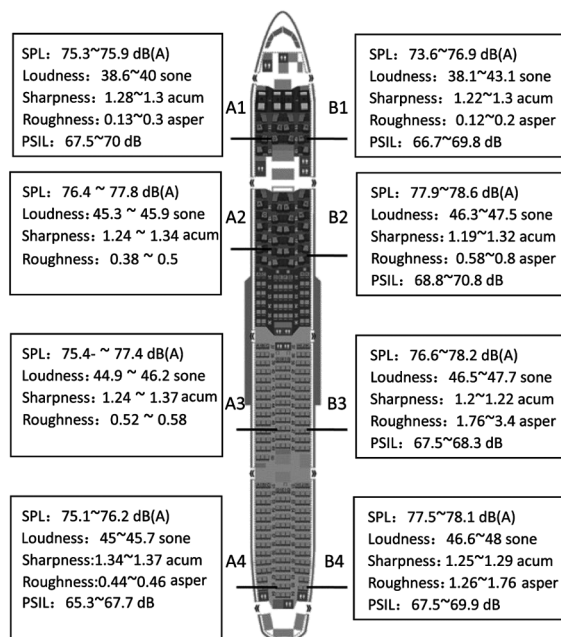


图5 波音777机型客舱不同位置的声品质参数分布

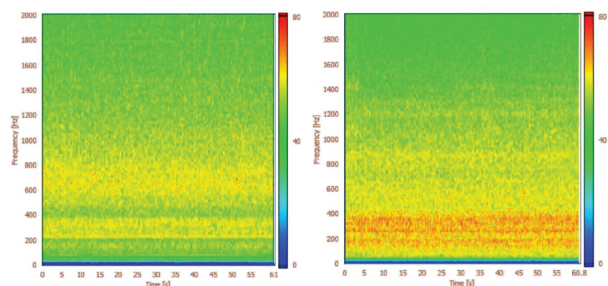


图4 波音737机型在A1位置和B3位置的频谱云图

度明显加强。

3.2 波音777机型

图5是波音777机型客舱不同位置的声品质参数分布,从图中可以看出,客舱内的尖锐度变化不大,维持在1.19 acum~1.37 acum之间,而响度变化较大,客舱前部区域的响度在38.1 sone~43.1 sone之间,客舱中后部区域的响度接近48 sone。和单通道的波音737机型相比,双通道的波音777机型虽然采用了更大的发动机,但是客舱内的响度值反而低3 sone~4 sone左右,这应该是因为波音777拥有更大的客舱空间容纳座椅等吸声设备,使得声音能够更快的衰减。总体来说,波音777客舱内的响度分布规律和波音737基本一致,靠近走廊位置的响度值要低于靠窗位置,客舱前部位置的响度值要低于客舱中后部。客舱内的粗糙度和响度大小关系较大,因此响度较大的区域(客舱中后部)的粗糙度相应的也

大一点。客舱内的最佳语言干扰级在62.8 dB(A)~70.8 dB(A)之间,对乘客间的交流影响一般。

图6是A1位置和B3位置的频谱云图。从云图中可以看出,客舱前部在55 s时有一个较高的声压峰值,这是广播提示音造成的突变。在客舱前部,噪声主要集中在400 Hz~1 000 Hz这个频段,声压大小在70 dB左右,而在客舱中后部,噪声集中在150 Hz~350 Hz频段,声压大小提高到80 dB左右。

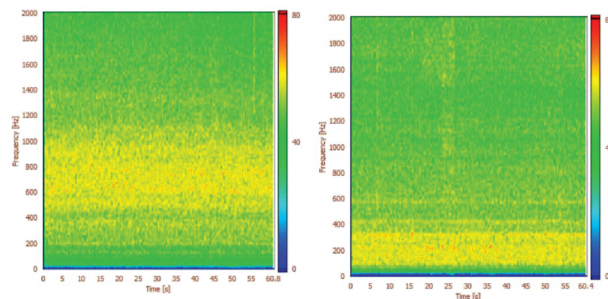


图6 波音777机型在A1位置和B3位置的频谱云图

3.3 波音787机型

图7是波音787机型客舱不同位置的声品质参数分布,从图中可以看出,波音787客舱前部的响度控制的非常好,没有超过35 sone,这可能是由于波音787采用了更加静音的发动机,同时客舱前部远离发动机喷流,而客舱尾部的响度较大,最大响度接近49 sone。由于采集的是巡航阶段,因此整个飞行

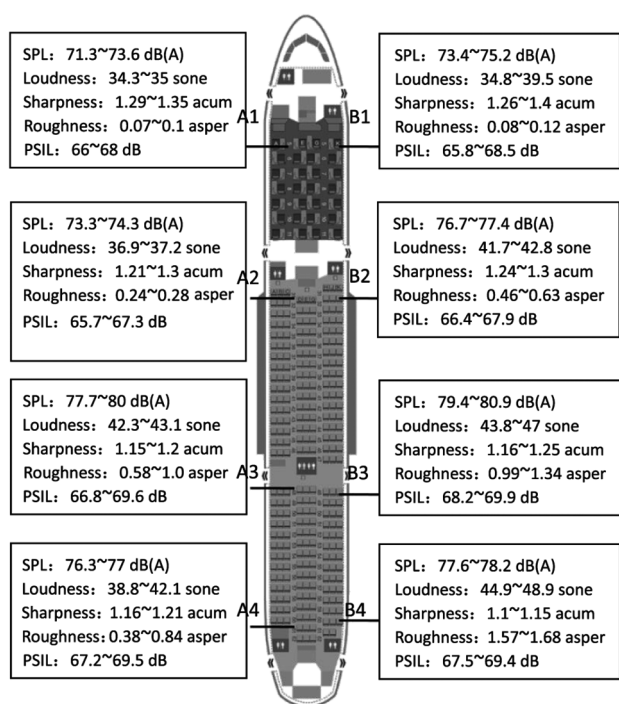


图 7 波音 787 机型客舱不同位置的声品质参数分布

状态比较平稳,客舱内的尖锐度变化不大,维持在 1.1 acum ~ 1.4 acum 之间,而粗糙度和响度大小关系较大,因此响度较大的区域(客舱中后部)的粗糙度相应的也大一点。客舱内的最佳语言干扰级在 65.7 dB(A) ~ 69.9 dB(A) 之间,对乘客间的交流影响一般。

图 8 是 A1 位置和 B3 位置的频谱云图。从频谱图可以看出,在 A1 位置时,噪音主要集中在 200 Hz ~ 1 600 Hz 之间,强度低且均匀,而在 B3 位置时,100 Hz ~ 600 Hz 频段的噪音强度明显增强,其他频段的噪音和 A1 位置基本保持一致。

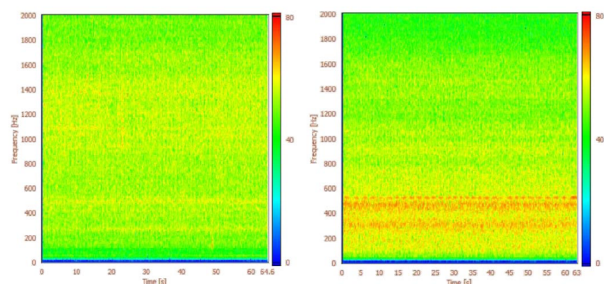


图 8 波音 787 机型在 A1 位置和 B3 位置的频谱云图

3.4 A320 机型

图 9 是 A320 机型客舱不同位置的声品质参数分布,从图中可以看出,A320 客舱内的响度范围在 38.2 sone ~ 47.5 sone 之间,其中客舱中后部靠近窗

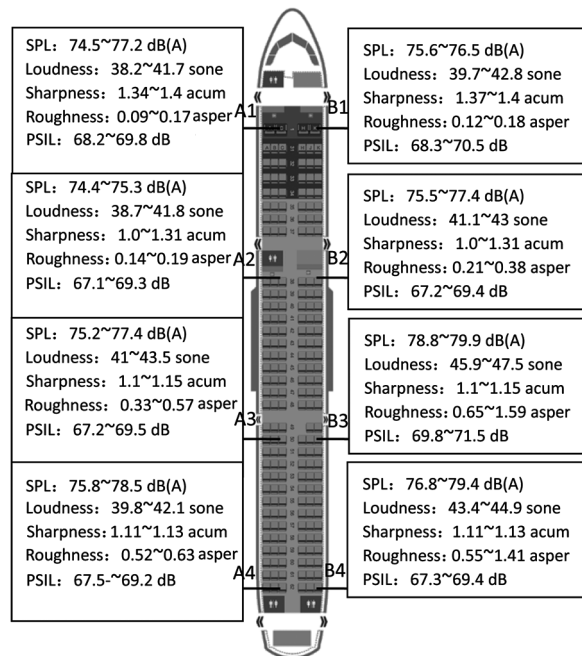


图 9 A320 机型客舱不同位置的声品质参数分布

户的响度最高。客舱内的尖锐度变化不大,维持在 1.1 acum ~ 1.4 acum 之间,粗糙度控制在 0.09 asper ~ 1.59 asper 之间。客舱内的最佳语言干扰级在 67.1 dB(A) ~ 71.5 dB(A) 之间,对乘客间的交流影响较大。

图 10 是 A1 位置和 B3 位置的频谱云图。从频谱云图可以看出,在 A1 位置,A320 机舱内的噪音分布频段较宽,200 Hz ~ 1 600 Hz 分布较均匀,强度较低。在 B3 位置,200 Hz ~ 500 Hz 频率段的噪声强度明显增强。

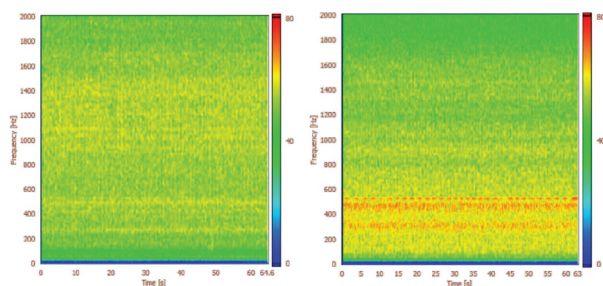


图 10 A320 机型在 A1 位置和 B3 位置的频谱云图

3.5 A330 机型

图 11 是 A330 机型客舱不同位置的声品质参数分布,从图中可以看出,A330 客舱内的响度范围在 34 sone ~ 49.9 sone 之间,客舱内的尖锐度维持在 1.08 acum ~ 1.35 acum 之间,粗糙度范围在 0.07 asper ~ 2.06 asper 之间。客舱内的最佳语言干扰级在 64 dB(A) ~ 72.1 dB(A) 之间,对乘客间的交流影响较大。

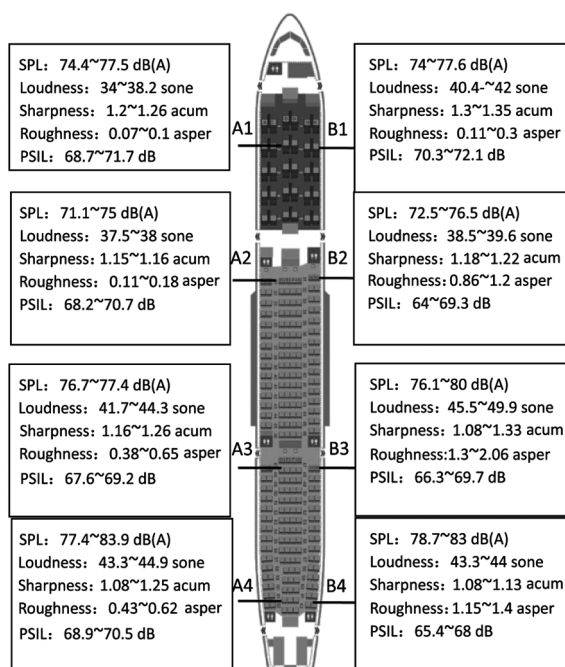


图 11 A330 机型客舱不同位置的声品质参数分布

图 12 是 A1 位置和 B3 位置的频谱云图。从频谱图可以看出,在 A1 位置时,噪声主要集中在 200 Hz ~ 1 500 Hz 之间,强度比较均匀,而在 B3 位置时,100 Hz ~ 400 Hz 频段的噪声强度明显增强,其他频段的噪声和 A1 位置基本保持一致。

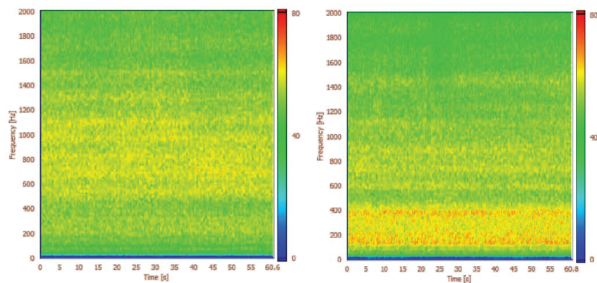


图 12 A330 机型在 A1 位置和 B3 位置的频谱云图

3.6 A350 机型

图 13 是 A350 机型客舱不同位置的声品质参数分布,从图中可以看出,A350 客舱内的响度控制的非常出色,客舱前部的响度只有 28.4 sone 左右,而客舱内最大的噪声也仅有 38.6 sone。客舱内的尖锐度维持在 1.08 acum ~ 1.37 acum 之间。A350 客舱内的粗糙度也维持在较低的水平,范围在 0.06 asper ~ 0.38 asper 之间。客舱内的最佳语言干扰级在中前部都控制在了 65 dB(A) 以下,只有尾部达到了 68.3 dB(A),对乘客间的交流影响较小。

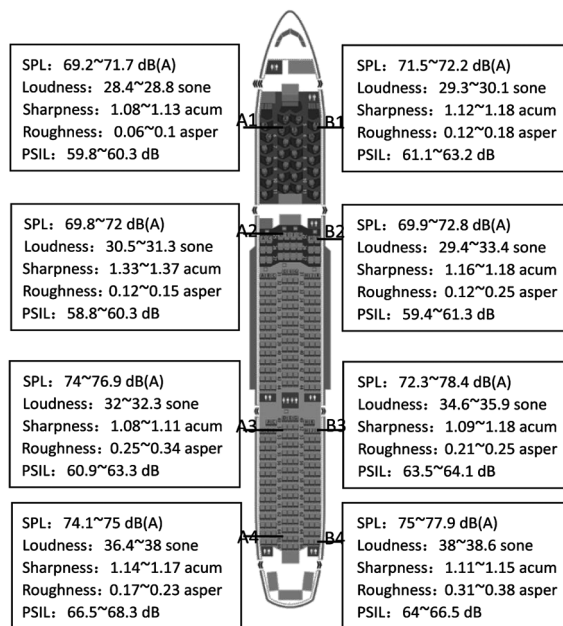


图 13 A350 机型客舱不同位置的声品质参数分布

图 14 是 A1 位置和 B3 位置的频谱云图。从频谱图可以看出,在 A1 位置时,噪声主要集中在 100 Hz ~ 400 Hz 之间,而在 B3 位置时,100 Hz ~ 400 Hz 频段的噪声强度有所增强,但 1 000 Hz 以上频段的噪声大小还是维持在极低的水平。

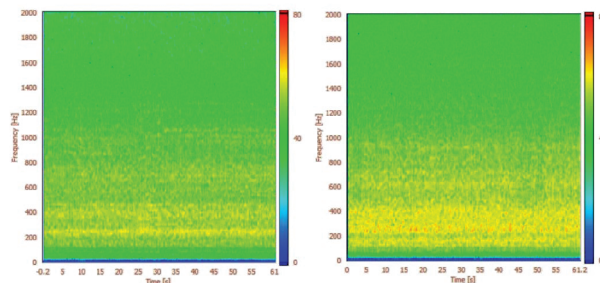


图 14 A350 机型在 A1 位置和 B3 位置的频谱云图

4 结论

本文采集了国内民航主流机型客舱内声环境数据,并对采集到的数据进行了声品质客观分析。从客观分析结果可以看出,客舱内前部的响度、粗糙度、最佳语言干扰级等表现都要优于客舱中后部。客舱内的尖锐度分布比较均匀,大小也基本维持在 1.1 acum ~ 1.4 acum 之间,没有体现出明显的位置区别。受到飞行条件及采集过程限制,本文所分析结果存在一定不确定性,特此说明。为了更全面的对客舱内声品质表现进行评估,对相关数据进行声

品质主观评价以及采集更详细的声环境数据以建立客舱声环境数据库将是下一步工作的重点。

参考文献:

- [1] BERGLUND B, LINDVALL T, SCHWELA D H. New Who Guidelines for Community Noise[J]. Noise & Vibration Worldwide, 2000, 31(4):24-29.
- [2] BLAUERT. Product-sound design and assessment: An enigmatic issue from the point of view of engineering [J]. Inter Noise & Noise Con Congress & Conference Proceedings, 1994.
- [3] SCHIFFBANKER H, BRANDL F, THIEN G E. Development and Application of an Evaluation Technique to Assess the Subjective Character of Engine Noise[J]. SAE transactions, 1991.
- [4] 杨立学, 陈克安, 李双, 等. 飞机舱内声品质的音色参数表达[J]. 西北工业大学学报, 2015(3):444-450.
- [5] 张絮涵, 汪光文, 刘毓迪, 等. 宽体客机巡航飞行舱内噪声及声品质现状测试[J]. 科技视界, 2018(14):10-13.
- [6] 程明昆, 毛东兴, 田静, 等. GB / T 20248-2006 声学 飞行中飞机舱内声压级的测量[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [7] 梁杰. 基于双耳听觉模型的车内声品质分析与评价方法研究[D]. 吉林:吉林大学, 2007.
- [8] 胡伟杰, 金江明, 卢免采. Moore 响度模型的数值计算与实验验证[J]. 电声技术, 2013, 37(2):40-44.
- [9] 李灿. 汽车声品质试验及客观评价方法研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2009.
- [10] 刘威, 焦中兴, 何岭松. Aures 粗糙度模型的数值计算方法[J]. 噪声与振动控制, 2011, 32(6):95-99.

作者简介

崔玺康 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向:航空技术与市场分析。E-mail: cuixikang@comac.cc

樊彦予 女, 硕士, 高级工程师。主要研究方向:民机客户化工程。E-mail: fanyanyu@comac.cc

张絮涵 女, 博士, 高级工程师。主要研究方向:全机舒适性及环控系统集成。E-mail: zhangxuhan@comac.cc

Performance analysis of cabin acoustic quality for domestic mainstream aircraft

CUI Xikang^{1*} FAN Yanyu² ZHANG Xuhan²

(1. Beijing Aircraft Technology Research Institute, Beijing 102211, China;
2. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: The cabin acoustic environment is one of the principle considerations for the aircraft passengers, and a-coustic quality is an important feature of the acoustic environment. At present, there are two ways of acoustic quality analysis: subjective evaluation and objective evaluation. The objective evaluation of acoustic quality can reflect the sound characteristics more objectively by analyzing the physical parameters such as the spectrum characteristics of noise data. In this paper, the acoustic environment data of domestic mainstream aircraft in cruise stage were measured by the high-precision dual ear acquisition equipment, and the acoustic quality of the relevant data was analyzed objectively. According to the analysis of the measurement results in this paper, the A-level in the aircraft cabin was between 69.4 dB (A) and 83.9 dB (A) and loudness was between 28.4 sone and 52.5 sone. The sharpness distribution was relatively uniform, and the value was between 1.1 acum and 1.4 acum. According to the results of the spectrum cloud chart, the noise sources were mainly concentrated in the frequency band of 200 Hz and 400 Hz, and the noise intensity was significantly enhanced in the middle and rear of the cabin. In general, the performance of cabin acoustic quality of each sampling model in the cabin is at an acceptable level, and the acoustic quality of the front cabin is better than that of the middle and rear of the cabin.

Keywords: sound quality; dual ear acquisition equipment; loudness; sharpness; roughness; PSIL

* Corresponding author. E-mail: cuixikang@comac.cc