

文章编号:1006-1355(2015)06-0123-04

15234

飞机绝热隔声层分布方式对壁板隔声量的影响

何立燕, 胡莹

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要:运用传递矩阵法分析民用飞机绝热隔声层不同分布方式对机身整体壁板隔声性能的影响。计算和比较在机身蒙皮和内饰板材料物理参数不变、两板之间距离不变条件下,绝热隔声层不同分布状态下的壁板的隔声性能。以该研究为基础,设计人员可以针对不同隔声要求和机身结构采用不同的绝热隔声层的设计方案。

关键词:声学;绝热隔声层;分布方式;壁板隔声;传递矩阵法;

中图分类号:TB33

文献标识码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2015.06.027

Influence of Distribution Mode of Thermal/Acoustic Insulation Blankets on the Transmission Loss of Airplanes

HE Li-yan, HU Ying

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: The thermal/acoustic insulation blankets of the airplanes are very important components in commercial aircraft design. In this paper, the influence of the layout of the thermal/acoustic insulation blankets on the transmission loss was analyzed by means of the transfer matrix method. With the constant physical parameters of the skin and the internal decorative materials and the constant gap between the adjacent blankets, the sound insulation performances of the thermal/acoustic insulation blankets for different layouts were calculated and comparatively analyzed. The results obtained can provide some help in acoustic design for selecting the optimal layout of the thermal/acoustic insulation blankets for different fuselages of airplanes.

Key words: acoustics; thermal/acoustic insulation blankets; distribution mode; transfer matrix; transmission loss

民用飞机绝热隔声层是铺设在机身金属壁板和内饰板之间的一个隔绝系统,它主要有三个功能:降低外部噪声向舱内传递、减少热量传递和隔离防潮。民用飞机绝热隔声层的铺设厚度、材料本身的孔隙率(或密度)、铺设位置及铺设方法等都对整体壁板的隔声性能有影响^[1],研究发现,绝热隔声层的分布方式对飞机整体壁板的声学性能有较大影响,合理有效的分布方式可使组合隔声壁板的隔声性能得到最大程度的提高。

1 绝热隔声层的分布及安装

目前民用飞机上的绝热隔声层普遍使用玻璃纤维棉作为芯体材料,并以尼龙钉、尼龙压帽或弹簧夹、尼龙搭扣等紧固件进行固定安装^[2],如图1所示。



图1 民用飞机绝热隔声层

波音公司和空客公司无疑是先进民用飞机设计的代表,其绝热隔声层在组合壁板中的声学设计较为完善,充分利用了绝热隔声层分布方式的优化来提高组合壁板的隔声性能^[3-5]。

参考 Boeing Design Manual-1202 和 Boeing 737-600/700/800/900 Maintenance Manual,发现上述系列的波音飞机绝热隔声层的声学设计如下:

收稿日期:2015-07-02

作者简介:何立燕(1981—),女,浙江岱山人,硕士,目前从事民机舱内声学研究。

E-mail: heliyan@comac.cc

在绝热隔声层安装方式上,波音系列飞机的绝热隔声层位于蒙皮与内饰板之间,既不贴合蒙皮,也不与内饰板贴合,于二者间保持一定的距离,即为:机身蒙皮—空气—绝热隔声层—空气—内饰板,如图2所示。这种方式铺设成多层隔声壁板,结合组合壁板的隔声性能原理,其机身壁板的隔声性能是比较优越的。根据波音设计手册第1202-3部分,绝热隔声层辅助声学设计包括使用小型隔振器、高阻尼薄膜。参考波音相关专利资料文献^[6],波音公司正在实施新的绝热隔声层安装方式,体现了他们对声学设计的重视。其设计不但具有优秀的隔声性能,也能很好的符合适航要求。

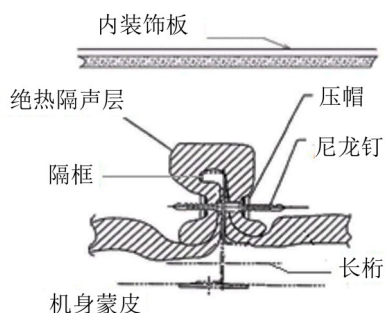


图2 波音系列飞机绝热隔声层铺设示意图

通过对A319飞机现场观测,发现空客公司除了采用与波音飞机相似的绝热隔声层布置外,即机身蒙皮—绝热隔声层—空气—绝热隔声层—内饰板,还在蒙皮与长桁处的空隙位置填充小块的绝热隔声层组件,如图3所示。

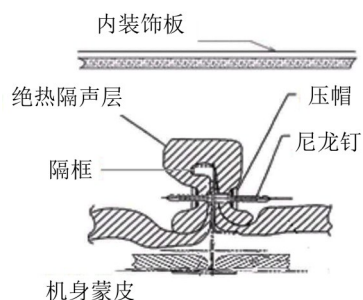


图3 空客系列飞机绝热隔声层铺设示意图

2 绝热隔声层不同分布方式的隔声性能研究

通过对国外飞机绝热隔声层设计的现状调研,利用传递矩阵法对绝热隔声层不同分布方式的隔声性能进行仿真分析。

2.1 传递矩阵法

传递矩阵法^[7]直接应用声波传播理论,将不同传递媒介的声学传播特性分开分析,并根据实际结构的不同组合形式可快速调整参数,获得结构的声学性能。此方法适用于分析预计组合结构的隔声性能,相对于其他方法更加有效和快捷。

传递矩阵 T 反映了线性系统的输入和输出之间的关系,因此,可以建立起组合结构的基于传递矩阵的传递函数,反映组合结构两侧的声压、法向质点振速的矩阵关系。利用传递矩阵法,可以获得组合结构的隔声量计算方法如下:

如果声波从空气中经若干多孔材料、空气层、弹性简支薄板再传入空气层,点 M_1 、 M_2 分别位于两侧空气层中。如图4所示,点 M_1 、 M_2 间的总传递矩阵为

$$T_{\text{total}} = T_{a/\text{poro}} \cdot T_{\text{poro}} \cdot T_{\text{poro}/a} \cdot T_{a/\text{pla}} \cdot T_{a/\text{pla}/a}$$

式中 T_{total} 为总传递矩阵, $T_{a/\text{poro}}$ 为声波从空气到多孔材料的传递矩阵, T_{poro} 为声波在多孔材料中的传递矩阵, $T_{\text{poro}/a}$ 为声波从多孔材料到空气的传播矩阵, $T_{a/\text{pla}}$ 为声波从空气到板的传递矩阵, $T_{a/\text{pla}/a}$ 为声波从空气到板再到空气的传递矩阵,依次类推。各传递矩阵具体表达式见文献[3]。

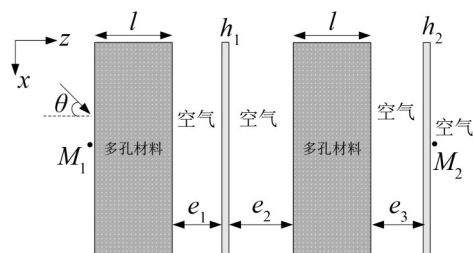


图4 复杂的组合结构传递矩阵示意图

利用传递矩阵法对绝热隔声层与组合壁板间进行优化设计,设计变量为:绝热隔声层的厚度 A 、密度(孔隙率) B 和铺设方式 C 。参照某大型客机结构设计参数,假定机身蒙皮和内饰板之间的总空间不变,为110 mm,长桁高度为28 mm,在这个空间里进行不同参数的变化设计,分析比较组合壁板的隔声性能。设计参数如表1所示,材料物理参数如表2所示。

2.2 绝热隔声层布置方式对壁板隔声性能的影响

根据图5所示, C_4 、 C_3 、 C_2 、 C_1 分布形式壁板隔声量规律为:相同绝热隔声层厚度和密度(即重量相同)条件下,壁板隔声能力由高到底,分别为TL

表 1 绝热隔声层参数设计

序号	组号	参数	蒙皮与内饰板距离
1	C 1	玻璃棉厚度=75 mm, 空气层厚度 $d=35$ mm	110 mm
2	C 2	玻璃棉厚度=75 mm 空气层厚度: $d_1=28$ mm $d_2=7$ mm	110 mm
3	C 3	玻璃棉厚度 1=60 mm, 玻璃棉厚度 2=15 mm 空气层厚度: $d_1=28$ mm $d_2=7$ mm	110 mm
4	C 4	玻璃棉厚度 1=25 mm, 玻璃棉厚度 2=35 mm 玻璃棉厚度 3=15 空气层厚度: $d_1=28$ mm $d_2=7$ mm	110 mm
5	C 探索	玻璃棉厚度 1=60 mm, 玻璃棉厚度 2=15 mm 空气层厚度: $d_1=28$ mm $d_2=7$ mm	110 mm

表 2 传递矩阵法中需用的参数设置

结构名称	材料	参数名	参数值
蒙皮	铝锂合金	杨氏模量	7×10^{10} Pa
		阻尼	0.02
		泊松比	0.34
		密度	2700 kg/m^3
		流阻	$20\times 10^4\text{ Rayls/m}$
绝热隔声层	玻璃棉	粘性特征长度	$6.34\times 10^{-5}\text{ m}$
		热特征长度	0.000 104 m
		纤维扭曲率	1.2
		孔隙率	0.95
		密度	6.4 kg/m^3
		泊松比	0.4
		流体密度	1.225 kg/m^3
		杨氏模量	$3.6\times 10^8\text{ Pa}$
内饰板	蜂窝夹层板	阻尼	0.1
		密度	200 kg/m^3
		泊松比	0.4

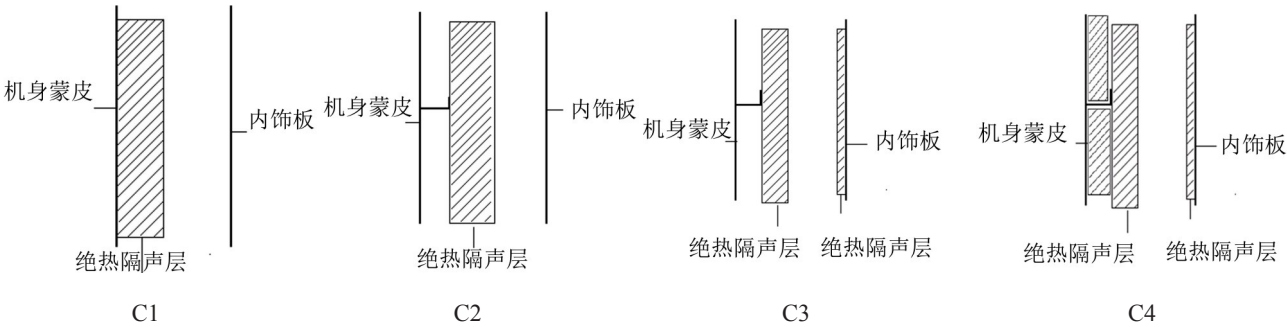


图 5 绝热隔声层分布方式图示

(C4)~TL(C3)> TL(C2)> TL(C1)。C4 构型总体隔声性能和 C3 相近,但在 600 Hz~1000 Hz 左右的隔声性能优于 C3 构型,该频段的声属于人耳比较敏感区域,因此拥有这种构型的组合壁板的飞机感觉噪声级会相对低一些。

根据传递矩阵原理,并通过上述计算结果可以发现,空气层、板和绝热隔声层之间的组合相对于绝热隔声层厚度变化更为重要,这也是由声波的物理特性决定的。多孔材料可以消耗高频声能,而空气可以消耗中低频的声能,如果从多孔材料中透射过去的声波可以重新被反射进入原本的多孔材料,对声能进行进一步消耗,则隔声性能应该有所提高。

鉴于此,设计一个新的绝热层敷设方案,即在 C3 分布形式基础上,在绝热隔声层内部增加阻燃的薄板结构,将绝热隔声层敷设在薄板上,然后安装在机身结构上,形成 C(探索)分布形式,如图 6 所示。

绝热隔声层不同分布形式隔声性能见图 7。可知 C(探索)结构与 C3 或 C4 结构隔声性能基本接近,但在 2 000 Hz~4 000 Hz 处还是有 2 dB~3 dB 的有效提高。因此将绝热隔声层敷设在薄板上,再安装在结构上,可以简化安装工序,在条件允许的情况下

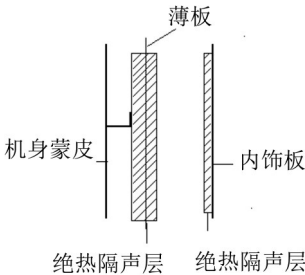


图 6 探索的优化构型示意图

是值得尝试的一种安装方式。

因此,C3、C4 具有较为优越的隔声性能、覆盖频

带宽,可以作为绝热隔声层铺设的优选分布方式。而C1和C2的分布方式比较简单,对壁板间的空间要求也比较小,适用于对舱内噪声环境没有太高要求的中小型支线飞机。

探索的新的绝热隔声层分布方式隔声效果也很理想,但因为新的隔板的应用目前飞机上还未有尝试,故在未来的设计中,在权衡重量、适航及经济性前提下是值得探索的一种民用飞机绝热隔声层的分布方式。

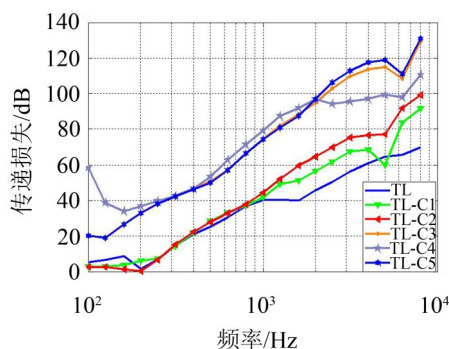


图7 绝热隔声层不同分布形式对隔声性能影响的比较

3 结语

通过上述研究,得出以下结论:

(上接第104页)

4 结语

(1) 结合传动系CAD模型以及实车安装情况,设计并试制可安装于主减速器输入端的抗扭振惯量盘;

(2) 基于扭振当量分析方法,建立了传动系扭振分析模型,通过与传动系扭振测试进行对比,验证了模型的有效性,通过与安装惯量盘后的扭振信号进行对比,验证了惯量盘在改善扭振传动系扭振问题的可行性。并通过该模型提取了惯量盘装车载荷情况,为惯量盘的优化与设计提供了边界条件;

(3) 开展相关扭振及整车测试,通过安装惯量盘前后车内噪声的变化验证了惯量盘在扭振治理中的有效性;

(4) 使用响应面优化分析方法,搭建了惯量盘优化仿真模型,以惯量盘外径、内径、轴向高度及底厚为优化对象,获取了在保证惯量情况下,最大应力更小、质量更轻的惯量盘外形尺寸(外径为84.5 mm、

(1) 同样厚度的绝热隔声层,分布方式不同,机身壁板隔声效果也不同,一般机身蒙皮/空气层/绝热隔声层/空气层/绝热隔声层/内装饰板的这种组合隔声性能比较优越;

(2) 如果绝热隔声层厚度小,而所选择的分布方式好,则壁板隔声性能可以达到甚至超过厚度大而分布方式相对不好的设计方案。

参考文献:

- [1] 张浩驰,宋文萍. 飞机机体降噪方法研究进展[J]. 噪声与振动控制, 2008, 28, (2): 69-71.
- [2] 季军,雷世豪. 旅客机座舱内的绝热隔声层[J]. 民用飞机与设计, 2004, (6): 20-22.
- [3] BOEING Design Manual BDM-6724 Acoustic Sandwich Panels[M]. Rev Org 01 Jul 1989.
- [4] BOEING 737-600 / 700 / 800 / 900 Maintenance Manual Shanghai Airlines Part II [M]. 2000.10.
- [5] AIRBUS A319/A320/A321 Aircraft Maintenance Manual Sichuan Airlines Chapter 25[M]. 1995, 8.
- [6] Method of Construction for Thermal/acoustic Insulation Blankets[P]. United States Patent, No 4442585.
- [7] 胡莹. 含多孔材料的夹层板有源声学结构研究[D]. 西安:西北工业大学, 2010.

内径为75 mm、轴向高度为65 mm)。

参考文献:

- [1] 王东亮. 汽车动力传动系扭转振动特性分析和抗扭设计研究[D]. 成都:西南交通大学, 2014: 75-81.
- [2] 郝帅赢. 轿车悬架动力吸振器设计与匹配[D]. 长春:吉林大学, 2011: 9-20.
- [3] 史文库. 现代汽车新技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2013, 07: 210-238.
- [4] 袁晨恒,邓兆祥,姜艳军,等. 轿车传动系扭转振动模型分析与计算[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2010 (07): 18-22.
- [5] 廉超. 车辆传动系扭转振动研究[D]. 重庆:重庆大学, 2011: 16-26.
- [6] 郑联珠,张友坤. 轮式车辆轮胎动态参数对传动系扭转振动影响分析[J]. 农业工程学报, 1999, (9): 49-51.
- [7] 王斌,李根生. 基于响应面法的径向水平井转向器轨道结构优化设计[J]. 石油矿场机械, 2015, 44: 38-44.