

轻薄飞行舱结构的隔声模型与分析计算*

刘新建 唐乾刚 孙世贤

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

摘要 对轻薄飞行舱结构的噪声隔离问题,提出了针对外形和构造较复杂的轻薄飞行舱结构的隔声模型和分析方法,并与模拟舱的隔声测量进行了比较,结果表明本文提出的隔声分析方法与计算模型是正确可行的,计算结果可作为评估飞行舱结构在隔声要求方面的依据。

关键词 轻薄飞行舱, 隔声模型, 隔声计算

分类号 V417.4

Sound Insulation Model and Analytic Calculation for Flying Thin Structure

Liu Xinjian Tang Qiangang Sun Shixian

(Department of Aerospace Technology, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The sound insulation analysis model is presented in terms of sound insulation theory and practical engineering for the sound insulation problem of flying thin shell with complicated configuration and special organization. It is compared with the measurement of the simulated shell by calculation. The results showed that the presented sound insulation analytic method and the model are correct and feasible. The calculation can be used to evaluate the sound insulation ability for flying structure.

Key words flying thin structure, sound insulation model, sound insulation calculation

轻薄飞行器结构设计必须满足强度、刚度、稳定性、气动外形与热防护、重量轻等要求,因而其结构外形是较为复杂的多层紧贴的轻薄型壳体结构。另外,如何分析其隔声特性,也是轻薄飞行舱结构设计中的一个重要问题。

* 1996 年 4 月 24 日收稿

1 隔声简化模型

由于某飞行器结构比较复杂, 根据其结构特点和外噪声环境条件做如下简化:

(1) 飞行舱由前端, 中间段(又分锥段, 球段)和底球部组成, 舱内噪声的大小主要由中间段舱壁决定, 噪声源是舱外表面的空气湍流附面层的压力起伏脉动造成的。附面层压力起伏脉动在底部和中间段极为强烈, 而在前端表面相对较弱, 相比之下可不考虑前端的噪声影响。底部虽然压力起伏强烈, 但除了烧蚀层厚度相对较大(与中间段比较), 还有多层蜂窝夹层, 对透过底部铝蒙皮的声波进行反射吸收; 另外, 底部是舱内重物的主要承力件, 故底部的隔声能力比中间段大得多, 而底部的面积又远小于中间段的面积, 所以舱壳内噪声的大小主要由中间段舱壁决定。

(2) 根据气动噪声产生机理的相关性和随机性, 应把舱外声场看成无规则入射的, 又因为舱的几何尺寸不是太小, 可看成近似扩散声场。舱内声场, 当声波波长远小于舱的几何尺寸时, 由于舱内壁作吸声处理, 可看成近似扩散的混响声场。

(3) 中间段舱壁虽由烧蚀层和铝蒙皮加框等组成, 但烧蚀层和铝蒙皮紧粘贴在一起, 受声载荷引起的各种结构振动, 应把它们视为整体, 采用等效当量弯曲刚度, 但面密度代数相加。

(4) 中间段舱壁壳体, 在声频范围内的振动, 存在多种形式的弹性波, 以纵波, 弯曲波等传播。传播声能的主要形式是舱壁的弯曲振动和舱壁受纵波作用引起的横向振动, 以及各块加肋小板弯曲振动耦合时的传声。

(5) 中间段锥球形壳体结构, 其隔声效应不同于平面墙板的隔声, 但与具有相同面密度的平面构件相比, 在弯曲刚度上有明显提高。而弯曲振动的基本特性并无显著变化, 只是频谱向高频方向移动, 可近似采用平板隔声公式, 各块加肋小板的弯曲振动也具有这个特点。另外, 横向振动时也与圆筒形壳体的隔声不全相同, 可近似采用圆筒形壳体隔声公式, 但要考虑不同直径带来的影响。

2 模拟飞行舱中间段舱壁壳体隔声分析模型与计算

为了分析方便, 以实作的模拟舱为例。不论板作何种形式的振动, 考虑板的弹性影响及其损耗, 其隔声作用的普遍关系式是: 当声频为 f 的声波以 θ 角入射, 则隔声量

$$R_{\theta} = 10 \lg [(1 + M_{\theta} \eta F)^2 + M_{\theta}^2 (1 - F^2)] \quad (1)$$

式中: $M_{\theta} = \frac{\omega m \cdot \cos \theta}{2 \rho_{co}}$; $\omega = 2\pi f$

m : 面密度; ρ_{co} : 空气特性阻抗; η : 板的阻尼损耗因子; F : 板的共振特性函数。

中间段舱壁是不同面密度层组成的整体舱壁, 式中的 η 应作如下等效处理:

设各层面密度和损耗因子分别为 m_i 和 η_i , 则由合阻抗与各分阻抗的关系, 可导出:

$$\eta = \frac{m_i \eta_i}{m_i} \quad (2)$$

2.1 舱壁受圆周纵波作用时的隔声: $R_i(f)$

受纵波作用, 舱壁作横向胀缩运动。当声频 f 接近横向自然频率(环频) f_0 时, 发

生共振效应, 隔声曲线出现低谷。此时

$$F = \frac{\omega_b^2}{\omega^2} \quad (3)$$

$$\omega = 2\pi f_0 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi R} \frac{E_{d1}}{\rho_{d1}} \quad (4)$$

式中: E_{d1} ——当量弹性模量; ρ_{d1} ——当量材料密度; R ——锥球段平均半径。
将模拟舱的隔框、桁条平均铺贴在蒙皮上求出烧蚀材料层和铝合金蒙皮及泡沫塑料的当量弹性模量、当量面密度, η_1 为烧蚀层阻尼因子, 由实验测得; η_2 为铝的损耗因子, η_3 为泡沫塑料损耗因子, 由 (1) 式得出 $R_1(f)$ 。

2.2 舱壁壳体弯曲振动时的隔声: $R_2(f)$

舱壁壳体作弯曲振动时, 会产生沿舱壁中性面传播的弯曲波, 导致吻合效应。以 θ 角入射时, 其相应的吻合频率:

$$\omega = \frac{C_0^2 \frac{m/B}{\sin^2 \theta}}{\quad} \quad (5)$$

式中: B 为当量弯曲刚度; c_0 为空气声速; $m = m_1$, 对应的特性函数 F 为:

$$F = \frac{\omega^2}{\omega^2} \quad (6)$$

对于模拟舱, 算出当量弯曲刚度, 正入射时的吻合频率, 由 (1) 式得 $R_2(f)$ 。

2.3 加肋小板弯曲振动耦合效应时的隔声: $R_3(f)$

为了提高弯曲刚度和承受负载能力, 结构中有加强框和桁条。从局部范围看, 舱壁被隔框和桁条划分成若干弯曲小板; 每一块小板在一定程度上有其相对独立性, 但相互间存在着联系。各块小板的弯曲振动也传播声能, 而且因各自的弯曲振动固有频率不同, 而呈现各自不同的隔声效应。所有小板弯曲振动时隔声的耦合效应, 就是影响舱壁隔声的第三种主要方式。

加肋小板弯曲振动的自然频率 f_1 难以准确地定量确定, 一般极接近周边固定的板。而周边固支板的频率也无定量公式, 一般认为略为简支板的 2 倍, 即 $f_{11} < f_1 < 2f_{11}$, f_{11} 是简支板的一阶固有频率。

$$f_{11} = \frac{\pi}{2} \left[\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right] \sqrt{\frac{E_{d2} h^3}{12(1 - \mu^2) m_{d2}}} \quad (7)$$

式中: a 、 b 分别为所选板的长、宽; h 为板的厚度; 计算时可取 $f_1 = 1.8f_{11}$ 。有限板的共振特性函数, 考虑弯曲振动时的波重叠效应

$$F = \left[\frac{\omega}{\omega} + \frac{\omega}{\omega} \right]^2 \quad (8)$$

式中: $\omega = 2\pi f_1$; $\omega = 4\omega$

耦合效应如下计算: 假设有 N 块小板, 面积为 S_j , 隔声量为 $R_{3j}(f)$, $j = 1, 2, \dots, N$, 则

$$\left. \begin{aligned} \bar{T} &= 10^{-R_{3j}/10} \\ \bar{T} &= \prod_{j=1}^N \bar{T} \quad S_j / S_j \\ R_3(f) &= 10 \lg 1 / \bar{T} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

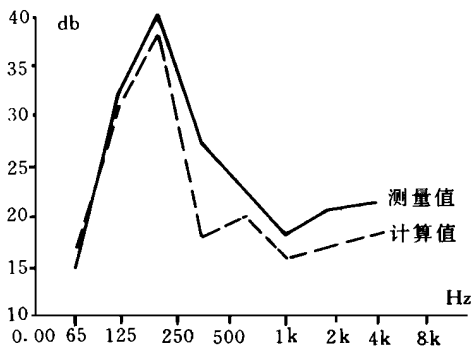
计算各块小板的固有频率，由 (7) 式得出，此时不计入隔框和桁条，把烧蚀层换算成等厚度的铝蒙皮，模拟舱共 30 块小板，由 (9) 求出 $R^3(f)$ 。

3 模拟舱隔声测量与计算结果的比较分析

比较理论计算结果和实验测量结果，见附表和附图。

附表 模拟舱隔声测量与计算比较

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R 测 (db)	15	32	40	27	22.5	18	20.5	21
R 计 (db)	19	30.5	38	16	20	16	18	19



附图 模拟舱隔声测量与计算比较

从图看出，模拟舱的隔声实验曲线与模拟舱的隔声计算曲线很接近，除个别点外，吻合得较好，表明模拟舱的隔声分析与计算模型是正确可行的。由于模拟舱的结构与真实飞行舱的结构是类似的，因而可作为评估某真实飞行舱在隔声方面的分析方法，也可作为今后类似的轻薄飞行器的隔声分析与隔声设计的参考。

参 考 文 献

- 1 穆宁 A Г. 航空声学. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1993
- 2 赵松龄. 噪声的隔离与降低. 上海: 同济大学出版社, 1991
- 3 徐世勤. 工业噪声与控制. 北京: 冶金工业出版社, 1986

(责任编辑 石少平)