

文章编号: 1000-8055(2001) 03-0291-04

随机噪声载荷作用下薄壳结构的随机振动实验研究

曹茂国, 李琳

(北京航空航天大学 405教研室, 北京 100083)

摘要: 为研究薄壁壳结构在随机噪声激励下的随机振动响应特征, 本文设计了一套针对薄壁壳在内部随机噪声作用下的振动问题进行研究的实验方案, 同时对噪声载荷和薄壳振动加速度响应进行测量, 并对实验结果进行初步的定性分析, 了解噪声载荷在频率域上的分布特征和薄壁壳在内部随机噪声作用下的振动响应特征, 获得在噪声激励的频率范围内能激起薄壳该频率范围内所有模式共振等结论, 为薄壳结构在内部噪声作用下随机振动响应的计算方法的研究提供依据。

关键词: 随机载荷; 薄壳; 噪声; 载荷谱; 响应

中图分类号: V232.6

文献标识码: A

1 引言

在航空发动机上有很多薄壁壳结构如燃烧室及加力筒体等都受到强随机噪声^[1]的激励而产生随机振动, 并导致高频疲劳问题的产生, 在航空发动机结构设计准则中也明确提出了要防止上述结构件产生高频疲劳的要求, 因此就必须首先对这类薄壳结构在随机噪声作用下的振动响应特征进行研究。在航空领域的声激励实验研究主要的研究对象是薄板结构^[2, 3], 而薄板结构和薄壳结构在噪声载荷作用下的响应特性是有很大的差异的^[4, 5]。为了研究薄壁壳结构在内部噪声作用下的随机振动响应特征, 本文设计了一套实验方案, 对一个薄壁柱壳在内部随机噪声作用下的随机振动问题进行实验研究。

实验过程是利用传声器和加速度计同时测量声载荷的时间历程和结构加速度响应的时间历程, 并对其进行谱分析, 以了解噪声载荷和结构响应在频率域上的分布特征, 通过对实验结果进行初步的定性分析, 获得薄壁壳在内部噪声作用下的随机振动响应特征, 为薄壳结构在内部噪声作用下随机振动响应计算方法的研究提供依据。

2 实验设备和测试系统

所采用的实验件为一长640毫米, 内径252.6毫米, 壁厚0.8毫米的薄壁柱壳。将实验件两端固定在工作平台上, 薄壁柱壳在内部声激励载荷作用下的振动响应的实验装置及测试系统如图1所示。整个实验装置分3部分, 包括发声系统、声压测量系统、振动响应测量系统。发声系统包括HP3566/67A随机信号发生器、GF-100B型功率放大器及电动扬声器和扩音段; 声压测量系统包括CH100传声器、CH100传声器电源、DASP数据采集及分析系统; 振动响应测量系统包括YD-5型压电式加速度计、DHF-4型电荷放大器、DASP数据采集及分析系统。

实验所用的声源是电功率为100W的电动扬声器, 它是把电能转换为机械振动能并辐射声功率的电声换能器。电动扬声器发出的随机噪声通过扩音段进入薄壳实验段。为了防止反射波对声压场的影响, 在实验件的另一端设有吸声材料。

试验时, 由HP3566/67A频谱分析仪的随机信号发生器产生连续的随机信号, 经功率放大后输给扬声器, 然后由扬声器产生一定声功率的随

机噪声输入薄壁柱壳内, 由此形成的内部声场作用于薄壁柱壳的内表面上。

尽管柱壳内部声场较复杂, 由于实验的重点是研究结构的随机振动响应, 对此有影响的仅是柱壳内表面的声压, 因此实验中仅在内表面上的一点用电容式传声器测量了声压, 目的是通过测量信号的自功率谱密度获得噪声信号在频率域上的能量分布情况。信号采用 B&K 标准声源进行标定。随机噪声信号的频率范围在0到2000 Hz 之间, 采集数据的记录时间为4秒。

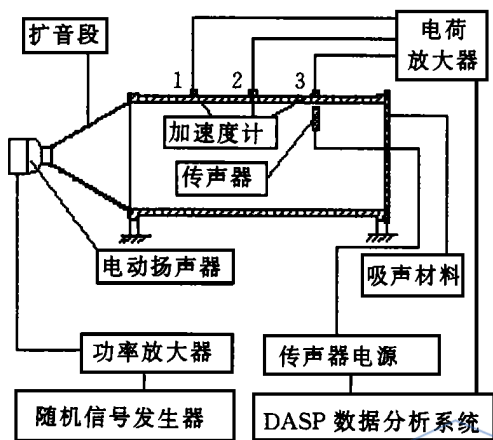


图1 实验方案示意图

为了测量结构上不同位置点的振动响应, 在本次实验中选择了3个测点位置, 如图1所示从左至右分别为测点1, 测点2和测点3, 分别位于实验件长度的155 mm, 300 mm 和480 mm 三处, 结构的振动响应信号由压电式加速度计拾取。信号采用 LDS V780振动台进行标定。加速度信号采集的频率范围在0到2000 Hz 之间, 采集数据的记录时间为4秒。声压信号和振动信号都由 DASP 数据采集及分析系统进行采集及处理。

3 实验结果及初步分析

传声器测量的声压随时间的变化历程见图2, 其功率谱密度如图6所示。

从图中可以看出, 随机噪声载荷为一宽带过程, 500~1200 Hz 为噪声载荷的高能量区。噪声载荷在频率域上的分布形式主要取决于电动扬声器的频响特性和柱壳内的声模态。作用在柱壳内表面上各点的声压形成的噪声载荷场假定具有如下的形式^[7]:

$$P(x, \theta, t) = \Phi(x, \theta)p(t) \quad (1)$$

式中: $p(t)$ 为平稳随机函数, $\Phi(x, \theta)$ 为空间坐标

的确定函数, 那么其自谱密度函数为:

$$S_p(x, \theta, \omega) = \Phi^2(x, \theta) S_p(\omega) \quad (2)$$

式中: $S_p(\omega)$ 为 $p(t)$ 的谱密度函数, 公式(2)表明在柱壳内表面上任意一点测得的信号的能量分布具有普遍意义。

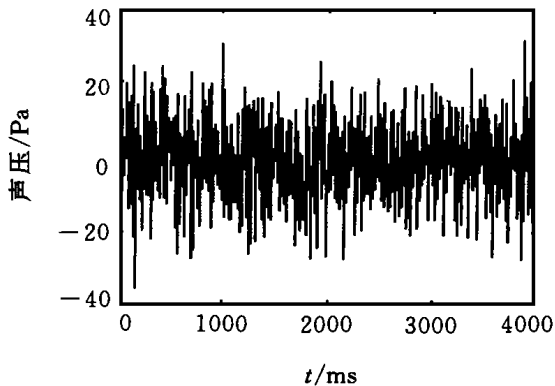


图2 噪声载荷的时间历程

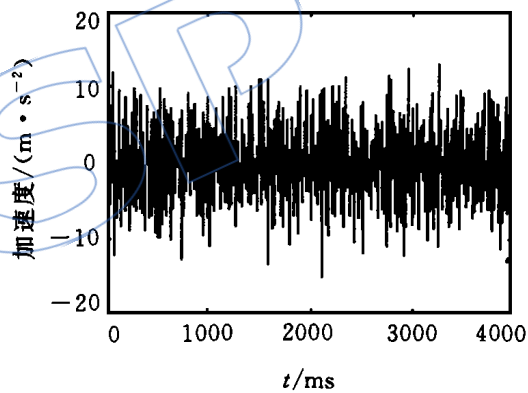


图3 测点1的加速度响应时间历程

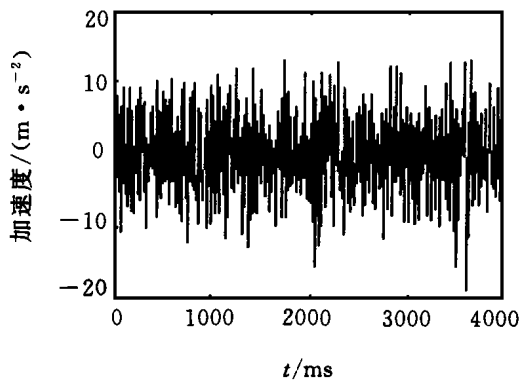


图4 测点2的加速度响应时间历程

测点1、测点2和测点3上加速度计拾取的信号的时间历程见图3~图5, 对应的功率谱密度如图7~图9。

从加速度响应信号的功率谱密度可以看出, 振动响应也是一个宽带过程, 峰值密集且遍布。为

了初步分析薄壳随机振动响应特征, 对该实验件在相同的安装条件下用锤击法进行了模态测量,

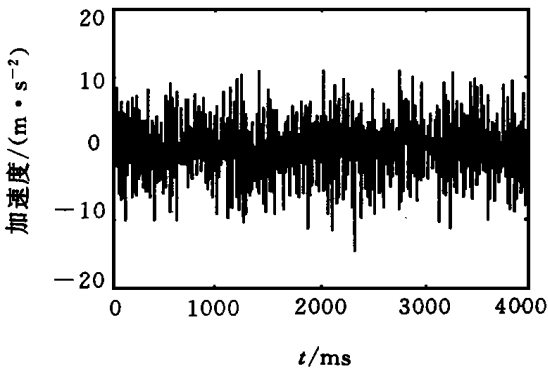


图5 测点3的加速度响应时间历程

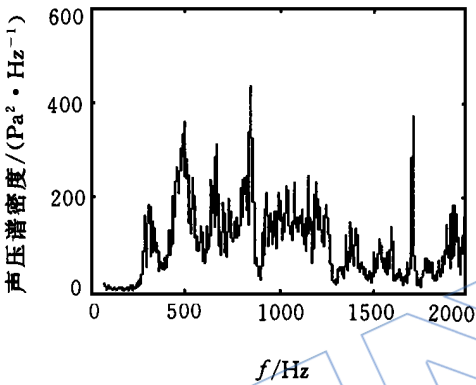


图6 噪声载荷的功率谱密度函数

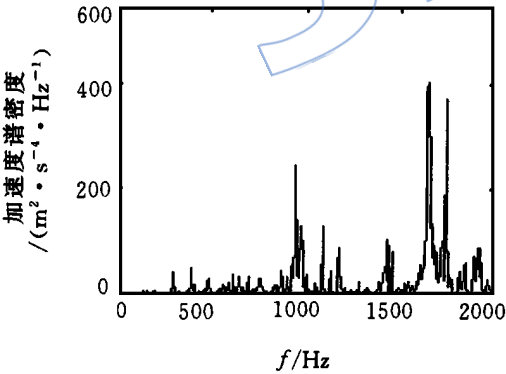


图7 测点1加速度功率谱密度函数

在2000 Hz 内测到的30阶共振频率分别为(单位 Hz): 298. 26, 319. 83, 392. 43, 519. 16, 618. 46, 644. 54, 692. 86, 764. 53, 842. 65, 900. 93, 929. 44, 947. 86, 1002, 1052. 3, 1138. 6, 1179. 4, 1226. 4, 1255. 5, 1326. 7, 1368. 5, 1413. 9, 1453. 4, 1491, 1555. 3, 1582. 9, 1635. 9, 1775. 1, 1837. 2, 1911. 0, 1985. 4.与加速度响应功率谱进行对照, 可以看出, 薄壁壳在内部随机噪声作用下的随机振动响

应信息中几乎包括模态测量测到的所有频率, 也就是说薄壁壳在内部随机噪声作用下能激起结构的任意阶模态参与振动.除了共振峰值以外, 载荷谱中的某些峰值, 特别是较大的峰值也有反应, 这说明噪声载荷作用的柱壳的振动响应不仅与其本身的固有特性有关, 还与它内部声场的特性有关.

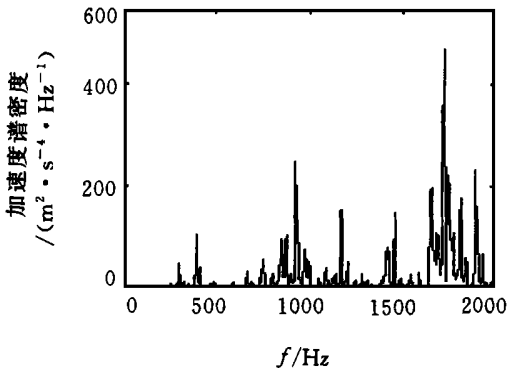


图8 测点1加速度功率谱密度函数

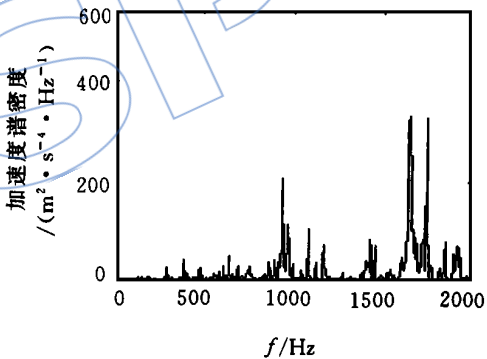


图9 测点3加速度功率谱密度函数

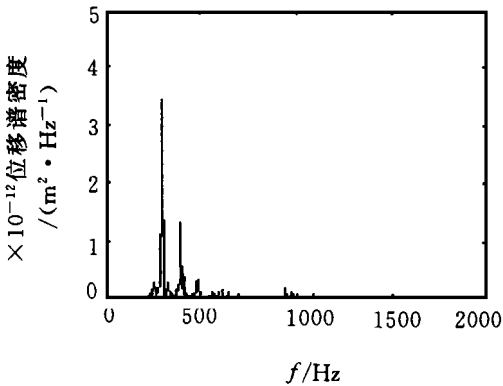


图10 测点1位移功率谱密度函数

鉴于以上特点, 在进行薄壳结构在内部噪声载荷作用下的振动响应分析时, 不能象薄板结构那样仅考虑其基础模态的贡献量^[5], 也不能象管流振动那样仅考虑部分模态的贡献量^[6], 而是应

该在所研究的频率范围内尽可能多地考虑存在的模式。

由于噪声载荷作用在壳体内表面的声压力和机械载荷相比是很小的,为了解其位移响应特征,这里将加速度功率谱密度转化为位移功率谱密度。两者之间存在如下的转换关系:

$$S_w(\omega) = \omega^4 S_a(\omega) \quad (3)$$

式中: w 为薄壳的法向位移, ω 为圆频率。

图10~图12为实验件上3个测点位置的位

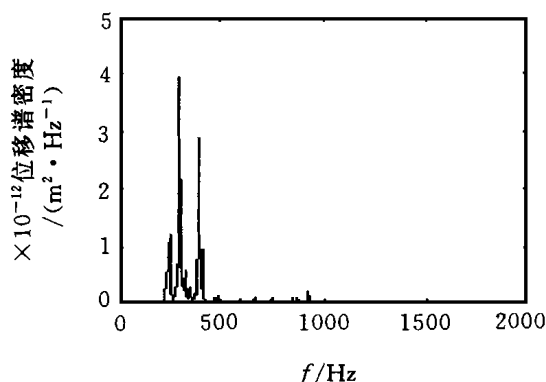


图11 测点2位移功率谱密度函数

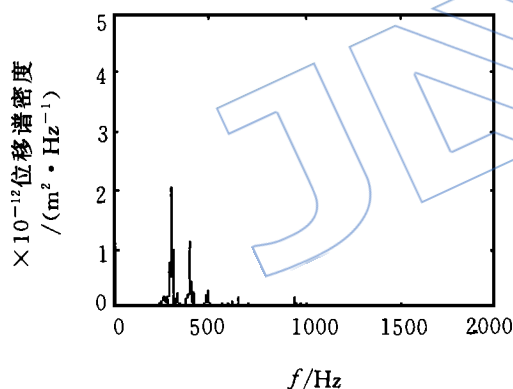


图12 测点3位移功率谱密度函数

移响应的功率谱密度。

对壳体振动的加速度响应和位移响应的功率谱密度分析,可以看出在对该类结构的振动响应测量中,在低频段范围内位移响应较为突出,这与一般结构的振动响应特性是一致的。

4 结 论

由本实验完成的工作,并进行初步分析可以获得如下的结论: (1) 在随机噪声激励的频率范围内,可以激起该频率范围的任意阶结构模态共振。研究薄壳结构在内部噪声载荷作用下的振动响应问题时,应尽可能多的考虑所研究的频率范围内存在的振动模式。(2) 加速度谱较全面的反映了薄壳在随机噪声作用下实际的振动情况。位移谱只能反映出部分较低阶模态的振动,对高阶模态的振动反映不明显。(3) 在对薄壳结构件制定现场监控时,监控信号一般应选择加速度信号,而如果振动频率低时可以考虑采用位移信号。

参考文献:

- [1] 曹传钧译. 航空声学[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1993.
- [2] 张阿舟, 张克荣, 姚起杭编著. 振动环境工程[M]. 北京: 航空工业出版社, 1986.
- [3] Rizzi S. Experimental Research Activities in Dynamic Response and Sonic Fatigue of Hypersonic Vehicle Structure at NASA Langley Research Center[R]. AIAA- 93- 0383, Jan 11 1993.
- [4] Clarkson B L. Review of Sonic Fatigue Technology[R]. NASA Contractor Report 4587.
- [5] 盛元生等译. 工程噪声与振动分析基础[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.

(责任编辑 王震华)

Experimental Investigation on Thin Shell Random Vibration Excited by Noise

CAO Mao-guo, LI Lin

(4th Dept., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: An experimental scheme was designed for investigation on the random vibration of the thin shell under excitation of the noise. A cylindrical shell with length 640 mm inner radius 253.2 mm, and thickness 0.8 mm was tested. The experimental installation consisted of three parts: noise generation system, noise pressure measurement system and vibration response measurement system. The time history of noise load and the shell responses were measured by microphones and acceleration sensors, and then the noise load spectrum and response spectrum were analyzed qualitatively. The characteristics of the noise load distribution in frequency domain and the vibration response under the inner random noise were obtained. Therefrom the conclusion was drawn that every vibration model of the thin shell could be excited in the frequency domain of the noise.

Key words: random loads; thin shell; noise; load spectrum; response