

技术简讯

行波管系统频响特性的测试与分析

董小卫 丁爱祥

(飞机强度研究所五室, 西安, 710065)

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF THE FREQUENCY RESPONSE CHARACTERISTICS OF A SONIC TRAVELLING WAVE SYSTEM

Dong Xiaowei, Ding Aixiang

(Aircraft Strength Research Institute, Xi an, 710065)

在结构的声疲劳试验中, 为了准确地模拟声场环境对试验进行总声压级控制已经不能完全反映结构承受的声载环境, 需要实现在一定频率范围内的谱形控制, 尤其在结构件响应的主要频带上, 频带声压级的大小对结构响应和声疲劳损伤起着重要的作用。

目前在结构声疲劳试验中, 由于行波管试验段声压级较高, 加之扬声器性能的各种限制, 各种干扰及系统非线性的影响, 只能在主要响应频带上近似满足要求。因此需要对行波管系统的特性进行研究, 以便对试验进行开环或闭环控制。

1 系统描述

行波管试验主要由功率放大器、EPT-200扬声器、喇叭和行波管试验段所组成。激励信号输入到功率放大器, 放大后对扬声器进行控制, 与此同时压缩空气(经压力和流量控制后)进入扬声器, 扬声器的作用是将气流能量转换成声波经过喇叭进入行波管试验段, 而控制是对行波管试验段的声压频谱进行控制, 整个系统可简单用图1表示。

试验时控制气流压力和流量固定不变, 控制功率放大器功率输出, 行波管试验段的声压信号用高声强传声器进行测量, 考虑用单个扬声器, 当气流压力和功放输出固定时, 可以近似地看作单输入单输出系统。

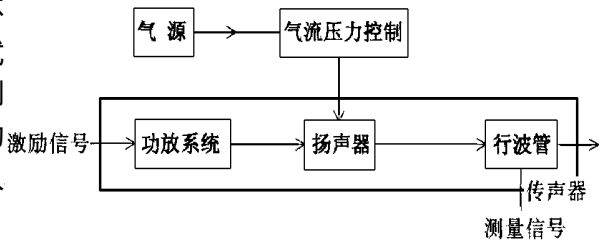


图1 系统模拟框图

2 测量方法

对于单输入单输出系统传递函数可表示成^[1,2]

$$H(S) = \frac{B(S)}{D(S)} \quad (1)$$

式中: D(S)表示激励信号的拉氏变换; B(S)表示响应信号的拉氏变换。当 $S = jX$ 时, H(X)表示系统的频率响应函数。为求系统的频率响应函数, 采用单频正弦输入信号80, 100, 125, 200, 250, 400Hz和随机白噪声信号激励(10Hz~10kHz)对系统进行激励, 然后对输入输出信号进行频谱分析求得频响曲线。

试验中使用恩德福克2510M4A 高声强传声器和 BK3550分析仪(含信号源)对声压和

激励信号进行测量和分析^[3]。典型频响曲线见图2。

3 数据处理及结果分析

由图2可知,在小于500Hz时频谱波动不大,近似为一条水平直线;500Hz~3kHz波动较大,但可用一条下降的直线表示波动的平均值;大于3kHz,又围绕一水平直线波动。假设系统为二阶系统,近似描述为

$$H(S) = \frac{K(T_2S + 1)}{T_1S + 1} \quad (2)$$

系统参数精确确定采用曲线拟合法,设系统模型频率特性

$$H^*(jX) = \frac{B(jX)}{D(jX)} \quad (3)$$

实测频率特性为

$$H(jX) = P(X) + jQ(X)$$

取实测值和模型值之间的误差

$$E = P(X_i) + jQ(X_i) - \frac{B(jX_i)}{D(jX_i)} \quad (4)$$

的平方和 J^* 为最小,可以求得 B, D 的系数,实际计算中采用加权最小二乘拟合取目标函数 J 。

$$J = \sum_{i=1}^r | [P(X_i) + jQ(X_i)] D(jX_i) - B(jX_i) |^2 \quad (5)$$

考虑到测量信号受噪声干扰,可以去除一些明显不合理点的测量值,在行波管喇叭的截止频率(50Hz)以下过低频率点,和受系统非线性干扰特别高的频率点。在6~10kHz以上范围,在高声强试验中相对试验的主频段声压级低得多,可以不考虑其对试验的影响。典型的拟合值有 $K = 5189, T_1 = 0.2 \times 10^{-3}$ 和 $T_2 = 0.333 \times 10^{-3}$ 。

为了了解系统的非线性特性^[4],测量了系统在单频激励下的响应,在80Hz, 125Hz和200Hz单频激励时,其倍频程响应为92.6%, 94.87%和94.3%,三倍频程响应为87.7%, 91.5%和91.7%。图3显示了80Hz频率激励时,1/3倍频程响应。在频率为100Hz和400Hz激励时,倍频程响应为1.035%和97.0%,三倍频程响应为1.023%和97.4%。上述表明在高声强激励下,系统的非线性特性较明显。图4显示了在100Hz激励时,1/3倍频程响应谱,在100Hz频率下,倍频程和三倍频程的响应量增加,这是因为在该频率声场激励下,引起行波管壁系统的非线性谐振,这种声场与结构的耦合使得声谱增大。

4 讨论

以上对行波管系统在高声强激励下的频响特性进行了初步测量与分析,仅在对声疲劳试验有影响的主要频段内进行,没有考虑非线性的影响,将系统传递函数拟合为一个二阶系统,可为试验谱控制进一步的研究提供依据。模型的精确程度,还受气流压力和功放的影响,能否满足声谱控制的误差要求,还需要进一步的试验证实。

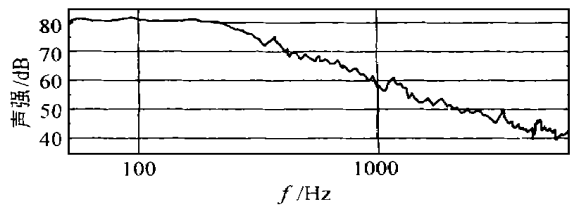


图2 行波管系统的频响特性曲线

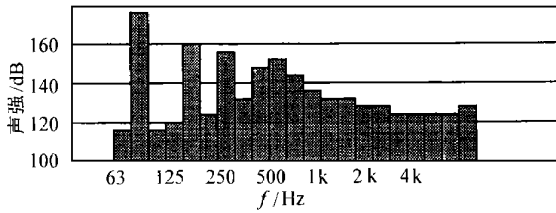


图3 80Hz 单频激励下1/3倍频程响应谱图

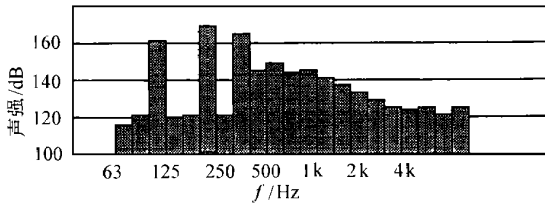


图4 100Hz 单频激励下1/3倍频程响应谱图

参 考 文 献

- 1 绪方胜彦著. 自动控制原理. 户伯英, 等译. 北京: 科学出版社, 1978. 346 ~ 350.
- 2 张成乾, 张国强. 系统辨识与参数估计. 北京: 机械工业出版社, 1986. 45 ~ 53.
- 3 董小卫. AS-EPT-200-1B 声学试验系统频响特性及传递函数求取初探. 中国航空总公司623研究所技术报告, 623S-9705-07, 1997.
- 4 丁爱祥. 行波管声场闭环控制技术研究初探. 中国航空总公司623研究所技术报告, 623S-9705-28, 1997.

《航空学报》加入《中国科技期刊(光盘版)》申明

据国家新闻出版署发文(新出音[1997]775号)批复国家教委, 批准清华大学以电子刊号(共8个刊号)方式创办《中国学术期刊(光盘版)》, 这是我国正式批准的第一个电子期刊。《航空学报》(中、英文版)为了适应世界电子版科技期刊发展的形势, 扩大本刊社会效益, 已于1996年先后加入了《中国科技期刊(光盘版)》, 成为其正式成员, 并以磁盘传送方式每期同步发送清华大学光盘国家工程研究中心学术电子出版物编辑部, 将全部文章载入了《中国科技期刊(光盘版)》。由于光盘版刚刚起步, 投资较大, 目前还没有取得规模经济效益, 经协商确定电子版暂不另发稿费。

凡在《航空学报》(中、英文版)发表的文章, 著作者不同意在《中国科技期刊(光盘版)》上发表, 必须事前向本刊提出声明, 以便处理。