

大型混响室高频特性试验研究

耿丽艳, 李新明, 张俊刚

(北京卫星环境工程研究所, 北京 100094)

摘要: 文章简要介绍了 2163 m³ 混响室的基本组成及其性能, 并针对提高 2163 m³ 混响室声场的高频性能, 利用引进的 (Ling 公司) EPT-200 声发生器和 (中国常荣公司) ENSG-20000-250 声发生器, 对混响室的高频段特性进行了试验研究。结果表明: 两种声发生器的使用都能有效提高 2163 m³ 混响室的高频性能, 其中 ENSG-20000-250 声发生器的高频性能更为突出。

关键词: 声振试验; 混响室; 高频特性; 声发生器

中图分类号: TB534^{*}.1; V416.8

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2007)05-0322-04

1 引言

航天器在其任务周期内, 将受到各种环境和载荷的作用, 其中噪声环境引起的机械振动可造成结构和设备的过应力或疲劳破坏, 还可能造成设备的误操作。因此, 航天器在发射之前必须在地面进行对应的声环境模拟试验, 而大型高声强混响室是考验航天器声学特性最常用的试验方法。2163 m³ 混响室是我国目前最大的声试验设备, 在中低频段具有较好的工作性能, 但在高频段不能产生较高的声场, 特别是在 500 Hz (1/3 倍频程中心频率) 以上, 其发声性能急剧下降, 产生的声谱不能满足航天器在高频段的高声强试验要求。为此, 利用引进的 EPT-200^[1] (Ling 公司) 和 ENSG-20000-250 (中国常荣公司) 声发生器, 分别对混响室的高频段特性进行了试验研究, 并对试验结果进行了对比与分析。

2 大型混响室简介

大型混响室主要用来考核卫星、飞船等大型航天产品承受声学环境的能力。混响室包括本体、声源、控制等多个分系统。

2.1 混响室本体

混响室本体如图 1 所示, 形状为正交六面体, 长 11 m, 宽 9.5 m, 高 20.7 m, 体积约为 2163 m³, 表面积约为 1057.7 m²。混响室主体采用双层墙面

结构, 内壁平均吸收系数小于 1.3%, 混响室外环境噪声低于 65 dB。

混响室采用电动推拉式钢筋混凝土整体大门, 宽 6 m, 高 12.5 m, 总质量约为 10⁵ kg, 具有良好的密封性和隔声效果, 一阶共振频率小于 20 Hz。

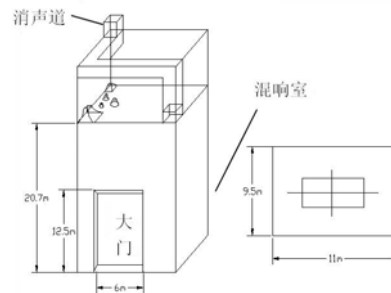


图 1 大型混响室示意图

Fig.1 The large reverberation chamber

2.2 声源系统

声源系统采用氮气作为供气源, 气流经过声发生器产生高声强噪声, 再经喇叭在混响室内反射扩散形成稳定的混响声场。2163 m³ 混响室目前配备 4 个指数形喇叭, 截止频率分别为 28 Hz、40 Hz、100 Hz、160 Hz。目前配备的两种声发生器是美国 Wyle 试验室的 WAS-3000 和天津齐美声学有限公司的 QM-10000 声发生器, 最大功率分别为 30 kW 和 10 kW。

2.3 控制系统

混响室采用自研的 ATCS-100 声试验控制系

收稿日期: 2007-06-25; 修回日期: 2007-07-06

作者简介: 耿丽艳 (1973-), 女, 主要从事航天器动力学环境模拟试验工作, 联系电话: (010) 68747419。李新明 (1979-), 男, 主要从事航天器动力学环境模拟试验工作, 联系电话: (010) 68747419。张俊刚 (1968-), 男, 硕士学位, 高级工程师, 联系电话: (010) 68747417。

统。该系统采用多通道输入输出闭环控制, 分析频率范围为 20~10 000 Hz, 分辨率为 10 Hz, 均衡回路时间为 2 s。控制系统同时还具备实时显示、数据记录及回放功能。

2.4 混响室声学特性

混响室平均混响时间约 21.25 s, 满足大于 10 s 的要求标准。试验声场空间变化不超过 1.57 dB (标准为 3 dB), 具有很好的均匀性。最低模态密度为 8 个模态 (中心频率为 31.5 Hz 的 1/3 oct 频段内), 且频率间隔分布也比较理想。2163 m³ 混响室最大总声压级为 153.8 dB, 谱成型最大声压级达 147 dB。

目前, 混响室在低频段具有较好的工作性能, 但由于没有配备高频发声器, 其在高频段不能产生较高的声场, 特别是在 500 Hz (1/3 倍频程中心频率) 以上, 其发声性能急剧下降, 产生的声谱往往不能满足航天器在高频段的高声强试验要求。

3 大型混响室高频特性试验研究

3.1 EPT-200 高频声发生器的试验研究

采用开环控制和闭环控制两种方法对 EPT-200 高频声发生器进行了调试。该发声器主要技术指标如下: 供气压力为 0.2~0.3 MPa; 10 kW 输出的气流量为 42 m³/min; 正弦信号的输入频率范围为 20~1 250 Hz (满功率); 随机信号的输入频率范围为 20~2 000 Hz (满功率); 输出频率为 20~5 000 Hz; 声功率输出为 20 × (1±10%) kW (2 个声发生器); 谐振频率为 700 Hz。

3.1.1 开环调试及结果

分别对 2 个 EPT-200 高频声发生器进行开环试验, 验证其单台性能指标; 再同时使用 2 个声发生器进行开环噪声试验, 考察其组合系统的工作性能。

开环试验使用信号发生器输出随机信号, 经功率放大器放大后驱动高频声发生器在混响室内产生声场。

(1) 1 号声发生器开环调试

a. 输入频率范围为 75~1 100 Hz 的随机信号, 信号的均方根值大小为 1 V, 持续时间为 1 min。测得 4 点平均声谱见图 2, 最大总声压级为 146.3 dB。

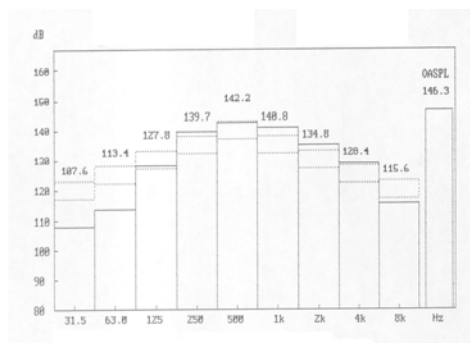


图 2 1 号 EPT-200 开环调试结果 (随机)
Fig.2 The acoustic spectrum of EPT-200 (1[#]) in the open-loop operational test (random input)

b. 输入正弦信号, 1/3 倍频程中心频率 1 000 Hz, 声压级最大达到 142.9 dB, 总声压级最大达到 144.1 dB, 所测平均声谱见图 3;

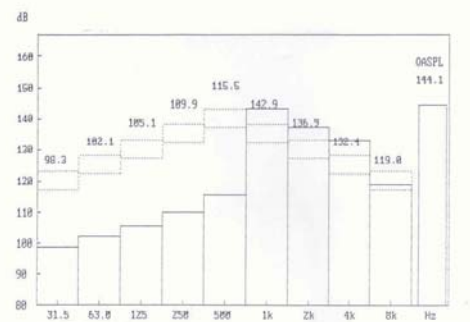


图 3 1 号 EPT-200 开环调试结果 (正弦)
Fig.3 The acoustic spectrum of EPT-200 (1[#]) in the open-loop operational test (sine input)

(2) 2 号声发生器开环调试

输入频率范围为 75~1 100 Hz 的随机信号, 信号的均方根值大小为 1 V, 持续时间为 1 min。测得 4 点平均声谱见图 4, 最大总声压级为 146.6 dB。

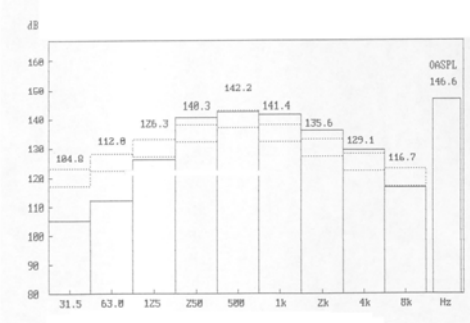


图 4 2 号 EPT-200 声发生器开环调试结果 (随机)
Fig.4 The acoustic spectrum of EPT-200 (2[#]) in the open-loop operational test (random input)

(3) 2 个声发生器同时进行开环调试

输入频率范围为 75~1 100 Hz 的随机信号, 信号的均方根值大小为 1 V, 持续时间为 2 min。测得 4 点平均声谱见图 5, 最大总声压级为 150 dB。

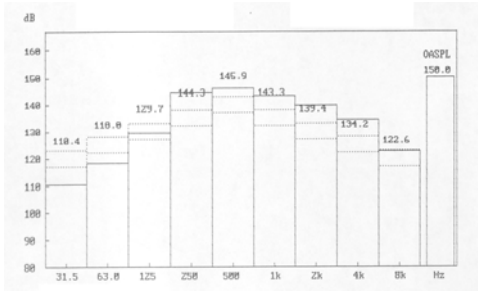


图5 2个 EPT-200 联合开环调试结果(随机)
Fig.5 The acoustic spectrum of EPT-200 (1#&2#) in the combined open-loop operational test (random input)

3.1.2 闭环调试及结果

同时使用 2 个 EPT-200 高频声发生器进行闭环噪声试验, 以考察其在 2163 m³ 混响室声场高频段的谱成型能力。闭环调试利用 4 点平均控制, 调试试验参考谱见表 1。

表 1 EPT-200 闭环调试参考谱
Table 1 Reference acoustic spectrum of EPT-200 in the combined close-loop operational test

频率 /Hz	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	OASPL
声级 /dB	126	131	135	140	142	142	136	126	120	145

测得的 4 点平均声谱见图 6, 其最大总声压级为 146.7 dB。

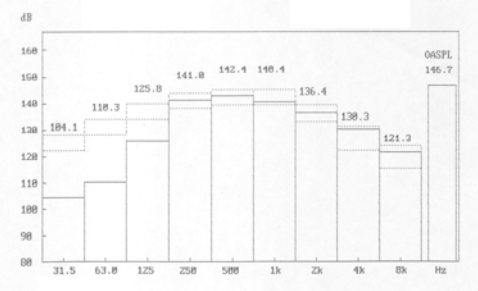


图 6 EPT-200 声发生器闭环调试结果
Fig.6 The acoustic spectrums of EPT-200 (1#&2#) in the combined close-loop operational test

3.2 ENSG-20000-250 高频声发生器的试验研究

使用与 EPT-200 相同的喇叭, 对 ENSG-20000-250 声发生器进行了随机和正弦的开环调试。该发生器主要技术指标为: 供气压力 0.3~0.4 MPa; 20 kW 输出的气流量 40 m³/min; 正弦信号的输入频率范围 20~1 500 Hz (满功率); 随机信号的输入频率范围 20~2 000 Hz (满功率); 输出频率 20~5 000 Hz; 声功率输出 20 kW; 谐振频率 250 Hz。

3.2.1 随机信号调试

a. 输入信号为白噪声, 1/3 倍频程中心频率 100~1 000 Hz, 总声压级最大达到 150.1 dB, 功率放大器最大电流 9.5 A, 所测平均声谱见图 7。

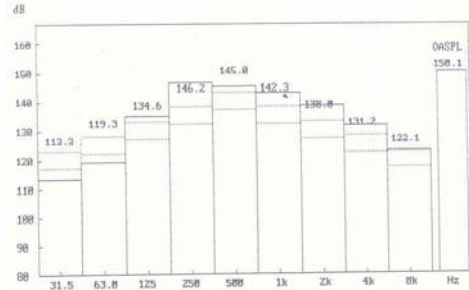


图 7 ENSG-20000-250 声发生器开环调试结果(白噪声)
Fig.7 The acoustic spectrum of ENSG-20000-250 in the open-loop operational test (white noise input)

b. 输入信号为随机信号, 1/3 倍频程中心频率 100~1 600 Hz, 功率放大器电流 9 A 时, 总声压级最大达到 147 dB; 电流 10.5 A 时, 总声压级最大达到 149.5 dB。所测平均声谱见图 8。

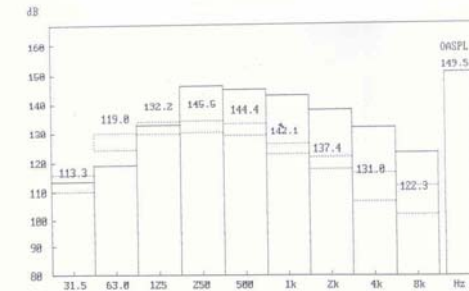


图 8 ENSG-20000-250 声发生器开环调试结果(随机)
Fig.8 The acoustic spectrum of ENSG-20000-250 in the open-loop operational test (random input)

3.2.2 正弦信号调试

输入正弦信号, 1/3 倍频程中心频率从 1 00~1 000 Hz, 最大电流 8 A。其中: 1 000 Hz 总声压级最大达到 147.5 dB; 1 000 Hz (1/3 中心频率) 声压级最大达到 146.6 dB, 所测平均声谱见图 9。

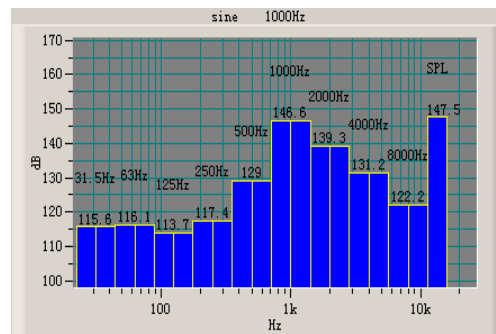


图 9 ENSG-20000-250 声发生器开环调试结果(正弦)
Fig.9 The acoustic spectrum of ENSG-20000-250 in the open-loop operational test (sine input)

4 试验结果分析研究

声功率计算公式为

$$P = (10^{\frac{L_p}{10}})(10^{-16})(A \times 10^4)\alpha,$$

其中: P 为声功率, W; A 为混响室内表面面积, 取 1057.7 m^2 ; α 为混响室吸收系数, 一般取 $0.01 \sim 0.03$; L_p 为声压级, dB (参考声压 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$)。

在 2163 m^3 混响室内声功率要达到 $10\,000 \text{ W}$, 声压级应达到 $145 \sim 150 \text{ dB}$; 声功率要达到 $20\,000 \text{ W}$, 声压级应达到 $148 \sim 153 \text{ dB}$ (α 取 $0.01 \sim 0.03$)。当 α 取 0.025 时, 在 2163 m^3 混响室内声功率要达到 $10\,000 \text{ W}$, 声压级应达到 146 dB ; 声功率要达到 $20\,000 \text{ W}$, 声压级应达到 149 dB 。

从单个 EPT-200 声发生器开环调试结果分析 (如图 2、图 4), 总声压级均超过 146 dB , 说明每个声发生器的声功率均达到 $10\,000 \text{ W}$; 在同时使用 2 个 EPT-200 声发生器的开环试验中 (见图 5), 总声压级达到 150 dB , 说明声功率达到 $20\,000 \text{ W}$ 。从记录的数据中可以看出, 其谐振频率约为 700 Hz , 试验结果证明这套 EPT-200 高频声发生器性能指标满足要求。

从两个 EPT-200 高频声发生器闭环调试结果可以看出 (见图 6), 其中心频率为 250 Hz 频段的声压级为 141.4 dB , 中心频率为 500 Hz 频段的声压级为 142.4 dB , 中心频率为 $1\,000 \text{ Hz}$ 频段的声压级为 140.4 dB , 中心频率为 $2\,000 \text{ Hz}$ 频段的声压级为 136.4 dB , 中心频率为 $4\,000 \text{ Hz}$ 频段的声压级为 130.3 dB , 且均在公差范围内。可见这 2 套声发生器的高频特性较好, 在高频段的谱成型能力很强, 能有效提高 2163 m^3 混响室的高频性能。

从 ENSG-20000-250 声发生器调试结果分析: 在随机信号调试试验中 (见图 7、图 8), 总声压级超过 149 dB , 说明其单台声功率已达到 $20\,000 \text{ W}$; 在倍频程中心频率 $250 \sim 1\,000 \text{ Hz}$ 频段内, 声压级

超过 142 dB ; 并且从试验数据看出其谐振频率为 250 Hz , 可见该声发生器声功率和频率范围性能较好。

通过以上试验研究, 对两种声发生器进行比较: EPT-200 声发生器声功率达到 $10\,000 \text{ W}$; ENSG-20000-250 声发生器声功率已达到 $20\,000 \text{ W}$ 。比较两种声发生器输入 $1\,000 \text{ Hz}$ 正弦信号的试验结果, EPT-200 声发生器总声压级最大达到 144.1 dB , $1\,000 \text{ Hz}$ ($1/3$ 中心频率) 声压级最大达到 142.9 dB (见图 3); ENSG-20000-250 声发生器总声压级最大达到 147.5 dB , $1\,000 \text{ Hz}$ ($1/3$ 中心频率) 声压级最大达到 146.6 dB (见图 9), 可见 ENSG-20000-250 声发生器的高频性能较好。EPT-200 声发生器谐振频率为 700 Hz , ENSG-20000-250 声发生器谐振频率为 250 Hz , 通过输入随机信号的试验数据的比较 (图 5 与图 7、图 8, 输出功率都为 $20\,000 \text{ W}$) 看出, ENSG-20000-250 声发生器的低频性能也较好。由此可见 ENSG-20000-250 声发生器性能更为突出, 同样能够提高 2163 m^3 混响室的高频性能。

5 结论

试验研究表明: EPT-200 高频声发生器和 ENSG-20000-250 声发生器都具有较好的高频声发生能力。引入这两种声发生器都能有效提高混响室的高频性能, 改善高频声谱形状, 大大提高谱成型能力, 保证试验声谱满足声谱在高频段的要求, 从而提高 2163 m^3 混响室声试验能力。由调试试验数据可以看出, ENSG-20000-250 声发生器性能更为突出。

参考文献 (References)

- [1] 耿丽艳. EPT-200 高频声发生器在航天器噪声环境试验中的应用[J]. 航天器环境工程, 2006, 23(2) [Geng Liyan. Application of EPT-200 high frequency noise generators in spacecraft acoustic test[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2006, 23(2)]