

未知耦合腔体积活塞发声器声压级的检测

张明铎

(陕西师范大学声学所 西安 710062)

2001年7月26日收到

摘要 本文简要介绍了活塞发声器的工作原理及其声压级的测量原理,着重分析了未知耦合腔体积活塞发声器的有效体积与声压级的测量方法。

关键词 活塞发声器, 耦合腔体积, 声压级

Measurement of the sound pressure level of pistonphone with unknown coupler volume

ZHANG Mingduo

(Applied Acoustics Institute, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062)

Abstract The working principle of pistonphone and the measurement principle of its sound pressure level are summarized. The paper emphatically analyzes the methods for measuring the nominal effective coupler volume and the sound pressure level of pistonphone with unknown coupler volume.

Key words Pistonphone, Coupler volume, Sound pressure level

1 引言

活塞发声器是音频声学测量中必不可少的标准声源之一,用于校准声学测量系统的绝对声压灵敏度。国内使用的活塞发声器(无论是国产或进口)的技术参数绝大多数为124dB/250Hz,国家相关计量检定规程^[1]也是依此制订的。但是,国内也有部分与此不同的进口活塞发声器在使用着,如NC-72型活塞发声器等的技术参数为114dB/250Hz。由于没有现成的计量检定方法可依,使得相关计量检定工作难以落实。本文就这类活塞发声器的声

压级的检测方法作一分析。

2 活塞发声器的工作原理^[2]

如图1所示,它包括一刚性壁的腔室,一端以待校电容传声器为底,另一端连到一中空小圆柱体,在该中空小圆柱体中有一活塞来回作正弦运动产生声压,腔体线度远远小于相应声波波长。根据刚性封闭管中声场理论,这时,可将腔体作为声顺处理,腔体中的声压有效值 p_e 为:

$$p_e = \gamma P_0 \frac{S \xi_0}{V \sqrt{2}} \quad (1)$$

式中 γ 为腔中气体比热比, P_0 为大气压, S 为活塞面积, ξ_0 为活塞位移振幅, V 为腔体体积 (包括传声器的前腔体积与膜片等效体积)。很显然, 只要测得这些参量, 就可确定活塞发声器耦合腔中的声压级。目前常用的活塞发声器用微型直流电机驱动, 在电机上装有一个形状按 $r = a + \sin 4\alpha$ 规律加工的凸轮, 在凸轮上对称地带动两只小活塞 (它们用保持弹簧以一定压力保持在活动腔内并使之与凸轮保持接触)。当电机转动时, 凸轮推动活塞按正弦规律作往复移动, 在腔内产生频率为四倍于电机转速的声压, 直流电机带有离心开关以保持转速恒定。

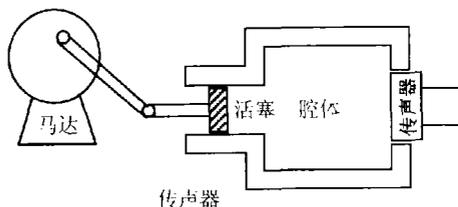


图1 活塞发声器的工作原理

3 活塞发声器声压级的测量原理 [1,3]

对于已经批量生产的定型活塞发声器, 其活塞面积 S 、位移振幅 ξ_0 及耦合腔体积 V 是确定的 (即在规定的允差范围内), 作为常规检测无需再测量这些量值, 只要将规定的标准电容传声器与活塞发声器紧密地耦合在一起, 测出标准电容传声器的开路输出电压, 经过适当的修正, 即可求得活塞发声器耦合腔中的声压。测量原理如图 2 所示, 具体测量方法如下:

(1) 将测量放大器的输入方式置于“前置放大器输入”。

(2) 根据被测信号大小, 将测量放大器的量程控制器置于适当位置。

(3) 接通活塞发声器的电源开关, 并将开关 K 拨向 A, 待稳定后记下直流 (或交流) 电压表的读数。

(4) 将开关 K 拨向 B, 使信号发生器输出与活塞发声器频率相同的信号, 调节信号大小到适当位置。然后调节分压器, 使直流 (或交流) 电压表的读数与步骤 3 相同。

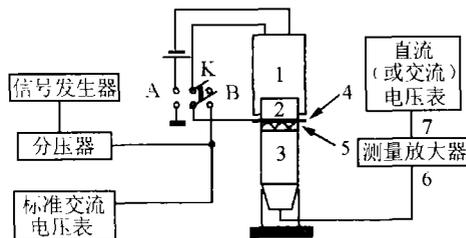


图2 活塞发声器声压级的测量原理

1- 活塞发声器 2- 标准电容传声器 3- 前置放大器
4- 电极环 5- 绝缘环 6- 前置放大器输入 7- 放大器输出

(5) 反复使开关 K 拨向 A 和 B, 检查直流 (或交流) 电压表的读数是否相同, 不同时重调分压器, 直至读数相同。然后记下标准交流电压表的读数, 并根据所用标准传声器的灵敏度将它换算成声压级 L'_p (单位: dB, 基准声压为 20dB)。

活塞发声器在标准腔体积与标准大气压状态下产生的声压级 L_p 为:

$$L_p = L'_p + \Delta K + \Delta P \quad (2)$$

式中 ΔK 为把测得的声压级 L'_p 修正到标准大气压时的修正值; ΔP 为把测得的声压级 L'_p 修正到标准耦合腔体积时的修正值。

气压对被测声压级影响的修正比较简单, 一般地, 只要知道检定活塞发声器时的环境大气压, 按下式 (3) 进行修正即可。

$$\Delta K = 20 \log \frac{P_0}{P} \quad (3)$$

式中 P_0 为标准大气压 (101.3kPa), P 为实际检定时的环境大气压。

(1) 式中的耦合腔体积 V 包含腔体的几何体积与电容传声器前腔及其膜片的等效体积两部分, 所以, 活塞发声器只有与规定型式和结构(即带或不带保护罩)的电容传声器耦合时, 才能在规定频率上产生(1)式给出的有效声压。由于检定时所用标准电容传声器的前腔体积及其膜片等效体不一定与规定电容传声器相同, 这一体积变化对被测声压级的影响按下式(4)进行体积修正。

$$\Delta P = 20 \log \frac{V + \Delta V}{V} \quad (4)$$

式中 V 为耦合腔标准体积, ΔV 为耦合腔体积变化量。

4 未知耦合腔体积活塞发声器声压级的测量

对于标准腔体积已知的活塞发声器, 按上述方法即可准确测量其声压级。但是, 对于因各种原因致使无法获知耦合腔体积的活塞发声器, 由于不能进行体积修正, 也就不能准确测量其声压级。这时, 可以采用下列方法进行测量。

(1) 用下列方法之一确定活塞发声器耦合腔的几何体积 V_1

方法一: 双传声器法。按图3所示连接相关仪器。选择两只灵敏度及等效体积均差别显著的标准电容传声器, 使其先后与待测活塞发声器紧密耦合, 由标准直流(或交流)电压表读取两个相应的电压读数 U_1 和 U_2 , 则有

$$V_1 = \frac{V_{ef1}U_2M_2 - V_{ef2}U_1M_1}{U_1M_1 - U_2M_2} \quad (5)$$

式中 M_1 和 M_2 分别为标准电容传声器1和2的开路声压灵敏度, V_{ef1} 和 V_{ef2} 分别为标准电容传声器1和2的前腔体积与膜片等效体积之和。

方法二: 体积扩张法。选择一只标准电容传声器, 并加工一个合适的体积扩张环, 仪器

连接如图3所示。先将标准电容传声器与待测活塞发声器紧密耦合, 由标准直流(或交流)电压表读取电压读数 U_a , 然后将体积扩张环置于活塞发声器与标准电容传声器之间, 使三者紧密耦合, 由标准直流(或交流)电压表读取电压读数 U_b , 则有

$$V_1 = \frac{V_r U_b}{U_a - U_b} - V_{ef} \quad (6)$$

式中 V_r 为体积扩张环产生的体积增量, V_{ef} 为标准电容传声器的前腔体积与膜片等效体积之和。这里应该注意的是 V_r 应足够大, 以保证 U_a 和 U_b 有显著差别; 但也不能过大, 尤其是扩张环的纵向尺寸不能过大, 否则会导致耦合腔中的压力场分布不均匀, 或者导致三者因不能紧密耦合而漏气, 都会影响测量结果的准确性和可靠性。

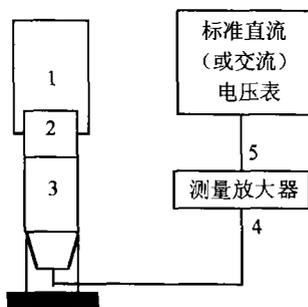


图3 活塞发声器耦合腔何体积的测量原理

- 1- 活塞发声器 2- 电容传声器 3- 前置放大器
4- 前置放大器输入 5- 放大器输出

(2) 用下列方法之一确定待测活塞发声器所配电容传声器的前腔体积与膜片等效之和 V_{efJ}

方法一: 比较法。仪器连接如图3所示, 但所用活塞发声器为耦合腔体积已知的标准活塞发声器。先后使标准电容传声器及待测电容传声器与标准活塞发声器紧密耦合, 分别由标准直流(或交流)电压表读取电压读数 U_B 和 U_J , 则有

$$V_{efJ} = \frac{U_J M_J}{U_B M_B} (V_0 + V_{efB}) - V_0 \quad (7)$$

式中 M_B 和 M_J 分别为标准电容传声器与待测电容传声器的开路声压灵敏度, V_{efB} 为标准传声器的前腔体积与膜片等效体积之和, V_0 为标准活塞发声器耦合腔的几何体积。

方法二: 三传声器压力场互易法。本方法是利用互易原理在专门制做的压力小腔中测量电容传声器的等效体积, 条件许可的话, 可以利用 4143 型互易校准仪按照严格的测量程序进行测量, 通过一定的计算程序给出 V_{efJ} 。

(3) 待测活塞发声器的耦合腔体积

完成上述测量后, 即可由下式计算出待测活塞发声器耦合腔的体积 V :

$$V = V_1 + V_{efJ} \quad (8)$$

(4) 待测活塞发声器的声压级 L_p

以 V 作为待测活塞发声器耦合腔的标准体积, 按照前述测量原理, 即可测出活塞发声器在标准耦合腔体积和标准大气压状态下产生的声压级 L_p 。

5 试验验证

下面是上述检测方法在实际计量检定工作中的应用一例, 检测对象是技术参数为 114dB/250Hz 的 NC-72 型活塞发声器。

(1) NC-72 耦合腔的几何体积 V_1 的测定

采用前述体积扩张法测量, 相关仪器设备有:

B&K4160 型标准电容传声器, 其 V_{ef} 在 250Hz 时的测量不确定度 $< \pm 0.06\%$;

B&K YO 1804 型扩张环, 其扩张体积的测量不确定度 $< \pm 0.14\%$;

HP34401A 型数字万用表, 作标准交流电压表, 其交流电压测量不确定度 $< \pm 0.09\%$;

B&K2639 型前置放大器;

B&K2209 型精密脉冲声级计。

V_1 的总测量不确定度 $< \pm 0.20\%$ 。

(2) NC-72 所配 VC-27 型电容传声器的前腔体积与膜片等效之和 V_{efJ} 的测定

采用前述三传声器压力场互依法, 用 B&K4143 型互易校准仪测量, 在 250Hz 的测量不确定度 $< \pm 0.06\%$ 。

(3) NC-72 型活塞发声器的声压级 L_p

用上述测量原理所述方法测量, 相关仪器设备有:

B&K1027 型正弦 / 无规信号发生器;

HP 34401A 型数字万用表, 作标准交流电压表, 其交流电压测量不确定度 $< \pm 0.09\%$;

B&K4160 型标准电容传声器, 在 250Hz 时, 其声压灵敏度的测量不确定度 $< \pm 0.58\%$ (即 $< \pm 0.05\text{dB}$), V_{ef} 的测量不确定度 $< \pm 0.06\%$;

YMD1 型动槽式水银气压表, 其测量不确定度引起的 B&K4160 型标准电容传声器声压灵敏度的变化 $< \pm 0.01\%$;

B&K2639 型前置放大器;

B&K2209 型精密脉冲声级计;

PZ-35 型直流数字电压表;

监视系统 (包括 4160、2639、2209 和 PZ-35) 读数一致性的测量不确定度 $< \pm 0.04\%$;

NC-72 耦合腔的几何体积 V_1 的测量不确定度 $< \pm 0.20\%$;

NC-72 所配 VC-27 型电容传声器的前腔体积与膜片等效之和 V_{efJ} 的测量不确定度 $< \pm 0.06\%$ 。

测量系统的总测量不确定度 $< \pm 0.63\%$ 。

文献 [4] 规定常规使用的 1 级和 2 级声校准器的准确度分别为 $\pm 3.51\%$ (即 $\pm 0.3\text{dB}$) 和 $\pm 5.93\%$ (即 $\pm 0.5\text{dB}$), 所以上述测量方法满足 1 级和 2 级声校准器计量检定的要求。

6 总结

本文着重分析了未知耦合腔体积活塞发声器的声压级检测方法, 本方法曾多次用于实际

(下转第 35 页)

达到了 207.9dB (基准值: $1\mu\text{Pa}$), 若无发射机功率的限制, 可望声源级能超过 210dB。

换能器与 1000W 大功率发射机匹配联调, 经过长时间的连续工作考核结果表明, 换能器性能良好、稳定可靠。可见换能器的功率容量是相当大的。

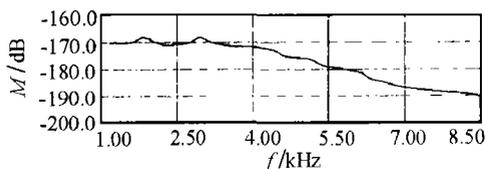


图 6 换能器的接收电压灵敏度响应曲线

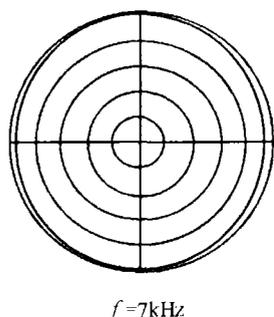


图 7 换能器的水平方向性图

如图 6 所示, 换能器在 1kHz-4kHz 频率范围内, 有着良好的接收电压灵敏度响应, 接收灵敏度大于 -172dB(基准值: $1\text{V}/\mu\text{Pa}$), 起

伏小于 $\pm 3\text{dB}$ 。

我们还分别测定了换能器在频率为 3kHz、5kHz 和 7kHz 时的水平方向特性。图 7 所示的是在 $f = 7\text{kHz}$ 时测得的水平方向特性图, 其水平方向不均匀性不大于 $\pm 0.5\text{dB}$ 。而频率为 3kHz 和 5kHz 时的水平方向特性则比 7kHz 时的水平方向特性更好。对声纳设备而言, 则是一个良好的低频宽带接收器。

4 结论

换能器电声性能参数的测量是由国防水声计量一级站负责进行的。电声性能测量结果和有关各种试验结果表明, 换能器的各项性能指标完全能满足低频、宽带、大功率和深水工作的要求。换能器在某些电声性能和工作稳定性等方面, 还优于相似工作频段下的自由溢流式换能器; 其某些电声参数、体积与重量比等技术性能还优于某些国外的同类产品。

参 考 文 献

- 1 周福洪编著. 水声换能器及基阵. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- 2 栾桂冬, 张金铎, 王仁乾编著. 压电换能器和换能器基阵. 北京: 北京大学出版社, 1990.
- 3 杜功焕, 朱哲民, 龚秀芬编著. 声学基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.

(上接第 31 页)

计量测试工作, 较好地解决了所遇到的实际问题。

致谢 我的同事吴胜举副教授、陈玲助理研究员曾给予本工作诸多有益帮助, 作者在此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 国家技术监督局. JJG176-95 中华人民共和国计量检定规程. 声校准器. 北京: 中国计量出版社, 1996 年. 1-14.
- 2 陶擎天, 赵其昌, 沙家正. 音频声学测量. 北京: 中国计量出版社, 1986 年. 44-46.
- 3 蒋渭鑫, 张明铎. 计量技术与管理, 1989, (6): 6-8.
- 4 IEC942-1988, Sound Calibrators.