

高声强下传声器灵敏度校准

章汝威 张柏玲

(中国科学院声学研究所)

1982年8月18日收到

摘 要

本文对 CH 16 和 BK 4136 等型号的电容传声器在高声强声波作用下,其灵敏度变化作了估算和校准。用 BK 4221 型高声压传声器校准器对上述型号的传声器作灵敏度校准,声压级从 140dB 至 161.6dB,这些传声器之灵敏度变化一般不超过 0.3 dB。与活塞发生器校准结果比较,两者最大差值一般在 0.4dB 之内。另外,在 168dB 至 173dB 的高声强环境中做了类似实验,结果一致。实验结果和理论分析相符,证实了用活塞发生器校准得到的传声器灵敏度值,来校准高声强(声压级在 170dB 以下)是可行的,这对高声强测试工作提供了方便。

一、引 言

在开展高声强研究工作及研制高声强声源时,如何对声场的声压级校准是个重要问题。传声器灵敏度的绝对校准通常用活塞发生器或耦合腔,活塞发生器产生的声压级是 124 dB;耦合腔校准时,腔内声压级可达 140 dB 左右。用这些方法校准的传声器灵敏度在高声强情况下是否不变?换句话说,用较低声压级校准得到的传声器灵敏度来校准高声强时的声压级是否可靠?这是目前迫切需要解决的问题。本工作对 CH 16 和 BK 4136 等型号的电容传声器在高声强作用下,其灵敏度变化作了估算和校准,实验结果和理论分析相符。

二、理 论 分 析

电容传声器的工作原理,可看成薄膜运动,即当它受外力扰动后,恢复其平衡位置的力,主要是张力。当电容传声器的膜片受到声波作用时,圆膜作强迫振动,由它的运动方程,可求得膜片的位移表示式^[1]:

$$\eta(t, r) = \frac{p_A}{k^2 T} \left[\frac{J_0(kr)}{J_0(ka)} - 1 \right] e^{j\omega t} = \eta_A e^{j\omega t} \quad (1)$$

式中 $k = \omega/c$, a 为膜片半径, T 为膜片张力, p_A 为作用声波幅值, η_A 为位移振幅。

由式(1)可见,膜片的位移振幅与径向位置有关,在实用上常需要对其取位置的平均:

$$\bar{\eta}_A = \frac{p_A J_2(ka)}{k^2 T J_0(ka)} \quad (2)$$

从式(2)可求得传声器的共振频率表达式。对于 CH 16、BK 4136 等类型传声器,可测

得其第一共振频率约为 50kHz, 膜片的材料为镍, 其密度 $\rho = 8.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 半径 $a = 2.15 \text{ mm}$, 厚度 $h = 3 \mu\text{m}$. 由膜片共振频率表达式可算出其张力 $T = 2.08 \times 10^3 \text{ N/m}$. 由张力 T 和膜片的面密度 $\sigma = \rho \cdot h$, 算出声速 c , 因而可估算出在强迫力频率低于 10 kHz 时, $ka < 0.5$, 利用贝塞尔函数的性质, 可得到平均位移的近似式 (3):

$$\bar{\eta}_A \approx \frac{p_A a^2}{8T} \quad (3)$$

现假定有一个声压级为 174 dB 的声波作用在膜片上, 则根据式 (3) 可计算出膜片的平均位移为 $\bar{\eta}_A \approx 2.78 \times 10^{-6} \text{ m}$.

在声波作用下, 电容传声器的头电容发生变化, 其变化 ΔC 为:

$$\Delta C = C_0 - \frac{\epsilon_0 \pi a^2}{d+x} = \frac{\epsilon_0 \pi a^2}{d} \left(1 - \frac{1}{1+x/d} \right)$$

即

$$\Delta C/C_0 = x/d - (x/d)^2 + \dots \quad (4)$$

式中 C_0 为传声器静态头电容, x 为声波作用后膜片的位移, d 为无外力作用时头电容极板间的距离. 由式 (4) 可知, 当 $x \ll d$ 时, 可忽略高次项, 头电容变化和外力成线性关系. 对于 CH 16 和 BK 4136 等型号传声器, 头电容极板间的距离大于 20 微米. 前面已计算过, 在声压级为 174 dB 的声波作用下, 其平均位移小于 4 微米. 也就是说, 电容极板间的距离比膜片的平均位移大 5 倍以上, 由此产生的非线性畸变小于 4%. 若作用声压为 168 dB, 膜片的平均位移小于 2 微米, 极板间的距离比膜片的平均位移大 10 倍以上, 由此产生的非线性畸变小于 1%.

由以上分析可知, CH 16 和 BK 4136 等型号传声器工作在 174 dB 的高声强下, 还是属于线性工作范围. 由此推论, 在较低声压级下校准得到的传声器灵敏度值, 来校准高声强是可行的.

三、实验结果

我们用 BK 4221 高声压传声器校准器^[2]对 BK 4135、BK 4136 等传声器进行校准, 校准装置如图 1 所示. 校准频率取 95Hz 和 250Hz. 95Hz 是 BK 4221 的零点校准频率, 此时校准器给出的声压级值不用修正. 250Hz 是为了和活塞发生器校准的结果相比较, 但 BK 4221

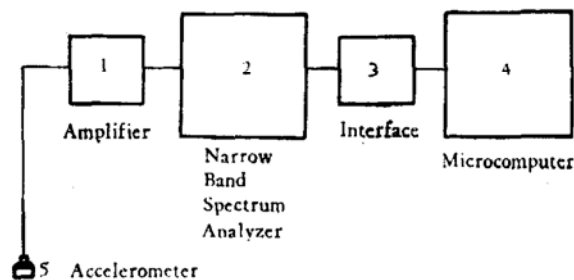


图 1 实验装置

Experimental equipment

表 1 不同声压级时测得的传声器灵敏度 (dB)*
Microphone sensitivity under variant sound pressure level

传 声 器 型 号 Type of microphone		BK 4135 (101199)		BK 4136 (81185)	
校 准 频 率 (Hz) Calibration frequency		95	250	95	250
校准腔内声压级 (dB) SPL in the Cavity of Calibrator	140.00	-52.20	-52.12	-56.85	-57.02
	143.50	-52.27	-52.19	-56.95	-57.12
	146.02	-52.31	-52.25	-57.00	-57.13
	149.54	-52.24	-52.18	-57.06	-57.19
	152.04	-52.27	-52.21	-57.00	-57.10
	153.98	-52.29	-52.24	-57.01	-57.12
	155.56	-52.29	-52.25	-57.01	-57.11
	156.90	-52.32	-52.28	-57.02	-57.12
	158.06	-52.31	-52.27	-57.02	-57.12
	159.08	-52.31	-52.27	-57.02	-57.13
	160.00	-52.29	-52.27	-57.03	-57.14
	161.58	-52.31	-52.29	-57.04	-57.17

* 表中所列的灵敏度值是同一声压级时校准十次的平均值, 250Hz 时的灵敏度是把 BK4221 的修正值加进去后得到的。

表 2 10 次实测的 $\delta_{\max}$ (dB)*
measured $\delta_{\max}$

传 声 器 型 号 Type of microphone		BK 4135(101199)		BK 4136 (81185)	
校 准 频 率 (Hz) Calibration frequency		95	250	95	250
1		0.24	0.24	0.15	0.38
2		0.10	0.16	0.19	0.24
3		0.17	0.24	0.23	0.19
4		0.13	0.16	0.19	0.12
5		0.24	0.12	0.12	0.12
6		0.12	0.25	0.23	0.10
7		0.10	0.15	0.24	0.12
8		0.09	0.11	0.31	0.22
9		0.16	0.18	0.26	0.13
10		0.09	0.20	0.22	0.23

* 表中 $\delta_{\max}$ 是声压级从 140 dB 到 161.6 dB 间所测传声器灵敏度(共测 12 点)的最大差值。

在此频率给出的声压级值需加一个修正值。声压级从 140 dB 到 161.6 dB, 共取 12 个测试点。实验结果见表 1 和表 2。

我们在用 BK 4221 校准传声器时, 在校准前、后都用活塞发生器同时校准。活塞发生器校准的结果是: BK 4135 (101199) 的灵敏度为 -52.6dB; BK 4136(81185) 的灵敏度为 -57.3dB。

由表 2 可看到, 上述类型传声器的灵敏度, 在声压级为 140 dB 到 161.6 dB 的声波作用下,

其最大差值一般不超过 0.3dB。由表 1 和活塞发生器的校准可看到,两种方法校准的传声器灵敏度最大相差一般在 0.4dB 以内。BK 4221 的校准精确度为 $\pm 0.3\text{dB}$, 活塞发生器的校准精确度为 $\pm 0.2\text{dB}$, 上述差值在校准精确度之内,所以实验结果说明,这些类型传声器的灵敏度在 162dB 的高声强下,可视为不变。

此外,我们在高声强现场做了如下实验:

1. 把传声器 CH 16 放在 171—173dB 的高声强下连续工作 5 至 7 分钟,间歇 2 至 3 分钟,再连续工作 5 至 7 分钟,这样反复几次后,用 BK 4221 和活塞发生器校准其灵敏度,见表 3。

表 3 传声器在高声强声波反复作用(每次作用时间为 5—7 分钟)后的灵敏度
Microphone sensitivity after repeated high intensity sound treatments (5—7 minute each time)

实验编号 Exp. No.	1	2	3	4	5	6
$\delta_{\max}^a)$	0.09	0.17	0.17	0.25	0.43	0.21
$\bar{M}(\text{dB})^b)$	-60.86	-60.80	-60.72	-60.76	-60.76	-60.60
$M'(\text{dB})^c)$	-60.70	-60.70	-60.60	-60.60	-60.50	-60.50

^{a)} $\delta_{\max}$ 与表 2 中的 $\delta_{\max}$ 意义相同; ^{b)} $\bar{M}$ 为声压级 140dB 到 161.6dB 间 12 个测试点的灵敏度平均值; ^{c)} M' 为活塞发生器校准的灵敏度值。

2. 把传声器 CH 16 放在 168—173dB 的高声强下连续工作 9 至 15 分钟,间歇 2 至 3 分钟,再连续工作 9 至 15 分钟,用 BK 4221 和活塞发生器校准其灵敏度,结果见表 4。

表 4 传声器 CH16 在高声强声波反复作用(每次作用时间为 9—15 分钟)后的灵敏度
Microphone sensitivity after repeated high intensity sound treatment (9—15minute each time)

实 验 编 号 Exp. No.	1	2	3	4
$\delta_{\max}(\text{dB})$	0.15	0.08	0.22	0.34
$\bar{M}(\text{dB})$	-60.77	-60.40	-60.20	-60.34
$M'(\text{dB})$	-60.60	-60.40	-60.00	-60.00

$\delta_{\max}$, $\bar{M}$, M' 意义与表 3 同。

3. 传声器 CH 16 在高声强 170dB 左右工作后,恢复 18 小时以上,校准其灵敏度,见表 5。

表 5 高声强作用停止后一段时间所测得的传声器灵敏度
Microphone sensitivity measured some time after high intensity sound experiment

恢复时间 Restore time hr.	*	18	18	108	24	96
$\delta_{\max}(\text{dB})$	0.11	0.26	0.17	0.15	0.10	0.12
$\bar{M}(\text{dB})$	-60.81	-60.53	-60.63	-60.73	-60.81	-60.55
$M'(\text{dB})$	-60.70	-60.40	-60.40	-60.50	-60.60	-60.30

* 在高声强实验开始前校准的。

现场实验的结果与前述实验结果一致。

此外,从现场实验结果看,传声器在高声强声波作用下,时间较长后,灵敏度稍有变化,一般不超过 0.5dB,这可能是高声强的声疲劳效应所致。只要其变化不超过一定范围,即传声器

未损坏,经过适当时间,灵敏度就会逐渐恢复。此时两种校准方法的结果是一致的,所以不论用 BK 4221 校准还是用活塞发生器校准,都能观察其变化。至于要使传声器灵敏度在高声强长时间作用下保持不变,这是研制抗声疲劳传声器的课题,和采用那种校准方法关系不大。建议在测定高声强声场的声压级时,在测试前、后都用活塞发生器校准一下传声器的灵敏度,这样既能观察强声波对传声器的影响,又能较准确地校准声场的声压级。

四、结 束 语

实验结果与理论分析相符,证实了 CH 16、BK 4136 等型号传声器在 170dB 的高声强下,还属于线性工作范畴,用活塞发生器校准得到的传声器灵敏度值,来校准高声强是可行的。这对高声强测试工作提供了方便。

本工作仅对 CH 16、BK 4136 等型号传声器作了理论分析和实验验证,对别的类型传声器,本文的结论是否适用,尚需看传声器的具体结构而定。

本工作是在马大猷教授指导下进行的。现场实验得到沈曦、陈定楚、茅宏迪、魏文、祝光明等同志的协助,和陶中达、宋燕君等同志作了有益的讨论,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] P. M. 莫尔斯,“振动与声”,南京大学“振动与声”翻译组译,(科学出版社,1974)。
- [2] Frederiksen, E., “Low Frequency Calibration of Acoustical Measurement Systems”, *B&K Tech. Rev.*, No. 4 (1981), 10—12.

MICROPHONE SENSITIVITY CALIBRATION UNDER HIGH INTENSITY SOUND

ZHANG RU-WEI ZHANG BAI-LING

(*Institute of Acoustics, Academia Sinica*)

Received August 18, 1982

ABSTRACT

In this paper, the change of sensitivity of the condenser microphones CH 16 and BK 4136 etc. are estimated and calibrated under the high intensity sound. Sensitivity of microphone as described above was calibrated by high pressure microphone calibrator Type 4221, the range of sound pressure level was from 140 dB to 161. 6dB. In general, the maximum change of sensitivity for these microphone was less than 0.3dB. As compared with the result of pistonphone calibration, the maximum difference was less than 0.4 dB, it was within the limits of experimental error. In addition, the similar experiments were carried out under the high intensity sound from 168 dB to 173 dB and the same result was obtained. The experiment results were in agreement with the results of the theoretical analysis. The method has proved that microphone sensitivity calibrated by pistonphone can be used for the microphones intended for high intensity sound (below 170dB).