

护耳器声衰减的主观测量

章句才 沈扬 陈迪

(中国计量科学研究院)

沈荣海 孙孝义

(解放军八八一〇一部队)

1982年1月5日收到

采用真耳听阈比较的主观法,以自由场及非自由场两种实验环境,给出三种护耳器的声衰减效果.在125—10,000Hz间的十一个测听纯音频率的自由场测量环境中,平均声衰减量美国E·A·R型为29.2dB;国产TJ型为28.1dB;国产橡胶耳塞为15.6dB.在非自由场中,E·A·R为19.2dB;TJ为19.7dB;橡胶耳塞为9.6dB.讨论了各类护耳器的性能.

一、引言

耳塞式护耳器在噪声个人防护中使用方便、价格低廉而易于推广使用.但为了了解使用效果,必须确定它的声衰减特性(也有称为隔声特性的).本文报道采用真耳听阈比较法,并以自由场及非自由场两种实验环境,给出目前有代表性的三种护耳器的声衰减效果.在125—10000赫的11个测听纯音频率上,在自由场测量环境中.平均声衰减量: E·A·R(美国)为29.2dB、TJ(国产)为28.1dB、橡胶耳塞为15.6dB;在非自由场测量环境中,E·A·R为19.2dB、TJ为19.7dB、橡胶耳塞为9.6dB.因此三种护耳器声衰减量的对比为E·A·R与TJ较好,且极为接近.橡胶耳塞的声衰减量较低.

二、实验原则与方法

护耳器的声衰减,可定义为在外耳道堵塞护耳器前后、鼓膜附近声压级之差.可以有多种方法评定这一特性,但近年来普遍采用听阈法.以堵塞护耳器以后的听阈,与堵塞护耳器前的听阈之差,作为护耳器的声衰减量,即:

$$\text{护耳器声衰减 (dB)} = \text{堵塞护耳器后的听阈 (dB)} - \text{堵塞护耳器前的听阈 (dB)}$$

应用声学

因此,可以用一般的测听程序取得上述数值.实验环境可以在自由场中进行^[1],让受试者在消声室中面对自由行波,确定使用护耳器前后的听阈.但是实际使用护耳器的环境,噪声暴露者极少有面对自由行波的自由场情形,大多是带有相当混响量的声场,即声波来自人们的前方、后方、头顶等多个方向.如在高噪声的战地坑道中就更为接近混响声场.因此,为了考查护耳器的实际使用效果.在非自由场中测定它的声衰减量是有必要的^[2].

受试者事先经过挑选.要求身体健康.听力正常、反应灵敏,年龄为18—22岁.他们是经常接受听力试验的对象.由于熟悉测试程序,故配合良好.临实验前,清除他们的外耳道耵聍,并用酒精棉球洗净.

测试频率采用125、250、500、1000、1500、2000、3000、4000、6000、8000、10000赫共11

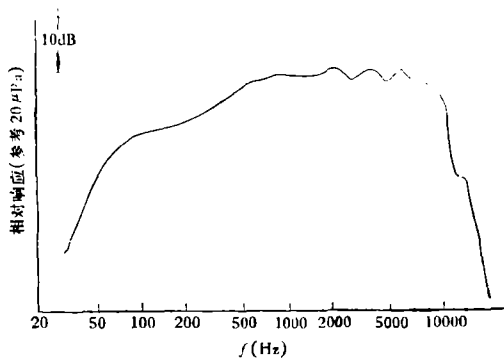


图 1

个纯音。

用经过频率、衰减器、零级等指标校准过的听力计控制声场中的声源，后者为在目前是较好的扬声器组合箱 YZ × 20-4，频响特性如 [图 1] 所示：

自由场实验环境的消声室本底噪声为 12 dB(A)。非自由场环境的实验室为 $3.8 \times 6.1 \times 5.4\text{m}^3$ 。室内环境噪声和混响时间情况见 [表 1 和表 2]。

测试者坐在可固定头部的测试椅上，头部

表 1 非自由场实验室的环境噪声

中心频率 (Hz)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
倍频程噪声级 (dB)	30	23	15	17	16	16	14	13	10	11	15

表 2 非自由场实验室混响时间

频率 (Hz)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
混响时间 (s)	1.6	1.5	1.5	1.2	1.3	1.2	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6

前额离声源辐射面为 1.5m。在非自由场实验环境中，测量采用使受试者正对、侧向、背向声源的三种方向。受试者的反应方式采用伸手指法^[3]。

作者注意到有人统计到女性的护听器使用效果优于男性^[4]。为了考查这一差别的数量级，故本实验除选用 10 名男受试者外，也以同样条件组织 10 名女受试者参加测量。

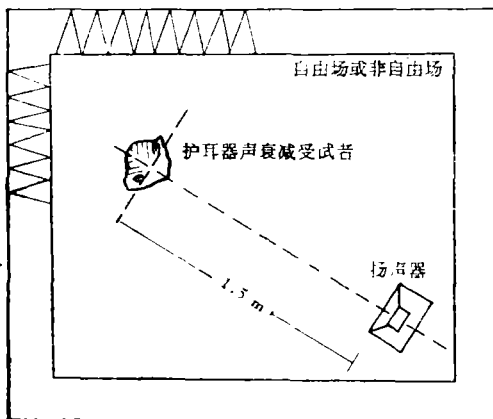


图 2 护听器声衰减测试条件示意图

三、实验数值

对于各种实验条件，每个受试者在每个测试频率都取三组数据，非自由场的三个方向也以同样的方式进行平均。实验取得三种护耳器的声衰减量及标准偏差 σ 给于表 3—表 6。

表 3 自由场环境的护听器声衰减 (dB) (参考 $20\mu\text{Pa}$)

频率 (Hz)	E·A·R		TJ		橡胶耳塞	
	衰减量	σ	衰减量	σ	衰减量	σ
125	13.0	2.5	14.0	3.0	4.5	3.5
250	15.5	2.7	16.5	3.9	5.5	4.2
500	19.0	3.0	19.0	4.7	7.0	3.3
1000	24.0	3.7	20.5	4.2	8.5	3.9
1500	29.0	3.0	27.5	4.0	16.5	2.3
2000	33.0	5.1	32.0	3.3	18.0	4.6
3000	37.5	4.0	37.0	5.6	26.5	5.0
4000	38.0	4.9	36.0	4.4	24.0	5.8
6000	40.5	4.2	35.0	5.5	20.0	5.0
8000	35.0	4.5	35.5	6.1	17.0	5.6
10000	36.5	5.5	36.0	5.4	24.5	4.7
平均	29.2	3.9	28.1	4.6	15.6	4.4

表 4 非自由场环境的护听器声衰减 (dB) (参考 $20\mu\text{Pa}$)

频率 (Hz)	E·A·R		TJ		橡胶耳塞	
	衰减量	σ	衰减量	σ	衰减量	σ
125	8.5	3.9	7.0	3.9	2.0	2.4
250	7.0	2.4	5.5	2.7	2.5	1.3
500	7.5	3.0	6.5	4.1	3.5	1.6
1000	12.0	3.3	11.0	3.4	5.5	2.6
1500	17.5	3.6	16.5	5.6	7.0	3.6
2000	23.0	4.3	21.5	4.4	10.0	3.7
3000	26.0	5.4	25.0	5.2	15.0	3.5
4000	29.0	5.3	27.5	6.3	14.5	3.8
6000	32.0	6.3	31.0	5.5	15.5	3.5
8000	31.0	4.8	32.0	4.9	13.0	4.8
10000	23.0	5.6	32.0	6.6	17.0	5.4
平均	19.7	4.4	19.6	4.8	9.6	3.3

表5 两种实验环境的护听器声衰减对比 (dB) (参考 20 μ P_a)

频率 (Hz)	E·A·R			T J			橡胶耳塞		
	自由场	非自由场	差值	自由场	非自由场	差值	自由场	非自由场	差值
125	13.0	8.5	4.5	14.0	7.0	7.0	4.5	2.0	2.5
250	15.5	7.0	8.5	16.5	5.5	11.0	5.5	2.5	3.0
500	19.0	7.5	11.5	19.0	6.5	12.5	7.0	3.5	3.5
1000	24.0	12.0	12.0	20.5	11.0	9.5	8.5	5.5	3.0
1500	29.0	17.5	11.5	27.5	16.5	11.0	16.5	7.0	9.5
2000	33.0	23.0	10.0	32.0	21.5	10.5	18.0	10.0	8.0
3000	37.5	26.0	11.5	37.0	25.0	12.0	26.5	15.0	11.5
4000	38.0	29.0	9.0	36.0	27.5	8.5	24.0	14.5	9.5
6000	40.5	32.0	8.5	35.0	31.0	4.0	20.0	15.5	4.5
8000	35.0	31.0	4.0	35.5	32.0	3.5	17.0	13.0	4.0
10000	36.5	23.0	13.5	36.0	32.0	4.0	24.5	17.0	7.5
平均	29.2	19.7	9.5	28.1	19.6	8.5	15.6	9.6	6.0

表6 男女两组受试者所取得的护听器声衰减量 (dB) (非自由场)

频率 (Hz)	E·A·R			T J			橡胶耳塞		
	女	男	女-男	女	男	女-男	女	男	女-男
125	9.0	8.5	0.5	7.5	7.0	0.5	2.5	2.0	0.5
250	8.5	7.0	1.5	7.0	5.5	1.5	4.0	2.5	1.5
500	10.0	7.5	2.5	9.5	6.5	3.0	3.5	3.5	0
1000	13.0	12.0	1.0	11.0	11.0	0	6.5	5.5	1.0
1500	15.5	17.5	-2.0	15.5	16.5	-1.0	9.0	7.0	2.0
2000	21.0	23.0	-2.0	20.5	21.5	-1.0	11.0	10.0	1.0
3000	26.0	26.0	0	25.0	25.0	0	15.5	15.0	0.5
4000	29.0	29.0	0	27.5	27.5	0	16.5	14.5	2.0
6000	32.5	32.0	0.5	29.5	31.0	-1.5	15.5	15.5	0
8000	33.0	31.0	2.0	31.0	32.0	-1.0	15.0	13.0	2.0
10000	29.5	23.0	6.5	28.5	32.0	-3.5	16.5	17.0	-0.5
平均	20.6	19.7	0.9	19.3	19.6	-0.3	10.5	9.6	0.9

四、结 论

根据以上实验数据,可得出以下结果:

1. 在自由场环境中测得的护听器声衰减量、11个频率上的平均值。以E·A·R较高(29.2dB),TJ次之(28.1dB),橡胶耳塞相对为低(15.6dB)。

2. 在非自由场环境中测得的护听器声衰减量,11个频率上的平均值,E·A·R与TJ相当(分别为19.7dB及19.6dB)。橡胶耳塞仍相对为低(9.6dB)。

3. 所有三种护听器在自由场条件下测得的应用声学

声衰减量均比在非自由场条件下测得的大。E·A·R护听器大10.5dB,TJ护听器大8.5dB,橡胶耳塞大6.0dB。

4. 性别不同的受试者使用护听器时的声衰减量,E·A·R与橡胶耳塞的数值女性略大于男性,而TJ耳塞的数值 α 相反,这与耳道尺寸的适配性有一定联系。但此处所得的三种护耳器的使用者性别差异都不显著。统计性差异 $p > 0.05$ 。

五、讨 论

1. 本文提出的两种泡沫塑料护听器(美国

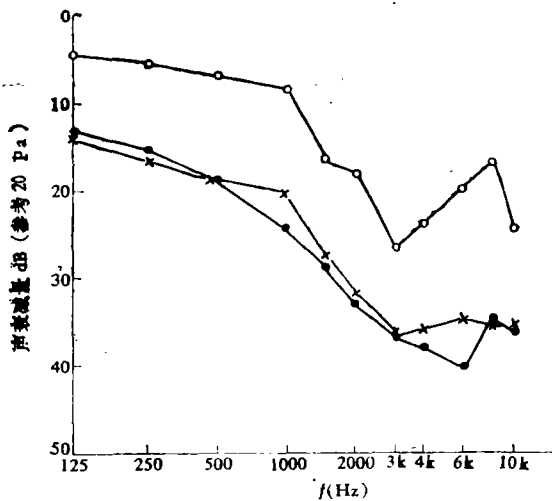


图3 自由场环境的护听器衰减量曲线(表3)

○—○ 橡胶耳塞; ×—× TJ 护听器;
●—● E·A·R·护听器

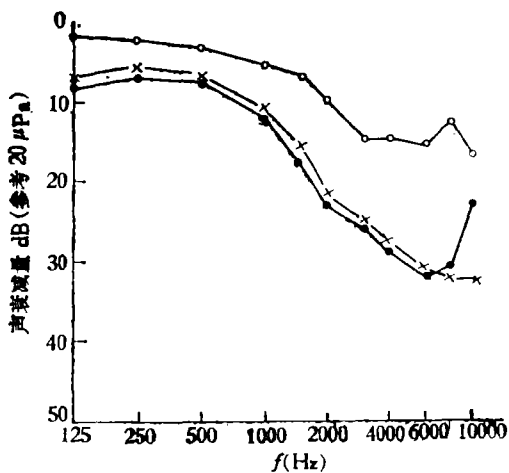


图4 非自由场环境的护听器衰减量曲线(表4)

○—○ 橡胶耳塞; ×—× TJ 护听器;
●—● E·A·R·护听器

的 E·A·R、国产的 TJ) 的声衰减量,自由场测定值比非自由场测定值高约 10dB,从受试者对噪声反应的使用效果看,非自由场测定值更能反映实际效果。而自由场测定值从实际使用效果看,作者认为评价过高。尽管如此,特别由于它们的高频衰减量更大(见表 3、4),故对一般的工业噪声环境是可以推广使用的。如 110dB 左右的纺织工业噪声,使用这类护听器后可以达到噪声安全水平。但对于高噪声环境,声衰减量尚感不够。

2. 本文提出的橡胶耳塞声衰减量较小,作者认为主要原因是结构尺寸与外耳道不匹配,其次是材料表面涩,使得不易推入耳道。因此,若能解决这两方面的问题,橡胶耳塞的声衰减量是有可能提高的。

3. 护耳器的声衰减是它的根本指标。除此以外,本文在实验过程中也考查了舒适性得分统计;橡胶耳塞为 9 名(占 45%),E·A·R 护听器为 5 名(占 25%),TJ 护听器为 4 名(占 20%)。这说明橡胶耳塞有较好的舒适性,而一般反映两种泡沫塑料耳塞有“过分的堵塞感”。作者认为可能是由于它膨胀后扩张了耳道壁所造成。

4. 本实验中虽已十分注意护听器与耳道的清洁,但泡沫塑料耳塞使用三次左右就显得污脏。在工业噪声现场,很难有更干净的使用条件。这一因素会对使用护听器的主观意愿有影响。

此外,在较低的环境温度(如 15℃ 以下),泡沫塑料的回弹力变差,这也有待做专门的实验工作。

5. 本文提出的自由场与非自由场环境的 E·A·R 护听器声衰减量均低于该商品的介绍指标^[5-8](见图 5)。此结论与其他有关作者相

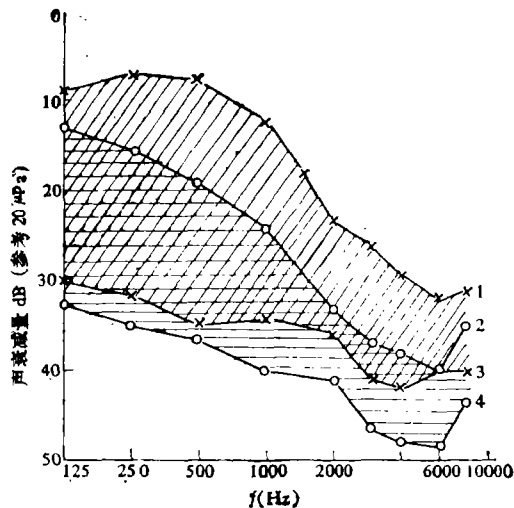


图5 本文的 E·A·R 护听器的测定值与出厂指标比较曲线
1. EAR 非自由场测定值; 2. EAR 自由场测定值; 3. EAR 非自由场出厂指标; 4. EAR 自由场出厂指标。

(下转第 8 页)

时间积分相关器的一个优点是毋需时间反转的参比信号, 它的带宽虽为声光器件的带宽所限制, 但因它是时间积分的, 所以时间窗和 BT 积可不受限制。事实上, 这种系统的有限 BT 积取决于探测器阵列的动态范围 ($BT_{eff} = R^2$, R 为探测器动态范围)。目前 CCD 的动态范围约 10^3-10^4 , 所以这种装置的相关增益可达 10^6-10^8 。

近年来, 声光信号处理技术发展很快, 除了上面的频谱分析和相关以外, 它还可实现卷积、存贮相关、多普勒分析、动目标显示以及线性调频-Z 变换等功能, 是一种很有前途的实时大带宽信号处理技术, 值得我们重视。

参 考 文 献

- [1] H. V. Hance, J. K. Parks, *JASA*, **38-1** (1965), 14—23.
 [2] N. Lichida, *Proc. IEEE*, **61-8** (1963), 1073—92.
 [3] A. Korper et al, *Proc. IEEE*, **54-10** (1966), 1429—1437.
 [4] I. C. Chang, *IEEE Trans.*, **SU-23**, 1(1976), 2—22.
 [5] D. A. Pinnow, *IEEE Jouyr.*, **QE-6** (1970), 223—238.
 [6] N. Lichida, *Jour. Appl. Phys.*, **40** (1969), 4692—4695.
 [7] A. Korpel, *Proc. IEEE*, **37-2** (1969), 160—170.
 [8] G. A. Coquin, *IEEE trans.*, **SU-17**, 1 (1970), 34—40.
 [9] H. Aronson, AD-776653/8GA (1974).
 [10] L. Beiser, *Laser Application*, vol. II, 1974, 53—159.
 [11] 福本晃夫, 电通学会论文志, **58-C,4** (1975), 209—216.
 [12] C. Slezak, *Electro-Opt./Laser Intern. 1976 Conf. Proc.*, 92—93.
 [13] D. L. Hecht, *Proc. EOSD Conf. 1973*, 112—115.
 [14] N. Lichida, *Opt.-Electron (Lett.)*, **2** (1970), 43—45.
 [15] G. Hrbek, *Proc. EOSD Conf. 1971*, 271—275.
 [16] R. H. Johnson, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, **90** (1976), 40—48.
 [17] D. Mayden, *IEEE Jour.*, **QE-6**, 1 (1970), 15—24.
 [18] D. E. Flinchbaugh, *ASW & AOD*, Edit. by Kallard, 1971, 139—149.
 [19] V. Ohta et al, *Proc. Electro-Opt./Laser*, 1978, 381.
 [20] C. J. Palermo et al, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, **53** (1974), 21—22.
 [21] A. M. Дуакунов, *Лисбма ЖТФ*, **3-12** (1977), 564—568.
 [22] M. Dewit, *USP* 3936769.
 [23] J. L. Jernigen, *USP* 4105953.
 [24] P. W. Smith, *Proc. IEEE*, **38-9** (1970), 1342—1355.
 [25] M. A. Pollack, *Appl. Phys. Lett.*, **5** (1964), 4—5.
 [26] R. M. Montgomery, *Proc. EOSD Conf. 1973*, 90—101.
 [27] T. Yano et al, *National Tech. Report*, **22-5** (1976), 651—656.
 [28] J. D. Feichtner, *Appl. Phys. Lett.*, **34-1** (1979), 1—3.
 [29] R. S. Hughes, *USP* 4028636.
 [30] S. C. Chong et al, *Appl. Opt.*, **17-7** (1978), 1069.
 [31] 电子材料, **4** (1980), 国内开发情报栏。
 [32] W. S. Oakley, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, **90**(1976), 158—163.
 [33] D. Casasent, *Opt. Data Proc.*, chapt 8, 1978, 241—258.
 [34] H. N. Roberts et al, *Appl. Opt.*, **13-4** (1974), 841—847.
 [35] T. Kaneko, *Trans. Instru.-Electro- & Commun. Eng. Japan*, **E-62**, 4 (1979), 285—286.
 [36] N. J. Berg et al, *Electro-Opt./Laser Intern. 1976 Conf. proc.*, 400—407.
 [37] W. E. Kock, *Eng. Appl. of Laser & Holograph*, chapt 4, 1975, 337—341.
 [38] D. L. Hecht, *Opt. Eng.*, **16-5** (1977), 461—466.
 [39] T. R. Bader, *Appl. Opt.*, **18-10** (1979), 1668—1672.
 [40] R. A. Sprague, *Opt. Eng.*, **16-5** (1977), 467—474.
 [41] T. W. Cole, *Proc. IEEE*, **61-9** (1975), 1321—1323.
 [42] R. A. Sprague, *Appl. Opt.*, **15-1** (1976), 89.
 [43] N. J. Berg et al, *Proc. Tech. Program. Electro-Opt./Laser 1978 Conf.*, 488—498.

(上接第 38 页)

同。说明出厂检验与实际使用二者考核方法之间有差距, 尚待进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] ASA Z 24, 22-1957.
 [2] ANSI S 3. 19-1974.
 [3] 章句才等, 中国科学, **2**(1980), 118—126.
 [4] J. W. Schmidt et al. 99th meeting of ASA, 1980.
 [5] E. H. Berger, *JASA Supl.* **70** (1981).
 [6] E. H. Berger, *E. A. R Logl*, 1979.
 [7] L. H. Royster, 98th meeting of ASA, 1979.
 [8] L. H. Royster, *American Industrial Hygiene Association Journal*, **41-3** (1980), 161—169.