

便携式轻小气流扬声器

张 扩 基 马 德 录

(中国科学院声学研究所) (英国雷卡电子集团)

1988年9月28日收到

摘要 本文分析了一些参量和因素对气流扬声器性能的影响,并进行了实验研究,研制出的小型气流扬声器具有好的频响,声压响应由400—2,000Hz,在离喇叭口2m远处的轴向声压级是120dB;磁间隙的磁通密度高达 1.9Wb/m^2 ,体积小,重量轻。

Portable electropneumatic loudspeaker

ZHANG Kuoji

(Institute of Acoustics, Academia Sinica)

D. L. Macdonald

(Racal Acoustics Ltd. U. K.)

Received September 28, 1988

Abstract This paper deals with the additional displacement of the modulation ring of air stream sound source caused by Bernoulli force and gives formulas and charts for calculation. At the same time, the paper discusses the selection of the best parameters and analyses the contribution of different frequency band for speech intelligibility and determines frequency band of a electropneumatic loudspeaker. Some parameters were tested. The characteristics of the developed electropneumatic loudspeaker are good. The sound pressure frequency response is flat between 200 Hz and 2000 Hz. In the magnetic gap the flux density reaches 1.9Wb/M^2 and the sound pressure level is 120 dB at a distance of two metres from the born mouth.

一、引 言

小型气流扬声器体积小、重量轻,它的气源不是空气压缩机,而是储存有压缩空气的小气罐,它发声原理是交变电讯号控制调制阀门的运动,调制气流产生声音,它的声功率相对较大;所以它有广泛应用前景,如用作个人便携式安全报警、公共场合和海、河船舶的喊话和用于有源消声等。

二、伯努利力引起动环的附加位移

在气体流动方向上,速度大处,压力小,而气流扬声器的喷口在加入压缩空气后,亦发生这

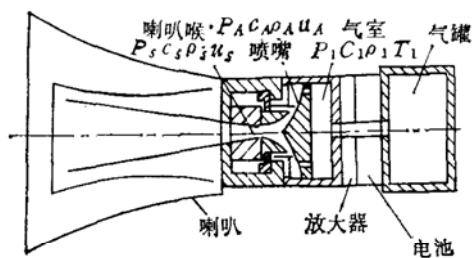


图1 便携式气流扬声器示意图

现象,这时虽然未加入电讯号,但动环在轴向上受的压力不等,产生一压力差 ΔP , 它总是使动环朝关闭喷嘴的方向移动,这压力差叫伯努利压力,其值

$$\Delta P = P_1 - P_A \quad (1)$$

式中 P_1 是气室的压力, P_A 是喷嘴处的压力。在喷嘴气流速度达到声速时,

$$P_A = 0.527 P_1 \quad (2)$$

在亚声速时, ΔP 由图2读出,图2是根据流体力学基本方程和文献[1]、[2]得到。文献[3]曾对这现象进行讨论,但没给出计算公式。

由图2算出当压缩空气输入扬声器,而未加入电讯号时,动环被伯努利力引起的附加位移

$$\Delta X = \Delta F \frac{1}{k} \quad (3)$$

式中 $\Delta F = \Delta P \times S_A$, $1/k$ 是支撑的顺性。

S_A 是动环横截面积,从上式可见,支撑的顺性愈小,伯努利力引起的附加位移小,顺性大,附加位移大。

由于附加位移 ΔX 的出现,气流扬声器的动、定环相应的缝,不是装在打开一半的位置,而是装在比一半多 ΔX ,以抵消伯努利力引起的的影响。按(3)式计算本设计的 ΔX 是 0.0063mm。

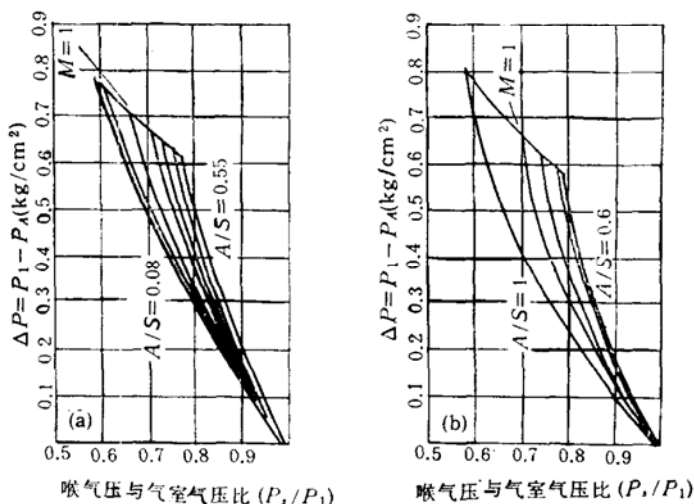


图2 气室气压与喷嘴气压差和喉气压与气室压力比之关系
(a) $A/S = 0.08, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.55$
(b) $A/S = 1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6$

三、设计和参量的选取

1. 频带的选择

由实验知道,说话可懂度最重要的频段是 1,000—2,500Hz。为使气流扬声器能重播语言、音乐,所以设计功率最大的频带是 400—2,000Hz; 因气流扬声器主要是工作在第一共振频率以下,为此设计第一共振频率 $f_{01} = 1,800\text{Hz}$ 。为了使喇叭筒轻小,设计喇叭筒的截止频率是 350Hz。

2. 声功率的计算

设计要求: 在轴向上距离喇叭口 2m 处, 声压级 120dB.

设喇叭口是 $30 \times 30\text{cm}^2$, 所需的声功率由下式^[4]计算:

$$W = \frac{r}{\rho c} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi p_{ax}^2 \left[\frac{2J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \right]^2 \sin \theta d\theta d\varphi \quad (4)$$

式中 p_{ax} 是离声源 r 处轴线上的声压, J_1 是一阶贝塞尔函数, k 是波数, a 是喇叭口等效半径, θ 是测点与轴向的夹角; 因声源是对称的, 和 φ 角无关.

按式(4)算得声功率是 8W.

现选取设计参量, 以达到声功率 8W.

设振幅是 0.09mm, 动环直径取 34mm, 有效调制面积是 0.077cm^2 , 喉面积设计为 0.95cm^2 , 气室压力选 $1.4137 \times 10^5\text{N/m}^2$, 从图 3 得到声功率是 9.5W.

3. 磁路设计

为使扬声器重量轻, 并要求磁隙的磁感应强度 B 高, 因此应使漏磁和磁阻值低; 而漏磁的一个重要原因是磁钢的上端 E 和上导板下部 P 之间(图 4)的漏磁, 距离 EP 取得适当, 漏磁可大大减小.

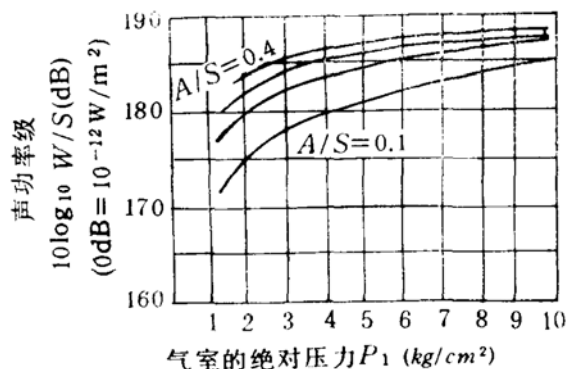


图 3 气流扬声器输出功率特性图
 $A/S = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$

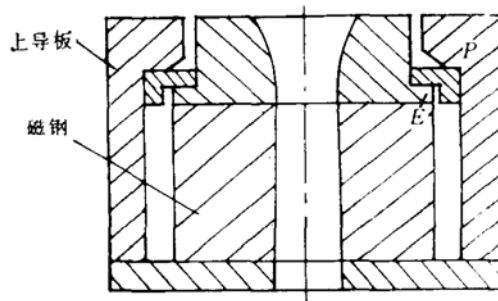


图 4 磁路

按磁路设计公式:

$$B_d \cdot A_m = B_g \cdot A_g \cdot F \quad (5)$$

$$H_d \cdot L_m = B_g \cdot L_g \cdot f \quad (6)$$

式中 B_d 、 H_d 、 A_m 和 L_m 分别是磁钢的剩磁感应强度, 矫顽力, 磁钢的横截面积和高度; B_g 、 A_g 和 L_g 分别是磁间隙的磁感应强度, 工作面积和宽度, F 和 f 分别是漏磁系数和磁阻系数, 现用铝镍钴五类磁钢, 设漏磁系数是 1.15, 磁阻系数为 1.1, 算得磁隙的磁感应强度是 1.9Wb/m^2 .

四、测 量

1. 轴向灵敏度和声压响应

声学性能的测量是在消声室进行, 测得轴向的声压频率响应如图 5.

由图 5 可见, 扬声器的声压频率响应好, 它由 400Hz 平直响应到 2,000Hz, 然后急剧下降; 低频响应不好, 是因为喇叭筒短, 喇叭口小。

2. 不同条件下的声压响应

1) 不同大小的喇叭筒

用三种尺寸不同的喇叭筒进行实验; 在消声室的测量表示于图 6。

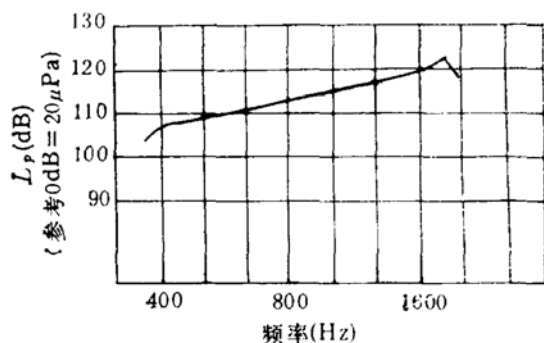


图 5 轴向灵敏度和频率响应

气压 $4.137 \times 10^4 \text{ Pa}$; Gage 气流噪声 78 dB; 电压 15 V

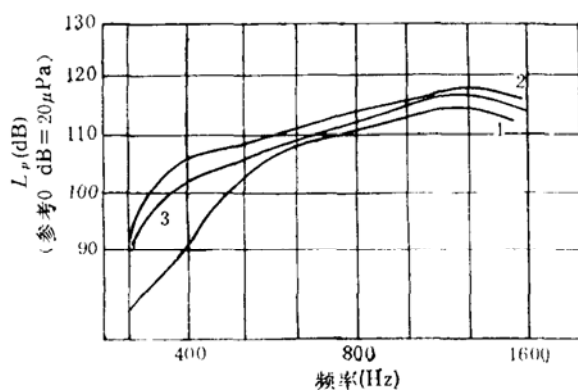


图 6 不同喇叭筒的声压级

1. 喇叭口的直径是 8.5 cm, 截止频率为 564 Hz, 所以低于 630 Hz 辐射声压很低; 同时由于喇叭口小, 在喇叭口和空气的交界处发生严重声反射, 在低、中频范围声压的波峰和波谷相差较大; 因喇叭口小, 指向性不强, 但喇叭体积小。

2. 喇叭口的尺寸是 $30 \times 30 \text{ cm}^2$, 截止频率为 350 Hz; 在高于 500 Hz 后, 辐射声压较好; 指向性较强, 但喇叭体积相对较大。

3. 喇叭口的直径是 21 cm, 截止频率为 400 Hz, 频率高于 500 Hz 后, 辐射声压较好, 为了缩小体积, 这喇叭是折叠式, 本设计采用此种喇叭。

2) 不同气压下的声压

气室气压不同值时, 测得的声压频率特性示于图 7。

从图 7 可见, 在气压低的范围, 如表压 $6895 \text{ Pa} \sim 27580 \text{ Pa}$, 声压随气压上升增加得快, 气声

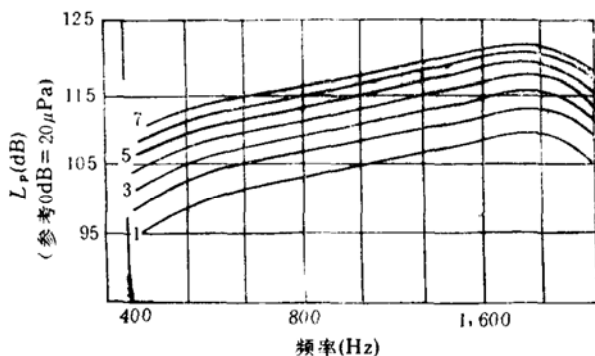


图 7 气室气压为不同值时的声压

1. 6895 Pa; 2. 13790 Pa; 3. 20685 Pa; 4. 27580 Pa;
5. 34475 Pa; 6. 41370 Pa; 7. 48265 Pa

转换效率高;在气压相对较高的范围,如表压 $34475\text{Pa} \sim 48265\text{Pa}$, 声压随气压增加得慢,气声转换效率相对较低,为得到高的气声效率,本设计使用低气压下工作。

3) 不同电压下的声压响应

不同的电压,测得的声压响应于图 8。

从图 8 可见,当动、定环的缝未达到全调制时,声压随着电压的增加而增大,但当电压使动环达到全调制后,电压再增加,声压不再增加或增加很少,本设计是 15V 达到全调制。

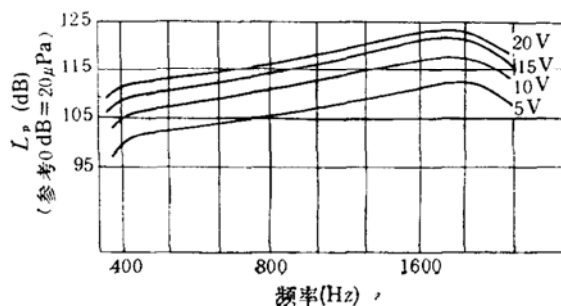


图 8 不同电压下的声压级

3. 声功率和气声效率

在消声室内测量了喇叭口为 $30 \times 30\text{cm}^2$ 的扬声器的指向性,示于图 9,在轴向 1m 处,量得声压级是 127dB ,由指向性算得扬声器的声功率是 8W 。

气流功率由下式计算

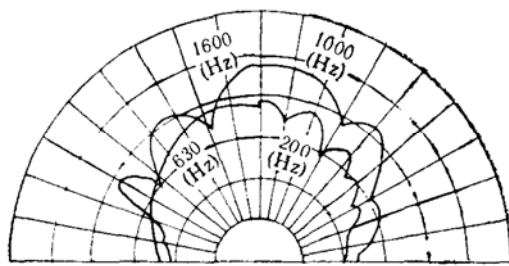


图 9 不同频率的指向性图

图上 200Hz 应为 2000Hz

$$W_s = \frac{1}{2} \frac{m}{t} v^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{m}{t} \right) \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \frac{P_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} P_0^{\frac{1}{\gamma}}}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad (7)$$

式中 m/t 是气体的质量流, v 是气体的流速, P_0 和 ρ_0 分别是大气压和空气密度, γ 是热容比。

本设计的质量流 m/t 是 0.0024kg/s , 它是由气罐供给。气室的绝对气压 $P_1 = 1.4137 \times 10^5\text{N/m}^2$, 按式(7)算得气流功率 $W_s = 72.8\text{W}$ 。

气声转换效率 $\eta = 8/72.8 = 11\%$ 。

气流扬声器重量(不包括喇叭筒)是 860g, 所以单位重量的声功率是 9.3W/kg。而电动扬声器的单位重量声功率是 2.83W/kg。

4. 磁路测量

测得磁隙的磁感应强度是 1.9Wb/m^2 , 算得漏磁系数 $F = 1.15$, 磁阻系数 $f = 1.1$ 。

由于磁隙的磁感应强度高, 所以驱动力大, 可把共振频率设计得高些, 以获得良好的频响, 或者减低电功率, 降低耗电量。

李沛滋、沈壕两教授对本文提出了宝贵意见, 作者谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 马大猷, “调制气流声源的原理”, 物理学报, **23**(1974), No. 1, 17—25.
- [2] Warren, A. Mever, “Theoretical Analysis of the Performance of an Air-Modulated Speaker”, *J. Acoust. Soc. Am.*, **45**(1969), 957—965.
- [3] Miller, W. R., “Development of A wide Band, Ten Kilowatt Acoustic Noise Source”, *IEC 1967 Proc.*, II, 473—481.
- [4] 白瑞纳克, “声学”, (高等教育出版社), 114—123.