

一种微型电声换能装置——电磁式发声体

王以真 张迅行

(天津市电声器材厂)

在一些小型器件诸如微型计算机、家用电器产品直至石英手表中，常需要设置一种微型报时发声器，而且根据使用条件必须具备如下特点：1)体积小(一粒纽扣大小)、重量轻、价格低廉；2)消耗电能小；3)不发生噪声、寿命长、可靠性高；4)发声清脆柔和，并能根据电路设计发出独特的声音。

电动式纸盆扬声器由于体积难于做得很小，而机械式发声器如蜂鸣器则可靠性较差，这两者都难于符合上述要求。这样，一种新型的电声换能装置——电磁式发声器也就应运而生。

这种电磁式发声体，也可算作扬声器的类型之一。在其上外加一个交流信号后，即被驱动而发声。由于所发的基本是一种单音，不象扬声器要求有较宽的频率范围，而且重放只是集中在输入信号的频率附近，所以电磁式发声体容易做得小型化，并有较高的效率。另外，它与机械式蜂鸣器相比，由于无活动触点，不会造成电噪声和触点摩擦所引起的性能恶化，因此具有可靠性高、寿命长等优点。

一、工作原理

电磁式发声体的基本构造见图1。电磁式发声体的磁路，由环形磁体、导磁柱，以及在导磁柱上有一定空隙的被磁体所支持的磁性振膜组成，线圈则固定在导磁柱上。而在振膜上方有一个空腔和开口孔共同组成声谐振回路，即相当于亥姆霍兹谐振腔。和电

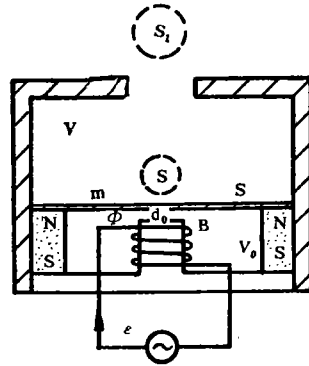


图1 电磁式发声体的基本构造

动式扬声器比较，所不同的是音圈不动，所以可靠性比较高。另一个显著的差异是振膜采用磁性金属振膜，而不是采用纸或者塑料之类的振膜。

这个振膜在永磁体的直流磁场作用下，受磁场吸引力和本身所具有的劲度保持平衡。当在线圈上加一交流信号时，就形成一个附加的交流磁场，由此产生的吸引力随交流信号而变化，因此振膜振动而发声。而由于亥姆霍兹谐振作用，使输出声压和频带都发生变化。这就是电磁式发声体的原理。

这时，作用到振膜上的电磁力 F 可用下式表示：

$$F = \frac{SB^2}{2\mu_0} = \frac{\phi^2}{2\mu_0 S} \quad (1)$$

式中

S ——导磁柱的截面积；

B ——空气隙的磁通密度；

ϕ ——空气隙的磁通；

μ_0 ——真空的导磁率；

$$B = B_{A0} + B_{D0}$$

B_{A0} ——交流磁场；

B_{D0} ——直流磁场。

假设永磁体的磁动势为 U_0 ，线圈圈数为 N ，电流为 I ，气隙的磁阻为 R ，静止时空气隙长为 d_0 ，在外加磁场时位移为 ξ ，

$$\text{则 } \phi = \frac{U_0 + NI}{R}, \quad R = \frac{d_0 - \xi}{\mu_0 S} \quad (2)$$

由此，式(1)可表示成：

$$\begin{aligned} F &= \frac{SB^2}{2\mu_0} = \frac{\phi^2}{2\mu_0 S} = \frac{1}{2\mu_0 S} \left(\frac{U_0 + NI}{R} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2\mu_0 S} \left(\frac{U_0 + NI}{d_0 - \xi} \right)^2 \mu_0^2 S^2 \\ &= \frac{\mu_0 S}{2} \left(\frac{U_0 + NI}{d_0 - \xi} \right)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

当 $U_0 \gg NI$ ， $d_0 \gg \xi$ ，可将式(3)展开，得：

$$\begin{aligned} F &= \frac{\mu_0 S U_0^2}{2d_0} + \frac{\mu_0 S U_0}{d_0^3} NI \\ &+ \frac{\mu_0 S U_0^2}{d_0^3} \xi \end{aligned} \quad (4)$$

假设振膜的机械阻抗为 Z ，

$$Z = r + j\omega m + S/j\omega$$

式中 r ——机械阻；
 m ——质量；
 S ——劲度。

由于永磁体磁动势 U_0 产生的位移为 ξ ，则有以下式：

$$\begin{aligned} m\ddot{\xi} + r\dot{\xi} + S\xi + S\xi_0 &= \frac{\mu_0 S U_0^2}{2d_0} + \frac{\mu_0 S U_0}{d_0^2} NI + \frac{\mu_0 S U_0^2}{d_0^3} \xi \\ &+ \frac{\mu_0 S U_0^2}{d_0^3} \xi_0 \end{aligned} \quad (5)$$

解此方程式，求出谐振时角频率 ω ，

$$\omega_0 = \sqrt{\left(S - \frac{\mu_0 S U_0^2}{d_0^3} \right) / m} \quad (6)$$

由此可见，此种电磁发声体振膜，在谐振时频率特性曲线上出现单峰。根据结构在振膜前面有一个声回路，附加一个谐振系统，即由振膜、空腔、出口组成一个新的谐振系统。改变系统的参数会使谐振频率发生变化，

适当选择此频率，满足亥姆霍兹谐振关系，可使声压提高几分贝。

设振膜前方空腔体积为 V ，开口面积为 S_1 ，开口长度为 l ，声速为 C ，则谐振角频率 ω_1 可表示成下式：

$$\omega_1 = C \sqrt{\frac{S_1}{V(1 + 1.5 \sqrt{\frac{S_1}{\pi}})}} \quad (7)$$

图2是电磁式发声体的频率特性和阻抗特性。

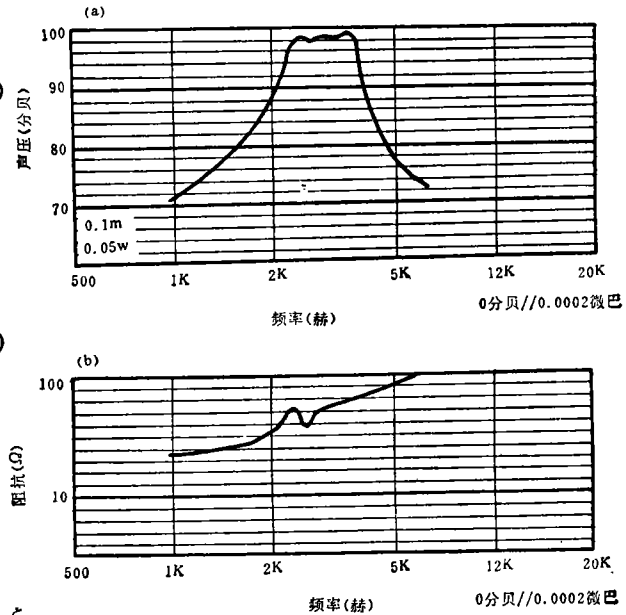


图2 电磁式发声体的声压频率特性和阻抗特性

二、设计和试制

1. 结构设计和使用材料

根据上述原理，我们设计了如图3的两种电磁式发声体，其外部尺寸为 $\phi 47 \times 23.3$ 毫米和 $\phi 15 \times 17.2$ 毫米。

对于所使用的磁体，根据价格及磁性能方面的要求，选用铁氧体。振膜选用磁性和弹性良好的坡莫合金，同时要求它有一定程度的劲度和高的饱和磁通密度。导磁柱可采用通常的低碳钢。其他支架、接线板、共鸣腔等都是由有机玻璃或其他树脂制成。

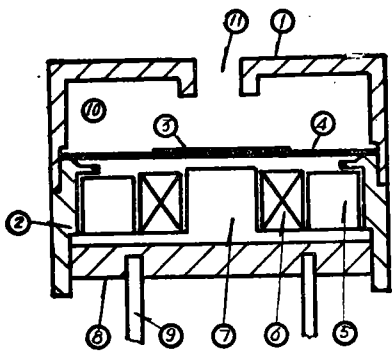


图 3 电磁式发声体具体结构

2. 空气隙长度的设计

对于电磁式发声器，空气隙的长度对性能有很大的影响，所以它的设计极为重要。

根据前述可知，空气隙愈窄，则灵敏度愈高，但是过窄时，又有以下缺点：

- 1) 磁体的吸引力比振膜劲度产生的复原力要大，所以振膜被导磁柱吸住；
- 2) 直流磁场过分强，在没有交流磁通时振膜和导磁柱即达到饱和；
- 3) 空气隙长度的误差会对性能产生很大的影响。

但是，磁饱和从外部直接测定是很困难的，所以可根据下述情况判定。

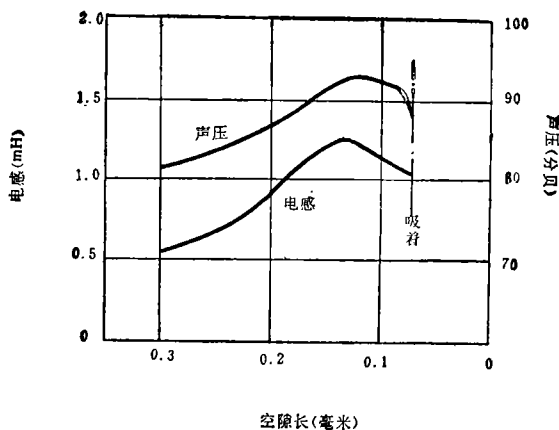


图 4 空气隙长度和声压以及电感的关系

对于磁性材料，在一般情况下接近饱和状态时，导磁率就下降。如果磁路导磁率变化，音圈电感就会发生变化，根据这个测定可以判断出饱和程度。

图 4 是表示空气隙长度变化对应于电感的变化的。

由图 4 可见，逐渐将磁隙长度减小，首先是空气隙的磁阻减小，电感增加。空气隙减小至某一数值后，相反电感又减小。这是由于振膜、导磁柱(实际上主要是振膜方面)直流磁场已经饱和，交流磁动势的变化几乎不影响磁通，因而单纯减小空气隙长度并不

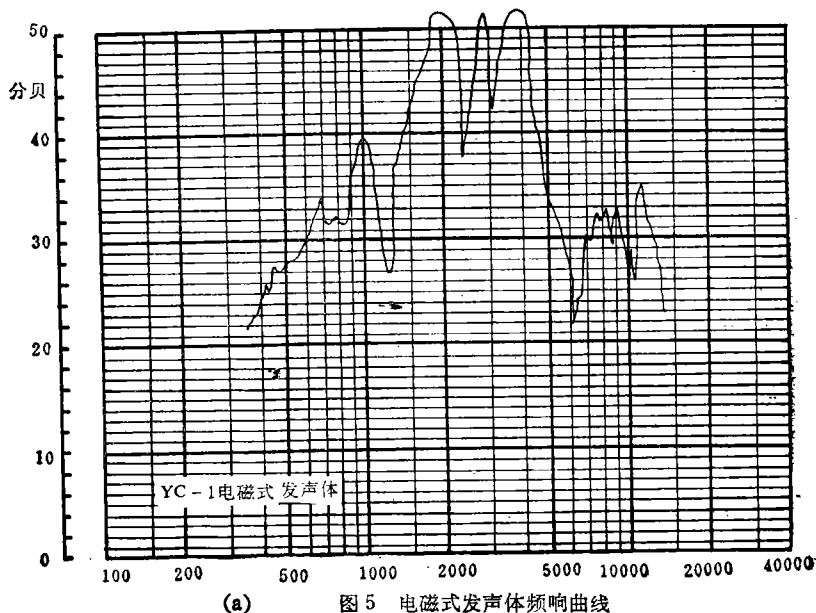
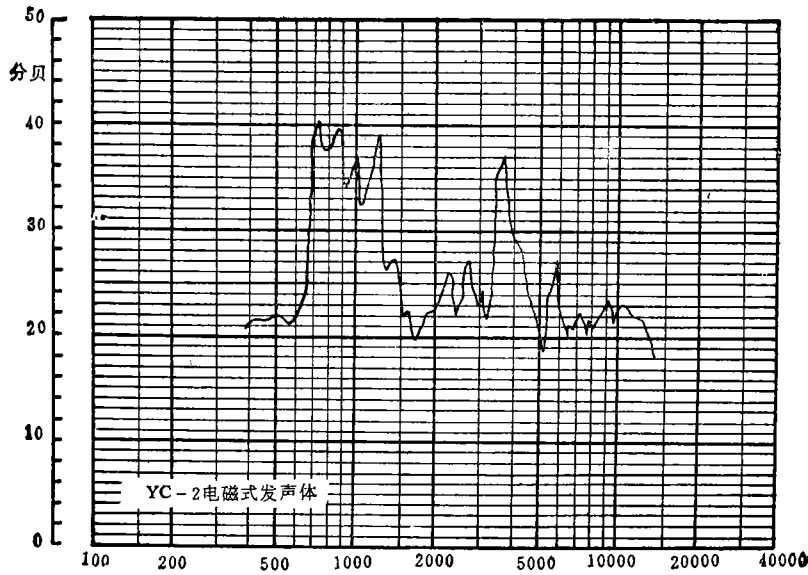


图 5 电磁式发声体频响曲线



(b) 图5 电磁式发声体频响曲线

能提高效率。

三、测试结果

根据上述原理，我们试制了YC-1型、YD-2型两种电磁式发声体。

测试曲线如下：

YC-1 电磁式发声体如图 5 (a)；

YC-2 电磁式发声体如图 5 (b)。

我们设计并制作的两种型号发声体，曾得到天津冶金研究所彭会子等同志的支持和协助，谨表示谢意。

目前，这种电磁式发声体在国内正处于研制阶段，而尚未正式生产，为此，我们将有关情况和试制过程作一介绍，希望引起人们的注意，以便共同作出努力，填补这一电声产品空白。

参考文献

[1] 榎本光高：マグネチック型发音体，*National Te-*

chnical Report. 26 No.2 Apr. 1980.

[2] 电子通信学会编：《电气音响振动学》。

[3] 舟桥亮：《音响工学》，东京电机大学出版社。



(上接第47页)

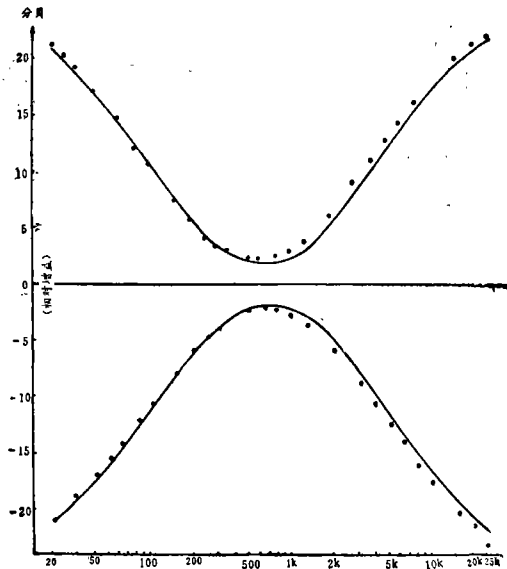


图9 $K_R=15, n=1$ 时的理论与实测幅频特性曲线