

电容式微气压计

李颖伯 石金瑞

(中国科学院声学所)

一、引言

微气压计是测量和记录大气压力微小扰动的仪器。目前它的种类很多,例如动圈式^[1]、差动变压器式、电容式^[2]、压电陶瓷式和电化学式^[3]等。其中以电容式的体积较小、灵敏度较高、频率响应较好,可以直接与笔尖记录器和磁带记录器配合使用或将信号直接送往分析设备,因此使用方便。在国内、外已有不少观测站采用了电容式微气压计,它的缺点是受环境温度变化的影响较大,所以在使用中应注意温度保护问题。本文分析了电容式微气压计的工作原理,并且根据类比线路给出了灵敏度和相角的频率响应公式。还介绍了根据这一原理研制成功的微气压计,现在这种微气压计已经在强爆炸声源产生的次声波、台风次声、地震预报及大气物理^[4]等各方面研究工作中使用多年,性能稳定可靠,使用方便。

二、电容式换能器用于低频测量

在极低频工作的电容式换能器不能用加直流偏压的方法。因为这需要放大器具有非常高的输入阻抗,以至于很难做到。为了测量出换能器电容量的慢变化,可将高频电压加在换能器上。我们采用调幅的原理,方法是把换能器作为电容电桥的一臂,当输入一等幅高频电压时,输出端即可得到受电容量变化调制的调幅波。调幅波经电压放大送入解调器就可得到低频电信号。

电桥调幅的原理见图1。其中 M 是微气压计, U_i 是高频信号源电压。根据图1可以

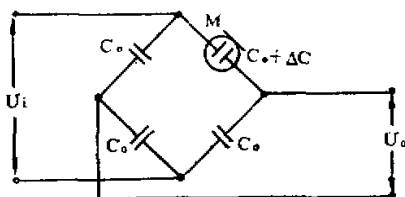


图1 电容电桥调幅原理

写出各参量的关系式

$$U_0 = \frac{U_i}{2} \frac{\Delta C/C_0}{2 + (\Delta C/C_0)} \quad (1)$$

式中 U_0 是输出端电压, C_0 是换能器的电容量, 由于压力信号的作用使它的变化量是 ΔC 。从 (1) 式可以看出 U_0 与 $(\Delta C/C_0)$ 的关系是非线性的, 与线性关系的偏差为 ε

$$\varepsilon = \frac{U_i}{4} \frac{(\Delta C/C_0)^2}{2 + (\Delta C/C_0)} \quad (2)$$

设 ε 与线性关系的比值为 K , 则

$$K = \frac{\Delta C/C_0}{2 + (\Delta C/C_0)} < \frac{\Delta C/C_0}{2} \quad (3)$$

根据 (3) 式可以决定在允许的偏差范围内换能器电容量的变化范围。例如要求 $K \leq 1\%$ 时, 就要求所设计换能器的 $(\Delta C/C_0)$ 值在最大信号作用下不大于 2% 。

三、微气压计的结构和工作原理

图 2 是电容式微气压计的结构示意图 (a) 和类比线图 (b)。前腔声阻 R_1 和声顺 C_1 构成低通滤波器, 用来决定仪器的高频截止频率。有时为了方便起见, 也可以在测量电路中加滤波器而不用声滤波器, 这样 R_1 的值就可以取得很小, 前腔声阻只是在校准时用来与活塞发生器联接。当后腔体积和膜片张力固定时, 低频特性主要由 R_2 决定。

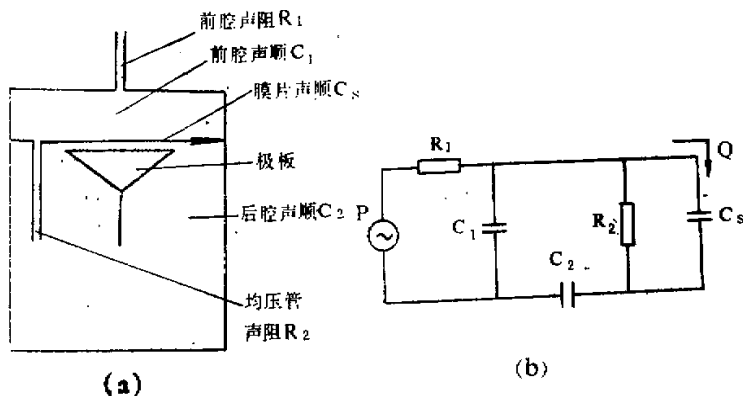


图 2 电容式微气压计结构示意图 (a) 和类比线路 (b)

图中 P 表示微气压信号, Q 表示膜片的体积位移。

在不考虑 R_1 和 C_1 的情况下, 由类比线路可算出以膜片体积位移 Q 表示的灵敏度 S_Q

$$S_Q = \frac{Q}{P} = \frac{\omega C_2 C_s R_2 e^{i\phi}}{[1 + \omega^2 R_2^2 (C_2 + C_s)^2]^{1/2}} \quad (4)$$

其中 ϕ 是相角

$$\phi = \arctg 1/\omega R_2 (C_2 + C_s) \quad (5)$$

在高频时(4)式可简化为

$$S_Q \approx C_2 C_s / (C_2 + C_s) \quad (6)$$

此时相角 $\phi \approx 0$ 。低频截止周期 T_N 为

$$T_N = 2\pi R_2(C_2 + C_s) = 2\pi\tau \quad (7)$$

式中 $\tau = R_2(C_2 + C_s)$ 是仪器的时间常数。由(6)式可以看出仪器的灵敏度取决于后腔和膜片的声顺。空腔声顺在容积一定时是不变的,所以膜片声顺是决定性的因素。圆形膜片声顺与膜片的直径、面密度及张力有关。在直径、材料和厚度固定的条件下,为使同一批微气压计有相同的灵敏度,只需调节每一个膜片的张力使其第一共振频率 f_{01} 一致就可以了。

以电容量变化表示的灵敏度 S_c 是

$$S_c = \frac{\Delta C / C_0}{P} = \frac{S_Q}{dA} \quad (8)$$

这里 d 是膜片到极板的距离, A 是换能器电容的有效面积。

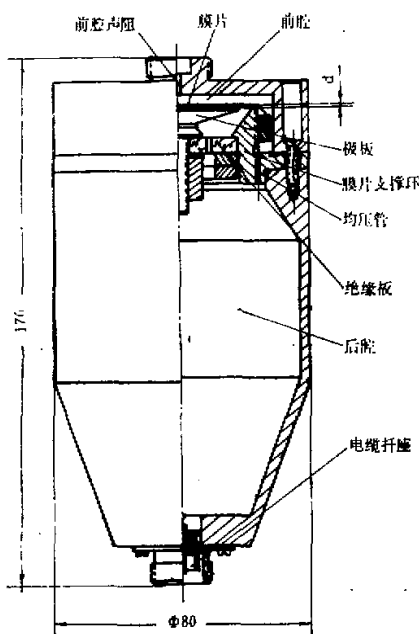


图3 电容式微气压计结构

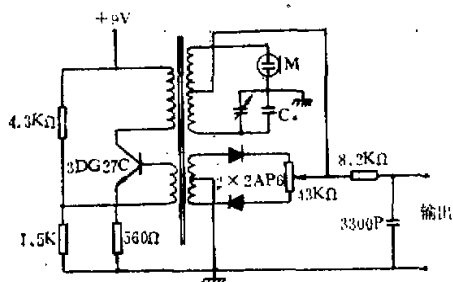


图4 测量电路

图3是根据上述原理设计的电容式微气压计。膜片用厚度为3—5微米的镍膜片绷在支撑环上,支撑环和极板都用不锈钢制成,由于镍和不锈钢的热膨胀系数相近,所以减少了仪器灵敏度受温度变化的影响。膜片的 f_{01} 调在一千赫左右,与极板距离为50微米。为减小阻尼在极板上开孔。后腔声顺可由空腔的容积算出^[5]为 $C_2 = 2.6 \times 10^{-7}$ 米⁵/牛顿。与电桥调制式电路(图4)配合使用灵敏度为2毫伏/微巴。直流工作状态的温度稳定性是0.3微巴/°C。图5是用波纹管式活塞发生器校准得到的频响曲线。发生器产生的频

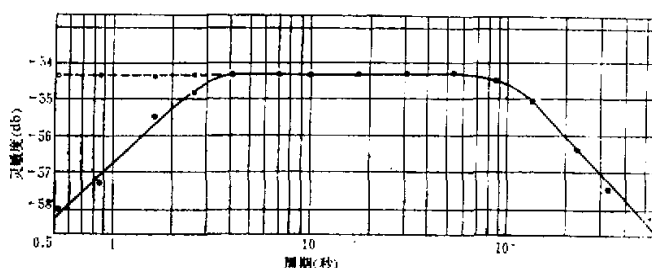


图5 频率响应曲线,图中灵敏度以1伏/微巴为零分贝

率最高是2赫。图中虚线是根据需要在电路中加一节阻容滤波器的结果,高频截止周期在1秒左右。选择 R_2 使低频截止周期在300秒。电路由9伏直流电源供电,耗电电流约4毫安,用甲电池供电可连续工作数月。

四、使用注意事项

上述微气压计由于工作频率极低,所以容易受环境温度变化的影响。为此必需在微气压计外面加温度保护层。对于不同特性的微气压计温度保护的指标也不相同,可按下式设计

$$Q_p = \dot{P} S_0 \tau \quad (9)$$

式中 Q_p 是膜片在后腔温度变化时产生的体积位移, $\dot{P}$ 是由于温度变化引起的后腔压力变化速率。上式是根据图2(b)在不考虑 R_1 和 C_1 的情况下推导的,因为环境温度变化主要通过后腔起作用。如果 $S_0 = 0.5 \times 10^{-9}$ 米³/牛顿, $\tau = 50$,当要求 Q_p 不得大于 2.4×10^{-10} 米³时,从(9)式可求出 $\dot{P}$ 不能超过 9.6×10^{-3} 牛顿/米²·秒。在常温下这大致相当于腔内温度的变化速率不能大于每小时0.1度。

在实际使用中,一般在仪器外面包以6—8厘米厚的泡沫塑料,然后放在加盖的井中或特殊的房间内,房间不应经常有人进出,因为开、关门使房间内产生的压力信号常达数百微巴而影响正常观测。经上述方法处理的微气压计可以常年工作而无需调节零点。

参 考 文 献

- [1] Пасечник, И.П., Федосеенко, Н. Е., Электродинамический микробарограф с гальванометрической регистрацией, *Изв. АН СССР Сер. Геофиз.*, No. 1, стр. 121—, 1958.
- [2] Jones & Forbes, R. V., A microbarograph, *J. Sci. Instrum.*, Vol. 39, 1962.
- [3] Collins, J., Soliton Infrasonic Microphone, *J. Acoust. Soc. Amer.*, Vol. 36, p. 1283, 1964.
- [4] 胡心康、石金瑞,大气中的一种内重力波,第二届全国声学学术会议论文摘要, p. 278, 1979. 5.
- [5] L. L. 白瑞纳克著,章启毅等译,《声学》p.144,高等教育出版社,1959.