高温高压声接收换能器的研制和校准

解宝兴　　朱厚卿

（中国科学院声学研究所）

1983年4月10日收到

我们研制了一种带毛细孔的能耐150℃和1420atm的高温高压声接收换能器（水听器），并在直径为70mm，高为290mm的圆筒形腔体内用就地互易法在上述高温高压条件下进行了校准．在频带为10Hz—10kHz的频率范围内，接收电压灵敏度为 −195±1.5dB（0dB为1V/μPa），水平方向性的不均匀度小于±1.5dB．在常压到1420atm的压力范围内，接收电压灵敏度随压力的变化小于1dB；在150℃时的接收电压灵敏度，较常温下的接收电压灵敏度，只降低3dB．

一、原理和设计

水听器一般多采用圆管形压电元件做成，为了提高其灵敏度，可使圆管内部为声屏蔽（管内声压为零），但这种结构不能承受高的静压．当水听器做成圆管内外相通的自由浸没式时（管内的静压和声压等于管外的静压和声压），这种结构虽然能承受高的静压，但是其灵敏度又大大下降．图1为一高为15mm，直径为15mm，壁厚为1mm带端盖的圆柱形水听器，在其管内的声压与管外的声压有不同比值时的灵敏度[1]．

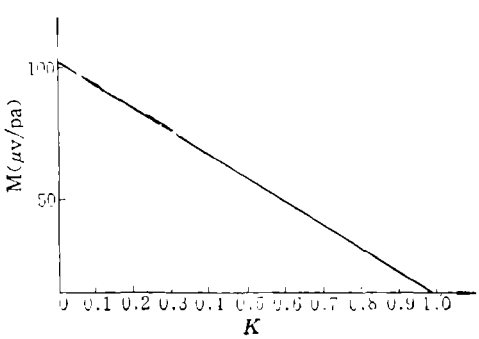

图1　一圆形水听器的接收电压灵敏度与管内外声压之比k的关系

为此我们利用毛细孔的原理[2]，让圆管的内外由毛细管相连，从而达到管内外的静压力平衡，使水听器能承受高的环境静压．由于这毛细管和圆管内腔在声学上组成一低通滤波器，从而在我们所要求的频率范围内，其管内的声压为零，这样起到了管内声屏蔽的作用，使灵敏度得到了提高．上述低通滤波器的低频截止频率f为

$$f=\frac{1}{16}\cdot\frac{a^4}{\eta l_0}\cdot\frac{\beta}{V}$$

式中a和l_0分别为毛细管的半径和长度，η为管内外油的粘滞系数，β为油的体积模量，V为管内腔的体积．在我们研制的高温高压水听器中，$l_0=3$mm，$a=0.25$mm和0.1mm二种，管内外充硅油，其$\eta=2\mathrm{N\cdot S/m^2}$，$\beta=1.55\times10^9\mathrm{N/m^2}$，其截止频率分别为30Hz和1Hz．

为了能满足在高温条件下工作，除了采用能耐高温的工艺和氟橡胶作为透声窗外，我们还采用了居里点和矫顽场都高的铌锂型PZT压电陶瓷作为水听器的灵敏元件材料．

高温高压水听器的灵敏元件单元内部结构如图2所示．我们选用外径15mm，壁厚1mm，高15mm的径向极化圆管为灵敏元件，圆管的外表面电极分为二段，内电极连成一体，这相当于二个串联的圆管．

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

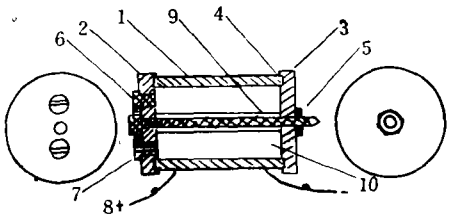

图 2 高温高压水听器的灵敏元件单元内部结构

1.陶瓷圆管，2.上端盖，3.下端盖，4.绝缘垫片，5.螺杆螺母，6.油孔螺丝，7.毛细孔螺丝，8.电极引线，9.支撑套管，10.硅油.

二、校 准 方 法

1. 常温常压下的校准

图 3 为我们所研制的高温高压水听器在常温常压下的接收电压灵敏度. 在 2Hz—300Hz 频段内由活塞发声器法进行校准，并由此可以观察到毛细管所引起的低频截止频率. 在 400 Hz—4kHz 的频率范围内由脉冲频谱法进行校准[3]. 在 4kHz 以上的频率范围内，用常规的水池脉冲比较法进行校准.

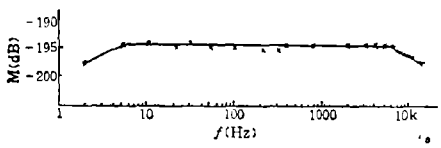

图 3 高温高压水听器在常温常压下的接收电压灵敏度 (0dB—1V/μPa)

2. 高温高压下的校准

水听器在高温高压条件下的校准是在一油腔中进行的，油腔高 290mm，直径 70mm，腔内充变压器油，油腔内部的变压器油可在常温、常压至 150℃ 和 1420atm 的范围内控制调节.

校准采用就地互易法[4]. 从理论上讲，电声换能器的互易校准方法，只要满足线性、无源和可逆的条件，在介质的任意边界条件下都可进行. 但有时因为边界条件太复杂或不清楚，互易参量不能计算出来. 可以使用一个已知灵敏度的水听器来进行互易校准，因为灵敏度是

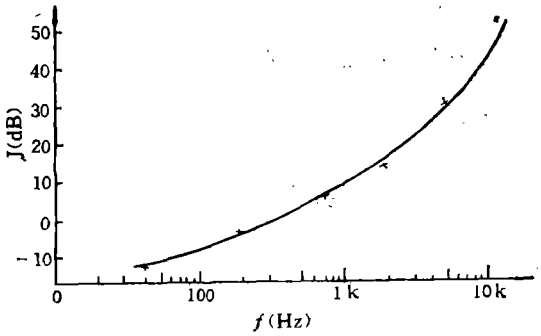

图 4 实际校准时的就地互易参量 J

已知的，则可利用互易校准的公式反过来计算互易参量，只要边界条件不变，则此本地的互易参量便是有效的. 根据这原理，我们先在常温常压条件下，在油腔内进行互易校准. 因为此水听器在常温常压下的灵敏度是已知的，并假定腔内液体的压缩系数受温度和压力的影响较小时，我们便可由计算得到在实际校准条件下的互易参量，如图 4 所示.

有了就地互易参量，我们就可在高温高压条件下进行就地互易校准了.

三、结 果 和 讨 论

校准时压力分别为常压、170、300、1000 和 1420atm，温度分别为 25、40、75、100、130 和 150℃等条件下进行校准，校准结果如图 5、6、7 所示.

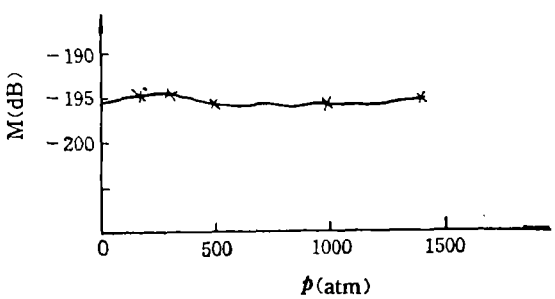

图 5 高温高压水听器接收电压灵敏度随静压力变化的曲线

通过高温高压水听器的研制和校准，我们可以得到如下的看法:

1. 我们研制的带毛细孔结构的水听器，可

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

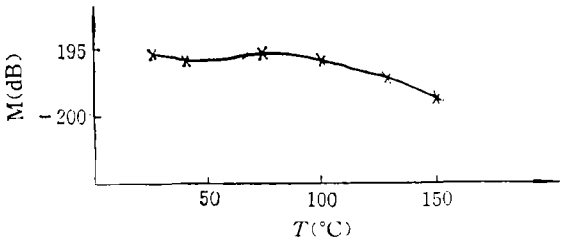

图 6　高温高压水听器接收电压灵敏度随温度变化的曲线

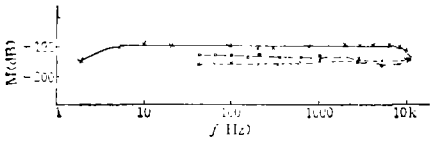

图 7　高温高压水听器接收电压灵敏度随压力和温度变化的曲线

——25℃，常压
—·—130℃，1000atm
----150℃，750 atm

在高温高压条件下进行工作．而且它具有较高的灵敏度和较宽频带的特点．它不仅可用于石油开发，而且可用于地质、地震研究和水声测量中．

2. 在静压力平衡状态下水听器的接收电压灵敏度从 1 到 1420atm，变化小于 1dB．

3. 温度变化对水听器的接收电压灵敏度影响较大，对铌锂型 PZT 压电陶瓷水听器，从 25℃ 到 150℃，灵敏度下降 3dB．

4. 对高温高压换能器的校准采用就地互易法，是一种简便的方法．但我们在这里假设了互易参量受温度和压力的影响较小，如蓖麻油在 25℃ 从常压到 1000atm 时压缩系数 β 值的变化小于 20%，但实际上变压器油在 150℃ 和 1420atm 时 β 值的变化又怎样？因此，我们的这个假设还有待以后验证．

在本工作研制过程中和徐其昌同志进行了有益的讨论．在实验和安装过程中得到了声学所高俊琴、王秀荣和西安石油仪器总厂研究所徐立民等同志以及北京无线电元件八厂的大力支持和帮助，在此特致谢意．

参 考 文 献

[1] 解宝兴，《第三次全国声学会议论文集》，1982．
[2] AD-778336．
[3] 朱厚卿，声学学报，**2**(1979)，143—145．
[4] R. J. Bobber，水下电声测量，国防工业出版社，1977，郑士杰译．

（上接第 44 页）

压力的关系进行了很多工作，R. F. Brown 等指出，压电陶瓷在平面压力下其介电损耗有所提高[3]；R. Y. Nishi 指出，单向压力会增加压电陶瓷的介电损耗[4]；Wilhelm 等又指出，压电陶瓷在高静压力下其强场介电损耗也会增加[5]．陶瓷极化使电畴极性方向作非 180°畴转向(如 90° 转向)，就在陶瓷内引起内应力．压电陶瓷的自然老化就是释放内应力和电畴趋向稳定的过程，因此老化过程中其强场介电损耗逐渐下降．γ 射线辐照能加速压电陶瓷释放内应力和电畴趋向稳定的过程，因此加速降低其强场介电损耗．

参 考 文 献

[1] 塩野喜久男等，エレクトロニク・セラミワス，**6** 秋号(1975)，50．
[2] 许煜寰等编，铁电与压电材料，科学出版社，1978，188．
[3] R. F. Brown and G. W. McMahon, *J. A. S. A.*, **38**-4 (1965), 570.
[4] R. Y. Nishi, *J. A. S. A*, **40**-2 (1966), 486.
[5] R. V. Wilhelm, M. G. Mclaren, Am. Cer. Soc. Bull., **54** (1975), 714.

以上工作得到本所陈守六、赵春山等同志的指导和帮助，特此致谢．

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net