

# 换能器的匹配

郑 渝

(清华大学现代应用物理系声学研究室 北京·100084)

关于换能器的匹配层阻抗值的选择,已有三种计算公式。由于三种公式所计算的阻抗值有较大差异,为了比较,以选择合理的匹配层阻抗值,本文用Mason等效电路直接计算换能器的频带及波形,比较了用三种公式所得阻抗值匹配的换能器的状态。并计算了匹配层厚度对换能器波形的影响。计算结果与实验结果吻合很好。可为匹配层材料及厚度的选择提供理论依据。

## Matching layer of the transducer

ZHENG Yu

(Department of Modern Applied Physics Tsinghua University)

In the medical ultrasonic test and NDT, It is often to use matching layer to improve wave shape and sensitivity of the transducer. There are three different formulas in theories of the matching layer. The impedance values of the matching layer calculated from different formulas are very different. We use Mason equivalent circuit to calculate the frequency band, the wave form and the sensitivity of the transducer. Theoretical and experimental results are in agreement. It provides a good basis for choosing the matching media and the thicknesses of the matching layer.

一个空气背衬的厚度振动换能器,若其负载为水,由谐振频率附近的等效电路可得:

$$Q \approx 34$$

即有30多个波振荡,以2MHz、PZT-5换能器为例,其传递函数的相对带宽仅为5.3%,见图1,在此状态下,通过如前匹配层可改善换能器的波形与灵敏度。

关于换能器的匹配问题,已有不少讨论,目前就存在三种不同的计算前匹配层阻抗值的公式。对相同的声负载,即可得到三个不同的匹配层阻抗值。以水为例,见表1。

为了对三个公式的结果加以比较,本文

用Mason等效电路进行数值计算,由频带及

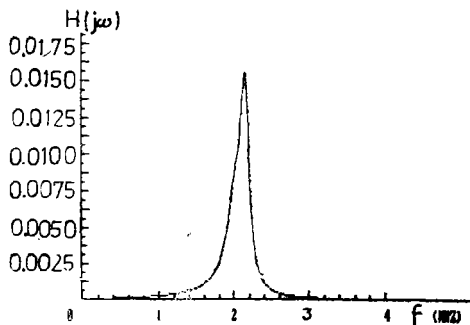


图1 无匹配层时传递函数

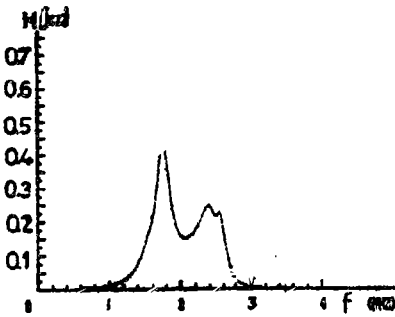
收稿日期: 1993-8-15

脉冲回波直接观察换能器的匹配状态，分别  
用表 1 中所列的匹配层阻抗值的计算，见图 2

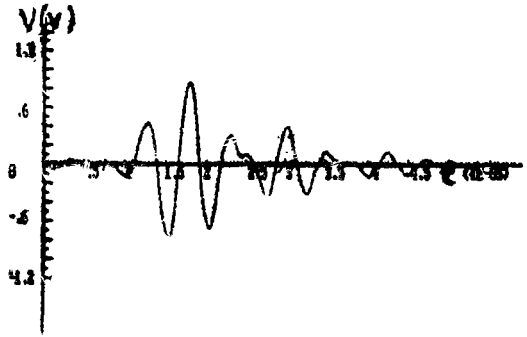
~图 4。以下计算及实验均以 2MHz, PZT-5  
换能器为条件。

表 1 三个公式所计算的阻抗值

	匹配层阻抗值公式	$Z_0 (\times 10^6 \text{kg} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$	$Z_R (\times 10^6 \text{kg} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$	$Z_p (\times 10^6 \text{kg} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$
陈锦灿 <sup>[1]</sup>	$Z_p = \sqrt{Z_0 \cdot Z_R}$	34.8	1.5	7.225
J. SOUQUET <sup>[2]</sup>	$Z_p = \sqrt[3]{2 \cdot Z_0 \cdot Z_R^2}$			5.39
C. S. DESILET <sup>[3]</sup>	$Z_p = \sqrt[3]{Z_0 \cdot Z_R^2}$			4.278

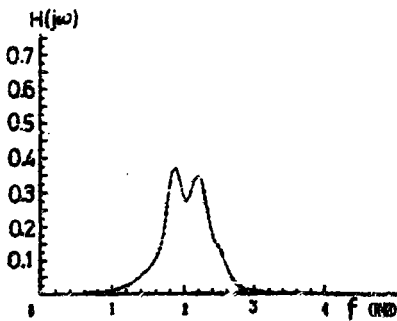


(a)  $Z_p = \sqrt{Z_0 \cdot Z_R} = 7.225$  换能器的传递函数

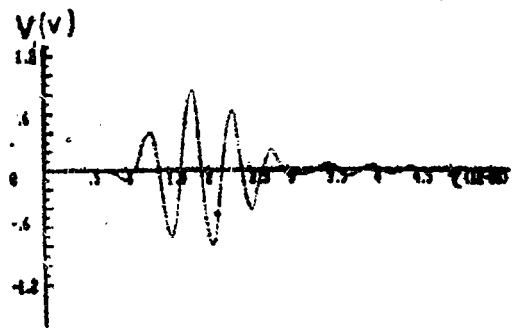


(b)  $Z_p = \sqrt{Z_0 \cdot Z_R} = 7.225$  换能器的反射回波

图 2



(a)  $Z_p = \sqrt[3]{Z_0 \cdot Z_R^2} = 4.278$  换能器的传递函数



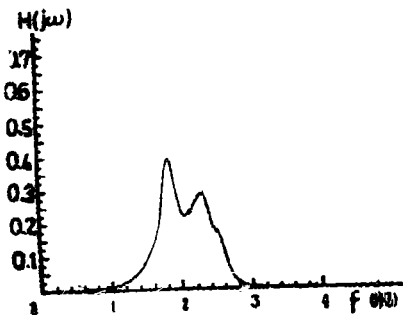
(b)  $Z_p = \sqrt[3]{Z_0 \cdot Z_R^2} = 4.278$  换能器的反射回波

图 3

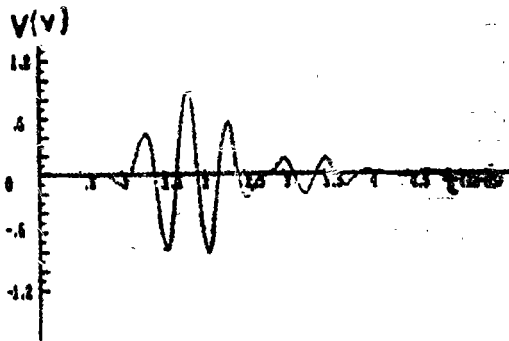
比较三种匹配状态下的频带及回波波形，可以看到，当匹配层的特性阻抗值选择在 4~6 之间，匹配效果较好。

实验与计算的结果表明，前匹配层的厚度也是影响换能器波形及灵敏度的一个重要因素。计算及实验结果比较见图 5~图 6。

从计算及实验结果可以看到，对于单层匹配的水浸探头，匹配层阻抗值选择在  $4 \times 10^6 \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$  到  $6 \times 10^6 \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$  之间，厚度较四分之一波长厚约大 6%~7%，匹配效果最佳。

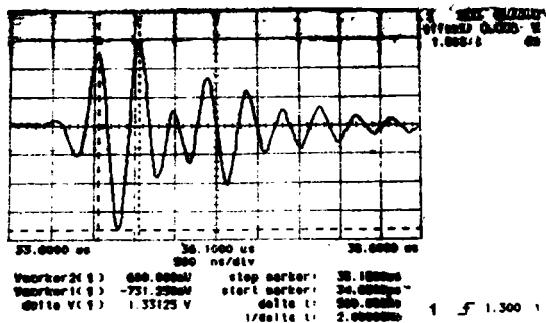


(a)  $Z_p = \sqrt[3]{2 \cdot Z_0 \cdot Z_R^2} = 5.39$  换能器的传递函数

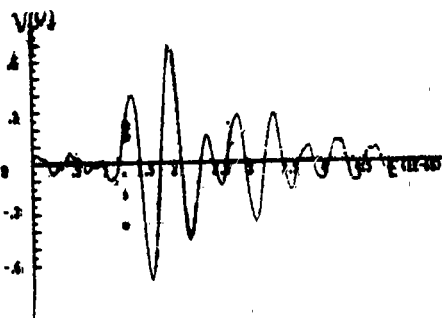


(b)  $Z_p = \sqrt[3]{2 Z_0 Z_R^2} = 5.39$  换能器的反射回波

图 4

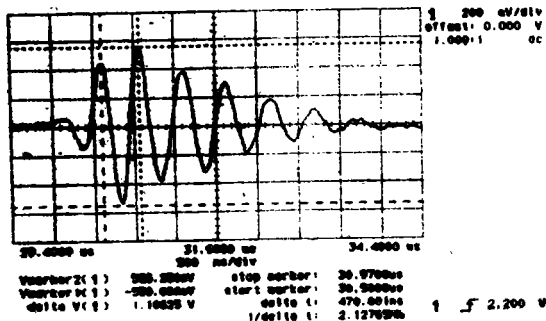


(a) 匹配层厚度较 $\lambda/4$ 厚41.9%换能器反射回波(实验结果)

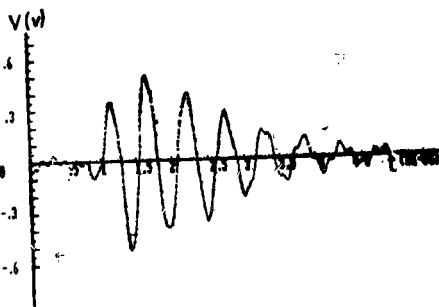


(b) 匹配层厚度较 $\lambda/4$ 厚41.9%换能器反射回波(理论计算)

图 5

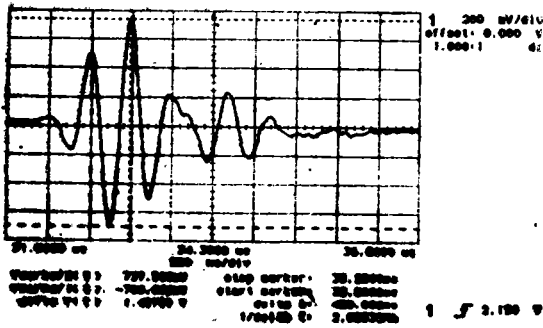


(a) 匹配层厚度较 $\lambda/4$ 薄30.2%换能器的反射回波(实验结果)

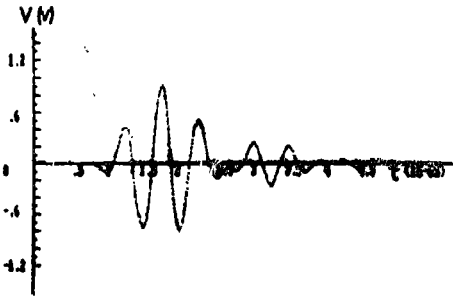


(b) 匹配层厚度较 $\lambda/4$ 薄30.2%换能器的反射回波(理论计算)

图 6



(a) 匹配层厚度较 $\lambda/4$ 厚6.9%换能器的反射回波(实验结果)



(b) 匹配层厚度较 $\lambda/4$ 厚6.9%换能器的反射回波(理论计算)

图 7

本文为作者的硕士论文工作的一部分,是在诸国桢先生悉心指导下完成的。在此向尊敬的导师表示衷心的感谢。

### 参考文献

1 陈锦灿. 具有四分之一波长匹配层的超声换能器频率特性. 无损检测, 1984; 7: 1~3.

2 Jacques Souquet. Design of low-loss wide band ultrasonic transducer for non-invasive medical application. IEEE Trans, SU 1979, March 26(2):75~81.

3 Charles S. Desilets. The design of efficient broad-band piezoelectric transducers. IEEE Trans., SU, 1978; May 25 (3):115~125.

## (产品信息)

### CL- II 型智能超声流量计在宁通过省级鉴定

随着流量学、声学及电子学的迅速发展,超声流量计的精度与稳定可靠性越来越高,备受工业计量领域的关注。目前,国家有关部门正在制定有关超声流量计的标准。在这样的历史背景下,由东南大学无线电工程系研制的CL-II型智能超声流量计在江苏省科学技术委员会主持下于1993年11月15日,在南京通过了专家的技术鉴定。

鉴定会认为,CL-II型样机对南京炼油厂管道的汽油流量和南京东方化工有限公司管道的化工液流量进行了工业运行,运行时智能超声流量计具有较高的测量灵敏度,测量精度和测量分辨率,性能稳定可靠、安装使用维护方便。与会专家还指出,经扬子石化公司计量中心站和南京炼油厂计量检测中心(均属江苏省计量局流量授权单位)标定,CL-II型智能超声流量计符合技术要求,且证明该样机计量流体流量相对误差小于1.5%。鉴定结论还指出,超声流量检测技术达到国内先进水平,该样机研制的超声换能器、信号质量保证技术和信号处理的稳健技术等方面在国内领先,有创新;经比较,该样机综合技术指标与1993年进口的日本富士牌超声流量计相当。

超声流量计是一项高新技术,在石油、化工、水电等领域有广泛的应用前景。因此与会专家建议该课题组进一步解决防爆和信号远距离传输等问题后将该机投入批量生产,替代进口,以满足国民经济发展需要。

(易全 余红)