# 用于高温无损检测的超声换能器

M.A.Garcia-Olias等

## 前　言

在生产过程中，当环境温度上升到高于100℃进行超声检测时，其超声换能器就需要进行特殊设计。而对管道中的高温液体进行在线流量检测则是一个特别令人感兴趣的研究课题。

本文将对用于100℃以上高温检测的(1—3)PZT聚合物复合换能器的研制作一报道，该换能器采用一种导电的聚酰亚胺树脂作为λ/4匹配层，它能承受550℃高温而不被分解。

## 材料说明与换能器设计

高温应用换能器的原型系一(1—3)压电陶瓷—聚合物复合体。压电材料为一直径25mm、频率3MHz的PZ—27陶瓷(Ferroperm, Denmark)；聚合物为聚酯树脂。这种作为λ/4匹配段的树脂是一种拌入银粉的银填料聚酰亚胺树脂(SYNTORG IP 680-Cemota, France)它是一种单组分聚酰亚胺，专门设计用来固定集成电路以形成框架。该树脂固化后显示出极好的导电性能(体积电阻率为$<50\times10^{-4}\Omega$cm)和良好的机械粘附力〔冲击抗剪强度(0.05×0.05 inches, ICs=3.2kg)〕。该树脂的最大特性是它具有耐高温性，完全凝固后，它能承受460℃高温。

由于缺乏聚酰亚胺声学特性方面的数据，我们采用标准方法测得体声速为2300 $ms^{-1}$、声阻抗率为6.9±0.4Mrayls。因铸造厚的试样很困难，故没有对声衰减进行测量，我们假定频率为2MHz时，衰减值将接近20 dB $cm^{-1}$[1]。

换能器制造过程如下，先按标准程序清洗陶瓷，然后将填银粉的聚酰亚胺浇铸到陶瓷的发射面上。由于该树脂具有高的玻璃转化温度，因此，在150℃和275℃之下分别进行固化程序30分钟。而这种热处理会出现两种不良的情况：第一，是引起陶瓷局部退极化，这就必须再进行极化处理；第二，由于陶瓷和树脂的热膨胀系数不同，因而在其界面上会产生热应力现象，这些应力将可能导致陶瓷—树脂结构的变形。

该树脂浇铸后，按照1—3复合物的典型制作程序，从陶瓷背面进行切割[2]，切割深度与陶瓷厚度相等，然后采用真空技术将聚脂灌入凹槽中，并进行固化，最后，将该复合物喷镀金属，使陶瓷棒之间重新导电。

在该制造阶段，把换能器放入一个形状、材料、大小均适用的外壳中，这里必须提请注意，被用作匹配层的树脂具有导电性，这对换能器接地连线的设计会非常有用。

## 换能器特性

图1和图2所示分别为输入阻抗与频率和超声脉冲回波信号关系曲线。该阻抗的测量是在发射面为水负载并且换能器背面无负载(无背衬)的情况下进行的，并采用一台

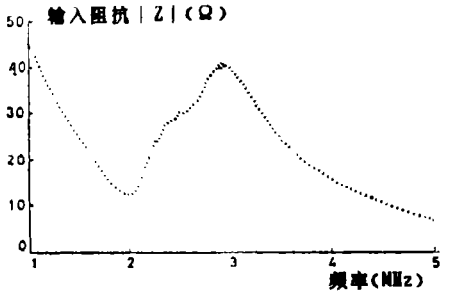



图1　换能器输入阻抗 | Z | 与频率的关系曲线。水负载和空气背衬。

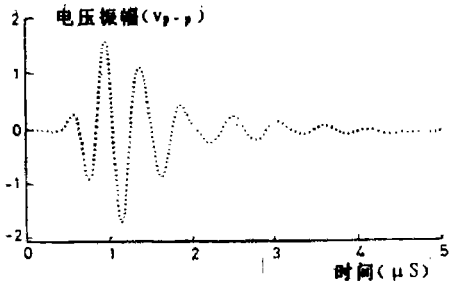



图2　换能器的脉冲回波响应　匹配电路由一只2.3 μHr并联电感和200Ω阻尼电阻组成。

HP4194 阻抗分析仪。我们按常规方法使用Panametric UA5052超声分析仪[3]获得了脉冲回波信号。电匹配是借助于一只2.3μHr并联电感及200Ω阻尼电阻来完成。我们观察到在20dB时的脉冲宽度为2.5μs。图3是所测得的两路插入损耗。该换能器的频带宽度为36%，频率在2.2MHz时，插入损耗最小，为－2.5dB，脉冲回波中的回路增益为－26 dB[4]。

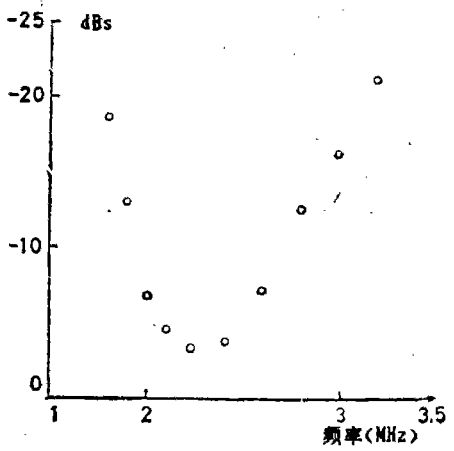



图3　换能器两路插入损耗
中心频率为2.25MHz。

## 温度试验

使用一只温控油槽来试验换能器随温度变化的特性。槽内放入轻质油，这种油的阻抗与水非常相似。整个试验周期为10天，温度在15℃～110℃循环。试验包括记录整个试验期内在不同温度下换能器的脉冲回波信号。声信号被位于油槽底部的一块平钢块反射，该平钢块距离换能器表面150mm，同时还使用 Panametric UA5050超声分析仪和HP54200A示波器。

图4所示的温度试验表明换能器的性能不随温度而发生变化。峰—峰电压值在相同温度下随时间而保持不变，不同温度下，电压振幅只出现微小的差别，这是由于液体的声学特性所致。因为油的声速会随温度而变化。在20℃时，其声速为1470ms$^{-1}$，而温度上升至150℃时，声速则为1 070sm$^{-1}$。有关这种油的声衰减随温度而发生变化方面的资料尚未获得。脉冲回波信号的测量中存在一些实验上的问题，由于液体容器的局部加热在液体中产生了对流运动，从而导致了回波信号形状的改变，为此，采用了分步控制加热方法来代替连续加热，以消除这一影响。

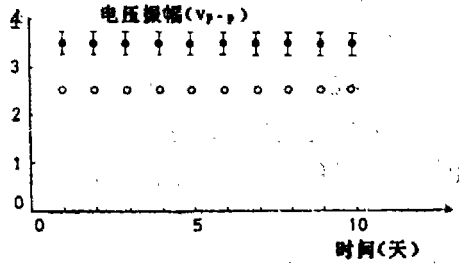



图4　换能器脉冲回波幅度的温度特性。(∘)为20℃；(·)为115℃，由于液体的对流运动，在115℃时电压测量会出现±0.2V误差。

## 结　论

宽带换能器的匹配段采用导电聚合物，从工艺角度上讲是非常有益的。假如选择耐高温的聚合物，将可能研制出一种宽带换能器，以适应接触式高温流体的检测。我们使用的填银粉聚酰亚胺树脂具有很高的热分解温度，因此，用于高温检测的换能器结构中唯一受到限制的是压电陶瓷的温度特性，采用高居里点压电陶瓷(例如钛酸铋)，能使宽带换能器结构承受比实验中所达到的还要高的温度。本文所阐述的换能器声学特性与带一个匹配层和无背衬的(1—3)复合物的特性相似[2]。

高玉译自《Ultrasonic》1990；28(1)：
50～51