

混合液体介质的特性声阻抗

卢义刚 彭建新

(华南理工大学应用物理系 广州 510641)

仝 杰 董彦武

(陕西师范大学应用声学研究所 西安 710062)

1997 年 12 月 15 日收到

摘要 本文从理想混合液的基本假设出发,由声速公式导出了混合液的特性声阻抗表达式。在此基础上对二元混合液的特性声阻抗进行了讨论。对甘油和乙醇,进行了混合实验,由本文导出的公式所计算出的混合液的特性声阻抗值与由实验所测得的值符合较好。

关键词 特性声阻抗,液体,混合液,二元混合液

Characteristic impedance of a liquid mixture

Lu Yigang Peng Jianxin

(Department of Physics, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

Tong Jie Dong Yanwu

(Applied Acoustics Institute, Shaanxi Normal University, Xian 710062)

Abstract The characteristic impedance of the mixture of ideal liquid is computed. The characteristic impedance of binary liquid mixture is further analysed, for the derivation of the inverse values. For glycerine mix with alcohol, the computed impedance agrees with the experimented.

Key words Characteristic impedance, Liquid, Liquid mixture, Binary liquid mixture

1 引言

在超声检测中,往往需要寻找阻抗匹配材料,液体介质的特性声阻抗是判断其能否作为耦合剂的主要依据。因此,如果能给出混合液的特性声阻抗与各组分特性声阻抗和浓度之间的关系,就可配制任意特性声阻抗值的混合液。在实际应用中,这对于寻找所要的匹配液体介

质(耦合剂)具有指导意义。

2 理想混合液的特性声阻抗

对于多元混合液,有如下关系^[1,2]:

$$V\rho = \sum_{i=1}^n M_i X_i \quad (1)$$

$$V = \sum_{i=1}^n V_i X_i + V^E \quad (2)$$

$$V_i = M_i / \rho_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1 \quad (4)$$

其中 V , ρ 是混合液的摩尔体积和密度, M_i, V_i, ρ_i, X_i 分别代表第 i 组分的分子量, 摩尔体积, 密度和摩尔分数, V^E 是液体混合时的超额摩尔体积, n 是组分的总分数。

对于理想混合液 $V^E=0$, 则

$$V = \sum_{i=1}^n V_i X_i \quad (5)$$

由 (1) 式和 (5) 式有

$$\sum_{i=1}^n V_i X_i = \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^n M_i X_i \quad (6)$$

将 (3) 式代入 (6) 式有

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i X_i}{\rho} = \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^n M_i X_i \quad (7)$$

由声速的定义有:

$$C^{-2} = (\partial \rho / \partial P)_S \quad (8)$$

脚标 S 代表等熵过程。

将 (7) 式两边对压强 P 求偏导数, 并考虑到 $\frac{\partial M_i}{\partial P} = 0$ 及 $\frac{\partial X_i}{\partial P} = 0$, 有:

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i X_i}{(\rho C)^2} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i X_i}{(\rho_i C_i)^2} \quad (9)$$

将 (9) 式化为如下形式

$$(\rho C)^2 = \sum_{i=1}^n (M_i X_i) / \sum_{i=1}^n \left[\frac{M_i X_i}{(\rho_i C_i)^2} \right] \quad (10)$$

即混合液的特性声阻抗为

$$Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i X_i) / \sum_{i=1}^n \left[\frac{M_i X_i}{Z_i^2} \right]} \quad (11)$$

其中 $Z_i = \rho_i C_i$ 为第 i 组分的特性声阻抗, 由 (11) 式可知, 如果已知各组分的摩尔分数, 分子量

应用声学

和特性声阻抗, 就可以求出混合液体介质的特性声阻抗。反过来, 要寻找某一特性声阻抗值的液体介质, 可以通过选择适当的组分和改变各组分的摩尔分数的方法来实现。

3 二元理想混合液的特性声阻抗及其反转推算

对于二元理想混合液有

$$X_1 + X_2 = 1 \quad (12)$$

$$Z^2 = (M_1 X_1 + M_2 X_2) / \left(\frac{M_1 X_1}{Z_1^2} + \frac{M_2 X_2}{Z_2^2} \right) \quad (13)$$

两边对 X_1 求导有

$$\frac{dZ^2}{dX_1} = M_1 M_2 \left(\frac{1}{Z_2^2} - \frac{1}{Z_1^2} \right) / \left(\frac{M_1 X_1}{Z_1^2} + \frac{M_2 X_2}{Z_2^2} \right)^2 \quad (14)$$

由 (14) 可以看出, 当 $Z_1 = Z_2$ 时, Z 取极值, 此时 $Z = Z_1 = Z_2$, 混合液的特性声阻抗与两组分的分数无关; 当 $Z_1 > Z_2$ 时, $dZ^2/dX_1 > 0$, Z^2 是关于 X_1 的增函数, 即随着 X_1 的增加, 混合液的特性声阻抗增加, 当 $X_1 = 1$ 时, $Z = Z_1$ 最大; 当 $Z_1 < Z_2$ 时, $dZ^2/dX_1 < 0$ 或 $dZ^2/dX_2 > 0$, 混合液的特性声阻抗是关于 X_2 的增函数, $X_2 = 1$ 时, $Z = Z_2$ 最大。由此可以看出: 理想二元混合液的特性声阻抗值总是介于两组分的特性声阻抗之间。这是寻找特定的特性声阻抗介质的基本依据。

联立 (12) 式和 (13) 式, 有:

$$X_1 = \frac{M(1 - Z^2/Z_2^2)}{M_2(1 - Z^2/Z_2^2) + M_1(Z^2/Z_2^2 - Z^2/Z_1^2)} \quad (15)$$

如果我们要配制满足某一特性声阻抗值的二元混合液, 则可以从基本依据出发, 结合 (15) 式, 求出组分 1 的摩尔分数 X_1 , 从而确定组分 2 的摩尔分数, 这样的混合液体介质即为我们所要寻找的耦合剂。

表 1 甘油 (X_1)- 乙醇 (X_2) 混合液特性声阻抗测量值与计算值 ($t=10^{\circ}\text{C}$)

X_1	ρ ($\times 10^3\text{kg/m}^3$)	C (m/s)	$Z(\times 10^6\text{kg/m}^3\cdot\text{s})$	
			(11) 式计算值	测量值
0	0.789	1210	0.955	0.955
0.1	0.070	1259	1.038	1.095
0.2	0.907	1328	1.127	1.205
0.3	0.957	1354	1.176	1.296
0.4	0.998	1464	1.230	1.461
0.5	1.054	1510	1.448	1.586
0.6	1.102	1612	1.582	1.776
0.7	1.116	1649	1.737	1.840
0.8	1.139	1750	1.922	1.993
0.9	1.190	1772	2.151	2.109
1.0	1.261	1939	2.446	2.446

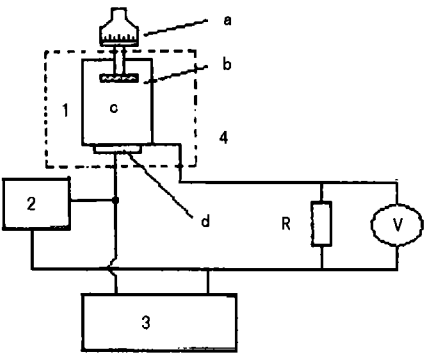


图 1 声速测量原理

- 1- 超声干涉仪 (a 螺旋测微仪 b 反射板
c 待测液体 d 压电晶片)
2- 正弦连续波发生器 3- 频率计
4- 恒温器

4 混合液特性声阻抗的测量

混合液密度 ρ 用比重瓶法作比较测量, 参考介质为蒸馏水。混合液声速用变程干涉仪测

量, 其原理如图 1 所示。测量中采用固定频率声波, 改变晶片到反射板的距离, 使入射声波与反射声波叠加达到驻波共振状态, 从而测定波长, 最后求出声速 $C^{[3]}$ 。

从表 1 数据看出, 由 (11) 式计算出的甘油 - 乙醇混合液的特性声阻抗值与实验测量值符合较好。

参 考 文 献

1 张俊杰. 声学学报, 1985, 10(3): 190-197.
2 钱祖文. 非线性声学. 北京: 科学出版社, 1992.
3 别尔格曼. 超声. 北京: 国防工业出版社, 1964.
4 Fort R J, Moore W R. Trans. Faraday Soc., 1965 61 : 2102.
5 Prakash S, Sing S K, Prasad N, Prakash O. Acoustics letter, 1981 4: 132.
6 Sivanarayana K, Kushwah R M, Kumar A, Parkash S. Acustica, 1982 50: 286.