

医学超声用吸声与透声硅橡胶

凤岐 张雪萍

(中国科学院声学研究所)

研究表明: 1. 粉末填充 RTV 硅橡胶的声特性阻抗与混合法则的预计基本相符, 而且当填料具有高阻抗时, 复合体系的相应参数主要取决于填料的含量; 2. 粒度适宜的高密度或疏松型粒子, 粒径与波长相近的大粒子, 以及填料粒子的密集填充, 均是造成高衰减的因素; 3. 采用二元或三元配方获得的 SAG 和 STG 系列硅橡胶基复合材料, 与人体软组织(以及水和某些油类)阻抗匹配良好, 衰减高低悬殊, 可分别用作医学超声设施的吸声与透声材料。

一、引言

在医学超声仪器中, 获得优质图象和丰富信息的重要手段之一, 就是采用适当的声学材料, 其中包括与人体软组织(以及水和某些油类)声阻抗匹配的超声频吸声与透声材料。除满足声学方面的要求外, 这些材料还应具备以下特点: 1. 有一定的机械强度; 2. 与相邻介质(特别是液体)有良好的相容性; 3. 制作简便。然而, 国内现有声学材料均难满足这样多方面的要求。为了适应医学超声工程发展的需要, 我们在研究粉末填充 RTV 硅橡胶超声频声学特性的基础上, 选择适当的二元或三元配方, 获得了基本符合上述要求的声学材料, 并已提供实用。

二、粉末填充 RTV 硅橡胶的声学特性

根据本工作的目的, 材料各项声学参数中最重要的是其特性阻抗和衰减常数, 特别是二者的变化规律。

物理

1. 声特性阻抗

以往的工作^[1]表明, 纯的或低度填充的 RTV 硅橡胶具有与液体十分相近的泊松比。由此可以设想, Urick 针对悬浮液提出的混合法则^[2], 也可望适用于粉末填充 RTV 硅橡胶这样的复合体系。根据悬浮液的等效密度和声速公式可以导出, 若粉末填充 RTV 硅橡胶中第 i 个组份的阻抗为 Z_i , 重量分数为 W_i ($i = 1, 2, 3, \dots, i = 1$ 指胶料), 则复合材料的声阻抗当为

$$Z = \left(\sum \frac{W_i}{Z_i} \right)^{-1/2}.$$

我们以硫化前具有低粘度的国产 RTV 硅橡胶为基料, 分别与十几种不同填料组成二元复合物, 测得它们的密度和声速(方法见文献[1]), 并将二者乘积与按混合法则算出的阻抗预计值相对照。图 1 给出了分别采用钨、铜、硅石、聚氯乙烯、二氧化钛五种填料时复合物声阻抗(已

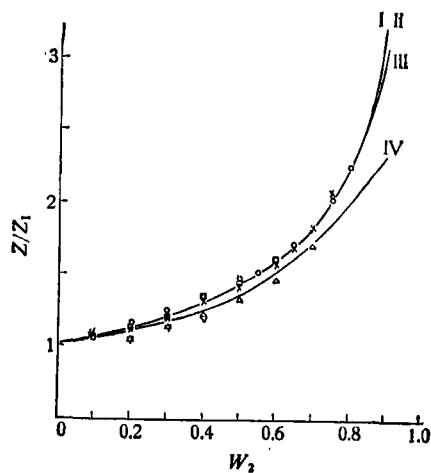


图 1 一些填充配方声特性阻抗与填料含量的关系
(—○—钨, —□—铜, —×—二氧化钛, —△—硅石, —▽—聚氯乙烯)

用纯胶参数归一)与填料重量分数的关系。图中实线是前四种情况的阻抗预计值。由该图可见,粉末填充 RTV 硅橡胶的声特性阻抗与混合法则的预计基本相符,而且当填料具有高阻抗(如 $Z_2/Z_1 > 15$)时,复合物的相应参数主要取决于填料含量,而与填料品种关系不大。

2. 声衰减常数

关于橡胶中声衰减的数据可见之于许多文献,而且绝大部分实用橡胶都含有填料;然而,关于粉末填充橡胶中超声衰减的一些规律,却很少报道。在本项工作中,我们研究了分别采用品种、粒度、粒子形状和微细结构不同的十几种填料时,复合物的声衰减特性。图 2 是在室温和 550kHz 频率条件下用水浸法测得的部分结果。在测量频率下,钨和二氧化钛粉末粒径均不及波长的 1/10。由该图可见,采用密度为纯胶数倍的密实填料时,随填料含量的增加,复合物的声衰减常数先升而后降,呈现出悬浮液特有的粘滞损耗峰^[3],而当达到填充极限时,由于粒子紧密接触和浸润不佳,衰减值骤然上升。表 1 列出了硅石含量相同 ($W_2 = 0.6$) 而粒径不同的六种试样在 550kHz 时的衰减常数值。在测量频率下,样品中声波波长约为 2mm。显

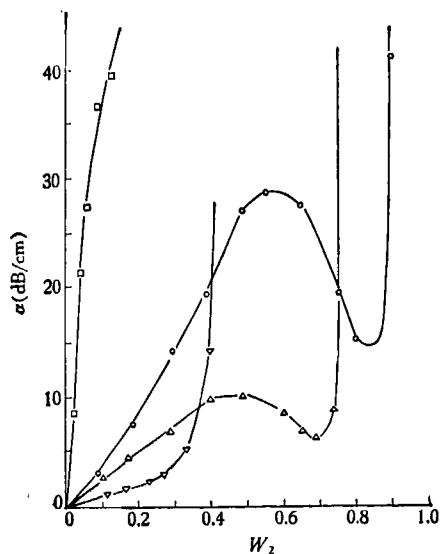


图 2 一些填充配方声衰减常数与填料含量的关系 (—○—钨, —□—硅石, —△—二氧化钛, —▽—石墨)

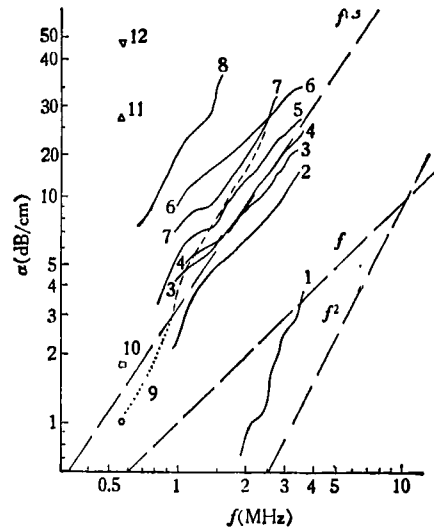


图 3 一些填充配方及纯 SDL-1-41 衰减常数随频率的变化

表 1 配比相同时填料粒径对衰减常数的影响

粒径范围(μm)	<56	56—125	125—250	250—500	500—1000	1000—2000
衰减常数(dB/cm)	6	14	13	8	13	59

表 2 图 3 中各配方情况

编号	材 料	填料粒径(μm)	填料含量 W_2
1	SDL-1-41		
2	SDL-1-41 + 硅石	<56	0.1
3		56—125	0.1
4		56—125	0.2
5		<56	0.2
6		<56	0.3
7		56—125	0.3
8		125—250	0.5
9		STG-1	
10	STG-2		
11	SAG-1		
12	SAG-2		

然,正是在填料粒径与波长相近的条件下,复合物的声衰减常数呈现很高的值。上述结果给我们以这样的启示,即粉末填充 RTV 硅橡胶具有与海洋沉积物十分相似的声衰减机制(粘滞摩擦固体摩擦、粒子散射)^[4]。至于具有可压缩性的蛭石粉导致的高衰减,则是以粘弹性损耗为主的橡胶类材料特有的。

作为实用声学材料，人们尤其关心其衰减常数随频率的变化规律。图3所示是部分配方及纯 SDL-1-41 硅橡胶在 0.5—3.5 MHz 频段内的情况。各曲线的数据是用脉冲回波法测量并经频谱分析获得的。各数码相应配方的详细情况如表2所列。曲线2—8各配方声速约为 1000m/s。可以看出，在填料粒径小于波长(即以粘滞摩擦为主)时，复合物的衰减常数约与频率的 1—1.5 次方成比例。

三、定型配方举例

上节内容说明，欲使粉末填充 RTV 硅橡胶具有与人体软组织匹配的声阻抗，可供选择的填料是很多的；然而，欲使复合材料在满足阻抗要求的同时还具有所需要的声衰减特性，则必须在填料品种和粒径方面慎重选择，以便有效地利用或削弱各种声衰减机制的作用。此外，为了保持 RTV 硅橡胶浇铸成型的优点，实用配方在硫化前应具有足够的流动性。

表3所列是几个定型配方的声学参数值(衰减值亦见图3)，其中 SAG 为吸声材料，STG 为透声材料。图4是 500kHz 时 STG-2 与相应纯胶薄片(厚 1mm)在水中往返两次透

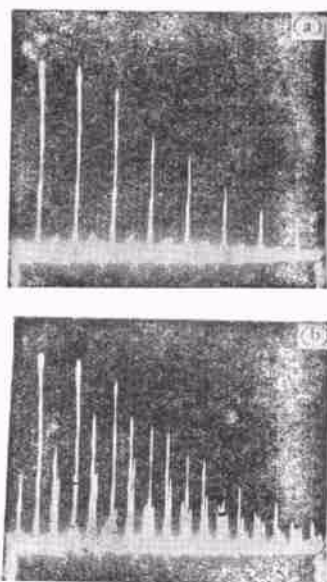


图4 STG-2 (a) 和相应纯胶 (b) 透声情况对比

物理

射的对比，可以看到，由于阻抗匹配的改善，STG-2 的反射杂波明显减弱。两种吸声配方，不仅具有所需要的声阻抗，衰减常数也很高，当使用频率下限为数百千赫时，数毫米胶层即可达到吸声 99% (回声降低 20dB) 的效果。还应指出，当用于宽频带时，由于实际材料中声衰减常数-频率关系的复杂性，在工作频率的高端，衰减常数可能过高以致影响阻抗匹配；而在有些应用中，则希望以尽可能薄的层达到回声降低 35dB 以上的吸声效果。为了获得宽频带高效吸声敷层，我们特意将其表面浇铸成锯齿形起伏，或者采用双层结构。图5是 500 kHz 时 SAG-2 吸声敷层(连锯齿在内厚约 3.8mm)与扁平铝空气腔(近似全反射末端)正入射反射情况的对比。经用 TSD-1 型超声波探伤仪在 0.5, 1.25, 2.5, 5MHz 四种频率下测试表明，这种吸声敷层可使铝空气腔的反射减弱 35dB 以上。表3中所列配方均采用浇铸成型、室温硫化工艺，原料全系国产，硫化胶对水和植物油有

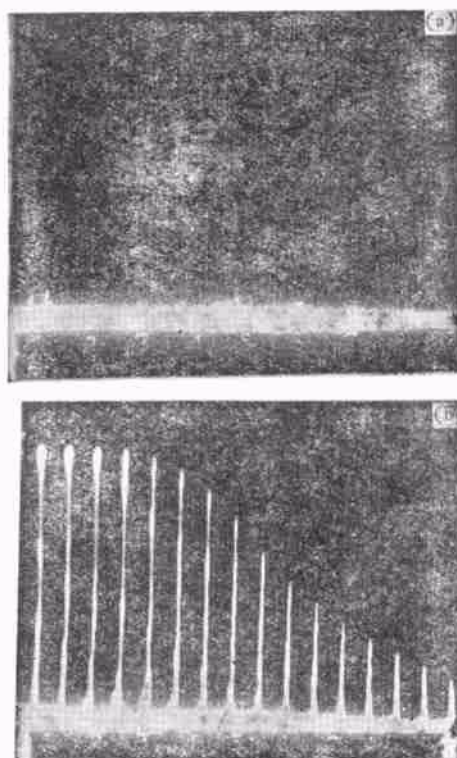


图5 SAG-2 吸声敷层 (a) 和铝空气腔 (b) 反射情况对比

表3 几种定型配方的声学特性

型号	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$c(\text{m/s})$	$\alpha(\text{dB/cm})$ ($f = 550\text{kHz}$)
STG-1	1.45	1000	~1
STG-2	1.36	1000	1.8
SAG-1	1.64	890	47
SAG-2	1.92	810	27

良好抗耐性,有的已正式用于医学超声及水下

超声设施。

本工作得到徐其昌副研究员的指导和王九奎、郝龙胜、张同根、周静华等同志的帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 牛凤岐、张雪萍,应用声学,1(1982),39.
- [2] R. J. Urick, *Journal of Applied Physics*, 18(1947), 983.
- [3] R. J. Urick, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 20(1948), 283.
- [4] C. McCann et al., *Geophysics*, 34(1969), 882.

第一届全国低温物性物理学术讨论会在南京召开

第一届全国低温物性物理学术讨论会,简称LTP-1,于1983年11月2—5日在南京召开。管惟炎同志主持会议,并就低温物性研究进展及其重要性作了报告。

由于在低温下物质处在量子力学基态或低激发态,便于实验研究和理论工作的比较。低温下出现宏观尺度的量子效应。同时,分子热运动的减弱也使物质中一些人们了解较少而又较弱的相互作用得以显现。极低温作为一种极端条件为人们打开了新的研究领域。因此,在物理研究中低温物理有着特殊的重要性。

会上交流的论文有50多篇,内容涉及晶态、非晶态、有机固体和量子液体等多种物质,以及低温下的电导、比热、热导、磁化率、迁移率、超声吸收、喇曼光谱、非弹性电子隧道谱、介电常数、计算机技术在低温物性

测量中的应用等多方面的物性测量。有的工作填补了国内研究领域的空白,有的工作已达到或接近国际水平。会上宣读的论文大部分属实验研究工作,也有若干理论方面的研究成果,涉及低温电导、超流模式、准粒子能谱等领域。有相当数量的应用研究,包括磁场测量、低温温度计、超导强磁场、冷冻医疗以及低温下合金脆性等,引起代表们的兴趣。

国内低温物性研究虽然起步较晚,有的甚至刚刚开始,但从这次会议来看,低温物性研究在我国已经有了一定的发展。与会代表一致认为:今后每两年定期召开这样的学术会议是很有必要的,并积极创造条件,尽快开展国际学术交流。会议建议LTP-2安排在1985年春末夏初。

(张长贵 吴荣青)

第一届“科学和工业中温度测量及控制”学术讨论会在北京召开

由中国物理学会主持,中国科学院物理研究所、上海光机所、上海硅酸盐所、电子工业部第十一研究所、北京钢铁学院、山东大学晶体学研究所等六单位筹备的第一届“科学和工业中温度测量及控制”学术讨论会于1983年11月22日至26日在北京召开。

中国物理学会名誉理事褚圣麟在开幕词中指出,温度与生命活动息息相关,它作为物理学的一个基本量,如何测得准、控制得好,对“四化”建设意义很大。

会上64名代表围绕“新材料、新器件、新方法”、“温度程序控制”、“红外测温技术”、“计算机及微处理器的应用”、“低温测量”等六个专题宣读了54篇论文。

会议认为,温度测量及控制已渗透到国民经济各个领域,直接影响到能源的开发、利用和节约,是一门

关系到科学研究的发展,并与多种工业产品的产量和质量提高密切相关的应用学科。长期以来,我国在这个领域的工作比较分散,缺少学术交流,因而影响了我国基础学科的研究以及冶金、材料、机械及国防等工业部门的发展。

会议还认为,温度测量及控制的进一步发展,有赖于物理学基础研究,有赖于应用热学、光学、声学、电子学以及激光、红外、光导纤维等技术手段。

会议一致推荐中国科学院物理研究所等十一个单位组成第二届“科学和工业中温度测量及控制”学术讨论会组织委员会,由中国科学院学部委员李林任主任委员。第二届讨论会拟订于1985年召开。

(郝天佑)