

用声透射损失测气 - 水混相介质中的含气量

高永慧

(承德石油高等专科学校 承德 067000)

1997年10月5日收到

摘要 本文利用超声检测中的穿透法,用频率为0.5 MHz、1 MHz、1.25MHz、2MHz、2.5MHz的声波,测量了气-水混相介质中的声速比值和声透射损失。结果表明:在气泡大小、分布一定的情况下,可能用声透射损失来确定混相介质中的含气量,但不宜用声速比值。

关键词 声速比值,声透射损失,含气量

Concentration of entrained air in air-water mixture as measured by sound transmission loss

Gao Yonghui

(Chengde Petroleum of College, Chengde 067000)

Abstract The ratio of acoustic velocities and the sound transmission loss were measured in air-water mixture at frequencies of 0.5MHz, 1MHz, 1.25MHz, 2MHz, 2.5MHz. The experimental results indicate that the concentration of entrained air might be determined by using the sound transmission loss, but it can not be determined by using the ratio of acoustic velocities.

Key words Ratio of acoustic velocities, Sound transmission loss, Concentration of entrained air

1 引言

如果介质中只有一种物质,而且其性质处处相同,则此介质称为均匀介质;若介质中包含二种或二种以上的物质,则这种介质称为混相介质,例如当水中含有气泡时构成气-液二相混相介质,原油中含有水和气构成气-液三相混相介质。超声波在这种介质中传播时,要受到介质的散射作用和吸收作用。所以介质中的声学量和介质的性质及状态有关,通过对这

些声学量的测量可以了解被测介质的特性和状态变化。本文通过对空气-水混相介质中的声速比值和声透射损失的测量,可以了解声速比值和声透射损失随含气量的变化关系,对实现用声学量测量气-液混相介质中的含气量具有重要意义。

早期测量气-液混相介质中含气量的方法^[1],精度都比较低,且设备粗糙。在五十年代及六十年代初期,许多人用同位素(γ 射线)来测量气-液混相介质的浓度,但只能测沿射线的

平均掺气浓度，而且放射性污染的防护，限制了它的广泛应用。其它测量方法，如电测法、光学法、微波法、热学法等也有不同程度的缺陷，从发展角度看，应着眼去研究超声波测量技术。

2 基本原理 [2,3]

在气 - 水混相介质中，气泡对声波衰减主要有以下两个方面原因：

(1) 散射现象，当超声波在介质中传播时，一部分超声波将被气泡散射开来，不在沿原来的方向前进，仅有余下的一部分是沿原来的方向前进的，这就形成了散射衰减。散射衰减对超声波作用的大小，随气泡的平均直径 D 和波长 λ 的关系而变化。

(2) 阻尼现象，小气泡阻尼原因有二：一是其形变过程中热传导损耗。二是气泡振动，液体对气泡面振动产生一粘滞阻力作用，因而小气泡振动过程中把部分入射波的能量变成液体分子的无规则热运动。当超声波频率为气泡的共振频率时，气泡处于共振状态，气泡对声波衰减最强。

声衰减的绝对值测量比较繁琐，在实际应用中往往只测量其透射损失。即：

$$TL = 20 \log \frac{A_0}{A_T}$$

A_0 是水中不含有气泡时接收探头所接收信号的幅值， A_T 是声波通过气 - 水混相介质后接收探头所接收到的信号幅值。 TL 反映的仅是液体中由于气体的掺入而引起的衰减情况，它是总衰减中的一部分。声速的计算比较简单，用声程除以声时，即： $v = l/t$ 。

3 实验装置

实验装置由三部分构成：供气部分、气 - 水混合部分、测量部分，如图 1 示。

供气部分：由 J2126-1 型气源提供，调整电机的转速可以改变气源的出气量。由于加负载后，气压并不稳定，所以另外加一个缓冲罐，

应用声学

以稳定气压。

气 - 水混合部分：由玻璃槽和气槽组成，气槽的顶部装有 3mm 厚的铝板，铝板上钻有 93 个直径为 1mm 的小孔。气槽的侧面上装有六个直径为 8mm 的进气孔，进气孔由硬胶管和变孔径接头相连，变孔径接头由胶管与缓冲罐相连，变孔径接头上装有 2 个改变气量的装置，一个粗调，一个细调。

测量部分：由对气 - 水混相介质中的含气量测量部分和声透射损失、声速测量部分组成。含气量的测量部分由倾斜 30° 的倒 U 形管通过测量压差来反映气 - 液混相介质中的含气量 [4]。声透射损失、声速这两个声学量的测量，用 CTS-8002 探伤仪。由于在测量过程中，混相介质处于非静态，所以每一数据点，都要利用仪器的平均功能进行多次平均，并在不同位置测量，最后取其平均值，以反映气 - 水混相介质的真实情况。

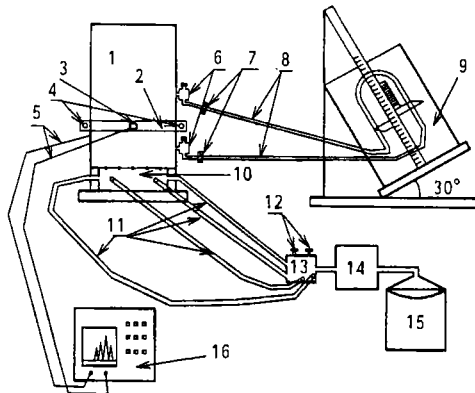


图 1 实验装置示意图

- 1 气 - 液混合槽， 2 探头夹持器， 3 探头，
- 4 固定螺丝， 5 导线， 6 气 - 液分离室，
- 7 阻尼夹， 8 引压管， 9 倒 U 形管测压差装置，
- 10 气槽， 11 进气管 12 气量改变器，
- 13 变孔径接头， 14 缓冲罐， 15 气源，
- 16 CTS-8002 探伤仪。

4 实验结果

4.1 声速比值与含气量间关系的测定

用频率为 0.5、1、1.25、2、2.5MHz

的探头，对气 - 水混相介质的声速、声透射损失进行测量。为避免温度变化对所测声速的影响，用气 - 水混相介质中所测声速与无气水中声速的比值来反映含气量的变化。声速比值与含气量间的变化关系如图 2 所示。

从图 2 可以看出，气 - 水混相物质的声速比值随含气量增加在变小，但变化不大，最大变化约为 9m/s，在 0-6% 这段含气范围内声速基本上没有变化。这说明超声波在气 - 水混相介质中，或直接从水中穿过，或经气泡反射后再在水中穿过，并没有穿过气泡，所以这与由混相介质的弹性模量和密度推导出的声速是不同的。从图 2 中还可看出：在所测含气量范围内，不同频率声速变化率都比较接近，没有明显的频散现象，这与理论上是一致的^[5]。

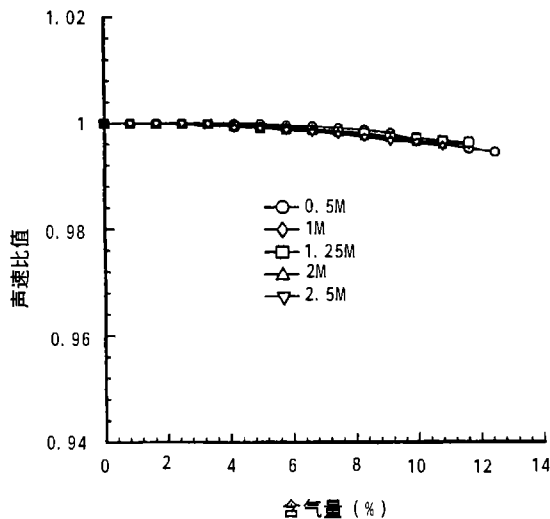


图 2 气 - 水声速比值与含气量间的关系

4.2 声透射损失与含气量间关系的测定

对于气 - 水混相介质中的声透射损失与含气量间的关系如图 3，其拟合的曲线方程如表 1。

从图 3 可以看出：声透射损失随含气量的增加呈曲线上升，对于这种曲线给它分成三个区：低含气区 (0-3.3% 左右)，过渡区 (3.3-6% 左右) 和高含气区 (大于 6%)。在低含气区，

气泡密度很低，气泡之间没有相互碰撞，也没有因碰撞而破碎的小气泡，它们的直径约在 2-3mm，而声波波长大都小于这个尺寸，散射与频率无关，只有一次散射。在过渡区，开始有破碎的小气泡，声透射损失开始逐渐增大，不同频率的声透射损失也开始分开。在高含气区，气 - 水混相介质中既有大的气泡，也有气泡快速运动发生碰撞而破碎的小气泡，气泡直径大多在 1mm-4mm，大气泡不再是球形，散射与频率有关，在测量区域既有向上运动的气泡，也有向下运动的气泡，气泡之间有声相互作用，声波要多次散射，内部情况比较复杂。从测量结果来看，在这个区内声透射损失与含气量呈线性关系，并随声波频率的升高，声透射损失增大，所以使用不同频率的声波有不同的含气量测量范围，且频率对声透射损失的影响与含气量对声透射损失的影响相比要小的多。气泡共振频率的最大值约为 660Hz，入射声波频率远大于共振频率，没有共振吸收。不同频率声透射损失的重复性实验，都能够较好地重复。

表 1 不同频率下声透射损失的回归曲线方程

| 频率 (MHz) | 声透射损失 TL (dB) | 含气量 (%) |
|----------|---------------------------------------|---------|
| 0.5 | $TL = 0.3\beta^2 - 0.06\beta - 0.03$ | 0-12.5 |
| 1 | $TL = 0.33\beta^2 + 0.08\beta - 0.23$ | 0-11.7 |
| 1.25 | $TL = 0.33\beta^2 + 0.16\beta - 0.1$ | 0-11.7 |
| 2 | $TL = 0.38\beta^2 - 0.01\beta + 0.06$ | 0-10.8 |
| 2.5 | $TL = 0.38\beta^2 + 0.16\beta - 0.09$ | 0-10.8 |

5 结论

在实验中，不同频率的声速比值都比较接近，没有明显的频散现象。由于气 - 水混相介质中的声速比值随含气量的变化很小，所以不宜用此频段的声速比值来反映混相介质中的含气量。而声透射损失随含气量增加有明显的变化，可以用声透射损失来反映混相介质中的含气量。这对实现用声学量来反映混相介质中的含气量具有重要的意义。

参 考 文 献

- 1 时启燧, 郭志杰, 黄荣彬等. 中国水利水电科学院科研论文集, 1983, 13: 1-36.
- 2 邵道远, 钱祖文, 张彬铨等. 声学学报, 1991, 16(6): 444-449.
- 3 何祚镛, 赵玉芳. 声学理论基础, 第一版. 北京: 国防工业出版社, 1981. 397-402.
- 4 林宗虎编著. 气液固多相流测量, 第一版. 北京: 中国计量出版社, 1988. 36-43.
- 5 Silberman E. *J.Acoust.Soc.Am.*, 1957, 29(8): 925-933.
- 6 Card D C, Sims G E, Chant R E. *J.Basic Eng.*, 1971, 93: 619-623.
- 7 方彦军. 应用声学, 1995, 14(3): 29-35.

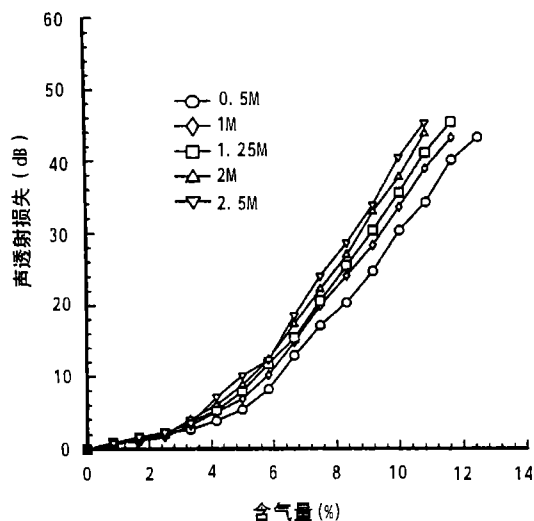


图 3 声透射损失与含气量间的关系

第七届近代声学 (超声学) 国际研讨会在南京举行

第七届近代声学 (超声学) 国际研讨会于 1998 年 10 月 11-14 日在南京金陵饭店举行。会议由国家教育部批准, 并得到国家自然科学基金委员会、江苏省教委、省科协和省声学学会的支持和赞助。本届会议由南京大学和美国 IEEE UFFC 分会以及意大利理论物理中心 (ICTP) 共同主办。同时还得到汕头超声波仪器研究所的赞助。南京大学声学研究所所长张淑仪院士和美国加州大学 Irvine 分校蔡振水教授 (IEEE 著名超声专家) 担任会议联合主席。

本届会议共收到论文 110 篇, 40% 来自国外, 其中特邀报告 30 篇, 会议论文内容丰富, 涉及非线性声学、激光超声、检测声学、声光相互作用、声表面波和声化学等诸多方面, 反映了国际上最新研究动态。

出席会议的国内外代表共 120 人, 其中三分之一来自美、英、德、日、加、意、印、韩、比利时和马来西亚等 10 个国家, 25 位特邀国外代表均为超声领域有关的国际一流专家, 包括美国科学院院士 R. M. White 教授 (加州大学 Berkeley 分校) 和工程院院士 D.

O. ThomPson 教授 (Iowa 大学)。魏荣爵院士和国外专家在会议上作了 27 篇十分精彩的邀请报告, 内容丰富, 论述生动, 引起与会者极大兴趣。同时还有 8 位在国外获得高级职称的中国留学人员专程回国参加会议。国内代表中还有中科院声学研究所张仁和院士等知名专家。此外, 众多青年科技工作者和研究生参加了会议, 在会内外与国外专家进行广泛的学术交流, 取得很好效果。

南京大学校长蒋树声教授、副校长陈骏教授以及科技处处长刘荣川教授、外办黄士星主任参加了会议开幕式及庆祝宴会, 蒋校长和陈副校长分别作了热情洋溢的讲话。

会议期间, 代表们还参观了近代声学国家重点实验室和声学研究所的主要的实验室, 实验室先进的设备和取得的成果给代表们留下了深刻印象。

与会者一致认为本届会议取得圆满成功。

(南京大学声学研究所 王铁海)