形成驻波场,导致强度分布不均,图 2 的图案反映了这种情况,图中有 3 个染料分布较多的区域,在离底部 1.9cm 以内区域,斑点分布较密集,颜色也较深,在离底部 5.6cm 和 9.3cm 附近,也有两个较强区域,这刚好对应于驻波的波腹位置。因为在水中频率 20kHz 时波长为 7.5cm,这 3 处是 1/4、3/4 和 5/4 波长地方。相互之间相距半波长,约为 3.8cm。

图 3 是 37.7kHz 声场中不同功率条件下得到的纵向分布图案,图 3(a) 为 10W,(b) 为 30W,作用时间都是 1 分钟。从图中都可以清楚地看到形成驻波场的情况。然而,在图 3(a) 中,由于声强度较低,虽然在波腹处的颜色比周围深,但斑点较少。在图 3(b) 中,由于声强度增大,空化相对较强烈,波腹处的染料斑点较密集,颜色也比图 3(a) 深。此外,染料图案颜色深浅的差别减小,说明由于空化较强引起液面扰动,驻波场在一定程度上受到破坏。可见,染料图案除了可以显示声场的分布外,某种程度上还可以判断声场的强弱。

图 4 是用压电陶瓷水听器测量的 20kHz 声场中沿辐射面中心轴的强度分布,功率为 2W。图中给出了两个不同液位高度下的测量结果,可以看到形成了驻波场。将图 4 的结果与图 2 对照,可以看出染料图案显示的声场强弱分布与测量结果相符合。表明用染色法记录的结果真实地反映了声场的分布。

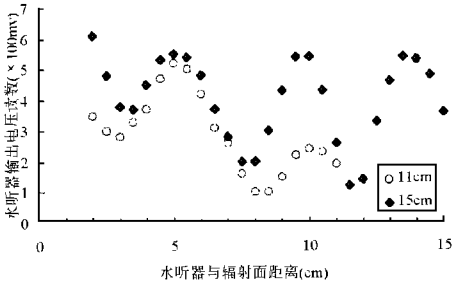

图 4　水听器测量的辐射面中心轴的声场强度

4　结　论

利用超声场作用下染料在纸上染色的方法,可以方便、快速地记录液体中大功率超声场的分布。该方法与其它直接记录声场分布的方法相比有独特之处,除操作简单易行外,它可以在纸上得到代表声场分布的稳定、完整的染料图案,克服了铝箔腐蚀法中薄膜易破裂脱落,淀粉碘化钾试纸显色法中易褪色的缺点。虽然这一方法还未达到定量化的程度,但作为测量声场强度在空间的相对强弱分布是可行的。同时,在声化学和超声清洗等大功率超声液体处理应用中,作为衡量超声设备的部分性能也是一种实用、可取的方法。

由于纸上形成的染料图案除了与声场强度有关外,还与染料溶液的浓度、作用时间和纸的质量有关。因此,需要进一步研究这些因素的影响,探讨其作用机理,并将这一方法与其它测量方法相比较,使之更定量化。

参考文献

1　Berlan, J. and Mason, T.J. Ultrasonics, 1992; 30(4): 203～212

2　Martin, C. J. and Law, A. N. R. Ultrasonics, 1983; 21(2): 85～90

3　Pugin, B. Ultrasonics, 1987; 25(1): 49～55

4　Crawford, A.E. Ultrasonics, 1964; 2: 120～123

5　Bennett, G.S. J. Acoust. Soc. Am., 1952; 24: 470～474

6　Cook, B. D. and Werchan, R. E., Ultrasonics, 1971; 9(2): 101～102

7　Shiran, M.B. et al., Ultrasonics, 1990; 28(6): 411～414

8　Watmough, D. J. et al., Acoust Bull. 1993; 18(2): 15～19

9　方启平,颜忠余,林仲茂,中国声学学会 1995 年青年学术会议文集,西北工作大学出版社,1995; 337～339

B5　混响场中强声场的测定及应用

陈元平

(中船总公司第七一五研究所　浙江富阳 · 311400)

本文讨论了混响场中最主要的声学参数声压的测量方法,指出用一专用的测试仪表—超声波测量仪可以方便快捷地完成对混响场声压及频率的测量。同时,通过清洗机及声化学的测试说明

该测量仪有广泛的用途。

1 引 言

超声波已广泛地应用于科学研究和工业生产,特别是超声波清洗机,在许多部门都有广泛的应用。另外还有声化学,超声乳化,超声粉碎,超声凝聚,超声去毛刺,超声分离,超声加速化学反应等。

由于上述的超声波都在一个相对较小的液体介质中产生并起作用,驻波、空化、结构及其它因素的影响,使得常规的测试仪表无法对超声波作用区的超声波声场进行有效的测量。例如,国家标准GB7965-87规定换能器应在自由场和远场条件下进行测量。国际电工委员会的报告886IEC1987《Investigation on test procedures for ultrasonic cleaners》,总结了对超声波清洗机能力测量各方面的研究,认为目前还没有一种准确有效的,可作为标准的测试方法。

2 测试方法

尽管存在着种种困难,但生产实践特别是科学研究中又迫切需要测量超声波声压及声场状况。在研究领域,一般用多台仪表组合的方法实施对声场的测量,它的测试框图如图1所示:

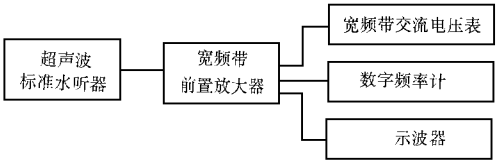

图1 传统声压测试框图

标准水听器经过校准,它能将作用在它上面的声压转换成相同频率及波形的交流电压信号,此电压信号与声压的强度成正比。当将该水听器插入受超声波作用的液体介质中时,它就有一电压信号输出。经前置放大器不失真放大后,送入交流电压表。数字频率计同时测得超声波的频率,示波器可随时监视信号电压波形的变化。这一测量方法已被普遍采用了。

显然,这一方法是有效的,但却是昂贵和繁琐的,对操作者也有较高的技术要求,不能作为常规的测试手段。

日本在该声学测试设备领域率先取得了突破,他们研制出了专用的超声波测量仪(UTK-30),集声压测量和频率测量于一身,能方便地测定声场的声压和频率。但不足之处是该仪表体积大,耗电较多,故在使用时有许多不便。

去年底,国内也研制成功了超声波测量仪表,专用于对这类较强超声波声场的测量。它的结构框图见图2。

测量仪运用高精度大规模集成电路,将宽频带前置放大器、交流数字电压表、数字频率计做成了一体。水听器是无方向性的,包覆有特殊的保护材料,能耐酸、碱、有机溶剂的腐蚀,工作温度超过100℃,它既减小了多台仪器组合使用时的相互影响和误差积累,提高了可靠性,成本也大大降低了。该仪表体积小,重量轻,耗电少,携带和使用都非常方便。

有关该测量仪的详细原理及构造,作者将另著文介绍

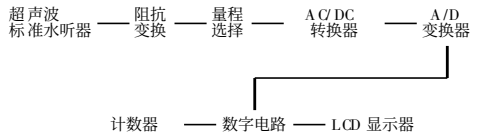

图2 超声波测量仪原理框图

3 应 用

混响场超声波声压的测量有非常广泛的用途。限于篇幅,仅以超声清洗和声化学为例说明它的应用。

3.1 改善清洗工作区的声场分布

众所周知,超声清洗起主要作用的是超声空化,即主要是由位于工件表面或附近的空化泡来完成的[1]。超声空化现象涉及多方面的因素,如液体的粘滞系数、表面张力、蒸气压、温度、超声波频率、声压及环境压力等。在一定的条件下,起决定作用的是声压。声压也决定了声强的大小。在混响场的条件下,任一点的声强是无数个声强分矢量的叠加。实际上,由于相位差的随机性,矢量的叠加成为有效值相加,使混响场中的空化阈值下降,其下降值约为$(1-e^{-2\alpha H})$倍(α为声压衰减系数,H为声程)[2]。但在实用的条件下,我们可以近似地把它折算成平面波声强而不会有太大的误差。即所测试点的声强为:

$I = p^2/\rho c$

一般而言,清洗机内的声场分布应是均匀的,即声压处处相同,这样才能保证达到最佳的清洗效果。但因超声波清洗是在一个较小容积内进行,沿超声波发射方向必然会形成驻波场。在声压振幅的波节处,声压最小,低于空化阈,失去清洗效果,这些区域称为清洗"盲区"。在横向,振子间的干涉及反射波的影响,也必然会形成声压的"峰"和"谷"。用测量仪对声场的各点进行逐点测量,将测得的数据作二维平面图,即可给出清洗声场分布的清晰图象,从而给振子的布阵提供了切实有效的检测手段。通过运用调频及多频技术[3],振子设计的改进和布阵技术的提高[4]。必将使清洗机质量有很大的提高。

推而广之,在糖厂、化肥厂等的加热管、反应器、热交换器等易结垢的部位,超声去垢已取得了一定的成功。但要进一步提高效率,即不拆下设备部件而用大功率投入式超声振子直接在被清洗设备中建立起强声场,却因声场不易控制而未取得很大的进展[5,6]。作者希望与有关单位合作,开展这一方面的研究。

顺便指出,在声强过高的情况下,清洗效果反而会下降。这是因为过高的声强会产生大量的气泡,在换能器的辐射面形成一道声屏障,声能不易辐射到整个液体空间,因而在远离声源的地方清洗作用减弱。此外,在过高声强的作用下,气泡可能膨胀过大以至在声波压缩相内来不及闭合。

3.2 声化学空化场的测定

声化学作为一门新的化学分支,利用声波来加速化学反应或开启新的反应通道,正受到学术界和化学工业界的极大重视。一般认为,声空化是声化学反应的主动力,也是许多功率超声应用的物理基础。声空化现象包括核化、空化引发、空化泡动力行为及空化效应等一系列复杂的瞬变过程。但要直接观察空化过程还很困难,只能通过间接的方法即对空化效应的测定来研究它。

已知超声空化使KI水溶液中的KI氧化生成单质碘,有关反应式如下:

$$H_2O \xrightarrow{\text{超声空化}} H^+ + OH^-$$

$$2OH^- \longrightarrow H_2O_2$$

$$H_2O_2 + 2KI \longrightarrow I_2 + 2KOH$$

I_2 + 淀粉(呈兰色)

$$I_2 + 2NaS_2O_2 \longrightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6 \text{(兰色消失)}$$

由NaS_2O_3的滴定消耗量即可确定I_2的释放量,进而可知空化事件多少,即空化强度。但这种方法只能给出一段时间累计的空化效应,而不是空化的瞬时强度,其次,它的测试条件有一定要求,没有普遍性。

运用超声波测量仪,就可随时随地测定反应区声压的大小。由于水听器已作了特殊的设计,一般的弱酸、弱碱、有机溶剂及高温它都能工作。

4 结 论

综上所述,无论是超声清洗的清洗效果或是声化学中的声空化,起关键作用的还是超声声压或声强。这是因为液体中的空化强度是由该点的声压决定的。运用超声波测量仪能方便快捷地对超声声场进行实时测量,这必将给科研和生产带来极大的便利。若能结合频谱分析和功率谱分析[7],则可给出更多有用的信息。

参考文献

1 冯若,黄金兰. 超声清洗及其物理机制. 应用声学, 1994; 1: 41～47

2 冯若,李化茂. 声化学及其应用. 安徽科技出版社, 1992; 6

3 张镜澄. 调频超声清洗技术的研究. 声学技术, 1993; 12(2): 28～30

4 林书玉等. 关于改善超声清洗声场均匀性的研究. 应用声学, 1993; 2: 34～38

5 李月花等. 应用声学技术清除糖厂设备积垢的研究. 声学技术, 1992; 11(4): 29～31

6 刘锦升等. 超声在化肥厂板式换热器防垢中的应用. 声学技术, 1992; 11(4): 45

7 郑进鸿,邱永得,液体中空化声场的统计测量及其在评估空化设备性能中的作用. 应用声学, 1991; 1: 18～23