

基于声功率的液体中大功率超声场的评价方法

周光平, 梁召峰, 张亦慧, 张博夫, 杨宏丽

(深圳职业技术学院电子工程系, 深圳 518055)

摘要:为解决超声清洗中超声设备性能的评价,以及工程应用中超声强度的选取和控制问题,提出了一种根据声功率大小来测定声场强度的评价方法。制作了一个专门的超声清洗系统,并用瓦特计法测定清洗液中得到的声功率,同时用一个探头从清洗液中提取信号;通过测量清洗液中的声功率与探头输出信号电压间的关系,用数字形式来显示超声场强度。用此法对不同清洗槽进行测量,结果表明,该方法可以作为工程中大功率超声场的一种评价方法。

关键词:超声清洗;声功率;声场强度;评价

中图分类号:TB551 文献标识码:A 文章编号:1000-3630(2005)02-0110-03

Evaluation of high power ultrasound in liquids based on acoustic power

ZHOU Guang-ping, LIANG Zhao-feng, ZHANG Yi-hui, ZHANG Bo-fu, YANG Hong-li

(Department of Electronic Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

Abstract:Based on measurement of acoustic power in liquids an intensity evaluation method for ultrasonic fields is proposed to satisfy practical needs in evaluating ultrasonic cleaning equipment, and controlling ultrasonic intensity. For this purpose a special cleaning system is made. Acoustic power in the liquid is measured with a Watt meter. Ultrasonic intensity is measured with a probe, and displayed digitally. This is achieved by investigating relationship between the probe output and the radiated acoustic power. Experimental results with several commercial cleaning machines show that the proposed evaluation method is practical.

Key words: ultrasonic cleaning; ultrasonic power; ultrasonic intensity; evaluation

1 引 言

超声清洗中,大功率超声场的测量是设备生产商和用户都非常关心的问题。长期以来,人们探索了许多不同的测量方法^[1]:薄膜腐蚀法、淀粉碘化钾反应法、染色法、液晶显色法、声致发光成像法、频谱分析法、声发射法、水听器法、热敏探头法、光纤探头法等。这些方法中有的是直接测量声场的某个参量,有的是利用声场产生的效应。然而,由于问题的复杂性,这个问题未能得到满意的解决。寻找一种定量、可靠、实用

的大功率声场的测量方法一直是人们追求的目标。

高强超声场测量的复杂性在于空化以及一系列的物理效应。有关空化的一些问题正在研究之中,因此就目前而言定量测量空化场是非常困难的。然而,可以从工程应用的角度出发,提出一种方法以满足超声设备的性能评价和工程应用中声场强度的选取和控制的需要。

工程应用中,人们往往是根据被清洗对象来选择超声频率和超声功率。清洗液中实际得到的声功率是反映超声场强弱的一个参量。利用一特制探头,在清洗液中提取信号,通过研究探头输出信号与清洗液中声功率关系,然后数字定量显示清洗液中的声场强度。基于以上思路,本文提出了一种基于声功率的大功率声场的评价方法。

收稿日期:2004-05-19; 修改日期:2004-08-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10274053)

作者简介:周光平(1963-),男,湖南双峰人,博士,教授,从事功率超声的研究与开发工作。

2 超声清洗系统声功率的测量

超声清洗设备中,广泛采用夹心式压电换能器作为电声转换器件。一台清洗设备,往往有多个换能器,考虑到换能器特性的离散性,为准确测量声功率,特制作一个单换能器超声清洗系统。

测量压电换能器的电声效率和辐射的声功率有量热法^[2]、谐振导纳算法^[3]和瓦特计法^[4]。自 1983 年森荣司提出瓦特计法以来,一些学者^[5,6]对此方法进行过实验,认为是可行的。日本已把这一方法定为工业标准。鉴于此,本文采用瓦特计法来测量清洗系统的声功率。

如用 W_d 表示换能器输出的声功率, W_e 表示输入给换能器的电功率, W_d 表示换能器的介电损耗, W_m 表示换能器的机械损耗,瓦特计法认为:

$$W_d = W_e - W_d - W_m \quad (1)$$

上式中介电损耗 W_d 正比于所加电压 V 的平方,即:

$$W_d = \frac{V^2}{R_e} \quad (R_e \text{ 是换能器介电损耗电阻, } R_e = \frac{1}{\omega C_0 \tan \delta},$$

其中 C_0 是静态电容, $\tan \delta$ 是介电损耗因子, ω 是工作角频率)。机械损耗 W_m 正比于换能器振速 v 的平方,即: $W_m = R_m v^2$, R_m 是换能器的机械损耗等效阻抗。对于一个换能器,曲线 $W_d - V^2$ 和 $W_m - v^2$ 要首先测定。

介电损耗 W_d 与所加电压的平方 V^2 的关系曲线的测量,需要两个特性相同的换能器对接。为此利用阻抗分析仪,在众多换能器中选择了频率和等效电路参数非常接近的两个换能器。在功率测量时,采用高精度功率分析仪,带宽达 2MHz,最高采样频率为 5MHz,内存为 4M 字长,可以满足测量要求。图 1 是实验中超声清洗系统所使用换能器的 $W_d - V^2$ 测量结果。

对于所制作的超声清洗系统,考虑到换能器粘接到槽底,以及由于槽的影响会导致附加的机械损耗,所以按照瓦特计法的原理,进行了无负载条件下系统的机械损耗 W_m 与振速的平方 v^2 的关系曲线的测量。这里振速测量采用激光多普勒测振仪,振速测量点是清洗槽底靠近换能器处,图 2 是测量结果。

根据图 1 和图 2 的测量结果,可以估计换能器的介电损耗因子 $\tan \delta = 0.01$, 机械损耗的等效阻抗 $R_m = 195$ 力欧。在清洗槽中加入水,进行了不同负载(不同水深)下清洗系统电声效率的测量,所得数值在 85%~95% 之间。

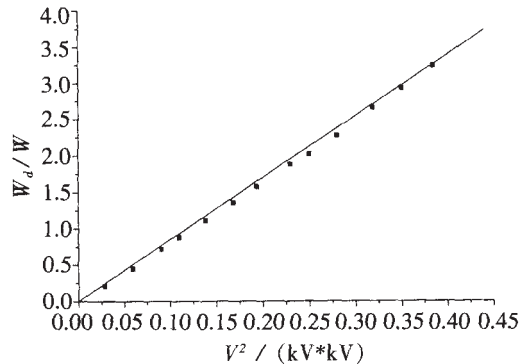


图 1 $W_d - V^2$ 关系曲线
Fig.1 $W_d - V^2$ relation

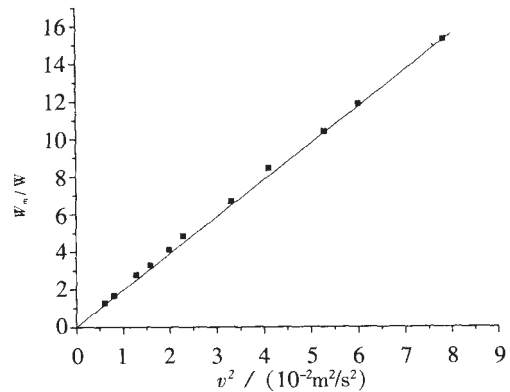


图 2 $W_m - v^2$ 关系曲线
Fig.2 $W_m - v^2$ relation

3 声场信号提取以及它与声功率的关系

清洗槽中,声场强度往往各处有所不同。作为一种方便、实用的测量方法,如把探头置于不同位置,即可读出各处的强度值,这是一种较好的方法。再考虑到空化声场中信号的频带较宽,专门设计了一个宽频带高灵敏度的测量探头,用以提取声场信号。探头的输出是一个电压信号。

图 3 是探头输出电压与清洗液中声功率关系的实验测量装置。超声波发生器产生的功率信号,经匹配网络后送至换能器,用功率分析仪测量清洗系统所得到的电功率 W_e ,同时用功率分析仪测量加在换能器两端的电压 V ,以便计算介电损耗时。用激光

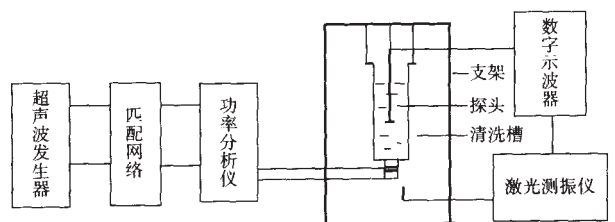


图 3 实验装置示意图
Fig.3 Experimental setup

测振仪测量系统的振速 v , 实际测量点是清洗槽底部靠近换能器处。探头置于清洗液中提取声场信号, 其输出信号用数字示波器来测量。

通过调节超声波发生器功率大小, 可使清洗液中得到不同的声功率, 实验测量了探头置于清洗液中不同位置时, 探头输出电压的平方与清洗液中得到的声功率的关系。结果表明, 清洗槽中探头输出电压信号的平方与槽中得到的声功率近似成正比。图 4 是一个实验结果。

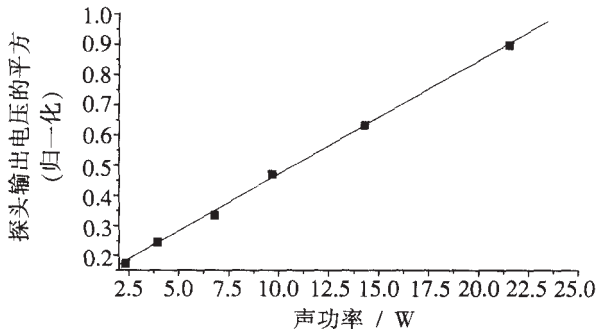


图 4 探头输出电压平方的归一化值与槽中声功率关系

Fig.4 Normalized square of output voltage plotted against acoustic power in the tank

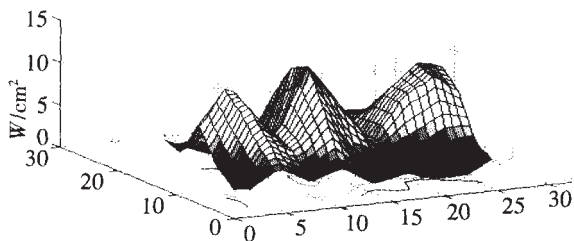


图 5 某 28kHz 清洗机声场某层超声强度分布图

Fig.5 Ultrasonic intensity distribution of a 28kHz ultrasound cleaner

4 声场强度标定以及方法的可靠、实用性试验

本方法基于声功率来进行声场强度评价, 因此用每单位体积的声功率来标定, 实际做法是取一段时间内某一体积中声功率的平均值。亦可以从能量传递的角度, 用类似线性声场中声强的方法, 以单位面积的功率来标定。

为了试验这种方法的可信性, 用国产和国外产的不同频率、不同尺寸清洗槽, 不同功率的清洗机进行了试验。图 5 是国产某 28kHz 清洗机声场中某一层的超声强度分布, 表 1 是一些清洗机的超声强度测量值。这个实验结果与用铝箔法测量的结果有很好的相关性。

表 1 国产清洗机的超声强度测量值

Table 1 Measured intensity of an ultrasonic cleaner

编号	频率 / kHz	接近水面四角测量值/(W/cm ²)				接近槽底四角测量值/(W/cm ²)			
		A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
1	28	8.8	7.8	8	8.8	13.3	9.9	10.4	11.2
2	40	4.7	3.4	3.6	4	5.4	4.7	5.9	5.3
3	120	2.8	2.8	2.8	3.4	2.9	2.6	3.6	3.3

5 结 语

本文从声功率的角度出发, 通过探头输出信号与声功率的关系, 从声能量角度来评价超声场的强度, 最后对不同商用超声清洗机进行试验, 认为这种方法符合定量、实用的原则。本方法从工程应用的角度出发, 适于同条件下清洗设备性能的评价, 以及一定条件下工程应用中超声强度的选定和控制, 具有很好的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 梁召峰, 周光平, 林书玉. 大功率低频超声场测量研究进展[J]. 声学技术, 2004, **23**(1): 61-66.
LIANG Zhaofeng, ZHOU Guangping, LIN Shuyu. Review of the high-power low-frequency ultrasonic fields measurement[J]. Technical Acoustics, 2004, **23**(1):61-66.
- [2] 周铁英, 藏金明. 测试大功率超声清洗机功率和效率的简易方法[J]. 应用声学, 1988, **7**(4): 42-44.
ZHOU Tiejing, ZANG Jinming. The simple method of power and efficiency measurement of high power ultrasonic cleaning machine [J]. Applied Acoustics, 1988, **7**(4):42-44
- [3] 张德俊, 程建政. 功率超声振动系统的电声效率测量[J]. 声学技术, 1996, **15**(4): 173-174.
ZHANG Dejun, CHENG Jianzheng. Measurement of electro-acoustical efficiency for power ultrasonic vibration system[J]. Technical Acoustics, 1996, **15**(4):173-174.
- [4] Mori E, Ueha S, Tsuda Y. Large amplitude characteristics of Bolt-Clamped Langevin type vibrator[C]. Proc. Ultrasonic Intern., Halifax, 1983:154-159.
- [5] 林书玉, 张福成. 功率超声换能器电声效率及辐射声功率的测量[J]. 声学技术, 1999, **18**(4): 152-157.
LIN Shuyu, ZHANG Fucheng. Measurement for ultrasonic power and electro-acoustical efficiency of high power transducers [J]. Technical Acoustics, 1999, **18**(4):152-157
- [6] 颜忠余, 方启平. 瓦特计测量声功率方法的分析和简化[J]. 声学技术, 1996, **15**(4): 170-172.
YAN Zhongyu, FANG Qiping. Investigation and simplification of watt meter method for measuring output acoustic power in intensity ultrasonic field [J]. Technical Acoustics, 1996, **15**(4):170-172.