

# 宽功率范围超声功率计的设计研究

霍彦明<sup>1</sup>, 周月侠<sup>1</sup>, 王鹏程<sup>1</sup>, 曹卫刚<sup>1</sup>,  
孙瑞<sup>1</sup>, 孙悬<sup>1</sup>, 宋文章<sup>2</sup>, 王智彪<sup>2</sup>

(1. 河北科技大学电子信息学院, 石家庄 050018;

2. 重庆医科大学超声医学工程研究所, 重庆 400041)

**摘要:** 设计了一种结合机械天平、辐射压力法和智能控制的大功率超声功率计, 介绍该功率计的设计原理, 对其误差进行分析, 实验证实该功率计具有较好的稳定性、较高的测量精度和较大的测量范围。

**关键词:** 辐射压力法; 超声功率计; 误差分析

中图分类号: TB559

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2004)01-0033-03

## Design of high power ultrasound power meter

HUO Yan-ming<sup>1</sup>, ZHOU Yue-xia<sup>1</sup>, WANG Peng-cheng<sup>1</sup>, CAO Wei-gang<sup>1</sup>,

SUN Rui<sup>1</sup>, SUB Xuan<sup>1</sup>, SONG Wen-zhang<sup>2</sup>, WANG Zhi-biao<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering and Information Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054, China; 2. Chongqing University of Medical Science, Chongqing 400041, China)

**Abstract:** An ultrasonic power meter for measuring high power ultrasound is developed based on a radiation pressure method. Mechanical balance and intelligent control techniques are used in the design. The design principle is introduced and measurement error analyzed. Experimental results show that the meter has high resolution and high stability, and it can measure high ultrasonic power.

**Key words:** radiation pressure method; ultrasound power meter; error analysis

## 1 引言

超声功率计是一种常用的超声功率测量装置<sup>[1,2]</sup>, 在医学超声应用中, 超声功率测量装置主要集中在较小功率测量, 测量对象主要面向 B 型超声诊断系统, 超声理疗系统和热疗超声系统等功率测量, 其功率测量上限一般不超过 50W。高强度聚焦超声 (HIFU) 技术在医学临床上的应用日益重要<sup>[3,4]</sup>。随着聚焦超声治疗技术在医学上的应用, 人们使用的超声功率超过了 30W, 达到 100W 以上, 目前的超声功率计难以满足要求。因此设计适合于大功率测量的高精度超声功率计就非常必要了。

利用辐射压力法, 结合机械天平及智能控制技

术, 笔者设计了大功率超声功率计, 并用其测量 HIFU 肿瘤治疗仪的聚焦换能器的超声输出功率, 实验结果显示该超声功率计具有较高的测量精度和稳定性, 可以用来测量大功率超声输出。

## 2 超声功率计基本原理

如图 1 所示: 当超声换能器没有发出超声波时, 靶面及与其相连的支架悬挂在支点上处于平衡位置。当超声换能器发出的声波辐射于靶面上, 靶面受到辐射压力, 并在其推动下产生偏移, 位移传感器检测到悬臂的位置偏移后, 将位移信号送往数据处理电路, 数据处理电路经过分析, 输出一电流信号, 该电流流过线圈后在磁场作用下产生反向电磁推力, 该反向电磁推力将悬臂及与其相连的靶面推回平衡位置。上述装置将单臂天平、辐射压力法和智能控制结合起来, 使三角架始终处于动平衡之中, 通过量化处理电磁线圈中的电流大小即可知道来自

收稿日期: 2003-04-09; 修回日期: 2003-07-04

作者简介: 霍彦明(1971-), 男, 河北井陘人, 高级工程师, 研究方向: 聚焦超声治疗技术研究。

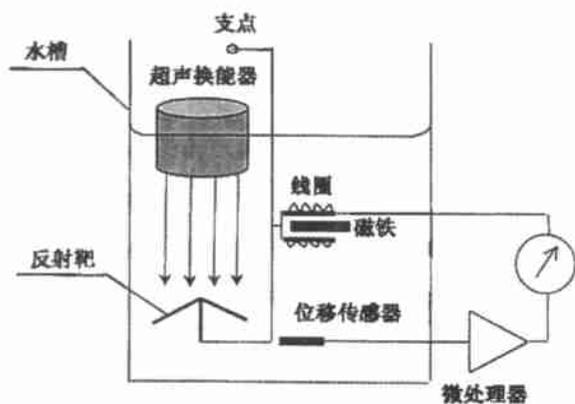


图1 超声功率计原理示意图

超声探头的辐射压力。上述装置的优点是：(1) 适用于多种探头(包括平面探头、聚焦探头等)的功率测量；(2) 稳定性好；(3) 精度高；(4) 测量范围大。

### 3 系统设计

根据上述原理设计的大功率超声功率计主要由以下几部分组成：吸声水槽、单臂天平、靶面、位移传感器、数据处理器、电磁传感器等。

吸声水槽的周围贴有吸声材料，其作用主要是吸收由靶反射的超声波。测量大功率超声输出时，一般采用脱气水。

靶面的选择是整个测量设备设计的重点之一，目前主要有反射式靶面和吸收式靶面两种。反射式靶面的设计根据需要又有各种样式，例如锥面反射靶<sup>[5,6,8,9]</sup>，凹锥面反射靶<sup>[6]</sup>等。在这些靶面的设计中，最重要的一点是：既要保证尽可能多的超声能量辐射到靶面上，又要避免超声换能器和靶面之间产生来回反射，因为多次反射会对靶面产生附加压力，因此在测量时，要注意换能器与靶面的距离关系。通常考虑到测量精度的要求，在反射靶面的设计上还应注意材料的选择、采用空心设计等方法尽量减小系统误差。吸收靶的设计比较简单，只要找到比较合适的吸声材料即可以，一般要求吸声材料的吸声效率应超过98%。

靶面连接的支架及支点构成单臂天平，其目的是：增加系统的灵敏度和提高精度。

位移传感器的作用是接收支架的位移数据，电磁传感器的作用是将电流信号转换为反向推力，推动支架返回平衡位置。

数据处理电路是整个系统的核心，其主要功能

是：接收来自位移传感器的位移信号；通过分析位移信号，输出控制电流；采集控制电流大小，显示并输出。

## 4 校准结果及误差分析

### 4.1 校准结果

笔者设计的超声功率计测量的压力范围为：0g~90g，分为三个量程：0~4g，4g~35g，35g~90g。根据文献[7]的计算可知，若采用锥面反射靶来测量HIFU聚焦换能器，其声功率量程范围分别为：0~40W，40W~350W和350W~900W；若采用全吸收靶，其声功率测量范围要扩大1/3左右。该功率计有上、下、左三个测量方向，且有多种靶面(包括反射靶面和吸收靶面)用来匹配不同类型的超声换能器，可以根据需要进行替换。为减小误差，其中反射靶面均采用空心靶设计，提高灵敏度。

功率计设计加工完成后，用砝码对该超声功率计进行校准，校准方法采用多点校准法，校准结果如图2所示。从图2可以看出该功率计在整个测量范围内均具有很好的线性度。

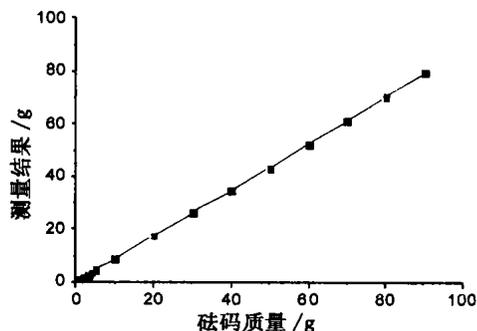


图2 超声功率计校准结果

### 4.2 误差分析

经分析认为，超声功率计的误差来源主要有：

(1) 机械误差，主要由支点摩擦产生。(2) 测量水位误差，原因是机械天平的一部分放置于水中，产生浮力误差。(3) 位移数据量化误差，主要由A/D和D/A转换芯片产生。(4) 元器件特性误差，因为采用电流输出，所以运放、线圈等元器件受环境温度影响可能产生误差。(5) 砝码放置位置误差，因为靶与支架之间采用刚性连接，所以砝码放置位置偏移会产生较大误差。

上面几类误差中，机械误差属于系统误差，在本设计中采用刚玉等支点设计，其产生的误差不大于

表 1 测量砝码误差分析

	砝码质量/g	砝码质量减浮力/g	测量结果	绝对误差/g	相对误差/%
第一 量程	0.100	0.087	0.090	+ 0.003	3.44
	0.500	0.436	0.432	- 0.004	- 0.92
	1.000	0.873	0.882	+ 0.009	1.03
	3.000	2.619	2.612	- 0.007	- 0.27
	5.000	4.365	4.359	- 0.006	- 0.14
第二 量程	5.00	4.37	4.40	+ 0.03	0.69
	10.00	8.73	8.70	- 0.03	- 0.34
	20.00	17.46	17.43	- 0.03	- 0.17
	30.00	26.19	26.13	- 0.06	- 0.23
	40.00	34.92	35.00	+ 0.08	0.23
第三 量程	40.00	34.92	34.51	- 0.41	- 1.17
	50.00	43.65	43.27	- 0.48	- 1.10
	70.00	61.11	61.35	+ 0.24	0.39
	80.00	69.84	70.29	+ 0.45	0.65
	90.00	78.57	78.42	- 0.15	- 0.19

2mg; 测量水位引起的浮力误差对整体支架测量影响不大, 通过精确控制水位可以将该误差忽略不计; 位移数据量化误差属系统误差, 在本设计中 A/D 和 D/A 均采用 12 位转换芯片, 经测定, 其误差不大于 2mg; 元器件特性误差属于系统误差, 在本系统设计中, 估计该误差不超过 2mg; 砝码放置位置误差, 这类误差属于操作带来的随机误差, 当砝码质量较大时, 位置偏移误差也相应较大, 这类误差只能通过规范操作、多次测量取平均等手段消除。不同量程砝码测量误差分析结果见表 1。

从表 1 测量结果来看: 第一量程相对误差较大, 这主要是因为当反馈控制电流较小时, 测量结果受环境影响较大, 小的扰动即可对测量结果有较大影响, 砝码放置位置也会产生一定误差; 第二量程相对稳定, 相对误差较小, 这主要是因为在这—量程元器件的抗干扰能力较高且机械天平受外界干扰相对较小; 第三量程的误差来源主要是砝码放置位置误差引起。

## 5 结 论

超声功率测量是超声设备声输出的一项重要检测内容, 尤其是在医学超声设备声输出测量中非常重要, 高强度聚焦超声治疗技术的发展要求超声功率计能够测量与其治疗头相匹配的超声功率计。笔者利用机械天平、辐射压力法和智能控制设计了大功率超声功率计, 用砝码校准获得很好的线性度, 对其误差进行了详细分析, 结果表明: 该功率计具有较高的稳定性和精度。

## 参 考 文 献

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC 1157: 1992. Requirements for the declaration of the acoustic output of medical diagnostic ultrasound equipment[S].
- [2] 孙俊霞, 寿文德. 高强度聚焦超声换能器的新型设计[J]. 声学技术, 2003, 22(2): 80-82.
- [3] 谢志行, 李丽平, 严加勇, 等. 高强度聚焦超声肿瘤治疗仪控制系统设计及功能测试[J]. 声学技术, 2003, 22(3): 153-156.
- [4] 霍彦明, 吴敏, 宋文章等. HIFU 聚焦探头声场功率测量的凹锥面反射靶设计分析[J]. 声学技术, 2003, 22(1): 11-13.
- [5] HUO Y M, YE Z X, and WANG Z B., et al. Reflector design in ultrasonic power measurement by radiation pressure methods [A]. First international workshop on the application of high intensity focused ultrasound (HIFU) in medicine[C]. 2001: 2-5.
- [6] 霍彦明, 吴敏, 宋文章, 等. 用锥面靶测量大口径聚焦换能器声功率的计算讨论[J]. 声学技术, 2002, 21(4): 168-170.
- [7] Hodnett M and Zeqiri B. A strategy for the development and standardization of measurement methods for high power/cavitating ultrasonic fields: review of high power field measurement techniques[J]. Ultrasonics Sonochemistry. 1997, 4: 273-288.
- [8] 霍彦明, 陈亚珠. 几类旋转圆弧式自聚焦换能器的声场特性分析[J]. 声学学报, 2001, 26(1): 13-18.
- [9] 霍彦明, 陈亚珠. 柱面聚焦换能器在组织中的温度分布估计[J]. 中国生物医学工程, 2001, 20(5): 436-440.