



大功率工作状态下压电换能器效率的实验研究*

林仲茂 房福全 苏敦珍

(中国科学院声学研究所)

1984年3月7日收到

用电测法对夹心式压电换能器在大功率工作状态下的效率进行实验研究。研究了压电换能器电声效率与负载、输入电功率的关系和效率的频率特性。在声匹配的情况下，换能器的电声效率大于90%，换能器的电声效率存在着随输入电功率的增加而增高的现象。

一、引言

压电换能器由于电损耗小，其效率比金属磁致伸缩换能器高。目前工业所用的换能器越来越广泛地采用压电换能器，特别是夹心式压电换能器。这是由于这种换能器不但效率高，而且对不同频率及应用上不同要求的结构都容易实现。

人们对夹心式压电换能器进行了不少的研究，例如研究各种加予应力的结构^[1-3]和研究压电片所处的位置^[4]对换能器特性的影响等等。但是这些研究大多是在空载条件下进行的，它只能反映换能器的一部份性能。在实际应用中

都是有负载的，轻负载和重负载对换能器的要求不同，必须根据实际应用进行设计。近来Banno^[5]等讨论了声负载对效率的影响。我们曾分析过小信号时换能器在最佳负载下的效率问题^[6]。本文则用实验方法研究在大功率工作状态下夹心式压电换能器的最佳负载及其效率；研究在不同功率水平对效率的影响以及效率的频率特性，并在实际工作负载条件下对两种压电换能器的效率进行初步的测量，探讨在实际应用中如何正确设计换能器的问题。

二、实验方法及实验设备

用铝合金对称结构夹心式压电换能器作实

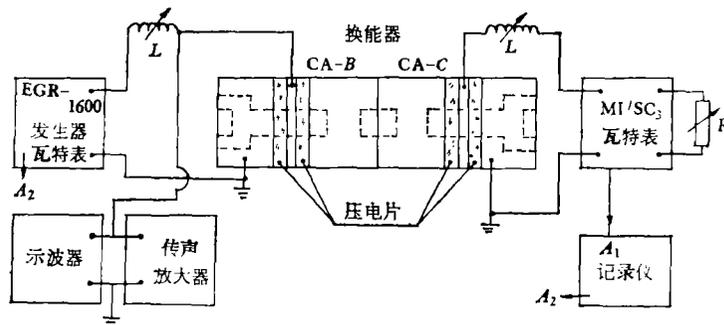


图1 换能器效率的测量框图

验样品。压电片材料为PZT-8，外直径50mm，厚度7.6mm，由两片组成并采用铝材厚电极结构，见示意图1。

* 本文的基本内容于1981年全国功率超声学术会议上报告过。

采用 Hickman^[7] 等的方 法,在大功率工作状态下进行实验研究,即用两个相同结构且性能很接近的换能器,在辐射端用螺钉连结,两个换能器(CA-B 和 CA-C)交替作为发射和接收器。在接收换能器的电端连接大功率电阻器 R 及作为调整功率因数的电感器 L,改变电阻值可以实现改变两换能器连接端面处的声负载。实验框图如图 1 所示。

输入 CA-B 换能器的电功率及换能器两端电压用 EGR-1600 型电发生器所带的瓦特表及传声放大器测量,由示波器监视波形:用 MI/SC₃ 瓦特表测量 R 上消耗的电功率及流经 R 的电流和两端电压。负载电阻 R 用大功率无感电阻器或钨丝灯泡。测量前对 EGR-1600 及 MI/SC₃ 型两高频瓦特表进行校对。为提高小功率的测量精度,在 EGR-1600 发生器之后串接一量程较小的瓦特表作小功率测量。输出功率与输入功率之比作为两个换能器的总效率。如果两换能器的效率相同,则总效率的平方根为每一个换能器的电声效率 η_{ea} 。

测量以水为负载的换能器效率时,采用森荣司^[8]的电测法,即测量在负载及空载条件下输入电功率及两种状态下的介电损耗功率四个量,来确定输出声功率及电声效率。测量时保持负载及空载条件下的振动速度相同。我们用 B&K 公司的 4344 型加速度计监测振动速度。电功率的测量误差为 3%。

三、测量结果

曾用国产和进口的压电元件做一系列换能器样品进行测量,下面是用国产压电元件(主要

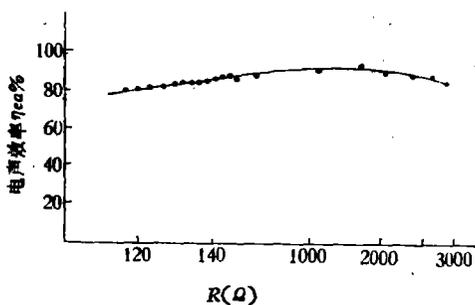


图 2 电声效率与负载电阻 R 的关系

应用声学

是声学所四室提供)所测得的结果。

1. 电声效率与负载的关系

在换能器的共振频率上进行测量,测量时保持输入电功率 100W 不变,改变电阻值 R。测量结果示于图 2。可见被测换能器样品的最佳负载电阻值约为 1680Ω。

2. 电声效率与输入功率的关系

以四个 100W 灯泡,两个并联然后串联连接来代替电阻器 R。其他测量安排如图 1。表 1 列出测量的平均值,示于图 3。

表 1 效率与输入功率的关系

输入功率 P_1 [W]	输出功率 P_2 [W]	总效率 η_{tot} [%]	单个换能器的效率 η_{ea} [%]	灯泡电阻值 $[Ω]$
100	68	68	82	267
150	123	82	90.6	322
200	174.5	87	93.4	339
250	226.5	90.6	95.2	376
300	277	92.3	96.1	402
350	322.5	92.1	96	425
400	377	94.3	97.1	447

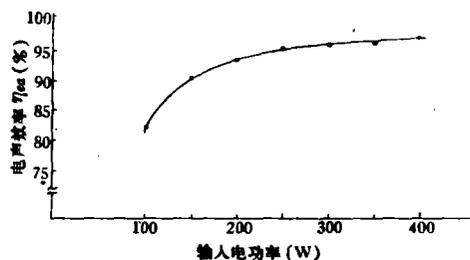


图 3 电声效率与输入电功率的关系

由表 1 和图 3 可见,随着输入电功率增加,电声效率也增加。输入电功率由 100W 变化到 400W 时,换能器的电声效率由 82% 增加到 97.1%,相对变化 15.6%。灯泡电阻值随温度升高而增加,为了解灯泡电阻值的变化对换能器负载条件及效率的影响,在不同功率 (P_2) 条件下测量灯泡阻值的变化,结果也列于表 1。对照图 2 得知,由于电阻值的变化引起换能器电声效率的相对变化仅为 4.7%。可见,换能器电声效率随输入电功率的增加而增加的现象是存

的,其原因有待于进一步研究。

3. 电声效率的频率特性

用六个 100W 灯泡,两个并联然后三组串联代替 R 。测量时固定输入电功率为 200W,改变电功率源的频率,测量输出功率。图 4 为测量结果。在换能器的共振频率上工作时得到最大电声效率。在此频率上当输入电功率为 500W 时,换能器的温升只有 9℃。

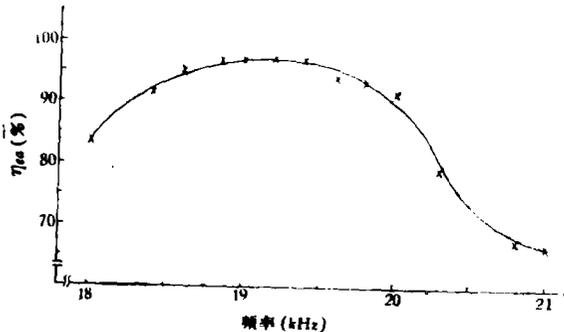


图 4 电声效率的频率特性

4. 高声强换能器振动系统的电声效率

利用上述换能器,在辐射端面连接一阶梯形变幅杆,其直径比为 3:1,变幅杆的小端面向水中辐射。利用电测法^[6]测量电声效率。初步测量结果为:水负载时输入电功率 91.5W,介电损耗 3.5W;空载时输入电功率 50W,介电损耗 3W,由以上 4 个量得到输出声功率为 41W,因此水负载时的电声效率为 45%。

5. 半穿孔结构宽频带压电换能器^[7]的电声效率

换能器样品为 403#,向水辐射,输入电功率分别为 100 和 150W 在不同频率上进行测

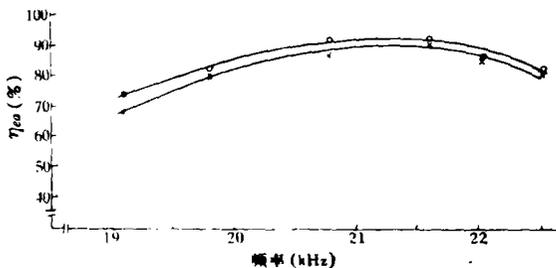


图 5 半穿孔结构宽频带换能器的效率

○——输入电功率为 100W ×——输入电功率为 150W

量,结果画于图 5。由图 5 可见,这种换能器的电声效率最高可达 90%,而且在较宽的频率范围内效率保持在 80%,适合用于超声清洗等液体处理设备。

输入电功率为 150W 时,电声效率略低于输入 100W 时的效率,这可能是因为空化强度增加,声辐射阻下降。

四、讨 论

1. 铝合金对称结构夹心式压电换能器在声负载最佳匹配下,在输入电功率为 200W 时,电声效率可达 92%,而且在较宽的频率范围内效率变化不大。观测到电声效率随输入电功率的增加而增加。当输入电功率为 400W 时,电声效率可达 97%。

2. 对 403# 半穿孔结构宽频带夹心式压电换能器的测量表明,这种换能器在水负载下工作时,由于声负载匹配良好,电声效率可达 85~90%,而且在 2kHz 的带宽(中心频率为 21kHz)内电声效率仍然保持在 80%。

3. 对带有直径比为 3:1 的阶梯型变幅杆的高声强换能器振动系统在变幅杆小端面向水辐射时,由于声负载匹配不佳,电声效率只有 45%。显而易见,在实际工作中大半功率都消耗在换能器上,因而表现为换能器发热量大;而当声负载匹配良好时(如第一点所讨论),电声效率高,消耗在换能器上的功率少。铝合金对称结构夹心式换能器在最佳声负载匹配条件下,当输入电功率为 500W 时,换能器的温升只有 9℃。

4. 压电换能器在轻负载下工作时,其电声效率较低,系统的 Q 值较高。在同样输入功率时换能器中应力腹点的应力水平较高,因而机械损耗较大,此时压电片处于远离应力波腹处对提高换能器的效率有好处;但是,当换能器在较佳负载下工作时,在相同输入功率,换能器中的应力水平较低,机械损耗较小,此时若采用对称结构,因其输入阻抗较低,能降低介电损耗,

(下转第 32 页)

信号做的辛勤劳动表示感谢。最后向张双荣同志为实际模拟信号输入计算机所做的贡献表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Ulrich Appel and Achim V. Brandt, *Information Sciences Journal*, 29 (1983), 27—56.
- [2] G. Bodenstein and H. M. Praetorius, *Proceeding of the IEEE*, 65-5 (1977), 642—652.
- [3] J. Makhoul, *Proc. IEEE*, 63 (1975), 561—580.
- [4] A. V. Oppenheim, Editor, *Application of digital signal processing*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 07632, 1978.
- [5] L. R. Rabiner and R. M. Schafer, *Digital processing of speech signals*, Prentice Hall, Inc., 1978.

- [6] F. I. Itakura, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal processing*, ASSP-23 (1975), 67—72.
- [7] A. H. Gray, Jr., J. D. Markel, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal processing*, ASSP-24 (1976), 380—391.
- [8] P. D. Souza and P. J. Thomson, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal processing*, ASSP-30(1982), 304—315.
- [9] J. M. Tribolet, L. R. Rabiner and M. M. Soudhi, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, ASSP-27 (1979), 550—558.
- [10] H. Akaike, *IEEE Trans. AC*, Ac-19 (1974), 716—723.
- [11] C. H. Chen, *Characterization and recognition of underwater transient signals*, Proc. Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal processing, San diego, April, 1984.

(上接第 13 页)

这对我们今后办好《应用声学》，即促使《应用声学》更好地为社会服务，促进我国应用声学事业的发展是有裨益的。在适当时候，我们还想多走访几个地区，多了解一些情况。

我国的声学工业分布地区很广，厂家众多、产品繁杂。这次调查形如走马观花，至于本报

道所反映的情况，仅是根据初步、粗浅的了解。我们力量有限、学识浅薄，尤其对工厂情况更不熟悉，故报道中缺点、谬误在所难免，诚恳希望读者批评指正。

在调查中我们受到学会一些领导、《应用声学》一些编委和有关厂家的热情接待和多方关怀指导，在此顺致以衷地谢意。

(上接第 16 页)

对提高电声效率较为有利。

参 考 文 献

- [1] E. Mori and S. Ucha, *Proceedings 6th International Congress on Acoustics*, 1968.
- [2] E. A. Neppiras, *Ultrasonics International 1973 Conference Proceedings*, 295.
- [3] J. B. Jones and N. Maropis, U. S. Patent 3, 283,

182. 1966.

- [4] R. A. Lemaster and K. F. Graff, *1978 Ultrasonics Symposium Proceedings*, IEEE.
- [5] Y. Banno, *Ultrasonics* 17(1979), 63.
- [6] 林仲茂, *声学学报* 7(1982), 267.
- [7] J. S. Hickman, U. S. Patent 3, 303, 688, 1965.
- [8] E. Mori and K. Itoh, *Proceedings 8th International Congress on Acoustics*, 1974 V. II., 426.
- [9] 中国科学院物理研究所超声处理组, 宽频带夹心式压电换能器, *物理学报*, 25(1976), 85.