

## B 超声换能振动系统

### B1 决定夹心换能器潜在效率的动态参数 $N_{eff}$ 的解析

颜忠余 林仲茂

(中国科学院声学研究所 北京·100080)

在大功率超声应用中换能器的电声效率是一个至关重要的量。如何提高工作效率是功率超声工作者关心的焦点,在这方面已做了不少工作,一是换能器本身的潜在效率,一是通过阻抗匹配尽量发挥换能器的潜在效率,文献[1]给出了决定换能器潜在效率的参数 $N_{eff}$ 及最佳匹配负载系数。

$$\eta_{max} = [(N_{eff} + 1)^{1/2} - 1]^2 / N_{eff}$$

$$N_{eff} = Q_c Q_m K_{eff} / (1 - K_{eff}^2); \quad P_{opt} = (N_{eff} + 1)^{1/2}$$

如何使 $N_{eff}$ 最大,这是本文进行换能器优化设计的目标。

文中给出 $Q_c$ 、 $Q_m$ 、 $K_{eff}$ 等参数的解析表达式,分析了材料参数及组成结构对 $N_{eff}$ 的影响,给出 $N_{eff}$ 的变化曲线,得出一些结论,从而为夹心换能器的优化设计提供了依据。 $Q_m$ 的表达式为:

$$Q_m = \omega M_{eff} / R_m$$

$$M_{eff} = (V^2)^{-1} \int V^2(x) dM$$

$$R_m V^2 = \omega \int_0^l E'' S \left| \frac{\partial \xi}{\partial x} \right|^2 dx$$

其中 $V$ 为换能器与负载连接端面的振速幅值, $E''$ 为压电材料复弹性模量的虚部。

$K_{eff}$ 由换能器机械输入阻抗与压电换能器在共振频率附近的等效线路的类比而获得。

$Q_c = 1/\text{tg}\delta_c$ 由压电材料决定,与电场强度有关,是一个不易精确定量的量,在分析过程中假定为一个不变的量。

谐振频率固定在10kHz,通过改变解析式中的各种参数,即可找出 $N_{eff}$ 随材料及结构参数的变化规律,得出如下结论:

位移节点位置离压电堆中心越远, $N_{eff}$ 越小;压电堆占整个换能器的体积越小,节点位置对 $N_{eff}$ 的影响越小;当节点在压电堆中心时, $N_{eff}$ 几乎不受压电堆与整个换能器的体积比影响;随着压电材料有效机电耦合系数的增加, $N_{eff}$ 增加;压电换能器前后端块材料对 $N_{eff}$ 影响很小。

这些结论在换能器设计中具有一定指导意义,结合最佳匹配负载系数 $P_{opt}$ ,就可以很好地发挥换能器的潜在效率。