



“一种新型的超声加工深小孔的工具系统” 一文讨论：非半波长变幅器

汪承浩

(中国科学院声学研究所)

1982年1月20日收到

范国良、应崇福、林仲茂和彭翔的“一种新型的超声加工深小孔的工具系统”一文^[1]，提出了一种非半波长的等截面杆的工具系统，是很有价值的。其意义在于实际证明了传统的只有半波长或半波长级联的杆才能构成超声振动系统的观点可以打破，并在实用上解决了由于工具头磨损而限制了超声加工应用的长期令人困扰的问题。

文[1]提出的超声加工的工具系统，实际上是一个非半波长的均匀杆变幅器。对于非半波长变幅器，在我们的工作“广义变幅器的理论——有负载情况下变幅器特性研究”^[2]中，曾进行了一些理论探讨。在文[2]中将半波长变幅器和推广的非半波长变幅器进行的统一讨论称之为广义变幅器理论。

对于等截面杆变幅器在文[2]§2中进行了讨论。文中指出，均匀杆只有在半波长时才不变幅，而在其它情况下均能变幅。特别是在 $\lambda/4$ 或 $\frac{(2n+1)}{4}\lambda$ 时，此时变幅比

$A = x$, $x = z_A/z_R$, ($z_A = \rho cs$, ρc 为杆材料的特性阻抗, z_R 为负载阻抗)。

由上式可见，当 $x > 1$, A 也大于 1。此时变幅比 A 也为极大。这可由文[2]的式(2)和图(2)得出*。因此文[1]中工具系统实际上是 $1/4$ 波长的变幅器，正如文[1]所述，末端面为波腹，而工具系统与变幅器连接处为波节。

此种变幅器在无负载时， $A \rightarrow \infty$ 。但由于

实际上材料损耗的存在， A 将是有限的，它在一级近似下，由文[2]中式(34)所给出，

$$A \approx 4Q_M/\pi,$$

Q_M 是材料的机械 Q 值。因而这可定性解释文[1]中所述：“在它（指工具系统）的输出端，在空载时得到比与之相接的变幅器输出端大数倍的位移振幅”。至于为什么 A 不能像上式所给的那么大（ $\because Q_M$ 对于一般材料在小振幅时还是相当高），这可以由 Q_M 在大振幅下急剧下降来定性解释。

我们下面来看一下阻抗变换关系。此时，工具系统的输入阻抗（即文[1]所说工具系统与变幅器系统联接处阻抗），在 $\lambda/4$ 条件下为（文[2]式(4)）：

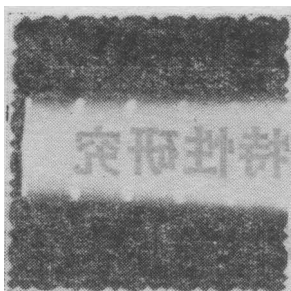
$$z_{in} = z_R \cdot A^2 = z_A^2/z_R$$

一般地说，在超声加工中也属于轻负载条件，即 $x > 1$ 。即 $A > 1$, $\therefore z_{in} > z_R$ 。这就是说 $\lambda/4$ 的均匀杆变幅器将阻抗提高了 A^2 倍。而恰当地提高等效辐射阻抗，将有利于提高系统的效率。

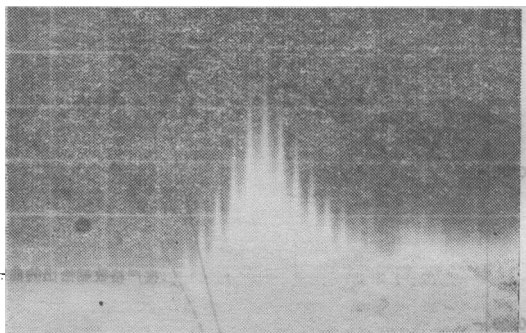
对于文[1]所提的变幅器系统（所谓 D 系统），因为文[1]没有提供详情，这里只能作揣测地估计。由于经过 $\lambda/4$ 的工具系统变幅，大为提高了等效辐射阻抗，这时对 D 系统，负载虽属轻负载，但比较地重，即 $x < 1$ ，但较接近于 1。

（下转第 19 页）

* 图 2 给出的 KL 区间在 $(0, \pi)$ ，实际上 A 是以 π 为周期重复的。



(a) 输入信号
窄带噪声(中心频率: 30MHz;
带宽: 8MHz)
调制信号(重复频率: 500kHz;
中心频率: 30MHz; 脉宽: 0.3μs)
(水平: 1μs/div; 垂直: 0.5V/div)



(b) (a) 信号的谱
(水平: 2μs/div; 垂直: 0.2V/div)

图9 窄带噪声及信号同时输入的谱

结 束 语

虽然本报告仅提供了两种 SAW 器件所组

(上接第 48 页)

又因这时 D 系统是通常半波长变幅器。虽然如文[2]所指出,从变幅观点, $\lambda/2$ 变幅器是一种比较差的变幅器,但是它工作比较稳定,特别是在较重负载下(参见文[2]§4和§6)。由文[2]图6到图8可见,当 x 比1不很大时, A 在 $\lambda/2$ 处附近比较平坦,变化较小,而由文[2]式(30)可知,其阻抗变化也较小(也可参见图9),这就是说,此时D系统在负载下 Q 值较低,因而在相当宽的频带内工作。

因此,文[1]提供了一个在轻负载下,既能有较高效率,又能在工具系统因磨损不断改变固有频率下均能有效工作的超声振动系统。

我们认为,如果将磁致伸缩换能器换成电

应用声学

成谱分析系统的初步实验结果,但可以看出,这种系统结构很简单,而且具有实时、大带宽的特点。

该系统可直接用于测量未知信号的频率、作谱分析;测量脉冲信号的重复频率、脉宽;线性调频信号的斜率测量等。还可与 CCD 器件组合用于动目标显示及测量等等。

此外,系统的潜在应用还包括信号的抗干扰接收,尤其有利于抗窄带干扰;还原失真信号等。因此可以认为,这是一种具有较大应用潜力的信号处理系统。不仅可用于雷达、通信、电子对抗、导航中,而且与 CCD 器件组合后,还可用于地震、机械振动、语言、声呐等系统中作谱分析。

本项工作得到应崇福教授、汪承瀛副研究员的关心和讨论,本所魏玉兰、李丽岩、申庆凤、许培兰、张桂云等同志为本项工作提供了实验 SAW 器件,作者谨此表示感谢。

作者还感谢空三所为本实验提供了窄带噪声干扰组合。

参 考 文 献

- [1] O. W. Otto, *Electron. Lett.*, 8 (1972), pp. 623—624.
- [2] M. A. Jack, et al., *Proc. IEEE*, 68 (1980), pp. 450—468.

损耗较低的压电夹心式换能器,它将能进一步提高效率,这是因为压电换能器在最优匹配状态下的等效辐射阻抗还可进一步提高的缘故。

以上的讨论虽然是较为粗糙的,但似乎可说明,文[1]的实验和文[2]的理论在一些地方可以相互印证。当然,深入的定量工作,正如文[1]所说还有待进行。而此工作是很有意义的;因为它在相当程度上将改变超声振动系统的传统观念,而且使它的性能获得进一步改善。

参 考 文 献

- [1] 范国良,应崇福,林仲茂和彭翔,应用声学,1-1(1982),2—7.
- [2] 汪承瀛,声学学报,1 (1980), 12—27.