

图 7 PdSiAg 非晶合金中切变波声速相对变化与温度关系 为从事低温物理学科中的声学研究,创造了有 利条件.

超声低温实验装置的研制工作开始于 1981年底,完成于1983年7月. 设备的建立 曾得到北京物理所邓廷璋同志的大力支持和帮助;低温装置的设计过程中得到景石群同志的 帮助;刘承勋、姚陵、吴良同志参加了低温设备 的测试、安装和实验工作,在此向他们表示感

参考文献

- [1] Bömmel, H. E., Phys. Rev., 96(1954), 220-221.
- [2] Morse, R. W., and H. V. Bohm, Phys. Rev., 108 (1959), 1094-1096.
- [3] 吴贵玉,孔祥致,吴昆裕,周康源,张谦琳,陆玲珍,应用 声学,4-1(1985),22-25.
- [4] 吴贵玉,陆玲珍,钟德元,张国柱,应用声学,2-4 (1983),45-47.
- [5] 张谦琳,吴昆裕,胡建恺,吴柏枚,中国科学技术大学学报,13-3(1983),353--358.
- [6] Truell, R., C. Elbaum and B. B. Chick, Ultrasonic Methods in Solid State Physics, Academic Press, New York and London, 1969, 103-113.
- [7] Bömmel, H. E., W. P. Mason, A. W. Warner, Phys. Rev., 102(1956), 64-71.
- [8] 张谦琳,吴昆裕,吴柏枚,陈兆甲,应用声学,5-》 (1986),32-34.
- [9] Anderson, O. L., H. E. Bömmel, J. Am. Ceram. Soc., 38(1955), 125-131.
- [10] Wu Kunya, Zhang Qianlin, Chen Zhaojia, Wu Baimei, 声学学报, 10-3(1986), 196-198.
- [11] Dutoit, M., H. S. Chen, Appl. Phys. Lett., 23 (1973), 357-358.

利用时空关系抑制高频线列阵的指向性栅瓣

梁才忠·

(无锡 721 厂)

1985年10月22日收到,修改稿1986年12月2日收到

本文提出,在特定的高频线列阵上,发射的声脉冲宽度,波束的聚焦距离、基元的指向特性,三者构成的时空关系将有明显的抑制栅瓣的能力.建立了统一的指向性公式,提出了双列线列阵的设计方法. 最后结合一例,给出抑制栅瓣的计算结果.

一、前 言

用于水下声成像或水下探雷等目标识别的 高频线列阵,一般要求有较高的横向分辨率和 时间分辨率.为此,线阵的长度往往达到几十个 声波长乃至几百个声波长,而且需工作于短脉 冲.另外,这类线列阵一般都在近距离工作.为形 成较好的指向性,要求声波在不同的探测距离

• 22 •

上有动态聚焦的能力.在工程上,为降低成本, 减少工作量,在不影响分辨率的前提下,希望线 列阵所用基元数目尽量少.因而相邻基元的间 距一般都大于一个波长,甚至接近两个波长.此 时线列阵的指向性就出现了较严重的栅瓣.栅 瓣不仅损失了声能,而且严重干扰了有用的声 信号,故必须对栅瓣进行有效地抑制.目前抑 制栅瓣的方法虽然不少,但都有这样或那样的

6卷3期

谢.

局限性,真正能够实用的并不多.

本文对高频线列阵的指向特性 进行 了 研 究.提出声脉冲宽度、声波束的聚焦距离以及 基元的指向性,在一定条件下,都具有抑制栅瓣 的能力.将三者综合在一起设计,就能达到比 较满意的抑制栅瓣的效果.

二、短脉冲抑制栅瓣的原理

工作于短脉冲的高频线列阵,其指向性已 不仅是空间的函数,而且还是时间的函数.在 图1中,各个基元到达 p 点的声程差异较大.第 ;个基元发出的声波已经通过 p 点,而第 j 个 声元发出的声波还没有到达 p 点^m.因而在 p 点上,在某一时刻只有部分基元发出的声波能 相遇迭加;而在不同的时刻,声波迭加的情况不 同.

在线路上,可以通过延时处理,使各个基元 发出的声波同时在空间某点上同相迭加,即聚 焦.而在其它空间点上,声波迭加的结果,其强 度总是小于焦点上声波的强度.不仅如此,若 以声波到达焦点的时刻为参考时刻,则在空间 其它点上,声波出现的时间不是提前了,就是迟 后了,而且声脉冲的响应时间也展宽了.空间 点越是远离焦点,这个现象越明显.

由于出现栅瓣的空间点一般都较远离聚焦 点,所以与主瓣脉冲相比,栅瓣脉冲出现得较 迟,且脉冲的持续时间也展得较宽.自然,其强 度也减弱了很多^[2].参看图 5.



办法,但受到基元尺寸的很大限制。单列线列 阵无法克服基元尺寸与相邻二基元间距之间的 矛盾。

根据基元沿垂直方向作少许平移后,线列 阵水平指向性不变的原理,可将基元分成两排、 错开排列,见图 2. 这样,在保持基元间距不变 的前提下,基元的尺寸几乎可增大一倍,从而增 强了基元的指向性. 为保持线阵垂直指向性 不变,双列线阵的宽度应等于原单列线阵的宽 度.



图 2 双列线列阵

利用双列线列阵来抑制指向性栅瓣,要求 最近的目标距离满足基元的远场条件,以确保 基元指向性的稳定形成,而这个条件一般都是 满足的.

四、指向性函数的建立

据据高频线列阵的工作特点,通常以连续 波理论为基础的远场指向性函数已不适用,需 要另行建立指向性函数.

在图 3 中, po 点为聚焦点,即N个基元发 射的声波同时到达 po 点,同相迭加. ao 为线列 阵中心到 po 点的方位角; Ro 为 po 到线列阵的 垂直距离; Do 为相邻基元的间距; p 为任意的 空间点; a 为线列阵中心到 p 的方位角; R 为 p 点到线列阵的垂直距离.第; 个基元到达 po 点



?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的声程为 R_{i0} (下同),而到达 P 点的声程为 $R_{i.}$ 设工作频率为 F,声脉冲为理想的矩形填充波, 宽度为 r.



图 4 在空间某点上声脉冲的通过情况

若以 Ro 为参考声程,为使各基元发射的声 波同时到达 po 点,则第 i 个基元应提前发射的 时间为

$$T_{i0} = (R_{i0} - R_0)/c$$
 (1)

式中 c 为介质的声速.若以第 i 个基元的声波 到达 po 的时间为起始时间,则第 i 个基元发射 的声波到达 p 点的时间为

$$T_i = (R_i - R_{i0})/c$$
 (2)

图 4 表示,在 p 点上第 K 和第 M 两个基元 发出的声波在时间轴上的位置。它们在首尾相 重迭的任一时刻都能够迭加.因此,不难写出各 基元发出的声波在 p 点发生干涉迭加的时间条 件为

0 > *T*₁ - *T* > -τ (3) 式中*T* 为时间轴上的任意时刻. 根 据 (3) 式, 我们可以方便地写出高频线阵的指向性表达式

$$G(\alpha, R, T) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N} [A_i G_i(\alpha) / R_i] e^{-j\omega(T_i - T)} \\ \sum_{i=1}^{N} (A_i / R_{i0}) G_i(\alpha_0) \\ 0 & 0 < T_i - T < -\tau \end{cases}$$
(4)

式中 A_i 为第 i_i 个基元的发射(或接收)灵敏度; N 为双列线列阵的基元总数,应为偶数; $G_i(\alpha)$ 为第 i 个基元的指向性函数.

 $G_i(\alpha) = \sin(0.5kL \sin \beta_i)/0.5kL \sin \beta_i$ (5) 式中 $\beta_i \neq \alpha$ 的函数,其关系为

$$\beta_i = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{0.5D_0 \left(N + 1 - 2i \right)}{R} + \operatorname{tg} \alpha \right]$$
(6)

$$k = \omega/c \tag{7}$$

L为基元沿线列阵长度方向上的有效尺寸; を 为波数; ω为角频率.利用(6)式可以求出空 间某点 ρ 或 ρ 到各基元的声程

$$R_i = R/\cos\beta_i \tag{8}$$

$$R_{i0} = R_0 / \cos \beta_{i0} \tag{9}$$

式 (9) 中 β_{i0} 是当 $R = R_0$, $\alpha = \alpha_0$ 时的 β_i 值.

五、计算结果讨论

为对高频线列阵的指向性栅瓣进行全面研 究,本文结合一个具体的线列阵实例进行了计 算.该线阵的参数是: N = 112; D_0 =0.57cm; L = 1cm; F = 400kHz; $\tau = 1$ ms. 计算结果 见表 1 和图 5. 计算表明,基元的指向特性, 窄 的脉冲宽度以及波束的聚焦距离,三者共同构





表1 在不同条件下,栅瓣的抑制情况

	聚焦距离	栅瓣位置	栅瓣出现的时间	栅瓣脉冲展 宽倍数	栅辩脉冲电平	
<u> </u>					基元有指向性	基元无指向性
脉冲波	3m	- 24.3°	-0.2ms	7	- 17.7dB	- 15.4dB
	30m	- 24.6°	1.1ms	7	- 28dB	- 15.6dB
连续波	3m	-24.3°	1	1	- 10.7dB	-6.4dB
	30m	-24.6°	1	1	- 16dB	-1.9dB

注: 以 α₀ = 14° 时的主瓣电平为 OdB.

• 24 •

6 卷 3 期

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成的时空关系,可以获得较为满意的抑制指向 性栅瓣的效果。栅瓣被抑制的程度在-17.7dB 和-28dB之间。其中短脉冲的作用最为明显, 其次是基元的指向性。聚焦距离主要是通过基 元的指向性起作用的。从表1中可看出,在连 续波情况下,若基元无指向性,聚焦距离又比较 远,则高频线列阵的指向性栅瓣就与常规的线 阵指向性栅瓣接近一致了。 作者在本工作中,得到了邱永德同志自始 至终的关心和指导,在此深致谢意。

参考文献

- [1] J. 克劳特克默等著,李靖等译,广东科技出版社,1984, 57.
- [2] Tancrell, R. H. et al., 1978 Ultrasonics Symposium Proceedings IEEE, 339-343.

声发射研究中的宽频带接收换能器

梁家惠 林耀海 (北京航空学院) 1985年10月22日收到

文章总结了作者在宽频带声发射换能器方面的一些工作和体会,并给出了若干换能器灵敏度估算 的数学推导。

宽频带换能器在声发射 (AE) 技术 及 其 应用中占有重要地位. AE 检测要通过换能器 把声信号转换成电信号,而声发射信号的出现 往往是和材料或构件中局部能量的突然释放过 程相关联的,具有很大的随机性. 信号的频带 很宽. 因此,要从 AE 信号中提取各种有用的 信息(如时域或频域的波形分析等),离不开宽 频带接收换能器. 即使是出于检测微弱信号的 需要而采用谐振式换能器,也有一个如何获得 噪声背景谱及信号谱的分布问题,以便更有效 地选择频率窗口,提高信噪比. 这同样也需要 宽频带换能器.

各种测量表明, AE 信号的频率分布与材 料或构件的具体特性有关.考虑到低频机械噪 声的干扰及高频的传播衰减等因素,通常的声 发射接收换能器的频段在几十千赫到两兆赫附 近.

宽频带换能器有多种类型.图1给出的是 一种类似超声探头的AE换能器⁽¹⁾,它由共振频 率为几兆赫的压电陶瓷片加重背衬而构成.其 接收灵敏度可由 Mason 等效线路如下算出.



图 1 宽频带换能器 1.保护膜; 2.压电片; 3.背衬; 4.外壳; 5.插座.

我们假定: 1.保护膜和背衬与压电片完全 匹配,声波进入背衬后,不再由端面反射回压电 片; 2.声波垂直入射到晶片表面. 各端面严格 平行,镀银层和粘接剂的影响可以忽略; 3.晶 体只作一维的轴向振动; 4.接收时,换能器的 电端开路. 全部等效线路如图 2 所示. 各单元 之间用虚线隔开. 其中 $z_0 = \rho CS$,有关参数 的意义可参见文献 [2]. 换能器的开路输出电

• 25 •

应用声学