

# 带软障板线列阵的旁瓣抑制

耿成德

(七一五研究所)

1989年5月8日收到

本文计算了带反声障板线列阵的指向性,并采用换能器串、并联的简便方法实现等效的幅度束控以达到抑制旁瓣的目的,又进行了实测。无论是对均匀线列阵或对幅度束控阵,计算和实验相比吻合尚好,验证了理论公式的正确性。此方法可推广用于圆柱阵垂直指向性旁瓣的抑制。

## 一、引言

在通常的基阵布阵研究中,常常假设基阵是全“透声”的(即可以略去组成基阵的基元之间以及基元和装置架之间的互散射作用)。但在工程应用的实际基阵中,必须采用声障板,当考虑到声障板作用时,基元的方向性因子是与障板的结构、尺寸、形状、障板与换能器之间的距离有关的。因此无论是采取幅度束控、相位束控,或者幅度和相位同时束控的抑制基阵旁瓣的研究中,必须讨论声障板对基元指向性的影响。在接收圆柱阵中,为了在较宽频带内使声障板具有较好的反射特性和屏蔽特性,通常使用声软障板(反相全反射)。本文讨论在含有声软障板的反射影响情况下,基元指向性变化和它对线列阵指向性旁瓣的抑制作用。实验表

明,在所给条件下,不考虑基元互散射作用的带障板的线性列阵指向性公式仍可适用;文中特别提出用基元水听器串、并联实现幅度束控的方法,经证实是行之有效的,它还可以推广用于圆柱阵垂直方向性旁瓣的抑制。

## 二、幅度束控公式

在一些研究束控的文献中,主要关心的是基元加权对指向性的研究,所以常假定基阵是由各向同性基元组成的。而我们要讨论的是在带声障板的情况下阵的指向性。由于声障板散射的存在,严重改变了基阵阵元的声场分布,带声障板的基阵上的基元不再是无指向性了。我们采用的声障板可近似为绝对软障板;众所周知,对于无限大绝对软障板前置放一点源换能器的声场,采用镜象法,很容易导出其声场的指

## 欢迎订阅《应用声学》

本刊是中国科学院主管、中国科学院声学研究所与中国声学学会主办的科技刊物。读者对象为从事声学方面科研、教学、医疗技术、产品与设备开发、科技管理的工作者,以及有关的大专学生。国内外公开发行。双月刊,逢单月14

日出版,每期定价2元,全年共12元。由北京市邮政局发行,全国各地邮局均可办理订阅。国内邮发代号:2-561,国外刊号Q607。欢迎订阅。

《应用声学》编辑部

向性<sup>[1]</sup>。其基元因子  $E(\theta)$  可用下式来描述:

$$E(\theta) = \frac{|\sin(kH \cos \theta)|}{|\sin(kH \cos \theta)|_{\max}} \quad (1)$$

式中  $H$  为水听器有效声中心离声障板的距离;  $k$  为水中圆波数;  $\theta$  为入射声线与水听器声轴方向的夹角。考虑到声障板对反向声波的屏蔽作用,  $\theta$  角限制在范围  $-90^\circ \sim +90^\circ$  内。(1) 式中分子在  $kH \leq \pi/2$  (相当于  $H < \lambda/4$ ) 时, 最大值总是在  $\theta = 0^\circ$  方向上, 其值为  $\sin(kH)$ ; 而在  $kH > \pi/2$  时, 其最大值是一个极值, 它出现在  $\theta = \pm \cos^{-1}(\lambda/4H)$  方向上, 其值为 1。

于是由  $N$  个偶数基元组成的带声障板的线列阵幅度束控的表示式可写为:

$$R(\theta) = \frac{|\sin(kH \cos \theta)|}{|\sin(kH \cos \theta)|_{\max}} \frac{\sum_{i=1}^{N/2} A_i \cos[(i - 1/2)u]}{\sum_{i=1}^{N/2} A_i} \quad (2)$$

式中

$$u = kd \sin \theta \quad (3)$$

$A_i$  为第  $i$  个基元的束控振幅系数, (3) 式中的  $d$  为水听器基元间隔。

### 三、实 验

#### 1. 实验阵和测试方法

矩形平面基阵是由 20 块粘贴在 3mm 厚平面钢板上具有聚氨酯包复的耐压泡沫塑料反声软障板 ( $170 \times 170 \times 25(\text{mm})^3$ ) 和垂直错开半个基元间隔 ( $d = D/2$ ) 的三条 (每条 4 个基元) 水听器组成, 如图 1 所示。12 个水听器皆穿过平面声障板 (用圆圈表示), 水听器有效声中心离声障板的平均距离  $\bar{H} = 30\text{mm}$ , 水听器垂直间距  $D = 148\text{mm}$ 。

为了探索圆柱阵沿母线相邻两条垂直错开布阵下垂直旁瓣的抑制效果, 我们对包括中间一条的相邻两条的垂直指向性的旁瓣抑制进行了实验研究。我们将平面基阵垂直吊放, 在实验室水池 ( $8\text{m} \times 5\text{m} \times 5\text{m}$ ) 用通常的脉冲法测

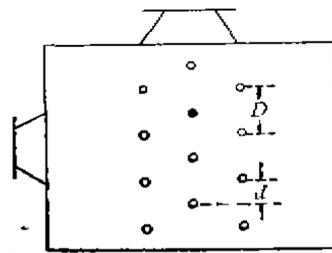


图 1 平面基阵水平布阵示意图

量了平面基阵中单个基元的指向性和两条组成的线列阵的垂直指向性。

#### 2. 实验结果与理论结果的比较

##### (1) 基元因子测量结果

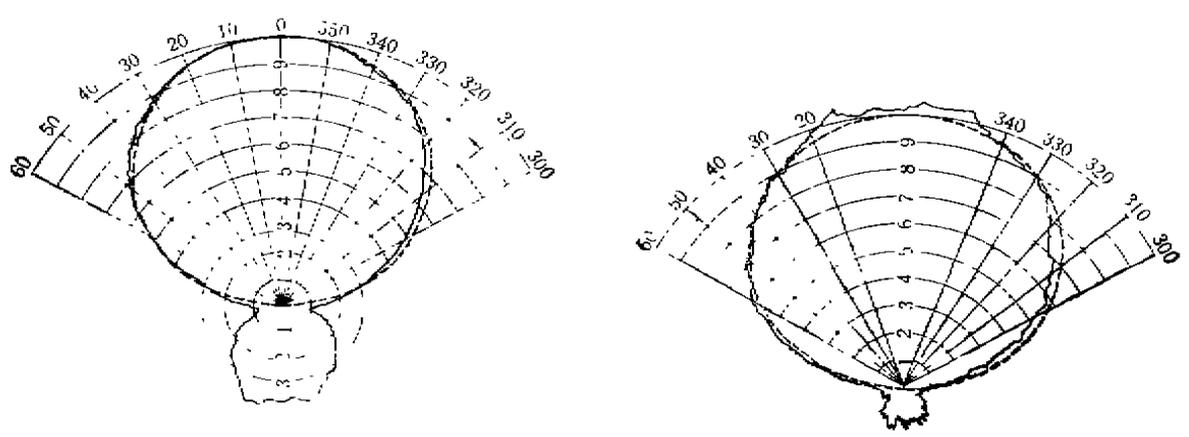
为了验证实验基阵中公式 (1) 的正确程度, 我们首先对平面基阵内中间一条中的一个基元 (图 1 中用黑点示出) 在三个频率 ( $f = 5, 8, 10 \text{kHz}$ ) 下的指向性进行了测量, 测试曲线分别示于图 2(a), (b), (c), 图中实线为测试值, 虚线为按 (1) 式计算的理论值。

从图 2 看出, 基元因子的测试图与理论计算值在较宽的频率范围内吻合得相当好。从而说明, 在上述的带声障板的平面基阵中, 虽然是对有限尺寸的障板 (障板的最小尺寸仅为  $2.3\lambda$ ), 仍可用无限大障板下的公式 (1) 作为理论的近似已足够精确, 这与文献<sup>[2]</sup>中所讨论的类似条件下的结果是一致的。

##### (2) 均匀束控结果

我们将中间两条基元直接并联输出, 在高频段两个频率 ( $f = 8, 10\text{kHz}$ ) 对基阵垂直指向性进行了测量, 测试曲线 (实线) 示于图 3(a, b), 图中的虚线是按公式 (2) 取均匀束控 (1, 1, 1, 1, 1, 1) 的理论计算结果。

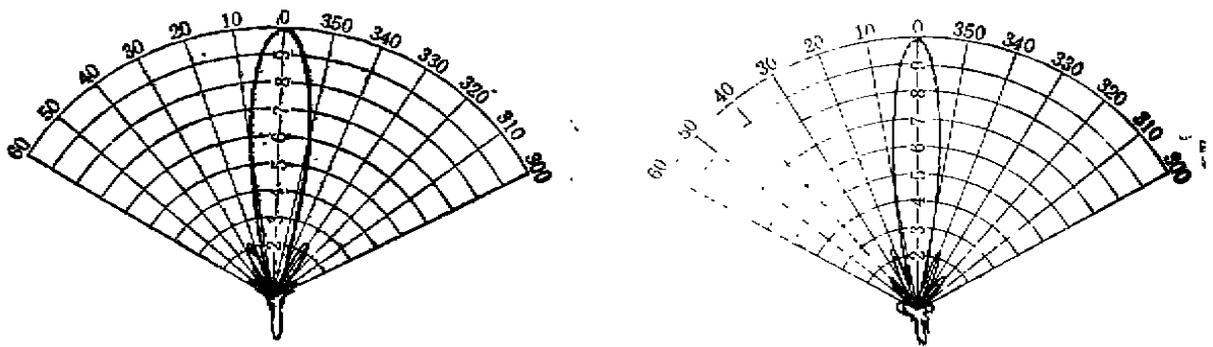
由图 3 看出, 实测图与理论计算的图吻合得很好。测试图的旁瓣比理论的结果稍高, 这是由于声障板散射场影响水听器幅度并非完全相同所致。从图中还可看出, 由于相邻两条错开排列, 在实际上构成一个二级复合系统, 在垂直定向平面中, 基元间距  $D$  变为等效间距  $d = D/2$ , 使得即使频率高达  $10\text{kHz}$ , 线列阵的垂直指向性图也没出现大的旁瓣 ( $f = 10\text{kHz}$ ,  $\lambda =$



(a)  $f = 5\text{kHz}$  (b)  $f = 8\text{kHz}$  (c)  $f = 10\text{kHz}$

图2 基元因子的理论曲线与测试曲线

——测试曲线；- - - 理论曲线



(a)  $f = 8\text{kHz}$

(b)  $f = 10\text{kHz}$

图3 线列阵均匀束控的理论曲线与测试曲线

——测试曲线；- - - 理论曲线

14.5cm, 单条阵  $D \approx \lambda$ ; 两条错开排列组合阵基元间距  $d \approx \lambda/2$ , 其效果是使用的工作频带被拓宽了。

(3) 串、并联结方式的幅度束控结果

通常采取在换能器的电端对电信号某种处理以达到基阵阵元声信号的幅度按某种束控办法, 以达到压低基阵旁瓣的目的。我们采取比这更简便的方法, 即通过将阵的基元水听器进行串、并联结的方法使阵的基元等效幅度比  $A$  为(1,1,2,2,2,2,1,1), 以期获得较好的抑制线列阵旁瓣的效果。它们按图 4 给出的串、并联

结方式(用电容符号代表水听器), 图中同时给出两条基元的序号示意图。

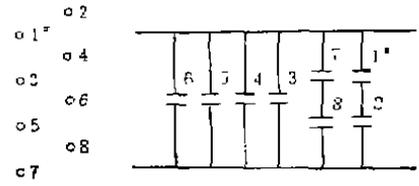
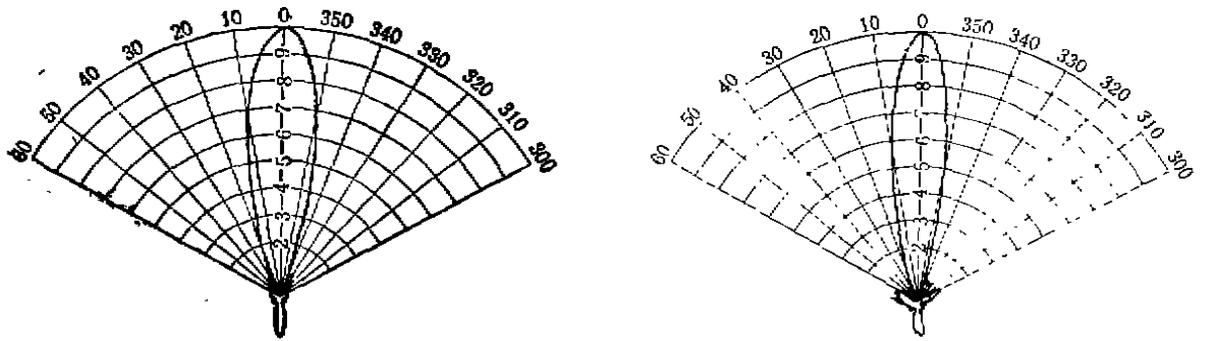


图 4 水听器串、并联结示意图

在人射声波频率为 8kHz 和 10kHz 情况, 测量了线列阵的垂直指向性。测试曲线用实线



(a)  $f = 8\text{kHz}$

(b)  $f = 10\text{kHz}$

图 5 幅度束控对线列阵旁瓣的抑制

——测试曲线; - - -理论曲线

表 1 线列阵的主瓣半功率点夹角  $\Theta_{-3\text{dB}}^0$  与第一旁瓣值  $\psi_1$

$f(\text{kHz})$	均匀束控(1,1,1,1,1,1,1,1)						幅度束控(1,1,2,2,2,2,1,1)					
	$\Theta_{-3\text{dB}}^0$		$\psi_1$				$\Theta_{-3\text{dB}}^0$		$\psi_1$			
	测试值	理论值	测试值		理论值		测试值	理论值	测试值		理论值	
			左	右	左	右			左	右	左	右
8	16.5	16.0	0.22	0.24	0.2053	0.2052	18.5	19.0	0.08	0.09	0.0448	0.0448
10	13.5	13.0	0.24	0.22	0.2102	0.2102	15.5	15.0	0.06	0.08	0.0471	0.0471

12

绘在图 5(a, b) 中, 图中的虚线是在此种束控振幅比  $A$  按 (1, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 1) 分布情况下, 用公式 (2) 计算的理论值。将图 5 与图 3 对照, 显见这种简便的实现幅度束控的办法就能使基阵的第一旁瓣大大降低 (旁瓣级由  $-12.4\text{dB}$  降至  $-21\text{dB}$ )。为了比较的方便, 我们将图 3 和图 5 的数值结果一并列在表 1 中。表中的  $\psi_{-3\text{dB}}$  表示以度计的指向性函数的半功率点夹角,  $\phi_1$  为第一旁瓣出现的相对幅值高。

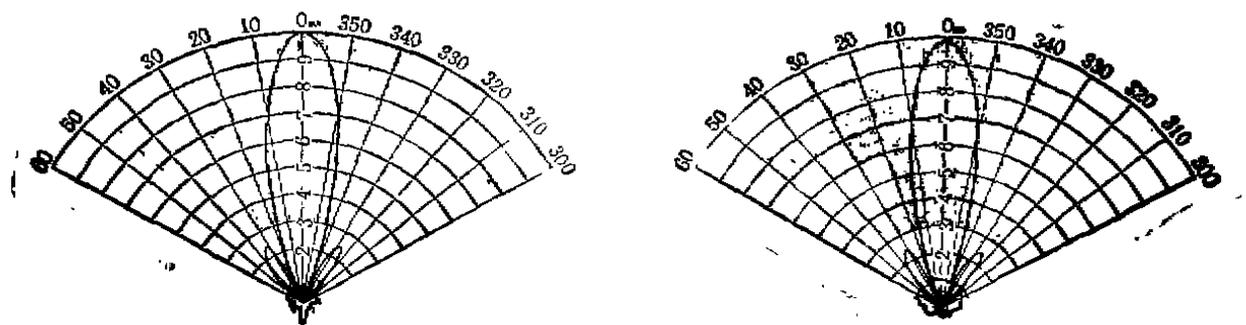
由图 5 和表 1 看出, 用换能器直接串、并联的经济而又简便的联结方式来实现幅度束控的效果是很理想的, 并且用本文所提供理论公式预计的结果也相当好。

#### 四、分析与讨论

从图 3, 图 5 和表 1 看出, 基阵的测试曲线与按公式 (2) 所作的理论计算值, 无论是对均匀束控还是幅度束控, 二者相当吻合, 说明对我们使用的声障板所建立的抑制线列阵垂直旁瓣

的数学模型 ((1)-(2)) 是正确的。

对于圆柱障板上沿母线安置的一条线列阵, 在垂直定向平面中 (即在包含母线和圆柱轴的平面中) 得到的指向性函数应当和平面障板上相同的线阵在垂直于声障板并包含线阵的定向平面中得到的指向性函数相同 (该平面障板的反射系数与圆柱障板的反射系数相同), 因为对圆柱阵来说, 它在垂直平面内的指向性可完全由水听器条的指向性所确定。图 6(a, b) 的实验也证实了这一点。因此我们上述的关于带障板的线列阵抑制旁瓣的方法用来讨论由同样声障板组成的稀疏圆柱阵的垂直旁瓣的抑制应当也是可行的, 亦即可以预料, 利用圆柱阵上所在的两条均匀线阵, 令其沿圆柱轴线方向错开半个间隔, 组合成如图 4 的复合线阵, 便可得到如图 5 那样的在圆柱阵垂直平面中束控阵的指向性图。但在垂直于圆柱轴的定向平面中, 圆柱阵的水平指向性图和平面障板上线列阵的水平指向性图 (垂直于线阵的定向平面内) 是不同的。



(a) 组成圆柱阵单条的垂直指向性图

(b) 扇瓦圆柱阵的垂直指向性图

图 6 圆柱阵及其单条的垂直指向性比较曲线

## 五、结 论

文中所给出带声软障板的线列阵公式经实验证明是正确的,同时所采用的串、并联水听器实现幅度束控的简便方法是行之有效的,这为大型稀疏圆柱基阵垂直旁瓣的抑制提供了可行的理论依据。

参加本实验工作的主要人员有宋明凯、李先荣、宋兰英、刘崇仪等同志;宋明凯同志对本文做了审阅,并提出宝贵意见,在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 耿成德,声学及电子工程,2(1989),7—10.  
[2] AD 764, 529, R.P. RADLINKI.

# 模拟置乱语音剩余可懂度的测试研究

张 知 易

(机电部第三十研究所)

1989年6月22日收到

对话音模拟保密通信而言,由于置乱技术的局限性和语音信号的多余度,至使置乱后的保密话音,仍具有一定程度的剩余可懂度。本文描述使用平衡数字串估价剩余可懂度的实验研究。结果表明,四位数字串集合是剩余可懂度测试估价的理想信息之一,而且采用加权校正计分公式  $RI_{dr} = \sum_{i=1}^4 W_i$  ( $IR_i - P_{i,r}$ ) 来计算数字串剩余可懂度是可靠、实用的。

## 一、引 言

言语保密通信要同时完成传递信息和改变被传信号“面目”的任务。实践表明,对语音信号实施数字式加密 (Digitally enciphering) 和模拟置乱 (Analogically scrambling) 都可以达到这种目的。

数字式加密把信息码与密码逐比特“加密”,窃听者不可能通过直觉从加密后的信号中得到任何可懂的信息。他能听到的只是一片噪声。模拟置乱则不同。由于置乱技术复杂程度受到很大局限,以及语音信号本身的多余度,置乱后仍保留一定的“原始”信息,或具有一定的剩余可懂度 (Residual Intelligibility), 窃听者就有可能从保密信号中直接感知部分信息<sup>[1-4]</sup>。虽然模拟置乱有这样的弱点,但它的简易和不要求宽带传输等优点使它仍具有较强的生命

力<sup>[4]</sup>。模拟话密机的研制者还在竭力用增加技术复杂性的办法来提高保密度,例如 FFT 办法,但要做到完全消除剩余可懂度也不是轻而易举的事。

因此,以定量的办法判断模拟置乱方式的脆弱性或测定其保密度,从而对其使用范围和使用风险做出估价就很有必要了。定量判断的方法之一就是主观测试保密信号的“剩余可懂度”。

剩余可懂度 RI 的定义如下: 设测试所用的明文信息集合有  $M$  个元素, 测听后不可懂的密文信息集合有  $C$  个元素, 定义

$$RI = \frac{M - C}{M} \times 100\% \quad (1)$$

称 RI 为百分数剩余可懂度。在没有特别说明时,就叫它“剩余可懂度”。

用一般的可懂度测试法在这里将是不适用的。虽然曾有人谈到用声图来客观测量剩余可