

# 圆阵声呐模拟器延迟线延迟间隔选择

戴福和

(船舶总公司辽海机械厂)

1990年5月22日收到

本文从解释圆阵声呐指向性函数有关参量的物理意义入手,推导出了实际设计带有延迟间隔影响的声呐模拟器方位设置的指向性函数,并描述了模拟器方位准确度与其延迟线的延迟间隔的关系,给出某些计算实例的结果。

## 一、引言

本文讨论的圆阵声呐的基阵是由多个基元在圆周上均匀布设构成的。在接收时,把来自相应基元的信号,加以适当的延迟补偿处理才具有指向性;作为测试设备的圆阵声呐模拟器,也要把各路相应信号加以适当延迟才能模拟声阵在声场中接收某方位来的目标信号。

上述延迟处理是用模拟的或数字的延迟线完成的。从工程实现的角度,延迟线只能达到一定离散时间间隔的准确性,我们称这个时间间隔为延迟间隔。由延迟间隔带来的实际时延与理论时延的误差,将直接影响模拟器设置目标方位的准确性。当然,设计中延迟间隔选取过大,模拟器将达不到规定的方位准确度指标;但是,延迟间隔选取太小,又会使模拟器尺寸增大、成本提高。因此,合理选取延迟间隔是声呐模拟器设计需要定量分析的问题。

## 二、离散延迟的指向性公式

如图1,在半径为 $R$ 的圆周上均匀布设着 $N$ 个水听器, $N$ 为偶数,由 $S-T$ 号基元参加定向工作,方位 $0^\circ$ 选择在圆心 $O$ 与第 $N/4$ 号基元的连线上,补偿参考点选择在圆心 $O$ 上,声呐

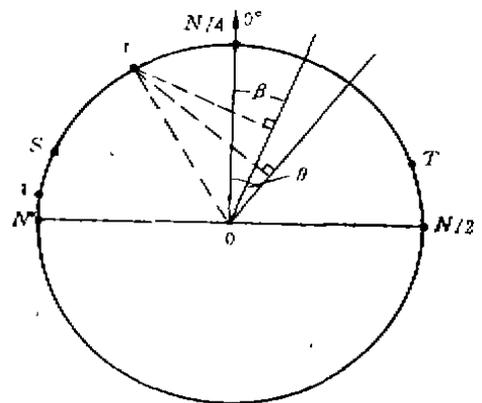


图1 圆阵补偿示意图

## 关于作者投稿,我刊通知决定刊登与否时间的规定

为贯彻中华人民共和国著作权法,现将我刊对来稿收录等事宜的规定敬告作者。

中华人民共和国著作权法第四章第一节第三十二条规定:著作权人向报社、杂志社投稿的,自稿件发出之日起十五日内未收到报社通知决定刊登的,或者自稿件发出之日起三十日内未收到杂志社通知决定刊登的,可将同一作品向其他报社、杂志社投稿,双方另有约定的除外。……

我编辑部根据对稿件进行初审、复审等具

应用声学

体情况,特与作者约定:自1992年元月1日始,收到来稿后将即通知作者,并注明收稿日期及编号,以便作者查询。来稿经审阅,认为可资刊登的,在收稿后三个月内函告作者决定刊登。如三个月内未收到决定刊登的通知,作者可将同一稿件投其他杂志。

作者切勿一稿两投。对我刊已通知决定刊登,随后并经刊出的文章,如发现又在其他刊物上刊登,我编辑部要求作者赔偿审稿费和版面费。

《应用声学》编辑部

波束补偿方位为  $\beta$ , 目标方位为  $\theta$ , 平面波信号频率为  $f$ , 声速为  $c$ 。

对  $i$  号基元来说, 接收信号相对参考点提前为

$$\tau_i(\theta) = \frac{R}{c} \sin\left(i \frac{2\pi}{N} - \theta\right)$$

声呐设备应补偿的时间为

$$\tau_i(\beta) = \frac{R}{c} \sin\left(i \frac{2\pi}{N} - \beta\right)$$

$i$  号基元的信号表达式为

$$\sin 2\pi f[t + \tau_i(\theta) - \tau_i(\beta)]$$

指向性公式可以写成<sup>[1]</sup>:

$$D(\theta, \beta) = \left\{ \left[ \sum_{i=K}^L \cos 2\pi f(\tau_i(\theta) - \tau_i(\beta)) \right]^2 + \left[ \sum_{i=K}^L \sin 2\pi f(\tau_i(\theta) - \tau_i(\beta)) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$

其中

$$K = S + INT(N\beta/2\pi) \quad (2)$$

$$L = T + INT(N\beta/2\pi) \quad (3)$$

符号  $INT(\quad)$  的意义是对  $(\quad)$  的内容取整数。

(1)式即是通常意义的指向性公式, 如果用声呐模拟器代替声场中实际的阵, 就可对该式中的参量明确如下的物理意义:  $\tau_i(\theta)$  代表理想模拟器各基元发出信号的时间, 而  $\tau_i(\beta)$  代表理想声呐各基元的补偿延迟时间。这里“理想”的含义是其延迟线的延迟是准确无误的, 没有实际延迟线对时间离散化带来的误差影响。在设计上, 由于模拟器的延迟线是时间离散的, 设延迟间隔取为  $T_E$ , 则  $\tau_i(\theta)$  只能由

$$INT(\tau_i(\theta)/T_E) \cdot T_E \quad (4)$$

替代, 产生误差

$$\Delta T_i(\theta) = \tau_i(\theta) - INT(\tau_i(\theta)/T_E) \cdot T_E \quad (5)$$

在研究模拟器延迟间隔对其设置方位的影响时, 我们可以假设声呐补偿器是理想的, 指向性公式可修改成

$$D(\theta, \beta) = \left\{ \left[ \sum_{i=K}^L \cos 2\pi f(\tau_i(\theta) - \tau_i(\beta)) \right]^2 - \Delta T_i(\theta) - \tau_i(\beta) \right\}^{1/2}$$

$$+ \left[ \sum_{i=K}^L \sin 2\pi f(\tau_i(\theta) - \tau_i(\beta)) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (6)$$

式(6)中, 由于引进延迟线时间离散化误差  $\Delta T_i(\theta)$ , 使得指向性曲线的最大值方向  $\theta_m$ , 不在设置方位  $\beta$ , 而产生一个方位偏差  $\Delta\theta = \theta_m - \beta$ 。

### 三、方位准确度与延迟间隔的关系

模拟器的方位准确度, 是用模拟器可以设置的所有方位与实际设计所获得各对应方位的差值中最大值来描述的。如同声呐的测向精度要用理想的模拟器来研究一样, 模拟器的方位准确度要用理想补偿的声呐来研究。

根据(6)式, 每产生一个声呐理想补偿方位  $\beta_j$ , 就会产生一组  $\tau_i(\beta_j)$ , 就会得到一个指向性曲线所取得最大值的方位  $\theta_{mj}$ , 继而求得在  $\beta_j$  方位的模拟器方位设置误差

$$\Delta\theta_j = |\theta_{mj} - \beta_j| \quad (7)$$

把  $\Delta\theta_j$  中的最大值看成模拟器的方位准确度  $\sigma_B$ , 数学描述成

$$\sigma_B = MAX(\Delta\theta_j) \quad (j = 1, 2, \dots, M) \quad (8)$$

其中

$MAX(\quad)$  意为求  $(\quad)$  内容的最大值。式(7)中

$$\theta_{mj} = MVB[D(\theta, \beta_j)]$$

这里

$$D(\theta, \beta_j) = \left\{ \left[ \sum_{i=K}^L \cos 2\pi f(\tau_i(\theta) - \tau_i(\beta_j)) \right]^2 - \Delta T_i(\theta) - \tau_i(\beta_j) \right\}^{1/2} + \left[ \sum_{i=K}^L \sin 2\pi f(\tau_i(\theta) - \tau_i(\beta_j)) \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$MVB[\quad]$  表示取指向性曲线的极大值方位,  $M$  为计算中声呐理想补偿方位(也就是模拟器设置方位)的个数。

这样, 我们就建立了模拟器方位准确度  $\sigma_B$

与其延迟线延迟间隔的关系式。

#### 四、计算实例

式(8)描述了模拟器方位准确度与模拟器延迟线延迟间隔的关系,  $\beta_j$  的取值理论上应是模拟器可以设置的所有方位,  $M$  当然是这个所有方位的总方位个数。例如, 要求设计一个方位设置值为  $0.05^\circ$  可分辨的模拟器, 就需要对  $360^\circ$  范围内的 7200 个  $\beta_j$  值进行计算, 这是一个相当繁琐的计算。实际上, 对于由  $N$  个基元组成的圆阵来说, 形成波束的各基元的相对时延关系是以  $2\pi/N$  为周期重复的, 因此  $0-2\pi/N$  的方位是有代表性的。当  $N=32$  时, 重复周期为  $11.25^\circ$ , 需要计算的  $\beta_j$  值可以缩减为  $0-11.25^\circ$  的 225 个。

图 2 是一条  $\sigma_B$  与延迟间隔  $T_B$  的关系曲线, 它是由式(8)计算的。计算参数如下: 阵基元数  $N=32$ , 阵半径  $R=0.8\text{m}$ , 工作频率  $f=6\text{kHz}$ , 声速  $c=1500\text{m/s}$ , 形成波束的基元数为 12。图 2 曲线呈很好的线性关系。由于该曲线是在特定参数下计算得到的, 不能说明该曲线具有普遍性。因此, 随着模拟器设计参数 ( $N$ 、 $R$ 、 $f$  等) 的变化, 要进行具体的计算, 根据设计要求的模拟器准确度指标选定合适的延迟线延迟间隔。

本文上面提及的方位准确度, 系专指由模拟器延迟线的时间离散产生的。实际上, 对声

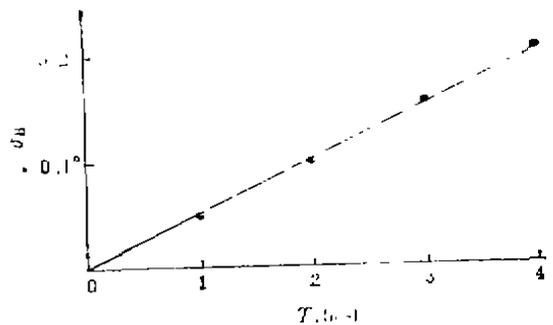


图 2 模拟器方位准确度与其延迟线延迟间隔的关系例

呐模拟器设计来说, 这个时间离散是影响方位准确度的主要原因, 但模拟器各基元信号的幅度和相位的不一致性, 也会对方位准确度产生一定影响。

实际设计中声呐模拟器的方位准确度要比整个声呐系统的测向精度指标选择得为高, 以便满足声呐测向精度指标测试中对模拟器方位准确度的容差要求。

本文主要讨论了模拟器延迟线的延迟间隔对模拟器方位准确度的影响, 忽略了延迟间隔对模拟器指向性的主瓣对称性和付瓣等的影响。

本文的计算工作是由李英同志完成的, 在此深表谢意。

#### 参 考 文 献

- [1] 李启虎, 声呐信号处理引论, 海洋出版社, 北京, 1985 年。

## 音乐胎教中的声学问题和人体透声的实验测量

邵道远 张彬铨 张万成

(中国科学院声学研究所)

万焕忠 孙长玲 刘泽伦 田绍荣

(北京医科大学附属人民医院) (北京医科大学附属第一医院)

1990 年 10 月 15 日收到

利用声音(音乐)进行胎教有根据吗? 即空气中的声音能够透入人体吗? 通过模拟实验和人体透声的直接测量, 回答是肯定的。实验结果表明, 声波从空气中透入人体后, 衰减呈低通特性,  $1000\text{Hz}$  以内