

# 潜艇辐射噪声测量方法

凌震莹

(第七一五研究所 杭州 310012)

**摘要** 潜艇的辐射噪声是反潜战中潜艇平台的致命性指标,本文提出采用多倍频程恒定束宽线列阵波束形成的方法,对潜艇辐射噪声进行宽带测量。

**关键词** 潜艇 噪声测量 倍频程 恒定束宽

## 1 引言

潜艇辐射噪声对海军作战来讲是要害问题,因此准确测量潜艇辐射噪声级是一个前提条件。对美、英、法等国利用线列阵实现的潜艇辐射噪声测量系统的研究表明:系统的测量频率范围在 50Hz~20kHz 之间。由于基阵的指向性是频率的函数,在接收阵尺寸固定的情况下,波束宽度随频率的增高而变窄,这样噪声测量就会产生频率畸变。而采用宽带恒定束宽波束形成的方法可做到在多倍频程上形成波束宽度恒定,这样能较好地实现潜艇辐射噪声的全频带测量。本文主要介绍宽带恒定束宽线阵的原理和研究结果。

## 2 测量用线列阵的概述

测量用的线列阵应满足以下条件:(1)基阵波束图的主瓣宽度必须在测量的距离上完全覆盖噪声源,例如对直径 10m 的潜艇,在 100m 处测量束宽至少应达到  $5.7^\circ$ ;(2)基阵必须有足够的信噪比增益,一般说来  $DI > 10$  dB 是需要的;(3)基阵波束图的旁瓣级应足够低,一般说来主旁瓣比应达到 -30dB。

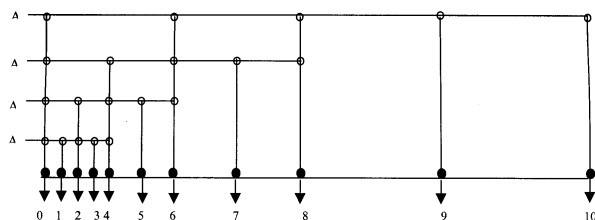


图 1 水平端射阵布置图 (半阵)

理论研究表明,采用频率加权的方法可实现多个倍频程内恒束宽波束形成,得到宽带频率不畸变的线列阵波束输出。具体做法是采用

21 个水听器形成四层嵌套子阵,每个子阵含有 9 个按  $1/4$  间隔均匀布置的水听器。水听器组合复用形成三个倍频程 2.5kHz~5kHz 波束、5kHz~10kHz、10kHz~20kHz,覆盖频率范围为 2.5kHz~20kHz 的波束输出。水平端射阵测量系统的阵元布置示意图如图 1。图中子阵 A1 间隔  $d_1=1.875$ cm;子阵 A2 间隔  $d_2=3.75$ cm;子阵 A3 间隔  $d_3=7.5$ cm;子阵间隔 A4 间隔  $d_4=15$ cm;总基元数  $N=21$ ;总长度为 135cm;基阵增益  $AG=12.5$ dB。

## 3 波束形成

每个倍频程的线阵是利用两个子阵构成的:A1 和 A2 构成 10kHz~20kHz 倍频程,A2 和 A3 构成 5kHz~10kHz 倍频程,A3 和 A4 构成 2.5kHz~5kHz 倍频程。对任一个倍频程,工作频带设为  $f_1 \sim 2f_1$ ,采用以下的波束形成公式

$$B(\mathbf{q}, f) = \sum_{n=0}^N W_{n1} H_1(f) B_1(\mathbf{q}) + \sum_{n=0}^N W_{n2} H_2(f) B_2(\mathbf{q}) \quad (1)$$

$$B_1(\mathbf{q}) = e^{-2\delta c / f^* (n-1) d_1^* (\sin(\mathbf{q}) - 1.2)} \quad (2)$$

$$B_2(\mathbf{q}) = e^{-2\delta c / f^* (n-1) d_2^* (\sin(\mathbf{q}) - 1.2)} \quad (3)$$

以 5kHz~10kHz 倍频程为例,其中  $N=9$  为子阵内基元个数; $B_1(\mathbf{q})$  为高频子阵的指向性函数, $f$  为  $f_1 \sim 2f_1$  内任一频率, $d_1=0.0375$ m 为子阵内基元间隔; $B_2(\mathbf{q})$  为低频子阵的指向性函数, $f$  为  $f_1 \sim 2f_1$  内任一频率, $d_2=0.075$ m 为子阵内基元间隔; $c$  为声速; $\mathbf{q}$  ( $0^\circ \sim 180^\circ$ ) 为方位。

$H_1(f)$  为高频子阵的高通滤波器的传递函数,也称频率加权系数; $H_2(f)$  为低频子阵的

低通滤波器的传递函数，也称频率加权系数，具体的函数形式为

$$H_1(f)=\frac{S-1}{S+1-2S\cos[0.695(f/f_1)]}\tag{4}$$

$$H_2(f)=1-H_1(f)=\frac{2-2S\cos[0.695(f/f_1)]}{S+1-2S\cos[0.695(f/f_1)]}\tag{5}$$

$$S=\frac{\sqrt{2}\sin[0.695(f/f_1)]}{0.695(f/f_1)}\tag{6}$$

$H_1(f)$  和  $H_2(f)$  的响应如图 2。通过  $H_1(f)$  和  $H_2(f)$  的频率补偿，可得到与频率无关的半功率点束宽。 $W_{n1}$ 、 $W_{n2}$  为高、低频子阵第  $n$  个基元的权系数（取契比雪夫权系数，使基阵主旁瓣比达到 30dB）。仿真的波束形成结果见图 3 和表 1。

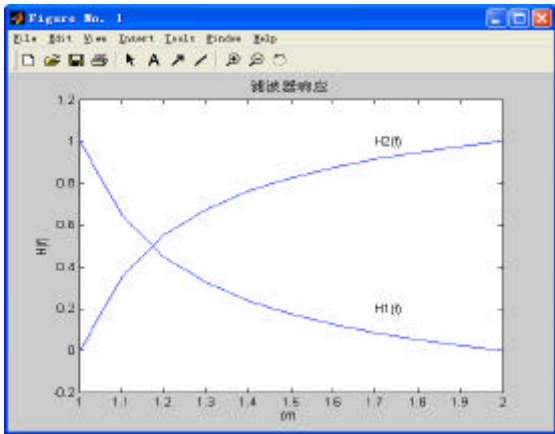


图 2  $H_1(f)$  和  $H_2(f)$  的滤波器响应

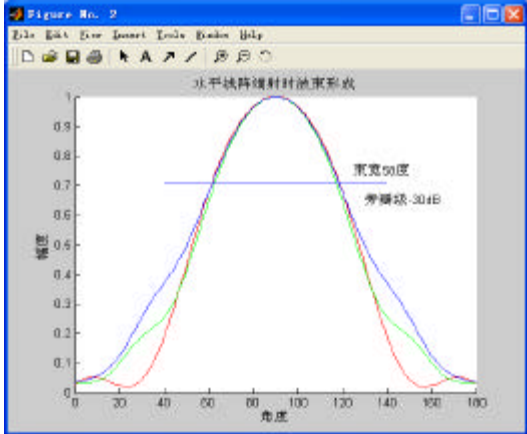


图 3  $f=5\text{ kHz}$ 、 $5.5\text{ kHz}$  和  $6\text{ kHz}$  时波束形成的结果

表 1 5 kHz ~10 kHz 的半功率点束宽

频率 (kHz)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
半功率点束宽 (°)	58.4	58.5	58.4	57.5	58.6	58.8	58.8	58.6	58.5	58.4	58.4

对 A1、A2 子阵组成的倍频程和 A3、A4 子阵组成的倍频程做类似仿真 ,得到同样结果。

4 结束语

采用频率加权的方法在多个倍频程内实现恒定束宽波束形成，解决了噪声测量中的波束频率畸变影响，得到的束宽可覆盖 2.5kHz~20kHz 频段 ,从而较好地实现了潜艇倍频程宽带辐射噪声的测量。

本文只是线列阵测量系统中一些相关技术的研究，作为一个完整系统，不论在硬件还是软件上都还要做深入细致的工程化工作才能最终形成一个可用的测量系统。

本文在撰写过程中，得到王广恩教授的悉心指导，在此致以深切的谢意。

参考文献

[1] C.Noel-C.Viala,G.Goullet-M.Alombet and O.Gerard Underwater Tragectography system for measurment of submarine radiated noise Proceedings of the Fourth European conference on underwater Acoustics.

[2] Alain Carof . Acoustic radioted noise measurment of quiet submariens in very shallow water conditions. UDT-2001