

# 潜艇目标尺度模拟方法与技术研究\*

李正刚

(昆明船舶设备研究试验中心·650051)

潜艇目标尺度模拟研究是水中目标特性研究的一个重要课题。本文结合潜艇目标回波特性及探(反)潜设备目标尺度识别方法,提出了潜艇目标尺度模拟特征模型,并建立硬件系统予以实现,取得了满意的湖上试验结果。

关键词: 目标回波,目标识别,目标模拟

## Study of submarine target scale simulation

LEE Zhenggang

(SERTC Kunming·650051)

Research of submarine target scale simulation is an important subject in the characteristic research of underwater military targets. In this paper, a model of simulating the characteristics of submarine target scale is presented in accordance with the submarine target echo characteristics and target scale identification methods adopted in submarine detection (anti-sub) systems. To realize the model, a simulation system is established. Satisfactory results have been obtained in the lake tests.

**Key words:** target echo, target identification, target simulation.

### 1 模拟方法研究

现代新型探(反)潜设备一般都具有智能化目标识别性能,其中重要的识别方法之一就是目标尺度的识别,因此只有在分析潜艇目标信息反映的尺度特征及探(反)潜设备的尺度识别方法的基础上,才能获得潜艇目标尺度的模拟技术方法。

#### 1.1 潜艇回波反映的尺度特征

潜艇的回波是由艇体和艇外装置对外部声信号的反射而形成的。由于潜艇外形和结构的复杂性以及制造材料的差异,潜艇对不同方位声信号的反射表现出复杂的声散射特性。声反射回波包括多种成分,如镜反射波、

棱角波及弹性散射波等。这些回波实际上是由艇体外形结构形成的随机散射体和少数几个强镜向反射体形成的复合反射波,均可等效成某些散射中心即亮点的回波,实际潜艇可以等效成若干个散射亮点的组合,总的回波是这些亮点回波相干迭加的结果<sup>[1],[2]</sup>。

图1为实测潜艇亮点回波图象。从图a和图e中可以看到,在偏离艇艏(或艉)小角度范围内,仅出现艇艏(或艉)和舰桥两区域亮点回波,这是由于舰桥对艇艏艉的遮蔽效应所引起的,其回波长度反映了舰桥至艇艏(或艉)的纵向尺度;从图b和图d可以看到,亮点回波明显地分离成3个主要部分,分别对应艇艏、舰桥和艇艉区域,其回波总长度反映了潜艇艏艉间的纵向尺度;图c为在正横

\* 收稿日期:1996-5-20;修回日期:1996-8-19

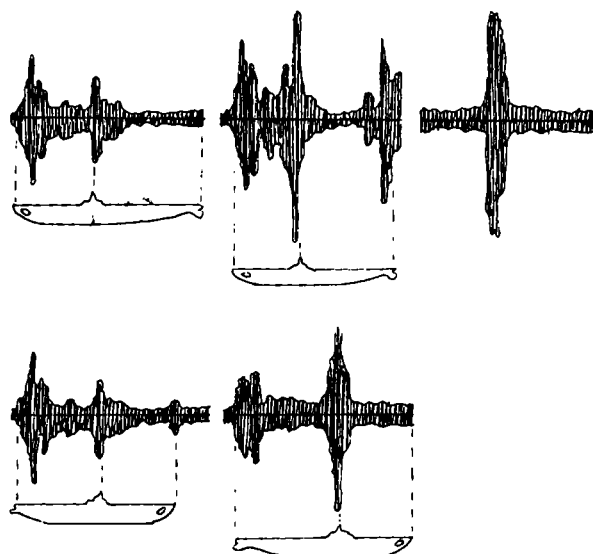


图 1 实测潜艇亮点回波结构示意图

方位  $70^\circ \sim 110^\circ$  范围内的亮点回波, 其回波长

$$L = \frac{(c\tau/2)^2 + \xi \cdot (\tau + \Delta\tau/2)^2 - \xi^2 \tau (\tau + \Delta\tau) \cos \alpha}{2} \quad (1)$$

式中,  $c$  为声速,  $\tau$  为回波延时,  $\Delta\tau$  为回波长度,  $\alpha$  为亮点占有的波束宽度。由于该方法采用多波束系统估计目标方位, 且利用 CW 长脉冲波形, 其方位测量受到单波束宽度和攻击舷角的限制。

精确估计方法的基本原理与近似估计方法相同, 不同点在于: (1) 采用宽带发射信号 (如 LFM 信号), 以提高距离分辨率; (2) 利用精确估计目标方位的算法 (如方位内插法、分裂波束互谱法、自适应估计方法等), 以达到足够高的方位精度; (3) 提高信号检测的处理增益, 加强抗混响措施, 以保证足够远的距离就可以对目标尺度进行识别, 而近距离对目标尺度进行精估; (4) 在目标尺度计算方法方面, 将其分为远距离和近距离两种算法, 在潜艇目标处于远距离时 ( $R > 2L$ ), 采用余弦公式计算, 在近距离时 ( $R < (1 \sim 2)L$ ), 将目标亮点与测量位置近似为直角三角形, 有利于计算正横方位的目标尺度<sup>(3)</sup>。

度最短; 在其它方位上, 亮点回波相互重叠成回波串, 但总长度与潜艇纵向尺度有关。由此可见, 潜艇亮点回波在时间上的延伸与潜艇长度及方位距离有关, 特别是在偏离正横的一定角度范围内, 亮点回波明显分离并与艇体舱中艉部位一一对应, 从而在一定程度上反映了潜艇的尺度信息。

### 1.2 探(反)潜设备的目标尺度判别方法

主动方式下探(反)潜设备通常是利用亮点回波来判别目标尺度, 判别方法可分为近似估计和精确估计两种。

近似估计方法是通过目标亮点占有的波束宽度及回波时延来识别目标尺度。在横向, 通过发射波束扇面照射艇体, 若干个接收波束获得有差别的亮点回波来计算目标视向宽度; 在纵向, 由接收波束所获得的回波延伸来判别回波声程差, 再利用余弦公式计算目标尺度, 即

### 1.3 目标尺度的模拟特征模型

潜艇回波亮点特性反映了目标尺度信息, 因而目标尺度模拟也应采用亮点模拟模型。在实际的目标模拟技术中, 不可能做到也没有必要做到对潜艇所有亮点的真实模拟, 而是应对反映潜艇尺度的主要亮点 (舱中艉部亮点) 进行模拟, 就能达到模拟目标尺度的目的。因此模型只考虑潜艇的艉部、中部舰桥和艉部亮点, 将三区域亮点回波分别合成为一个等效亮点回波, 得到模拟回波的数学表达式为<sup>(1)</sup>:

$$P_b(t) = \frac{e^{i\omega t}}{r} \sum_{m=1}^3 A_m P_0(t - \tau_m) e^{i\omega(t - \tau_m)} \quad (2)$$

式中假定入射信号为一限带信号  $P_i(t) = p_0(t) e^{-i\omega t}$ ;  $\omega$  为入射信号载频;  $P_0(t)$  为入射信号包络;  $r$  为目标距离; 因子  $e^{kr}$  用来修正信道传输的扩展衰减影响; 亮点数  $k = 1, 2, 3$  分别表示艉、中及艉部各等效亮点; 幅度因子  $A_k$  分别是艉、中、艉部区域各亮点反射因子的相

干迭加值; 时延  $\tau_m$  由等效亮点位置相对于入射声信号参考点的声程差决定即  $\tau_m = 2\xi_m/c$ , 是方位角  $\alpha_m$  的函数。实际上  $\tau_m$ 、 $\xi_m$  及  $\alpha_m$  3 变量之间隐含了模拟目标尺度  $L$ , 即  $L$  可由舰艏亮点时延  $\tau_1$ 、 $\tau_3$  及声程  $\xi_1$ 、 $\xi_3$  和方位角之差  $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_3$  根据式(1) 计算得出。

实现该模型的回波模拟可以采用下列技术方法: 首先根据模拟潜艇尺度确定 3 亮点的分布总间隔和舰桥亮点位置(舰桥亮点稍靠近艏部亮点), 从而可根据入射信号方位距离用公式  $\tau_m = 2\xi_m/c$  计算出亮点时延  $\tau_m$ ; 然后由回波模拟器检出入射信号包络  $P_o(t)$  和入射波载频  $\omega$ , 包络信号分别延迟  $\tau_m$  后与各亮点目标强度  $TS_m$  相乘( $TS_m$  可根据要求定为一常数值或按“蝶形”图目标强度分布特性计算确定)即得到各亮点回波包络, 用它们去调制载频信号并发射出去即得到(2) 式描述的 3 亮点回波信号。

## 2 模拟系统研究

模拟系统采用 3 个单发射换能器产生 3 亮点回波水声信号。为配合探(反)潜设备的目标尺度识别, 其基本思路是以空间位置分离的 3 亮点和亮点回波时延来配合识别装置的横向波束宽度检测和纵向接收波束声程(差)检测, 从而使接收装置可按式(1) 获得模拟目标尺度。为简单起见, 模型考虑模拟常规小型潜艇的纵向尺度, 取模拟长度为 40m, 舰桥亮点相距艏部亮点均为 20m。

### 2.1 系统组成及技术实现原理

根据上述思路及(2) 式模型表达的内容, 设计模拟系统包括换能器线列阵和电子设备两部分, 如图 2 所示。换能器线列阵总长 40m, 接收水听器处于正中紧靠模拟舰桥的亮点发射换能器(发B), 发A 和发C 分别模拟潜艇的艏部和艉部亮点。电子设备包括模拟电路和工作 PC 机, 模拟电路由单通接收机、中心控制处理器和多通道发射机组成, 工作 PC 机与中心控制处理器 TMS320C30(DSP)

构成高速数字处理主/从系统, 直接控制和管理处理器的工作过程。

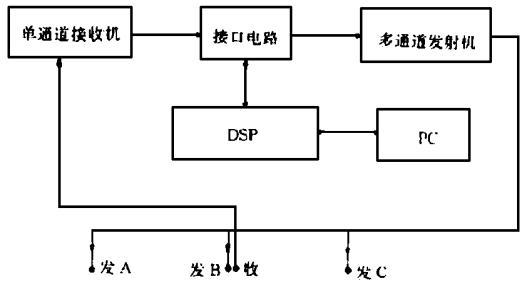


图 2 模拟系统组成

系统的原理工作过程为: 首先计算机根据发射源的距离方位(由外测确定)计算出 3 个亮点位置的距离方位, 按距离远近作为信号回发顺序进行排列, 并由公式(发射源与基阵各发射换能器点形成的声程差计算式)计算出各亮点回发时延值; 然后由水听器收到的探测信号经处理后计算出各亮点位置的入射声强  $S_m$ , 并将  $S_m$  值与各亮点目标强度值(此处为简单起见取为固定值 18dB)相迭加后去控制接收信号包络, 得到回发数字波形, 再经 D/A 转换后由换能器发射出去产生第 1 亮点回波信号, 以后由时延控制同理产生第 2 和第 3 亮点回波信号, 至此完成一个周期产生 3 亮点回波信号的工作过程。

在模拟系统试验中, 采用多波束探测设备作为识别装置的信号收发源, 以提高模拟系统试验和尺度判别的真实性。

### 2.2 系统试验及效果

试验采用多方位拉距方式在 200m 及 180 范围内进行。靶船锚泊固定, 测量船分几个区域位置进行定点锚泊。模拟系统换能器线列阵及多波束探测收发设备分别在两船布放于水下同一深度。试验获得了 10 个定点位置的测量数据, 图 3 所示为第 5 定点测量记录的多亮点回波波形(由于篇幅所限, 其余定点测量记录波形在此从略)。通过分析记录数据及布阵情况, 按式(1) 计算处理出各定点的模拟目标尺度见表 1。

从试验记录及其分析结果可以看到: 模拟的 3 亮点回波信号时延间隔明显且随不同的方位距离变化, 信号均落入一定的接收波束宽度范围内并产生相对应的声程差, 即是说模拟多亮点回波信号能使多波束探测设备

表 1 模拟目标尺度分析处理结果

定点	亮点	收发时延(ms)	固定时延(ms)	实际时延(ms)	回波距离(m)	波束宽度(°)	模拟目标尺度(m)	相对误差(%)
1	A	138	6.12	131.88	95.61	23	38.11	4.7
	B	121	6.12	114.88	83.29			
	C	109	6.12	102.88	74.59			
2	A	158	4.15	153.85	111.54	23	45.44	13.6
	B	147	4.15	142.85	103.57			
	C	128	4.15	123.85	89.79			
3	A	87	5.65	81.35	58.98	30	36.46	8.9
	B	95	5.65	89.35	64.78			
	C	108	5.65	102.35	74.2			
4	A	92	5.47	86.53	62.73	26	35.4	11.5
	B	100	5.47	94.53	68.53			
	C	114	5.47	108.53	78.68			
5	A	215	12.5	202.5	146.81	5	38.96	2.6
	B	240	12.5	227.5	164.94			
	C	265	12.5	252.5	183.06			
6	A	210	12.16	197.84	143.43	5	44.39	10.9
	B	242.5	12.16	230.34	167.0			
	C	268	12.16	255.84	185.48			
7	A	214	12.31	201.69	146.23	5	38.26	4.4
	B	238	12.31	225.69	163.63			
	C	263	12.31	250.69	181.75			
8	A	161	11.96	149.04	108.06	10	32.89	17.8
	B	179	11.96	167.04	121.1			
	C	196	11.96	184.04	133.43			
9	A	175	11.14	163.86	118.8	10	40.12	0
	B	195	11.14	183.86	133.3			
	C	220	11.14	208.86	151.4			
10	A	138	1.0	137	93.53	20	37.93	5.2
	B	140	1.0	139	91.71			
	C	142	1.0	141	95.7			

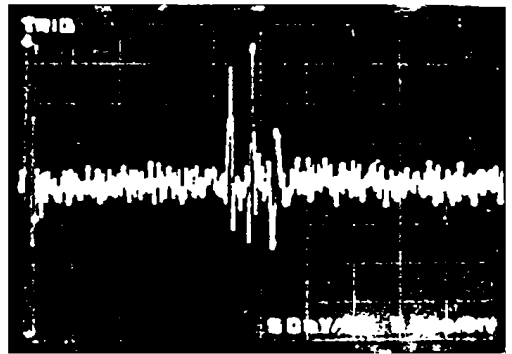


图 3 多亮点回波测量记录波形(定点 5) 获得接收信号声程差及波束宽度, 从而能判别出具有一定精度的模拟目标尺度, 因此硬件系统达到了预期的模拟目标尺度的目的。

### 3 结束语

利用潜艇声学亮点特性模拟其目标尺度是目标特性模拟技术的主要内容之一, 其在潜艇模拟器、主动拖曳声呐、鱼雷声靶等方面有着广泛的应用前景。本文所作的研究仅仅是个开始, 其初步模拟研究了目标的静态尺度。对目标的动态尺度模拟, 则是今后需作广泛深入研究的 new 内容。

#### 参考文献

- 1 汤渭霖. 声呐目标回波的亮点模型. 声学学报, 1994; 19: 92~100
- 2 朱 堃. 主动声呐检测信息原理. 海洋出版社, 1990; 258~265
- 3 陈春玉、王玉洲. 目标尺度精估技术. 舰船设备科学与技术, 1995; 1: 4~6.

(上接 82 页)

大规模高速集成电路技术的发展, 利用现代数字信号处理技术, 随机调相医用超声成像系统将成为现实。目前还未见采用该方法而进行医用超声实时成像的报导。

#### 参考文献

- 1 蔡希尧. 雷达系统概论. 科学出版社. 1983.
- 2 刘国岁. 随机信号理论与应用. 兵器工业出版社, 1992.
- 3 Cooper G. R., Gassner R.L. Analysis of a 声学技术

wideband random signal radar system, Purdue University, TR-EE 66~9, August 1966.

4 Woodqard P. M., Radar ambiguity analysis. Feb. 1967(AD653404).

5 Remley G. R., Doppler dispersion effects in matched filter detection and resolution. Proc. of the IEEE, 1966; 54(1)

6 Kaveh M., Cooper G.R. Average ambiguity function for a randomly staggered pulse sequence. IEEE Trans., 1976; AES~12(3)

7 Speiser J. M Wide-band ambiguity function. IEEE Trans., 1967; IT 13(1)