

潜艇深度变化后的声纳跟踪条件

史秋亮¹, 宋志杰²

(1. 海军潜艇学院水声中心, 青岛 266071; 2. 中国海洋大学, 青岛 266003)

摘要: 从理论上分析了正在跟踪目标的潜艇在其深度变化后, 影响声纳继续跟踪该目标的主要因素, 从跟踪条件下的声纳方程中, 分析深度的变化引起声传播损失和干扰噪声的变化, 给出了声传播损失和干扰噪声的计算方法, 得出了潜艇变深后保证声纳得以继续跟踪目标的本艇航速及其预报方法和计算实例。

关键词: 潜艇声纳; 跟踪; 传播损失

中图分类号: TN911

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630-(2005)-03-0164-03

Tracking of submarine-borne sonar during change of depth

SHI Qiu-liang, SONG Zhi-jie

(1. Navy Submarine Academy, Qingdao 266071, China; 2. Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: When a submarine changes its depth, target tracking of its sonar may become unstable due to deterioration of the received signal-to-noise ratio. In this paper, factors affecting the tracking are studied based on the sonar equation and an analysis of the sound transmission loss. The condition under which sonar can keep tracking with change in depth of the host submarine is presented. It is shown that tracking can be preserved by changing the submarine's speed accordingly so that its self-noise is adjusted to satisfy the condition for target detection.

Key words: tracking; submarine-borne-sonar; platform noise

1 引 言

在实际海上训练过程中, 潜艇声纳发现并跟踪目标后, 由于潜艇深度的变化, 有时声纳不能有效跟踪, 甚至丢失目标, 影响目标运动要素的解算。本文针对这个实际问题, 分析了处在某一深度的潜艇, 在声纳已经跟踪目标的条件下, 本艇航行深度变化后的声纳跟踪条件。

2 深度变化后影响声纳跟踪的因素

在被动声纳探测、跟踪目标的过程中, 水听器输

出端的信噪比由下式确定:

$$10\log(S/N)=[SL-TL]-[NL-DI] \quad (1)$$

式中: S/N 为水听器输出端的信噪比, SL 为声源级, TL 为声传播损失, NL 为噪声干扰级, DI 为声纳的指向性指数。

当式(1)的左边等于接收机的检测阈 DT 时, 式(1)为声纳方程, 声纳刚好发现目标; 当信噪比进一步增加至某一数值而使 $10 \log(S/N)=TT$ 时, 式(1)变为描述声纳刚好跟踪目标的方程

$$TT=SL-TL-[NL-DI] \quad (2)$$

其中, TT 为声纳跟踪目标所需之信噪比的最低分贝数。 TT 与接收机的时间增益特性、信号的频谱和声纳的性能有关, 但对同一目标来说, 可以近似为一个常数。

就我们所讨论的问题, 式(2)中的 TT 、 SL 、 DI 都为常数。因此, 我们主要讨论当潜艇变深后, 传播损

失 TL 和噪声干扰级 NL 对声纳跟踪的影响。

2.1 声传播损失

声传播损失具有深度变化结构,即声能量沿深度的分布。这个结构的变化既与海区的声学参数及声速剖面有关,又与声源的深度及距离有关。我们记传播损失为 $TL(r, z)$, 其中 r 为距离, z 为深度。

2.2 干扰噪声

噪声干扰级是海洋环境噪声和潜艇自噪声共同形成的。在潜艇噪声较大的情况下,噪声干扰级主要取决于潜艇导流罩内的潜艇自噪声。潜艇自噪声与潜艇速度、深度和舷角有关^[1]。记噪声干扰级(自噪声级)为 $NL(X, V, z)$ 。其中, X 为舷角, V 为潜艇速度, z 为潜艇的航行深度。

3 潜艇深度变化后的声纳跟踪条件

假定潜艇的深度为 z_0 、航速为 V_0 , 声纳已经有效跟踪目标; 目标的距离为 r_0 、航行深度为 z_m 。此时, 式(1)左边的数值应大于 TT , 故潜艇跟踪目标的信噪比余量 ΔE 应为

$$\Delta E = 10 \log(S/N) - TL \quad (3)$$

将式(3)代入式(1), 可得

$$\Delta E + TT = SL - TL(r_m, z_m, z_0) - [NL(X, V_0, z_0) - DI] \quad (4)$$

该式即为潜艇变深前的声纳跟踪状态方程^[2]。

在变深过程中, 声纳可能会丢失目标而不能保持跟踪。

在潜艇深度变化到预定深度 z 后, 由式(2)可知, 声纳可以重新跟踪目标的临界状态可描述为

$$TT = SL - TL(r, z_m, z) - [NL(X, V, z) - DI] \quad (5)$$

考虑到变深所需时间较短, 若不计其引起的距离和舷角变化, 由式(4)和式(5)可得

$$\Delta E = [TL(r_0, z_m, z) - TL(r_0, z_m, z_0)] + [NL(X, V, z) - NL(X, V_0, z_0)] = \Delta TL + \Delta NL \quad (6)$$

式中, ΔTL 表示变深前后传播损失的变化量, ΔNL 表示潜艇在变深前后的自噪声变化量。

式(6)描述了潜艇变深前后跟踪目标的临界条件, 声纳跟踪目标的信噪比余量应等于两种深度上的声传播损失变化量与自噪声变化量之和^[3]。由此可知, 变深后仍可保证继续跟踪目标的条件应为

$$\Delta E \geq \Delta TL + \Delta NL \quad (7)$$

根据式(7)可以预报满足变深后声纳跟踪的条件。

4 变深后声纳跟踪条件的预报方法

预报变深后的声纳跟踪条件, 可辅助指挥员指挥决策, 亦即提示指挥员在潜艇变深后应采取何种航速才能保证声纳跟踪目标。根据上述分析具体讨论其预报方法。

4.1 跟踪信噪比余量 ΔE

对于指定目标, 声纳跟踪目标所需的最低信噪比 TT 近似为一个常数, 这个常数可在潜艇变深前测得; 同时, 在潜艇准备变深时, 可测得并记录此时的信噪比 (S/N) ; 这样, 便可由式(3)计得信噪比余量 ΔE 。

4.2 传播损失变化量 ΔTL

在给定海区深度、海面和海底的声学参数、声速剖面和声源深度的条件下, 可采用很多模型预报海水中的声场(本文采用文献[4]的计算方法), 从而得到声能量在距离和深度上的分布, 即传播损失 $TL(r_m, z_m, z)$ 。当距离 r_m 已知时, 由变深前后的深度 z_0 和 z 即可求出 ΔTL 。

4.3 自噪声的变化量 ΔNL

随舷角 X 、速度 V 和航深 z 的变化而变化的潜艇自噪声 $NL(X, V, z)$ 可实测得出。这样, 当传播损失变化量 ΔNL 中的 z_0, V_0, X 为已知量的情况下, 若给定变深后的深度值 z , 变深后的潜艇速度 V 则是唯一的特定量。据以上讨论可知, 在式(7)或式(6)中, 只有潜艇速度 V 是特定量。因此, 由式(7)或式(6)解出 V 值, 即可预报潜艇变深后的速度取值范围, 以确保潜艇声纳得以继续跟踪目标。

5 计算举例

在某海区, 潜艇发现目标为水面舰艇, 根据测得的海区水文条件和有关声学参数, 由平滑平均场理论计得距离为 111.12m 的两种深度(15m 和 40m)处的传播损失分别为 77.6dB 和 81.0dB。潜艇以 6kn 航速在距离为 111.12m、深度为 40m 处已跟踪目标多时, 测得信噪比为 -5.0dB, 而刚开始跟踪的信噪比为 -2.0dB, 目标所在舷角 X 方向上的自噪声为 1.8dB (相对 2kn 速度)。预先测得本艇在 15m 深处舷角 X 方向上的自噪声(相对值)如表 1 所示。试求潜艇深度由 40m 变化至 15m 后, 声纳仍能继续跟踪该目标的航速。

解: 由题设条件可知, 声纳跟踪信噪比余量和

表1 深度15m处的潜艇自噪声(相对值)

Table 1 Self-noise of submarine at 15 (relative value)

潜艇速度 / kn	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0
自噪声 / dB	0	1.2	2.1	3.3	5.6	8.4	11.5	14.0

传播损失变化量分别为:

$$\Delta E = -2.0 - (5.0) = 3.0 \text{ dB}$$

$$\Delta TL = 81.0 - 77.6 = 3.4 \text{ dB}$$

由式(7)可知,声纳得以继续跟踪该目标的条件应为:

$$3.0 \geq 3.4 + [NL(V) - 1.8]$$

求解该式得:

$$NL(V) \leq 1.4 \text{ dB}$$

查上表而得 $V \leq 4.4 \text{ (kn)}$ 。

可见,深度变化后的潜艇若将航速保持为小于或等于 4.4kn,就可以继续跟踪原目标。

6 讨 论

(1)预报方法所需的信噪比和自噪声参数均可实时或预先在本艇上测得,而与目标的声特性无关。因此,跟踪条件的预报精度,将主要取决于声传播预

(上接第 159 页)

0.7m,宽度为 2.5m,长度为 25m。沙底质,厚度为 0.4m。产生该混响数据的信号为正弦填充脉冲,频率为 $6 \times 10^5 \text{ Hz}$,脉宽为 0.6667ms,发射波束的垂直束宽为 30° ,水平束宽为 3° ,接收数据的采样率为 $2.5 \times 10^6 \text{ Hz}$ 。仿真的目标回波信号共有 1668 个采样点,加入的目标回波具有 3000Hz 的多卜勒频移,相当于 3.75m/s 的运动速度。仿真的目标回波加在混响信号第 2504 和 4172 采样点之间,信混比为 -2.4dB。计算中, $N=15$,滑动步长 $d=10$ 。图 3 是未经 MTI 处理时,NMF 的输出,从图上可以看出,目标回波的峰值没有突显出来,检测器不可能检测出目标。而图 4 是经过 MTI 处理后 NMF 的输出,从图上可以看出,目标回波的峰值已经突显出来,检测器可以很容易地检测出目标信号。

图 5 是某声纳海上实际接收的一段含有目标回波的听音信号,发射信号的频率为 25KHz,脉宽 25ms。和图 2 情况相似,混响在接收信号中占有主要的地位,目标回波大约出现在第 57000 到 59000 个样本点之间。图 6 是未经 MTI 处理时,NMF 的输出,从图上可以看出,目标回波的峰值完全被掩盖了,无法检测。图 7 是经过 MTI 处理后 NMF 的输出,可以看出同图 4 一样,目标回波的峰值已经突显出来,检测器可以很容易检测出目标。

报模型的精度。

(2)当距离为未知时,由于传播损失的深度分布和距离有关,所以,对距离的估计误差将直接影响跟踪条件的预报精度。有鉴于此,为了确保潜艇变深后能继续跟踪,应将目标距离估算得稍远些。

参 考 文 献

- [1] 尤立克.水声原理[M].哈尔滨船舶工程学院出版社,1990. Urick. Principle of underwater sound[M]. Ha'erbin Ship Engineering Academy Press, 1990.
- [2] 汪德昭.水声学[M].科学出版社,1981. Wang Dezha. Underwater Acoustics[M]. Beijing: Science Press, 1981.
- [3] 宋志杰.潜艇最高跟踪速度的估算[J].潜艇学术研究, 1997, 1(2):13-16. SONG Zhijie. The estimation of highest submarine speed to track[J]. Submarine Academic Research, 1997, 1(2):13-16.
- [4] 张仁和.浅海中的平滑平均声场[J].声学学报,1981, 3(4):535-544. ZHANG Renghe. Smooth-averaged sound field[J]. ACTA ACOUSTIA, 1981, 3(4):535-544.

6 结 束 语

本文研究的基于 MTI 技术的水下目标回波检测方法,属于一种次优方法,不需要混响干扰的先验知识,利用混响局部平稳的假设进行实时估计。计算机处理结果显示,在信混比较低的情况下检测器仍具有很好的检测性能。

参 考 文 献

- [1] Manuel Aineto, Stuart Lawson, Narrowband signal detection in a reverberation-limited environment [A]. Oceans '97[C]. MTS/IEEE Proceedings, 1997: 27-32.
- [2] Farina A, Protopapa A. New result on linear prediction for clutter cancellation[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1988, 24(3): 275-285.
- [3] Carmillet V, Amblard P-O, Jourdain G. Detection of phase- or frequency-modulated signals in reverberation noise [J]. J Acoust Soc Amer, 1999, 105(6):3375-3389.
- [4] Ginolhac G, Jourdain G. Principal Component Inverse algorithm for detection in the presence of reverberation[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2002, 27(2):310-321.