

# 深海会聚区特征参数计算方法研究

范培勤, 笪良龙, 李玉阳

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266071)

**摘 要:**针对深海会聚区特征参数计算的问题,分析了深海会聚区现象的形成机理,建立了会聚区距离计算模型,通过对某海区会聚区距离的统计分析,得到了会聚区距离与表面声速、临界深度之间的对应关系,实现了会聚区距离的快速预报。该方法物理意义明确、结果简单、便于应用,较好地反映会聚区距离与环境参数的关系。

**关键词:**声传播;会聚区;特征参数;临界深度

中图分类号:P733.2

文献标志码:A

文章编号:1003-2029(2012)04-0023-03

深海会聚区现象是深海主要的水声环境特点之一,利用深海会聚区现象实现远程探测已成为声纳最重要的工作方式之一。当会聚区现象发生时,声纳的作用距离将发生质的变化,对目标的隐蔽性带来巨大的挑战。舰艇在该海区的搜索和发现能力、隐蔽性及战术动作与浅海环境存在很大差别。因此,深入研究会聚区现象的形成机理,建立会聚区距离特征参数计算模型,实现会聚区特征参数的快速预报,从而为舰艇利用会聚区特殊的水声环境特点来完成隐蔽自己、远程发现目标和导弹攻击等任务提供有效的会聚区特征参数保障。

## 1 会聚区形成条件及特征参数计算

### 1.1 会聚区现象形成条件

深海声道也称为 SOFAR (Sound Fixing and Ranging) 声道<sup>[1]</sup>,如图 1 所示。这种声速剖面中,声速在某一深度  $z_m$  处有极小值,这一深度就是声道轴。声速剖面在声道轴的上方由于温度升高声速增大,在声道轴的下方由于静压力的增大声速增大。

如果将声源置于声道轴上或声道内,一部分声能量将被束缚于声道内,这部分能量在传播过程中将不会触及海底和海面,因而也不会遭到这两个边界的散射和吸收,声能可以传播很远,声道中的声线图如图 1 所示。从声源处以小掠射角(与水平平面的夹角)射出的声线将一次又一次地返回到声源深度上,形成一种波导传播,声源越靠近声道轴效果越强。在图 1 中  $A_1, B_1, \dots$  表示影区,被束缚的声线将不会透入其中<sup>[2]</sup>。

当声源移近声道时,影区的宽度缩小而亮区的宽度增大。若声源深度与声道轴重合,则在这一深度上的影区消失,

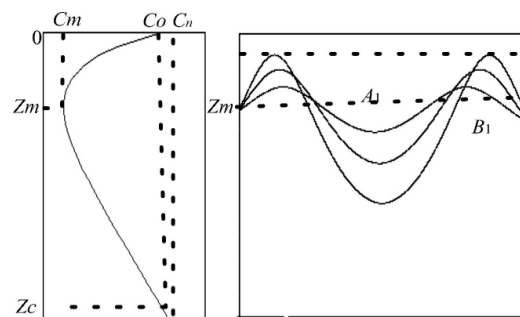


图 1 深海声道声线示意图

此时如果接收器材离轴不太远,就会有相当多条声线到达其上。其中  $z_m$  为声道轴深度; $c_m$  和  $c_0$  分别是轴上和声道边界上的声速。

当声源靠近海面时,如图 2 所示,声源处以小掠射角射出的声线将向声速减小方向(海底)弯曲,声线通过声道轴后逐渐向海面弯曲,最后折回海面。声线在深层上被折射后重返表层时会发生会聚并形成所谓聚焦线,声线会聚的区域称为会聚区,其最主要的特征是在会聚区有很高的声强级。

图 2 中入射角为 0 的声线反转深度最小,为形成会聚区的临界深度,海区的海深减去临界深度即为深度余量(任意声线的反转深度与临界深度的差值);声线到达海面的水平距离称为会聚区发生距离(通常指第一会聚区的距离)。

因此,要形成会聚区,声源和接收器两者必须都置于声道内,且海水的深度必须足够大,海区的深度余量越大,不触及海底而聚焦在一起的声线数越多,会聚区的能量越强。在深度较小的海水中,深处的声线被海底反射,从而抑制了会聚区现象的发生。

### 1.2 会聚区特征参数计算模型

在分层介质中,声线的循环跨度  $S_l$ <sup>[3]</sup>:

收稿日期:2012-03-23

基金项目:总装预研基金资助项目(51303080302-5),新世纪优秀人才支持计划资助项目

作者简介:范培勤(1981-),男,博士,讲师,主要研究方向为水声环境效应。Email: similarly05@163.com

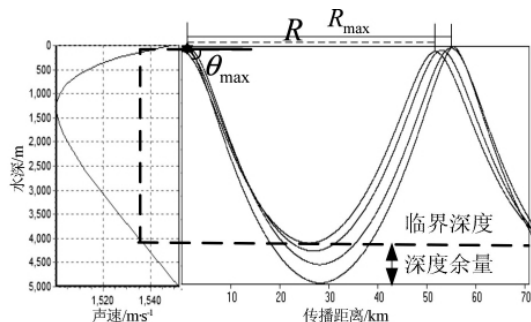


图2 会聚区声线示意图

$$S_l = 2 \sum_i \frac{1}{\cos(x_i) c'(z_i)} \cdot \left[ \sqrt{c^2(z_{i+1}) - c^2(z_i) \cos^2(x_i)} - \sqrt{c^2(z_i) - c^2(z_i) \cos^2(x_i)} \right] \quad (2)$$

图2中入射角为0的声线反转深度最小,声线到达海面的水平距离为会聚区发生距离 $R$ :

$$R = 2m\sqrt{c_0^2 \sec^2 \theta - c_h^2} + 2m_1 \tan \theta \quad (3)$$

$$m = \frac{g_1 - g_2}{g_1 g_2}, m_1 = \frac{c_0}{g_1}$$

式中 $g_1, g_2$ 分别为声道轴上、下两层的平均声速梯度; $c_0$ 为海表面声速或表面声道最大声速; $c_h$ 为声道轴处的声速; $\theta$ 为声线初始掠射角。

当 $\theta=0$ 时,声线到达海表面附近距离最大,即:

$$R = 2m\sqrt{c_0^2 - c_h^2} \quad (4)$$

当 $\theta=\theta_{\max}$ :

$$R_{\max} = 2m\sqrt{c_0^2 \sec^2 \theta_{\max} - c_h^2} + 2m_1 \tan \theta_{\max} \quad (5)$$

会聚区宽度定义为:

$$\Delta R = R_{\max} - R \quad (6)$$

## 2 会聚区特征参数统计分析

美国海军水下系统中心(NUSC)在这方面作过大量的研究,并且制造了专用的计算尺,用来根据海表面处的声速来计算会聚区的距离、临界深度以及会聚区的宽度,此计算尺适用范围是北大西洋海、北太平洋海、地中海、挪威海以及澳

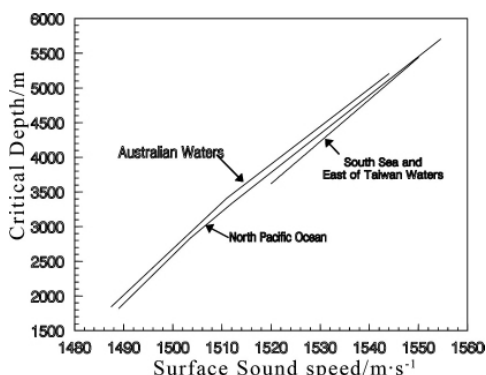


图3 表面声速与临界深度关系曲线

大利亚水域<sup>[4]</sup>,如图3所示。

利用某海区12个月的平均声速剖面,通过统计分析得出了该海区临界深度与海表面声速、声速与第一会聚区距离、临界深度与会聚区距离之间的关系曲线,如图4~图7所示。运用线性回归得出了在这两个海区中临界深度与海表面声速、声速与第一会聚区距离、临界深度与会聚区距离之间关系曲线,如图7所示。

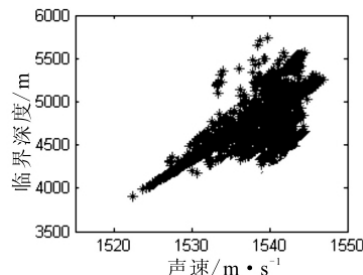


图4 表面声速与临界深度关系曲线

从图4可以看出,该海区的临界深度随声速的增加而增加,临界深度的变化范围在3600~5700m之间。

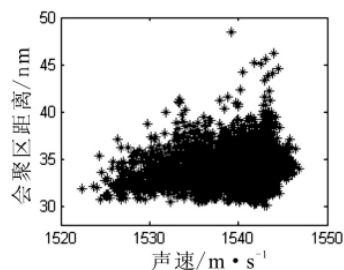


图5 表面声速与临界深度关系曲线

从图5可以看出,该海区会聚区距离随声速的增大而增大,但变化较平缓,声速由1520m/s变化到1550m/s时,会聚区距离约增大3nm。

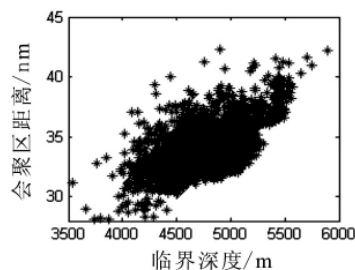
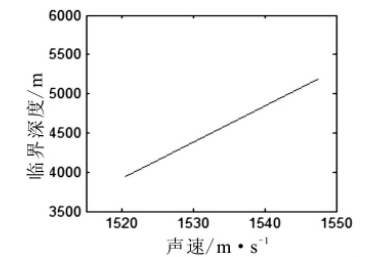


图6 表面声速与会聚区距离关系曲线

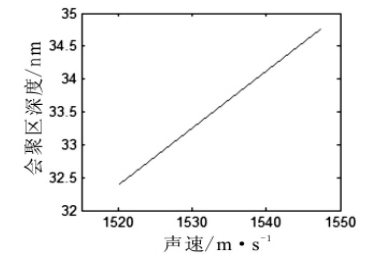
从图6可以看出,该海区会聚区距离随临界深度的增大而增大,临界深度对会聚区距离有较大的影响。

由图7可以快速分析计算出海区形成会聚区的临界深度、会聚区距离。如果海深小于临界深度,则不能形成会聚区;反之能够形成会聚区,且会聚区的强弱与深度余量密切相关。表1给出了表面声速与临界深度、会聚区距离的对应关系。

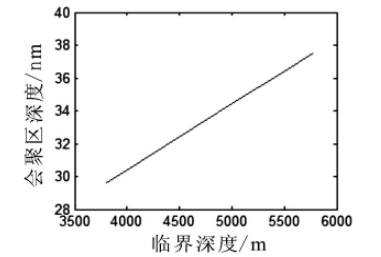
假设在某深海海区,表面声速值为1530m/s,根据图7



(a) 表面声速与临界深度之间的关系曲线



(b) 表面声速与会聚区距离之间的关系曲线



(c) 临界深度与会聚区距离之间的关系曲线

图 7 声速、临界深度与会聚区距离之间的关系

表 1 会聚区形成临界深度及距离表

海表声速/m·s <sup>-1</sup>	临界深度/m	会聚区距离/nm
1 520	3 980	32.98
1 525	4 175	33.11
1 530	4 370	33.24
1 535	4 665	33.76
1 540	4 860	34.18
1 545	5 150	34.32
1 550	5 230	34.74

可得 ,该海区形成会聚区临界深度为 4 370 m ,如果该海区的海深大于 4 370 m ,则符合形成会聚区的环境条件 ,且第一会聚区距离大约在 33.24 nm ,若该海区的海深为 4 000 m ,则不符合形成会聚区的环境条件。

3 总结

深海会聚区的形成及其特性与海表声速、声道轴深度、海深等参数密切相关。本文利用某海区海洋环境数据和会聚区特征参数计算模型 ,得到了会聚区距离与表面声速、临界深度之间的对应关系 ,实现了会聚区距离的快速预报。

参考文献 :

[1] 王德昭 ,尚尔昌. 水声学[M]. 北京 :科学出版社 ,1981 :5-286 .  
[2] 刘伯胜 ,雷家煜. 水声学原理[M]. 哈尔滨 :哈尔滨工程大学出版社 ,1997 :138-146 .  
[3] 张仁和 ,何怡 ,刘红. 水平不变声道中的 WKBZ 简正波方法[J]. 声学学报 ,1994 ,19(1):1-12 .  
[4] 李训诰 ,徐任洲 ,杜栓平. 利用会聚区隐蔽结算目标运动要素的方法[J]. 火力与指挥控制 ,2006 ,31(8) :36-40 .  
[5] 李玉阳 ,竺良龙 ,晋朝勃 ,等. 海洋锋对深海会聚区特征影响研究[J]. 声学技术 ,2010 ,29(6)Pt2 :78-80 .

Research on Characteristic Parameter Computation Method of Convergence Zones in Deep Ocean

FAN Pei-qin,DA Liang-long, LI Yu-yang  
(Navy Submarine Academy, Qingdao Shandong 266071, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of convergence zone characteristic parameter computation in deep ocean, the mechanism of convergence zone in deep ocean was analyzed and a convergence zone space computation model was established. Through statistical analysis of convergence zone range in certain sea, the relation of convergence zone space and surface velocity of sound and critical depth was obtained, realizing the quickly prediction of the convergence zone range. This method has the characteristic of physical meaning definitude, simple computation and easy to application, which preferably reflect the relation between convergence zone range and environmental parameters.

**Key words:** acoustic propagation; convergence zones; characteristic parameter; critical depth