

波束位移射线简正波理论在双轴海洋声道中的应用

张 林, 笄良龙

(海军潜艇学院水声中心, 青岛 266071)

摘要: 由于表面声道与深海声道间的耦合效应, 声波在双轴海洋声道中的传播比较复杂, 因此求解双轴海洋声道中的声场就比较困难。文章将浅海声传播的波束位移射线简正波(BDRM)理论应用于计算双轴海洋声道中的声场, 进行了数值模拟并与传统简正波方法进行比较, 结果表明应用 BDRM 理论计算的传播损失具有很高的精度和速度, 可以对双轴海洋声道内声传播问题进行分析 and 预报。

关键词: BDRM 理论; 双轴海洋声道; 传播损失

中图分类号: P733.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630-(2005)03-0167-03

Application of beam-displacement ray-mode theory in two-axis underwater channel

ZHANG Lin, DA Liang-long

(Underwater Acoustics Center, Navy Submarine Academy, Qingdao 266071)

Abstract: Because of the coupling between surface channel and SOFAR channel, sound propagation in two-axis underwater channel is complex and calculation of acoustic fields is difficult. In this paper, beam-displacement ray-mode (BDRM) theory is applied to the calculation of the acoustic fields of two-axis underwater channel. Numerical simulations show that application of the BDRM theory is effective.

Key words: BDRM theory; two-axis underwater channel; transmission loss

1 引 言

由于海水介质及其边界条件的复杂性, 声波在海水中的传播相应的也十分复杂, 掌握和了解水下声传播的规律, 并作出快速而精确的预报, 是海军水下战场环境建设的重要内容。波束位移射线简正波(BDRM)理论是解决浅海声场计算的一种有效方法, 该理论将边界对声场的影响通过等效边界反射系数来表示, 从而将水层中的折射与绕射效应分离开来, 在计算速度上拥有独特的优势。

秋冬季节, 由于受气候条件的影响, 世界上大部分洋区海洋表面附近会形成一充分混合的等水层, 即表面声道(Surface Channel), 从而深海中声速分布呈现为双轴声道特性, 表面声道与深海声道(SOFAR Channel)同时存在, 由于两个声道间的互相

耦合影响, 声波在双轴海洋声道中的传播规律比较复杂。目前, 对双轴海洋声道中的声传播研究的比较少, 本文将浅海声传播的波束位移射线简正波(BDRM)理论应用于研究双轴海洋声道中的声场, 解决双轴海洋声道中声场预报的准确性和实时性问题。

2 波束位移射线简正波(BDRM)理论^[1]

在分层不均匀海洋介质中, 简谐点声源激发的声场可以表示为一系列简正波的叠加:

$$p(r, z_s, z; \omega) = \sqrt{\frac{8\pi}{r}} e^{i\pi/4} \sum_l \Phi(z_s, \nu_l) \Phi(z, \nu_l) \sqrt{\nu_l} e^{i\omega t - \beta_l r} \quad (1)$$

其中, $\nu_l = \mu_l + i\beta_l$ 是简正波的复本征值, μ_l 是水平波数, β_l 是简正波衰减, $\Phi(z, \nu_l)$ 是本征函数。在负跃层以下 $\Phi(z, \nu_l)$ 用广义相积分(WKBZ)^[2]近似来表示, 通过本征函数在负跃层的连续性, 由简正波方法求得负跃层以上的本征函数。

简正波本征方程可表示为:

$$2 \int_{z_1}^{z_2} \sqrt{k^2(z) - \mu_l^2} dz + \varphi_1(\mu_l) + \varphi_2(\mu_l) = 2l\pi, l = 0, 1, \Lambda, \quad (2)$$

收稿日期: 2004-05-25; 修改日期: 2004-07-11

作者简介: 张林(1980-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 现主要从事水下战场环境仿真研究。

$$\beta_l = \frac{-\ln|V_1(\mu_l)V_2(\mu_l)|}{S(\mu_l)+\delta_1(\mu_l)+\delta_2(\mu_l)} \quad (3)$$

式中, $\varphi_1(\mu_l)$ 与 $\varphi_2(\mu_l)$ 分别为本征声线在上下界面处的相移, $S(\mu_l)$ 是水平波数为 μ_l 的本征声线的跨度, $\delta_1(\mu_l)$ 与 $\delta_2(\mu_l)$ 分别为本征声线在上下边界处的波束位移。

在式(2)两边分别对 μ 与 ω 求偏微分可得简正波群速的表达式为:

$$v_l = \frac{\partial \mu_l}{\partial \omega} = \frac{S(\mu_l) + \delta_1(\mu_l) + \delta_2(\mu_l)}{T(\mu_l) + \tau_1(\mu_l) + \tau_2(\mu_l)}, \quad (4)$$

式中, $T(\mu_l)$ 恰好等于水平波数为 μ_l 的本征声线经过一个循环所需要的时间, $\tau_1(\mu_l)$ 和 $\tau_2(\mu_l)$ 分别为本征声线在上下边界的时间延迟。利用式(2)、(3)、(4)计算浅海简正波声场的方法称为波束位移射线简正波(BDRM)理论。

3 BDRM 理论应用于双轴海洋声道

为检验其有效性,BDRM 方法被用于计算双轴海洋声道中的声传播损失,并与 Kraken^[3], Couple^[5], Krakenc^[3], Moatl^[4]简正波算法所得结果进行比较。声速剖面如图 1 所示,海深 5000m,表面混合层厚度为 75m。海底模型取均匀海底,其参数为:声速 1680m/s,密度 1.8g/cm³,吸收 0.6dB/λ,λ 为波长。图 2~图 5 给出了 BDRM 方法计算的传播损失曲线及用传统简正波算法得到的对应结果,计算频率 100Hz,收发深度分别为 30m/30m,30m/300m,300m/300m。

从图中可以看出,BDRM 方法可给出满意的结果。在会聚区内,BDRM 方法与传统简正波算法结果吻合较好;在影区中,由于海底反射简正波的影响,计算结果存在一些差别。从表 1 给出的计算时间可以看出,BDRM 方法较其它方法至少快一个数量级以上。

4 结束语

双轴海洋声道经常出现于南海以及台湾以东深海海域,而由于表面声道和深海声道之间的耦合效应,双轴海洋声道中的声场预报比较困难。本文将浅海声传播的波束位移射线简正波理论应用于计算双轴海洋声道中的声场,虽然 BDRM 理论是基于负跃

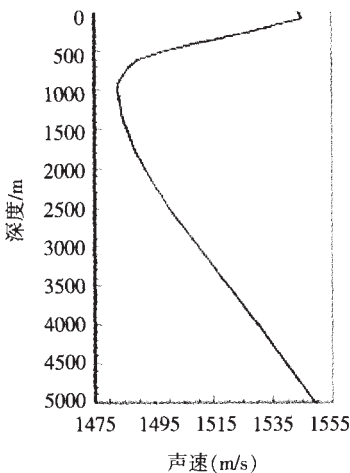


图 1 双轴海洋声道声速剖面

Fig.1 Speed profile of two-axis underwater channel

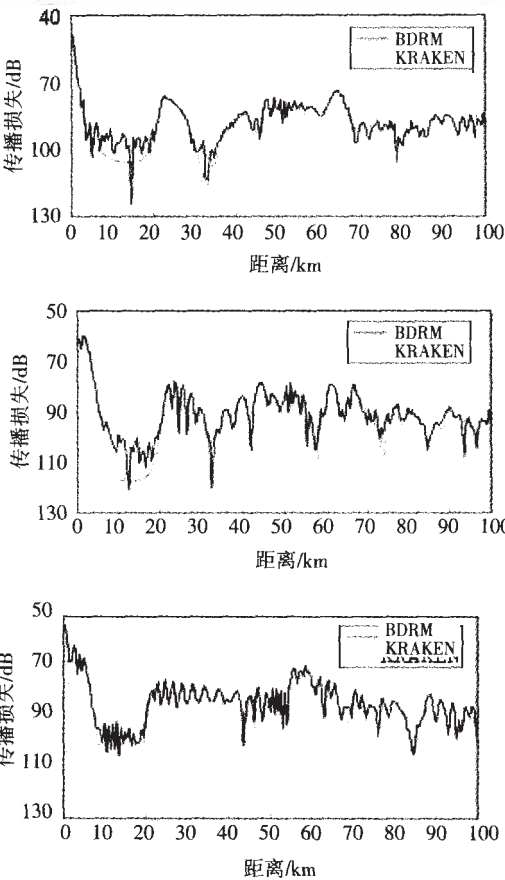


图 2 BDRM 与 KRAKEN 传播损失比较

Fig.2 Comparisons of TLs Between BDRM and KRAKEN

层浅海提出的一种传播理论,但是由于负跃层与双轴海洋声道的相似性,使得 BDRM 理论可以推广应用于双轴海洋声道。从与传统简正波计算结果的比

表 1 计算传播损失所需 CPU 时间(P500),计算距离 100km,计算点数 200

Table 1 The CPU time of calculating TL, range 100km, compute number 200

频率/Hz	BDRM方法	Kraken方法	Couple方法	Krakenc方法	Moatl方法
100	0.6s	8s	128s	12s	4s

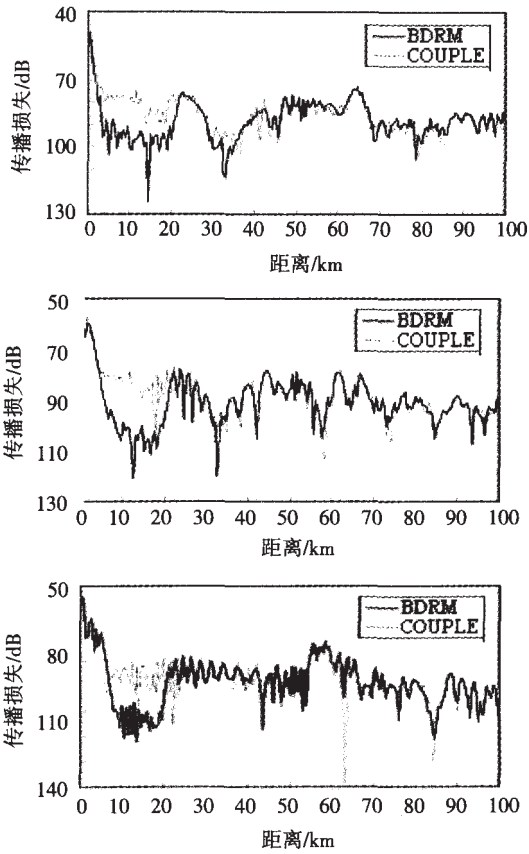


图 3 BDRM 与 COUPLE 传播损失比较

Fig.3 Comparisons of TLs Between BDRM and COUPLE

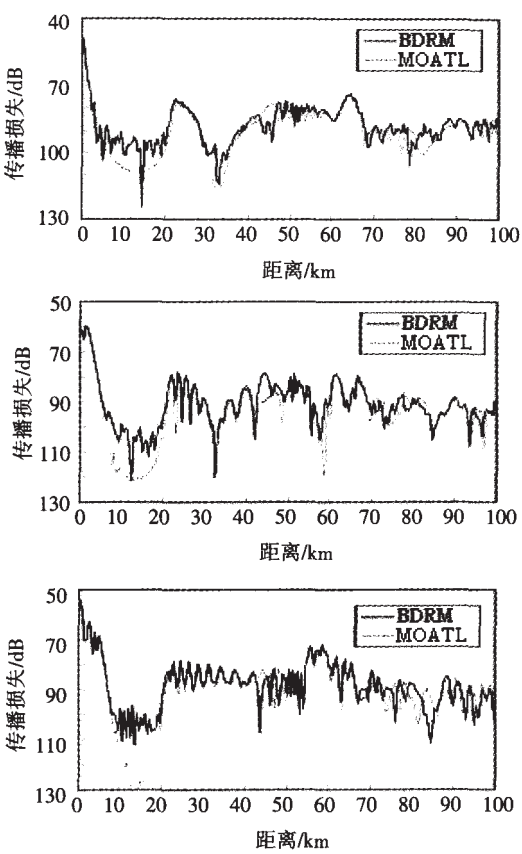


图 5 BDRM 与 MOATL 传播损失比较

Fig.5 Comparisons of TLs Between BDRM and MOATL

较可以看出,影区的计算结果还存在一些差别,这是我们要进一步研究的问题。

参 考 文 献

[1] 张仁和,李风华.浅海声传播的波束位移射线简正波理论[J].中国科学(A辑),1999,29(3):241-251.
ZHANG Renhe, LI Fenghua. Beam-displacement ray-mode theory of sound propagation in shallow water [J]. Science in China (Series A),1999,29(3):241-251.

[2] 张仁和,何怡,刘红.水平不变海洋声道中的 WKBZ 简正波方法[J].声学学报,1994,19(1):1-12.
ZHANG Renhe, HE Yi, LIU Hong. WKBZ mode approach to sound propagation in horizontally stratified oceans[J]. ACTA ACUSTICA,1994,19(1):1-12.

[3] Porter M B. The KRAKEN Normal Mode Program[M]. Washington D.C.: Naval Research Laboratory, 1992.

[4] Miller J F, Wolf S N. Modal acoustics transmission loss (MOATL): A transmission-loss computer program using a normal-mode model of the acoustic field in the ocean [R]. NRL Report 8249, 1980.

[5] Evans R B. A coupled mode solution for acoustics propagation in a waveguide with stepwise depth variations of a penetrable bottom [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1983, 74(1): 188-195.

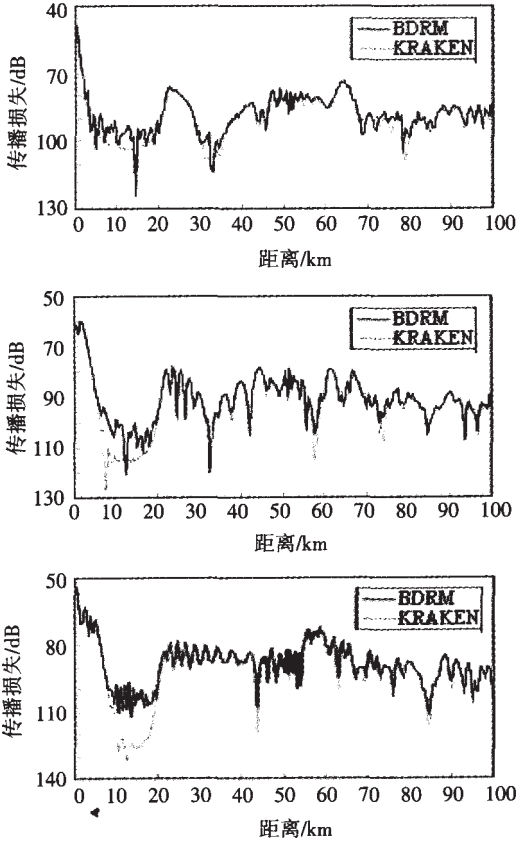


图 4 BDRM 与 KRAKEN 传播损失比较

Fig.4 Comparisons of TLs Between BDRM and KRAKEN