

点噪声源在近程声场中传播损失的仿真研究

范敏毅 惠俊英

(哈尔滨工程大学 哈尔滨 150001)

1997年6月2日收到

摘要 在分层介质条件下,用本征声线法仿真计算了点声源近距离噪声场的传播损失曲线。仿真结果表明,其传播损失不仅依赖于声速分布、海区深度、海底反射特性等环境条件,也依赖于声源及接收水听器的深度。声传播损失显著不同于球面波衰减规律,其传播损失差别可达8dB。这表明在测量舰船目标的辐射噪声声源级时必要的声场校正测量是必须的。

关键词 噪声,声场,校正,计算机仿真

A simulation study on the transmission loss of short-range field for a point noise source

Fan Minyi Hui Junying

(Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract Under the condition of a layered medium, the curves of the transmission loss of short range field for a point noise source are simulated, using the method of the eigen ray. According to the results of the simulation, the transmission loss not only depends on the environmental conditions including the velocity profile, the depth of water, the property of reflection from the sea bottom, etc., but also is related to the depths of the sound source and the receiver hydrophone. The behavior of the present transmission loss is obviously different from the law of spherical wave propagation loss. The difference between them could be as large as about 8dB. This indicates that it is necessary to calibrate the sound field when the noise level radiating from a vessel is being measured.

Key words Noise, Sound field, Calibration, Computer simulation

1 引言

测量舰船的辐射噪声是常规验收项目,对每一艘军舰都必须进行,也是发展隐身舰船所必须的测量。

辐射噪声测量的项目之一是测量目标的辐射声源级,即在离声源1m处的辐射声压级。测量实际上是在某个距离上进行的,例如在100m-200m处测得的声压级,如何推算到

1m处的声源级?这就是所谓校正问题。我国历来按球面波衰减规律进行推算,但专家们历来都有异议。按球面波衰减规律进行推算的方法所引起的差异在某些条件下是满足不了测量的精度。这种差异主要来源于声传播的海洋声道。

由于海洋环境条件的复杂多变,使得声信号在海洋声道中的传播存在着强烈的畸变和涨落。为了更好地掌握声信号在海洋声道中

的传播规律, 近几十年来, 人们对海洋声信道问题进行了广泛的研究, 在理论上弄清了许多物理现象, 实验方面积累了大量的海试数据资料, 总结并发展了许多研究分析的方法^[1]。随着计算机技术的迅猛发展, 目前, 计算机仿真研究作为一种研究的工具已经渗透到水声工程和技术研究的各个领域。

本文就是利用了以射线理论为理论基础、用本征声线法建立的水下声信道的仿真模型来对点噪声源近程声场进行了计算机仿真计算和研究, 其核心是计算点噪声源在近程声场的传播衰减规律以及分析环境参数对其影响。

2 本征声线

海洋作为水下声传播的介质, 从通信论的观点来看, 海洋就是水下声信道。理想的信道能够无畸变地传递信息, 但海洋不是理想的信道, 而是复杂多变的。水下声信道的研究实质上是研究声波在海洋介质中的传播特性。从理论上而言, 有两种途径可以解决这一问题, 一种方法是波动理论, 另一种则是射线理论。从工程实用性角度而言, 则更偏重于采用射线理论的方法。

射线理论的基本假定是: 声能沿一定的方向线传递, 声能传播的方向线叫做声线, 声线与波阵面相垂直。声波在本质上是波动现象, 射线理论则是波动理论在高频条件下的近似。当声场与球面波、平面波规律相差不大时, 或者声场的空间变化不是很急剧的区域以及高频声波的声场, 射线理论的近似是合理的。

本征声线是指从声源发出、通过接收点

的、各种对声场有重要贡献的声线的集合。多途信道中的声场强度及接收波形由本征声线的特征声线参数决定。本征声线的特征声线参数决定了多途信道的冲激响应函数 $h(\tau)$ ^[2]:

$$h(\tau) = \sum_{i=1}^N A_i \delta(\tau - \tau_i)$$

其中, N 为对声场有贡献的声线途径的总数, A_i 、 τ_i 分别为沿第 i 条途径到达接收点的本征声线的声压归一化幅度和相对时延。若发射信号为 $z(t)$, 则接收信号为 $s(t)$:

$$\begin{aligned} s(t) &= z(t) * h(t) \\ &= z(t) * \left[\sum_{i=1}^N A_i \delta(t - \tau_i) \right] \\ &= \sum_{i=1}^N A_i z(t - \tau_i) \end{aligned}$$

水下声信道的仿真模型就是以射线理论为基本依据, 利用 Snell 定律和声能传播规律等来简化其物理模型, 通过利用本征声线的方法来计算声场中的有关参数。

3 传播损失

利用水下声信道的仿真模型来计算在分层介质条件下的声场的传播损失, 这些计算公式主要可以归纳如下:

3.1 声线强度

声线强度的计算主要是利用两条掠射角相差很小的声线, 来计算某条声线相对于离声源 1m 处声线强度的大小, 计算声强的基本公式如下^[3]:

$$I = \frac{I_0 \cdot \cos \theta_0 \cdot d\theta_0}{r \cdot \sin \theta \cdot dr} \left| \prod_{i=1}^{N_s} V_{s_i}(\theta_{s_i}) \right|^2 \cdot \left| \prod_{i=1}^{N_b} V_{b_i}(\theta_{b_i}) \right|^2 \cdot e^{-2\beta S \times 10^{-3}}$$

其中, θ_0 为声源处的起始掠射角、 θ 为接收点处的掠射角、 r 为接收点离声源的水平距离、 dr 为起始掠射角分别是 θ 和 $\theta + d\theta$ 的声线在接收点处的水平距离之差、 N_s 和 N_b 分别为海面 and 海底的反射次数、 θ_{s_i} 和 θ_{b_i} 分别为声

线在海面和海底处第 i 次的掠射角、 $V_{s_i}(\theta_{s_i})$ 和 $V_{b_i}(\theta_{b_i})$ 分别为第 i 次海面和海底的反射系数、 β 为海水的吸收系数、 S 为声线从声源传播到接收点处的声程。

3.2 信道冲激响应函数

通过计算从声源到接收点处的本征声线的特征声线参数, 来确定信道的冲激响应函数 $h(\tau)$:

$$h(\tau) = \sum_{i=1}^N A_i \delta(\tau - \tau_i)$$

式中

$$A_i = P_i / |P_{max}| = (-1)^{N_i} \cdot \sqrt{I_i} / \sqrt{I_{max}}$$

$$\tau_i = t_i - t_{min}$$

其中, P_i 、 I_i 和 t_i 分别为沿第 i 条途径到达接收点的本征声线的声压幅度、声强和时延、 P_{max} 、 I_{max} 和 t_{min} 分别为本征声线中的声压幅度的最大值、声强的最大值和时延的最小值。

3.3 声波传播损失

若离声源 1m 处的发射信号为 $z(t)$ 、接收信号为 $s(t)$, 则声波的传播损失为 TL :

$$TL = 10 \lg \frac{1/T \int z^2(t) dt}{1/T \int s^2(t) dt}$$

$$= 10 \lg \frac{1/T \int z^2(t) dt}{1/T \int \left[\sum_{i=1}^N A_i z(t - \tau_i) \right]^2 dt}$$

其中, T 为发射信号时间宽度, 应取足够大。

4 仿真计算及其结果

本文利用水下声信道的仿真模型来对点噪声源近程的传播损失进行计算机仿真计算, 并通过计算结果来分析点噪声源近程的传播损失与海洋环境间的关系。

4.1 原理框图

利用发射一定频率带宽的白噪声, 对接收波形进行能量积分来计算其近程的传播衰减曲线, 通过与球面波结果相比较以及计算环境参数的影响来进行分析研究, 具体设计框图如图 1 所示。

4.2 计算参数选取

仿真计算的参数是遵循下述两个原则来进行选取的:

(1) 根据水下声信道仿真模型的适应范围

来选取。例如, 在声线的焦散区区域, 由于射线理论的不成立, 因而在计算方法上应进行适当地修正^[4]。

(2) 根据研究的目的是来选取的。例如, 由于考虑为近程声场, 因而声波传播的距离较近; 同时, 由于本文主要研究环境参数对传播损失的影响, 所以仿真计算是在选取基本参数的前提下, 通过改变某个环境参数来进行的。

基本参数选取为: 单点噪声源、白噪声频率 f 的范围为 100Hz-1000Hz、接收点离声源的水平距离 r 的范围为 30m-300m、海区深度 $H=50m$ 、声源深度 $z_s=5m$ 、水听器深度 $z_h=10m$ 、海面声速度 $c=1450m/s$ 、相对声速度梯度 $a=0 \text{ 1/m}$ 、海面反射系数为 $V_s(\theta_s)=0.95$ 、海底介质为高声速海底。

海底介质的参数值取为:

表 1 海底介质的参数

高声速海底	低声速海底
$m=2.034$	$m=1.590$
$n=0.909$	$n=1.111$

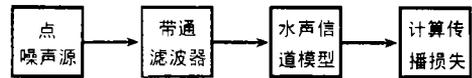


图 1 辐射噪声测量校正技术的仿真研究框图

其中, m 为海底密度与海水密度的比值、 n 为海水声速度与海底声速度的比值。

4.3 计算结果分析

本文针对不同的参数进行了大量的仿真计算。由于篇幅所限, 在此只列出其中的几组计算结果进行分析:

4.3.1 水文条件的影响

(1) 各水文条件下的传播衰减曲线与球面波的衰减规律相比较有较大的差异, 这个差异的大小与海深、海底介质、声源和水听器的位置有关。在海底介质为高声速海底下, 最大可达 8 dB;

(2) 比较各水文条件下的传播衰减曲线可以看出: 负声速梯度的传播衰减最大; 等声速层的传播衰减曲线与正声速梯度的曲线大体相同; 跃变层对声波的影响不明显, 其传播衰减

曲线与等大小的负声速梯度的曲线大体相同。部分结果见图 2 所示, 图示中的 $1/r^2$ 代表球面波的衰减曲线。

4.3.2 海底介质的影响

(1) 高声速海底与低声速海底比较, 在海深较小的情况下, 低声速海底的传播损失要大于高声速海底, 但随着海深的增加, 它们之间的差异减小, 见图 3;

(2) 海深对高声速海底下的传播损失影响

较大; 而对低声速海底下则影响很小。

4.3.3 声源、水听器位置的影响

对高声速海底, 随着声源或水听器深度的增加, 传播衰减曲线的斜率减小, 曲线变得平坦, 声源位置的影响参见图 4。

4.3.4 海深的影响

(1) 在低声速海底情况下, 海深的影响较大; 而在高声速海底下, 其影响则很小。

(2) 对高声速海底, 如图 5 所示。

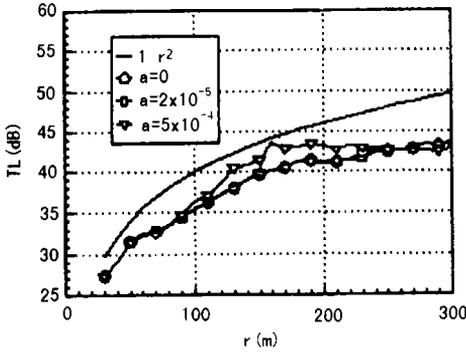


图 2 传播损失曲线与声速分布的关系

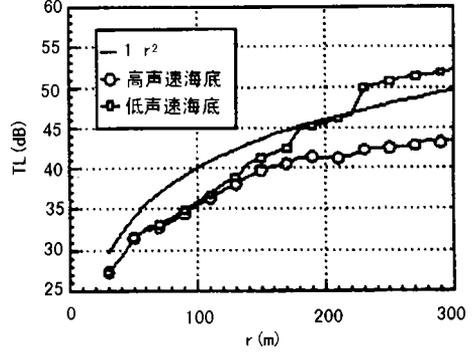


图 3 传播损失曲线与海底介质的关系

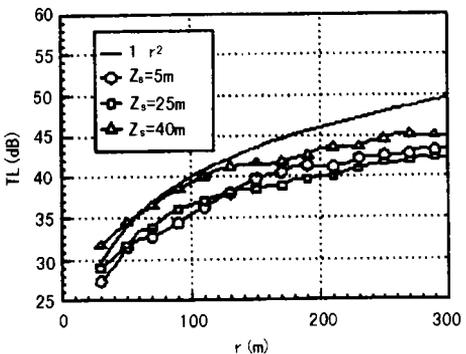


图 4 传播损失曲线与声源深度的关系

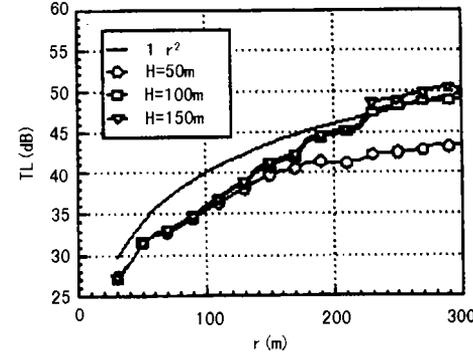


图 5 传播损失曲线与海区深度的关系

从上述仿真计算的结果表明: 点噪声源在近距离声场的传播损失曲线, 不仅与声速分布、海区深度、海底反射特性等环境条件有关, 而且还取决于声源及接收水听器的位置; 并且声传播损失规律在一般情况下不符合球面波衰减规律, 其差异最大时可达 8dB。这表明测量舰船目标的辐射噪声声源级时, 必须对所处的声场进行校正测量, 否则, 按球面波衰减规律进行推算的结果是无法满足所要求的测量精度的。

参 考 文 献

- 1 杨士莪编. 水声传播原理. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1994. 6-41.
- 2 惠俊英编. 水下声信道. 北京: 国防工业出版社, 1992. 11-29.
- 3 刘丽. 水下数字声通讯技术研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学博士学位论文, 1996. 48-58.
- 4 Robert J U 编, 洪申译. 水声原理. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990. 131-134.
- 5 刘伯胜, 雷家煜编. 水声原理. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1993. 101-119.