

## 水声目标辐射噪声的建模与仿真技术研究

徐江<sup>1</sup>, 赵春梅<sup>1</sup>, 曾浩<sup>1</sup>, 徐利刚<sup>2</sup>

(1. 海军装备研究院, 北京 100161; 2. 海军驻无锡地区代表室, 无锡 214061)



**摘要:** 海洋环境与目标特征的复杂性深刻影响着声纳设备的使用性能, 仿真是掌握声纳设备在多变海洋环境能够达到的实际性能的重要手段。针对声纳设备使用性能分析的仿真包括海洋环境仿真、目标特性仿真和声纳装备仿真, 其中目标辐射噪声信号的建模仿真是整个仿真过程中的重要组成部分。介绍的对目标辐射噪声信号的仿真建模方法可用于分析和研究声纳的被动探测能力, 对声纳设备的操作使用与发展研究具有重要意义。

**关键词:** 水声; 目标; 噪声; 仿真

中图分类号: TB53

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X(2011)08-1587-03

## Study of Modeling and Simulating Technology of Noise of Underwater Acoustic Objects

XU Jiang<sup>1</sup>, ZHAO Chun-mei<sup>1</sup>, ZENG Hao<sup>1</sup>, XU Li-gang<sup>2</sup>

(1. Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China; 2. Naval Representative Institution Resides in Wuxi District, Wuxi 214061, China)

**Abstract:** The complexities of ocean environment and objects' characters have deep influence on sonar's using performance. Simulation is an important method to understand the practical performance of sonar in inconstant ocean environment. The simulation used to analyze sonar's using performance includes ocean environment simulation, target character simulation and sonar simulation. The modeling and simulation of target radiated noise signals is an important part of entire simulation procedure. The modeling methods of object radiated noise signals introduced can be used to analyze and study sonar's inactive detecting ability. These methods are important to sonar's usage and development research.

**Key words:** underwater acoustic; target; noise; simulation

## 引言

声纳设备在不同海洋环境、不同目标特性以及不同位置态势下的使用性能差异巨大。舰船目标的水下声辐射噪声是被动声纳的接收信号源, 随着海洋环境及平台运动态势的变化, 声纳接收到的目标辐射噪声也将动态变化<sup>[1]</sup>。本文重点研究水下目标辐射噪声信号的仿真建模方法, 为分析研究声纳的被动探测能力提供仿真信号。

## 1 水声目标辐射噪声组成

舰船目标的水下声辐射噪声来源包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声三大类。按谱特性划分, 舰船辐射噪声包括平稳连续谱、线谱和时变调制谱<sup>[2]</sup>, 其中平稳连续谱主要来源于螺旋桨引起的空化噪声, 而线谱则主要来源于机械噪声, 它是船上各种机械重复性振动而产生的一系列单频分

量。螺旋桨共振及水流激发船体某些结构共振时, 也会产生线谱。时变调制谱主要来源于螺旋桨叶片对辐射噪声的调制<sup>[3]</sup>。

## 2 目标辐射噪声信号仿真模型

根据普遍采用的假设, 舰船噪声近似服从高斯分布, 其统计特性可通过二阶距来描述。因此, 对舰船噪声的仿真可归结为对随机信号相关特性或功率谱特性的仿真。舰船噪声时变功率谱可表示为<sup>[4]</sup>:

$$G(t, f) = G_x(f) + G_L(f) + M(t)M(f)G_x(f)$$

其中  $G_x(f)$  为平稳各态历经高斯过程的连续谱,  $G_L(f)$  为在频率上离散分布的线谱,  $M(t)M(f)G_x(f)$  是谱级受到周期调制的时变功率谱。  $M(t)$  称为调制函数, 代表连续谱所受到的周期时变调制;  $M(f)$  为调制深度谱, 反映不同频率成份所具有的不同调制程度。

## 2.1 平稳连续谱仿真

平稳连续谱是舰船噪声中最主要的成份。对舰船噪声平稳连续谱的三参数模型稍做简化, 可得到以下二参数模型:

$$G_x(\omega) = a / [a^2 + (\omega + \omega_0)^2] + a / [a^2 + (\omega - \omega_0)^2]$$

收稿日期: 2011-05-01

修回日期: 2011-05-22

**作者简介:** 徐江(1975-), 男, 浙江绍兴人, 博士, 工程师, 研究方向为水声工程; 赵春梅(1969-), 女, 山西平遥人, 博士, 工程师, 研究方向为水声物理; 曾浩(1976-), 男, 湖北洪湖人, 硕士, 工程师, 研究方向为水声信号处理; 徐利刚(1985-), 男, 江苏无锡人, 本科, 研究方向为水声工程和电子信息工程。

由上式给出的谱特性具有如图 1 所示形状。谱特性低频段的峰值位置与峰尖锐程度与舰船的舰型、航速、深度等因素有关,在被动声纳工作频率内,平稳连续谱近似以每倍频程-6db 规律下降<sup>[5]</sup>。

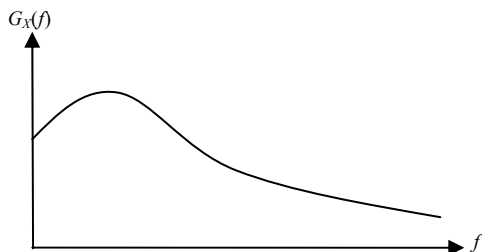


图 1 舰船噪声平稳连续谱

本文研究的建模方法采用自回归谱拟合技术,通过改变自回归滤波器的参数获得具有指定谱状的舰艇噪声时间序列输出。

## 2.2 舰船噪声低频线谱仿真

线谱主要由不平衡旋转部件、机械振动等激发所产生,主要分布在低频段。线谱实质上是一组具有特定频率、幅度和初相的单频信号,可按照单频信号的方法分别产生然后再进行迭加。各单频信号的频率、幅度和初相应与指定值相符合。

线谱的幅度是以线谱所在处 1Hz 带宽内平稳连续谱信号的平均能量为参考时,该单频信号能量的分贝值。低频线谱的分布与舰船型号有关,也与舰船所处深度有关。线谱能量可以在检测中加以利用,也可以为目标类型识别提供依据。

仿真模型的每个目标可产生多根具有指定频率、指定幅度、指定频率漂移、指定幅度漂移的线谱信号时间序列。

## 2.3 舰船噪声包迹谱仿真

舰船噪声包迹谱来源于螺旋桨对辐射噪声的包络调制,其结果使得噪声的包络出现一系列具有谐频关系的线谱。这些包迹谱的分布与螺旋桨的结构和转速有着直接的关系。包迹谱的基频取决于螺旋桨的转动速度(轴频)。各次谐频上的线谱幅度随机起伏,但在螺旋桨叶片数的谐频(叶频)上,包迹谱的幅度明显增强。包迹谱的曲型分布如图 2 所示。图中  $f_s$  为轴频,  $Nf_s$  为叶频,  $N$  为螺旋桨的叶片数。

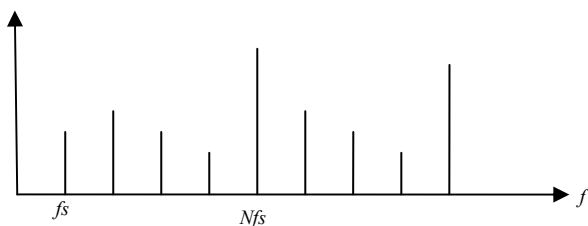


图 2 舰船噪声包迹谱

包迹谱仿真可通过对舰船噪声的幅度调制来实现。改变调制脉冲的周期和调制脉冲的结构可以获得不同包迹谱特性的噪声序列。

## 3 被动声纳接收的目标噪声信号仿真方法

对被动声纳接收到的目标辐射噪声信号进行仿真,需要设置的噪声模型参数,主要包括噪声谱级、谱状、随航速变化特性、指向性、线谱分量、调制特性等。

### 3.1 目标噪声信号谱级

被动目标噪声信号谱级定义为声纳接收波段几何中心频率上声纳基阵所接收到的目标信号谱级。该谱级与目标辐射噪声谱级、海洋传播损失分布、目标空间位置、声纳基阵的垂直指向性及声纳接收波段有关。仿真目标噪声信号的功率谱级能动态的反映接收目标噪声信号谱级的变化<sup>[6]</sup>。

### 3.2 目标噪声信号谱状

声阵接收到的被动目标噪声信号谱状与目标辐射噪声谱状、传播过程中的频率畸变、声纳基阵频率响应三种因素有关。为了反映不同目标类型和不同距离传播衰减频率畸变所造成的谱状变化,仿真模型的接收噪声信号谱状有多种倍频程衰减形状,以供使用时任意选择。

### 3.3 目标辐射噪声谱级航速增量

舰船目标不同航速谱级增量假设为:

$$dsp = \begin{cases} \Delta sp1(v-v1)^m - (v0-v1)^m & v0 \leq v2, v \leq v2 \\ -\Delta sp1(v0-v1)^m + \Delta sp2(v-v2) + sp & v0 \leq v2, v > v2 \\ \Delta sp1(v-v1)^m - \Delta sp2(v-v2) - sp & v0 > v2, v \leq v2 \\ \Delta sp2(v-v0) & v0 > v2, v > v2 \end{cases}$$

其中:  $v0$  为基准航速,单位:节;

$v$  为平台当前航速,单位:节;

$v1$ 、 $v2$  为噪声增量跳变的临界航速,单位:节;

$\Delta sp1$ 、 $\Delta sp2$ 、 $sp$  为航速变化谱级增量,可由舰船噪声的实测数据分析得到,单位:分贝。

### 3.4 目标辐射噪声级指向性增量

计算指向性偏离角  $\beta$ ,指向性偏离角等于目标舷角的绝对值。谱级指向性增量可由实测数据分析得到。

### 3.5 目标噪声调制谱

舰船目标的调制谱随目标螺旋桨结构、螺旋桨转速(目标航速)而变化,调制谱特征用轴频、叶频、调制深度三种参数描述。为了反映不同目标类型和航速变化,仿真模型目标噪声调制谱的轴频、叶频、调制深度等参数应可灵活设置。

### 3.6 目标噪声低频线谱

为了反映不同目标类型和工况的变化,模拟系统可产生 1-3 根频率、幅度可控的线谱信号。线谱频率可设为固定,

也可按设定范围缓慢飘移变化。线谱幅度可设为固定, 也可按设定范围缓慢飘移变化。

## 4 仿真信号的测试

按照上述建模方法, 仿真被动声纳接收到的舰船目标水下辐射噪声信号, 并对仿真信号进行测试。

### 4.1 测试方法

设置参数如下: 声纳为圆柱阵, (一元, 阵高 0 米),  $f_s=25$  千赫兹, 数据长度 21 秒, 不作传播仿真, 背景噪声谱级为零, 声纳搭载平台为水面舰船, 航速 18 节。

目标接收噪声: 126dB 噪声谱状: -8dB/oct

线谱 1 频率: 100Hz 线谱 1 幅度: 15dB

线谱 2 频率: 150Hz 线谱 2 幅度: 20dB

线谱 3 频率: 500Hz 线谱 3 幅度: 25dB

轴频: 10Hz, 叶片数: 7, 调制度: 0.4

生成数据文件存盘, 然后通过 MATLAB 进行分析。

### 4.2 测试数据

#### 4.2.1 连续谱及线谱分析

对数据文件作功率谱分析。采用 YuleAR 方式, 8192 阶, 524288 点。分析结果见图 3。

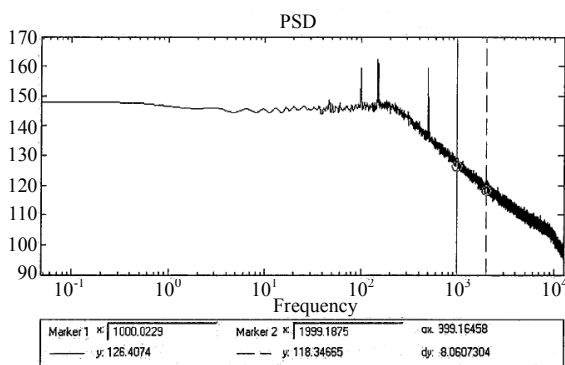


图 3 被动噪声连续谱加线谱

图中可见: 1000Hz 上信号输出基准谱级=126.407dB, 1000Hz 与 2000Hz 二点谱级差=-8.06dB/oct, 利用光标对图中的低频线谱频率进行测量, 结果为:

线谱 1 频率=99.992752 Hz, 线谱 2 频率=150.01297 Hz, 线谱 3 频率=500.01144 Hz。

#### 4.2.2 包迹谱分析

对数据文件作包迹谱分析, 采用 YuleAR 方式, 256 阶, 4096 点。分析结果见图 4。

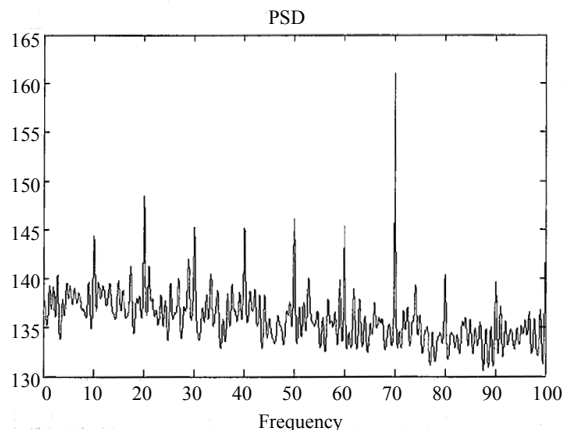


图 4 被动噪声包迹谱

利用光标对图中的包迹谱频率进行测量, 结果为:

包迹谱中的轴频=10.009766Hz

包迹谱中的叶频=70.019531Hz

### 4.2.3 测试结论

被动辐射噪声输出基准谱级与理论值相差 0.407dB, 输出谱状 (倍频程衰减量) 与理论值相差 0.06dB, 输出线谱 1 频率与理论值相差 0.007Hz, 输出线谱 2 频率与理论值相差 0.01297Hz, 输出线谱 3 频率与理论值相差 0.01144Hz, 输出包迹谱轴频与理论值相差 0.009766Hz, 输出叶频与理论值相差 0.019531 Hz。仿真结果正确。

## 5 结论

舰船水声目标特性表征了它们的隐身性能, 声纳接收到的水声目标辐射噪声特性随目标的航速、声纳接收方向、工作频率等的变化而变化。本文给出了水声目标辐射噪声的仿真建模方法, 通过设置目标辐射噪声的谱级、谱状、线谱成份等, 对声纳接收到的目标辐射信号进行仿真模拟, 用于研究水声目标特性的变化对水声设备使用性能的影响。

### 参考文献:

- [1] Paul c. Etter. 水声建模与仿真[M]. 蔡志明等译, 第 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [2] A.D. Waite. 实用声纳工程[M]. 王德石译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [3] 何沅铺, 赵玉芳. 声学理论基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [4] 杜功焕. 声学基础[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
- [5] R J Urlick. Principles of Underwater Sound for Engineering [M]. New York, USA: McGraw-Hill, 1975.
- [6] D. 罗斯. 水下噪声原理[M]. 北京: 海洋出版社, 1983.