

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.02.001

## 基于艇载设备的潜艇噪声监测方法

杜奎<sup>1</sup>, 程广利<sup>2</sup>

(1. 海军工程大学 科研部, 湖北 武汉 430033; 2. 海军工程大学 电子工程学院, 湖北 武汉 430033)

**摘要:** 为实现潜艇辐射噪声的实时监测, 在介绍目前世界各国海军常用潜艇噪声舰载检测设备的基本特点和用途的基础上, 分别研究了采用加速度传感器提取潜艇主要噪声源特征频谱的方法、基于状态监测的自噪声水听器阈值显示与设定方法以及基于远场测量的自噪声水听器阈值设定方法。结果表明, 该研究可达到提取潜艇主要噪声源特征频谱和设定自噪声水听器阈值的目的, 能为潜艇实时监测潜艇辐射噪声提供依据。

**关键词:** 潜艇噪声监测; 加速度传感器; 自噪声水听器; 特征频谱; 阈值

**中图分类号:** TP206 **文献标识码:** A

## Method of Submarine Noise Monitoring Based on On-Board Equipment

DU Kui<sup>1</sup>, CHENG Guang-li<sup>2</sup>

(1. Dept. of Scientific & Research, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** In order to monitor the radiation noise of submarine in the real time is come true, on the basis of basic characteristics and uses of monitoring submarine noise on-board equipments which are often used in worldwide navy were introduced, method of extracting characteristic frequency spectrum of main noise sources for submarine was studied by use of acceleration sensors, and then displaying and setting threshold of self-noise hydrophone was studied based on the condition monitoring, and setting threshold of self-noise hydrophone was studied based on far-field measurement. The results demonstrate that the characteristic spectrums of main noise sources from submarine can be picked up and threshold of self-noise hydrophone can be set by use the method of this paper, which can provide the base for monitoring the radiation noise of submarine in the real time.

**Keywords:** Submarine noise monitoring; Acceleration sensor; Self-noise hydrophone; Characteristic frequency spectrum; Threshold

### 0 引言

声波是目前海洋中唯一能远距离传播的能量辐射形式, 潜艇的声学特性决定了它被敌方发现、跟踪、识别的可能性。如潜艇辐射噪声过大, 既易被敌方潜艇探测到, 又导致艇声纳探测背景噪声增大而不利于发现敌人。因此, 一旦潜艇的辐射噪声超标, 其危害几乎是致命的。由于潜艇辐射噪声通常由远场测量得到, 不能实现实时监测, 无法实现潜艇声隐身。故急需实现潜艇辐射噪声的实时监测。故对采用加速传感器提取潜艇主要噪声源特征频谱以及 2 种自噪声水听器阈值设定的方法进行研究。

### 1 潜艇噪声监测方法

目前, 国际上较为流行的艇载实时监测设备主要包括:

#### 1.1 加速度传感器

加速度传感器能够测量潜艇艇内振动, 并确定振源位置。加速度传感器单独测量每种机器的振动

并记录其时频信号, 能够采集其“特征指纹”。利用机器的“特征指纹”能简化噪声源识别过程。

#### 1.2 自噪声水听器

自噪声水听器可安装在艇体顶部、艏部和鳍部, 能探测螺旋桨、操纵面、拖曳阵曲柄等艇壳外部噪声。自噪声水听器能提供噪声状态的实时反馈, 并提醒艇员加强对潜艇的控制, 以减小辐射噪声。

#### 1.3 艇壳声纳

艇壳声纳通常可安装在潜艇顶部、艏部、侧翼等部位, 也能探测潜艇自噪声, 声纳操作员应将其记录下来。声纳操作员不能通过标准声纳装置推断出潜艇自噪声与噪声源间的关系, 但配合使用自噪声水听器, 就可根据艇壳声纳测量和远场辐射噪声以及测量经验得到潜艇自噪声与噪声源间的关系。

#### 1.4 拖曳阵声纳

拖曳阵声纳测量值的可靠性较强, 是唯一能实时监测潜艇远距离辐射声的艇载声纳。它不仅能测

收稿日期: 2009-09-27; 修回日期: 2009-11-24

作者简介: 杜奎 (1971-), 男, 安徽人, 硕士, 从事舰船及其设备噪声与振动控制研究。

量艇尾部方向的辐射噪声, 如果将艇急转 180° 弯, 还能测量艇首部方向的辐射噪声。

### 2 采用加速度传感器提取噪声源特征频谱

利用加速度传感器能够实现对潜艇振动的艇内实时监测, 并完成对主要噪声源特征频谱的提取。加速度传感器单独测量每种机器的振动并记录其时频信号, 能够采集该机器的“特征指纹”, 不同机器振动信号的“特征指纹”如图 1。由于一艘潜艇的主要噪声源被限定在某几台特定的机器上, 因此, 出现声学故障时, 也是其中的一台或几台处于非正常状态。利用机器的“特征指纹”可以识别出自噪声水听器 and 远场声纳中某主要噪声源成分。

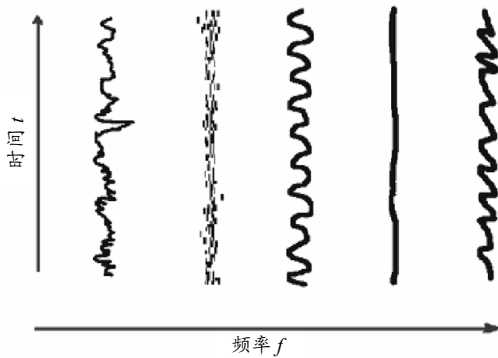


图 1 5 种不同机器的声“特征指纹”图

台架试验的测量结果可以为“特征指纹”提供参考, 但码头系泊试验是获得典型工况下潜艇重要机械设备及螺旋桨等噪声源“特征指纹”的关键。通常, 将加速度传感器安装在设备弹性基座上方, 尽可能地排除其它噪声源干扰。同时, 航行中的在线测量对于修正和完善设备“特征指纹”是必要的。提取某台机器的“特征指纹”时, 并不需要将其他机器都关掉, 因为机器与机器的“特征指纹”不会出现混叠。所以潜艇在航行时, 在某些重要机器设备必须运行的条件下, 也可以进行在线测量, 以提取机器的“特征指纹”。

### 3 自噪声水听器阈值的设定

#### 3.1 基于状态监测的自噪声水听器阈值显示、设定

自噪声水听器信息显示台应保持界面简洁, 且能反映出潜艇的声学特性, 便于操作人员能快速反应; 应能显示出潜艇不同位置 and 不同噪声源的声辐射情况。每艘潜艇一般装有 20~40 个自噪声水听器<sup>[1]</sup>, 所有自噪声水听器的信息应全部显示在同一界面上, 以方便进行比较。其显示形式并不唯一, 可以用平均声压级图、功率谱图、LOFAR 图、通道

声能量图等<sup>[2]</sup>, 还可以是不同显示方式的组合。将原始数据与该通道基准阈值进行比较, 能实时监测每个通道的声学状态。

显示原始数据的显示方式并不直观。如在频谱图中, 不同的频率, 其阈值大小并不一定相等, 且原始数据与阈值曲线的差距并不明显, 艇员不能迅速对其做出反应。因此, 需要在频域上对通道信息进行归一化处理, 使基准阈值以一条水平直线的形式清楚地显示在界面上。这样, 通道信息与阈值的差别就相当明显。在上述操作之前, 还应确定每个通道在不发生声学故障时的基准功率谱, 并将其在频域上进行归一化处理, 以确定通道信息的阈值。

由于所有通道的自噪声水听器信息都显示在同一界面上, 艇员对不同通道要检查不同阈值, 这又影响其直观程度。所以对每个通道的信息也要进行归一化处理, 在显示时, 不同通道信息放在一起, 其阈值显示应当是同一大小。显示方式如图 2。图 2 上半部分为频域功率谱图, 下半部分为时域 LOFAR 图。该方法已在澳大利亚 ISCMMS 系统中实现。

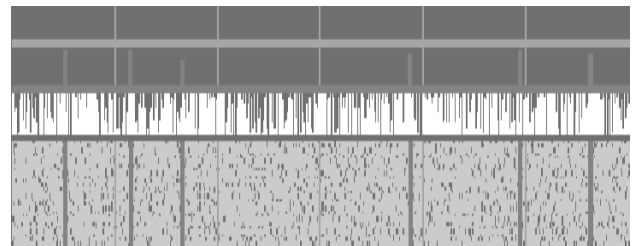


图 2 功率谱图和 LOFAR 图

在定基准阈值时, 不同的航行状态也要定出不同的阈值。例如在通气管航行状态和巡航状态下, 相同通道的基准阈值大小也不一样。

当潜艇出现声学故障时, 自噪声水听器信号理论上应该有所反应, 即谱线应当超过预警阈值或报警阈值。为提高自噪声水听器基准阈值的精度, 必须经过大量实验, 通过对自噪声水听器信息和远场水听器信息的不断比较来修正基准阈值。

#### 3.2 基于远场测量的自噪声水听器阈值设定

基于远场测量的自噪声水听器阈值的设定方法, 其前提条件是要事先知道敌方声纳的型号、各项参数, 以此得到其探测半径与频率的关系图, 主要包括以下 2 种方法:

1) 一艘潜艇的主要噪声源远场辐射声状态和自噪声水听器采集信息之间必然存在某种复杂的关系。同时, 观察远场声纳信息和自噪声水听器信息, 能经验性地得到它们之间的相互关系。记频率  $f$  下

第  $n$  个水听器测量值和第  $m$  个主要噪声源远场测量值之间的传递函数为  $T_{nm}(f)$ 。由于自噪声水听器没有考虑其方向性, 所以传递函数  $T_{nm}(f)$  应为各方向的平均值。对于远场总声级, 则为:

$$SL(f) = \sum_m SL_m(f) \quad (1)$$

式 (1) 中:  $SL(f)$  为远场声纳测得的频率  $f$  下的声功率;  $SL_m(f)$  为第  $m$  个主要噪声源的远场辐射声功率, 它可由下式算出:

$$SL_m(f) = T_{n,m}(f)P_{n,m}(f) \quad (2)$$

式 (2) 中:  $P_{n,m}(f)$  为第  $m$  个主要噪声源对第  $n$  个自噪声水听器测量的功率谱的贡献,  $P_{n,m}(f)$  可以从第  $n$  个自噪声水听器采集的原始谱信号  $P_n(f)$  中提取出, 对应的第  $m$  个主要噪声源的频谱部分。

该方法也适用于连续宽带噪声源。对于宽带噪声源,  $P_{n,m}(f)$  可以通过开、关第  $m$  个主要噪声源, 从第  $n$  个自噪声水听器采集的原始谱信号  $P_n(f)$  中提取出来。传递函数  $T_{nm}(f)$  通过对比自噪声水听器和远场声纳采集信号之间的关系得到, 但该方法中传递函数  $T_{nm}(f)$  的获得较为困难, 而且精度并不能得到很好的保证。

2) 对上述方法进行改进, 不考虑单个噪声源的贡献, 直接建立水听器信息与远场声纳信息之间的关系。这样可以避免从频谱中寻找各个主要噪声源的成分 (特别是对于宽带噪声), 从而大大降低了工作难度。此时, 有:

$$SL_m(f) = T_m(f)P_m(f) \quad (3)$$

式 (3) 中:  $P_m(f)$  可由下式获得:

$$P_m(f) = \sum_n C_{n,m}(f)P_n(f) \quad (4)$$

式 (4) 中:  $C$  为加权系数, 可通过最小二乘法使传递函数  $T_m(f)$  在所有频率上尽量相等来实现。

对于给定型号的敌方声纳, 应用式 (3) 和式 (4) 设定潜艇安全半径, 可以定出各自噪声水听器的基准阈值。具体方法如下:

(1) 第  $n$  个自噪声水听器采集功率谱为  $P_n(f)$ , 如图 3(1) 中的曲线, 通过式 (4) 得到所有自噪声水听器采集功率谱  $P_m(f)$ , 如图 3(2) 中的曲线。

(2) 通过式 (3) 得到远场声功率  $SL(f)$ , 如图 3(3) 中的第 2 条曲线。

(3) 将潜艇远场声功率  $SL(f)$  曲线对应到敌方声纳探测半径  $R(f)$  与频率的关系图 (图 3(4) 中显示了 4 台不同声纳的探测半径与频率之间的关系), 将预先设定的潜艇安全半径对应到潜艇远场声功率  $SL(f)$ , 图 3(3) 中的第 1 条曲线为潜艇远场声功率的报警阈值曲线。

(4) 通过式 (3), 将图 3(3) 中的第 1 条曲线对应到图 3(2) 中的第 1 条直线, 即潜艇所有自噪声水听器加权后的报警阈值。

(5) 通过式 (4), 将图 3(2) 中的第 1 条曲线对应到图 3(1) 中的第 1 条直线, 表示第  $n$  个自噪声水听器的报警阈值。

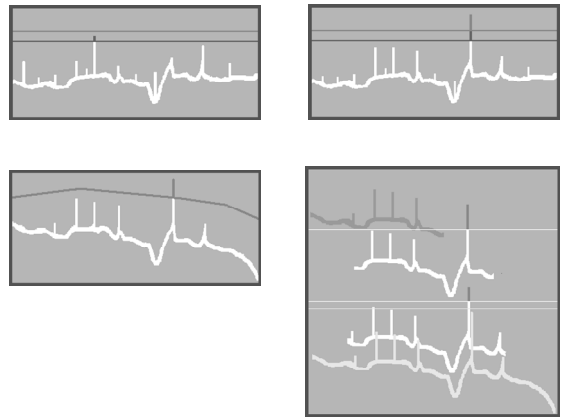


图 3 自噪声水听器阈值确定过程

这样, 自噪声水听器的报警阈值被设定。为方便艇员监测, 图 3(1) 和图 3(2) 中的数据都已在频域上经归一化处理, 使图 3(1) 和图 3(2) 中的报警阈值均为一条直线, 即图 3(1) 和图 3(2) 中的第 2 条直线。

## 4 结束语

该研究可达到提取潜艇主要噪声源特征和设定自噪声水听器阈值目的, 可对潜艇振动噪声的实时监控, 发现不安全因素, 为潜艇指挥作战提供依据。

## 参考文献:

- [1] 王之程, 陈宗岐, 于泓, 等. 舰船噪声测量与分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [2] R.J. Urick. Principles of Underwater Sound, 3<sup>rd</sup> edition [M]. New York: McGraw-Hill Book Co, 1983.
- [3] 苑改红, 侯培中, 周宇. 船艇机舱噪声测试与控制[J]. 四川兵工学报, 2008(6): 20-22.