

舰船噪声测量与分析

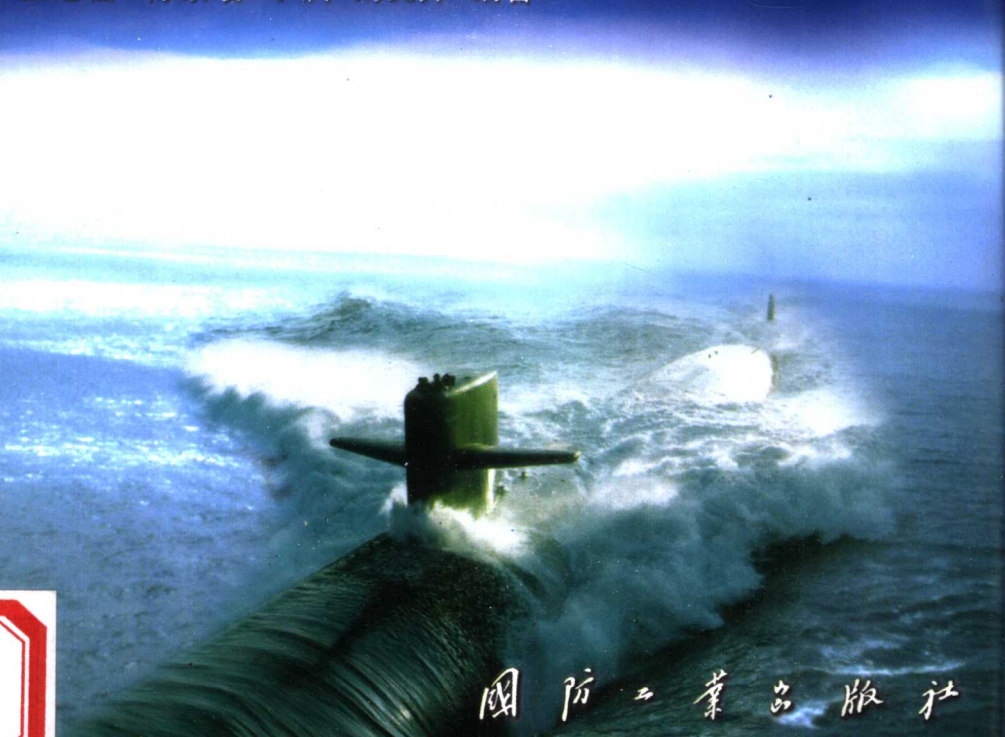
Warship

Noise

Measuring and

Analyzing

王之程 陈宗岐 于泓 刘文帅 编著



国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

舰船噪声测量与分析/王之程等编著. —北京:国防工业出版社, 2004. 1

ISBN 7-118-03118-6

I. 舰... II. 王... III. ①船舶噪声 - 噪声测量
②船舶噪声 - 分析 IV. U661.44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 019309 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 8 1/8 205 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 23.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

前 言

一切不需要的,感到干扰的声音,统称为噪声。人们往往关心在空气中存在的噪声,如喷气式飞机从头上掠过时发出的呼啸声,卡车在附近公路上驶过产生的隆隆声,工厂的机器声或者建设工地的气锤声……这些声音会给人们带来烦恼,降低人的工作能力,干扰人们的谈话或影响睡眠,甚至危害人的健康。噪声是一种环境公害,已引起社会的广泛重视。

在海洋中航行的舰船,因装有复杂的机器在做各种旋转和往复动作,不可避免地在周围的空气和海水中产生噪声。在空气中产生的噪声影响乘客和船员的工作和休息,破坏航道周围的环境质量,是一种值得重视的环境公害;而在海水中产生的噪声,人们尚没有把它作为环境公害,加以普遍重视。但这种在海水中的舰船噪声却受到海军的特别关注,因为声波是目前在海洋中惟一能够远距离传播的能量辐射形式。海军使用的水声探测设备、鱼雷声自导装置、水雷和鱼雷的声引信等,均把舰船噪声作为一种可利用的目标信息。对潜艇而言,噪声的危害几乎是致命的。舰船噪声是研制、试验和使用这些装备的重要基础;为了对抗这些装备,最有效的措施是降低舰船的噪声。潜艇的噪声控制已取得明显进步,出现了噪声与海洋噪声接近的安静型潜艇。水面舰艇虽然在水面航行,易被使用电磁波的雷达远距离发现,但其水下辐射噪声不仅会把自己的存在暴露给敌方潜艇,同时水面舰艇的辐射噪声也会干扰编队航行的其他舰艇声呐的工作。因此水面舰艇的噪声控制也非常必要。降低舰船噪声不仅可以有效地防止被敌方水声设备探测和水中兵器的攻击,同时也有利于提高装备在舰船上的各种水声设备的性能。所以舰船水噪声在海战中将起到重要作

用。

为了充分利用和有效控制舰船噪声,必须对其进行深入研究,而测量与分析是研究的基础,是必不可少的过程。舰船噪声测量的目的是全面、系统、准确地采集舰船在各种状态和工况下的噪声数据,不失真地获取舰船噪声的全部信息,供分析该舰船的噪声特性和主要噪声源。对于有噪声限值指标的舰船,进行符合标准规范的测量,就是对舰船噪声进行检验,以判断舰船噪声是否符合规定的噪声限值。

本书从工程应用角度出发,论述有关舰船噪声测量与分析的基本理论和实践。书中对测量技术描述得比较具体和详实,是本书的重点,而对分析技术的描述仅限于对平稳噪声数据的最基本处理方法。书中还收集了一些在工程上实用的数据,以表格的形式列出,供读者查阅。为了统一起见,本书所采用的计量单位为国际单位制(SI),对于其他单位制的量,给出换算关系。

书中所给出的舰船噪声数据是为了说明测量与分析方法的,都是取自公开发表的文献资料和互联网,鉴于舰船噪声的军事目的,这些数据的可信程度有待证实。但这不影响对舰船噪声测量与分析方法的论述。

本书实际上是集体编著的,除封面署名者外,还有:王广恩同志编写了第四章中利用直线基阵的测量与分析技术,张宝成同志编写了第五章中以多输入/输出模型为基础的噪声源分析方法,蒋行海和熊草根两同志为本书设计并绘制了大部分图表。在此,感谢与编著者多年共事的同事,他们与编著者共同进行的科学实践是编写本书的基础。感谢上海交通大学汤渭林教授,他审阅了本书的初稿,并提出了十分重要和非常具体的修改意见。

由于编者水平所限,书中难免有错误之处,祈求读者批评指正。

目 录

第一章 舰船水噪声的基本特性	1
1.1 舰船水噪声及其危害	1
1.2 有关的基本量及分贝(级)表示	5
1.2.1 声学基本量	5
1.2.2 分贝(级)表示	10
1.2.3 频带声压级、声压谱级和总声级	14
1.2.4 声源级、频带声源级和声压谱源级	18
1.2.5 声源的指向性和舰船坐标系	20
1.3 舰船噪声的基本特性和检验参数	24
1.3.1 舰船辐射噪声的基本特性	24
1.3.2 舰船自噪声的基本特性	30
1.3.3 舰船噪声的检验参数	33
1.4 潜艇安静化进程及按噪声对潜艇分类	36
1.4.1 潜艇安静化进程	36
1.4.2 对潜艇噪声分类的方式	38
1.4.3 潜艇噪声和海洋噪声的比较	42
参考文献	43
第二章 舰船水噪声测量基础	44
2.1 测量的量和基本方程	44
2.1.1 测量和分析的量	44
2.1.2 噪声测量的基本方程	47
2.2 基本测量系统概述	50
2.2.1 多通道测量放大器	52
2.2.2 多通道信号记录采集设备	53

2.2.3 实时信号分析仪	55
2.2.4 显示仪表	56
2.3 水听器及各种传感器	58
2.3.1 测量水听器	58
2.3.2 矢量传感器	61
2.3.3 加速度计	65
2.3.4 其他传感器	69
2.4 测量系统的校准	69
2.5 配套系统和设备	71
2.5.1 水下测距和定位	71
2.5.2 水下导航装置	83
2.5.3 水文参数测量仪	86
2.5.4 姿态检测设备	90
2.6 试验海区的选择	92
参考文献	102
第三章 舰船自噪声测量与分析	103
3.1 自噪声测量系统	103
3.2 测量与数据处理	106
3.2.1 测量过程	106
3.2.2 数据处理原则	108
3.3 噪声振动监测仪	117
参考文献	121
第四章 舰船辐射噪声测量与分析	122
4.1 利用单水听器的测量与分析技术	123
4.1.1 水听器系统的构成	123
4.1.2 水下声系统的布放和舰船机动方式	129
4.1.3 数据处理与误差分析	137
4.2 利用直线基阵的测量与分析技术	148
4.2.1 直线等间隔基阵的波束图和指向性增益	148
4.2.2 宽带恒定束宽的理論方法	152

4.2.3 测量噪声用线列阵设计与实例	159
4.2.4 近场聚焦波束形成技术原理	161
4.2.5 近场聚焦基阵的空间分辨力	162
4.2.6 近场聚焦波束的实例	165
4.3 利用矢量传感器的测量与分析技术	166
4.3.1 利用矢量传感器测量噪声的基本原理	166
4.3.2 矢量传感器的增益	170
4.3.3 信号处理技术	173
4.3.4 矢量传感器测量系统	178
4.3.5 实验结果	185
参考文献	187
第五章 舰船噪声源测量与分析	188
5.1 辐射噪声、自噪声和结构振动数据同时 基采集系统	189
5.2 数据采集和预处理	195
5.2.1 数据采集	195
5.2.2 数据预处理	198
5.3 噪声源分析技术及实例	201
5.3.1 常规谱分析方法	201
5.3.2 倒频谱(谱频谱)分析和相干分析	206
5.3.3 辐射噪声通过特性分析	208
5.3.4 主成分分析方法	211
5.3.5 脱桨滑行分析方法	212
5.4 以多输入/输出模型为基础的噪声源分析方法	213
5.4.1 描述系统的输入/输出互谱矩阵	214
5.4.2 各种噪声源贡献的估计方法	216
5.4.3 网络观点下的解	216
5.4.4 偏相干意义下的输入对输出贡献	219
5.4.5 主成分解	223
5.4.6 时域处理方法	225

5.4.7 输入/输出协方差矩阵的归一化	227
5.4.8 噪声源贡献分析时要注意的问题	229
5.4.9 噪声源分析的步骤和框图	230
5.4.10 估计一源替代后的输出	231
5.4.11 应用实例	233
5.5 用声强法测量、分析噪声源技术	238
参考文献	242

Contents

1 Basic Characteristic of the Ship Noise	1
1.1 Ship noise in sea and it's imperil	1
1.2 Basic quantity and dB (level) expression	5
1.2.1 Acoustic basic quantity	5
1.2.2 dB (level) expression	10
1.2.3 Sound band press level, sound spectrum press level and total sound press level	14
1.2.4 Sound source level, sound band source level and sound spectrum press source level	18
1.2.5 Source direction of sound and the coordinate of the ship	20
1.3 Basic characteristic of the ship noise and test parameter	24
1.3.1 Basic characteristic of the ship radiated noise	24
1.3.2 Basic characteristic of the ship self-noise	30
1.3.3 Test parameter of the ship noise	33
1.4 Submarine quiet treated process and classify according to noise level	36
1.4.1 Submarine quiet treated process	36
1.4.2 Method of classify according to noise level	38
1.4.3 Compare the submarine noise with ocean environment noise	42
References	43
2 Elements of the Ship Noise in Sea	44
2.1 Measuring quantity and basic equation	44

2.1.1	Measuring and analyzing quantity	44
2.1.2	Basic equation of noise measuring	47
2.2	Summarize about basic measuring system	50
2.2.1	Multi-channel amplifier	52
2.2.2	Multi-channel signal collector and recorder	53
2.2.3	Real time signal analyzer	55
2.2.4	Display instruments	56
2.3	Hydrophone and transducers	58
2.3.1	Measuring hydrophone	58
2.3.2	Vector transducer	61
2.3.3	Accelerator	65
2.3.4	Other transducers	69
2.4	Calibrating the measure system	69
2.5	Equipped system and device	71
2.5.1	Under water ranging and locating	71
2.5.2	Under water navigation	83
2.5.3	Hydrographic parameter measuring device	86
2.5.4	Stance detect device	90
2.6	Test sea area choice	92
	References	102
3	Measuring and Analyzing the Ship Self-Noise	103
3.1	Self-noise measuring system	103
3.2	Measuring and data processing	106
3.2.1	Measuring program	106
3.2.2	Data processing rule	108
3.3	On board noise and vibration monitor	117
	References	121
4	Measuring and Analyzing the Ship Radiated Noise	122
4.1	A technology of measuring and analyzing with single hydrophone	123

4.1.1	Composing of hydrophone system	123
4.1.2	Laying under sea acoustic system and method of the ship positioning	129
4.1.3	Data process and error analysis	137
4.2	A technology of measuring and analyzing with line array	148
4.2.1	Beam and gain of the equal interval array	148
4.2.2	Theory of wide band invariableness beam	152
4.2.3	Design and example using line array for measuring noise	159
4.2.4	Principle of near field beam focusing technology	161
4.2.5	Space resolving power of near field beam focusing array	162
4.2.6	Application example for using near field beam focusing technology	165
4.3	Basic principle of using vector transducer for measuring and analyzing technology	166
4.3.1	Basic principle of using vector transducer for measuring noise	166
4.3.2	Gain of vector transducer	170
4.3.3	Signal process technology	173
4.3.4	Vector transducer system	178
4.3.5	Experiment and the result	185
	References	187
5	Measuring and Analyzing the Ship Noise Sources	188
5.1	Synchronization data collection system of radiated noise, self-noise and vibration	189
5.2	Data process and pretreatment	195
5.2.1	Data collecting	195
5.2.2	Data preprocessing	198

5.3	Technology and example for noise sources analyzing	201
5.3.1	Normal spectrum analysis	201
5.3.2	Cepstrum analysis and coherence analysis	206
5.3.3	Pass by noise of radiated noise	208
5.3.4	Main component analysis	211
5.3.5	Slipping less propeller analysis	212
5.4	Noise sources analyzing according to multi input and multi output model	213
5.4.1	Describing of the multi input/output system cospectrum matrix	214
5.4.2	Contribute estimating method of various noise sources	216
5.4.3	Solution under viewpoint of network	216
5.4.4	Input contribute to output by means of partial coherence	219
5.4.5	Main component contributing	223
5.4.6	Processing method of time domain	225
5.4.7	Normalization of covariance matrix of input and output	227
5.4.8	Key points of contribution analyzing of noise sources	229
5.4.9	Noise sources analyzing sequence structure and flown chart	230
5.4.10	Output estimating while replace with a source	231
5.4.11	Application example	233
5.5	Noise source measuring and analyzing technology by sound intensity method	238
	References	242

第一章 舰船水噪声的基本特性

本章从工程应用的角度,力求用较少的篇幅、简明的语言介绍与舰船噪声有关的基本概念、主要的计算公式、舰船噪声的基本特性等内容,为叙述以下章节奠定基础。如果读者想系统、深入地了解有关概念及严密的数学推导,请查阅本章末尾的参考文献。

1.1 舰船水噪声及其危害

一切不需要的、感到干扰的声音,统称为噪声,如喷气式飞机从头上掠过时发出的响声,卡车在附近公路上驶过产生的隆隆声、工厂的机器声或者建设工地的气锤声……舰船由于在其上安装的机械的运转和其本身的运动不可避免地也会在周围介质中产生噪声。

舰船噪声,包括在空气介质中产生的噪声和在水介质中产生的噪声。在空气介质中产生的噪声称之为舰船的空气噪声,其中在舰船内部空间产生的空气噪声,被称作舱室噪声,它影响船员工作和休息;而在舰船外部产生的空气噪声,将破坏航道附近的环境质量。空气噪声作为一种环境公害,已引起社会广泛重视。在水介质中产生的噪声称之为舰船水噪声,这种噪声,虽然不是作为环境公害被人们普遍重视,但却受到海军人员和海洋学者的特别关注。因为声波是目前在海洋中惟一能够远距离传播的最有效的能量形式,所以舰船水噪声对舰船的生存和武器装备性能有重大影响,是舰船隐蔽性的重要指标,对潜艇而言,噪声破坏了它的隐蔽性,这种危害几乎是致命的。另外,海洋环境噪声对鱼类等海洋生物的生态环境有影响,这是海洋学者所关心的,而舰船噪声是海

洋环境噪声的重要组成部分。

舰船水噪声分为舰船辐射噪声和舰船自噪声。舰船辐射噪声是由舰船上机械运转和舰船运动产生并辐射到水中的噪声,它是由离开舰船一定距离的水听器接收到的舰船噪声。舰船辐射噪声是被动声探测装置的‘信息源’,是舰船隐蔽性重要指标之一,用以评价本舰招致声呐探测和水中兵器攻击的危险性。舰船自噪声是安装在舰船船体某部位上的全向水听器接收到的由于舰船自身动力装置、设备和船体运动所引起的水中噪声,它是由舰船(含设备)自身决定的参数,是在舰船上安装的各种声呐及水声设备的干扰源之一。在船体的不同位置,舰船自噪声是不一样的,其中声呐基阵平台处的自噪声最重要。

在水声学中,将设备、介质和目标参数联系在一起的最基本关系式,称之为声呐方程^[2]。利用声呐方程,可对已有的声呐及其他水声设备预报最大作用距离,或根据预定的作用距离,设计新的声呐和其他水声设备。声呐方程分为主动声呐方程和被动声呐方程。

合置式主动声呐方程为:

$$SL - 2TL + TS = NL - DI + DT \quad (1.1.1)$$

$$SL - 2TL + TS = RL + DT \quad (1.1.2)$$

其中式(1.1.1)适用背景干扰是噪声的情况,式(1.1.2)适用背景干扰是混响的情况。式中 SL 是声呐设备的发射器声源级; NL 是声呐自噪声级,或称背景噪声级,是声呐基阵输出端的所有噪声的总和,包括由海洋环境噪声以及舰船和设备等产生的自噪声; TL 是声波在海水介质中的传播损失; TS 是被测目标的目标强度; DI 是声呐设备的接收指向性指数; RL 是海水介质的混响级; DT 是声呐设备的检测阈。

被动声呐方程为:

$$SL - TL = NL - DI + DT \quad (1.1.3)$$

式中 SL 是被测目标(如舰船)的声源级;其余符号的意义同

式(1.1.1)。

舰船辐射噪声和自噪声是上述声呐方程中的重要参数,它们将对声呐性能产生重大影响。当设备参数和海洋介质特性一定时,在式(1.1.1)中,主动声呐的探测能力由被探测舰船的目标强度 TS 和声呐自噪声级,或称背景噪声级 NL 决定,而在式(1.1.3)中,被动声呐的探测能力由描述被探测舰船辐射噪声大小的声源级 SL 和声呐自噪声级 NL 决定。由此可见,舰船辐射噪声是对方声呐的“信息源”,它会把自己的存在暴露给对方,是破坏舰船隐身性能的主要因素,对潜艇来说这几乎是致命的。另外,参加编队的舰船辐射噪声也会彼此相互干扰声呐和其他水声设备的工作。舰船辐射噪声特性的研究主要有两方面的应用:①充分利用对方舰船辐射噪声特性,提高被动声呐和被动声自导鱼雷及水雷声引信装置的性能;②有效控制舰船辐射噪声特性,提高舰船声隐蔽性。舰船自噪声是船上装载的主动声呐或被动声呐背景噪声(NL)的一部分,它将限制声呐对目标的探测能力,是声呐设计和使用时必须考虑的,在海洋环境噪声低的海域,它有可能是装舰声呐系统的主要背景干扰。自噪声特性的研究目的是查找主要噪声源、估算本舰水声设备性能、以及监测舰船的噪声状况等。

舰船噪声,不论是辐射噪声还是自噪声通常都认为是由机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声三部分叠加而成。

(1) 机械噪声 由船上的各种机械设备产生的噪声。这些机械设备种类繁多,主要有用于使船舶航行的主机(往复式发动机、汽轮机、柴油机、主电机、经航电机等)以及配套的推进装置(转轴、轴承、减速器等),还有各种辅机(主发电机、变流机、空调机、通风机、各种泵等)以及复杂的管路、阀门、齿轮箱等。这些机械在运动过程中产生振动,通过底座或支架传递到船体,从而引起船体振动并向海洋中辐射噪声声波。以这种形式产生的噪声往往含有系统转动频率及其谐波分量的窄带信号。

(2) 螺旋桨噪声 由螺旋桨在海水中转动所产生的噪声,包括螺旋桨空化噪声、螺旋桨旋转和桨叶振动等所产生的噪声。虽然螺