◇ 研究报告 ◇

# 水下声学浮标南中国海海洋环境噪声实测分析\*

韩 梅<sup>1,2</sup> 王 超<sup>1,2†</sup> 孙芹东<sup>1,2</sup> 王文龙<sup>1,2</sup> 吕 勇<sup>2</sup>

(1 海军潜艇学院 青岛 266199)

(2 青岛海洋科学与技术国家实验室 青岛 266237)

摘要:海洋环境噪声是多种自然噪声和人为噪声的复杂组合,其谱级大小和频率组成是影响声呐系统探测性能的重要参数,鉴于海洋环境噪声时空域特性非常复杂,需要对海洋环境噪声进行长时间和大范围的观测才足以分析其特性。该文通过在多剖面水下浮标平台基础上集成声学测量系统,研制了一种具有海洋环境噪声监测能力的水下声学浮标平台,该浮标平台可多次上浮、下潜,具备原位坐底和定深漂流两种工作模式,能连续观测海洋环境噪声时长多达数月。利用2019年8月在南中国海海区组织的多台水下声学浮标试验某一天的数据,给出了20 Hz、63 Hz、100 Hz、200 Hz、400 Hz、800 Hz、1.6 kHz和3.15 kHz 8个频点中心处海洋环境噪声谱级随时间变化,讨论了附近航船噪声对其的干扰影响。试验表明,水下声学浮标可作为一种潜在的优势水下漂流移动平台,用于监测关注海域海洋环境噪声特性。

关键词:海洋环境噪声;声学浮标;南中国海海区;噪声谱级

中图法分类号: P716+.41; P733.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-310X(2020)04-0536-07 DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2020.04.006

# Measurement and analysis of ambient noise in the South China Sea based on underwater acoustic buoy

HAN Mei<sup>1,2</sup> WANG Chao<sup>1,2</sup> SUN Qindong<sup>1,2</sup> WANG Wenlong<sup>1,2</sup> LYU Yong<sup>2</sup>

(1 Navy Submarine Academy, Qingdao 266199, China)

(2 Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract: Ocean ambient noise is a complex combination of many types of natural and anthropogenic noises. The spectrum levels and frequency composition are very important in the detection performance of a sonar system. Since the spatial and temporal characteristics are complicated, it is necessary to conduct long-term and large scales monitoring of the ambient noise to analyze its properties. Thus, we designed and developed an underwater acoustic buoy with acoustic measuring system to sample the ambient noise on spatial and temporal. The acoustic buoy can be used for multiple floating and diving, and has two working mode with in-situ bottoming and deep-draining. The maximum endurance is typically a few months in the ocean. Using a certain day experiment data collected by several underwater acoustic buoys, which were arranged in a certain area in the South China Sea in August 2019, this study investigated ambient noise spectrum level change with time at the center frequencies of the 20 Hz, 63 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, 1.6 kHz and 3.15 kHz. The data processing results are consistent with the typical variation law of ambient noise. The results of this study indicated that acoustic buoy as a potential underwater unmanned platform could be used in the future for monitoring of ambient noise properties in a certain sea area.

Keywords: Ambient noise; Acoustic buoy; South China Sea; Spectrum level

<sup>2019-12-27</sup> 收稿; 2020-03-31 定稿

<sup>\*</sup>国家重点研发计划项目 (2019YFC0311700), 青岛海洋科学与技术试点国家实验室问海计划项目 (2017WHZZB0601)

作者简介: 韩梅 (1967-), 女, 山东淄博人, 教授, 研究方向: 海洋环境效应和水下无人平台应用。

<sup>†</sup>通信作者 E-mail: 120107769@qq.com

### 0 引言

海洋环境噪声是海洋中普遍存在的固有声场, 其是影响声呐系统探测和定位的重要参数,也是影 响潜艇隐蔽性的重要因素<sup>[1]</sup>。海洋环境噪声的组成 十分复杂,其中50~500 Hz频率范围内航船噪声 为主要噪声源,而在100 Hz以上的高频段海洋环 境噪声则与海面风速具有很好的相关性,由于潮汐 或波浪运动造成的静压力则会产生极低频的海洋 环境噪声。为了提高水声设备水中目标探测性能, 加强海洋环境噪声观测成为了一个重要课题,值 得关注的是,迄今我国对开阔大洋区的海洋环境噪 声认识还很不足,一定程度上制约了声呐装备的发 展<sup>[2-3]</sup>。关于海洋环境噪声特性的研究已有大量文 献报道<sup>[4-23]</sup>,这些测量结果基本都是基于传统海洋 环境观测手段获得,而无法充分了解海洋环境噪声 时空域特性。海洋环境噪声时空域特性是非常复杂 的,其在不同时间、不同深度、不同海域的海洋环境 噪声都存在巨大差异,因此需要对海洋环境噪声进 行长时间和大范围的观测才足以分析其特性。

多剖面浮标作为一种水下漂流移动观测平台, 其通过改变自身浮力可多次实现上浮和下潜运动, 具有在位时间长、噪声水平低、隐蔽性能高、成本低、 易操作等优点,且其平台技术相对成熟,已经被广泛 应用于全球海洋环境监测领域。与潜标、岸基声呐 和水声测量船等传统观测手段相比,浮标在海洋环 境噪声观测方面的应用具有明显优势,且浮标平台 只有在水面下潜阶段和水下准备上浮阶段油泵电 机工作时才会产生短暂的平台噪声,因此可在浮标 平台上集成声学测量系统,以实现长时和广域的海 洋环境噪声观测。

#### 1 数据来源与试验说明

#### 1.1 水下声学浮标

本文通过在现有中船710所"HM2000"多剖面 浮标平台基础上集成声学测量系统,研制出了一种 具有海洋环境噪声监测能力的"G-Argo"水下声学 浮标平台,结构示意图如图1所示,主要由北斗天 线、矢量水听器、水声信号处理机、浮标主体和浮 标底座组成,其中水声信号处理机主要完成矢量水 听器接收信号的采集、存储和处理,由浮标主体控 制其工作策略。图2实线给出了水下声学浮标声学 测量系统声压通道(本文所处理数据为声学系统声 压通道采集)自噪声谱级,为了比较,图中同时给出 了Knudsen曲线在海况0级(SS0)、1级(SS1)、3级 (SS0)和6级(SS6)条件下的海洋环境噪声谱级,由 图2可以看出,水下声学浮标声学测量系统在整个 频率范围内自噪声谱级均小于0级海况海洋环境噪 声,因此声学系统采集数据可有效评估海洋环境噪 声,因此声学系统采集数据可有效评估海洋环境噪 声特性<sup>[23]</sup>。图3给出了"G-Argo"水下声学浮标海 洋环境噪声监测流程图,水下声学浮标可多次上浮、 下潜,具备原位坐底和定深漂流两种工作模式,其 海上连续工作时长则与海洋环境噪声采样策略和 自动上浮通信周期有关,一般能够实现海上连续观 测时长多达几个月。2019年8月在南中国海某海区











应用声学

图 3 水下声学浮标海洋环境噪声监测流程图 Fig. 3 Flowchart of underwater acoustic buoy monitoring ambient noise

组织了8台"G-Argo"水下声学浮标试验,试验获取 了不同位置点为期1天的海洋环境噪声数据,讨论 了附近航船噪声对不同频率海洋环境噪声谱级的 影响。

#### 1.2 试验说明

2019年8月,由海军潜艇学院主导,与天津大 学和中船710所共同合作在南中国海某海区开展了 一次大型水下无人平台声学试验,此次试验共包 含8台"G-Argo"水下声学浮标和9台水下声学滑 翔机<sup>[23]</sup>,此次试验的目的主要是验证两型水下移 动平台海洋环境观测能力和对海上目标探测性能。 图4给出了试验海区地理位置,其所在区域位于北 纬16°59′至17°31′、东经110°37′至110°59′之间的 一个60 km×40 km的矩形海域内,试验区域海深约 为1500 m,离三亚港约160 km。试验期间海况较 好且变化不大,试验船风速仪测量海面风速约为2 级,船载投弃式温深仪测量得到的声速剖面结果显 示,海深30 m以内为均匀层,声道轴在深度1000 m 附近。



图 4 水下声学浮标试验海区位置

Fig. 4 The location of the underwater acoustic buoy experiment site

试验期间,设置"G-Argo"水下声学浮标定漂 深度为200 m,容差±100 m,声学测量系统在浮 标平台深度大于100 m后开始上电工作,在整个 浮标定深漂流阶段声学测量系统全程开机采集水 声信号,并用船载AIS 雷达设备实时接收试验海 区水面航船信息。图5给出了07:00-19:00时间段 内1#、5#、7#水下声学浮标和周围水面航船相对 位置态势图,由图可以看出:"G-Argo-1#"水下声 学浮标在09:26-18:53时间段内沿119°方向漂流距 离约6.0 km, 漂流速度平均约0.36 kn; "G-Argo-5<sup>#</sup>"水下声学浮标在09:03-18:54时间段内沿134° 方向漂流距离约9.4 km, 漂流速度平均约0.47 kn; "G-Argo-7<sup>#</sup>"水下声学浮标在07:30-18:49时间段 内沿140°方向漂流距离约7.6 km,漂流速度平均约 0.34 kn。试验期间有水面航船经过浮标位置点附 近,其中:12:33-14:02时间段内,水面航船(MMSI: 414350640,船长:42 m,船宽:6 m)以航速8.4 kn 航向301°经过试验海区,在13:15时间点附近与



图5 "G-Argo" 浮标平台和附近水面航船相对位置点 Fig. 5 Relative position of "G-Argo" buoy platform and nearby surface vessel

"G-Argo-1<sup>#</sup>"和"G-Argo-5<sup>#</sup>"浮标距离较近,分别 为2 km和3 km左右;16:48-20:00时间段内为设备 回收阶段,试验船(电科一号,MMSI:412524240,船 长:80 m,船宽:18 m)由停机待机区向浮标位置点 航行,进行设备打捞;16:48-17:34时间段内,试验船 电科一号航速6.4 kn航向277°;17:34-18:20时间段 内,试验船电科一号航速在1~6 kn之间根据任务 变向变速航行,在18:20时间点与"G-Argo-1<sup>#</sup>"浮 标平台距离较近约1.5 km。

#### 2 数据处理结果

本文主要讨论 20 Hz ~ 3 kHz 频率范围内的海 洋环境噪声谱级随时间的变化特性,以及附近航船 噪声对其的影响。原始信号每10 min取10 s数据 后采用1/3倍频程进行处理,测量数据的采样率为 20 kHz,处理过程中将处理数据截取分成10段长度 为1 s的数据,每秒数据进行32768点快速傅里叶变 换(Fast Fourier transform, FFT),对10段数据分 别进行计算并剔除野值后进行求和平均,该方法能 够很好地反映海洋环境噪声频谱特性<sup>[16]</sup>。图6(a) 给出了"G-Argo-1<sup>#</sup>"浮标平台定深漂流工作期间 平台深度随时间变化情况,其中,在09:07和15:55 两个时间点由于声学测量系统异常导致浮标平台 上浮。图6(b)给出了20Hz、63Hz、100Hz、200Hz、 400Hz、800Hz、1.6kHz和3.15kHz8个频点中心 处海洋环境噪声谱级随时间变化曲线,由图也可以 明显看出,在13:15、17:34和18:20时间点附近由于 水面航船影响而引起的谱级增大,海洋环境噪声谱 级在1.6kHz频点处在以上3个时间点分别升高了 约11dB、5dB和12dB,而水面航船对100Hz以下 的低频段海洋环境噪声影响却不显著,其中在水面 航船影响环境噪声谱级在100Hz频点处升高了 仅约5dB。

图7给出了"G-Argo-1<sup>#</sup>"水下声学浮标在 12:30、13:15、15:55、16:50、17:34和18:206个时 间点海洋环境噪声谱级随频率变化曲线,表1则列 出了以上6个时间点对应平台深度上不同中心频点 1/3倍频程谱级,由图7和表1可以看出,浮标平台 附近水面航船对200 Hz~1.6kHz频段范围内海洋



图 6 G-Argo-1<sup>#</sup>结果 Fig. 6 G-Argo-1<sup>#</sup> results

环境噪声谱级影响较显著;除水面航船影响时间点 外,在100 Hz以上的高频段,海洋环境噪声谱级随 频率变化趋势与Knudsen曲线具有很好的一致性, 约以-4~-7 dB每倍频程的规律下降,符合典型 风关噪声变化规律<sup>[20]</sup>。

图 8(a) 和 图 8(b) 分 别 给 出 了 09:30-18:30 时 间段内 "G-Argo-5<sup>#</sup>"水下声学浮标平台深度和



图 7 不同时刻海洋环境噪声谱级频率特性曲线 Fig. 7 Spectrum levels of ambient noise as a function of frequency at different times

8个频点处海洋环境噪声谱级随时间变化情况,可 以看出,"G-Argo-5<sup>#</sup>"浮标在下潜至最大下潜深 度232 m后浮标平台开始慢慢上浮,最后浮标定 深漂流工作阶段平台深度基本稳定在150 m左右; 在13:15时间点附近同样可以看到由于水面航船 (MMSI: 414350640)噪声影响而引起的海洋环境 噪声谱级在1.6 kHz频点处有约6 dB的谱级升高,

表1	不同时间不同深度海洋环境噪声谱级表
Table	1 Ambient noise spectrum levels at
differe	ent time and depth

时间		12:30	13:15	15:55	16:50	17:34	18:20
深度/m		196	223	227	211	227	231
谱级/dB	$20~\mathrm{Hz}$	82.7	83.0	80.9	79.7	82.2	85.0
	$63~\mathrm{Hz}$	82.7	83.0	81.5	80.4	78.0	83.0
	$100 \ Hz$	73.2	74.4	73.7	72.9	75.3	82.0
	$200~\mathrm{Hz}$	64.7	68.0	66.3	66.6	70.1	77.8
	$400~\mathrm{Hz}$	57.5	64.4	59.5	59.2	63.9	75.3
	$800~\mathrm{Hz}$	50.7	57.7	50.2	51.5	60.8	68.6
	$1.6~\mathrm{kHz}$	46.8	53.6	43.7	47.0	53.8	60.5
	$3.15~\mathrm{kHz}$	42.2	45.0	39.0	42.6	46.5	51.4





而相比"G-Argo-1#"浮标噪声谱级在该时间点升 高值小约5 dB,这是由于"G-Argo-5<sup>#</sup>"浮标平台 距水面航船(MMSI: 414350640)相对较远造成的; 而水面航船经过对3.15 kHz频点处的海洋环境噪 声谱级则几乎没有影响,这是由于高频段传播 损失较大造成的。图9(a)和图9(b)则分别给出了 11:00-18:30时间段内"G-Argo-7<sup>#</sup>"水下声学浮标 平台深度和8个频点处海洋环境噪声谱级随时间变 化情况,由图可以看出,"G-Argo-7#"浮标在整个定 深漂流工作阶段平台深度基本稳定在130 m左右, 在12:31时间点附近由于受小型水面航船影响(该 水面航船没有AIS信号,通过雷达扫描得到),海洋 环境噪声谱级在1.6 kHz 和3.15 kHz 频点处各有约 3 dB的谱级升高,而在200 Hz以下的低频段海洋 环境噪声谱级则几乎不受影响。由于"G-Argo-7#" 浮标平台与水面航船(MMSI: 414350640、MMSI: 412524240)距离较远,因此在13:00-18:30时间段 内63 Hz~3.15 kHz 频段范围内海洋环境噪声谱级 基本不随时间发生变化,而20 Hz频点处海洋环境 噪声谱级则在16:40和18:20两个时间点附近分别 有13 dB和8 dB的谱级升高,这可能是由于潮汐或 波浪造成的静水压力而引起的。

## 3 结论

本文利用2019年8月在南中国海某海区组织 的多台"G-Argo"水下声学浮标试验某一白天的数 据,分析给出了20 Hz~3.15 kHz频率范围内的海 洋环境噪声谱级,试验期间浮标平台附近有水面航 船经过,借此探讨了附近水面航船对不同频点海洋 环境噪声影响。结果表明,浮标平台附近水面航船 对 200 Hz ~ 1.6 kHz 频段范围内海洋环境噪声谱 级影响较显著,另外,除水面航船影响时间点外, 在100 Hz以上的高频段,海洋环境噪声谱级约以 -4 dB ~ -7 dB 每倍频程的规律下降,符合典型 风关噪声变化规律。但是,本文只提供了南中国海 某一特定海域一天范围内的海洋环境噪声数据,这 不足以评估整个南中国海范围内的海洋环境噪声 特性,因此需要进行更长时间和更大范围内的海洋 环境噪声测量,以便获取完整的海洋环境噪声分布 数据和分析环境噪声统计特性变化规律。本文工作 显示,水下漂流移动平台在海洋环境噪声监测方面 应用具有良好的广阔前景。

#### 参考文献

[1] 郭新毅, 李凡, 铁广朋, 等. 海洋环境噪声研究发展概述及应
 用前景 [J]. 物理, 2014, 43(11): 723–731.

Guo Xinyi, Li Fan, Tie Guangpeng, et al. Overview of ocean ambient noise and application prospects [J]. Physics, 2014, 43(11): 723–731.

- [2] 王超, 笪良龙, 韩梅, 等. 南海夏季海洋环境噪声与海面风速 相关特性分析 [J]. 应用声学, 2015, 34(3): 243–248.
  Wang Chao, Da Lianglong, Han Mei, et al. Correlation property analyses of ambient noise with surface wind speed in summer of the South China Sea[J]. Journal of Applied Acoustics, 2015, 34(3): 243–248.
- [3] 魏永星,于金花,常哲,等.海洋环境噪声数据处理及时空特性研究[J].电子设计工程,2014,22(14):28-30.
  Wei Yongxing, Yu Jinhua, Chang Zhe, et al. Signal processing and temporal-spatial characteristic analysis of ocean ambient noise data[J]. Electronic Design Engineering, 2014, 22(14): 28-30.
- [4] Knudsen V O, Alford R S, Emling J W. Under-water ambient noise[J]. Journal of Marine Research, 1948, 7: 410–429.
- [5] Wenz G M. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1962, 34(12): 1936–1956.
- [6] Wenz G M. Review of underwater acoustics research: noise[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1972, 51(3B): 1010–1024.
- [7] Piggott C L. Ambient sea noise at low frequencies in shallow water of the Scotian shelf[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1964, 36(11): 2152–2163.
- [8] Morris G B. Depth dependence of ambient noise in the northeastern Pacific Ocean[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1978, 64(2): 581–590.
- [9] Kuperman W A, Ferla M C. A shallow water experiment to determine the source spectrum level of wind-generated noise[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1985, 77(6): 2067–2073.
- [10] Kinda G B, Le Courtois F, Stéphan Y. Ambient noise dynamics in a heavy shipping area [J]. Marine Pollution Bulletin, 2017, 124(1): 535–546.
- [11] Roul S, Kumar C R S, Das A. Ambient noise estimation in territorial waters using AIS data [J]. Applied Acoustics, 2019, 148: 375–380.
- [12] Sanjana M C, Latha G, Thirunavukkarasu A, et al. Ambient noise field and propagation in an Arctic fjord Kongsfjorden, Svalbard [J]. Polar Science, 2018, 17: 40–49.
- [13] Ashokan M, Latha G, Ramesh R. Analysis of shallow water ambient noise due to rain and derivation of rain pa-

rameters [J]. Applied Acoustics, 2018, 88: 114-122.

- [14] Asolkara P, Das A, Gajre S, et al. Comprehensive correlation of ocean ambient noise with sea surface parameters [J]. Ocean Engineering, 2017, 138: 170–178.
- [15] Zhou J, Zhang M, Piao S, et al. Low frequency ambient noise modeling and comparison with field measurements in the South China Sea [J]. Applied Acoustics, 2019, 148: 34–39.
- [16] 笪良龙, 王超, 卢晓亭, 等. 基于潜标测量的海洋环境噪声谱特性分析 [J]. 海洋学报, 2014, 36(5): 54-60.
  Da Lianglong, Wang Chao, Lu Xiaoting, et al. The characteristic analysis of ambient sea noise spectrum based on submersible buoy [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(5): 54-60.
- [17] Da L, Wang C, Han M, et al. Ambient noise spectral properties in the north area of Xisha [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 33(12): 206–211.
- [18] 魏士徑,杨晟,许德伟. 星载微波散射计海面风场与海洋环境 噪声的相关特性分析 [J]. 海洋学报, 2017, 39(5): 61–67. Wei Shiyan, Yang Sheng, Xu Dewei. Correlation analysis of satellite-bone microwave scatterometer wind and ocean ambient noise [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 39(5): 61–67.
- [19] 林建恒, 蒋国健, 高伟, 等. 海洋环境噪声垂直分布测试和分析 [J]. 海洋学报, 2005, 27(3): 32–38.
  Lin Jianheng, Jiang Guojian, Gao Wei, et al. Measurements and analyses of the vertical distribution of ocean ambient noise [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(3): 32–38.
- [20] Ferguson B G, Lo K W, Rodgers J D. Sensing the underwater acoustic environment with a single hydrophone onboard an undersea glider [C]. OCEANS 2010 IEEE, 2010.
- [21] Wei Y, Yu J, Chang Z, et al. Signal processing and temporal-spatial characteristic analysis of ocean ambient noise data[J]. Electronic Design Engineering, 2014, 22(14): 28–30.
- [22] Liu L, Xiao L, Lan S, et al. Using Petrel II glider to analyze underwater noise spectrogram in the South China Sea [J]. Acoustic Australia, 2018, 46(2): 151–158.
- [23] 王文龙, 王超, 韩梅, 等. 矢量水听器在水下滑翔机上的应用研究 [J]. 兵工学报, 2019, 40(12): 2580–2587.
  Wang Wenlong, Wang Chao, Han Mei, et al. Research on application of vector hydrophone onboard an underwater glider [J]. Acta Armamentarii, 2019, 40(12): 2580–2587.