

引用格式: 孙军平, 林建恒, 衣雪娟, 等. 青岛近海航船相关海洋环境噪声谱级特性分析[J]. 声学技术, 2022, 41(3): 432-435. [SUN Junping, LIN Jianheng, YI Xuejuan, et al. Analysis on the spectral level characteristics of ship-associated ocean ambient noise in Qingdao offshore[J]. Technical Acoustics, 2022, 41(3): 432-435.] DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2022.03.018

青岛近海航船相关海洋环境噪声谱级特性分析

孙军平, 林建恒, 衣雪娟, 江鹏飞, 李 娜

(中国科学院声学研究所北海研究站, 山东青岛 266114)

摘要: 为了了解航船以及禁渔政策对我国近海海域低频环境噪声特性的影响, 文章分析了青岛近海航道区域和非航道区域的海洋环境噪声在 25~500 Hz 频段实测数据的 1/3 倍频程功率谱密度。结果表明, 在 30~100 Hz 频段, 航道附近海域海洋环境噪声谱级比非航道海域高大约 5~10 dB; 非禁渔期在 150~400 Hz 频段的海洋环境噪声谱级比禁渔期高大约 4~5.5 dB。文章获取的近海低频环境噪声谱级特性, 对了解和利用我国以及世界范围内近海环境噪声低频特性具有较重要借鉴意义。

关键词: 海洋环境噪声; 近海海域; 航船; 禁渔; 功率谱密度

中图分类号: O427.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-3630(2022)-03-0432-04

Analysis on the spectral level characteristics of ship-associated ocean ambient noise in Qingdao offshore

SUN Junping, LIN Jianheng, YI Xuejuan, JIANG Pengfei, LI Na

(Qingdao Branch, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266114, Shandong, China)

Abstract: To understand the impact of ships and fishing ban policies on low-frequency ambient noise spectral levels in offshore waters, the one-third octave power spectrum density (PSD) in the frequency band of 25~500 Hz of the ocean ambient noise data measured in the waters near shipping lane and far off shipping lane in Qingdao offshore are analyzed. The analysis results show that in the frequency band of 30~100 Hz, the ocean ambient noise spectral level near the shipping lane is about 5~10 dB higher than that in other sea areas. The spectral level of ocean ambient noise in fishing seasons is about 4~5.5 dB higher than that in the banned fishing periods in 150~400 Hz. The features of low frequency environment noise spectral levels presented in this paper have important reference values for the analysis and application of the low-frequency characteristics of offshore ambient noise at home and abroad.

Key words: ocean ambient noise; offshore waters; ships; fishing ban; power spectrum density

0 引 言

海洋环境噪声是水下探测和通信的重要物理背景场, 大体可分为气象噪声、人为噪声和生物噪声三种类型^[1-7]。大量测量和研究表明^[8-14], 各种噪声源对海洋环境噪声的贡献具有不相同的频率特性。一般认为, 风关海面噪声和远处航船是海洋环境噪声最重要的两种噪声源, 其中风关海面噪声的能量分布在 10 Hz~20 kHz 频段, 而远处航船噪声的贡献主要集中在 1 kHz 以下的较低频段。

随着全球航运贸易的发展, 商船数量和吨位不

断增长, 低频段海洋环境噪声谱级在过去几十年里存在缓慢上升的趋势^[15-21]。近海是大量生物的栖息地, 因距离航道较近, 水下噪声污染对海洋生物影响较大^[3,22]。

国外在大时间跨度的低频海洋环境噪声测量和分析方面做了较多的工作, 国内目前这方面的工作也在积极开展, 而近海航道与非航道海域低频环境噪声特性的差异, 特别是禁渔政策对近海环境噪声的影响研究较少。我国每年 6~9 月份实行大约 3 个月的禁渔, 这期间大量渔船无法出海, 因此导致的水下噪声特性变化急需研究。

1 试验数据获取

2014~2015 年, 研究人员每月选择海况较好、易于小型试验船出航的天气, 利用自容式水听器测量青岛近海近航道区域或者远离航道区域的海洋

收稿日期: 2021-11-12; 修回日期: 2022-01-24

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(11804361)、中国科学院声学研究所前沿探索基金(QYTS202008)资助项目。

作者简介: 孙军平(1983—), 男, 山东青岛人, 博士, 副研究员, 研究方向为舰船辐射噪声。

通信作者: 林建恒, E-mail: linjh@mail.ioa.ac.cn

环境噪声, 实验期间有专门船只看护坐底式测量系统, 并利用船载自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)记录经过测量系统附近的航船数据, 每个航次的测试时间约 6~8 h。

图 1 为海洋环境噪声测试的布置图, 试验船只航行到预定海域后, 将激活的自容式测量系统布放至海底, 并同步记录试验期间附近航船信息。海洋环境噪声数据的测量时间跨度大约 2 y, 青岛近海每年的 6 月 1 日~9 月 1 日为禁渔期, 这段时间内, 海上渔船大幅度减少。

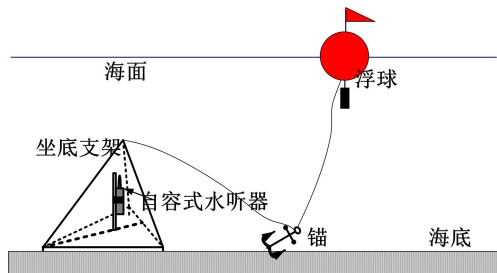


图 1 海洋环境噪声测试的布置图
Fig.1 Layout of ocean ambient noise tests

首先对坐底自容式水听器所采集数据进行预处理, 选取目视距离或 1.5 nmile (1 nmile=1.852 km) 范围内没有航船, 并且时频图中没有明显干涉条纹的时间段数据, 以去除近场船只强点源的干扰, 然后进行傅里叶变换, 具体步骤为

$$X(f_n) = \text{FFT}[x(t)] \quad (1)$$

其中: $\text{FFT}(\cdot)$ 表示傅里叶变换; $f_n = nf_s / N$, $n=0, 1, \dots, N-1$; f_s 为采样频率; N 为截取的信号数据点数, 依据式(1), 得到该段数据环境噪声的功率谱级为

$$L_N(f_n) = 10 \lg |X(f_n)|^2 - 20 \lg N - S \quad (2)$$

式中: S 为水听器灵敏度。噪声的功率谱密度级表示为

$$L_{N1}(f_n) = 10 \lg |X(f_n)|^2 - 20 \lg N - S - 10 \lg(\Delta f) \quad (3)$$

式中, $\Delta f = f_s / N$ 为频率采样带宽。

最后在公式(3)的基础上进行多项式拟合, 去除干扰线谱, 获得连续谱 $L_{N2}(f_n)$ 。以 1 s 为分析时长, 重复 M 次上述处理过程, 最终得到基于能量的算术平均噪声谱级为

$$L_{NM}(f_n) = 10 \lg \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{L_{N2i}/10} \right) \quad (4)$$

(第 2 节中的图片展示的是 1/3 倍频程频点频率的功率谱级)。

表 1 为每一次试验的时间和地点信息记录。

2 实测数据处理与分析

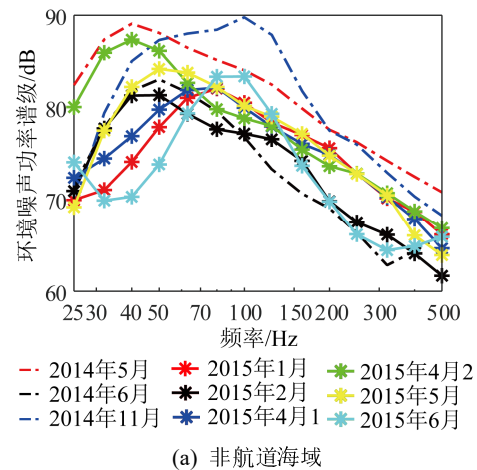
图 2(a)、2(b)分别是基于远离航道海域和近航

道海域实测数据分析获取的 25~500 Hz 频段海洋环境噪声功率谱图。可见远离航道海域不同月份环境噪声谱峰的位置变化较大, 主要分布在 35~100 Hz 频段, 而近航道海域主要集中在 50 Hz 频段附近。基于近航道与远离航道海域不同月份环境噪声能量的算术平均得到的噪声谱级差值结果如图 3 所示。蓝线、黑色点线以及红色星线分别表示 2014 年、2015 年以及这两年总数据的功率谱的差异, 从图 3 中 2014 与 2015 年的总数据可知航道附近海域环境噪声谱级相比非航道环境噪声谱级, 在 30 Hz~

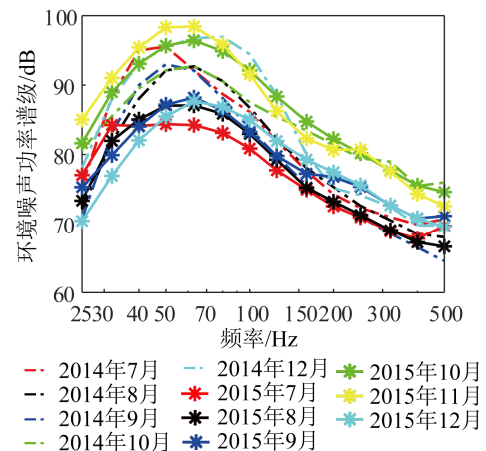
表 1 试验地点和时间记录
Table 1 Test sites and times

年份	试验信息											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2014	×	×	×	×	○	○*	●*	●*	●	●	○	●
2015	○	○	×	○○	○	○*	●*	●*	●	●	●	●

注: ●代表航道附近海域, ○代表远离航道海域, ○○代表该月在远离航道海域进行了两次试验, ×表示当月没有试验, *表示试验时间处于禁渔期。



(a) 非航道海域



(b) 航道海域

图 2 不同时间在航道与非航道测量的 25~500 Hz 频段海洋环境噪声功率谱

Fig.2 Power spectrum levels of ocean ambient noise between 25 Hz and 500 Hz measured in the channel and non-channel waters at different times

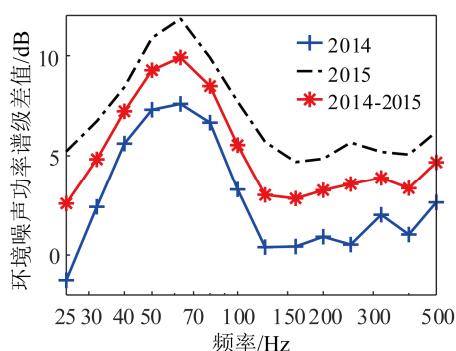


图3 不同年份测得的非航道和航道海域海洋环境噪声谱的差值
Fig.3 Differences between ocean ambient noise spectrums in the channel and non-channel waters measured in different years

100 Hz 频段, 高出 5~10 dB; 而在 150~500 Hz 频段, 高出大约 3 dB。

图 4、5 分别为青岛近海远离航道和近航道海域禁渔期与非禁渔期的环境噪声功率谱级差值分析(基于多个月份能量的均值, 方法同图 3)。由表 1 可知, 2014 和 2015 年禁渔期间, 远离航道的海域只在每年的 6 月份做了一次试验, 因此将两年数据合并统一分析。依据图 4 所示, 非禁渔期远离航道

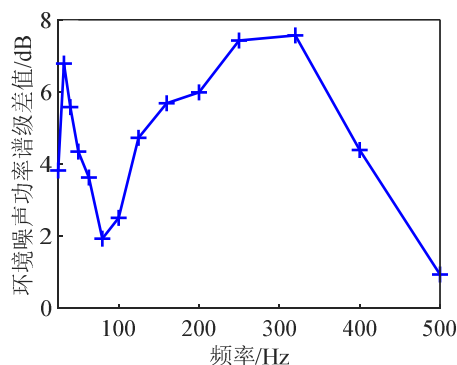


图4 非航道海域海洋环境噪声谱级禁渔期与非禁渔期的差值
Fig.4 Difference between ocean ambient noise spectral levels far away from the channel measured in the fishing and banned periods

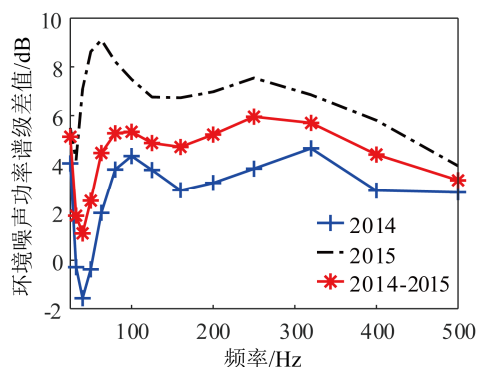


图5 不同年份测得的近航道海洋环境噪声谱级禁渔期与非禁渔期的差异
Fig.5 Differences between near-channel ocean ambient noise spectral levels in the fishing and banned periods measured in different years

海域低频海洋环境噪声谱级在 32 Hz 以及 320 Hz 频段附近相比禁渔期高出约 7 dB, 二者差值的最小值出现在 80 Hz 附近, 约为 2 dB。

图 5 中蓝线、黑色虚线以及红色星线分别为 2014、2015 年禁渔与非禁渔期的噪声谱级比较。2014 年和 2015 年噪声数据的功率谱级差异曲线随频率变化趋势基本一致, 由两年合并后的总数据可知, 在 100~400 Hz 频段, 航道附近海域非禁渔期比禁渔期低频噪声谱级高约 4 dB。

图 6 为 2014~2015 近两年时间内青岛近海 6 个月禁渔期与 14 个月(次)非禁渔期环境噪声谱级的比较, 在 150~400 Hz 频段, 非禁渔期比禁渔期高出大约 4~5.5 dB, 而差值最小位置出现在 30~50 Hz 频段, 大约为 0.5 dB, 差值最高的频段大约在 250~300 Hz, 达到了 5.5 dB。

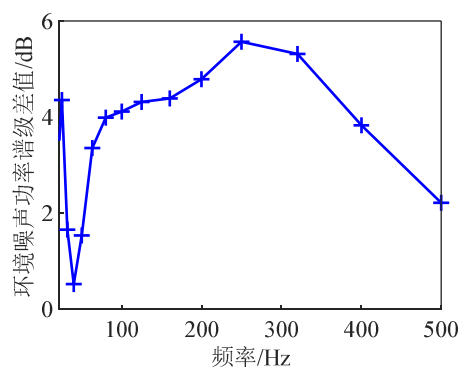


图6 青岛近海环境噪声谱级禁渔期与非禁渔期的差异
Fig.6 Difference between offshore ocean ambient noise spectral levels measured in the fishing and banned periods in Qingdao

图 7、8 分别是在青岛近海具有代表性的实测集装箱商船和木质渔船的辐射噪声功率谱。商船辐射噪声能量主要集中在 30~50 Hz 频段之间, 而渔船辐射噪声的能量分布与商船不同, 主要分布在 200~300 Hz 频段。这一定程度上解释了航道与非航道噪声谱级差值较大的主要频段为 30~100 Hz, 而非禁渔期差值最高的频段大约在 250~300 Hz。

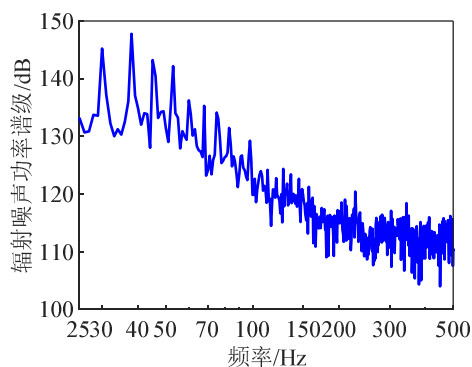


图7 集装箱商船辐射噪声功率谱
Fig.7 Noise power spectrum radiated by container ship

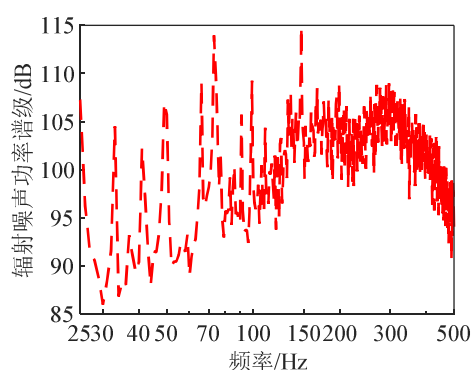


图8 木质渔船的辐射噪声功率谱

Fig.8 Noise power spectrum radiated by wooden fishing boat

非航道海域低频海洋环境噪声谱级在 32 Hz 处非禁渔期比禁渔期高出大约 7 dB(图 4), 原因未知, 后续将继续进行该地点附近海域的试验, 补充数据, 进行研究。

3 结论

本文对青岛近海航道与非航道附近海域两年时间跨度的海洋环境噪声实测数据进行了功率谱分析, 分析结果表明:

无论是航道附近还是远离航道海域, 近海海洋环境噪声都受到了远处航船低频辐射噪声的影响。在航道附近, 环境噪声功率谱的峰值位于 50 Hz 频段附近, 与 Wenz 曲线基本一致, 而远离航道区域, 谱峰位置在 35~100 Hz 之间变化, 谱峰所在的频率增大。该变化与 Wenz 曲线中深、浅海变化趋势类似。

近海海域, 航道附近的低频海洋环境噪声功率谱级与非航道海域相比差异明显, 30~100 Hz 频段高出大约 5~10 dB, 在 150~500 Hz 频段, 噪声功率谱级高出大约 3 dB。近航道的海洋环境噪声谱特性较稳定, 航道附近海域较适于对商船和渔船水下辐射噪声进行统计意义上的测量和监控。

我国每年的禁渔政策导致近海水下环境噪声特性在某些频段发生较大改变, 渔船的数量会在禁渔期大幅下降。在 150~400 Hz 频段, 非禁渔期比禁渔期环境噪声功率谱高 4 dB 以上, 这在一定程度表明了渔船与商船对低频海洋环境噪声贡献的差别。禁渔期与非禁渔期的低频海洋环境噪声相比, 在 30~50 Hz 频段噪声谱级差异最小, 表明远处商船辐射噪声对近海环境噪声的贡献较为稳定。

参 考 文 献

[1] WENZ G M. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources[J]. J. Acoust. Soc. Am., 1962, **34**(12): 1936-1956.
[2] WANG J Y, LI F H. Preliminary study on underwater ambient

noise generated by typhoons[J]. Chinese Physics Letters, 2015, **32**(4): 044301.
[3] CARUSO F, DONG L J, LIN M L, et al. Influence of acoustic habitat variation on Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in shallow waters of Hainan Island, China[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2020, **147**(6): 3871-3882.
[4] TRAVERSO F, GAGGERO T, TANI G, et al. Parametric analysis of ship noise spectra[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2017, **42**(2): 424-438.
[5] RIVET D, DE CACQUERAY B, SLADEN A, et al. Preliminary assessment of ship detection and trajectory evaluation using distributed acoustic sensing on an optical fiber telecom cable[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2021, **149**(4): 2615.
[6] BONNEL J, KINDA G B, P ZITTERBART D. Low-frequency Ocean ambient noise on the Chukchi Shelf in the changing Arctic[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2021, **149**(6): 4061.
[7] GAVRILOV A N, MCCAULEY R D, GEDAMKE J. Steady inter and intra-annual decrease in the vocalization frequency of Antarctic blue whales[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2012, **131**(6): 4476-4480.
[8] 林建恒, 常道庆, 马力, 等. 海洋环境噪声反演估计海面风速[J]. 声学学报, 2001, **26**(3): 217-221.
LIN Jianheng, CHANG Daoqing, MA Li, et al. Estimation of surface wind speed by ocean ambient noise[J]. Acta Acustica, 2001, **26**(3): 217-221.
[9] 林建恒. 风关海洋环境噪声理论模型[D]. 北京: 中国科学院声学研究所, 2002.
[10] KNOBLES D P, WILSON P S, NEILSEN T B, et al. Influence of seabed on very low frequency sound recorded during passage of merchant ships on the New England shelf[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2021, **149**(5): 3294.
[11] BREWER P, HESTER K. Ocean acidification and the increasing transparency of the ocean to low-frequency sound[J]. Oceanography, 2009, **22**(4): 86-93.
[12] ANDREW R K, HOWE B M, MERCER J A. Long-time trends in ship traffic noise for four sites off the North American West Coast[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2011, **129**(2): 642-651.
[13] AINSLIE M A, ANDREW R K, HOWE B M, et al. Temperature-driven seasonal and longer term changes in spatially averaged deep ocean ambient sound at frequencies 63-125 Hz[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2021, **149**(4): 2531-2545.
[14] COPE S, HINES E, BLAND R, et al. Multi-sensor integration for an assessment of underwater radiated noise from common vessels in San Francisco Bay[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2021, **149**(4): 2451-2464.
[15] THOMSON D J M, BARCLAY D R. Real-time observations of the impact of COVID-19 on underwater noise[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2020, **147**(5): 3390.
[16] MUSTONEN M, KLAUSON A, FOLÉGOT T, et al. Natural sound estimation in shallow water near shipping lanes[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2020, **147**(2): EL177.
[17] ROSS D. Ship sources of ambient noise[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2005, **30**(2): 257-261.
[18] GAUL R D, KNOBLES D P, SHOOTER J A, et al. Ambient noise analysis of deep-ocean measurements in the northeast Pacific[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2007, **32**(2): 497-512.
[19] CHAPMAN N R, PRICE A. Low frequency deep ocean ambient noise trend in the Northeast Pacific Ocean[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2011, **129**(5): EL161-EL165.
[20] DAHL P H, DALL'OSTO D R, HARRINGTON M J. Trends in low-frequency underwater noise off the Oregon coast and impacts of COVID-19 pandemic[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2021, **149**(6): 4073.
[21] BALLARD M S, SAGERS J D. A yearlong record of ambient sound on the Chukchi Shelf[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2020, **148**(4): 2482.
[22] WATKINS W A, TYACK P, MOORE K E, et al. The 20-Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*)[J]. J. Acoust. Soc. Am., 1987, **82**(6): 1901-1912.