

蛙人呼吸特征实验研究

章佳荣¹, 乔 钢¹, 邢天安²

(1. 哈尔滨工程大学水声技术国家级重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150001; 2. 中船工业集团船舶系统工程部, 北京 100036)

摘要: 为研究蛙人的声辐射特性, 对蛙人的被动探测及其警戒系统的建立提供数据与实验支撑, 进行了以携带开放式呼吸器的蛙人为对象的实验研究。通过湖上实验, 采集了蛙人的呼吸声信号, 利用功率谱、时域波形包络、包络谱对信号的时频特征进行了分析。结果认为蛙人的功率谱在低频段起伏比较明显, 高频段比较平稳; 高频段时域波形包络比低频段时域波形包络呈现更加明显的周期性, 周期约为 3s; 时域波形的包络谱在 0.3~0.4Hz 之间有一个明显的峰值, 此特征可作为识别蛙人的重要依据之一。采用包络谱法提取信号特征时, 信号的高频段是理想选择, 并且信号周期在 10 个以上时效果较好。

关键词: 蛙人; 声辐射特性; 被动探测; 包络谱

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-01-0006-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.01.002

Experimental study of frogman breathing features

ZHANG Jia-rong¹, QIAO Gang¹, XING Tian-an²

(1. National Laboratory of Underwater Acoustic Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, Heilongjiang, China;

2. China State Shipbuilding Corporation, Beijing 100036, China)

Abstract: In order to study the sound radiation features of frogman, as well as to provide data and experimental supports to passive detection, a frogman equipped with an open-circuit scuba was selected as a study object for lake trail. Breathing signals of the frogman were acquired during the trail, and the time and frequency domain features were analyzed by utilizing power spectrum, time domain waveform envelop, and waveform envelop spectrum. The results show that power spectrum of the breathing signal is fluctuated much heavier in low frequency band than that in high frequency band, while the periodicity of the time domain waveform envelop in high frequency band is more obvious (the duration is about 3s). The time domain waveform envelop spectrum has a distinct peak between 0.3Hz and 0.4Hz, this feature can be used as one of the important bases to identify frogman. When use the waveform envelop spectrum method to extract the signal features, high frequency band and more than 10 signal cycles are better choices.

Key words: frogman; sound radiation feature; passive detection; envelop spectrum

0 引言

由于蛙人的灵活性和隐蔽性, 可对港口、舰船等重要设施构成严重威胁, 近年来世界各国加大了对新型反水下有生力量装备的研制和开发的力度^[1-3]。蛙人的辐射噪声主要来自他的呼吸声, 对于携带开放式呼吸系统的蛙人, 它的呼吸声信号有两个特征^[4,5]: 呼气时产生低频分量, 吸气时产生高频分量。Stevens 研究机构对蛙人声辐射进行了许多研究^[6,7], 根据在 Hudson 河流采集的实验数据, 对蛙

人的呼吸声包络取 FFT 后, 在 0.3Hz 附近有一个明显的峰值, 最大探测距离达到 180 m。文献[8]也指出蛙人的呼吸频率约为每秒 3 次。国内在这方面的研究相对较少。

本文以携带开式呼吸器的蛙人为研究对象, 对蛙人的呼吸声信号特征进行实验研究与分析, 为蛙人识别算法与蛙人警戒系统的建立提供实验数据与基础实验支撑。

1 蛙人呼吸特征实验研究

1.1 实验概况

实验在某湖进行, 实验时天气晴朗, 无风, 湖面无其它过往船只, 蛙人携带开式呼吸器, 在水下保持相对静止, 进行正常节奏呼吸, 用信号绳与操作人员通信, 测量示意图与实验现场照片如图 1 所示, 蛙人位于水下 3m, 水听器位于水下 6m, 两者

收稿日期: 2012-09-11; 修回日期: 2012-12-05

基金项目: 国家 863 计划(2009AA093601-2)、国防基础科研计划(B2420110007)、水声技术国防科技重点实验室基金(9140C200801110C2004)资助项目。

作者简介: 章佳荣(1983-), 男, 浙江诸暨人, 博士研究生, 研究方向为水声通信网络。

通讯作者: 乔钢, E-mail: qiaogang@hrbeu.edu.cn

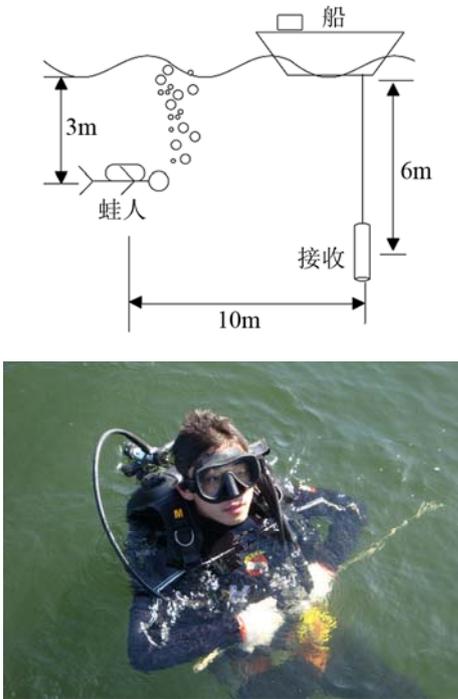


图 1 设备布放示意图与实验现场照片
Fig.1 Experimental layout and scene photograph

相距 10m，接收采用标准水听器 8104。

1.2 实验结果与分析

1.2.1 功率谱

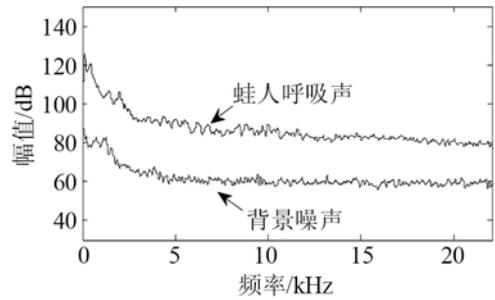
背景噪声和蛙人的呼吸声信号功率谱，以及 2 kHz 以下蛙人呼吸声信号的功率谱如图 2 所示。

从图中可以看出，蛙人呼吸声信号的功率谱明显高于背景噪声功率谱，在 2kHz 以上比较平稳，2 kHz 以下起伏较大，其中，在 60~80Hz 之间能量较大，从 0.5~1kHz、1~2kHz 每倍频有约 12dB 的衰减。

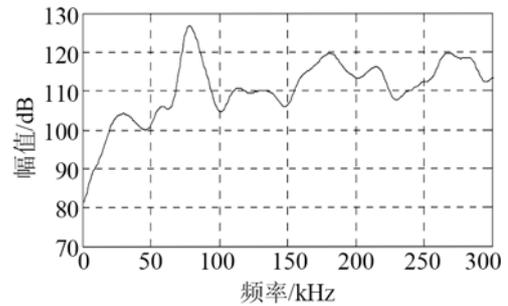
1.2.2 时域波形

蛙人呼吸声信号的原始信号波形包络与高、低频段滤波后的波形包络如图 3 所示。

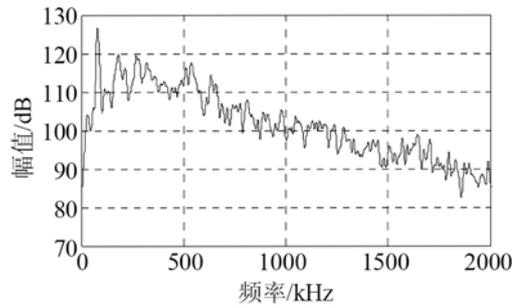
从图中可以看出，原始波形基本无法分辨蛙人的呼吸节奏。对呼吸声信号进行分频段滤波、收听比较后认为，2 kHz 以下的低频段内呼气所产生的气泡能量比较集中，2~20kHz 的高频频段内吸气导致的减压阀振动能量比较集中。为了进行对比，在 10 Hz~2 kHz 和 3~20 kHz 对原始信号进行分频段滤波，可以看出：低频段时域波形包络与原始信号比较接近，不能清晰地观察到信号幅度随呼吸节奏的起伏，而在高频段这一规律比较直观。这是因为蛙人呼气时吐出的气泡在上升过程中，由于水压不断减小而产生爆破，由此产生多个声源，并且是一个连续的现象，导致前、后两次呼气产生的气泡声音发生混叠，所以在时域波形的包络中不能明显看出



(a) 背景噪声与蛙人呼吸声功率谱



(b) 0~300Hz 频段内蛙人呼吸声功率谱



(c) 0~2kHz 频段内蛙人呼吸声功率谱

图 2 蛙人呼吸声功率谱和背景噪声功率谱

Fig.2 Power spectrums of the frogman breathing signal and background noise

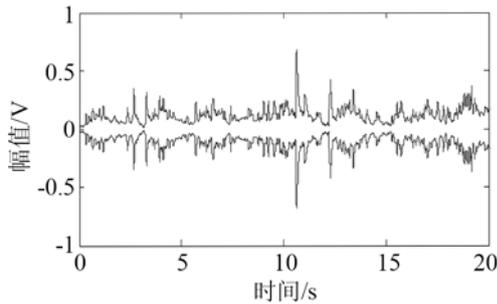
信号幅度随呼吸节奏的起伏，而高频段则不存在这个问题。另外，虽然呼气声的能量主要集中在低频段，但在高频段也有一小部分呼气声的能量存在，这在图 3(c)中可以看到，在包络图中，每个呼吸节奏中幅度较小的为呼气声信号，幅度较大的为吸气声信号，一个呼吸周期约为 3s。

1.2.3 目标特征

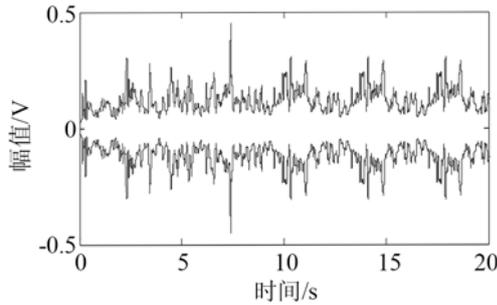
按照特征值包络谱识别算法进行特征提取，得到不同条件下的处理结果如图 4 所示。

下面分别对它们进行分析：

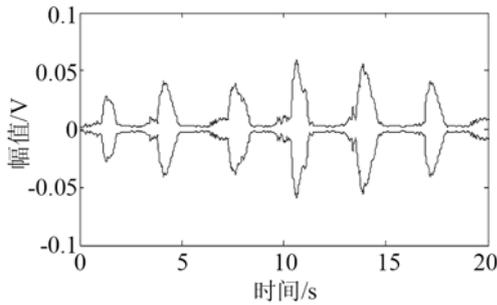
图 4(a)是对蛙人呼吸声信号的不同频段进行处理的结果，三条曲线分别为高频段(3~10 kHz)、低频段(10 Hz-2 kHz)和全频段的处理结果，对比三条曲线，高频段曲线在 0.3~0.4 Hz 之间有一个明显的峰值，是进行特征提取的理想选择，与时域波形包络的特征一致。



(a) 原始信号包络



(b) 低频段滤波信号包络(10Hz~2kHz)



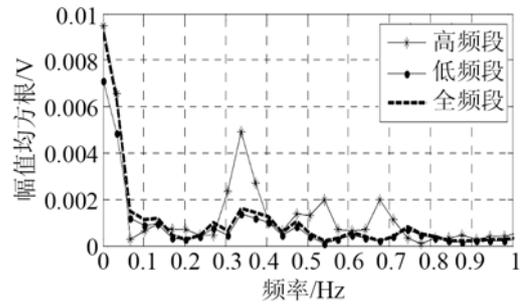
(c) 高频段滤波信号包络(3~20kHz)

图 3 原始信号和滤波后信号时域波形包络

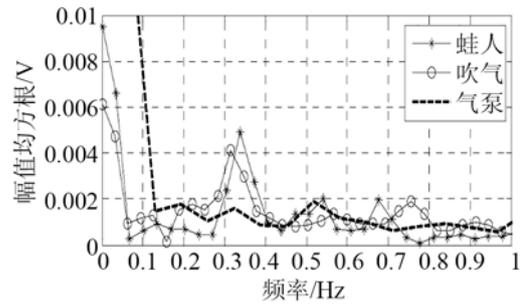
Fig.3 Time domain waveform envelopes of the original and filtered signals

图 4(b)是对不同声源信号进行处理的结果，三条曲线分别为蛙人呼吸声、人工按呼吸节奏吹气产生的气泡声、气泵产生的气泡声。在数据处理时，分别选取了 20 个信号周期，在 3~10 kHz 的高频段内进行滤波，比较图 4(b)中的三条曲线，吹气法产生的气泡信号和蛙人实际的呼吸声信号在 0.3~0.4 Hz 之间有一个明显的峰值，与蛙人的呼吸频率一致，而气泵产生的气泡信号则没有这一特征，这个特征可以作为识别蛙人的一个重要依据。

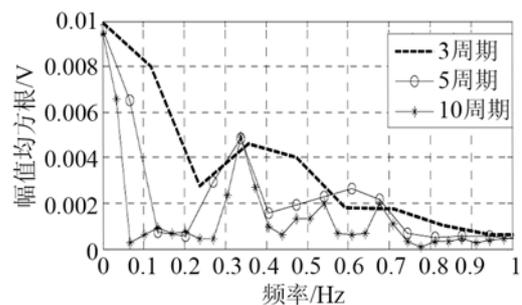
图 4(c)是对蛙人呼吸声信号取不同的信号周期数进行处理的结果，三条曲线分别为 3 个信号周期、5 个信号周期和 10 个信号周期。比较图中曲线，呼吸声信号包络谱在 0.33 Hz 左右都有一个峰值，且随信号周期个数的增加，峰值变得更加明显，在分析蛙人呼吸声信号的频域特征时，信号的周期数最好在 10 个以上。



(a) 不同频段目标特征



(b) 不同声源目标特征



(c) 不同周期目标特征

图 4 不同条件下的目标特征

Fig.4 Target features under different conditions

2 结 论

根据实验结果的分析与比较，得到以下结论：

(1) 蛙人呼吸声信号的功率谱在 2 kHz 以下起伏较大，2 kHz 以上比较平稳，60~80 Hz 之间频率成分能量较大，从 500Hz~1kHz、1~2kHz 每倍频有约 12dB 的衰减。

(2) 蛙人呼气所产生的气泡，能量主要集中在低频段(2kHz 以下)，吸气引起的减压阀振动能量主要集中在高频段(2kHz 以上)，并且高频段信号包络呈明显的周期性，周期约为 3s，高频段是进行蛙人识别的理想频段。

(3) 高频段蛙人呼吸声信号的包络谱在 0.3~0.4 Hz 之间有一个明显的峰值，此频率正好与蛙人的呼吸频率一致，此特征可作为蛙人识别的重要依据之一，在用包络谱法进行特征识别时，应选取信号

高频段进行处理, 并且信号周期最好取 10 个以上。

参 考 文 献

- [1] 易华君. 日益发展的反蛙人装备[J]. 水雷战与舰船防护, 2006(4): 61-65.
YI Huajun. Growing anti frogman equipment[J]. Mine Warfare & Ship Self-Defence, 2006(4): 61-65.
- [2] 王萍. 水下小目标主被动声学特性及探测方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009, 1-8.
WANG Ping. Researches on the active-passive acoustic characteristics and the method of detection of the underwater diver[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2009, 1-8.
- [3] 孙鹏, 刘平香. 强等离子体声源反蛙人应用初步研究[J]. 声学技术, 2009, 28(3): 300-333.
SUN Peng, LIU Pingxiang. A study of the strong plasma sound source and its application to anti-diver warfare[J]. Technical Acoustics, 2009, 28(3): 300-333.
- [4] Chung K W, Li H, Sutin A. A frequency-domain multi-band matched-filter approach to passive diver detection[C]// 41st Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA, United states. IEEECS, 2007, 1252-1256.
- [5] Donskoy D M, Sedunov N A, Sedunov A N, et al. Variability of SCUBA diver's acoustic emission[C]// Optics and Photonics in Global Homeland Security IV. Orlando, FL, United states. SPIE, 2008, 1-11.
- [6] Stolkin R, Radhakrishnan S, Sutin A, et al. Feature based passive acoustic detection of underwater threats[C]// Photonics for Port and Harbor Security II. Kissimmee, FL, United states. SPIE, 2006, 1-10.
- [7] Stolkin R, Radhakrishnan S, Sutin A, et al. Passive acoustic detection of modulated underwater sounds from biological and anthropogenic sources[C]// Oceans 2007 MTS/IEEE Conference. Vancouver, BC, Canada. IEEE Inc, 2007, 1-8
- [8] CHEN X, WANG R, Tureli U. Passive acoustic detection of divers under strong interference[C]// OCEANS 2006. Boston, MA, United states. IEEECS, 2006, 1-6.