

海洋环境水下电磁场基本特性及抑制方法研究

江立军

(海军驻大连地区军代表室, 辽宁 大连 116021)

摘要:目的 掌握环境水下电磁场的基本特性以及适宜的降噪方法。方法 从时域、频域、相关与极化等方面对某海域进行分析,并对得到的大量海洋环境水下电磁场特性进行总结,基于分析结果,研究自适应线谱增强技术在海洋环境水下电磁场抑制方面的应用。结果 海洋环境水下电磁场具有一定的规律性和随机性,利用自适应线谱增强技术,信号强度增加了6 dB。结论 通过对环境电磁场基本特性以及抑制方法的研究,可以对舰船测试中环境电磁场的影响程度进行评估,并提高目标的探测能力。

关键词: 海洋环境水下电磁场; 相关特性; 极化特性; 自适应增强

DOI:10.7643/issn.1672-9242.2014.03.002

中图分类号: TB56 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)03-0006-04

Research on Rudimentary Characteristics of Underwater Electromagnetic Field in Ocean Environment and Suppression Method

JIANG Li-jun

(Naval Agent's Room in Dalian Region, Dalian 116021, China)

ABSTRACT: **Objective** To master the basic characteristics of underwater electromagnetic field in ocean environment and suitable noise reduction methods. **Methods** Firstly, from the time domain, frequency domain, correlation and polarization etc., analyses on a large number of electromagnetic characteristics in certain areas were summarized. Based on analyses, we studied the application of adaptive line enhancement technology in suppression of underwater electromagnetic field in the ocean environment. **Results** The results showed that underwater electromagnetic field in ocean environment had certain regularity and randomness. Using adaptive line enhancement technology, we could see that the signal strength was increased by 6 dB. **Conclusion** Impact could be evaluated in the test ship and the detection capability of a target could be improved through studying the basic characteristics of environmental electromagnetic fields and the inhibition method.

KEY WORDS: underwater electromagnetic field in ocean environment; correlated characteristics; polarization characteristics; adaptive enhancement

收稿日期: 2014-02-20; 修订日期: 2014-03-25

Received: 2014-02-20; Revised: 2014-03-25

基金项目: 国防科技重点实验室基金资助项目(9140C260404120C2601)

Fund: Supported by the National Defense Science and Technology Key Laboratory Fund Project(9140C260404120C2601)

作者简介: 江立军(1960—),男,辽宁大连人,高级工程师,主要研究方向为雷达与电子对抗。

Biography: JIANG Li-jun(1960—), Male, from Dalian, Liaoning, Senior engineer, Research focus: radar and electronic countermeasures.

海洋环境水下电磁场是舰船测试的主要背景场,由于环境电磁场的存在会对目标信号检测造成一定影响。海洋环境水下电磁场的场源众多,除了由海水运动感应产生的电磁场之外,还包括海洋大地电磁场以及人为因素形成的电磁场等。由于各种场源产生机理复杂,会在不同的方面表现出各自的特性,只有充分掌握环境电磁场的基本特性才能更好地为目标水下电磁场测试提供帮助。

传统的海洋环境水下电磁场抑制方法大多利用信号之间的相关性或者与环境电磁场之间的差异,简单易行的办法是增加数据的平均次数、滤波和反馈补偿等,但对于微弱信号来说,线谱信噪比的增强程度有限。文中基于海洋环境水下电磁场特性的分析结果,优选自适应线谱增强技术作为环境电磁场的降噪方法。

1 环境电磁场的基本特性

海洋环境水下电磁场的基本特性包括时域特性、频域特性、相关特性与极化特性等,分别反映了海洋环境水下电磁场不同场源的主要特征。以上主要特性的表征方法如图 1 所示。

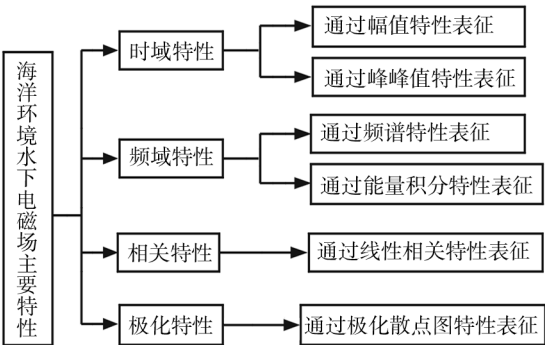


图 1 海洋环境水下电磁场主要特性表征方法

Fig. 1 Characterization method for the primary characteristics of underwater electromagnetic field in ocean environment

笔者对某海域分析得到的大量海洋环境水下电磁场特性进行了总结,从 4 个方面逐一进行概述。

海洋环境水下电磁场的时域信号分析如图 2 所示,可以看出,海洋环境水下电磁场信号随机性很强,但是幅值范围较为稳定。同时从信号的周期性波动来看,5 ~ 10 s 是信号的主要周期,包含了信号的主要能量。

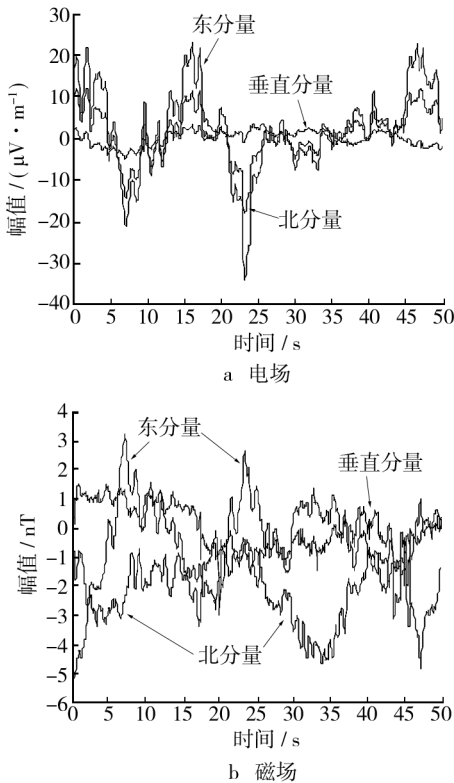


图 2 海洋环境水下电磁场的时域信号

Fig. 2 Time domain signals of underwater electromagnetic field in ocean environment

海洋环境水下电磁场频谱分析如图 3 所示,海洋环境水下电磁场的主要能量集中在 0. 001 ~ 1 Hz, 50 Hz 及其倍频中。它包含了大地电磁场、海流(潮汐)感应电磁场、人为因素形成电磁场和大部分海面波浪感应电磁场。在 1 ~ 10 Hz 频带也占有一定的比例,主要由高频波浪感应产生;在 10 Hz ~ 3 kHz 频带所占比重最小,这部分主要来自于其他的随机干扰。

海洋环境水下电磁场的自相关特性要好于互相关特性,电场的相关特性要好于磁场的相关特性。这是由于海洋环境电磁场的低频信号中,电场信号的主要成分是海水运动产生的电场,场源比较单一,其他环境电噪声影响较小,所以具有较好的相关特性。磁场信号的成分比较复杂,特别是受到大地电磁的影响比较突出,所以环境磁场的相关性较弱。

海洋环境水下电磁场低频分量与高频分量都有着自身的极化特性。低频电磁场中,极化特性散点图呈椭圆状分布,电磁场极化最强的频带为 0. 5 ~ 2 Hz,主要源于海水运动产生的海洋环境水下电磁

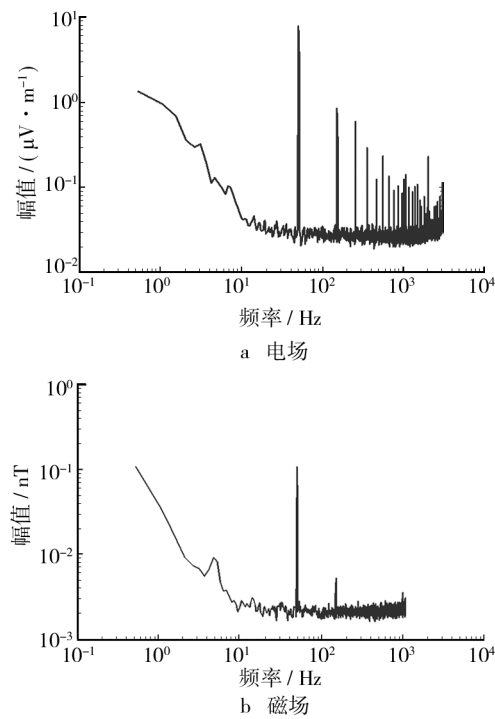


图 3 海洋环境水下电磁场频谱

Fig. 3 Spectra of underwater electromagnetic field in ocean environment

场。高频段主要体现了工频信号的极化情况,这说明工频信号也是具有极化方向的,并且主要体现为椭圆极化。

2 环境电磁场噪声抑制方法

2.1 基本理论

自适应滤波器由参数可调的数字滤波器和自适应算法两部分组成^[1],如图 4 所示。

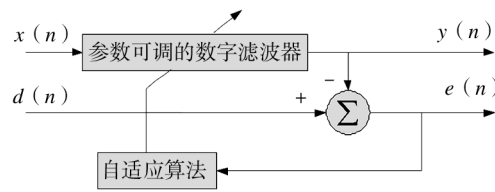


图 4 自适应滤波器原理

Fig. 4 Schematic of adaptive filter

输入信号 $x(n)$ 通过参数可调的数字滤波器后产生输出信号 $y(n)$, 将其与参考信号 $d(n)$ 进行比较, 形成误差信号 $e(n)$ 。 $e(n)$ 通过某种自适应算法

对滤波器参数进行调整, 最终使 $e(n)$ 的均方值最小。
自适应最小均方算法(LMS)是一种很有用且很简单的估计梯度算法, 核心思想是用平方误差代替均方误差, LMS 算法的基本表达式为:

$$w(n+1) = w(n) - \mu \hat{\nabla}(n) = w(n) + 2\mu e(n)x(n) \tag{1}$$

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i x(k-i) \tag{2}$$

式中: N 代表自适应滤波器的阶数; $w(k)$, $x(k)$ 代表滤波器权矢量以及输入数据矢量; $e(k)$ 为残差输出:

$$e(k) = d(k) - y(k) \tag{3}$$

权矢量为:

$$w(k+1) = w(k) + 2\mu e(k)x(k) \tag{4}$$

式中: μ 为自适应迭代步长, 用于控制自适应的速度和稳定性。

2.2 噪声抑制

自适应线谱增强器(ALE)是在带限白噪声干扰背景中检测未知频率信号的有效检测器, 它实际是自适应滤波器的典型应用。由海洋环境水下电磁场的基本特性可知, 在 1 Hz ~ 3 kHz 频带的主要干扰源基本为随机干扰, 近似服从正态分布, 如图 5 所示,

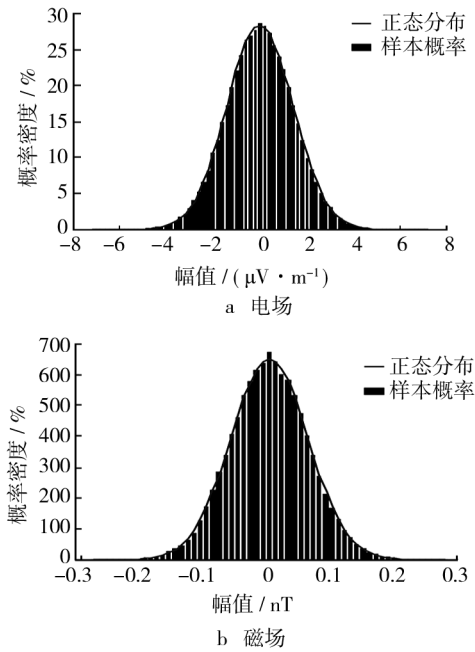


图 5 海洋环境水下高频电磁场的概率密度

Fig. 5 Probability density of underwater high-frequency electromagnetic field in ocean environment

可以认为海洋环境水下电磁场为带限白噪声。

利用自适应线谱增强技术对一艘民船的电磁场信号进行降噪,处理结果如图6所示。

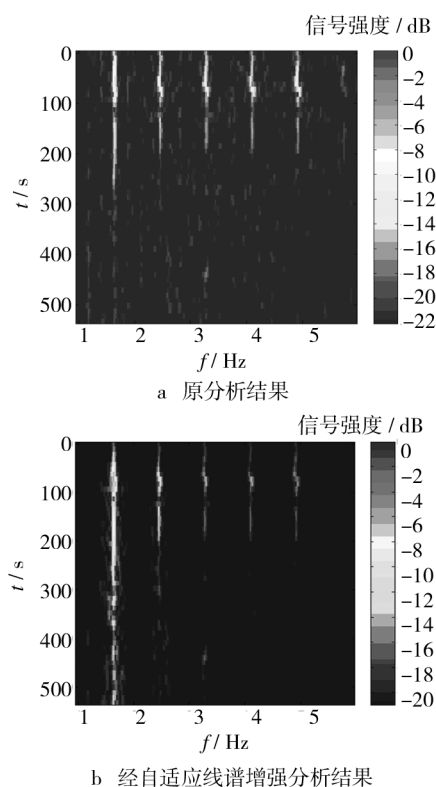


图6 经自适应线谱增强之后的处理结果

Fig. 6 Processed result after ALE

经自适应滤波之后,1.6 Hz轴频电场信号的信噪比得到了明显增强,信号强度增加了6 dB,信号持续时间由原来的280 s增加为现在的530 s。由此可见,自适应线谱增强技术在舰船电磁场信号噪声抑制方面效果显著,具有一定的应用价值。

3 结语

海洋环境水下电磁场作为舰船目标的依存背景,具有一定的规律性和随机性,通过总结环境电磁场在时域、频域、相关和极化方面的基本特性,可以掌握在舰船目标测试中环境电磁场的影响程度,进而提高目标测试精度。

相对于传统的相关法、平均法、滤波和反馈补偿法进行舰船测试中的环境电磁场降噪,自适应线谱增强技术具有一定的优势,该方法简单易行并且信噪比增强程度明显。然而,自适应线谱增强技术也

存在一定的局限性,对于信噪比较高的线谱效果显著,但相对较弱的线谱信号强度反而有减弱的趋势。

为了进一步提高舰船电磁场的检测能力,还可以运用阵列信号处理理论进行噪声抑制。阵列信号处理有着非常广泛的用途,如声纳、雷达、通信、图像处理、地质勘探、天文探测和生物医学等领域^[2]。将一组传感器(阵元)按一定方式布置在空间不同的位置上,就形成了传感器阵列。波束形成就是对不同阵元接收到的数据进行一系列的运算,包括加权、延迟以及求和等,它是阵列信号处理的主要组成部分。运用阵列信号处理可以获得足够大的信噪比和高的目标分辨能力,下一步拟采用相位匹配原理的相干干扰抵消技术^[3-4]和多通道差分自适应噪声抵消技术^[5]进行噪声抑制处理。

参考文献:

- [1] 姚天任,孙洪. 现代数字信号处理[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2001.
YAO Tian-ren, SUN Hong. Modern Digital Signal Processing [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2001.
- [2] 朱维杰. 宽带水声阵列信号处理的原理及方法研究[D]. 西安:西北工业大学,2003.
ZHU Wei-jie. Study on Principle and Method about Broadband Underwater Acoustic Array Signal Processing [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2003.
- [3] 刘贯领. 一种基于谱减的声纳噪声自适应消除方法[J]. 声学技术, 2011, 30(5): 399—402.
LIU Guan-ling. A Method of Adaptive Eliminate Sonar Noise Based on Spectral Subtraction [J]. Acoustic Technology, 2011, 30(5): 399—402.
- [4] 唐玲,陈磊,宋弘. 基于 Matching Pursuit 算法的阵列信号降噪方法[J]. 电子信息对抗技术, 2011, 26(3): 16—19.
TANG Ling, CHEN Lei, SONG Hong. Array Signal Noise Reduction Method Based on Matching Pursuit algorithm [J]. Electronic Warfare Technology, 2011, 26(3): 16—19.
- [5] 马令坤,黄建国,谢达. 基于多通道差分的自适应噪声抵消方法[J]. 兵工学报, 2008, 29(10): 1210—1214.
MA Ling-kun, HUANG Jian-guo, XIE Da. Adaptive Noise Cancellation Method Based on the Multi Channel Differential [J]. Ordnance Journal, 2008, 29(10): 1210—1214.