

综 述

海洋环境电场统计特性研究

刘景贤, 崔培

(大连测控技术研究所, 辽宁 大连 116013)

摘要: 由于海水运动十分复杂, 要了解并掌握海洋环境电场特性, 仅仅依靠模型计算所得结果难以与实际相符。文中以实验为基础, 采用三分量水下电场测量系统对大连附近海域进行了长期的观测, 通过统计得出了该区域海洋电场幅值、电场峰峰值的主要分布特征。由此可知, 海洋环境电场特性虽然复杂, 但也是可以获取、积累并分析的, 而对海洋电场的主动观测, 是认识海洋、了解海洋的重要手段。

关键词: 海洋电场; 统计特性; 电场测量

中图分类号: TM15 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)05-0051-05

Survey and Analysis of the Characteristic of Sea Electric-field

LIU Jing-xian, CUI Pei

(Dalian Scientific Test and Control Technology Institute, Dalian 116013, China)

Abstract: To know and understand the characteristic of sea electric-field, merely model calculation can't fit the actual situation well due to the complexity of sea water movement. A long tem survey was carried out by using there-component electric-field testing system to survey the sea area near Dalian based on experiments. The main distribution characteristic such as amplitude and peak to peak value in this sea area was obtained by statistic method. It was concluded that the characteristic of electric field of sea can be surveyed, accumulated and analyzed, and that is the important way to know the sea.

Key words: sea electric-field; statistic characteristic; the survey of electric-field

海水在运动过程中由于切割地磁场而产生了天然电场^[1]。法拉第曾说过: 在地磁场中流动的海水, 就像在磁场中运动的金属导体一样, 也会产生感应电动势。海洋电场是海洋环境的一个重要组成部分。在许多领域中, 特别是在海上通信、海洋勘探与航空磁探, 海洋电场的存在对工作的开展有着较大

的影响。因此, 了解并掌握海洋电场特性具有极其重要的现实意义。

国外对于海洋电场的研究开展得较早也较成熟。Longuet-Higgins 在 1954 年已经提出了大尺度缓慢变化海流的电场模型^[2]; Weaver 以海水表面的简单谐波的概念来分析海浪^[2-3]; Lilley 等通过对海洋表面

收稿日期: 2011-03-09

基金项目: 国防科技工业技术基础科研项目(H082009A001); 国防基础科研项目资助(A0820110019)

作者简介: 刘景贤(1984—), 男, 广西梧州人, 助理工程师, 主要从事环境与舰船电磁场方面研究。

磁场的观察揭示了澳大利亚南部海域的海浪磁场功率谱情况^[4-5]。在国内,海洋电场的测量还刚刚起步。中国地质大学(北京)建立的“海底大地电磁系统”^[6]是我国在海洋电磁探测上迈出的第一步。笔者在前人研究的基础上,依托大连测控技术研究所自行研制的三分量水下电场测量系统对大连附近海域的海洋电场进行长期观测,初步得到了该海域电场的基本特征。

1 海洋环境电场产生机理与统计特性

假设海水以速度 $\vec{v}$ 运动,地磁场矢量为 $\vec{F}$,那么海水产生的感应电场:

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{F} \quad (1)$$

由于海水运动速度是与时间有关的随机变量 $\vec{v}(t)$,所以感应电场 $\vec{E}(t)$ 也在随时间改变。海水中产生的传导电流 $\vec{J}(t)$ 计算如下:

$$\vec{J}(t) = \gamma \vec{E}(t) \quad (2)$$

式中: γ 为电导率。

因为在海水中可以忽略位移电流,所以变化的传导电流产生变化的磁场:

$$\nabla \times \vec{H}(t) = \vec{J}(t) \quad (3)$$

然后,变化的磁场又产生变化的电场:

$$\nabla \times \vec{E}(t) = -\frac{\partial \vec{B}(t)}{\partial t} = -\frac{\partial(\mu \vec{H}(t))}{\partial t} \quad (4)$$

式中: μ 为磁导率。

式(1)一式(4)说明了电磁场传播的复杂变化,只有在大量简化的前提下,才能得到一些解析的结果。例如在波浪周期不是很大时,Weaver提出了一个海浪产生磁场的数学物理模型^[3],而林春生等基于稳定海流,计算出其在地磁场中产生的电场^[7]。简单的模型并不能让人们充分了解海洋电场特性,因而需要从更全面的角度去分析这个问题。由式(1)看出感应电场受海水运动的直接影响,与其周期相同。式(2)和式(4)中的电导率、磁导率反映了海洋电场的幅值大小和当地海洋环境有着密切的联系。虽然海洋电场十分复杂,但在一个特定的海域中,海洋电磁场的时域特性就应该是稳定的、有规律的、能被测量并了解的。

文中主要统计与分析的内容包括:电场幅值、电场峰峰值。幅值统计是对原始测量值的直接统计,结果较为真实,反映了电场的基本规律。电场峰峰值需要通过截取测量样本来计算,存在一定的人为因素,但它直接体现了海洋电场的振动情况,是衡量电场大小的关键物理量。根据统计结果,进一步分析了统计特征与海况的关系,并阐述了电场幅值与电场峰峰值在高、低海况下的分布特性。

2 海洋环境电场的测量

2.1 测量原理

实测数据是通过三分量水下电场测量系统的测量得到的。该系统使用不极化电极对测量水下电场2点间的电势差如图1所示。

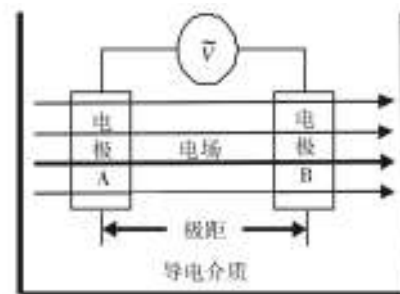


图1 电极对测量电场示意

Fig. 1 Electrode couple for testing the electric field

如图1所示, $E = \frac{V_1 - V_0}{L}$ 。式中: V_0 为无电场

环境下测量电势差; V_1 为加电场后测量电势差, L 为2点间距离。测量系统采用银/氯化银电极对进行电场测量。该电极对在海水中能够保持较为稳定的极差,原始的极差 V_0 在整个测量过程中只是缓慢变化。因此,通过拟合趋势项就能有效消除极差的干扰,计算得到真实的电场值,如图2所示。

图2对比了原始测量数据与消除极差后的电场数据。趋势项通过低阶多项式进行最小二乘拟合得出。图2a是原始测量信号的结果,由于存在系统的极低频噪声干扰,测量信号值存在明显的飘移。在图2b中通过趋势项拟合获取了系统的极低频噪声。用原始信号减去系统极低频噪声,得到了海洋环境电场信号的真实值,如图2c所示,海洋电场的真

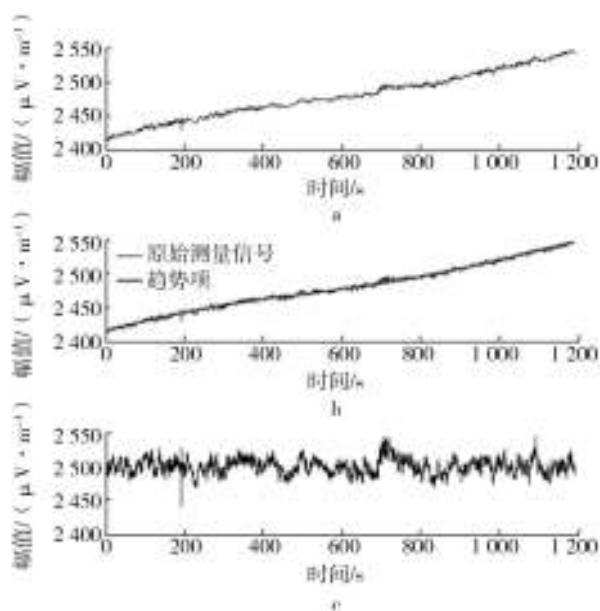


图2 实测数据中拟合趋势项消除极差

Fig. 2 Fitting of test data to eliminate the range

实值一般在几十个 V/m 以内波动。

2.2 测量装置

测量装置如图3所示,为白色球体,里面存放3对电极。电极两两相互垂直。其中1对电极垂直于水平面,另外2对则在水平面上与电场正东西与正南北方向一致。由于近海的海洋电场以水平分量为主,垂直分量较小,所以主要针对海洋的水平电场进行统计与分析(如图4所示)。

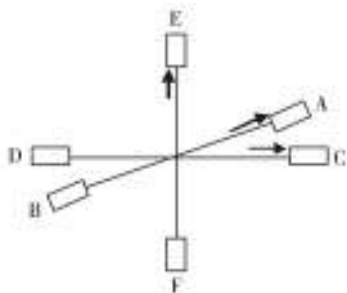


图3 测量装置示意

Fig. 3 Sketch map of testing device

图4中: E_N 是消除极差后得到的水平电场北分量; E_E 是消除极差后得到的水平电场东分量。通过2个分量合成海洋电磁场的水平分量 E_0 ,其中 θ 是水平分量北偏东方向:

$$E_0 = E_N \cdot \cos \theta + E_E \cdot \sin \theta \quad (5)$$

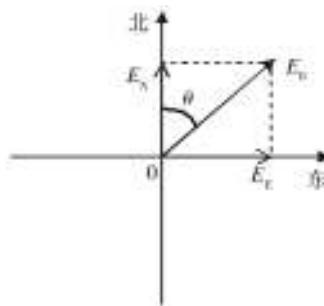


图4 水平电场的求取

Fig. 4 Level electric-field calculation

$$\theta = \arctan \frac{E_E}{E_N} \quad (6)$$

E_0 是海洋电场的主要成分,体现了海洋电场的时域特点,主要通过 E_0 分析海洋电场的幅值与峰峰值的分布情况。

3 海洋环境电场的特性统计与分析

3.1 特性统计

海洋电场是一个不断振动变化的电场,图5描述了一段100 s长度的海洋电场信号。海洋电场是一个持续波动的信号,简单的数学物理方程很难对其进行合理描述,所以采用统计的方法进行分析,以求出其统计特性。

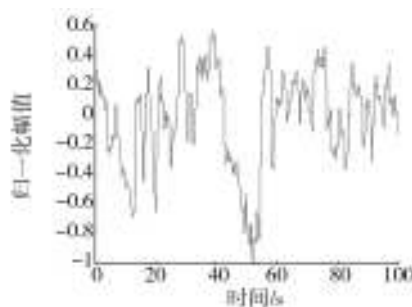


图5 电场时域信号样本(归一化)

Fig. 5 Time domain signal samples of the electric-field (normalize)

文中通过大量实测数据统计出电场的幅值分布特性如下。

图6是选取了2 400个测量数据进行统计得到的结果。图6中的曲线是根据测量数据的统计特性计算出来的正态分布情况,其中均值 μ 为0.07,方差

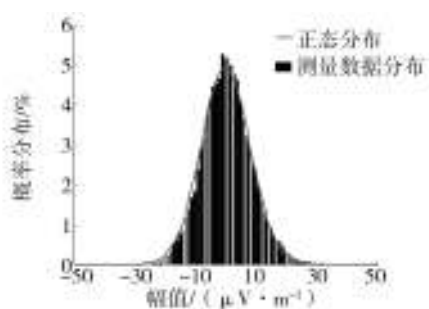


图6 电场幅值分布统计

Fig. 6 Statistic of electric field amplitude distribution

σ^2 为65,正态分布曲线与测量数据的实际分布吻合得很好。可以预计,只要数据足够多,时域电场的幅值分布情况可以用正态分布来描述。

电场峰峰值描述了电场振动的剧烈程度,通过它可以有效地判断信号能量的大小与影响力的强弱,它是一个非常有用的电场特征量。然而,在幅值分布统计中只能看到幅值的分布范围,但不能确定其主要分布区间,所以仅有幅值分布统计是不够完善的,需要进一步对信号峰峰值进行统计,以便确定信号的主要特征。

由于信号周期并不稳定,如何能合理地提取某段信号峰的峰值是较为棘手的问题。笔者通过对信号的长期观察,看到信号的周期一般不大于30 s,于是取30 s作为样本时间长度。对每个样本求出最大值与最小值,相减得出峰值。在进行600多个样本统计后,得到的峰值结果如图7所示。

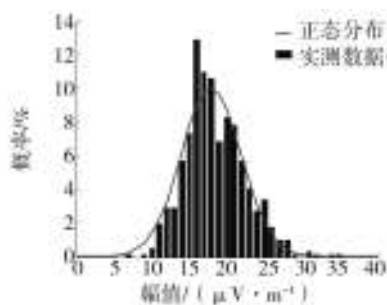


图7 样本峰峰值统计结果

Fig. 7 Statistic results of peak to peak value of samples

由图7可知,电场峰的峰值在一定区间内成正态分布,这与其幅值分布情况类似。由此可知,电场的波动是有一定范围的,它不会脱离这个范围随机地波动。在测量区域内测得的数据显示:在该海域,电场峰的峰值主要分布在15~25 $\mu\text{V}/\text{m}$ 的区间上。

由于相同海域受到的各种影响因素大致相同,海水运动也就表现出大致相同的状态,使得峰值的分布处在一定范围以内。然而,什么样的海域会产生什么样的电场峰峰值,就不能通过简单的计算得出,而是需要大量的实验去总结、积累。

3.2 海况对海洋环境电场统计特性的影响

海况综合反映了海水运动的基本情况,高海况意味着海水运动较为剧烈,而低海况则说明海水运动较为缓和。因此,在不同的海况下,海洋环境电场势必表现出不同状态,而其统计结果也应该不同。图8对比了四级海况和一级海况情况下海洋电场幅值的统计情况。

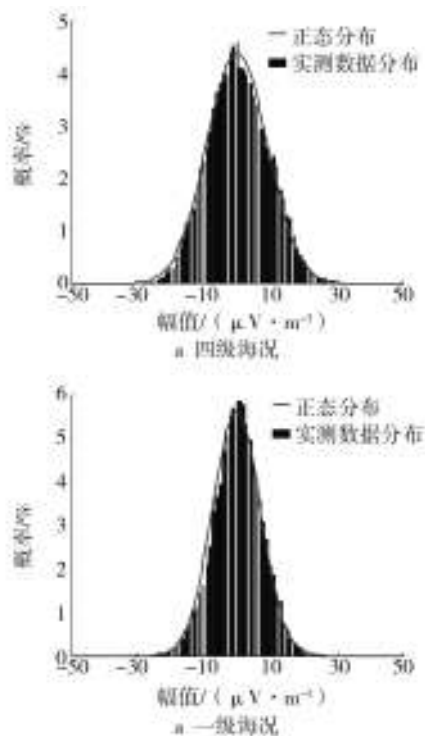


图8 电场幅值分布

Fig. 8 Amplitude distribution of electric field

从图8可见,海况的变化不影响电场幅值正态分布的统计规律,一级海况信号分布较“窄”,也就是一级海况更加集中地分布在幅值较小的区域。如图8所示,一级海况主要分布在20 $\mu\text{V}/\text{m}$ 以内的区域里,四级海况的电场在30 $\mu\text{V}/\text{m}$ 的区域里都有分布。用统计的观点看就是海况越高,信号方差越大,一级海况时方差 $\sigma^2=51$,四级海况时方差 $\sigma^2=83$ 。由此可见,海况越大信号的波动越大,方差也就越大。

4 结语

笔者以实验为基础,通过三分量水下电场测量系统,采集到了大连附近海域大量的电场数据并分析总结出其特征。

从大量的测量数据统计得出,海洋电场的幅值服从高斯分布,而其峰峰值也具有相近的分布性质,且主要集中在 $15\sim 25\ \mu\text{V/m}$ 这个区域。通过对比不同海况的海洋环境电场幅值统计特性可以说明,海水运动的剧烈程度直接影响着电场幅值的大小,海水运动越激烈,电场幅值的波动也越大,统计得出的方差也越大。在正确总结了海洋环境电场统计特性的基础上,海上探测、海上通信等许多工作得到了进一步的开展^[8-9],并逐渐走向成熟。

参考文献:

- [1] 张自力. 海洋电磁场的理论及应用研究[D]. 北京:中国地质大学,2009.
- [2] WEAVER J T. Magnetic Variations Associated with Ocean

Waves and Swell [J]. Journal of Geophysical Research, 1965, 70: 1921—1929.

- [3] WEAVER J T. Generation of Magnetic Signal by Waves and Swell, in Transient and Induced Variations in Aeromagnetic [J]. Records of Australian Geological Survey Organization, 1997, 27: 15—16.
- [4] LILLEY F E M, WHITE A, HEINSON G S. Earth's Magnetic Field: Ocean Current Contributions to Vertical Profiles in Deep Oceans [J]. Geophysical Journal International, 2001(147): 163—175.
- [5] LILLEY F E M. Sea-Surface Observations of the Magnetic Signals of Ocean Swells[J]. Geophysical Journal International, 2004(159): 565—572.
- [6] 邓明,魏文博,余平. 海底大地电磁探测的海洋试验研究[J]. 现代地质,2002, 16(4): 443—447.
- [7] 林春生,任德奎. 海流电磁场的理论计算[J]. 海军工程大学学报,2003, 15(4): 19—23.
- [8] 岳瑞永. 基于时谐电偶极子模型的舰船轴频电场衰减规律研究[J]. 舰船科学技术,2009, 31(10): 21—25.
- [9] 计钊. 海洋电磁环境及其水中目标特性应用的挑战[J]. 装备环境工程,2010, 7(5): 87—91.

(上接第50页)

金属构件的腐蚀有很大的影响。在保证舰载机的安全性的前提下,应综合考虑和权衡舰载机在海洋环境下维修保障的经济性,从而对舰载机金属构件的使用检查间隔期进行相应的调整。

参考文献:

- [1] 张春华,陈循,杨拥民. 常见寿命分布下环境因子的研究强度与环境[J]. 强度与环境, 2001, 1(4): 7—11.

- [2] 陈跃良. 海军飞机结构腐蚀控制及强度评估[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [3] 赵婉,温玉全. 可靠性评估领域中环境因子的研究进展[J]. 综述与展望2005, 4(2): 69—71.
- [4] 曹楚南. 中国材料的自然环境腐蚀[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [5] 穆志韬,曾本银. 直升机结构疲劳[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [6] 甘茂治,康建设,高崎. 军用装备维修工程学[M]. 北京:国防工业出版社,2005.