

海洋环境交变电场变化规律研究

史晓陶

(大连测控技术研究所, 辽宁 大连 116013)

摘要: 海洋环境电场是探测水中目标的主要干扰源之一。初步探索了海洋环境电场 24 h 的变化规律。对测试数据进行拟合, 可以预测不同时间点上的环境电场强度。通过分析知道, 影响环境交变电场的主要因素是工频电场, 比较了工频电场剔除前后幅度变化的规律。

关键词: 海洋环境交变电场; 工频电场; 数据拟合

中图分类号: U674.70 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)06-0100-04

Research on Variable Pattern of Alternative Electric Field of Marine Environment

SHI Xiao-tao

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

Abstract: Electric field of marine environment is one of important interfering sources of underwater target detection. Variable pattern of electric field of marine environment for twenty-four hours was explored from data analysis. Intensity of electric field of marine environment in different time was estimated through data fitting. I was founded that essential component of the electric field is industrial frequency after interpretation of result. Amplitude of alternative electric field was compared before and after pick out electric field of industrial frequency.

Key words: alternative electric field of marine environment; electric field of industrial frequency; data analysis

海洋环境电磁场包括稳恒电场、交变电场、稳恒磁场和交变磁场, 主要研究交变电场 24 h 内的变化规律。产生海洋环境电场的因素很多, 可以分为由自然因素产生的电场和人类活动产生的电场^[1]。其中人为因素产生的电场主要指沿海工业设施产生的工频干扰。

舰船在海水中产生的极低频电场大约在 1~7 Hz 且具有明显的谐波成分^[2], 随传播距离的增大衰减较快, 很容易被环境噪声所掩盖, 给远程探测带来困难^[3]。因此, 海洋环境交变电场(1 Hz~3 kHz)的特性是迫切需要掌握的信息, 其中最基本的信息是交变电场的幅度变化规律。

收稿日期: 2011-06-13

基金项目: 国防科技工业技术基础科研项目(H082009A001)

作者简介: 史晓陶(1985—), 女, 辽宁大连人, 助理工程师, 主要从事舰船电磁场信号处理研究。

1 交变电场的日变化

1.1 交变和工频电场的变化曲线

研究海洋环境交变电场的幅度变化,包括电场24 h内的变化规律,掌握一昼夜不同时间点的交变电场分布。文中利用自主研发的海洋环境电磁场观测系统,连续采集了24 h的交变电场数据,得到交变和工频电场的幅度变化趋势,处理结果如图1所示。

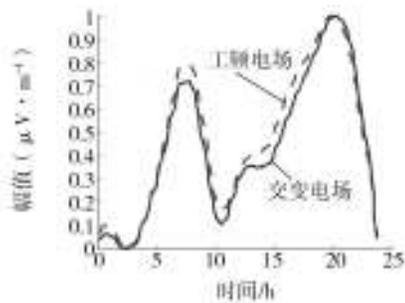


图1 交变和工频电场的变化曲线

Fig. 1 Variation curve of alternative electric field and electric field of industrial frequency

从图1可以发现,交变电场的变化趋势与工频电场类似,在10:00和3:00左右,分别出现2次波谷,凌晨时二者的幅度均达到最小;8:00和20:00左右,记录结果中均出现2个波峰,20:00左右达到最大值;电场在20:00之后,幅度逐渐降低3:00至最低点,随后又逐渐升高。二者的变化趋势可以形象地描述试验海域周边工业设施的用电情况。

1.2 交变和工频电场变化趋势比较

为了确定交变电场幅度的变化趋势与工频电场是否相似,选取了一个典型样本进行频谱分析,可以得到交变电场的幅频分布。另外,在所观测的时间段内,采集了大量样本并对其进行了时频分析。分析结果如图2所示。

在1 Hz ~ 3 kHz的交变电场中,能量主要集中在50 Hz的工业频率和谐波中,而且在一昼夜的不同时间点上能量均很强且非常稳定,这也就很好地解释了以上的分析结果。

由分析结果可知,海洋环境交变电场反映的主要信息是工业干扰的变化。

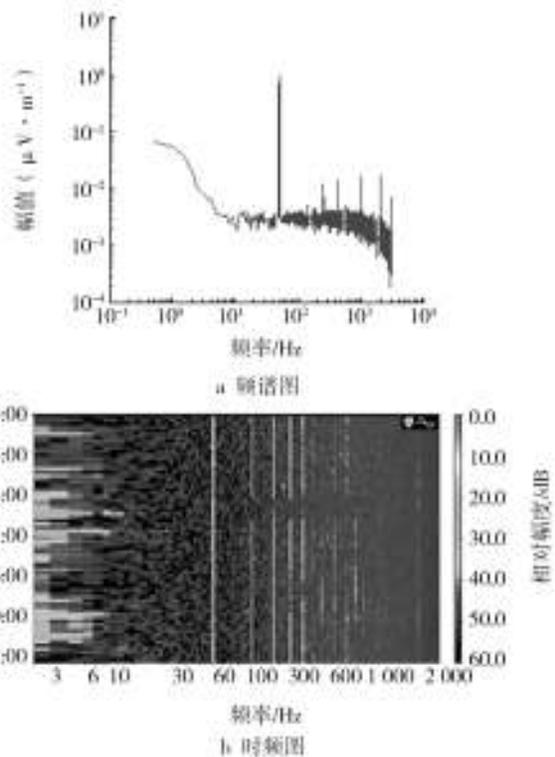


图2 交变电场的频谱和时频图

Fig. 2 Frequency spectrum and time-frequency spectrum of alternative electric field

2 交变电场剔除工频后的变化

虽然海洋环境交变电场中工频电场的能量占主要成分,但往往交变电场中的自然电场才是重点分析的对象。自然电场包括海水运动产生的电场、地球磁场变化感应的电场、电离层电流感应的电场、地震活动产生的电场以及海洋生物活动产生的电场等^[1]。这些自然电场涵盖的频率范围从直流到几千赫兹,每种自然电场的组成波均有一定的频带,但并无固定的周期。因此,在研究交变电场幅度随时间的变化时,分析剔除工频干扰后的自然电场显得更有意义。

海洋环境交变电场的时频分析结果表明,交变电场中的工频电场及谐波所占的比重较大,为分析自然电场的变化规律,必须剔除这一部分能量并保证分析数据不失真。

具体的数据处理方法为:

1) 对原始数据进行快速傅立叶变换,得到交变电场的频谱分布;

2) 设置需要剔除的线谱和需要更新的带宽,线谱为 50 Hz,带宽为 2 Hz;

3) 更新频谱曲线,将 50 Hz 及其谐波的频谱曲线用临近的谱线替换;

4) 反傅立叶变换,重新生成时域波形,从而得到交变电场剔除工频后的幅度变化曲线;

5) 检查工频剔除前后的频谱分布是否满足要求,不满足时重新设置带宽并重复 2)–4) 步。

交变电场的幅度经过处理之后,得到的频谱图和幅度变化如图 3 所示。

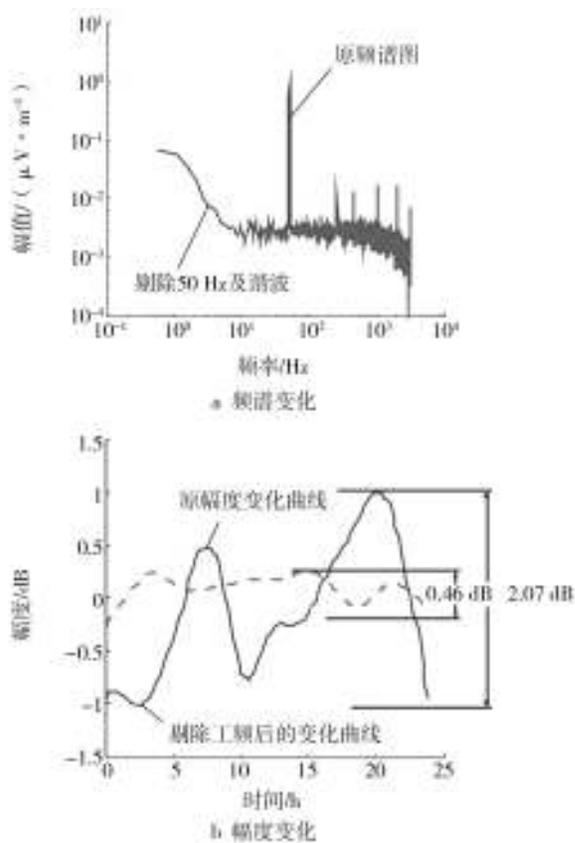


图3 工频剔除前后交变电场的频谱和幅度变化曲线
Fig. 3 Variation of frequency spectrum and amplitude before and after pick out electric field of industrial frequency

剔除工频前,海洋环境交变电场的幅度变化为 2.07 dB,剔除工频及谐波之后,变化下降为 0.46 dB。不难发现,在 24 h 连续观测中,海洋环境交变电场剔除工频之后变得比较稳定,变化范围不超过 0.5 dB。

3 多项式回归模型

从工频电场的变化曲线可以看出,电场强度是

渐变的并且具有一定的规律,利用多项式拟合可以得到精度较高的逼近曲线,因此选择多项式拟合作为建模的方法。

由以上分析知道,海洋环境工频电场的变化趋势决定了交变电场(1 Hz~3 kHz)的幅度变化。因此,建立工频电场的数学模型可以帮助了解交变电场的幅度变化情况。文中主要借助 MATLAB 分析软件对工频电场的幅度进行多项式拟合,建立了幅度与时间的数学模型。

设多项式的一般形式为^[4]:

$$y(x)=A_1x^n+A_2x^{n-1}+\dots+A_nx+A_{n+1} \quad (1)$$

式中: n 是选定的多项式阶次; A 是拟合等级, $A=[A_1,A_2,\dots,A_n,A_{n+1}]$; x 是时间; y 是海洋环境工频电场电场强度的幅度。

首先对工频电场的幅度进行了归一化处理,然后对其进行拟合。

多项式拟合的效果与所选取的多项式阶次 n 直接相关, n 过小,拟合效果可能很差; n 过大,也可能除了增加计算量之外并不能带来更多的改善。文中利用残差平方和 $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 评价数据拟合的优劣, y 为实际观测值, \hat{y}_i 为经多项式拟合得到的估计值。取多项式拟合的阶数为 1~30 阶,得到不同阶数下的残差平方和如图 4 所示。

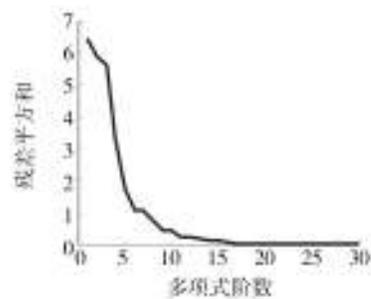


图4 多项式拟合的残差平方和
Fig. 4 Residual sum of squares of polynomial fitting

从图4可以看出,当多项式的阶数达到 15 阶时,拟合之后的残差平方和已近似于 0,满足拟合的需要。因此选择拟合的阶数 $n=15$,得到工频电场的拟合曲线如图 5 所示。多项式拟合的系数以及时间的均值和方差在表 1 中给出。

工频电场归一化幅度的表达式为:

$$Y=A_1 \times [(t-\mu) / \sigma]^{15}+A_2 \times [(t-\mu) / \sigma]^{14}+\dots+$$

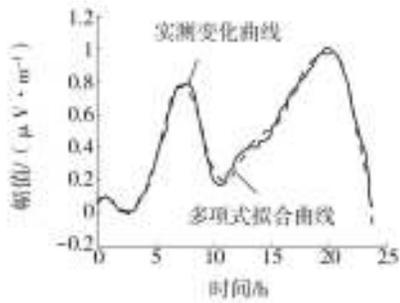


图5 多项式拟合曲线

Fig. 5 Curve of polynomial fitting

表1 工频电场多项式拟合的系数

Table1 Coefficient of polynomial fitting of electric field of industrial frequency

A_1	-0.132	A_{10}	-9.915
A_2	-0.149	A_{11}	20.599
A_3	1.519	A_{12}	2.607
A_4	1.499	A_{13}	-7.334
A_5	-7.210	A_{14}	1.079
A_6	-5.871	A_{15}	0.812
A_7	18.204	A_{16}	0.269
A_8	11.116	时间标准差 σ	6.976
A_9	-26.148	时间均值 μ	12.016

$$A_{15} \times [(t - \mu) / \sigma]^4 + A_{16} \quad (3)$$

式(3)经过简单的换算就可以确定工频电场电场强度的真实幅值,从而可以估计任意时间点上的交变电场幅度。

4 结语

通过分析24 h内连续观测的交变电场数据,得到了交变和工频电场的基本规律:

1) 交变电场的变化趋势与工频电场类似,交变和工频电场幅度在20:00左右达到最大值,在3:00达到最低点。

2) 剔除工频之后,海洋环境交变电场的幅度变得比较稳定,变化范围不超过0.5 dB。

3) 通过多项式拟合,建立了工频电场幅度与时间的关系式,从而可以预测任意时间点上的交变电场幅度。

观测结果表明,海洋环境交变电场是在不断变化的。不同地区、不同时间、不同深度、不同气候的

交变电场是千差万变的^[1]。因此,文中得到的结论具有一定的局限性,但可以反映特定试验海区的一些基本特性,今后的工作重点是尽可能多地观测不同海况、不同气候、不同地点的交变电场,掌握海洋环境交变电场的幅度与环境条件变化的规律。

参考文献:

- [1] 林春生,龚沈光. 舰船物理场[M]. 北京:兵器工业出版社, 2007.
- [2] 卢新城,龚沈光,林春生. 自适应增强在舰船轴频电场信号检测中的应用[J]. 数据采集与处理, 2004, 19(4): 438—440.
- [3] 刘彦琼,岳瑞永,田作喜,等. 基于谐波簇自适应线谱增强器的舰船轴频电场检测[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2):29—32.
- [4] 王忆锋,毛京湘. 我国地区8~12波段大气透过率的MATLAB多项式拟合计算[J]. 光学与光电技术, 2007, 5(6):69—71.