

海洋环境工频磁场量级的快速估计方法

李琳琳, 吕俊军

(大连测控技术研究所, 辽宁 大连 116013)

摘要: 海洋环境中工频电磁场是舰船水下电磁场测量的重要干扰源之一。对工频电磁场进行测量时由于水下布放难度较大, 对测试海域进行多点测量并不现实。通过对工频电磁场海水中透射基本理论的分析, 提出了一种工频磁场的快速估计方法, 实测验证了方法的有效性。

关键词: 工频电磁波; 透射距离; 快速估计

中图分类号: TN011⁺.6 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)03-0094-03

Rapid Estimation Method of Power Frequency Magnetic Field in Ocean Environment

LI Lin-lin, LV Jun-jun

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

Abstract: The power frequency electromagnetic component is a significant disturbance when we take measurement to the ship underwater electromagnetic field in ocean. During the measurement we found it's difficult to place the equipment underwater, so it's unpractical to measure the electromagnetic component at arbitrary position in the sea. By analyzing its theory of transmission, this paper presents a rapid estimation method of power frequency magnetic field, and validates its validity by experimentation.

Key words: power frequency electromagnetic wave; transmission distance; rapid estimation

海洋环境电磁场是水中目标及探测设备的依存背景。有效的海洋电磁观测可以最大限度地利用海洋环境的合作性, 使水中目标及探测设备工作时处于最佳状态。在0~3 kHz这个频带范围内, 海洋环境电磁场中工频电磁场所占比重最大, 对该频段内目标的电磁场测试影响较大, 因此如何快速估计工

频电磁场量级并选择一个其值较小的海域是目前目标水下电磁场测试急需解决的问题。具体试验中, 由于海水中布放难度较大、成本较高, 且具体可控性低, 故很难对任意海区、任意深度的工频电磁场进行测量。

通过对工频电磁场传播路径的分析, 认为在距

收稿日期: 2010-09-28

基金项目: 国防技术基础资助项目(H082009A001)

作者简介: 李琳琳(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋环境物理场分析。

离工频电磁场源一定距离后,海水中的工频电磁分量主要来自于空气中的电磁波,依据该理论提出了一种工频磁场量级的快速估计方法,为目标水下电磁场测试的前期海域选择提供了一种有效的手段。

1 工频电磁波在海水中的透射距离

在工程实际中经常用场的透射距离来描述传播特征^[1]。电磁波在海水中传播时,电场产生传导电流,电磁场能量通过电流转化为热能,致使电磁波的能量急剧衰减,频率越高,衰减越快。一般当电磁波的振幅衰减为原来的 $1/e$ 时的传播距离,被称为透射距离。MHz级以上的电磁波的透射距离小于25 cm,海水对于高频电磁波是很强的屏蔽层。频率低于 10^{-3} Hz的极低频电磁波,透射距离可达5 km,海水便成为可以穿透的。

沿着垂直于波射线平面上任意一处的场强矢量 $\vec{E}$ 和 $\vec{H}$ 得知其场强矢量的相位都不发生改变的电磁波被称为平面电磁波。工频电磁波在海水中传播时满足这一特性。平面电磁波的特点是仅存在2个相互垂直的矢量 $\vec{E}$ 和 $\vec{H}$ 。如果其方向沿着坐标 x, y 轴,则有:

$$E=(E_x, 0, 0), H=(0, H_y, 0)$$

平面电磁波在有耗媒质中的传播满足下面的电磁方程组:

$$\begin{cases} \nabla \times \vec{E} = -i\omega\mu\vec{H} \\ \nabla \times \vec{H} = j + i\omega\varepsilon\vec{E} \\ \nabla \cdot \vec{E} = 0 \\ \nabla \cdot \vec{H} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

则有:

$$\nabla^2 \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (2)$$

上述方程解的一般形式为

$$H_y = H_0 e^{-k_0 z} \sin(\omega t + k_0 z) \quad (3)$$

式中: $k_0 = k/(1-j) = \sqrt{\omega\mu\sigma/2}$, ω 为电磁波角频率, μ 为介质磁导率, σ 为介质电导率; H_0 为入射波振幅; z 为波阻抗。最终得到海水中电磁波的透射距离公式为:

$$\Delta = 1/\sqrt{\omega\mu\sigma/2} \quad (4)$$

对于海洋介质,一般认为: $\sigma \approx 3.32$ S/m, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m,根据上述公式,对不同频率下的透射距离进行计算。

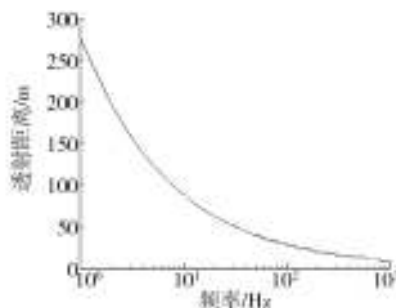


图1 电磁波在海水中的透射距离

Fig. 1 Electromagnetic wave's transmission distance in seawater

从对不同频率的透射距离进行数值计算的结果来看,随着频率的增加,电磁波在海水中的透射距离急剧下降。 $f=50$ Hz的工频电磁波的传播距离为39 m,但这并不是说电磁波在海水中只能传播这么远,上述距离是按幅值衰减为原来的 $1/e$ 基础上得到的。对探测而言,探测距离跟传感器的灵敏度及噪声有很大关系,根据目前传感器的性能,大致可以认为,探测距离可以比上述的透射距离高一个数量级。

2 工频电磁场传播路径分析

文献[2—3]中提到通过海洋中极低频电磁场测量,发现水下电磁场与水深存在一定函数关系。文献中研究的电磁场由雷电等自然现象产生,当这些电磁波在地表传播时,由于陆地和海洋的导电性,它们将产生能量损耗。垂直射入媒质的折射波随传播深度增大,其能量以指数衰减。通过测量水下极低频电磁场,可以发现由于海水自身导电性,电磁波如预期一样在海水中随深度增加而衰减,但是,当极低频电磁波传播至海底时,其能级有时会增大。这种现象表明电磁波有可能沿着海底远离海岸一定距离后,向上传播进入海水。

这里可认为传播入海水中的工频电磁波来源于岸上用电设备。综合上述分析可以认为海水中的电磁场主要通过3个路径进行传播,分别为直接经海水传播、经空气及海底传播后折射入海水中。

2.1 经空气传播的工频电磁波

大气的电导率近似为0,这里可认为电磁波经空

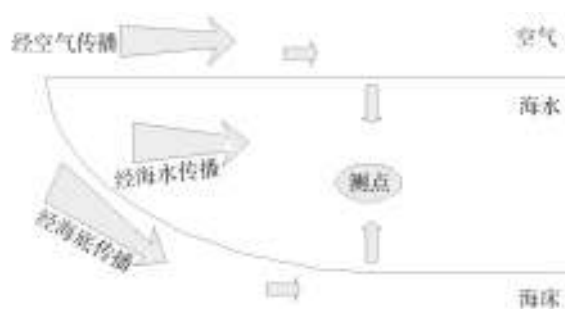


图2 海水中工频电磁波传播路径

Fig. 2 Power frequency electromagnetic wave's propagation path in seawater

气传播时没有衰减,只考虑电磁波在折射到海水中后传播所产生的衰减。

根据麦克斯韦方程组,可以推出浅海中某一深度磁场总场与海洋表面总场比值如下^[4]:

$$\frac{H_s(y)}{H_s(0)} = \frac{\eta_s + \eta_e \tanh \xi_s(D - |y|)}{(\eta_s + \eta_e \tanh \xi_s D)} \cdot \frac{\cosh \xi_s(D - |y|)}{\cosh \xi_s D} \quad (5)$$

式中: y 为实际测量深度;下标 s, e 分别表示海洋和陆地; η_j 为第 j 层的本征阻抗, $\eta_j = i\omega\mu_j/\xi_j$; ε_j 为介电常数; $\xi_j = (-\omega^2\mu_j\varepsilon_j - i\omega\mu_j\sigma_j)^{1/2}$; D 为测量海区深度。可见,依据该式,海水中任意深度处的工频磁场大小可通过海面测量进行粗略估计。

2.2 经海底传播的工频电磁波

一般认为海底沉积物的导电性主要取决于其孔隙度和填充其中的孔隙液,服从阿尔奇(Archie 1942)定律^[5]:

$$\sigma_f = \frac{\Phi^m S^n \sigma_\omega}{A} \quad (6)$$

式中: A 为常量; S 为被水填充的空隙比; n 为饱和度指数; Φ 为空隙率; σ_ω 为空隙水电导率; m 为常数。对于海水饱和的沉积物, $S=1$,通过合理选取 $A=1$, $\Phi=0.5$, $m=1.5$, $\sigma_\omega=3.32$ S/m, 计算后 $\sigma_f=1.17$ S/m。由于海底沉积物的电导率比海水低 1.5 倍,而由前面对电磁波透射距离的分析可知,电磁波的透射距离与电导率的平方根成反比,故将其与大气中电导率相比,可以看出,由海底传播后折射入海水中的磁场强度要远小于由大气折射入海水中的磁场强度。

2.3 经海水传播的工频电磁波

由前述工频电磁波在海水中的透射距离的分析可知,在传播约 39 m 后,其振幅衰减为初始值的 $1/e$ 倍。可以认为在距离岸边一定距离后,海水中的工频电磁波并不是经海水直接传播过来的。

3 海水中工频磁场的快速估计方法及实验验证

通过上述分析,对海水中工频电磁场量级进行估计,不考虑经海水及海底传播部分,采用空气中测量,然后换算到海水中某一深度的方式来实现,换算公式为式(5)。

为了对上述理论进行验证,在大连南部海域同时对海面与海水中的工频磁场进行了测量。测量点距码头 727 m,测量区域海深 36 m,测量点处海深 35 m。根据上述理论,计算得出海水中测点处与海水表面的工频磁场比值约为 0.029 9。

图 3 和图 4 分别为海水中测点处与海水表面的工频磁场总场幅值的测量结果。

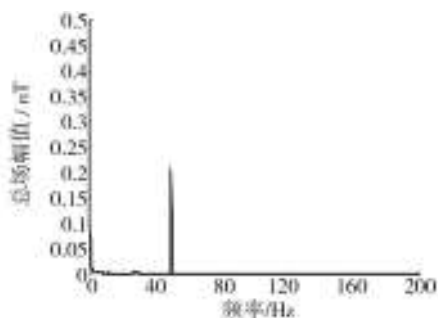


图3 海水中工频磁场分量

Fig. 3 Power frequency magnetic field component in seawater

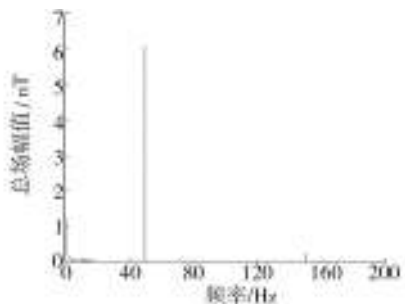


图4 海水表面工频磁场分量

Fig. 4 Power frequency magnetic field component at sea surface

(下转第 108 页)

工艺设计、自动控制设计、电气、电讯、消防等方面提出相关安全防范措施。

根据企业特点建应急组织体系;确定预案分级相应条件;建立应急联络;信息报送及处置机制;与周边企业和园区建立对接及联动,制定报警、通讯联络方式;确定应急监测系统与实施计划,风险污染消除、减缓措施;积极开展培训、演习制度及公众教育;建立环境污染三级防控体系等应急预案。

7 结语

LNG作为一种清洁高效能源,不仅可以使能源结构趋于合理,缓解供需矛盾,而且对于提高城市品位、改善环境、提高人民生活质量和实现经济可持续发展都将起到十分重要的作用。LNG是易燃物质,一旦发生泄漏事故,其经济后果和环境后果不堪设想,因此,对于LNG相关项目的环境影响评价,环境风险评价应作为必不可少的评价重点,但在实际工作中,如何根据导则要求对项目进行风险评价是环评工作者的难点。文中介绍的风险评价实例解决了

导则的实际操作问题,给出了适用于LNG相关项目确定最大可信事故、事故源强的方法以及事故后果的预测模式,可供同行进行参考。

参考文献:

- [1] 国家环保局有毒化学品管理办公室,化工部北京化工研究院环保研究所. 化学品毒性法规环境数据手册[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992:552—610.
- [2] 王箴. 化工辞典[K]. 北京:化学工业出版社,1993:300—379.
- [3] 于力见. 定量风险评价中泄漏概率的确定方法探讨[J]. 中国安全生产科学技术,2007,3(6):27—30.

(上接第96页)

由测量结果得出,海水表面工频磁场总幅值为6.093 nT,根据前面计算得出的比值,对应的海水中的工频磁场幅值约为0.182 nT,可认为其量值接近0.2 nT,而实际测得的海水中工频磁场总场幅值为0.198 nT,与理论结果基本吻合。从最终结果来看,用海水表面的测量结果对海水中工频磁场强度进行大致的量级估计是可行的。

4 结语

文中提出的海水中工频磁场强度的快速估计方法,是利用相应海面上测得的磁场强度,通过理论换算得到设备布放深度的工频磁场强度。通过海上实测数据的验证,认为这种方法切实有效。这种方法操作简单、易于实现,不仅为海洋电磁观测提供了一

种新的手段,也使得海上试验时快速选择测量区域成为可能。

参考文献:

- [1] 陈芸,吴晋声. 海洋电磁学及其应用[J]. 海洋科学,1992(2):19—21.
- [2] 叶贤平,龚沈光. 舰船物理场[M]. 北京:兵器工业出版社,1992.
- [3] SHULEYKIN V V. Electromagnetic Phenomena in the sea [R]. Washington: Joint Publication Research Service, 1970.
- [4] SODERBERG Emil F. A Study of the Distribution of Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Fields in the Ocean Near a Shoreline[M]. London: 1976.
- [5] 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,2009:14—19.