

文章编号:1006-7736(2008)01-0116-03

## 船舶缩比模型轴频电场的传播特征\*

梁成浩<sup>1</sup>, 于楠<sup>2</sup>, 黄乃宝<sup>1</sup>, 吴建华<sup>2,3</sup>

- (1. 大连海事大学 机电与材料工程学院, 辽宁 大连 116026;
2. 大连理工大学 化工学院, 辽宁 大连 116012;
3. 中国船舶工业公司 725 研究所青岛分部, 山东 青岛 266071)

**摘要:**为研究船舶轴频电场的传播特征,采用信号测量系统,测量和分析了船舶缩比模型轴频电场信号.轴频电场沿船方向传播的测试结果表明,轴频电场的空间分布具有区域性:当测量点从螺旋桨附近移至船尾时, $x$ 分量轴频电场信号由较弱逐渐增强至最大幅值, $y$ 分量和 $z$ 分量轴频电场幅值则急剧降低.测量点由船体向外移动时, $x$ 分量轴频电场幅值迅速衰减;测量点移至船长倍数的0.33处时,衰减变得缓慢;测量点继续移至船长倍数的1.65处时,轴频电场特征信号不明显.

**关键词:**船舶缩比模型;轴频电场;传播特征

**中图分类号:**TG174.41

**文献标志码:**A

### Transmission characteristic of shaft-frequency electric field based on ship's physical scale model

LIANG Cheng-hao<sup>1</sup>, YU Nan<sup>2</sup>,  
HUANG Nai-bao<sup>1</sup>, WU Jian-hua<sup>2,3</sup>

- (1. College of Electromechanics and Materials Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;
2. School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116012, China;
3. Qingdao Branch of Luoyang Ship Material Research Institute, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Transmission characteristic of shaft-frequency electric field based on a ship's physical scale model was analyzed using signal measurement system. The results indicate that the spatial distribution of shaft-frequency electric field has regional characteristic when transmitting along the ship. During the process when measuring point moves from propeller to stern,  $x$ -axis shaft-frequency electric field changes from feebleness to the strongest whereas that of  $y$ -axis and  $z$ -axis reduces sharply. The shaft-frequency electric field signal of  $x$ -axis reduces sharply when the electrode is shifted from hull to its outside region. The attenuation slows down while the removed distance exceeds 0.33 times of the ship length. The shaft-frequency electric field

signal of  $x$ -axis becomes indistinct as the removed distance reaches 1.65 times of the ship length.

**Key words:** ship's physical scale model; shaft-frequency electric field; transmission characteristic

## 0 引言

海水是一种很强的腐蚀性介质,船舶处于海洋环境时,钢质船体不可避免地要发生腐蚀<sup>[1-2]</sup>.为保护船体不受腐蚀,除采用涂层防腐外,还采用阴极保护系统,包括牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护.

电化学腐蚀和阴极保护作用电流中的一部分经海水从船壳流向螺旋桨,然后通过轴承、轴套和机械回路返回到船壳.此回路的电阻随着螺旋桨的旋转而发生周期性的变化,从而使流经海水的电流受到调制<sup>[1-2]</sup>,产生与腐蚀相关的船舶轴频电场,由船体向外辐射.

缩比模型船模电场测试发现<sup>[3]</sup>,船模轴频电场是由于螺旋桨转动调制腐蚀电流和阴极保护电流而产生的,是以螺旋桨转动速率为基频的低频电场.螺旋桨转动时,存在以6 Hz为基频呈周期性变化的轴频电场,且其频率和轴转动速率及其倍数相同.然而,关于船舶轴频电场传播过程的研究报道较少.本文采用National Instrument(美国NI公司)信号采集系统,以LabVIEW 7.1为平台<sup>[4]</sup>,通过测量和分析船舶缩比模型轴频电场信号,探讨船舶轴频电场传播特征.

## 1 实验材料与方法

### 1.1 船舶模型

\* 收稿日期:2007-06-30.

作者简介:梁成浩(1951-),男,辽宁西丰人,教授,博士生导师,E-mail:liangch@ncwmail.dlmu.edu.cn

船体、舵及减摇鳍采用厚度为 1 mm 的低碳钢 Q235-A 船体钢板,船体焊接材料采用 Q235-A 焊条;轴采用直径为 6mm 的 Q235-A 圆钢;螺旋桨采用高锰铝青铜;美人架采用 Q235-A 钢及锡黄铜 HSn62-1.

实验用船舶模型依据某型号船舶 1:100 比例缩小制造<sup>[5-6]</sup>,同时模拟实际船体螺旋桨和轴接地的设计,船模长度为 1.36 m. 船模只限于船体及螺旋桨的模拟,没有考虑上层建筑的模拟,采用装饰性甲板. 船体从船首到船尾按照肋骨由 0# 至 250# 依次进行编号. 船模甲板边线配有船舷肋骨号刻度标尺以用于船体表面的具体区域定位. 其中,0#~180# 肋骨区域为船首区,180#~250# 肋骨区域为船尾区. 螺旋桨的每个轴上加装 4 个铜滑环,每个铜滑环按 90° 安装 2 个碳刷,实现轴接地. 螺旋桨转动过程是以无线遥控操作完成的,并由直流电动机带动其旋转,转速为 180~360 r/min 且无极连续可调.

外加电流阴极保护恒电位仪给定电位为 -0.85 V(vs. Ag/AgCl 参比电极),辅助阳极为带有托架的铂铌丝,参比电极为 Ag/AgCl 电极.

### 1.2 轴频电场测量

轴频电场测量系统由电场传感器和信号测量模块组成<sup>[7]</sup>. 将已连接好同轴电缆的 Ag/AgCl 三轴电极安装在由绝缘塑料做成的电极支架上,电极之间的距离为 30 cm,电极位置在支架上可调,并使其取向与 3 个坐标轴方向一致. 将电极同轴电缆连接到轴频电场测量系统的 SCXI-1313 信号接线端子的输入端,采用 3 通道差分输入,输入电压为 -0.5~0.5 V;信号调理电路带通滤波,其带宽为 1~30 Hz,整个电路放大倍数为 200 倍;设定采样频率为 1000 Hz.

轴频电场的实测工作在某大学实验室内利用船模在水池内完成. 无磁性实验水池的长、宽、深分别为 8.5 和 1.5 m. 在水池中注入 0.6 m 深的水,倒入海盐,测得其电导率为 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 1.3 轴频电场传播特征的测定

本实验中将电极安装在可拖曳移动的支架上(图 1),设电极之间的距离为 30 cm. 螺旋桨转动速率为 360 r/min,改变三轴电极不同位置测量轴频电场的传播特性.

为研究轴频电场沿船方向的传播规律,将 Ag/AgCl 三轴电极从船尾向船首移动,测量轴频电场. 同时,轴频电场远离船体向外的传播,通过移动三轴电极逐渐远离船体,测量了  $x$  分量轴频电场.

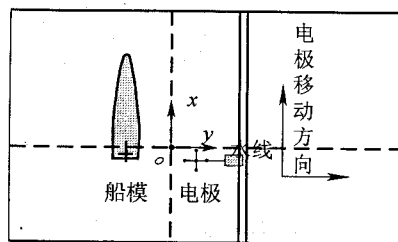


图 1 水池中船模和测量电极布放俯视图

## 2 结果与讨论

### 2.1 轴频电场沿船方向传播

图 2~8 分别为螺旋桨转动速率为 360 r/min, 恒电位 -0.85 V 时,测试点 (-22.5 cm, 0, 50 cm)、(-15 cm, 0, 50 cm)、(0, 0, 50 cm)、(25 cm, 0, 50 cm)、(50 cm, 0, 50 cm)、(75 cm, 0, 50 cm) 和 (100 cm, 0, 50 cm) 船模的轴频电场. 以上测试点  $x$  分量确定的位置分别对应船体 245# (螺旋桨正下方)、230#、200# (船尾)、150#、100#、50# 和 0# 肋骨 (船首).

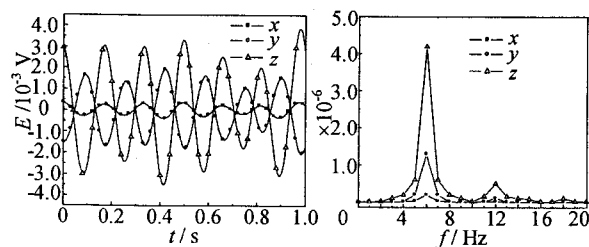


图 2  $x = -22.5 \text{ cm}$  (245#) 的轴频电场

实验结果表明,在 Ag/AgCl 三轴电极从船尾向船首移动过程中,船模轴频电场三分量的幅值变化呈现一定的规律性. 即随着电极向船首移动,  $x$  分量轴频电场先增大后减小,在电极位于 200# 肋骨处,轴频电场出现最大幅值,约为 1.5 mV (图 4). 随着电极向前移动,轴频电场幅值逐渐下降,当移至船首区 0# 肋骨处 (图 8),  $x$  分量轴频电场降为 0.4 mV, 已经没有显著的电场频率特征.

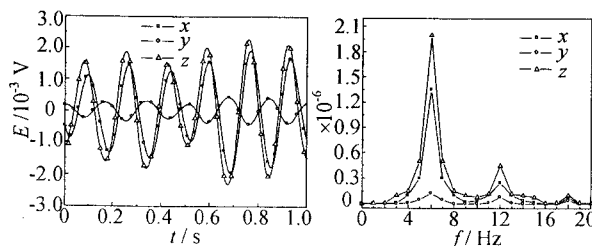


图 3  $x = -15 \text{ cm}$  (230#) 的轴频电场

$y$  分量和  $z$  分量轴频电场的传播规律不同于  $x$  分量,即轴频电场在螺旋桨下方时 (图 2),  $y$  分量和  $z$  分量幅值最大,分别为 1.7 mV 和 3.0 mV. Ag/

AgCl 三轴电极自螺旋桨下向 200# 肋骨处移动的过程中,轴频电场幅值迅速降低.在 230# 肋骨处(图 3), $y$  分量和  $z$  分量最大幅值分别为 0.3 mV 和 1.9 mV;而在 200# 肋骨处(图 4), $y$  分量和  $z$  分量最大幅值分别降至 0.2 mV 和 0.3 mV.此后电极向船首移动时,轴频电场幅值衰减速度缓慢,电极移至船首区 0# 肋骨处(图 8)时,已经没有显著的频率特征.

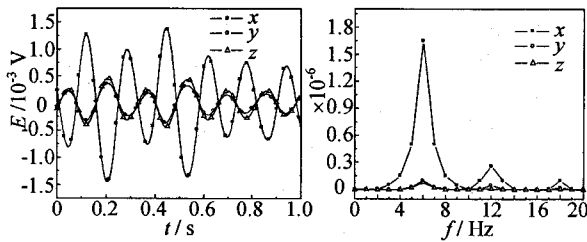


图 4  $x=0$  cm(200#)的轴频电场

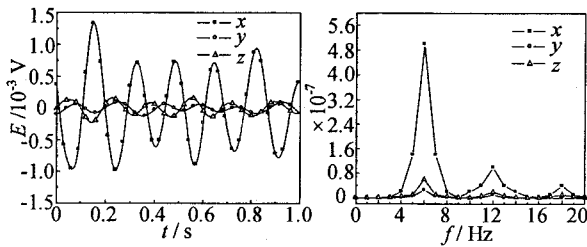


图 5  $x=25$  cm(150#)的轴频电场

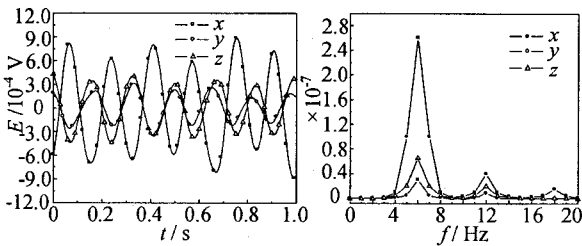


图 6  $x=50$  cm(100#)的轴频电场

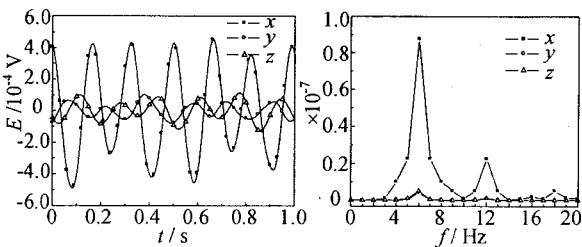


图 7  $x=75$  cm(50#)的轴频电场

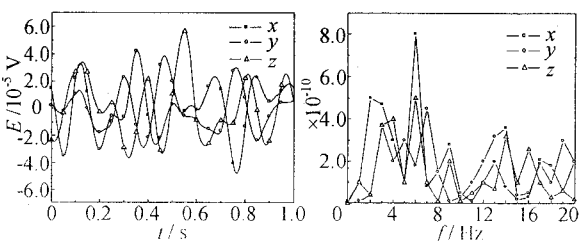


图 8  $x=100$  cm(0#)的轴频电场

### 2.2 轴频电场远离船体向外传播

测试点(0, 0, 50 cm)、(0, 45 cm, 50 cm)、(0, 90 cm, 50 cm)、(0, 135 cm, 50 cm)、(0, 180 cm, 50 cm)和(0, 225 cm, 50 cm)位置(即对应船体船尾 200# 肋骨处)的  $x$  分量轴频电场如图 9 所示. $x$  分量轴频电场的幅值随着 Ag/AgCl 三轴电极与船体之间距离的增大而减小.在电极靠近船体时,幅值最大为 1.5 mV;当电极移至船体船长倍数 0.33 处(45 cm),轴频电场幅值迅速衰减,此时幅值降为 0.5 mV.此后,三轴电极向远离船体方向移动时,轴频电场幅值衰减速度缓慢,当电极移至船长倍数 1.65 (225 cm)处时,已经没有显著的频率特征.

按照实船 1:100 缩比模型理论,因螺旋桨调制防腐蚀电流而产生的轴频电场在船模周围水域能够传播 225 cm.由此可推测,实船的轴频电场能够传播 225 m,远离此区域海水中轴频电场特征不明显.

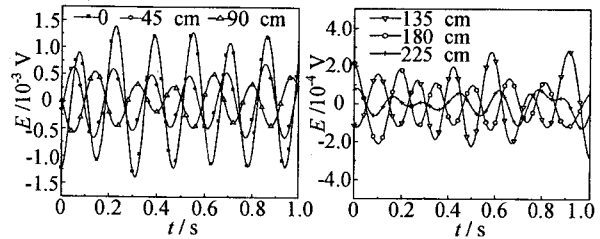


图 9 距离船体不同距离的  $x$  分量轴频电场

### 3 结论

(1)采用船体 1:100 缩比模型对轴频电场传播特征进行表征,是一种方便、有效的方法,为轴频电场的检测和评估提供了新途径.

(2)轴频电场沿船方向传播的测试显示,轴频电场的空间分布具有区域性.在螺旋桨附近测量点的  $x$  分量轴频电场信号较弱,而船尾测量点的电场幅值最大,船首测量点的轴频电场特征信号不明显.

(3)测量点移至船尾时, $y$  分量和  $z$  分量轴频电场急剧下降,之后逐渐减小,到达船首时轴频电场特征信号不明显.

(4)测量点由船体向外移动时, $x$  分量轴频电场幅值开始迅速衰减;测量点移至船长倍数 0.33 处时,衰减变得缓慢;测量点移至船长倍数 1.65 处时,轴频电场特征信号不明显.

#### 参考文献:

[1] THOMAS E D, DAHELE J S. Ship impressed current cathodic protection modulations of system current outputs by propeller/shaft rotation on physical scale model hull[J]. British Corrosion Journal, 2000, 35(4): 269-272.

- [2] AKMAH A O, DAHELE J S, THOMAS E D. Effect of warship impressed current cathodic protection configuration on low frequency current output modulations associated with propeller/shaft rotation[J]. *British Corrosion Journal*, 2002, 37(2):114-116.
- [3] PARKS A R, THOMAS E D, LUCAS K E. Physical scale modeling verification with shipboard trials [J]. *Materials Performance*, 1991, 30(5): 26-29.
- [4] 石博强,赵德永,李 畅,等. LabVIEW6.1 编程技术实用教程[M].北京:中国铁道出版社,2002.
- [5] TIGHE-FORD D J, RAMASWAMY S. The use of stylized physical scale models for studying the impressed current cathodic protection of ships[J]. *Corrosion Prevention and Control*, 1988, 10:122-127.
- [6] DITCHFIELD R W, MCGRATH J N, TIGHE-FORD D J. Theoretical validation of the physical scale modelling of the electrical potential characteristics of marine impressed current cathodic protection[J]. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1995, 25(1): 54-60.
- [7] ZAMANI N G. Boundary element simulation of the cathodic protection system in a prototype ship[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 1988, 26: 119-123.