

船舶腐蚀相关电磁场特征仿真研究

陆璐, 邢少华, 闫永贵, 吴建华

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所 海洋腐蚀与防护国防科技重点实验室, 山东 青岛 266101)

摘要: 随着电磁探测技术的提高和电磁引信水雷的开发应用, 腐蚀相关电磁场成为影响船舶隐身性能和安全性的重要因素。针对目前没有系统的关于船体无保护、外加电流保护和牺牲阳极保护导致的稳态电场和腐蚀相关磁场特征研究的现状, 采用数值仿真技术模拟了上述3种条件下的稳态电场和腐蚀相关磁场特征。研究表明, 不同保护状态导致的腐蚀相关电磁场具有各自特征, 且外加电流导致的腐蚀相关电磁场最强, 牺牲阳极保护次之, 无保护时腐蚀相关电磁场最小。

关键词: 船舶; 腐蚀相关电磁场; 阴极保护; 计算机仿真

中图分类号: TG174.41; TP391.9 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)01-0024-05

Simulation Study on Corrosion Related Electromagnetic Field of Ship

LU Lu, XING Shao-hua, YAN Yong-gui, WU Jian-hua

(State Key Laboratory for Marine Corrosion and Protection, Luoyang Ship Material Research Institute, Qingdao 266101, China)

Abstract: Due to development of electromagnetic field detection technology and application of intelligent mine, corrosion related electromagnetic field has serious influence on stealth and safety of ship. In order to comparatively study the characteristics of electromagnetic field when there was no cathodic protection, the ship was protected by impressed current cathodic protection and sacrificial anode respectively. Computer simulation technology was tentatively used to calculate the strength of electric and magnetic field. Simulation results showed that corrosion related electromagnetic field has its own unique characteristics, and the electromagnetic field induced by impressed current cathodic protection was the strongest one, and the electromagnetic field induced by sacrificial anode was stronger than that when there was no cathodic protection.

Key words: ship; corrosion related electromagnetic field; cathodic protection; computer simulation

船舶在海水中航行, 船体不可避免地会受到海水腐蚀, 特别是螺旋桨和船体间的电偶腐蚀会明显加速船体的腐蚀速度。为保护船体免受海水腐蚀, 普遍采用涂层联合阴极保护的方式对船体实施保护, 阴极保护又分为外加电流保护和牺牲阳极保护。腐蚀或阴极保护电流在流经的海水中建立了电

收稿日期: 2010-07-18

作者简介: 陆璐(1985—), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为腐蚀与防护。

场,稳态的电场可以感应稳态的磁场,交变的电场感应交变的磁场^[1]。因此,腐蚀或阴极保护会在船舶周围产生电磁场,称之为腐蚀相关电磁场。腐蚀相关电磁场主要包括轴频电磁场、工频电磁场、稳恒电场和腐蚀相关磁场。

腐蚀相关电磁场是船舶电磁场的主要组成部分。近几十年,随着船舶消声技术的提高和电磁场探测技术的发展,腐蚀相关电磁场成为船舶定位的重要信号源^[2-3],因此研究不同保护状态下腐蚀相关电磁场的特征具有重要意义。研究^[4-6]表明,船舶采用外加电流保护时,稳态电场和腐蚀相关磁场特征与辅助阳极的安装位置密切相关。无阴极保护状态和牺牲阳极保护状态下,稳态电场和腐蚀相关磁场特征鲜见报道。

以某型船舶为研究对象,采用边界元法对比研究船体无阴极保护、外加电流保护和牺牲阳极保护时的稳态电场和腐蚀相关磁场特征,为稳态电场和腐蚀相关磁场控制研究提供理论基础。

1 实验

1.1 仿真模型

以某船为研究对象,根据该船的型值表建立的外加电流阴极保护系统边界元模型如图1a所示,牺牲阳极保护模型如图1b所示。定义船身方向为 x 方向,船艏至船艉方向为正方向;垂直于船身方向为 y 方向;垂直于海平面方向为 z 方向,指向海底方向为正方向。外加电流保护系统为单区四辅助阳极保护系统,其中2组辅助阳极对称安装于 $x=71\text{ m}$ 和 $x=116\text{ m}$ 处,参比电极安装于 $x=92\text{ m}$ 处。牺牲阳极保

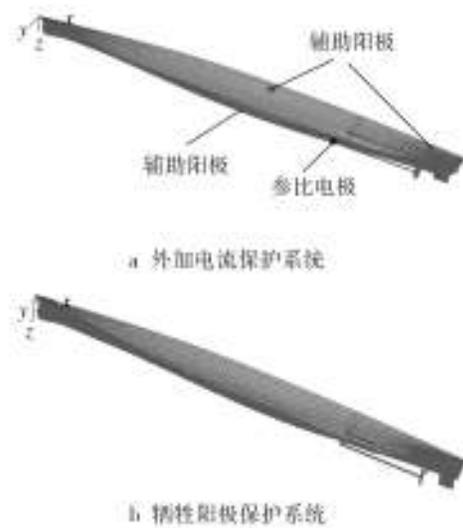


图1 船舶数值模拟模型
Fig. 1 Numerical model of ship

护系统由50块 $400\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 35\text{ mm}$ 的Al-Zn-In系牺牲阳极组成。船体涂覆防腐防污涂层,而轴和螺旋桨由于旋转引起的湍流作用在建模过程中被视为无涂层保护。假设距离船舶20倍船舶长度处为无穷边界,即法向电流密度为0,海平面处法向电流密度同样为0。

1.2 边界条件

船舶阴极保护电位和腐蚀相关电磁场分布模拟仿真的边界条件如图2所示。图2的曲线由电化学工作站PAR2273测得,测试过程中采用三电极体系:参比电极为饱和甘汞电极;辅助电极为铂铌丝电极;船体极化曲线测试工作电极为带涂层的低碳钢,工作面积为 15 cm^2 ,轴、螺旋桨和牺牲阳极极化曲线测试工作电极分别为低碳钢、镍铝青铜和Al-Zn-In系牺牲阳极,工作面积都为 1 cm^2 。电位仿

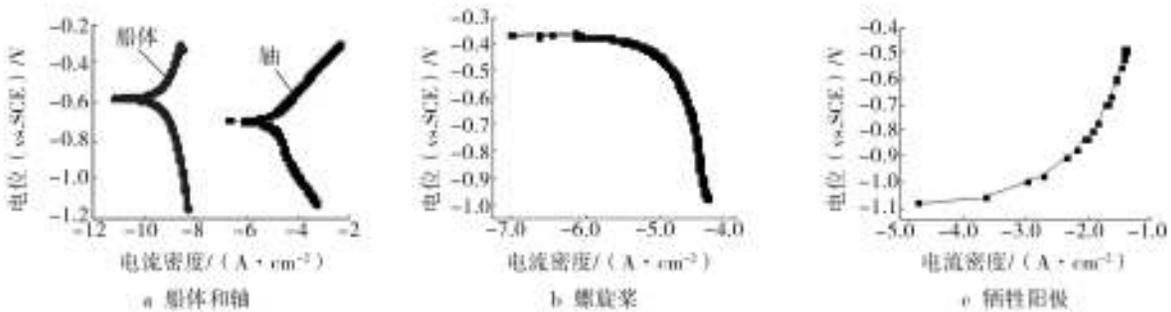


图2 数值仿真边界条件

Fig. 2 Boundary condition of numerical simulation

真过程中将图2a中船体极化曲线作为船体电位计算的已知条件,图2a中轴极化曲线作为轴电位计算的已知条件,图2b的曲线作为螺旋桨电位计算的已知条件,图2c的曲线作为牺牲阳极输出电流的已知条件。在距离船体中线横向10 m和 underwater 5 m处沿船身方向间隔0.5 m插入内点,计算由腐蚀或阴极保护导致的稳态电场和腐蚀相关磁场强度,内点起点为(-150, 10, 5),终点为(250, 10, 5),共插入801个点。

2 仿真结果

2.1 电位分布仿真结果

无阴极保护条件下,螺旋桨与轴、船体组成电偶对,发生电偶腐蚀。其中船体、轴为阳极(图2a所示的阳极极化曲线为边界条件),螺旋桨为阴极(图2b所示的极化曲线为边界条件),计算得到船体电位分布如图3所示。由图3可知,船体的电位范围为-455 ~ -527 mV,船体艏部和轴被明显阳极化,腐蚀加速;螺旋桨电位范围为-433 ~ -466 mV,得到一定保护。



图3 无保护状态船体表面电位分布
Fig. 3 Potential distribution without protection

外加电流保护状态,参比电极控制电位为-850 mV时,船体保护电位分布如图4所示,在x=71 m和x=116 m处单支辅助阳极的输出电流分别为2.7 A和5.3 A,即共需16 A的保护电流。由仿真模拟结果可知,当参比电极电位为-850 mV时,船体保护电位范围为-818 ~ -909 mV,船体得到良好保护;螺旋桨保护电位为-810 ~ -870 mV,螺旋桨亦同样得到良好保护。因此,该外加电流保护系统可对船体起到良好的保护作用。

牺牲阳极保护时,船体保护电位分布如图5所



图4 外加电流保护状态船体电位分布
Fig. 4 Potential distribution with ICCP

示。由仿真结果可知,采用50支400 mm × 100 mm × 35 mm的Al-Zn-In系牺牲阳极对船体实施保护后,船体保护电位为-905 ~ -995 mV,螺旋桨的保护电位为-850 ~ -890 mV,船体和螺旋桨都得到良好保护。螺旋桨附近的保护电位明显正于船体其它部位的保护电位,且电位梯度要明显大于其它部位的电位梯度。



图5 牺牲阳极保护状态船体电位分布
Fig. 5 Potential distribution with SACP

2.2 稳态电场仿真结果

不同保护状态,船舶周围稳态电场特征仿真结果如图6所示。由于船体和轴在海水中的开路电位约为-700 mV,而螺旋桨在海水中的开路电位为-350 mV,两者之间存在明显的电位差,造成船体艏部的电位梯度较大,发生电偶腐蚀并伴随着电偶腐蚀电流流动,因此,无保护时稳态电场最大值出现在螺旋桨位置附近。此外,在船艏附近,出现1个小的特征峰,但强度较艏部电场和磁场强度要弱很多。

由图6可知,外加电流保护导致的稳态电场特征明显不同于无阴极保护时的稳态电场特征,外加电流保护状态下,稳态电场的特征峰数量与辅助阳极组数相同,且位置与辅助阳极位置相同,即2组特

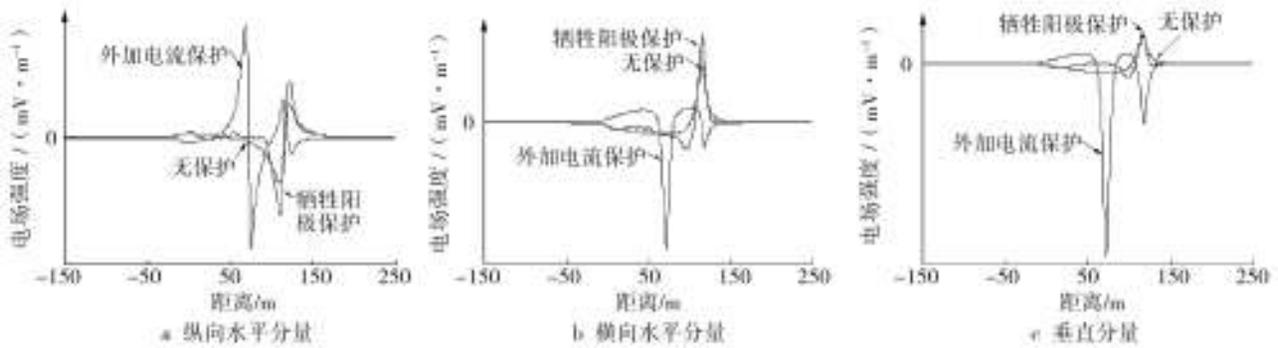


图6 不同状态船舶稳态电场特征(y=10 m, z=5 m)

Fig. 6 Characteristics of static electric field with different protection means(y=10 m, z=5 m)

征峰出现在 $x=71\text{ m}$ 和 $x=116\text{ m}$ 附近。稳态电场的最大值出现在船体舳部,即 $x=71\text{ m}$ 附近,强度要明显强于无保护状态时电偶腐蚀导致的稳态电场强度。

牺牲阳极保护导致的稳态电场最大值同样出现在螺旋桨附近,在艏部和舳部,稳态电场特征呈现锯齿状波动特征。牺牲阳极保护导致的稳态电场强度介于外加电流保护和无保护之间。

2.3 腐蚀相关磁场仿真结果

无保护状态电偶腐蚀、外加保护和牺牲阳极保护导致的腐蚀相关电磁场特征如图7所示。无保护状态下,由于电偶腐蚀导致的船艏电流密度明显大于其它部位的电流密度,艏部磁场强度明显强于其它部位的磁场强度;在船艏附近,腐蚀相关磁场出现1个峰值较小的特征峰。

外加电流保护导致的腐蚀相关磁场的数量和位置亦与外加电流保护系统辅助阳极数量和位置相关,磁场最大值出现在船体舳部辅助阳极位置。外加电流保护导致的腐蚀相关磁场强度强于无保护时的磁场强度。

牺牲阳极保护导致的腐蚀相关磁场强度介于无保护和外加电流保护之间,在船艏和船舳位置,腐蚀相关磁场呈锯齿状波动特征。

3 分析与讨论

船体无保护时,由于船体和螺旋桨组成电偶腐蚀对,产生腐蚀电流,引起船体艏部存在明显的电位差,因此无保护时螺旋桨附近的稳态电场和腐蚀相关磁场强度要明显强于其它位置。牺牲阳极保护时,由于牺牲阳极驱动电位明显小于外加电流保护时的驱动电位,螺旋桨所需阴极保护电流大且螺旋桨距离牺牲阳极远,因此牺牲阳极保护时,螺旋桨保护电位要正于船体保护电位,艏部同样存在较大的电位梯度,导致艏部的稳态电场强度和腐蚀相关磁场强度要明显强于其它部位。在船体的舳部和舳部,牺牲阳极附近的保护电位相对较负,而距离牺牲阳极较远的地方保护电位相对较正,随着牺牲阳极的间隔布置稳态电场呈现锯齿状波动特征。外加电流保护时,由于辅助阳极驱动电压高、输出电流量大、保护距离远,螺旋桨与

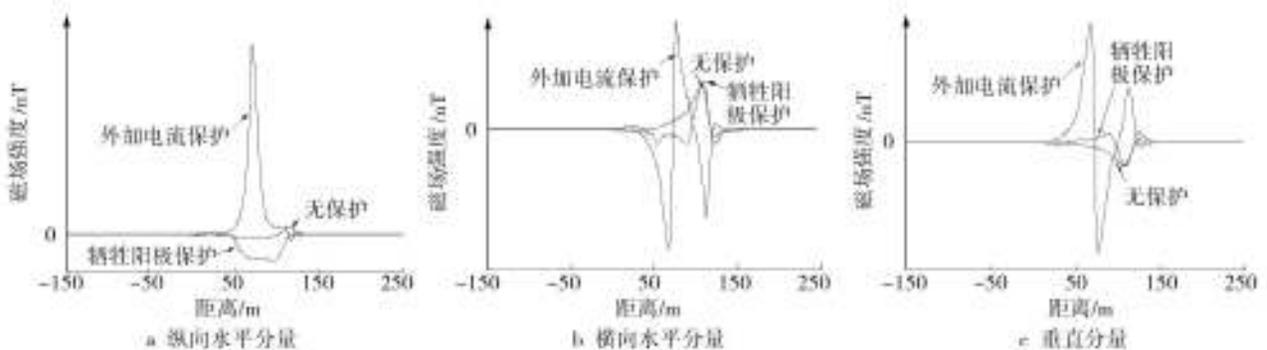


图7 不同状态船舶腐蚀相关磁场特征(y=10 m, z=5 m)

Fig. 7 Characteristics of static magnetic field with different protection means(y=10 m, z=5 m)

船体间电位差显著减小;船体舳部辅助阳极由于需要保护船艏等较远部位船体,驱动电压较高,因此外加电流保护时,船体舳部的稳态电场强度和腐蚀相关磁场强度要明显强于船体艏部稳态电场和腐蚀相关磁场强度。由于辅助阳极附近电位梯度和电流密度均较大,因此,外加保护导致的稳态电场和腐蚀相关磁场的特征峰位置与辅助阳极的安装位置相关。对比3种状态下的稳态电场和腐蚀相关磁场强度可知,外加电流保护导致的稳态电场和腐蚀相关磁场强度最强,牺牲阳极保护次之,无保护时的稳态电场和腐蚀相关磁场强度最小。

4 结 论

外加电流保护导致的腐蚀相关电磁场强度要明显强于牺牲阳极保护导致的腐蚀相关电磁场强度,而牺牲阳极保护导致的腐蚀相关电磁场强度要稍强于无保护时由于电偶腐蚀导致的腐蚀相关电磁场强度。

无保护和牺牲阳极保护时,稳态电场和腐蚀相关磁场最大值出现在船体艏部,并呈现窄尖峰特征;而在船体舳部和舳部,牺牲阳极保护时稳态电场和腐蚀相关磁场呈现锯齿波动特征。

外加电流保护系统导致的稳态电场和腐蚀相关

磁场的特征峰数量与辅助阳极对数量相同,且船体舳部的腐蚀相关电磁场强度要强于船体艏部的腐蚀相关电磁场强度。

参考文献:

- [1] JEFFREY I, BROOKING B. A Survey of New Electromagnetic Stealth Technologies[C/OL]//Signature Management——The pursuit of stealth[2001-02-22]. http://www.wrddavis.com/docs/pub/lowering_warship_signatures.pdf. 余不详
- [2] 程锦房, 龚沈光. 电场引信的动作判据分析[J]. 海军工程大学学报, 2003, 15(4): 27-30.
- [3] 邓涛. 认识和利用腐蚀相关的磁场[J]. 水中兵器, 2003(3): 58-61.
- [4] SANTANA-DIAZ E, ADEY R, BAYNHAM J, et al. Optimisation of ICCP Systems to Minimise Electric Signatures[C/OL]//7th International Marine Electromagnetics conference [2001-06-23]. <http://www.beasy.com/images/pdf/publications/papers/marelec2001.pdf>. 余不详
- [5] ADEY R, BAYNHAM J. Predicting Corrosion Related Electrical and Magnetic Fields using BEM[C/OL]//UDT Europe 2000[2003-05-23]. <http://www.beasy.com/images/pdf/publications/papers/UDT2000.pdf>. 余不详
- [6] SANTANA-DIAZ E, ADEY R. Optimisation of the Performance of an ICCP System by Changing Current Supplied and Position of the Anode[M]. Southampton UK: WIT Press, 2003: 1-16.

(上接第23页)

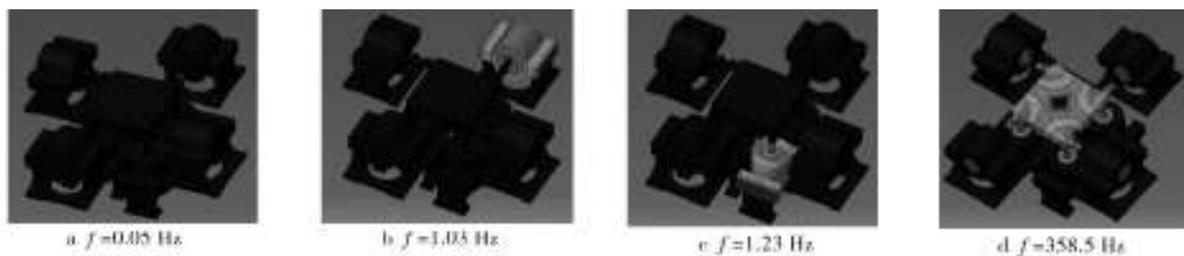


图3 振动平台系统模态
Fig. 3 Modes of vibration platform system

4 结 论

三轴六自由度振动试验系统是当前国际上最为复杂和先进的试验系统之一,该系统的建立非常复杂,存在极大的技术难度。文中探讨了有限元分析方法在三轴六自由度系统建立上的初步应用,实例计算结果表明,有限元方法可以为振动台面的优化和整个振动系统的设计提供很好的技术支撑。对于

整个试验系统的建立还需引进振动虚拟试验方法以对其作更深入的研究。

参考文献:

- [1] MIL-STD-810G, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [2] 隋允康, 杜家政, 彭细荣. MSC Nastran有限元动力分析与优化设计使用教程[K]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 万晓峰, 刘岚. LMS Virtual LabMotion入门与提高[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010.