

## 基于 FEKO 的舰船间短波电磁耦合仿真分析

石昕阳<sup>1,2</sup>, 宋东安<sup>1,2</sup>, 易学勤<sup>1,2</sup>, 轩辕韵佳<sup>1,2</sup>

(1. 电磁兼容性国防科技重点实验室, 武汉 430064; 2. 中国舰船研究设计中心, 武汉 430064)

**摘要:** 舰船之间的短波电磁干扰比单舰系统内的同类干扰复杂得多, 这种复杂性与舰船数量、舰型以及队形配置密切相关。利用 FEKO 软件, 仿真分析了多艘舰船组成横队时的短波电磁干扰特性。预测结果表明, 横队短波电磁干扰沿队形主轴呈带状分布, 位于横队中部的舰船易受到左右邻舰的短波电磁干扰, 这种干扰随着舰间距的增大而减小。

**关键词:** FEKO; 舰船; 短波电磁耦合; 仿真

**中图分类号:** O411; TP391.9      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2011)01-0015-03

## Simulation of Shortwave Electromagnetic Coupling Effects among Ships Based on FEKO

SHI Xin-yang<sup>1,2</sup>, SONG Dong-an<sup>1,2</sup>, YI Xue-qin<sup>1,2</sup>, XUANYUAN Yun-jia<sup>1,2</sup>

(1. National Defense Key Lab. of EMC, Wuhan 430064, China;  
2. China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** Compared to single warship, shortwave electromagnetic interference effect between ships is more complex, which is closely related to the number and type of ships and the formation disposition. Shortwave electromagnetic interference characteristics of a transverse warship formation were simulated and analyzed with FEKO. The results showed that the shortwave EMI effect along the axis of transverse formation performs a zonary distribution; the middle ship is vulnerable to the shortwave electromagnetic interference from the neighborhood ones; it reduces as the distance between the ships increases.

**Key words:** FEKO; warship; shortwave electromagnetic coupling; simulation

实现跨平台的多舰艇联合作战是现代海战的基本特征, 短波电磁耦合干扰是影响多舰系统间电磁兼容性的主要因素之一<sup>[1]</sup>。与单舰相比, 舰船间的短波电磁耦合干扰在种类和恶劣程度上显得更为复

杂, 这种复杂性与舰船数量、舰型以及队形配置密切相关。从舰船电磁兼容的角度来看, 舰船与舰船之间的短波电磁耦合干扰不仅有类似于单舰的近场耦合干扰, 还存在远场耦合。

收稿日期: 2010-11-06

基金项目: 国防科技预研项目(51447020103ZS2503)

作者简介: 石昕阳(1985—), 男, 湖北黄梅人, 硕士, 研究方向为电磁兼容预测与仿真。

舰船与舰船间的短波电磁干扰问题可归结为多个特电大尺寸目标的电磁散射和辐射问题。在文献[2-3]中,众多学者采用矩量法(MOM)和时域有限差分方法(FDTD),只停留在对单舰舰载短波天线的辐射场及其与舰船之间的电磁作用进行研究,很少就舰船之间的短波天线电磁耦合效应进行定性和定量的研究。笔者利用基于多层快速多极子(MLFMM)方法<sup>[4]</sup>的电磁仿真软件FEKO,以3舰组成横形队为例,对舰船之间的短波电磁耦合效应进行了预测仿真和定性分析。

### 1 电磁模型的建立

FEKO软件基于矩量法和多层快速多极子技术,快速高效,宜于对电大尺寸进行建模,是一种用于复杂结构电磁场分析的仿真工具。笔者利用该软件对某舰进行几何建模并进行表面三角形网格剖分。

图1为某舰三维实体模型表面网格的剖分效果。图2为3舰船构成横形队的三维实体模型表面网格剖分效果。由于舰载短波天线尺寸相对于船体和上层建筑来说很小,对该舰进行三角形网格剖分时,要分段分块进行剖分,而不能直接设置为FEKO软件的默认值。另一方面,将海面等效为无限大理想导电面处理,其优点在于无限大理想导电平面相当于镜像平面,对计算结果贡献不大且船体在水下的部分和海面被船体覆盖的部分是不可见的,在计算2舰组成的横形队与海面的复合电磁辐射时,可以将海面和横形队视为整体,从而有效地对电磁波在多舰船目标与海面之间的相互作用进行仿真。

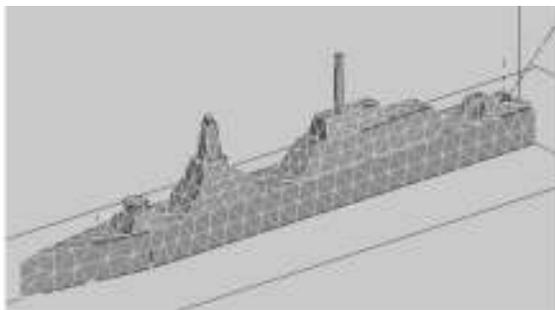


图1 某舰三维实体模型表面网格剖分效果  
Fig. 1 Model of a warship with mesh



图2 3舰组成横形队的三维实体模型表面网格剖分效果  
Fig. 2 Model of a transverse warship formation composed of three ships with mesh

### 2 舰船间短波电磁干扰效应分析

多舰船之间的短波电磁干扰与舰船数量、舰型以及队形配置密切相关,不仅存在近场耦合干扰,还存在远场耦合干扰。下面对图2所示的横形队的电磁干扰耦合特性进行定性分析。

如图3所示,3舰组成横队,“接收区”和“发射区”是针对舰船上的短波通信系统而言的。舰载短波接收天线一般布置在舰艏,发射天线一般布置在舰艉。从整体上看,横队电磁干扰的分布沿队形主轴呈带状,该区域随着多舰系统的整体运动而变动。在这个区域中电磁干扰强度是以每艘舰为中心向四周辐射并逐渐减弱的。

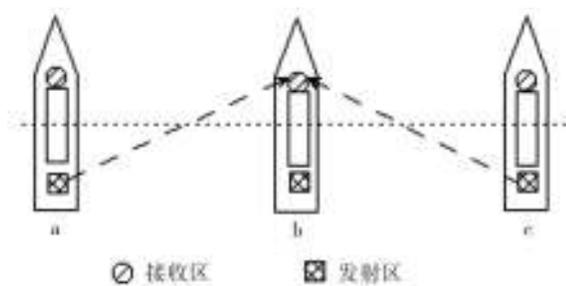


图3 3舰组成横队的短波电磁干扰途径示意  
Fig. 3 Diagrammatic sketch of shortwave EMI for transverse warship formation composed of three ships

另一方面,横形队中各舰船向舰艏和舰艉方向辐射的电磁波不会干扰到其它舰船,但向两舷侧辐射的电磁波会对相邻舰船产生电磁干扰。由于a,c 2舰对称分布于b舰两侧,b舰对a舰或c舰的电磁干扰可以认为也呈现对称分布。

### 3 实例分析

利用FEKO软件中的MLFMM算法对a,b 2舰船的短波天线方向图进行仿真计算。通过比较不同舰间距条件下的横队短波方向图与单舰条件下的方向图,可以分析预测舰船之间的短波电磁干扰效应。

假设图3中a舰和b舰舰型完全相同,a舰舰的短波天线作发射天线,b舰舰的短波天线作接收天线。图4给出了频率为5 MHz时,舰间距 $L$ 为50 m和500 m时的横队短波天线方向图与单舰短波天线远场方向图的对照,实线为单舰(a舰)短波天线的远场方向图,虚线为横队短波天线的远场方向图。

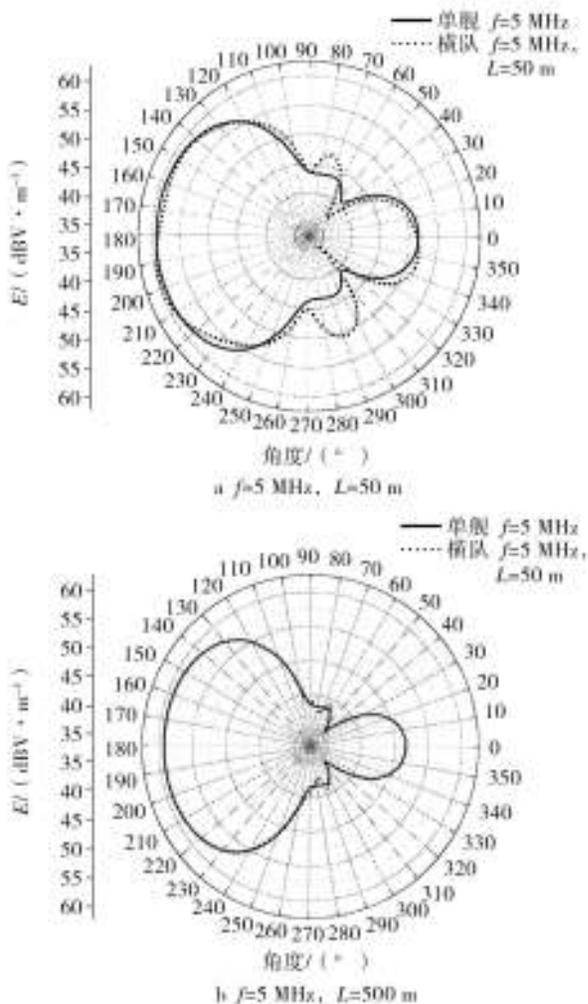


图4 横队短波天线方向图与单舰短波天线方向图的对照  
Fig. 4 Patterns of shortwave antenna mounted on single ship and transverse formation

图4中的 $0^\circ$ 和 $180^\circ$ 分别对应横队中舰船的舰艏和舰艉方向,可见舰艏方向的方向图不再是一个圆,而是随着方位角的变化而变化,且舰艏方向上短波天线的发射能力与其它方向相比明显减弱。另外,横队中,短波方向图在舰船的两侧有较大的辐射,这说明当a舰或c舰在b舰两侧时,易受到b舰船的电磁干扰。反之,a,c舰也会对b舰产生干扰,这就是横队各舰船之间电磁干扰的横向效应。

由图4可知,短波天线相同频率发射时,当两舰船之间的距离增大到500 m时,其远场方向图与单舰远场方向图重合。这说明横队短波电磁干扰会随着舰间距的增大而逐步减弱。

### 4 结语

利用基于多层快速多极子技术的电磁场仿真软件FEKO,预测分析了3艘舰船组成横队时的短波电磁干扰特性。结果表明,横队短波电磁干扰具有横向效应且随着舰间距的增大而减弱。

#### 参考文献:

- [1] 赵刚. 信息化时代武器装备电磁兼容技术发展趋势[J]. 舰船电子工程, 2007, 27(1): 20—22.
- [2] WEN Ding-e, CUI Tie-jun, LU Wei-bing. The Far-field Radiation Characteristics of Dipole Antennas in Front of Conducting Bodies[C]//HOU Dong-yun, YU Jing. Proceeding of 2008 International Symposium on Electromagnetic Compatibility Technology. Wuhan, 2008: 130—133.
- [3] IBATOULLINE E A. The Antennas on a Mobile Board and their Electromagnetic Compatibility[J]. IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility, 2003, 2(45): 119—124.
- [4] 胡俊, 聂在平, 王军, 等. 三维电大目标散射求解的多层快速多极子方法[J]. 电波科学学报, 2004, 5(1): 18—20.