

文章编号: 1001-893X(2010)10-0053-04

舰艇短波地波通信链路计算与分析*

张志刚¹, 谢 慧¹, 丁 雷², 聂 峰³

(1. 海军工程大学 电子工程学院, 武汉 430033; 2. 南海舰队通信处, 广东 湛江 524000; 3. 山东武警总队通信处, 济南 250000)

摘 要: 为评估海上舰艇短波地波通信的真实能力, 将短波地波传播模型与天线仿真技术相结合, 采用矩量法计算舰载鞭天线的辐射特性, 并将计算的天线的方向特性、辐射效率以及测量的驻波比特性代入短波地波传播计算模型。计算结果表明, 对应不同的通信距离, 存在一个最佳工作频段。

关键词: 短波通信; 地波通信链路; 鞭天线; 天线仿真; 矩量法

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2010.10.010

Analysis and Calculation of HF Ground-wave Marine Communication Link between Warships

ZHANG Zhi-gang¹, XIE Hui¹, DING Lei², NIE Feng³

(1. Electronic Engineering College, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. Department of Communication, Naval Nanhai Fleet, Zhanjiang 524000, China;

3. Department of communication, Shandong Armed Police, Jinan 250000, China)

Abstract: In order to evaluate the real ability of marine HF ground-wave communication system, the technology of antenna modeling is combined with HF ground-wave propagation model. Method of moment (MoM) is used to compute the radiation characteristic of shipboard whip antenna. The modeling results of directivity property and the radiation efficiency as well as the measured VSWR property are introduce into HF ground-wave propagation computation formula. The computation result indicates that there has a best operation frequency band, corresponding different communication distance, to obtain a stronger signal at reception position.

Key words: HF communication; ground-wave communication link; whip antenna; antenna modeling; method of moment (MoM)

1 引 言

短波通信是海上舰艇通信的重要手段, 由于舰艇上层建筑结构复杂, 空间狭小, 为减小占地面积, 舰艇短波天线多采用体积小、架设方便的鞭天线。直立鞭天线的方向特性导致该天线采用天波通信时, 在近距离存在通信盲区; 另一方面, 海水导电率大, 对电波衰减小, 海上舰艇间的近距离短波通信可采用地波传播。文献[1, 2]在计算舰艇间的短波地波通信链路时, 均将天线视为性能不随频率变化的

理想天线, 实际舰载鞭天线为保证阻抗带宽足够宽, 通常在天线体上实施加载, 以降低天线的驻波比^[3], 而加载阻抗要吸收一部分能量, 导致天线的辐射效率降低, 尤其是低频段, 天线的驻波比也较高, 因此鞭天线实际辐射出去的功率要远小于输入功率, 导致天线的实际通信能力与理想条件下计算的结果有较大差距。本文结合舰载鞭天线仿真和测量的实际数据, 考虑天线辐射效率和馈线传输效率的影响, 对海上舰艇近距离地波通信能力进行计算和分析, 可比较真实地反映舰艇近距离短波地波通信情况。

* 收稿日期: 2010-05-14; 修回日期: 2010-08-03

2 天线性能仿真计算

10 m 鞭天线是舰艇上使用较多的一种短波宽带天线,为了实现鞭天线驻波比的宽带化,在天线鞭体上设置两个集中加载点,上加载点为 RL 并联加载,下加载点为 RLC 并联加载,天线结构见图 1,采用矩量法计算该天线的电气性能^[3]。

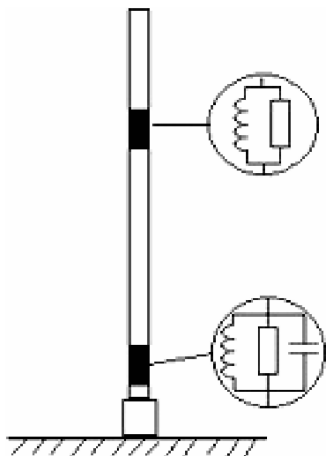


图 1 短波单鞭加载天线示意图

Fig.1 Schematic drawing of single loaded HF whip antenna

在矩量法中,激励区采用 δ 电压源时,外加电场可表示为^[4]

$$E_{iz} = V\delta(z) \tag{1}$$

式中, V 为激励电压。

对于集中加载,在加载区长度比天线长度小很多的情况下,可用狄拉克函数来代替加载区及其邻域中加载阻抗的分布规律。天线的集中加载阻抗分布可表示为

$$Z(z) = Z_i\delta(z - z_i) \tag{2}$$

式中, Z_i 为加载处的集总元件阻抗, z_i 为加载区中心点位置。

采用海伦积分方程,表达式为

$$\int_{-L}^L I(z')g(r)dz' + \frac{1}{j\eta_0} \int_0^z Z(z')I(z') \cdot \sin k_0(z - z')dz' = C \cos k_0 Z + \frac{V}{j2\eta_0} \sin k_0 |z| \tag{3}$$

式中, $\eta_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$ 为自由空间波阻抗, $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0\epsilon_0}$, C 为积分常数。

选用正弦插值基时,第 i 段上电流可用下式表示^[4]:

$$I_i(z) = A_i + B_i \sin k(z - z_i) + C_i \cos k(z - z_i), \quad |z - z_i| < \Delta i/2 \tag{4}$$

式中, Δi 为第 i 段的长度, z_i 为该段中点的坐标, A_i 、 B_i 、 C_i 为 3 个未知系数。

将电流展开函数代入积分方程,用沿天线轴线的线积分代替沿天线表面的面积分,权函数采用 δ 函数,就可得到一个矩阵方程,求解这个矩阵方程即可获得天线上的电流分布,进而计算出天线的输入阻抗、增益和方向图等参数。图 2 为天线沿海面方向的增益仿真曲线和发射机输出端的驻波比测试曲线。

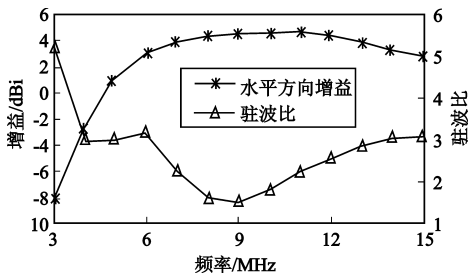


图 2 10 m 短波宽带鞭天线的驻波比及水平方向的增益
Fig.2 The VSWR and power gain of 10 m HF whip antenna

由图 2 可见,由于鞭天线在低频段的辐射效率非常低,导致天线在低频段的实际增益比较低,3 MHz 时低于 -8 dBi,而且由于低频段驻波比比较高,实际传送到天线上的功率比理想情况低得多。

3 地波场强计算

考虑地波传播过程中的扩散损耗和地面吸收损耗,在接收点可达到的场强值(mV/m)可表示为

$$|E_0| = \frac{173 \sqrt{P_r D}}{r} A \tag{5}$$

式中, A 为由大地损耗所引起的衰减因子, P_r 为辐射功率(单位:km), D 为传播方向的增益系数, r 为收发距离(单位:km)。衰减因子的计算与传播距离有关,小于临界距离,可忽略地球弯曲对传输的影响;如果收发距离超过了该距离,计算时必须考虑地球弯曲的影响。临界距离由下式给出:

$$d_{cr} = 80 f^{-1/3} \tag{6}$$

衰减因子计算方法如下:

(1) 当 $d < d_{cr}$ 时

有效数值距离: $P \approx 1.745 \times 10^{-4} \frac{f \cdot \cos \beta}{\sigma}$

$$\frac{d \times 10^8}{\lambda}, \beta \approx -\text{tg}^{-1} \frac{(\epsilon_r + 1)f}{1.8 \times 10^4 \sigma}$$

通常,相位常数 $\beta \leq 90^\circ$,衰减因子常用以下经验公式计算:

$$A = \frac{2 + 0.3P}{2 + P + 0.6P^2} - \sqrt{\frac{P}{2}} \exp(-1.44 \cdot P \cdot \lg \epsilon_r) \cdot \sin \beta \tag{7}$$

式中, f 为工作频率, 单位为 MHz; σ 为地表电导率, 单位为 $\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$; ϵ_r 为相对介电常数; λ 为波长, 单位为 m; d 为距离, 单位为 km。

(2) 当 $d > d_{cr}$ 时

此时到达接收点的地波是沿着地球弧形表面绕射传播的, 必须考虑地球曲率的影响, 这种远距离的地波电场强度必须使用绕射公式进行计算, 此时的衰减因子 A 为

$$A = \frac{0.5808 \sqrt{r} e^{-\text{Im}(\tau_0) 0.0537(r/\sqrt[3]{\lambda})}}{\sqrt[9]{\lambda} |2\tau_0 - 1/\delta^2|} \tag{8}$$

式中, 参量 δ 值随电波的极化而变, 鞭天线沿海面主要为垂直极化。对垂直极化而言:

$$|\delta| = 0.002924 \sqrt[3]{\lambda} \frac{\sqrt{\epsilon_r^2 + 3600\sigma^2\lambda^2}}{\sqrt{(\epsilon_r - 1)^2 + 3600\sigma^2\lambda^2}} \tag{9}$$

参量 τ_0 为一复数, 其实部 $\text{Re}(\tau_0)$ 和虚部 $\text{Im}(\tau_0)$ 与模量 $|\delta| = k$ 的关系可在文献[7]中查取; 参变量 φ 为相位常数, 其计算公式为

$$\varphi = \arctan \frac{\epsilon_r}{6 \times 10^{-8} \sigma \lambda} - \frac{1}{2} \arctan \frac{\epsilon_r - 1}{6 \times 10^{-8} \sigma \lambda} \tag{10}$$

4 计算结果分析

根据式(5), 结合 10 m 鞭天线的增益仿真结果和驻波比测试结果, 对舰载鞭天线在海上不同条件下的地波通信链路进行计算, 典型地设置发射机输出功率为 1 kW, 考虑馈线损耗, 实际天线的输入功率为 800 W, 海面相对介电常数 $\epsilon_r = 80$, 电导率 $\sigma = 4 \text{ } \Omega/\text{m}$ 。

计算距离分别为 300 km、200 km、100 km 时接收点场强与频率的关系, 结果如图 3 所示。

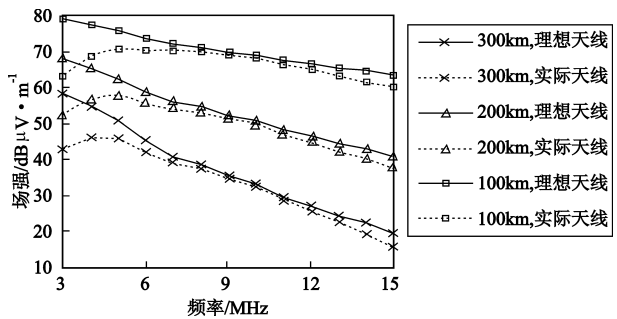


图 3 不同距离时接收点场强与频率的关系
Fig.3 Field strength vs. frequency at different distance

由图 3 可见, 由于受辐射效率及馈线系统传输效率的影响, 10 m 鞭天线在接收点获得的实际场强要比理想情况下低, 尤其是 3 MHz, 相差 15 dB 左右。与理想天线场强随工作频率升高而下降的单一变化趋势不同, 实际鞭天线用地波进行通信时存在一个最佳工作频段, 由图 3 可见, 通信距离为 100 km 时, 4 ~ 8 MHz 时信号较强, 200 km 时最佳工作频段为 4 ~ 6 MHz, 300 km 的最佳工作频段为 4 ~ 5 MHz, 通信距离越远, 最佳工作频段宽度越窄, 频率也越低, 表明虽然天线的辐射效率和馈线系统的传输效率在低频段比较低, 但是由于地波衰减随频率升高也迅速增加, 因此综合而言, 较低的工作频率仍然具有优势, 不过由于 3 MHz 时天线的辐射效率和传输效率过低, 因此场强明显偏低。若取天线接收的最低场强要求为 $20 \text{ dB}\mu\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$, 计算天线在海上能够有效覆盖的最远距离与工作频率的关系, 如图 4 所示。

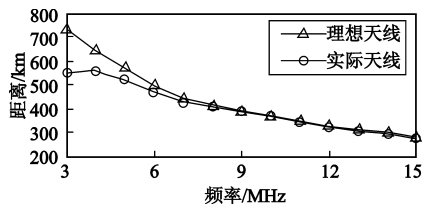


图 4 在海面不同频率信号能被有效接收的最远距离
Fig.4 The longest distance that signal can be effectively received

由图 4 可见, 在海面上, 为使舰艇短波地波传播距离最远, 工作频率应选取为 3 ~ 5 MHz, 此时传播距离在 500 ~ 550 km 左右; 超过 5 MHz 后, 传播距离将显著缩短。

5 结 论

舰载鞭天线的实际辐射性能对舰艇短波近距离地波通信能力有较大的影响, 文中结合天线仿真和测量数据, 考虑了天线辐射效率和馈线传输效率的影响, 对海上舰艇短波地波通信能力进行计算, 得出了一些有用的结论:

(1) 通信距离为 100 km 时, 舰载 10 m 鞭天线工作频率为 4 ~ 8 MHz 可使接收点获得最强的场强; 200 km 时, 最佳工作频率为 4 ~ 6 MHz; 300 km 时, 最佳工作频率为 4 ~ 5 MHz;

(2) 在海面上最低场强要求为 $20 \text{ dB}\mu\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ 时, 为使传播距离最远, 工作频率应选取为 3 ~ 5 MHz, 此时传播距离可达 500 ~ 550 km; 超过 5 MHz 后, 传

播距离将显著缩短。

参考文献：

[1] 夏惠诚. 短波地波通信的量化计算[J]. 海军大连舰艇学院学报, 1997, 20(3): 41-43.
XIA Hui - cheng. Numerical calculation of HF groundwave communication. [J]. Journal of Dalian College of Naval Ships, 1997, 20(3): 41-43. (in Chinese)

[2] 王鹏飞. 舰艇间短波通信链路分析与计算[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(8): 83-85.
WANG Peng - fei. Analysis and calculation of HF communication circuit between warships [J]. Ship Electronic Engineering, 2008, 28(8): 83-85. (in Chinese)

[3] 柳超, 刘其中, 梁玉军, 等. 舰用短波宽带鞭状天线研究[J]. 电波科学学报, 2006, 21(6): 955-958.
LIU Chao, LIU Qi - zhong, LIANG Yu - jun, et al. Design of broadband shipboard whip - type antenna at high frequency band[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2006, 21(6): 955-958. (in Chinese)

[4] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.
WANG Yuan - kun, LI Yu - quan. Wideband technology of wire antenna[M]. Xi'an: Xidian University Press, 1995. (in Chinese)

[5] BURKE G J, POGGIO A J. Numerical Electromagnetics Code (NEC) - Method of Moments[R]//Rep UCID 18834. CA: Lawrence Livermore Laboratory, 1981.

[6] 延晓荣, 金元松, 罗翠梅. 阻容加载偶极天线的宽带性能及效率分析[J]. 电波科学学报, 2000, 15(2): 169-173.

YAN Xiao - rong, JIN Yuan - song, LUO Cui - mei. Analysis of wide - band properties and efficiency for dipole antennas with resistive and capacitive loadings[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(2): 169-173. (in Chinese)

作者简介：

张志刚(1977-), 男, 湖北武穴人, 2002 年获硕士学位, 现为海军工程大学副教授, 主要研究方向为天线理论与设计;

ZHANG Zhi - gang was born in Wuxue, Hubei Province, in 1977. He received the M.S. degree in 2002. He is now an associate professor of Naval University of Engineering. His research direction is antenna theory and design.

Email: submarine106@yahoo.com.cn

谢 慧(1979-), 女, 山东鄄城人, 2003 年获硕士学位, 现为副教授, 主要研究方向为通信技术及信息安全;

XIE Hui was born in Yuncheng, Shandong Province, in 1979. She received the M.S. degree in 2003 and is now an associate professor of Naval University of Engineering. Her research direction is communication and information security.

丁 雷(1972-), 男, 吉林长春人, 1996 年获学士学位, 主要研究方向为通信工程;

DING Lei was born in Changchun, Jilin Province, in 1972. He received the B.S. degree in 1996 and is now an officer. His research direction is communication engineering.

聂 峰(1978-), 男, 山东泰安人, 2008 年获硕士学位, 主要研究方向为通信工程。

NIE Feng was born in Tai'an, Shandong Province, in 1978. He received the M.S. degree in 2008 and is now an officer. His research direction is communication engineering.

恭喜冯超成为本刊网站第 1 万个访问者

根据读者(访问者)提供的屏幕截图信息, 本刊编辑部确认菏泽学院机电工程系冯超为本刊网站第 1 万个访问者, 在此向他表示祝贺。

为了及时监测本刊网站的访问量, 特别是对具有重要意义的访问计数出现周期进行分析, 为进一步改进本刊工作提供有关信息, 本刊编辑部决定, 凡第 1 万、2 万、3 万……个访问者, 将获得本刊连续 1 年的免费赠阅, 以及年终的期刊精装合订本 1 套。如果您符合要求, 请将页面截图(应有屏幕右下角通知区域的日期显示, 或能表明计数出现日期的相关信息)以及个人详细联系信息发送到 dianxunjishu@china.com 或 dxjs@swiet.com.cn, 我们将及时在网站发布。

感谢大家对本刊的关注与支持。

《电讯技术》编辑部