

矩量法分析导体附近线天线的辐射特性

高宝春, 彭戈, 胡一峰

(中国舰船研究设计中心, 上海 201108)

摘要: 分析金属导体附近线天线的辐射特性具有重要的实用价值。运用矩量法处理多种形状金属导体附近的线天线辐射特性问题。先将线天线模拟为带状线, 天线和金属导体表面均采用平面三角形面元单元进行剖分, RWG 基函数作电流展开函数。在此基础上, 计算了在 4 种不同环境下的天线方向图, 计算结果与软件 (FEKO) 仿真结果吻合良好。为分析工程中复杂的电大尺寸目标, 提供了重要的参考依据。

关键词: 矩量法; RWG 基函数; 线天线; 导体

中图分类号: TN821+.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-7649(2011)05-0110-04 **DOI:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2011.05.026

Analysis of the radiation characteristic of wire antenna near conducting bodies by using method of moment

GAO Bao-chun, PENG Ge, HU Yi-feng

(China Ship Development and Design Center, Shanghai 201108, China)

Abstract: The characteristics of wire antennas near conducting bodies of different shapes are analyzed by using the method of moment (MoM). The wire antenna is modeled as a thin strip. Planar triangular patches are chosen to discretized the surface of the objects and the strip. RWG basis functions are used to model the surface current. Under four different circumstances, the patterns of the antenna are computed and the results are in good agreement with those from the FEKO software. The analysis conclusions may be seen as an important reference for engineering application.

Key words: method of moment; RWG basis function; wire antenna; conducting body

0 引言

线天线是最常用的天线形式之一, 由于天线会在导体表面产生感应电流, 这些感应电流会影响线天线的辐射特性, 所以准确地分析导体附近线天线的电磁特性具有重要的实际意义^[1-2]。

对于复杂环境下的线天线而言, 很难利用解析法对所研究的问题进行精确分析。对于与波长可比拟的线天线, 人们利用 FDTD 方法做了较多的分析和研究。这种方法需要单独考虑吸收边界条件, 增加了处理问题的难度和效率。研究线天线的另外一种有效的方法是矩量法, 它在处理天线远场和近场参量时, 有其精确性和灵活性^[3]。

本文采用矩量法结合电场积分方程来分析任意三维导体附近线天线的辐射特性。分析半波偶极子线天线时, 通过把细线型结构等效为一细带结构^[4-5], 导体表面和线天线均采用平面三角形面元构建, 统一用 RWG 基函数来表示电流分布。在求得天线的表面电流分布后, 则可进一步求得天线的辐射特性。

1 理论分析

假设有 1 个人射场 E^i 照射在某理想导体表面产生感应电流 J , 则 E^i 可由下式表示^[6]:

$$E^i = (j\omega A + \nabla\Phi), \quad (1)$$

其中,

$$A(\mathbf{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \int_s \mathbf{J} \frac{e^{-jkR}}{R} dS', \Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\xi} \int_s \sigma \frac{e^{-jkR}}{R} dS'.$$

式中: $k = \omega \sqrt{\mu\xi} = 2\pi/\lambda$, $R = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|$ 为空间任一位置场点的位置矢量 \mathbf{r} 与导体表面上源点的位置矢量 \mathbf{r}' 的距离; σ 为表面电流密度。其与 \mathbf{J} 的关系可通过下式表示:

$$\nabla_s \cdot \mathbf{J} = -j\omega\sigma. \quad (2)$$

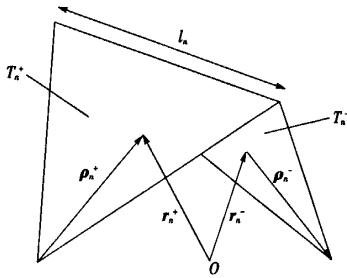


图 1 RWG 基函数

Fig. 1 RWG basis function

采用矩量法计算电场积分方程时, 导体表面采用平面三角形面元进行剖分, 基函数选择如图 1 所示的 RWG 基函数, 相关详细叙述见参考文献[6], 导体表面电流 \mathbf{J} 可表示为:

$$\mathbf{J} = \sum_{n=1}^N I_n \mathbf{f}_n(\mathbf{r}), \quad (3)$$

$$\mathbf{f}_n(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{l_n}{2A_n} \rho_n^+ & \mathbf{r} \in T_n^+, \\ \frac{l_n}{2A_n} \rho_n^- & \mathbf{r} \in T_n^-, \\ 0 & \text{其他。} \end{cases} \quad (4)$$

式中: N 为未知量总数; I_n 为待求电流密度系数。用伽略金法检验后, 按照矩量法的标准形式得到矩阵方程:

$$[\mathbf{Z}_{mn}] [\mathbf{I}_m] = [\mathbf{V}_m]. \quad (5)$$

当确定 $[\mathbf{Z}_{mn}]$ 和 $[\mathbf{V}_m]$ 后, 可通过求解矩阵方程得到 $[\mathbf{I}_m]$ 。结合电场积分方程, 可得出 Z_{mn} 和 V_m 的表达式如下^[6]:

$$Z_{mn} = l_m \left[j\omega \left(A_{mn}^+ \cdot \frac{\rho_m^+}{2} + A_{mn}^- \cdot \frac{\rho_m^-}{2} \right) + \Phi_{mn}^- - \Phi_{mn}^+ \right], \quad (6)$$

$$V_m = l_m \left(\mathbf{E}_m^+ \cdot \frac{\rho_m^+}{2} + \mathbf{E}_m^- \cdot \frac{\rho_m^-}{2} \right). \quad (7)$$

$$\text{式中: } A_{mn}^\pm = \frac{\mu}{4\pi} \int_s \mathbf{f}_n(\mathbf{r}') \frac{e^{-jkR_m^\pm}}{R_m^\pm} dS',$$

$$\Phi_{mn}^\pm = -\frac{1}{4\pi j\omega\xi} \int_s \nabla_{s'} \cdot \mathbf{f}_n(\mathbf{r}') \frac{e^{-jkR_m^\pm}}{R_m^\pm} dS',$$

$$R_m^\pm = |\mathbf{r}_m^\pm - \mathbf{r}'|,$$

$$\mathbf{E}_m^\pm = \mathbf{E}(\mathbf{r}_m^\pm).$$

式中: \mathbf{r} 为场点坐标; \mathbf{r}' 为源点坐标, m 和 n 对应于 2 个边元; \mathbf{r}_m^\pm 为边元 m 的 2 个三角 T_m^\pm 的中心点; ρ_m^\pm 分别为边元 m 的 2 个三角 T_m^\pm 的自由顶点到中心点的矢量。

具有电小尺寸的圆柱线天线, 当天线半径 r 远小于波长 λ 时, 其电磁特性可用 1 条金属细带等效^[7]。天线半径与金属细带宽度之间的关系为 $r = 0.25 s$, 其中, r 为天线的半径; s 为金属细带的宽度。进行等效后, 可通过建立 1 个金属细带模型代替圆柱线天线, 并进行三角形网格剖分, 用 RWG 函数描述金属细带上的电流分布。

考虑到线天线的辐射模式, 需要将馈电模型引入天线结构以便考虑电压源的影响。在实际工程中, 有多种方式设置激励源, 其中较为常用的是由传输线通过 2 个靠近的端子馈电。对于这种激励模式, 可以用 δ 函数缝隙电压源模型进行模拟^[8]。当用缝隙电压源激励时, 假设缝隙宽度可以忽略不计, 则缝隙内的电场可以用 δ 函数近似表示为:

$$\mathbf{E} = V_0 \delta \mathbf{n}.$$

式中: V_0 为外加加压; \mathbf{n} 为电场方向。

将间隙与边元结构的内部边 m 联系起来, 对应此内部边只有 1 个 RWG 边元 m 。除此边元以外, 其他地方的入射场均为 0。对于边元 m 上的激励电压, 可通过下式给出:

$$V_m = \int_{T_m^+ + T_m^-} \mathbf{E} \cdot \mathbf{f}_m dS = V_0 \int_{T_m^+ + T_m^-} \delta \mathbf{n} \cdot \mathbf{f}_m dS = l_m V_0. \quad (8)$$

进而可通过式(5)计算得出 $[I_m]$ 。

2 数值计算与分析

2.1 金属曲面附近天线的辐射特性分析

位于圆柱形金属面附近半波偶极子天线的辐射问题如图 2 所示。天线布置及金属面如图 2(a)所示, 天线 E 面方向图如图 2(b)所示。天线为长 1 m 的半波偶极子天线, 工作频率为 150 MHz, 激励信号为 1 V 馈电电压的信号, 馈电点位于天线中点。在随后的各个算例中, 天线的基本参数不变, 不再一一累述。天线距圆柱形金属面的底端距离为 2 m。相比理想半波偶极子天线的 8 字形 E 面方向图, 可以看出圆柱金属面对天线的辐射特性产生较大影响, 天线

在金属面一侧的增益增大,而在另外一侧的增益减小,天线的方向性增强。计算结果与商业电磁软件 FEKO 的 MoM 计算结果吻合良好。

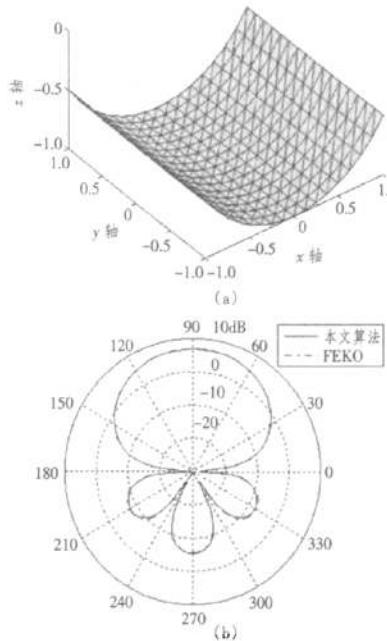


图 2 圆柱形金属面附近半波偶极子天线及其 E 面方向图

Fig. 2 The half-wave dipole antenna near the cylindrical metal surface and its E plane pattern

位于旋转抛物面上方的半波偶极子天线的辐射问题如图 3 所示。天线与旋转抛物面布置关系如图 3(a)所示,天线中点距旋转抛物面底端为 2 m,天线 E 面方向图如图 3(b)所示。与圆柱形金属面附近的天线方向图相比,旋转抛物面附近的天线方向性更强。计算结果与商业电磁软件 FEKO 的 MoM 计算结果吻合良好。

2.2 金属体附近天线的辐射特性分析

位于金属立方体上方的半波偶极子天线的辐射问题如图 4 所示。天线位于金属立方体上方 1 m 处,金属立方体边长为 2 m,天线中点位于原点处,如图 4(a)所示,天线 E 面方向图如图 4(b)所示。可以看出,天线的辐射特性与理想半波偶极子天线的 8 字形 E 面方向图有明显的变化。计算结果与商业电磁软件 FEKO 的 MoM 计算结果吻合良好。

位于金属球体上方的半波偶极子天线的辐射问题如图 5 所示。天线位于金属球体上方 1 m 处,金属球体半径为 1 m,天线中点位于原点处,如图 5(a)所示,天线 E 面方向图如图 5(b)所示。与金属立方体

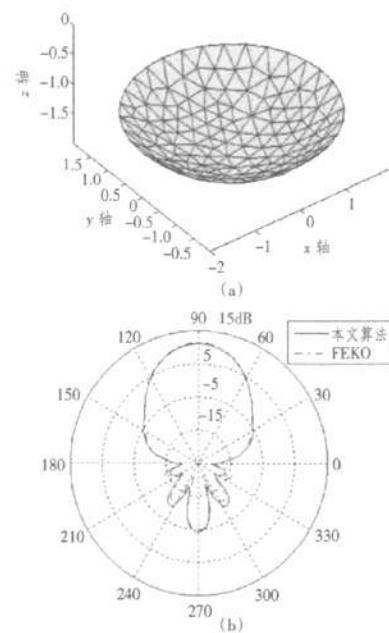


图 3 旋转抛物面附近半波偶极子天线及其 E 面方向图

Fig. 3 The half-wave dipole antenna near the paraboloid of revolution and its E plane pattern

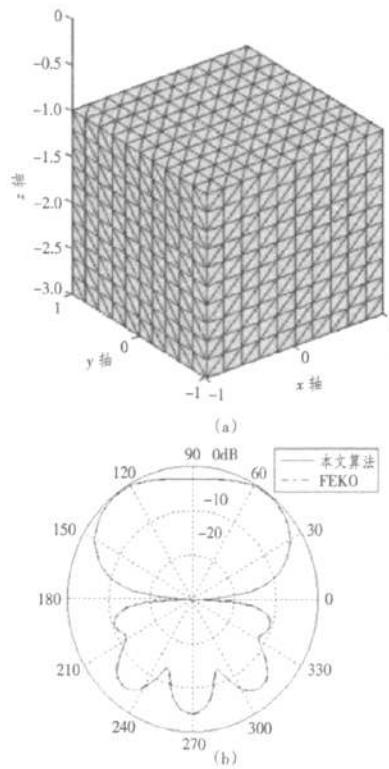


图 4 金属立方体附近半波偶极子天线及其 E 面方向图

Fig. 4 The half-wave dipole antenna near the metal cube and its E plane pattern

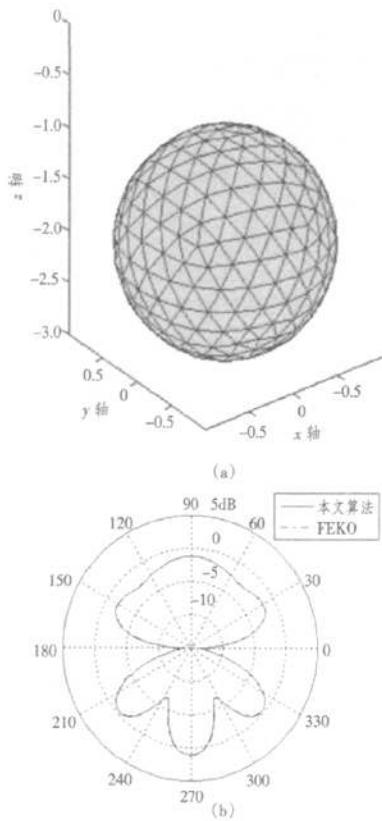


图5 金属球体附近半波偶极子天线及其E面方向图

Fig. 5 The half-wave dipole antenna near the metal sphere and its E plane pattern

附近的天线方向图相比,金属球体附近的天线辐射方向图在金属球体下方的增益明显增强,金属球体上方的增益则相对减弱。计算结果与商业电磁软件 FEKO 的 MoM 计算结果吻合良好。

3 结语

本文运用矩量法分析各种形状导体附近线天线的辐射特性。通过将细线天线等效为带状线模型,使问题简化为仅对面结构的处理。导体面用平面三角形单元剖分,RWG 基函数作电流展开函数。分别对圆柱形金属面、旋转抛物面、立方体以及球体附近的线天线问题进行建模分析,并且通过与软件计算结果的对比,验证了计算结果的准确性和有效性。为进一步分析舰船的电磁兼容问题提供了参考,具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 黄伟芳,刘其中,周斌.电大尺寸导体附近线天线的辐射方向图研究[J].电波科学学报,2006,33(9):666-669.
- [2] 周斌,刘其中,黄伟芳,魏文博.复杂环境中天线辐射方向图的分析[J].微波学报,2006,22(增刊):44-48.
- [3] HARRINGTON R F. Field computation by moment methods[M]. New York: Macmillan, 1968.
- [4] 阙肖峰,聂在平,宗显政.复杂金属载体上线天线的MoM分析[J].微波学报,2006,22(5):16-20,38.
- [5] 董健,柴舜连,毛钧杰.任意形状线、面、体组成导体目标的电磁建模[J].电子学报,2005,33(9):1656-1659.
- [6] RAO S M, WILTON D R, GLISSON A W. Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape[J]. IEEE Trans Antennas and Propagation, 1982, 30(3):409-418.
- [7] JOHN L V. Antenna engineering handbook, fourth edition [M]. New York: McGraw-Hill, 2007.
- [8] MAKAROV S N. 通信天线建模与 MATLAB 仿真分析 [M]. 许献国,译.北京:北京邮电大学出版社,2006.

QC 检测仪器网
WWW.QCTESTER.COM

全新改版上线

更便于 搜索仪器、专业展会、专业期刊

更多 行业信息、供求信息

www.qctms.cn 天下机械网 天下机械
欢迎点击 查看更多 精彩内容

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>