

# 高大建筑物上短波天线辐射特性快速精确分析

贾毅

(1. 西安市现代教育信息技术中心, 陕西 西安 710018;

2. 电子科技大学 自动化学院, 四川 成都 610054)

**摘要:**采用多层快速多极子算法分析了电大尺寸建筑物上的短波天线辐射特性. 天线——建筑物属于组合体, 首先推导了组合体的组合场积分方程, 然后通过多层快速多极子算法求解该方程. 数值实验证明文中方法所需的计算机时间和内存显著降低, 计算结果和测试结果吻合良好.

**关键词:**多层快速多极子算法; 天线; 电大尺寸; 组合体

**中图分类号:** TN802

**文献标识码:** A

## 0 引言

积分方程方法如矩量法被广泛的应用于各种目标的辐射分析, 尤其是积分方程离散后所得的稠密矩阵的计算和存储问题也被近几年迅速发展的快速多极子算法(FMM)<sup>[1]</sup>及其多层算法——多层快速多极子算法(MLFMA)<sup>[2]</sup>所解决, 使其获得了更加广泛的应用前景. 实际情况中待分析的目标有很多属于电大或电特大尺寸的辐射体, 其求解运算量往往超出传统方法的运算能力, 本文应用多层快速多极子算法分析了电大尺寸建筑物上短波天线的辐射特性. 数值实验结果表明本文方法是高效精确的.

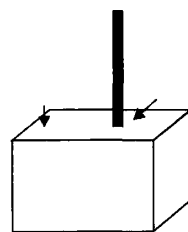


图1 组合体示意图

## 1 模型与公式

假设  $V_0$  为自由空间, 在如图1所示的天线—建筑物组合辐射体中,  $V_i (i=1, 2)$  为介质体的内部区域,  $S_{cd}$  为  $V_1$  与  $V_2$  的分界面,  $S_{ce}$  为  $V_0$  与  $V_2$  的分界面,  $S_d$  为  $V_0$  与  $V_1$  的分界面. 其不同分界面上的组合电磁场积分方程(CFIE)组满足

$$\frac{\alpha}{\eta_0} \{ L_{1cd} \mathbf{J}_{cd} - \eta_{cd} \eta_0 [K_{1cd} (\mathbf{J}_{cd} \times \hat{n}_1) + \frac{1}{2} \mathbf{J}_{cd}] - L_{1d} \mathbf{J}_d + K_{1d} \mathbf{M}_d \} \tan - \beta \eta_{cd} \{ \frac{1}{2} \mathbf{J}_{cd} + \hat{n}_1 \times [K_{1cd} \mathbf{J}_{cd} + L_{1cd} \eta_{cd} \eta_0 (\mathbf{J}_{cd} \times \hat{n}_1) / \eta_1^2 - K_{1d} \mathbf{J}_d - L_{1d} \mathbf{M}_d / \eta_1^2] \} = 0 \quad (\text{在 } S_{cd} \text{ 上}) \quad (1)$$

$$\frac{\alpha}{\eta_0} \{ L_{0ce} \mathbf{J}_{ce} - \eta_{ce} \eta_0 [K_{0ce} (\mathbf{J}_{ce} \times \hat{n}_0) + \frac{1}{2} \mathbf{J}_{ce}] - L_{0d} \mathbf{J}_d + K_{0d} \mathbf{M}_d \} \tan - \beta \eta_{ce} \{ \frac{1}{2} \mathbf{J}_{cd} + \hat{n}_0 \times [K_{0ce} \mathbf{J}_{ce} + L_{0ce} \eta_{ce} \eta_0 (\mathbf{J}_{ce} \times \hat{n}_0) / \eta_0^2 - K_{0d} \mathbf{J}_d - L_{0d} \mathbf{M}_d / \eta_0^2] \} = \frac{1}{\eta_0} \{ \alpha \mathbf{E}_{\tan}^i - \beta \eta_{ce} \eta_0 \hat{n}_0 \times \mathbf{H}_i \} \quad (\text{在 } S_{ce} \text{ 上}) \quad (2)$$

$$\frac{1}{\eta_0} \{ -L_{1cd} \mathbf{J}_{cd} + K_{1cd} \eta_{cd} \eta_0 (\mathbf{J}_{cd} \times \hat{n}_1) + L_{0ce} \mathbf{J}_{ce} - K_{0ce} \eta_{ce} \eta_0 (\mathbf{J}_{ce} \times \hat{n}_0) +$$

收稿日期: 2010-05-12

作者简介: 贾毅(1981—), 男, 陕西延安人, 西安市现代教育信息技术中心助理工程师; 电子科技大学自动化学院硕士研究生. 研究方向: 软件工程.

$$(L_{1d} + L_{0d})J_d - (K_{1d} + K_{0d})M_d \}_{\text{tan}} = \frac{1}{\eta_0} E_{\text{tan}}^i \text{ (在 } S_d \text{ 上)} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \hat{n}_0 \times \{ & -K_{1cd}J_{cd} - L_{1cd}\eta_{cd}\eta_0(J_{cd} \times \hat{n}_1) + K_{0ce}J_{ce} + L_{0ce}\eta_{ce}\eta_0(J_{ce} \times \hat{n}_0) + \\ & (K_{1d} + K_{0d})J_d + (\frac{1}{2}L_{1d} + \frac{1}{2}L_{0d})M_d \} = \hat{n}_0 \times H_i \text{ (在 } S_d \text{ 上)} \end{aligned} \quad (4)$$

以上几式中,  $L, K$  为积分算子, 其具体表达式为

$$LZ(r') = j\omega\mu \int_S [Z(r') - \frac{1}{\omega^2\mu\epsilon} \nabla \nabla' \cdot Z(r')] \cdot Gds' \quad (5)$$

$$KZ(r') = - \int_S [Z(r') \times \nabla Gds] \quad (6)$$

$$G = \frac{e^{-jk|r-r'|}}{4\pi|r-r'|} \quad (7)$$

联立求解式(1)~(4)式组成的积分方程组, 便可获得辐射体表面的电磁流。多层快速多极子方法可以快速高效的求解积分方程。

针对式(1)~(4)式组成的积分方程组, 应用多层快速多极子方法时, 计算远相互作用时聚合、转移及配置因子分别为

$$V_{sm'i}(S_k) = \partial f_i(r') e^{-js_k S_{m'i}} ds' \quad (8)$$

$$T_L = \sum_{l=0}^L (-j)^l (2l+1) h_l^{(2)}(kr_m) p_l(\hat{k} \cdot \hat{r}_{mn'}) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} V_{fmj} = & \sum_{m=1}^M \alpha_m \int dse^{-jk \cdot r_{mn'}} (\bar{I} - \hat{k}\hat{k}) f_j(r) + \\ & \sum_{n=1}^N \beta_n \int dse^{-jk \cdot r_{nn'}} (f_j(r) \times \hat{k}) \end{aligned} \quad (10)$$

其中  $\alpha_m$  和  $\beta_m$  为  $L$  和  $K$  算子前面的系数。

## 2 数值与实验结果

待分析的天线为短波对称振子天线, 高 10 米, 架设于  $24 \times 10 \times 30\text{m}^3$  的建筑物上, 天线的工作频率为 30 MHz, 图 2 为天线——建筑物组合体的网格剖分模型, 天线剖分为 50 个线单元, 建筑物剖分为 7 268 个三角形面单元。

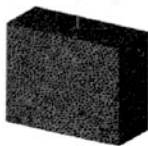


图2 计算模型网格剖分模型

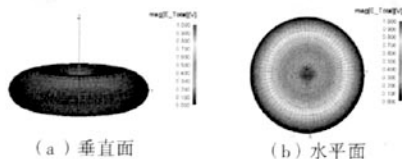


图3 自由空间天线方向图仿真结果

图3、图4为天线在自由空间状态下辐射方向图的数值模拟与实验结果。

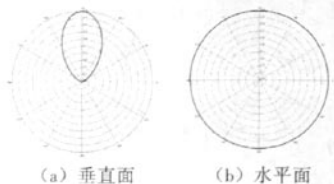


图4 自由空间天线方向图测试结果

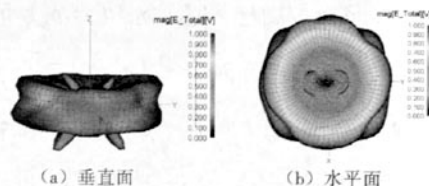


图5 上装后天线方向图仿真结果

天线安装后的辐射特性由于建筑物的影响会发生畸变, 经过仔细分析后发现天线安装在建筑物顶端中心的位置, 由于反射面相对对称, 因此不会导致方向图畸变过于严重。图5、图6是天线安装后辐射方向图的数值模拟与测试结果。

通过对比可以发现, 天线上装到建筑物后, 天线垂直面方向图畸变程度要严重, 会有副瓣产生, 但主

要辐射方向没有改变.水平面方向图畸变程度相对要小.

另外,无论是天线上装前还是上装后,本文方法的数值仿真结果和实验结果吻合良好,误差小于0.1%,说明对于规则形状载体上的天线辐射问题本文方法具有相当高的精度.

本文还分析了天线的近场个性,图7给出了天线工作时建筑物上的感应电流分布和近场分布,可以看出建筑物顶端面感应电流和近场强度较强,尤其天线根部位置,这主要是由于天线与建筑物结合处形状和阻抗特性发生突变所致.实际工程中在建筑物顶端采取了必要的防护措施以屏蔽近场加强对建筑物内部的保护.

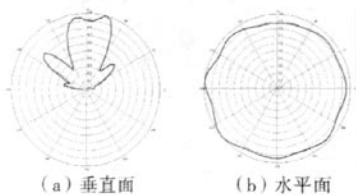


图6 上装后天线方向图测试结果

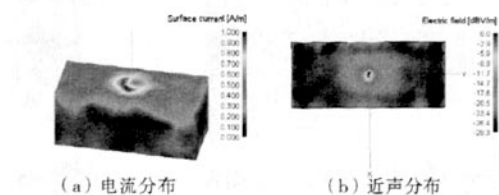


图7 上装后天线近场特性仿真结果

计算图2模型所用计算机配置有PIV 2.4GHz Intel处理器,内存为1GB,用时7 635s,内存占用量835 MB.

### 3 结论

数值实验证明本文法可以实现电大辐射问题的快速精确求解,同时具有较高精度,所需的内存量和计算量仅为 $O(N \lg N)$ ,为电大尺寸组合体的辐射分析提供了一种新的思路.

#### [参 考 文 献]

- [1] ROKHLIN V. Rapid solution of integral equations of scattering theory in two dimension[J]. J. Comput. Phys. 1990, 86 (2):414-439.
- [2] SONG J M, CHEW W C. Multilevel fast multipole algorithm for solving combined field integral equations of electromagnetic scattering[J]. Microwave Opt Tech Lett, 1995, 10(1):14-19.
- [3] 王元坤,李玉权.天线的宽频带技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1995.

[责任编辑 王新奇]

## Fast and Accurate Analysis of the Radiation of HF Antenna on Electrically Large Building

JIA Yi

- (1. Information Technology Center of Modern Education in Xi'an, Xi'an 710018, China;
2. Institute of Automation, University of Science and Technology, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** HF antenna radiation on electrically large building is analyzed by multilevel fast multipole algorithm (MLFMA). The problem to be analyzed is a problem of composite body Radiation. The combined field integration equation (CFIE) is deduced first and the solved by MLFMA. CPU time and memory are saved significantly and good agreement between the computed and measured results is obtained.

**Key words:** multilevel fast multipole algorithm; antenna; electrically large; composite body

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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](http://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>