

MoM - PO 混合方法在电磁辐射中的应用

焦光龙^{1,2}, 李树彬¹, 白渭雄¹

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 毫米波国家重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘 要: 为了克服传统电磁场仿真方法不能有效解决某些特殊结构电磁辐射问题的弊端, 充分借鉴矩量法(Method of Moment, MoM)和物理光学法(PO)各自的优点, 提出一种 MoM - PO 混合方法。MoM - PO 混合方法将天线划分为 2 个区域, 并将 2 个区域用三角面元剖分, 并在 2 个区域采用相同的屋顶基函数(RWG)来表征各自的表面电流, 保证了 2 个区域边界上的电流连续性。分别在 2 个区域上应用 MoM 和 PO, 得到离散的矩阵方程, 求解后即得电流分布。经数值算例验证, MoM - PO 混合方法较传统的高频法, 精度大大提高, 与矩量法相比又在很大程度上减少了计算量, 缩短了计算时间, 是一种有效的电磁场计算方法。

关键词: 电磁辐射; MoM - PO 混合方法; RWG 基函数; MoM; PO

DOI: 10.3969/j.issn.1009-3516.2010.02.013

中图分类号: TN011 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)02-0057-05

研究电磁辐射问题的仿真方法一般可分为高频方法和数值方法, 前者适合分析电大尺寸结构, 而电中小尺寸的结构适合用后者分析。而对于电大尺寸目标附近的电小尺寸目标的电磁问题, 难以采用单一的方法进行分析, 国际上对此类问题的研究起步较早, 从 20 世纪 70 年代中期至 90 年代末已有相关文献报道^[1-3]。目前已形成较为完整的分析体系, 通常均采用矩量法结合几何绕射理论的混合法^[1,4]进行分析。对于表面具有缝隙、腔体以及突起物等细小结构的电大尺寸目标的电磁问题的研究起步较晚^[3,5], 并且具有很强的实用性和挑战性, 一般认为, 此类目标电磁散射的机理十分复杂, 在目标的各电大尺寸部件之间、电大尺寸部件与电小尺寸结构之间以及电小尺寸结构的各部分之间均存在相互耦合, 因此只有高效、准确地分析这些因素的影响才能精确仿真计算目标的散射特性, 对此问题一般均采用高、低频混合方法进行分析, 因此, 对于混合方法的研究具有非常重要的理论研究意义和工程应用价值。故文中将高频法^[6](以物理光学法 PO 为例)与数值法^[7](以矩量法 MoM 为例)结合来解决此类问题。

1 算法思想

对于包括线面结构在内的任意辐射体表面, 在应用 MoM - PO 混合方法时, 将根据实际情况划分为 MoM 区域和 PO 区域, 在区域的选择及划分上, 一般来说, MoM 区域包含阴影、边缘、棱边、电小的凹槽、突起等几何或材料不连续的部分, 对于线面辐射体结构, 导线以及线面连接处都应划为 MoM 区域, 也称为 S_m 区域; PO 区域, 即 S_p 区域就包括剩余的区域表面, 一般要求 S_p 区域为电大、光滑的凸体表面, 以保证 PO 电流近似的正确性。线面结天线结构见图 1^[8-9], 图中灰色区域和导线为 S_m 区域, 剩余的无色区域为 S_p 区域。

PO 区与 MoM 区互相耦合时, PO 区的电流对 MoM 区的场有贡献, MoM 区的电流对 PO 区的场也有贡献。

根据 PO 方法的基本原理^[6]得 PO 区电流:

* 收稿日期: 2009-09-23

基金项目: 毫米波国家重点实验室开放课题基金资助项目(K200818; K200907)

作者简介: 焦光龙(1963-), 男, 陕西富平人, 副教授, 主要从事雷达信息处理与对抗研究. E-mail: jxat701@163.com

显示的 S_c 区域。相邻区域的边界也被明显标示出来,使用 RWG 基函数所表示的电流分别存在于 MoM 区域 ($f_i \in S_m$) 和 PO 区域 ($f_j \in S_c$) 以及 2 个区域的边界上 ($f_k \in S_m \cap S_c$), 为了保证两区域之间即边界上的电流连续,将边界上的未知电流归入到 MoM 区域,使得 $f_k \in S_m$, 即边界上的电流未知系数通过求解矩阵方程来得到。

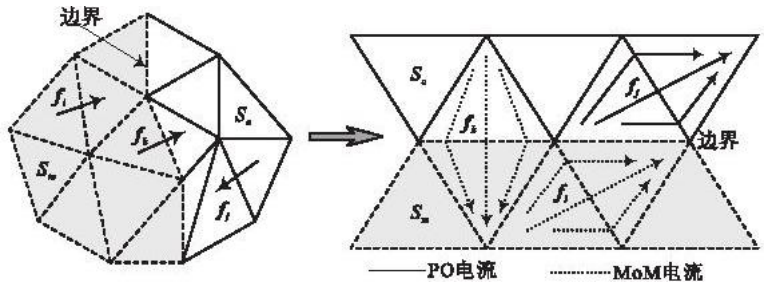


图 3 区域的三角面元剖分及电流分布示意图

Fig. 3 Trigonal meshing of region and current distributing

将基函数代入式(2)、式(4)可得离散的线性方程组,然后求解即得电流分布,进而计算得到辐射场。

3 数值算例分析

以球体 + 半波阵子为例。对于半径为 λ 的球体,其圆心置于坐标原点,在 X 轴上有一平行于 Z 轴的半波阵子,其中点位于 $x = 2\lambda$ 处,将半波阵子天线置于 MoM 区域,球体置于 PO 区域,激励在 $x = 2\lambda$ 处加载^[14-15]。图 4 为不同扫描面内被最大值归一化后的功率增益辐射图,图中实线为文中混合方法的计算结果,虚线为文献[15]计算结果。对于完全 MoM 计算情况,需要求解 2 806 个左右未知数的矩阵,而对于混合方法则仅仅需要求解线段的 6 个未知数矩阵方程即可,计算所需内存和时间都大大减低。

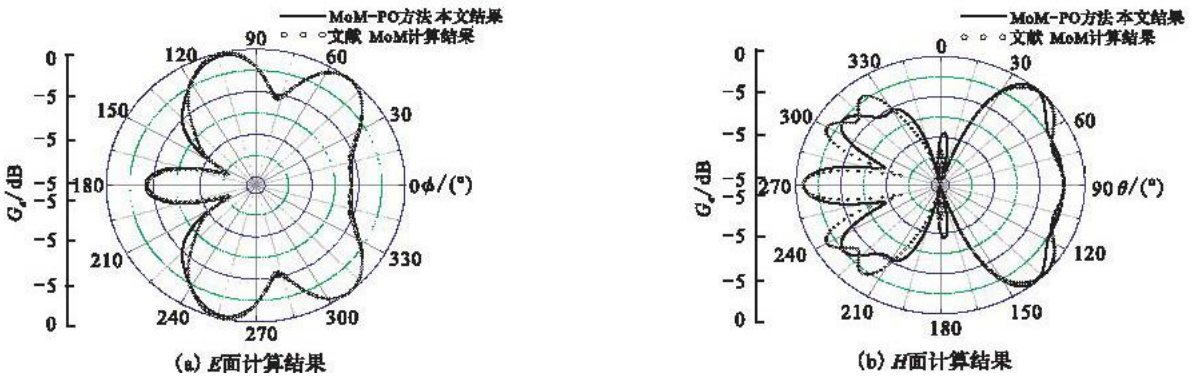


图 4 球体和半波阵子天线辐射方向图

Fig. 4 Patterns of sphere and half - wavelength antenna

以线面连接结构天线为例。一个 0.25λ 长的偶极子天线位于 $9\lambda \times 9\lambda$ 电大平板中央,激励加载于线面结上,将偶极子天线和线面连接处划为 MoM 区域,其余电大平坦部分划为 PO 区域。图 5 给出了不同辐射面内的辐射方向图。图 5(a)为 $\phi = 0^\circ$ 面内辐射图,图 5(b)为 $\phi = 45^\circ$ 面内辐射图,图中实线为本文混合方法计算结果,圈线组合的线型为文献[16]计算结果,由此可见,除了个别区域以外,大部分角域范围内吻合良好。

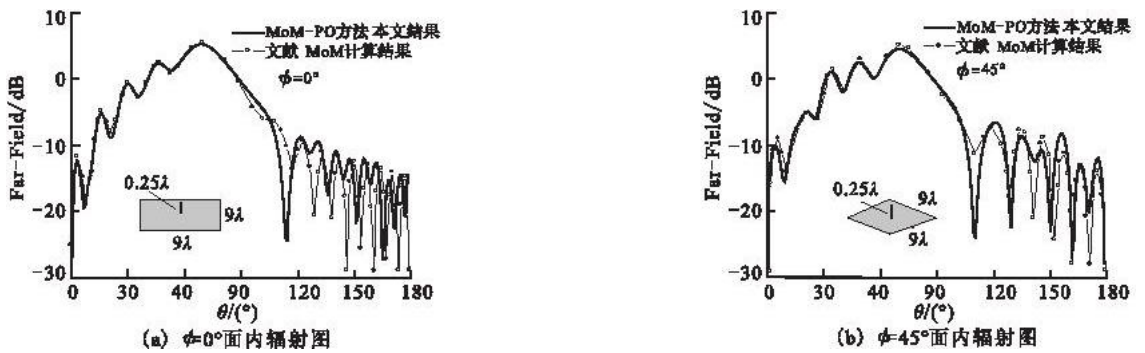


图 5 线面连接结构天线辐射方向图

Fig. 5 Patterns of line - surface antenna

4 结论

本文主要针对矩量法和物理光学法相结合的 MoM - PO 混合方法在电磁辐射中的应用进行了研究。从 MoM - PO 的混合原理入手,对不同的几何结构采用了不同的基函数,逐步实现了高低频技术的混合。计算了一个典型的辐射问题,并与相关结果进行了比对,验证了此方法的正确性和有效性。同时,此方法亦可用于相关散射问题。

参考文献:

- [1] Burnside W D, Yu C L, Marhefka R J. A Technique to Combine the Geometrical Theory of Diffraction and the Moment Method [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1975, 23(2): 551 - 558.
- [2] Anders Sullivan, Lawrence Carin. A Hybrid Technique Combining the Moment Method with Physical Optics and Uniform Asymptotic for Scattering from 2 - D Cylinders [J]. Microwave Opt Technology Letter, 1999, 21(2): 117 - 121.
- [3] JIN JianMing LING Feng, Carolan Shawn T, et al. A Hybrid SBR/MoM Technique for Analysis of Scattering from Small Protrusions on A Large Conducting Body [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1998, 46(9): 1349 - 1357.
- [4] Thiele G A, Newhouse T H. A Hybrid Technique for Combing Moment Methods with A Geometrical Theory of Diffraction [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1975, 23(1): 62 - 69.
- [5] 聂小春. 电磁散射混合方法及相关问题研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2000.
NIE Xiaochun. Study on Electromagnetic Scattering Hybrid Method and Question in Point [D]. Xi'an: Xidian University, 2000. (in Chinese)
- [6] Kim C S, Rahmat Samii Y. Low Profile Antenna Study Using the Physical Optics Hybrid Method (POHM) [C]//Antennas and Propagation Society International Symposium AP - Sdigmist. Canada: IEEE Press, 1991: 1359 - 1353.
- [7] Harrington R F. 计算电磁场的矩量法 [M]. 王尔杰, 译. 北京: 国防工业出版社, 1981.
Harrington R F. Moment Method on Numeration of Electromagnetic Field [M]. WANG Erjie, Translated. Beijing: National Defense Industry Press, 1981. (in Chinese)
- [8] Jakobus U, Landstorfer F M. Improved PO - MM Hybrid Formulation for Scattering from Three - dimensional Perfectly Conducting Bodies of Arbitrary Shape [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1995, 43(2): 162 - 169.
- [9] Jakobus U, Landstorfer F M. Improvement of the PO - MM Hybrid Method by Accounting for Effects of Perfectly Conducting Wedges [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1995, 43(10): 1123 - 1129.
- [10] 李世智. 电磁辐射与散射问题的矩量法 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1985.
LI Shizhi. Moment Method on Electromagnetic Radiation and Scattering [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 1985. (in Chinese)
- [11] Costa M F, Harrington R F. Minimization of Radiation and Scattering from Computer Systems [C]//Pro Int Electrical Electronics Conference. Toronto: [s. n.], 1983: 660 - 665.
- [12] Champagne N J, Johnson W A, Wilton D R. On Attaching A Wire to A Triangulated Surface [C]//Antennas and Propagation Society International Symposium. [S. l.]: IEEE Press, 2002: 54 - 57.
- [13] Rao S M, Wilton D R, Glisson A W. Electromagnetic Scattering By Surfaces of Arbitrary Sharp [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1982, 30(3): 409 - 418.
- [14] Jakobus U, Landstorfer F M. Improved PO - MM Hybrid Formulation for Scattering from Three - dimensional Perfectly Conducting Bodies of Arbitrary Shape [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1995, 43(2): 162 - 169.
- [15] Jakobus U, Landstorfer F M. Application of Fock - Currents for Curved Convex Surfaces within the Framework of A Current - based Hybrid Method [J]. Computation in Electromagnetics, 1996, 10 - 12: 415 - 420.
- [16] Djordjevic M, Notaros B M. Higher Order Hybrid Method of Moments - physical Optics Modeling Technique for Radiation and Scattering from Large Perfectly Conducting Surfaces [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2005, 53(2): 800 - 813.

(编辑: 徐楠楠)

The Application of MoM - PO Hybrid Method in EM Radiation

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. State Key Laboratory of Millimeter Waves, Nanjing 210096, China)

Abstract: A MoM-PO hybrid method is proposed to solve some unusual electromagnetic (EM) radiation problems those cannot be solved by the traditional EM computation methods. By using this method, the antennas are divided into two regions, which are meshed by trigonal patches, and then RWG basis functions are defined in two regions. The methods of moment (MoM) and Physical Optics (PO) are used respectively in two regions, and the matrix equations are obtained. By solving equations, current distributing can be obtained. The numeration results show that MoM-PO hybrid method is more accurate than the traditional methods. The computation work done by using MoM-PO is greatly decreased compared with that done by using MoM. Simultaneously the computational efficiency is increased without losing validity. It is an effective EM numerical method.

Key words: EM radiation; MoM-PO hybrid method; RWG basis function; MoM; PO

2010 国防空天信息技术前沿论坛征文通知

为了广泛交流我国空天信息领域基础科学及技术的最新研究进展,探讨发展国防空天信息系统的有效途径,中国宇航学会光电技术专业委员会、空军工程大学及中国空间技术研究院空间微波技术国防科技重点实验室联合相关单位将于2010年10月中旬在西安首次召开国防空天信息技术前沿论坛。大会组委会将邀请国内信息技术领域的院士、知名专家及学科带头人到会作专题技术报告。热诚欢迎从事空天信息技术研究及工程应用的科研人员踊跃投稿参会!大会学术委员会届时将择优推荐会议论文至国家公开出版的优秀期刊(EI收录、中文核心)发表。投稿请登录www.manuscript-cnoenet.com,具体论文格式请登录投稿系统后查看投稿须知。请投稿作者严格按照保密要求做好文章脱密处理工作。

论文截稿时间:2010年7月20日。会议网站:<http://www.cnoenet.com/>

主办单位:空司通信部;中国航天科技集团公司;中国航天科工集团公司。

承办单位:中国宇航学会光电技术专业委员会;空军工程大学;中国空间技术研究院空间微波技术国防科技重点实验室。

联办单位:国防科学技术大学;解放军信息工程大学;解放军理工大学;中国空间技术研究院;中国航天科工防御技术研究院;北京大学;哈尔滨工业大学;长春理工大学;北京科技大学。

支持媒体:《系统工程与电子技术》(EI收录);《红外与激光工程》(EI收录);《空军工程大学学报(自然科学版)》(中文核心)。

征文方向:

专题一 空天一体信息系统 主席:费爱国研究员(空军装备研究院)

1. 空天一体信息系统概念研究;2. 空天一体信息系统作战理论;3. 空天一体信息化装备研究;4. 空天信息平台立体融合技术;5. 空天一体信息栅格;6. 空天一体转信平台信息传输技术;7. 天基信息系统概念与理论模型研究;8. 天基信息系统体系结构与效能评估。学术秘书:李瑾,mail:lijin@cnoenet.com;单勇,Email:sy95122@163.com。

专题二 天基信息系统关键技术 主席:杨千里研究员(总参通信部),么周石研究员(中国空间技术研究院)

1. 新型星载通信器件技术;2. 卫星通信技术;3. 星座设计及编队卫星技术;4. 星际链路及卫星组网技术;5. 星载信息处理与交换技术;6. 深空探测与通信;7. 卫星导航与定位技术;8. 卫星遥感技术。学术秘书:周志远,Email:zhyzhou.ht@gmail.com;王晓东,Email:hellowxd@sina.com。

专题三 天基预警探测技术及应用 主席:王永良教授(空军雷达学院),闫世强教授(空军雷达学院)

1. 空天目标监视系统及关键技术;2. 天基红外探测技术及应用;3. 空间目标成像技术(SAR/ISAR)及应用;4. 远程相控阵雷达系统及关键技术。学术秘书:周志远,Email:zhyzhou.ht@gmail.com;胡曦明,Email:ximinghu@gmail.com。

专题四 临近空间信息系统 主席:吴德伟教授(空军工程大学),廖桂生教授(西安电子科技大学),程建教授(空军工程大学)。

1. 国内外临近空间开发利用现状与发展;2. 临近空间信息系统作战使用;3. 临近空间飞行器信息类载荷应用需求研究;4. 临近空间气象、电磁环境特性研究;5. 临近空间平台关键技术;6. 临近空间信息系统架构与集成;7. 临近空间信息获取、处理与传输技术;8. 临近空间平台组网技术;9. 临近空间导航与定位技术;10. 临近空间光通信。学术秘书:李瑾,Email:lijin@cnoenet.com;石磊,Email:shilei809@163.com。

专题五 空间光通信 主席:赵尚弘教授(空军工程大学),姜会林教授(长春理工大学),马晶教授(哈尔滨工业大学)

1. 卫星光通信系统;2. 空间光束捕获、跟踪与瞄准技术;3. 空间光通信调制、检测及编码技术;4. 星载光源及放大技术;5. 新型光学天线;6. 星际激光链路组网技术;7. 大气光通信及无线光接入技术;8. 星地激光通信;9. 自适应光通信。学术秘书:邓伟,Email:conf@cnoenet.com;李勇军,Email:tz_228@163.com。

专题六 空间信息安全与防护 主席:陈性元教授(解放军信息工程大学)

1. 空间信息对抗理论与关键技术;2. 空间信息系统安全体系结构;3. 空间信息系统安全接入技术;4. 空间信息系统安全协议分析与设计;5. 深空量子保密通信。学术秘书:邓伟,Email:conf@cnoenet.com;智英建,Email:zyj1026@gmail.com。

大会秘书处联系电话:022-23669275,022-23363106(投稿咨询),029-84791601,022-23666400(传真)