

文章编号: 1001-4322(2011)06-1597-05

# 辐射波电磁脉冲模拟器笼形天线辐射特性的并行计算

朱湘琴<sup>1</sup>, 王建国<sup>1,2</sup>, 蔡利兵<sup>1</sup>, 乔海亮<sup>1</sup>, 陈再高<sup>1</sup>

(1. 西北核技术研究所, 西安 710024; 2. 西安交通大学 电子与信息工程学院, 西安 710049)

**摘要:** 考虑到辐射波电磁脉冲模拟器笼形天线尺寸过大、在单个微机上计算其辐射特性的时间过长及内存受限制, 使用基于消息传递接口(MPI)平台的用于同轴线馈电的时域有限差分并行算法, 并结合天线理论模拟分析了同轴线馈电的辐射波电磁脉冲模拟器双锥笼形天线在双指数脉冲电压激励下的脉冲辐射特性。并行时域有限差分计算时, 整个时域有限差分计算区域的网格总数约为 20 亿。由计算结果分析可知: 当锥半径大于 3.5 m 后, 笼形天线的半径大小对电场的上升沿和峰值的影响不大; 对地面上方 0.5 m 处的几个测试点, 其上升沿、半高宽及脉冲峰值受地面反射及地面损耗的影响比较大, 而对于地面上方 6 m 处的几个测试点, 除半高宽外, 几个测试点的辐射场脉冲峰值及上升沿受地面影响较小; 离地面越近的点, 峰值减小得越快。

**关键词:** 电磁脉冲; 笼形; 双锥; 时域有限差分方法; 并行

中图分类号: TN823

文献标志码: A doi:10.3788/HPLPB20112306.1597

核爆炸产生核电磁脉冲(HEMP), 由于其覆盖区域大、场强高, 对电子或电气系统具有相当大的威胁<sup>[1]</sup>。核电磁脉冲在近地面是水平极化的, 因此, 要研究电子系统 HEMP 效应及加固措施, 必须拥有水平极化电磁脉冲(EMP)模拟设备, 如基于 TEM 喇叭的天线及双锥笼形水平天线等<sup>[2-8]</sup>。而双锥笼形水平天线则是开展大型系统电磁脉冲效应试验的典型装置, 如美国的 AESOP 混合型模拟器<sup>[8]</sup>。时域有限差分(FDTD)方法是研究瞬态电磁场问题的一个有效工具<sup>[9]</sup>, 在微波电路的时域分析、天线辐射、电磁散射及生物医学工程等领域有着日益广泛的应用。文献[6-7]均使用 FDTD 方法对双锥笼形天线所产生的电磁场进行了数值模拟, 但使用的都是串行的 FDTD 方法, 仅适用于小尺寸模型的模拟。考虑到实际应用中的双锥笼形天线为电大尺寸且天线的馈电方式是同轴线馈电, 本文采用基于消息传递接口(MPI)平台<sup>[10]</sup>的并行时域有限差分(FDTD)方法并结合 Farady 电磁感应定律、FDTD 细导线理论及安培定律, 研究同轴线馈电的双锥笼形天线在双指数脉冲电压激励下的脉冲辐射特性。

## 1 双锥笼形天线结构及同轴线馈电的并行 FDTD 算法

典型水平极化辐射波 EMP 模拟器双锥笼形天线由双锥天线、圆柱形笼形天线和接地部分构成, 如图 1 所示, 图中  $x$  轴垂直于笼形对称轴且平行于地面,  $y$  轴垂直地面向下,  $z$  轴位于笼形对称轴处且平行于地面方向; 双锥天线中点位于  $O(0,0,0)$  处;  $H$  为笼形天线的架高。双锥笼形天线源的加入采用同轴线馈电的方式加入。

假设同轴线内的场工作于 TEM 模<sup>[11]</sup>, 我们采用简单的 1 维传输线模型计算同轴线中的信号传输过程, 其标准的 Yee 网格离散传输线方程

$$V^{n+1}(k') = V^n(k') - Z_0 \frac{c\Delta t}{\Delta z} [I^{n+1/2}(k' + 1/2) - I^{n+1/2}(k' - 1/2)] \quad (1)$$

$$I^{n+1/2}(k' + 1/2) = I^{n-1/2}(k' + 1/2) - \frac{1}{Z_0} \frac{c\Delta t}{\Delta z} [V^n(k' + 1) - V^n(k')] \quad (2)$$

式中:  $n$  为时间步数;  $k'$  代表同轴线内 1 维 FDTD 网格点;  $Z_0$  是同轴线的特性阻抗;  $c$  是光的传播速度。在同轴线的下端点  $k' = 0$  处(如图 2(a)所示)采用一阶 Mur 吸收边界条件。

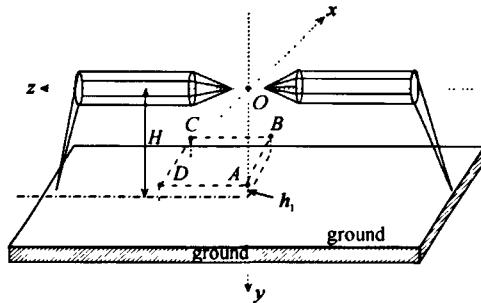


Fig. 1 Configuration of biconical-cylindrical cage simulator and observation points above ground

图 1 双锥笼形天线的结构模型及地面上几个测试点的位置

\* 收稿日期: 2010-09-14; 修订日期: 2011-02-09

基金项目: 国家高技术发展计划项目

作者简介: 朱湘琴(1978—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事电磁场微波技术研究; nintzxq@163.com.

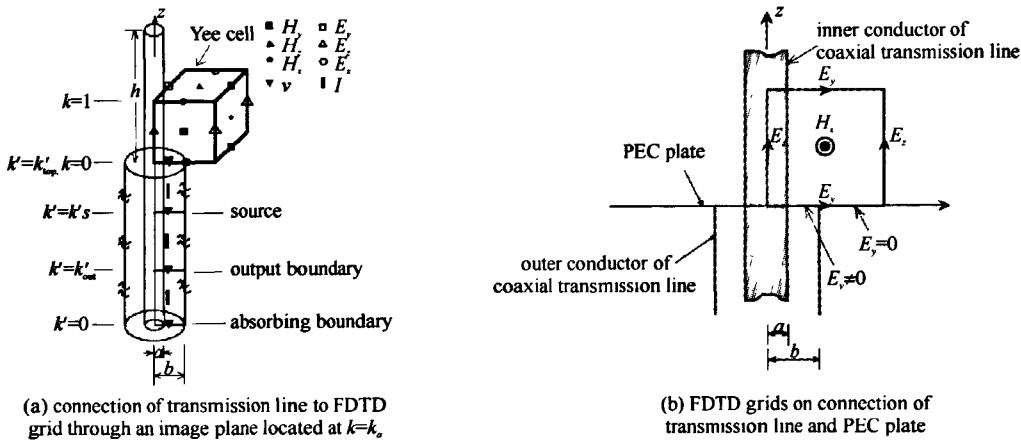


Fig. 2 Coupling of field components on connection of transmission line and PEC plate

图 2 同轴线与平行板间场分量耦合的示意图

为了模拟天线的辐射问题,需要将传输线中的信号耦合进麦克斯韦方程。为此,考虑图 2(b)所示的一个网格回路,应用法拉第电磁感应定理和细线算法,得到

$$H_x^{n+1/2}(i_a, j_a + 1/2, k_a + 1/2) = H_x^{n-1/2}(i_a, j_a + 1/2, k_a + 1/2) + \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta z} \left[ E_y^n(i_a, j_a + 1/2, k_a + 1) - \left( \frac{2}{\ln(\Delta y/a)} \right) \frac{V^n(k'_{\text{top}})}{\Delta y} \right] - \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta y} \left[ \frac{2}{\ln(\Delta y/a)} \right] E_z^n(i_a, j_a + 1, k_a + 1/2) \quad (3)$$

式中: $a$  为同轴线内导体的半径; $(i_a, j_a, k_a)$  为同轴线与平行板连接处的坐标; $V^n(k'_{\text{top}})$  为  $k=k'_{\text{top}}$  处的电压; $k_a$  和  $k'_{\text{top}}$  为同一点,只是在不同的坐标中的不同表示,如图 2(a)所示。同样可以给出接头处其它  $x$  和  $y$  方向磁场分量方程。

由安培环路定理,可以得到电流  $I^{n+1/2}(k'_{\text{top}} + 1/2)$  和它周围的磁场的关系,进而得到

$$I^{n+1/2}(k'_{\text{top}} + 1/2) = \Delta y [H_y^{n+1/2}(i_a + 1/2, j_a, k_a + 1/2) - H_y^{n+1/2}(i_a - 1/2, j_a, k_a + 1/2)] - \Delta x [H_x^{n+1/2}(i_a, j_a + 1/2, k_a + 1/2) - H_x^{n+1/2}(i_a, j_a - 1/2, k_a + 1/2)] \quad (4)$$

利用式(1)~(4)并结合常规的 FDTD 迭代公式<sup>[9]</sup>就可以编程模拟笼形天线的辐射问题。

并行 FDTD 计算前需要先将包括输出边界和吸收边界(各向异性完全匹配层吸收边界<sup>[12-13]</sup>)在内的整个 FDTD 计算区域划分成若干个子域,且相邻的子域之间有半个网格的重合区域;再将这若干个子域分配到若干个进程上分别进行计算,一个子域对应一个相应的进程。并行计算中使用 MPI 平台的同步(阻塞)数据传递函数实现各子区域在边界处与其相邻子区域切向场值的数据交换。图 3 给出了用于同轴线馈电天线的并行 FDTD 程序的流程图。由图可知,同轴线馈电时的并行 FDTD 程序与常规并行的 FDTD 程序相比进行了如下变更:(1)添加了同轴线内场的计算,对同轴线上的电压及电场进行迭代;(2)需要将同轴线内(上)的切向电场赋值为 0;(3)考虑同轴线口径处的耦合,考虑电压对磁场  $x$  分量和  $y$  分量的贡献;(4)需要根据口径外部场计算接头处的电流,这个电流用于下一个时刻同轴线上电压的更替。

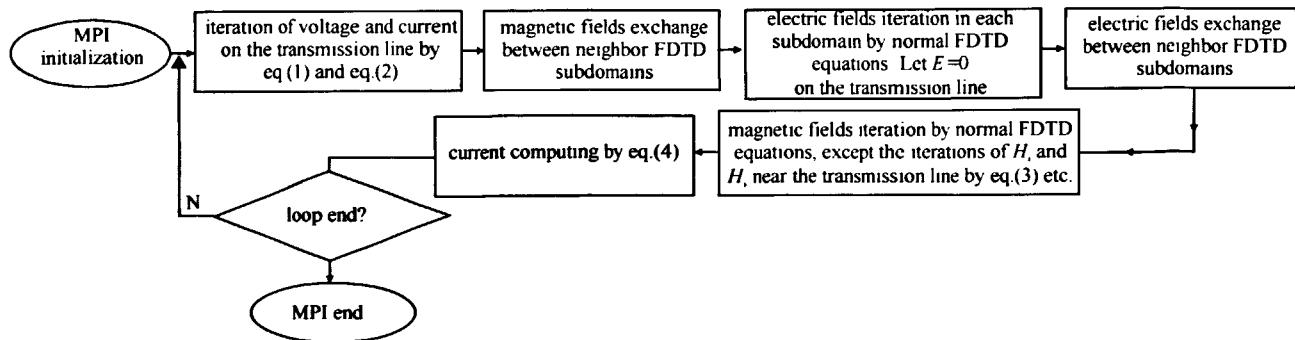


Fig. 3 Flow chart for parallelized FDTD method for antennas fed through coaxial transmission line

图 3 同轴线馈电时并行 FDTD 程序的流程图

## 2 数值模拟及分析

如图 1 所示的笼形天线半径  $R$  在 3.0~4.5 m 之间变化;选择同一个平面上的 4 个检测点:  $A, B, C, D$ 。这 4

个点构成一个长方形,其中A点和B点之间的距离为30 m,B点和C点之间的距离为20 m;监测点所在的平面距离地面上方0.5 m(即 $h_1=0.5$  m)。取大地电容率 $\epsilon=4\epsilon_0$ ,电导率 $\sigma=4\times10^{-4}\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$ 。双锥笼形天线的激励源采用同轴传输线进行加载,激励电压为双指数脉冲

$$U(t)=2.1457\times10^6[\exp(-1.3\times10^7t)-\exp(-1.0\times10^9t)] \quad (5)$$

脉冲电压上升前沿为1.8333 ns,脉冲的最高有效频率 $f_{max}=570$  MHz。使用FDTD并行算法进行计算时,取网格尺寸 $\delta x=\delta y=\delta z=0.05$  m( $\approx\lambda_{min}/10.526$ ); $R=4.5$  m时,整个计算区域的网格数约为 $2.0\times10^9$ 。并行FDTD计算前,将整个区域划分为 $4\times2\times60$ 个子域,在高性能并行计算机上使用60个节点(共480个核)运行6 000时间步,耗时约2.4 h。图4和图5给出了笼形半径 $R$ 在3.0~4.5 m之间变化时、 $h_1=0.5$  m的水平面上A点和C点的电场 $E_z$ 随时间的变化。由图可知, $R\geq3.5$  m时A点和C点的电场 $E_z$ 脉冲峰值和上升沿不再随半径变化,但脉冲衰落部分仍受半径影响,半径越大,脉冲半高宽就越大,低频成份就越丰富。

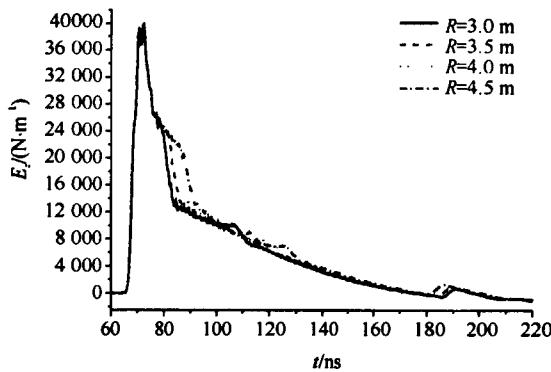


Fig. 4 EMP of  $E_z$  at point A for various radii

图4 不同笼形半径时A点的 $E_z$ 随时间的变化

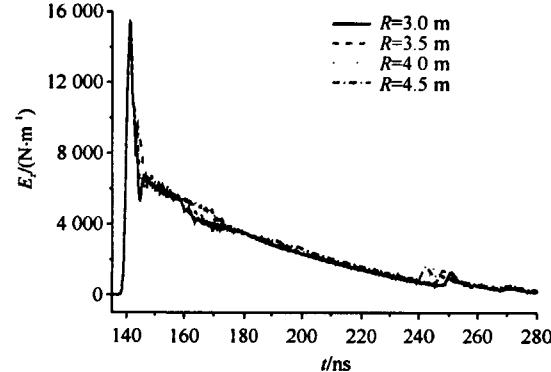


Fig. 5 EMP of  $E_z$  at point C for various radii

图5 不同笼形半径时C点的 $E_z$ 随时间的变化

表1给出了 $h_1=0.5$  m的水平面上A点,B点,C点和D点的清晰时间<sup>[14]</sup>和这4个监测点 $z$ 方向电场的上升沿(10%~90%)、半高宽(FWHM)及峰值。由表1可以看出:(1)  $R$ 从3.5 m变化到4.5 m时,A点、B点和C点的上升沿和峰值电场没有明显变化;但半高宽随着笼形天线半径 $R$ 的增大而增大。(2)  $R$ 从3.0 m变化到4.5 m时,D点脉冲的上升沿基本稳定在1.5 ns; $R=3.5$  m时该点的半高宽达到最大,为10.417 ns; $R$ 从3.0 m变化到4.5 m时,D点的峰值电场越来越大。

表1 地面上方0.5 m的水平面上几个点的清晰时间、上升沿、半高宽和脉冲峰值

Table 1 EMP's clear-time, rise-time, FWHM and peak-value at several points in horizontal plane 0.5 m above ground

R /m	clear-time/ns				rise-time/ns				FWHM/ns				peak-value/m			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
3.0	11.087	10.027	2.708	0.602	3	2.75	1.75	1.500	12.583	11.833	3.916	8.667	39.843	14.932	15.383	24.637
3.5	13.432	11.944	3.238	0.732	3	2.75	1.75	1.500	14.750	13.916	4.333	10.417	39.752	14.926	15.342	25.518
4.0	15.938	13.937	3.793	0.874	3	2.75	1.75	1.583	17.000	15.916	4.916	8.500	39.752	14.926	15.342	26.254
4.5	18.610	16.011	4.377	1.029	3	2.75	1.75	1.500	19.417	17.916	5.666	7.250	39.752	14.926	15.342	26.863

表2给出了距离地面6 m的水平面上、分别与A点、B点、C点和D点相对的A'点、B'点、C'点和D'点的清晰时间和这4个监测点 $z$ 方向电场的上升沿(10%~90%)、半高宽及峰值。由表2可以看出:(1)  $R$ 从3.5 m变化到4.5 m时,A'点、B'点、C'点的上升沿和峰值电场没有变化。 $R$ 从3.5 m变化到4.5 m时,A'点和B'点的半高宽随着笼形天线半径 $R$ 的增大而增大,C'点的半高宽则一直保持不变。(2) D'点的清晰时间一直小于上升沿; $R$ 从3.0 m变化到3.5 m时,该点脉冲的上升沿一直为1.333 ns,而 $R=4.5$  m时,脉冲的上升沿增大为1.417 ns;该点的半高宽随着 $R$ 的增大而减小; $R$ 从3.0 m变化到4.5 m时,该点的峰值电场越来越大。对比表1和表2可知,当笼形天线的半径大于3.5 m后,半径的大小对A点、B点和C点及这几个点上方水平面上对应点(即A',B'和C')的电场的上升沿和峰值的影响不大。但D点及D'点电场的脉冲峰值一直都随着笼形半径的变化而变化。实际上,清晰时间代表不同传波路径的双波干涉时间,而双波干涉的结果是使场强降低。因此当观察点的清晰时间足够大时,该点脉冲的峰值随着笼形天线半径的变化而改变比较小。反之,就比较大。在表1和表2中,当 $R$ 从3.0 m变化到4.5 m时,D点及D'点的清晰时间都比较小,因而这两个点的

脉冲峰值随着半径的变化而变化较大(即随着半径的增大而增大)。此外,对比表 1 和表 2 可知,对地面上方 0.5 m 处的几个测试点,其半高宽及脉冲峰值受地面反射及地面损耗的影响比较大,半高宽及脉冲峰值明显小于地面上方 6 m 处对应点的半高宽和脉冲峰值;离地面越近的点,峰值减小得越快。

表 2 地面上方 6 m 的水平面上几个点的清晰时间、上升沿、半高宽和脉冲峰值

Table 2 EMP's clear-times, rise-time, FWHM and peak-value at several points in horizontal plane 6 m above ground

R /m	clear-time/ns				rise-time/ns				FWHM/ns				peak-value/m			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
3.0	12.211	10.139	2.360	0.034	2.833	3	2	1.417	38.833	20.500	18.580	28.750	56.372	24.140	20.417	21.312
3.5	15.018	12.100	2.828	0.041	2.833	3	2	1.333	35.250	20.100	18.667	28.583	56.231	24.079	20.390	21.871
4.0	18.072	14.146	3.320	0.047	2.833	3	2	1.333	38.083	21.250	18.667	27.500	56.231	24.079	20.393	22.344
4.5	21.376	16.281	3.840	0.059	2.833	3	2	1.417	40.000	21.584	18.667	25.000	56.231	24.079	20.393	22.841

图 6 给出了笼形天线半径为 4.0 m 时,时间步分别为 400,900,2 200,4 300 时  $yoz$  截面上  $\lg(E_x^2 + E_y^2 + E_z^2 + 1)$  随时间变化的示意图。如图可以看出,开始时电磁波从双锥天线的顶点向笼形天线的下方辐射电磁波,同时电磁波贴着笼形天线的外表面向两边传播;入射波到达地面后,经地面反射,出现反射波。从图中还可以清晰得看出,金属的双锥笼形天线内的电场一直为 0。

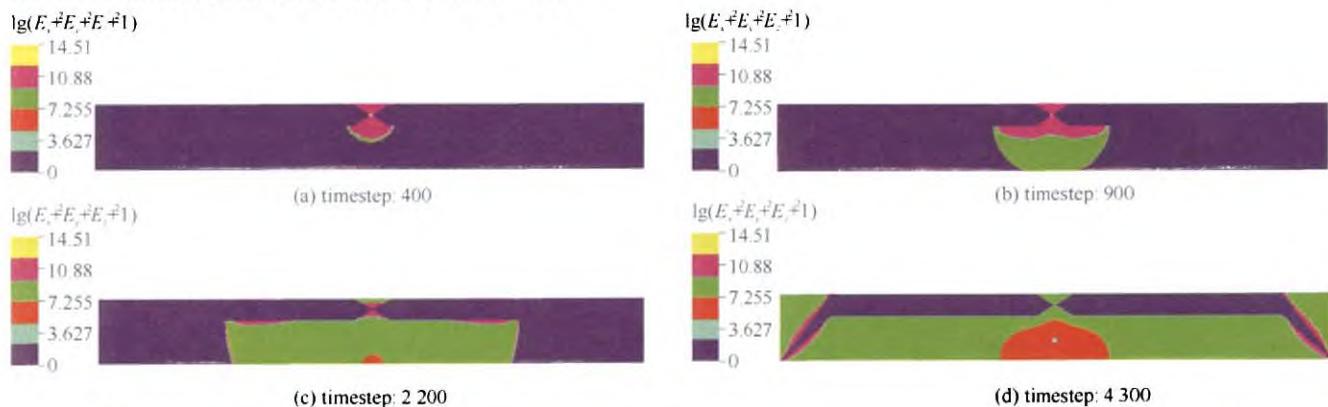


Fig. 6 Distributions of  $\lg(E_x^2 + E_y^2 + E_z^2 + 1)$  on cage antenna's  $yoz$  section for different time-steps as antenna radius being 4.0 m

图 6 笼形天线半径为 4.0 m 时  $yoz$  截面上  $\lg(E_x^2 + E_y^2 + E_z^2 + 1)$  随时间变化的示意图

### 3 结 论

本文使用并行 FDTD 方法计算并分析了同轴线馈电的辐射波 EMP 模拟器双锥笼形天线在双指数脉冲电压激励下的脉冲辐射特性。经计算分析可知,锥半径大于 3.5 m 后,笼形天线的半径大小对辐射电场的上升沿和峰值的影响不大;对地面附近的几个测试点,其半高宽及脉冲峰值受地面反射及地面损耗的影响比较大;离地面越近,受地面的影响越大。本文所述方法具有通用性,当双锥间距、笼形天线的半径等模型参数改变时,该方法仍然适用。且对水平极化辐射波 EMP 模拟器的工程设计及测量起到一定的参考作用。

### 参考文献:

- [1] 王建国,牛胜利,张殿辉,等.高空核爆炸效应参数手册[M].北京:原子能出版社,2010.(Wang Jianguo, Niu Shengli, Zhang Dianhui, et al. Parameter handbook of high altitude nuclear detonation effect. Beijing: Atomic Energy Press, 2010)
- [2] 田春明,王建国,陈雨生,等.基于 TEM 喇叭的辐射波模拟器天线的近场特性[J].强激光与粒子束,2004,16(5): 641-644.(Tian Chunming, Wang Jianguo, Chen Yusheng, et al. Near-field characteristics of radiating-wave simulator antenna based on TEM horn. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004,16(5): 641-644)
- [3] Wang Jianguo, Tian Chunming, Luo Genxin, et al. Four-element TEM array for radiating ultra-wideband electromagnetic pulses[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2001,31(3): 190-194.
- [4] 王建国,田春明,刘小龙,等.超宽带 TEM 天线的数值模拟[J].强激光与粒子束,2001,13(4): 493-497.(Wang Jianguo, Tian Chunming, Liu Xiaolong, et al. Numerical simulations of ultrawide band TEM antennas. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001,13(4): 493-497)
- [5] Miletta J R, Chase R J, Luu B B, et al. Modeling of army research laboratory EMP simulators[J]. *IEEE Trans on Nuclear Science*, 1993, 40(6): 1967-1976.
- [6] 谢秦川,陈明,李进玺,等.水平极化电磁脉冲模拟器空间场的数值模拟[J].强激光与粒子束,2004,16(10): 1304-1306.(Xie Qinshuan, Xie Qinshuan, Chen Ming, Li Jinxixi, et al. Numerical simulation of the space field of a horizontal polarization electromagnetic pulse simulator. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004,16(10): 1304-1306)

- Chen Ming, Li Jinx, et al. Numerical simulation of space-time distribution of field of horizontally polarized electromagnetic pulse simulators. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(10), 1304-1306)
- [7] 孟粉霞, 夏洪富, 王建国. 电磁脉冲辐射波模拟器笼形天线的理论和数值研究[J]. 微波学报, 2007, **23**(s), 6-10. (Meng Fenxia, Xia Hongfu, Wang Jianguo. Theoretical and numerical studies on cage antenna of EMP radiating-wave simulator. *Journal of Microwaves*, 2007, **23**(s), 6-10.)
- [8] Williams J W, Hodlock D E, Viverito V J, et al. Dipole models for the far-field representation of EMP simulators with application to estimates for human RF exposure[J]. *IEEE Trans on Nuclear Science*, 1992, **39**(6), 1921-1932.
- [9] Taflove A, Hagness S. Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method[M]. Boston: Artech House, 2000.
- [10] Gropp W, Lusk E, Skjellum A. Using MPI portable parallel programming with the message-passing interface[M]. Cambridge: MIT Press, 1994.
- [11] Maloney J G, Shlager K L, Smith G S. A simple FDTD model for transient excitation of antennas by transmission lines[J]. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 1994, **42**(2), 289-292.
- [12] Berenger J P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves[J]. *Journal of Computer Physics*, 1994, **114**(3), 185-200.
- [13] Gedney S D. An anisotropic PML absorbing medium for the truncation of FDTD lattices[J]. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 1996, **44**(12), 1630-1639.
- [14] Baum C E, Lawrence C, Stone A P. Ultra-wideband, short-pulse electromagnetics 3[M]. New York: Plenum Press, 2000.

## Parallel computation for radiation characteristics of cage antenna of radiating-wave EMP simulator

Zhu Xiangqin<sup>1</sup>, Wang Jianguo<sup>1,2</sup>, Cai Libing<sup>1</sup>, Qiao Hailiang<sup>1</sup>, Chen Zaigao<sup>1</sup>

(1. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** A parallelized finite-difference time-domain (FDTD) algorithm based on MPI platform, combined with antenna theory, is presented for analysis of the radiation characteristics of the large biconical-cylindrical cage antenna fed through the coaxial transmission line and excited by a double-exponential pulse, which can not be done on a personal computer due to long time and limited computation resources. The number of total cells for parallelized FDTD computing is about 2 billion. Numerical results show that cage antenna radius do not have a significant effect on the rise time and the peak value of the radiated electric field when the cage antenna radius is more than 3.5 m. In addition, the reflection and the loss from the ground have a great effect on the peak value and pulse width of the radiated E-field in the horizontal plane above the ground up to 0.5 m and have little effect on the rise time and the peak value of the radiated E-field in the horizontal plane above the ground up to 6 m except the pulse width of the radiated E-field at the same point. It is found that the nearer to the ground, the faster the decrease of the peak value.

**Key words:** electromagnetic pulse; cage antenna; biconical-cylindrical; finite-difference time-domain method; parallelized

## 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](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>