

## 探地雷达中蝶形振子天线的改进

周蔚红 刘培国 刘克成 何建国

(国防科技大学电子科学与工程学院 长沙 410073)

**摘要:** 探地雷达是进行地下环境无损探测的一种有效工具,用来探测和识别地下目标,比如水管、电力线和通信线路、考古方面的保护等。然而,传统的探地雷达系统在可靠性、分辨率、探测深度等方面存在不足。因此,改善被测信号特性,设计和开发更高性能的天线就显得很有必要。本文研制了一种贴片电阻加载的蝶形振子天线,用时域有限差分方法对其进行了分析,实际应用结果表明天线具有良好的波形保真度,良好的辐射特性和屏蔽效果。可以广泛地应用于探地雷达和其它超宽带系统。

**关键词:** 蝶形振子, 时域有限差分方法(FDTD), 探地雷达

**中图分类号:** TN823

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2005)07-1171-03

## Improvement on Bow-Tie Antenna of Ground-Penetrating Radar

Zhou Wei-hong Liu Pei-guo Liu Ke-cheng He Jian-guo

(Institute of Electronic Science and Engineering, NUDT, Changsha 410073, China)

**Abstract** The ground penetrating radar is greatly expected as an effective tool for nondestructively sensing subsurface environment, detecting and identifying underground objects such as water pipes, power and communication lines, archaeological remains, and so on. However, conventional ground penetrating radar systems are still insufficient for practical uses with respect to reliability, resolution, detectable depth, and so forth. In order to overcome these difficulties, it is important to improve characteristics of signals to be measured. Therefore, the design and development of antennas of higher performances would be invaluable. This paper designed a bow-tie antenna loaded by lumped resistors. Results of finite difference time domain calculation show good fidelity of the wave, and exciting radiation features as well as effect of shielding. It can be widely used in ground penetrating radar and other tra-wide-band systems.

**Key words** Bow-tie antenna, Finite difference time domain, Ground penetrating radar

### 1 引言

由于无载频探地雷达是一种近地面时域毫微秒脉冲探测系统,受半无限大耗媒质界面的限制,使得对近地面时域天线的辐射特性的分析与计算极为困难。天线是探地雷达中的关键部件,目前这类天线主要有各种振子<sup>[1]</sup>、TEM喇叭<sup>[2-5]</sup>以及它们的变形<sup>[6-8]</sup>等,它们各具特点,也各有缺点。例如振子类天线具有一维小尺寸的结构特点,但其辐射在其垂直轴平面内是无方向的;喇叭类天线可以实现比较强的方向性,但其耦合到地表下的能量较小。为获得较好的分辨率和减小地面反射造成的干扰,必须在保证工作带宽内良好的幅频特性和幅相特性,良好的时域保真性的同时,结合天线处在近场区工作的特点,一方面尽量减小地表面的反射影响,另一方面尽量使辐射能量耦合到大地内,使天线具有良好的辐射特性和屏蔽效果,减小外界干扰和防止外辐射。本文研制了一种新型探地雷达天线,结合了振子类和喇叭类天线的优点,体积小,重量轻。具有良好的波形保真度,良好

的辐射特性和屏蔽效果。

### 2 天线结构

在雷达接收或发射系统中,天线是馈线的负载。因此,天线和馈线的匹配很重要,匹配不好,馈线上的电压驻波比大,便会导致辐射功率的降低。采用如图1、图2所示的结构:

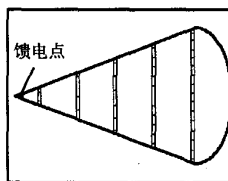


图1 蝶形振子  
似天线的侧视图

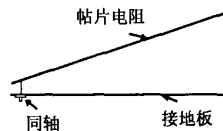


图2 蝶形振子  
的俯视图

由于接地板与同轴电缆的屏蔽层相连,接地板的影响可以用天线的镜像来考虑,这样不仅避免了不平衡馈电,而且不需要附加任何额外的匹配措施。在天线体上即敷铜的介质

基片上刻制槽的结构,槽的两端用贴片电阻横跨,进行阻抗加载以吸收从馈电传向天线终端的电流,实现天线上电流的行波特性。天线结构简单,体积小,重量轻。不仅可以用于固定的电子系统,而且更适用于用在移动系统上,如车载、机载系统等等。

### 3 计算方法

#### 3.1 FDTD 模型

基于 Yee 网格并结合完全匹配层(Perfectly Matched Layer)技术的时域有限差分(Finite Difference Time Domain, FDTD)方法,已经得到了广泛的应用。天线沿  $y$ 、 $z$  方向伸展,阶梯近似的结果如图 3 所示。

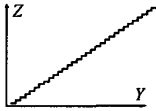


图3 天线的阶梯近

#### 3.2 加载电阻元件的 FDTD 迭代公式

设  $z$  方向上有集中电阻加载元件  $R$ ,下面推导基于电导  $G$  的 FDTD 迭代公式:

$$(\nabla \times H)_z = \epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \sigma E_z \quad (1)$$

$$\epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \sigma E_z = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \quad (2)$$

$\Delta x \Delta y (\nabla \times H)_z = c \Delta z (E_z^{k+1} - E_z^n) / \Delta t + G \Delta z E_z^{n+1}$ , 其中  $c = (\epsilon \Delta x \Delta y) / \Delta z$  为单位面积、单位高度电容,  $G = (\sigma \Delta x \Delta y) / \Delta z$  为单位电导。如果  $\Delta x = \Delta y = \Delta z$ , 则

$$(C(\Delta z / \Delta t) + G \Delta z) E_z^{n+1} = C(\Delta z / \Delta t) E_z^n + \Delta x \Delta y (\nabla \times H)_z \quad (3)$$

即

$$\begin{aligned} E_{zx}^{n+1} &= \frac{C(\Delta y / \Delta t)}{C(\Delta y / \Delta t) + G \Delta z} E_{zx}^n + \frac{\Delta x \Delta y}{C(\Delta y / \Delta t) + G \Delta z} + \frac{\partial H_x}{\partial y} \\ &= \frac{\epsilon \Delta x \Delta y / \Delta t}{\epsilon \Delta x \Delta y / \Delta t + G \Delta z} E_{zx}^n \\ &\quad + \frac{\Delta x (H_{xy}^{n+1/2}[i, j+1/2, k] - H_{xy}^{n+1/2}[i, j-1/2, k])}{\epsilon \Delta x \Delta y / \Delta t + G \Delta z} \\ &\quad + \frac{\Delta x (H_{xz}^{n+1/2}[i, j+1/2, k] - H_{xz}^{n+1/2}[i, j-1/2, k])}{\epsilon \Delta x \Delta y / \Delta t + G \Delta z} \\ &= \frac{\epsilon \Delta x / \Delta t}{\epsilon \Delta x / \Delta t + G} E_{zx}^n \\ &\quad + \frac{H_{xy}^{n+1/2}[i, j+1/2, k] - H_{xy}^{n+1/2}[i, j-1/2, k]}{\epsilon \Delta x / \Delta t + G} \\ &\quad + \frac{H_{xz}^{n+1/2}[i, j+1/2, k] - H_{xz}^{n+1/2}[i, j-1/2, k]}{\epsilon \Delta x / \Delta t + G} \\ &= B_1 E_{zx}^n + B_2 (H_{xy}^{n+1/2}[i+1/2, j, k] - H_{xy}^{n+1/2}[i-1/2, j, k] \\ &\quad + H_{xz}^{n+1/2}[i+1/2, j, k] - H_{xz}^{n+1/2}[i-1/2, j, k]) \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $B_1 = (\epsilon \Delta x / \Delta t) / (\epsilon \Delta x / \Delta t + G)$ ,  $B_2 = \Delta t / (\epsilon \Delta x + G \Delta t)$ 。同理:

$$\begin{aligned} E_{zy}^{n+1} &= B_1 E_{zy}^n + B_2 (H_{xy}^{n+1/2}[i, j+1/2, k] - H_{xy}^{n+1/2}[i, j-1/2, k] \\ &\quad + H_{xz}^{n+1/2}[i, j+1/2, k] - H_{xz}^{n+1/2}[i, j-1/2, k]) \end{aligned} \quad (5)$$

### 4 计算及实验结果

采用 FDTD 上述计算方法得到的天线波形与在时域紧凑场暗室系统(Automatic Measuring Computational Collimator Complex)测得的波形对比如图 4。入射脉冲为高斯微分脉冲:

$$f(t) = (-2(t-t_0)/\tau) \exp\{-(t-t_0)^2/\tau^2\} \quad (6)$$

在探地雷达中,因为天线工作在近场区,天线辐射的波形保真性对于埋地目标的识别十分重要。从图 4 可以看出,计算结果与测量结果比较吻合,证明了模型的有效性。

从图 5 可以看出,天线从 170MHz 到 1.5GHz 之间的频带驻波小于 2,所以天线具有很宽的阻抗频带特性,而天线的尺寸只有 170mm×210mm×510mm,相对于 170MHz 时的波长,天线的电尺寸是相当小的。

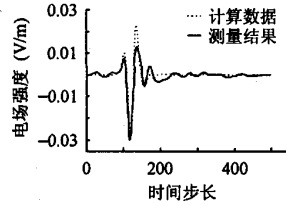


图4 天线正前方的辐射波形

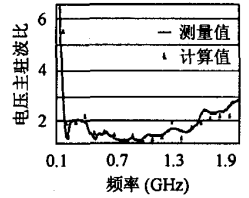


图5 天线的驻波特性

在探地雷达系统中,由于收发天线之间距离很近,收发之间的耦合是很强的。如图 6 所示:收发天线之间用两块金属隔板隔开,且两块隔板之间用阻性吸波材料填充,以吸收收发天线之间的耦合波。如图 7 所示,从波形看出,吸波材料不仅大大减小了收发之间的耦合,而且对波形有延迟作用。

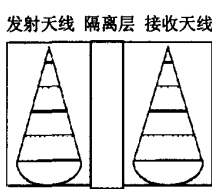


图6 蝶形振子天线在脉冲探地雷达工作示意图

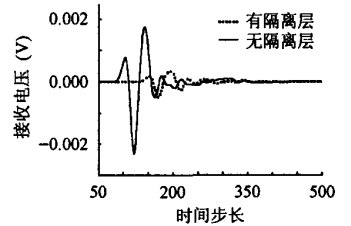


图7 接收天线的耦合波形

### 5 结束语

理论分析和实际应用都证实本文研制的探地雷达天线,具有良好的波形保真性和辐射特性,结构简单,体积小,重量轻。它结合了振子类和喇叭类天线的优点,并克服了它们的一些缺陷。

## 参 考 文 献

- [1] Maloney J G, Smith G S. Optimization of a conical antenna for pulse radiation: An efficient design using resistive loading. *IEEE Trans. on AP*, 1993, 41(7): 940 – 947.
- [2] Farr E G, Baum C E. *Impulse Radiating Antennas Ultra-wide Band Short-pulse Electro-magnetic*. New York, Plenum Press, 1995, Chap. 1.
- [3] Robertson R C, Mogran M A. *Ultra-Wideband Antenna for High-Power Operation Ultra-wide Band, Short-Pulse Electromagnetic*. New York and London, Plenum Press, 1993, Chap.2.
- [4] Liu Kecheng, He Jianguo: Analysis and design of UWB TEM horn with waveform high fidelity. *Journal of NUDT*, 1994, 16 (1): 57 – 63.
- [5] 袁乃昌, 何建国, 等. 新型集成超宽带开槽天线的研制及其应用. *电子学报*, 1997, 25 (9): 43 – 46.
- [6] Darden W H, Burnside W D. An ultra-wide band antenna for pulse application. *Microwave Journal*, 1993, 36(1): 136 – 143.
- [7] Shlager K L, Smith G S, Maloney J G. Optimization of bow-tie antenna for pulse radiation. *IEEE Trans. on AP*, 1994, 42(7): 975 – 982.
- [8] 刘克成, 何建国, 尹家贤, 刘培国. 超宽带圆锥 TEM 喇叭天线的分析与设计. *微波学报*, 1995, 11(1): 66 – 70.
- 周蔚红: 女, 1972 年生, 博士生, 主要从事超宽带信号辐射和散射方面的研究, E-mail:zwhchsh@tom.com.
- 刘培国: 男, 1968 年生, 副教授, 研究兴趣为: 电磁场数值计算目标特性电磁兼容.
- 刘克成: 男, 1939 年生, 教授, 一直从事天线及超宽带技术方面的研究.
- 何建国: 男, 1954 年生, 教授, 博士生导师, 电子学会高级会员, 出版专著 5 部, 先后在国内外刊物发表论文 50 余篇. 获各种科技进步奖 10 余项, 研究领域超宽带技术和电磁兼容等.

## 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>