

# 冲激脉冲探地雷达天线的实验研究

邓扬建

(电子科技大学应用物理研究所 成都 610054)

**摘要** 本文提出了“背载”式脉冲天线的设计方案,并以此制作了扇形臂和矩形臂天线。利用实地探测数据,将上述新方案与无反射式连续电阻加载正交偶极天线和双菱形天线进行比较,从而肯定了“背载”式设计方案的优越性。

**关键词** 冲激脉冲探地雷达,无反射式连续电阻加载,“背载”式天线,正交偶极天线,双菱形天线

## 1 引言

探地雷达是近几十年发展起来的一种有效的地下目标检测手段。与常规雷达的原理相似,它通过向地下发射电磁波,然后接收地下的回波信号来探测目标。随着瞬态电磁场技术的发展,使用无载波纳秒脉冲作发射信号的探地雷达(又称冲激脉冲探地雷达)以其距离分辨率高、结构简单、价格低廉的特点在探地雷达中得到了广泛地应用<sup>[1-3]</sup>。

冲激脉冲探地雷达虽然具有许多优点,然而提高精度、简化系统的根本在于从回波中提取目标信息的难易度,就是说,研制高质量的行波天线是关键。理想的天线应该是无限长的辐射器,脉冲波沿其传播而无反射。实际的天线必须具有有限长度,而且应该体积小、重量轻,以便沿待测地面移动。1965年 T. T. Wu 等人<sup>[4]</sup>提出了无反射式连续电阻加载天线的理论,为行波天线的工程实现提供了依据。不难理解,这种天线在改善带宽的同时降低了辐射效率。其它一些加载方式,如阻容混合加载、端点加载等,因难于调谐和实现宽带匹配,都未获得成功应用。因此,灵活应用无反射式连续电阻加载天线理论成为天线研制的必然。

在无反射式连续电阻加载偶极天线研制的基础上,基于一项美国专利<sup>[5]</sup>,作者提出了“背载”式脉冲天线的设计方案,并制作了扇形臂和矩形臂天线。实测表明,这种天线辐射效率高,行波性好,是一种较好的设计方案。

## 2 “背载”式加载电阻设计

在众多的探地雷达天线中, R. M. Morey<sup>[5]</sup>提出的“顶载”式天线是一种比较好的方案。该天线用三角形导体片代替无反射式连续电阻加载辐射臂,集总加载的电阻分布在以中心馈电点为圆心,以臂长为半径的圆周上,电阻之间以及电阻同辐射臂之间以点方式连接。辐射效率的提高是易于理解的,但辐射臂与加载电阻之间的匹配明显欠佳,平面尺

1994-03-22 收到,1995-05-24 定稿

邓扬建 男,1966年生,博士生,现从事微波空间无线输能的研究。

寸也过大。文献[5]没有给出天线的理论分析和实验结果。

为减小天线尺寸，我们产生了将圆周上的加载电阻重新设计在导体辐射臂背面的想法，并尝试用扇形臂来代替三角臂。

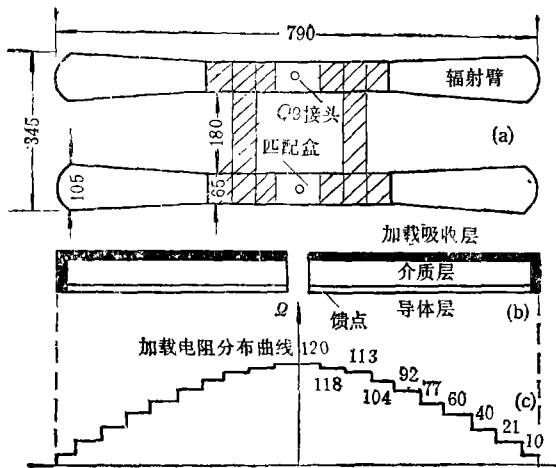


图1 “背载”式扇形天线

(a) 天线平面图 (b) 天线剖面图 (c) 加载电阻分布  
多次涂覆，烘烤和打磨以保持阻值的稳定；(4) 加载设计于辐射臂背面，不增加天线臂长或天线的平面面积，结构紧凑。

### 3 实验测试和结果讨论

本文的前期工作研制了一副无反射式连续电阻加载正交天线，实验场地为一室内沙坑，内置三个不同深度的木盒，直径为 100mm 的水管可以插入和取出，以观察目标响应情况。终端利用采样示波器接收回波信号，并配置一台 APPLE-II 微机进行数据采集。图 2 为典型的接收波形。其中 A 段用模拟电路对直耦脉冲进行抑制，并将其后的回波信号适当放大；B 段为目标回波；C 段为其它时间窗口和系统的固有失配反射，波形基本重合，与天线的位置和目标响应的变化无关。天线旋转 90° 后，目标回波的极性反转，据此可以检测管状金属目标。

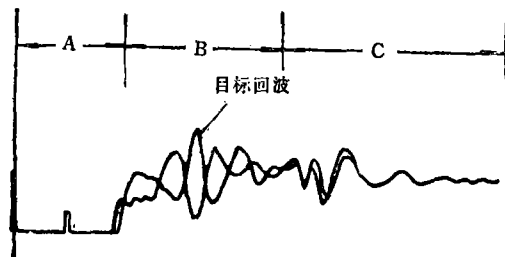


图2 正交扇形天线的探测结果

法，并尝试用扇形臂来代替三角臂。

图 1 为改进后天线的结构示意图和加载电阻分布曲线。由于加载电阻设计在天线辐射臂背面，因而称之为“背载”式。该天线的研制主要有以下特点：

(1) 近地一侧由扇形导体片构成，与地面之间有良好的耦合并产生强烈辐射，剩余的脉冲能量经面加载电阻消耗；(2) 辐射臂和加载吸收层之间为介质层，损耗较小，相对介电常数约为 2，在上下层之间起隔离作用；(3) 上层为电阻吸收层，是用几种不同阻值的电阻浆液按近似正弦分布的阻值分段均匀涂覆在介质层上构成的。经多次涂覆，烘烤和打磨以保持阻值的稳定；(4) 加载设计于辐射臂背面，不增加天线臂长或天线的平面面积，结构紧凑。

天线移动方向 ——

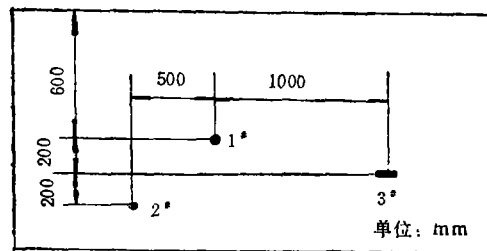


图3 实验场地(土坑)

通过对正交天线的研制和测试，我们认为：(1) 收发采用正交极化，保证了一定的隔离度，可以检测管状目标，但目标同天线臂的取向关系较大，不能直接探测平面分层或极

化性不强的物体(如金属罐等);(2)用连续加载电阻构成辐射臂效率低,电阻涂层的非均匀性和非连续性对强脉冲电流辐射的前期影响大;(3)电阻涂层位于介质基片上,空中辐射强,电缆等周围物体对回波的影响明显;(4)第一个极性点反转后回波极性会依次反转,目标判别的可靠性差。

为减少沙坑四壁和空洞的影响,便于移动测试,我们在室外建筑了体积为  $5000\text{mm} \times 2300\text{mm} \times 1100\text{mm}$  的土坑。如图 3 所示。坑内依次埋下 1#, 2# 和 3# 目标,其中 1#, 2# 为直径 = 100mm 的水管, 3# 为  $70\text{mm} \times 40\text{mm}$  的铜管。测试时天线臂长方向与管道处于平行位置,并快速拖动。

由于土坑较大,目标埋设情况不复杂,“背载”式扇形天线和正交偶极天线均能接收到清晰的回波,接收波形的部份参数比较如表 1 所示。

表 1

天线型式	波形参数	拖尾电平 (dB)	拖尾宽度 (ns)	隔离度 (dB)	信 噪 比 (dB)
正交偶极天线		-7.5	8	36	-22
“背载”式扇形天线		-15	4	23	-9.5

由于电磁波在土壤中的传播损耗大于干沙,当连续电阻加载正交偶极天线应用于土坑时,1# 目标的回波信号已比较微弱。这是其辐射效率不及“背载”式天线的客观反映。然而当采取适当的加载方式如“背载”式,这种正交天线仍可应用于连续测试。R. Caldecott 等人<sup>[6]</sup>研制了端点加载的正交偶极天线,并应用于连续测试,但未对天线的结构作详细报道。一般认为,收发天线平行分开放置,通过改变收发天线的距离,可以获取更多的目标信息。

图 4 为“背载”式扇形天线作移动测试的回波记录。目标响应处回波的变化比较明显,其它时间窗口内的波形比较“干净”,固有失配反射的回波幅度和位置不变,波形的重复性较好。为充分提取目标信息,作者编制了汇编语言程序<sup>[7]</sup>,在天线移动过程中高速采集 192 个波形,利用横向电平比较,在每个波形固定上升沿和下降沿的位置形成竖直黑白

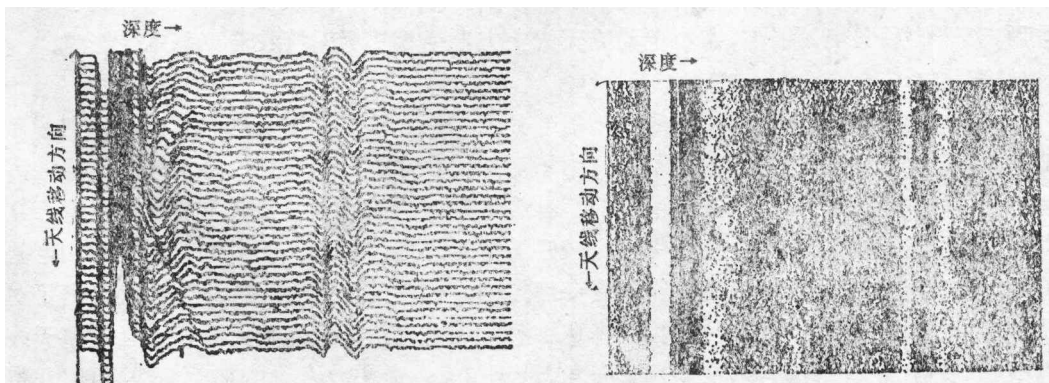


图 4 “背载”式扇形天线的 40 个回波记录

图 5 “背载”式扇形天线单目标探测结果

条纹。若有幅度和时延双重变化的目标回波，则能形成目标的特征图案。图5示出了利用这一技术显示的单目标探测结果。图形左半部分和右半部分的黑白竖直条纹分别代表了时基脉冲和固有失配反射的波形。除目标特征外，其它位置灰度基本均匀，说明接收波形比较平滑，无杂波干扰。若在时间窗内出现了其它黑白竖直条纹，则要考虑是平面分层的回波。固有失配反射估计由平衡变换器引入，重新设计平衡变换器或适当调整馈电电缆长度可望在时间窗内予以消除。

图6为“背载”式扇形天线三目标的探测结果。横向最小间距50cm，纵向间距20cm的三根管道的特征均可清晰辨认。为模拟实地探测，我们还将该天线置于一塑料推车上，图7示出了天线离地5cm的探测结果。由于地面反射引起的能量损失，2#和3#目标的特征已不明显。实验所用脉冲源幅度为80V左右，对于较深层目标的探测，必须采用更高功率的脉冲源。

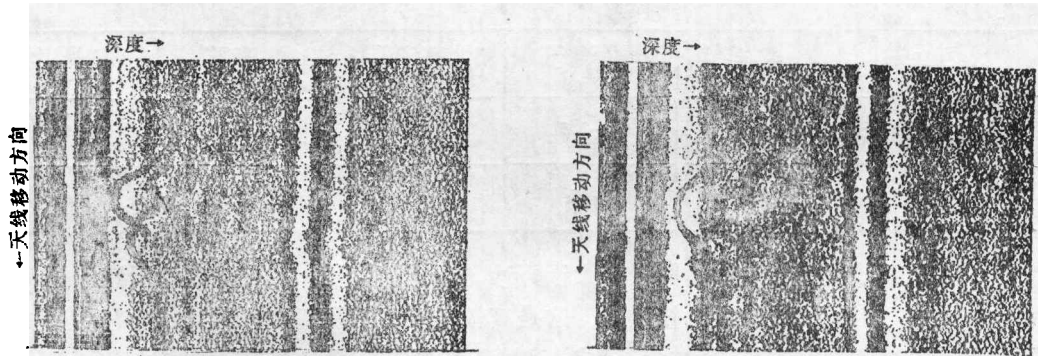


图6 三目标探测结果

图7 天线离地5cm探测结果

为了比较，在扇形天线的基础上，我们制作了一副几何尺寸稍小的“背载”式矩形臂天线和一副双菱形天线。从实验的结果来看，矩形臂天线和扇形臂天线的性能相似。正交天线虽有许多不足之处，但若采用背面加载的方式，其性能将会得到较大改善。双菱形天线的结构过于复杂，发射天线和接收天线分别具有8个臂，即使采取了适当的加载方式，能消除主臂上脉冲波的来回反射，也很难消除各臂之间的相互耦合。比较之下，“背载”式电阻加载扇形天线是一种较好的方案。它结构简单，辐射效率高，行波性好、容易匹配，基本满足了对冲激脉冲探地雷达天线的要求。由于介质层和加载吸收层意外地起到了屏蔽作用，天线的后向辐射很小，人员走动或天线上方电缆等目标对接收波形基本无影响。

#### 4 结束语

天线性能的好坏对探地雷达的后续信号处理和探测效果有重要影响，也是判别一探地装置在工程上是否适用的主要因素。由于对频域带宽和时域波形的要求较高，探地雷达中得到成功应用的天线种类是很少的。从公开报道的天线型式及其探测效果来看，这种“背载”式电阻加载扇形天线是一种比较好的方案。可以预见，天线的几何尺寸和电阻值可以作某些改变而不至使其性能显著变坏。因此，在采用不同的脉冲源激励以满足对探测深度、探测精度的不同要求时，选择这种“背载”式电阻加载扇形天线，适当调整天线臂长，改变收发天线的距离，变动扇形张角，乃至摸索一条更为合理的加载曲线，可以获得满意的探测效果。

**致谢** 感谢作者的导师林为干教授对本文的审阅和提出的宝贵意见。四川联合大学无线电系王保义教授、徐润民副教授对本文工作进行了指导。

### 参 考 文 献

- [1] Daniels D J, *et al.* IEE Proc.-F, 1988, 135(4): 279—320.
- [2] 王保义,等. 电子科学科刊,1992,14(2): 212—216.
- [3] 范国新,陈 平. 电波科学学报,1992,7(3): 1—20.
- [4] Wu T T. King R W P. IEEE Trans. on AP, 1965, AP-12(3): 369—374.
- [5] Morey R M. Geophysical Surveying System Employing Electromagnetic Impulses. U. S. Patent 3806795, 1974.
- [6] Caldecott R. IEE Proc.-F, 1988, 135(4): 343—353.
- [7] 邓扬建. 地下浅层管线检测系统的研制: [硕士论文]. 四川大学无线电系, 1990.

## EXPERIMENTAL STUDY OF IMPULSE SUBSURFACE RADAR ANTENNA

Deng Yangjian

*(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)*

**Abstract** This paper proposes the design scheme of “back-loaded” pulsed antenna. A sector antenna and a rectangular antenna are made on the basis of the method. Based on the measured radar data, the differences among the above-mentioned new scheme, a non-reflecting continuously resistive loaded cross dipole antenna and a double diamond antenna are discussed. It results in the confirmation of the superiority of the “back-loaded” design scheme.

**Key words** Impulse subsurface radar, Non-reflecting continuously resistive loading, “Back-loaded” pulsed antenna, Cross dipole antenna, Double diamond antenna