

文章编号: 1007-4619 (2001) 04-0317-04

# 基于探地雷达的古墓遗址探测及数据后处理方法

姚 萌, 刘树人, 杨 燕

(华东师范大学 电子科学技术系, 上海 200062)

**摘 要:** 探地雷达用于地下考古目标和地下遗址分布的确定, 为探地遥感应用开辟了广泛的应用前景。以浙江、绍兴印山大墓为地下探测特定目标, 针对长江下游地区地下水位高、土壤潮湿使电磁波被地下水大量吸收而无法很好地深入地下, 目标回波信号幅度小、信噪比低而影响探测结果, 以冲击脉冲雷达和线性调频雷达两种方式对地下目标作用, 以获取同一地下目标的各种电特征数据和地下目标同一物理特征的不同电参量表示, 提高接收信号的信噪比, 增加探测深度。并用回波能量相关方法辨别地下古代遗址的外形轮廓以确定目标位置。选择不同天线位置, 对地下目标的反射特性参数做聚类处理。利用图像处理方法, 使地下古墓廓线三维反演成像, 并使位置误差最小。为古墓的无损探测提供了一种可行的方法。

**关键词:** 探地雷达; 地下考古目标应用; 古遗址位置目标确定; 古墓廓线三维反演

**中图分类号:** TP79/TP721.2 **文献标识码:** A

## 1 引 言

地下目标的无损探测、地下电波传播和瞬态电磁场理论的研究已越来越为人们所重视, 并对各种目标物的探测做了大量的研究工作。而探地雷达作为一种无损探测技术用于考古研究, 特别是对埋藏于地下的古代遗址、古代墓穴以及遗址的位置、分布范围的确定有着积极的作用。长江下游地区因其地下水位高, 土壤潮湿, 使电磁波被地下水大量吸收而无法很好地深入地下深层, 使得回波信号幅度小, 信噪比低而影响探测深度和精度。且由于地层是一种色散媒质, 使探地雷达的探测电磁脉冲经过地层传输后变宽, 回波脉冲无法被正确识别, 从而无法确定地下目标的准确位置。所以在后期数据处理和图像重构时很难确定地下目标的准确位置与外形轮廓。

本文以冲击脉冲雷达和线性调频雷达两种方式对地下目标作用, 以获取同一地下目标的各种电特征数据和地下目标同一物理特征的不同电参量表示。针对长江下游地域土壤潮湿的特点, 提出对地下古代遗址(土墩墓)无损物探的一种方法, 即通过

纵向时间相关技术提高接收信号的信噪比, 增加探测深度。并用回波能量相关方法辨别地下古代遗址的外形轮廓以确定目标位置。选择不同天线位置, 对地下目标的反射特性参数做聚类处理。以及数据后处理时, 利用图像处理方法, 使地下古墓廓线三维反演成像, 并使位置误差最小。

## 2 地下电波传播的基本特性

电磁波地下传播特性取决于地下介质的高频导电性能, 而导电特性的变化直接影响地下电磁波的传播特性与反射特性——速度与衰减, 同时这两个特性则取决于地下介质介电性与传导性。

一般情况下电波在地下介质中传播时, 介质的位移电流大于传导电流, 故电波在地下介质中二维传播(只考虑向下传播)方程可以写成:

$$\Delta^2 E_z = \mu_0 \epsilon^* \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2}$$
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon^*}}$$
$$\epsilon^* = \epsilon' + j\epsilon''$$

收稿日期: 2000-06-19; 修订日期: 2000-09-25

基金项目: 国家自然科学基金(No: 49271053)。

**作者简介:** 姚萌(1957—), 男, 上海市人, 副教授, 毕业于华东师范大学电子科学技术系通信与信息系统专业, 获硕士学位。现工作于华东师范大学电子科学技术系, 从事电磁波遥感理论、系统和应用等方面的研究工作。对地下无损探测, 特别是在古遗址探测以及探测数据的数据后处理方面作了大量的工作, 发表论文章多。



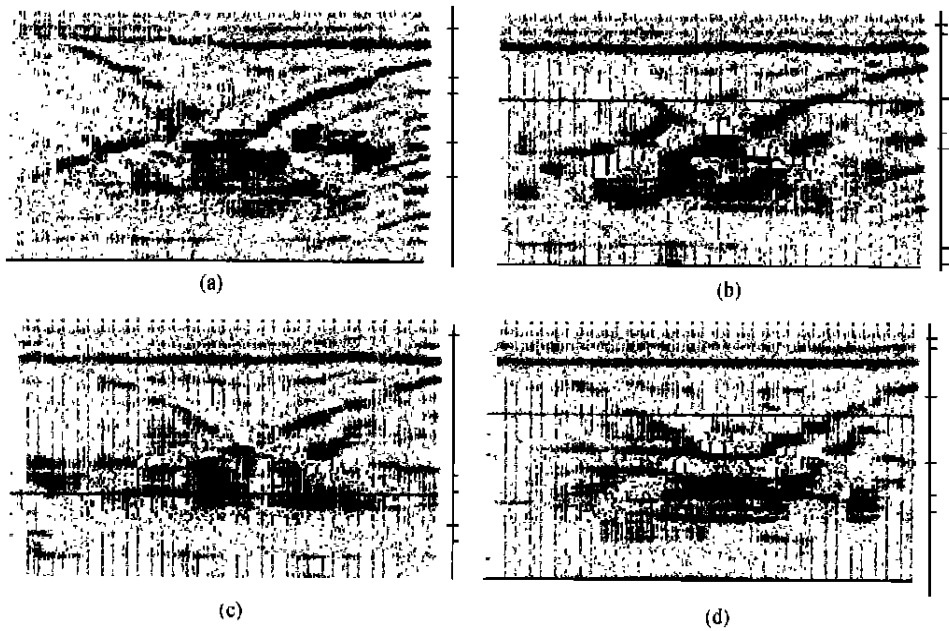


图 2 剖面的灰度表示  
 (a)测线 5, (b)测线 6, (c)测线 7, (d)测线 8

Fig. 2 Grey level sections

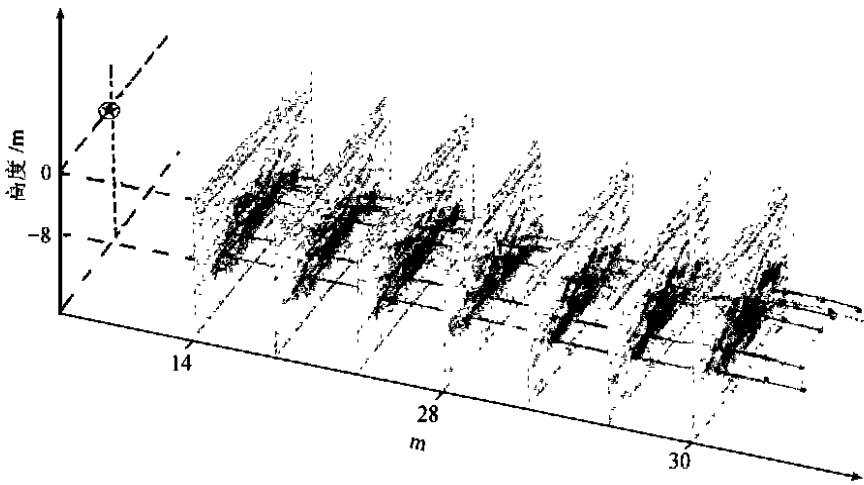


图 3 大墓廓线的三维表示

Fig. 3 3D description to the Yin Mountain Relics

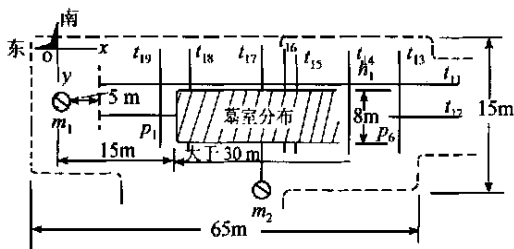


图 4 墓室分布

Fig. 4 Grave distribution

侧以测线 7 作插值, 同时在测线 5 的右侧以测线 5 作插值表示(图 3)。并找出各测线平面(剖面)异常反应的相似点作出大墓廓线。形成主墓室的三维轮廓示意图和可能墓室分布示意图(图 4)。主墓室宽约 8m, 长度在 30m 以上(因测线布置有限和一些测线如测线 3 和测线 4, 因探测时数据采集不够, 故无法确定目标。所以在墓室长度上即东西方向没有足够的探测数据)。墓室深度为探测地面以下 6—8m 处。经古墓发掘验证, 对照探测测线布置时所作的定位标志(图 1), 南北向三角形墓顶位置误差不超

过 1m, 墓顶距探测面距离误差在 1m 以内, 东边墓墙误差在 1m 以内, 这在江南水乡来讲, 探测结果是非常成功的。

## 4 结论与讨论

各类古代遗迹一般均是人为的结果, 而非自然演变形成<sup>[4]</sup>。探地雷达用于古代遗迹探查中, 获取的地下信息往往有多解性。由于土墩墓的覆土多为夯土, 经过几千年后泥土会造成不同程度的板结, 使回波受到一定程度的干扰而影响探测, 给图像解译带来一定的困难, 产生一定的位置与深度的误差。在后期数据处理时, 针对电磁波在介质中传播特性和在探测中能确认的定标目标(印山古墓探测中, 针对大墓数次被盗后遗留的盗洞覆土与建墓时夯土的板结程度不同, 在盗洞界面上电磁波反射有明显差异), 综合分析, 使地下石代遗址的位置误差为最小。印山墓探测结果以及后期数据处理手段及图像分析

方法, 为今后的古墓探测方法提供借鉴, 并为古墓发掘与虚拟——现实表示提供了一条新的探索之路。对考古发掘的意义是十分巨大的。

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Hachiro Tsuchihashi, katsushige Satoh. A Radar for Underground Pipes Detection, DIREG [C]. 1989.
- [2] Fawwaz T Uilaby, Richard K Moore, Adrian K Fung. MICROWAVE REMOTE SENSING ACTIVE AND PASSIVE [M]. 1981.
- [3] Gong Liang. The first research on Han dynasty tome structure in South China [J]. Southeast culture Volume III, Jiangsu ancient books publish house. 1988. [龚良. 汉——孙吴时期我国南方地区砖式墓形制类型初探. 东南文化, 第三辑, 江苏古籍出版社, 1988.]
- [4] Liu Shuren, Shong Baoquan. Past, present and future of international remote sensing archaeology [J]. *Journal of East China Normal University Natural Science*, Special Issue of Archaeology Remote Sensing, 1992. [刘树人, 宋宝泉. 国外航空遥感考古发展的历史、现状与前瞻[J]. 华东师范大学学报, 遥感考古研究(三). 1992, 7—25.]

# GPR for Ancient Relics Sounding and a Method of GPR's Data Post-processing

YAO Meng, LIU Shu-ren, YANG Yan

(Dept. of Electronic Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Ground Penetrating Radar is an intact sounding technology in archaeological research field. It has constructive significance especially in positioning underground ancient relics or other remains and deciding the distribution area. The EM-waves can not reach deep into the underground in the Yangtze down-river area because it is absorbed by plenty of moisture for the high underground water level and the wet earth. This fact results in the shorter penetrating altitude and less precision for the back-wave shorter altitude and lower S/N rate. For the stratum is a kind of chromatic dispersion media, the radar back-wave impulse become broader after it come across stratum. The back-wave can be identified correctly and the precise position can be stated which make it difficult to define the project exact location and profile in the latter data processing and image rebuilding process. This article presents a new method that is encoded by both impulse signal and FMCW radar signal to positioning the underground ancient relics especially the vault tombs under the special geographic conditions like the Yangtze river. It increased the signal S/N rate by the vertical time related technology to enhance the penetrating precision. The profile of the underground tombs is determined by the way of back-wave energy related method to indentify the project location. The wave-transmitting antenna is located at different places and the reflection character parameters of the project are processed in collective grouping way. Then using image processing technique the underground relics is reversely-deducted in 3D and the error of the position is deduced to the minimum.

**Key words:** ground penetrating radar; application of underground remains; location of ancient relics; ancient tomb 3D reverse deduction