

厦门市 古宅重建项目探测报告

编写单位：

项目负责人：

编写人：

承担单位：中国电波传播研究所

201 年 4 月

1 概述

1.1 工程概况

本次探测应 研究所邀请，于 4 月 23 日开始对厦门郊区一古式民宅进行地下目标检测任务。此古宅修建于清朝末期，有超过百年的历史，作为 研究所循环可持续发展建筑的试点而得到重新开发。原房主及现策划方怀疑古宅地下埋有古代文物，遂邀请我所对其进行探地雷达探测，来确保文物在开发中不被破坏，同时对我所设备进行性能考核。

本次探测目的主要是为了统筹兼顾古宅保护与开发、配合 循环可持续发展建筑的相关重点工程，对古宅历史文化遗产进行探测与保护规划。

1.2 工作内容

根据任务要求，于 2015 年 4 月 23 日开始对厦门市郊外古宅--- 凤 楼进行探地雷达探测。测线采用密集平行测线进行采集，对共计 11 间（含庭院）共计超过 500 平方米的地区进行精确扫描。

探测地点：厦门市郊区

探测时间：201 年 5 月 23 日

2 现场探测

2.1 方法原理

1. 探地雷达探测原理

探地雷达方法基于电磁波在不同介质中的传播特性。电磁波的传播取决于介质的电性，介质的电性主要有电导率 μ 和介电常数 ϵ ，前者主要影响电磁波的穿透(探测)深度，在电导率适中的情况下，后者主要影响电磁波的穿透(探测)深度，在电导率适中的情况下，后者决定电磁波在该物体中的传播速度，因此，所谓电性介面也就是电磁波传播的速度介面。不同的地质体(物体)具有不同的电性，因此，在不同电性的地质体的分界面上，都会产生回波。基本目标体探测原理见下图：

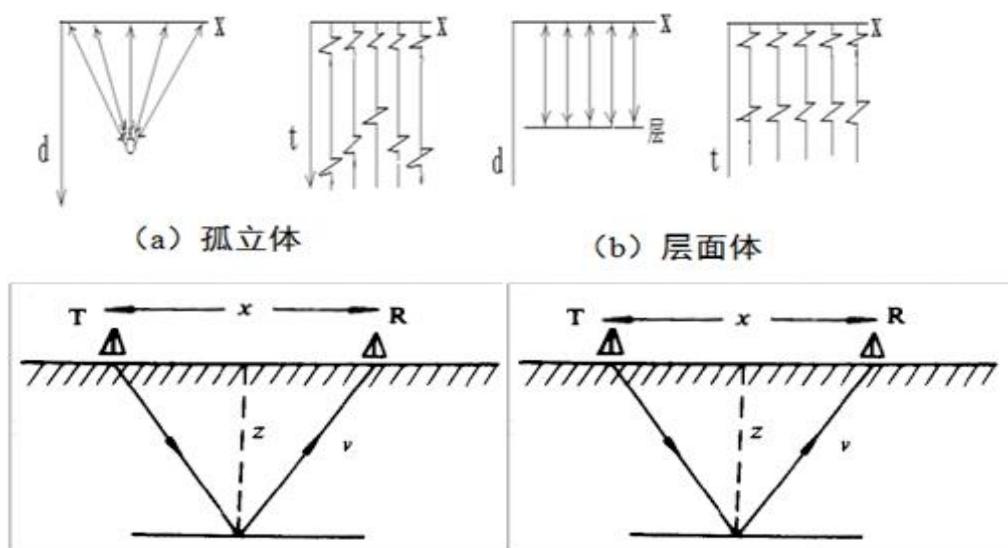


图1 电磁波在地下的传播路径(左)及记录波形(右)

2. 探地雷达探测方法优缺点

(1) 探地雷达方法与其它地球物理检测方法有如下优点：携带方便、

无损检测、采集速度快、水平及垂直位置精度高等。

(2) 探地雷达方法亦有其局限性：

1) 探测深度和目标体的分辨能力依赖于土壤（或地下介质）特性，高导电率介质会使 GPR 方法无效（如海水、盐碱地、金属矿、粘土层等）；

2) 目标体和周围介质要有足够的电性差异（介电常数和电阻率）；

3) GPR 数据的解释因人而异，解释者的经验非常重要（特别是针对于超前预报）。

2.2 仪器设备

本次探测采用 LTD-2100 型探地雷达主机。 LTD 探地雷达由一体化主机、天线及相关配件组成（图 1）。相对于探地雷达所用的高频电磁脉冲而言，通常工程勘探和检测中所遇到的介质都是以位移电流为主的低损耗介质。在这类介质中，反射系数和波速主要取决于介质的介电常数 ϵ ，空气的相对介电常数为 1，最小；水的相对介电常数为 81，最大。雷达工作时，向地下介质发射一定强度的高频电磁脉冲（几十兆赫至上千兆赫），电磁脉冲遇到不同电性介质的分界面时即产生反射或散射，探地雷达接收并记录这些信号，再通过进一步的信号处理和解释即可了解地下介质的情况（图 2）。



探地雷达系列



LTD-2100 探地雷达主机

GC400MHz 配套屏蔽天线

图 2 仪器设备

2.3 技术指标

1. 探地雷达主机的技术指标

- 1) LTD-2100型雷达主机为单通道模式；
- 2) LTD-2200型雷达主机为单、双通道模式可选，分时工作；
- 3) 兼容性：兼容LTD2000型雷达的全系列天线；
- 4) 连续工作时间：≥4小时；
- 5) 体积：≤311 mm×212 mm×61 mm（含航空插座）
- 6) 主机重量：≤2.5 kg

- 7) 整机功耗：15W,内置16.8V、65Wh锂电池供电或外部电源供电9V~18V;
- 8) 天线自动识别范围： 50MHz~1.5GHz天线;
- 9) 扫描速率：16Hz, 32Hz, 64Hz, 128Hz可调; 记录道长度：256, 512, 1024, 2048可调;
- 10) 脉冲重复频率：16kHz, 32kHz, 64kHz, 128kHz可调;
- 11) 时窗范围：5ns~1us,连续可调;
- 12) 输入带宽：1Hz~16kHz;
- 13) 动态范围：-7dB~130dB;
- 14) 雷达信号输入范围：±10V;
- 15) 系统信噪比：大于70dB;
- 16) 软件处理功能：滤波、放大、道间平均、去背景处理;
- 17) 测量方式：逐点测量, 距离触发测量, 连续测量可选;
- 18) 显示方式：伪彩图、堆积波形或灰度图;
- 19) 冲击振动：满足GJB74.6~85要求;
- 20) 工作温度：-10℃~+50℃;
- 21) 储存温度：-20℃~+60℃;
- 22) 湿热条件：+30℃, 90%。

2. 探地雷达配套天线的种类及技术指标

(1) 天线选型

LTD 探地雷达天线有屏蔽型、非屏蔽型（平板式）和喇叭天线三种类型。针对本次考古探测任务，从分辨率、穿透力和稳定性三个

方面综合衡量，使用中国电波传播研究所研发的 LTD-2100 主机加 400MHz 天线完成检测任务。

(2) 电磁波波速标定

在现场未发现易于标定的地下目标，故使用经验波速进行计算。

(3) 参数设定

采用连接测距轮探测方式，标记扩展选择为 2，道间平均选择为 5。

(4) 现场采集的连续雷达扫描图像，经计算机处理后，绘制成雷达时间剖面图。遇特殊情况影响探测效果的均在现场进行复测，确保全部数据均为有效记录。

3 探测结果与分析

3.1 数据采集

1. 测线规划

为了得到厦门古宅探测结果，首先对古宅进行了测线规划，如图 3、4 所示（测线间距 30cm）。

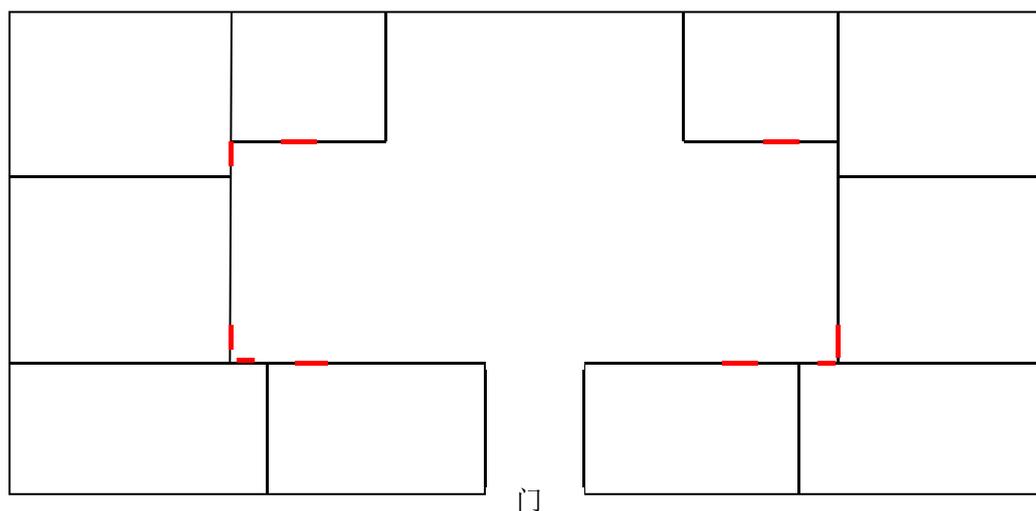


图 3 古宅一层平面图（红色处为门）

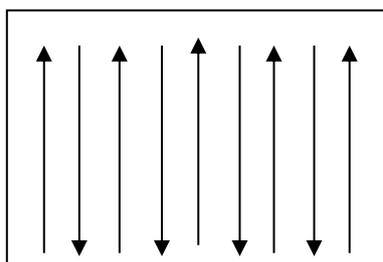


图 4 方形房间内部测线分布

3.2 资料处理

探地雷达数据处理包括预处理（标记和桩号校正，添加标题、标识等）和处理分析，其处理流程如图 8 所示，其目的在于压制规则和随机干扰，以尽可能高的分辨率在探地雷达图像剖面上显示反射波，突出有用的异常信息（包括电磁波速度，振幅和波形等）来帮助解释。

探地雷达所接收的是来自地下不同电性界面的反射波，其正确解释取决于检测参数选择合理、数据处理得当、模拟实验类比和读图经验等因素。

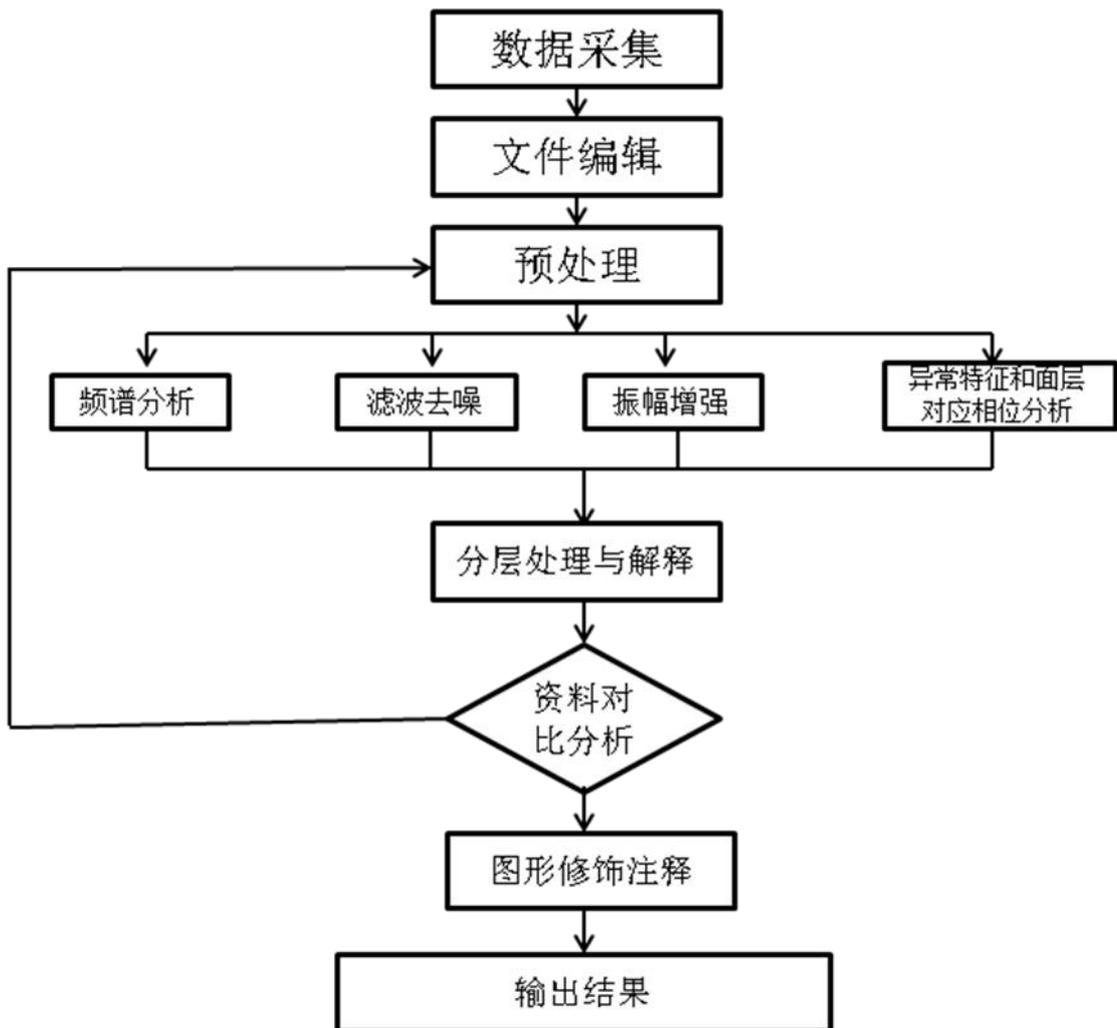


图 5 探地雷达数据处理流程图

雷达数据的采集是分析解释的基础，数据处理则是提高信噪比，将异常突出化的过程。将现场采集的探地雷达数据传输至计算机中，应用配套的探地雷达处理软件进行处理。首先进行预处理，即定标点的编辑、文件头参数设定及距离均一化。

经过预处理后，还要进行一系列的数字化信号处理，通常的信号分析处理模块有：振幅谱分析、功率谱分析、相位谱分析、滑动平均谱分析、二维谱分析；常规信号处理模块有：漂移去除、零线设定、背景去噪、增益、谱值平衡、一维滤波、二维滤波、希尔伯特变换、反褶积、小波变换；运算模块有：道间平衡加强、滑动平均、文件叠加、文件拼接、混波处理、单道漂移去除、数学运算、积分运算、微分运算；图形编辑模块有：图形的放大、缩小、压缩、截取等。

经过上述数字信号处理后，可以有效地压制干扰信号的能量，提高雷达信号的信噪比，使雷达图象更易于识别地质信息，清晰的反映地质现象，从而提供更准确的解释结果。数据处理采用中国电波传播研究所自行开发的 IDSP6.0 探地雷达处理解释软件。处理过程包括预处理（步骤：①修改文件头参数；②标记和桩号校正；③剖面翻转和道标准化；④添加标题、标识等）和处理分析（包括①浏览整个剖面，查找明显的异常；②频谱分析；③滤波去噪；④振幅增强；⑤异常特征和面层对应相位分析；⑥剖面修饰等）。

经过处理后的检测剖面中不同的明暗度对应不同的幅度强度，横轴代表里程桩号（单位为 m），纵轴表示电磁波传播的双程走时经速度计算后显示为深度（单位为 m）。

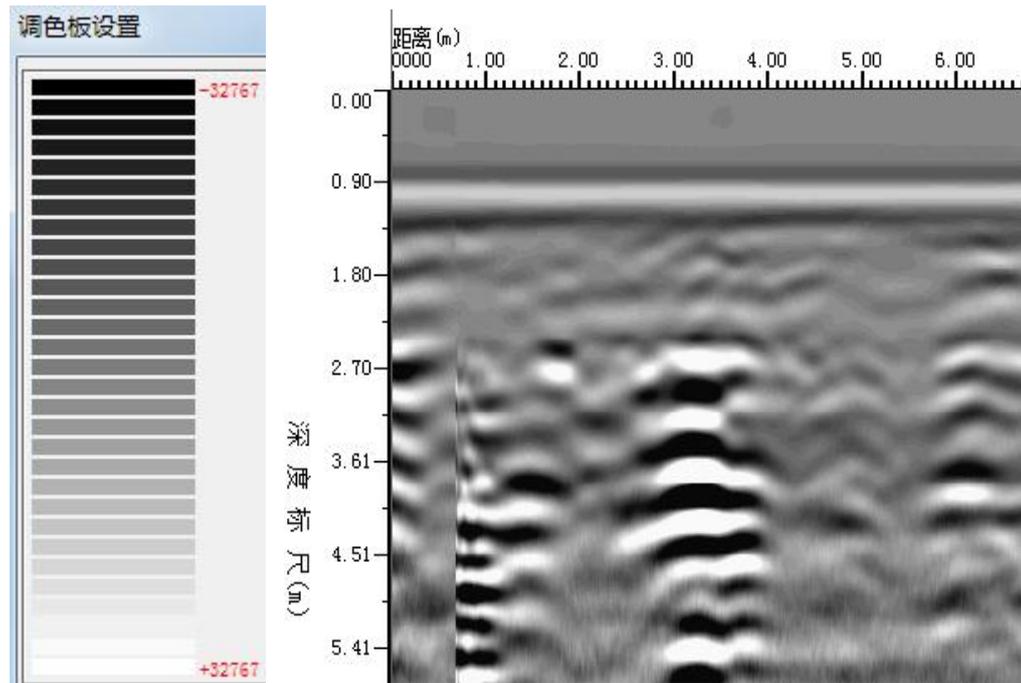


图 6 探地雷达剖面调色板及灰度图显示

3.2 输出结果

1. 探地雷达图像分析依据

探地雷达图像的分析有定性和定量两种，定性分析主要表现在对空洞、异常、产状的判断上，定量分析主要在异常深度及长度的判定上。异常深度的判定可由电磁波从地面到异常体的双程走时来确定，由于异常体与周围介质存在一定的电性差异，特别是有空洞、空隙存在时，泥土、空气与围岩三者之间存在较大差异，在该界面位置出现强反射，电磁波能量显著增强，形成强反射界面，但当土壤含水量较高时会严重吸收电磁波能量使得反应地下深层的信号强度大大减小；电磁波波速则是根据土壤的成分及含水量等因素确定，电磁波在土壤中的相对介电常数 ϵ_r ，然后利用以下公式即可计算出异常体埋深。

$$r = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

对于地下异常体的判读方法，这主要根据电磁波波形、振幅大小及电磁波同相轴连续性的好坏来进行判断。当地下土壤较为均一，不存在裂缝及空洞时，雷达图像上表现为雷达波同相轴连续性较好。反之在雷达图像上会表现为反射能量强、同相轴连续性较差，甚至产生双曲线形态等异常现象。

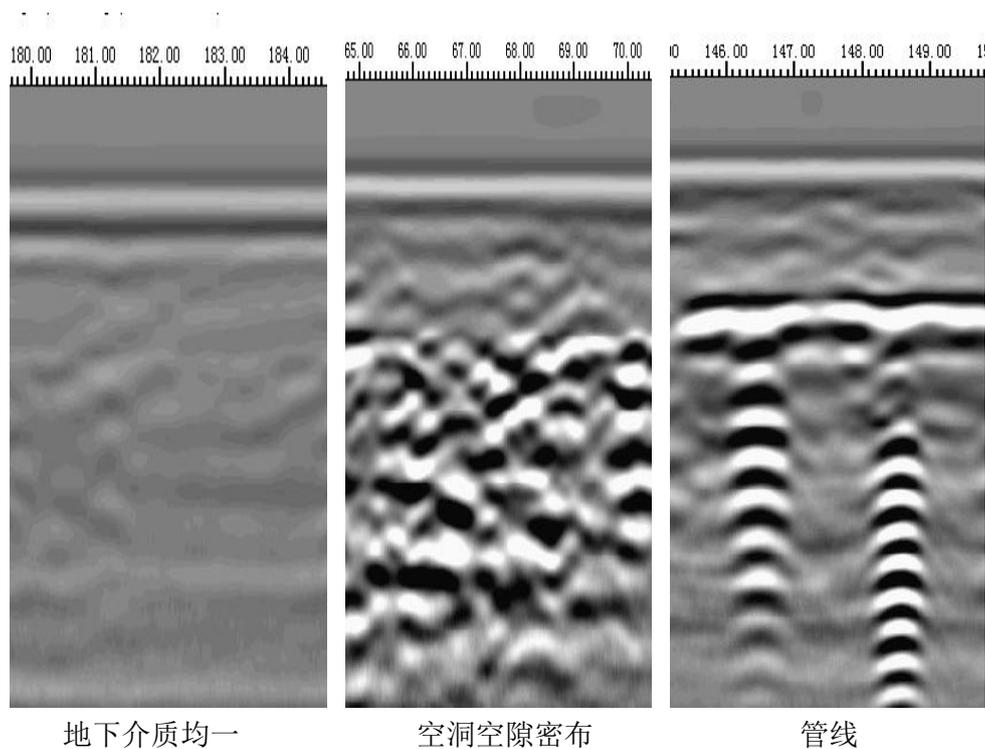


图7 不同地下异常体探地雷达结果对比图

2. 古宅探地雷达数据分析

此次分析仅针对异常区域进行分析。

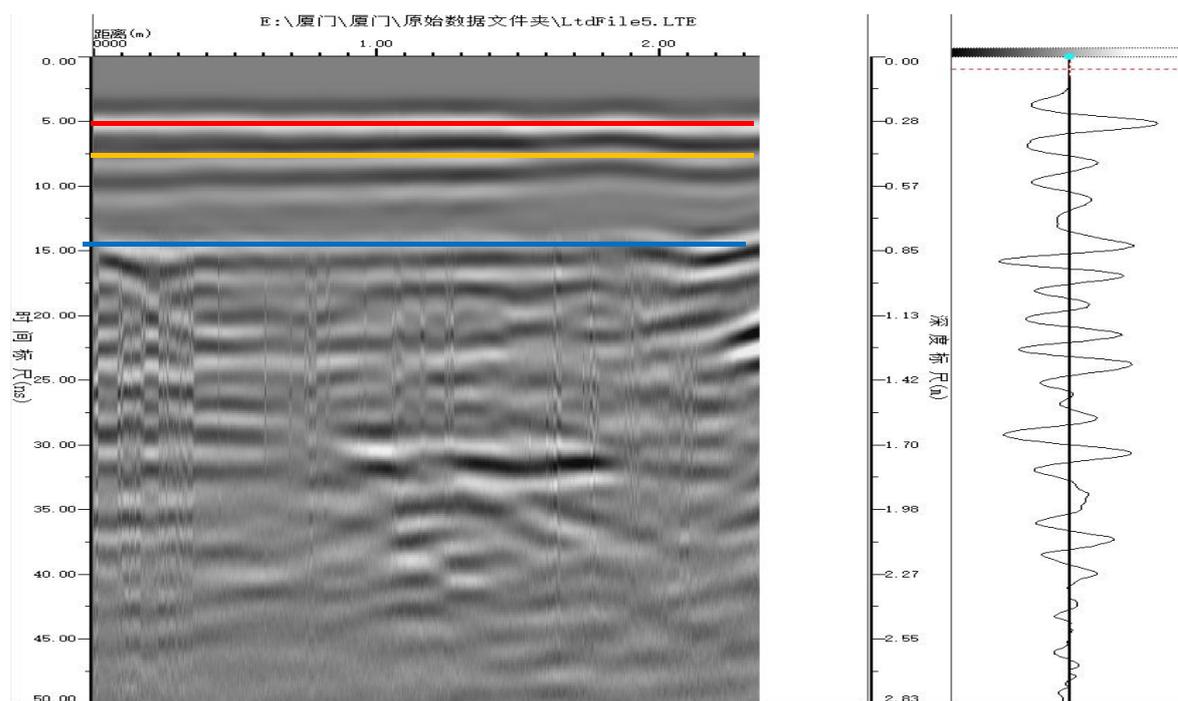


图 8 房屋地下结构典型图像

古宅地下结构分层较为明显，红线表示层位为地面，黄线表示层位为地基夯土层与地下砂质土壤交界面。蓝线表示地下砂质土壤与地下基岩交界面。



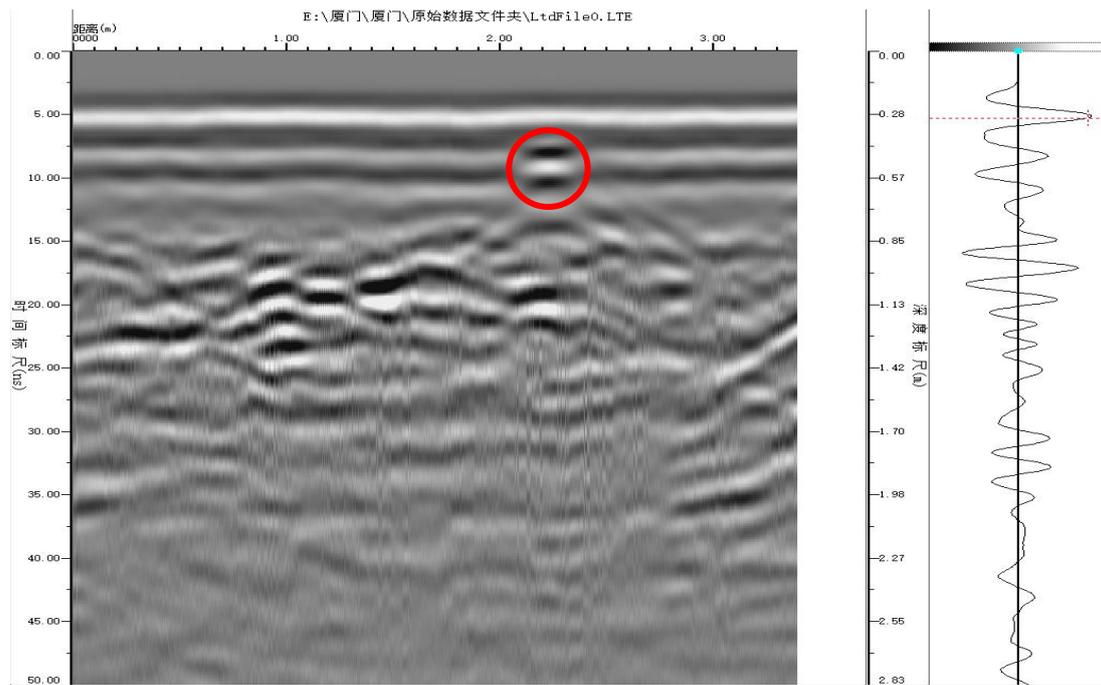


图9 可疑点 1

可疑原因：在人工夯土层中出现异常信号且较为明显，有开挖后回填的特征。在针对异常点作交叉探测后个方向测线均在异常点有雷达异常反应。



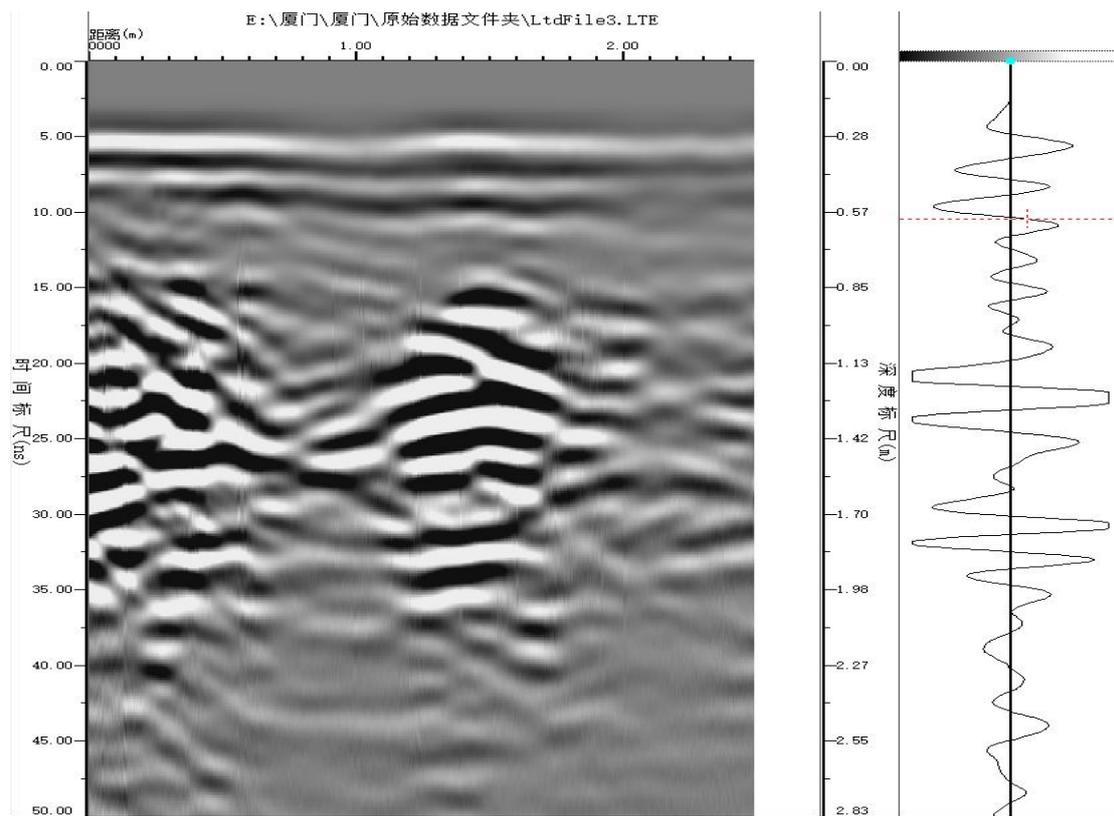


图 10 可疑点 2

可疑原因：在较为均一基岩层内出现较为明显的空洞反应，且针对此点的个方向测线均有异常反应。



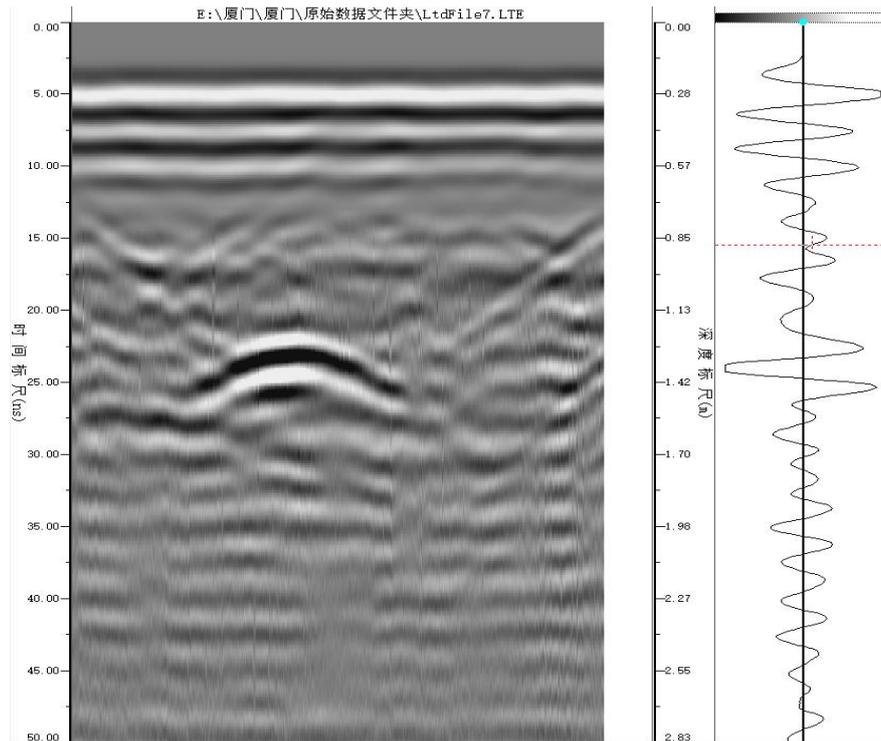


图 11 可疑点 3

可疑原因：在较为均一基岩层内出现较为典型的空洞反应，振相与地面波相反，且呈现出非常典型的弧形特征，针对此点的个方向测线均有异常反应。

4 总结

此次探测过程中共计发现 3 处可疑点，其各有各的特征，教科书式的体现了探地雷达在地下目标探测中的作用，圆满的完成了

对我所的探测要求，完美的展示了我所探地雷达的效果及在地下文物领域内的作用。