



基于探地雷达的复垦土壤层次无损探测研究

赵艳玲, 王金, 贡晓光, 张明明, 陈兵

中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083

摘要 耕地资源紧是中国面临的现实问题, 土地复垦作为补充耕地的重要手段之一, 复垦后耕地的表土层厚度直接影响工程质量, 特别是薄表土地区覆土厚度检查是关键。传统的检验方法费时费力。针对上述问题, 选择微波遥测仪器——探地雷达为工具进行了土层结构无损探测的室外模型实验。构建模型自下而上依次为原状土(40 cm)、粗砂(25 cm)、土(15 cm)和细砂(30 cm), 中心天线频率为 500 MHz, 测量方法为共剖面法。通过对雷达图像分析, 各层介质探测差值小于 5 cm, 表明探地雷达能够有效探测土层结构, 可以用于土地复垦工程土层厚度的验收工作; 同时, 尝试对实验的时间-振幅和频率-振幅进行分析, 通过时间-振幅图可以看出, 振幅在 0.95、7.15、9.93、15.7 和 17.50 ns 附近发生了 5 次明显变化, 能够更加直观地解译雷达信号; 通过频率-振幅图可以看出, 在频率达到 470.10 MHz 时, 振幅最大为 1 821, 电磁波最有效, 可为探地雷达设备选择提供理论支持。

关键词 探地雷达; 土壤层次; 无损探测; 振幅; 频率

中图分类号 X825

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)17-0035-03

Nondestructive Detection of Soil Layer Based on GPR

ZHAO Yanling, WANG Jin, GONG Xiaoguang,
ZHANG Mingming, CHEN Bing

*College of Geoscience and Surveying Engineering, China
University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 10083,
China*

Abstract In a land reclamation project, the surface soil level thickness, especially in the thin surface soil area, directly influences the project quality. The traditional inspection procedure is both time-consuming and very difficult to implement. In this paper, the microwave remote-sensing instrument (Ground Penetrating Radar) is used to carry out the soil layer structure nondestructive survey in outdoor model experiments. The model consists of undisturbed soil (40 cm), coarse sand (25 cm), soil (15 cm), and fine sand (30 cm), from bottom to top, with central antenna frequency of 500 MHz. The radar image analysis shows that the soil layer structure can be effectively distinguished within 5 cm. The analysis on the time -

oscillation amplitude shows that amplitude sees a significant change near 0.95, 7.15, 9.93, 15.7 and 17.50 ns, as a direct interpretation of the radar signal. From the frequency - oscillation amplitude chart one can see that at the frequency of 470.10 MHz, the amplitude reaches up to 1 821, as the most effective electromagnetic waves, which can be used as a reference in design of radar equipment.

Keywords Ground Penetrating Radar; soil layer; nondestructive detection; oscillation amplitude; frequency

0 引言

土地复垦是实现最严格土地管理制度的重要组成部分, 是守住全国耕地不少于 18 亿亩(1.2 亿 hm^2)红线, 确保国家粮食安全、农民增收的重要手段。2008 年全国土地整理复垦开发补充耕地 344.4 万亩(22.96 万 hm^2)。对于耕地来说, 土地复垦后土壤层次直接影响耕地生产力, 尤其是薄表土地区, 表土层厚度决定作物能否生长。传统的检查方法是现场挖剖面, 费力、费时, 利用探地雷达(Ground Penetrating Radar, GPR)设备可以避免挖剖面, 且省时省力, 因此, 开展基于探地雷达的土壤层次无损探测研究意义重大。

目前, 利用探地雷达对地下管道、高等级道路的探测已有较成熟的设备和技术, 但对土壤层次的探测研究刚刚起步。

收稿日期: 2009-06-18

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAB38B03-02); 中国矿业大学(北京)大学生创新性实验计划项目(0814)

作者简介: 赵艳玲, 副教授, 研究方向为土地复垦与生态重建, 电子信箱: zhaoyl7677@163.com



在国外,1990 年,Farrish 等^[1]用 GPR 研究了薄土层的连续性;1996 年,J. Boll,R. P. G. van Rijn 等^[2]用 GPR 探测到砂质土壤中粗砂层的存在;2002 年,P. R. A. Aranha 等^[3]利用 GPR 研究了土壤的风化剖面;2004 年,Roth^[4]应用 GPR 探测土壤层次;2005 年,R. M. Mamani 等^[5]使用 GPR 在秘鲁 Machu Picchu 探测浅层地表、沉积物结构层次方面取得了明显的效果。在国内,薛建等^[6]利用探地雷达在吉林西部地区探测土壤碱化层,指出利用此方法可以了解土壤盐碱化程度;彭亮等^[7]应用低频微波波段 GPR 测量土壤结构,将探地雷达用于刻画农田土壤剖面层位结构,可有效探测土壤层位结构。利用 GPR 进行复垦土壤层次探测是近年来的新研究领域,相关研究见 2005 年胡振琪等^[8]用于 GPR 复垦土壤层次的研究,其在实验过程中使用黏质土壤、粉煤灰土壤和沙质土壤进行探测,定性分析了 GPR 可以实现对土壤的分层。

本实验的目的是通过利用无损探测工具探地雷达,对土地复垦工程中的土地做到快速、连续、无损探测,刻画土壤层位结构,有利于精准农业的开展。

1 探地雷达工作原理

探地雷达方法其基本原理是利用一个天线向地下发送脉冲形式的高频、甚高频电磁波,电磁波在地下介质传播过程中,遇到存在电性差异的地下目标体,如空洞、分界面等时,电磁波便发生反射,返回到地面时由接收天线所接收。在对接收天线接收到的雷达波进行处理和分析的基础上,根据接收到的雷达波形、强度、双程走时等参数便可推断地下目标体的空间位置、结构、电性和几何形态,从而达到对地下隐蔽目标物的探测。探地雷达采用非接地性测量,可作快速连续的无损检测,能比较直观地表现检测目标物。

2 实验部分

2.1 实验设备

本实验采用加拿大 Sensor & Software 公司的 EKKO 高频系列雷达,仪器为 Noggin 500,具有收发一体且屏蔽式的天线。根据土地整理工程中覆土厚度小于 1 m 的情况,探测 1 m 内的土壤层次结构状况,结合土壤介电特性受土壤质地影响最小的范围,选择中心频率为 500 MHz 的天线。

2.2 实验模型

实验模型尺寸为 240 cm×80 cm×110 cm,从底层到上层依次为原状土、粗砂、土和细砂,如图 1 所示。其中,原状土指去除杂质,但颗粒没有用筛子进行粒径分极,厚度 40 cm;中部粗砂粒径 2~6 mm,厚度 25 cm,中上部为土,厚度 15 cm(左边土壤粒径 0.5~5 mm,右边土壤粒径<0.5 mm,以正中间为界);最上层为细砂,粒径<2 mm,厚度 30 cm。同时在最底层分别埋设 PVC 管(直径 11 cm)和钢管(直径 5 cm),PVC 管和钢管的切面圆心埋深分别为 0.90 和 1.01 m,距离左边木板分别为 0.60 和 1.55 m。

测量方法采用共剖面法,即发射天线和接收天线间距保

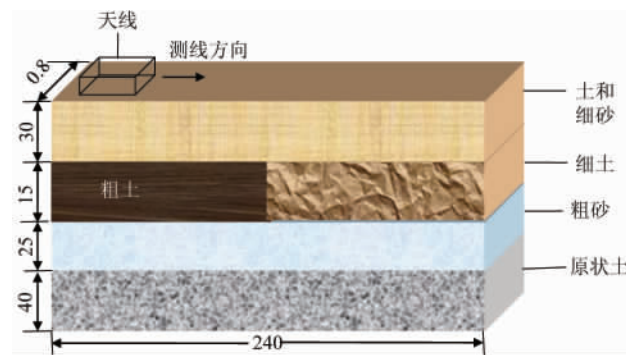


图 1 土壤层次测试实验模型(单位:cm)

Fig. 1 Experiment model about soil layer testing (unit: cm)

持不变并沿测线方向同步移动,得到的雷达图像是一张时间剖面图,横坐标为天线在水平方向的位置,纵坐标为雷达脉冲的双程传播时间。这种测量可以反映测线下方整个地下剖面的不同介质层交界面的分布图形。经过处理后,可以反映出地下剖面的实际图像。测线布置在模型长轴中线的位置,测线长 2.40 m。模型层次建立后使用探地雷达进行测量,对不同土壤层次、不同土壤质地和不同厚度的雷达图像进行对比分析,对 GPR 探测获得的时间、振幅和频率等信息进行研究,获取土壤层次信息。

3 数据处理与分析

3.1 雷达图像处理与分析

由于测得的原始雷达信号存在许多干扰噪声,因此采用探地雷达自带软件对信号进行适当处理以改善数据质量,为进一步解释提供清晰可辨的图像。图 2 是用 500 MHz 天线获取的经过处理后得到的 GPR 图像,其中横坐标为天线在地表测线上的位置,纵坐标为雷达脉冲从发射天线出发经地下界面反射回到接收天线的双程走时。

从图 2 可以看出,从 0 ns 开始时,电磁波在空气中传播,在 0.95 ns 时遇到土壤层,此后雷达波发生了 4 次变化。在 7.15、9.93 和 15.7 ns 附近,其之前和之后的波形均发生了明

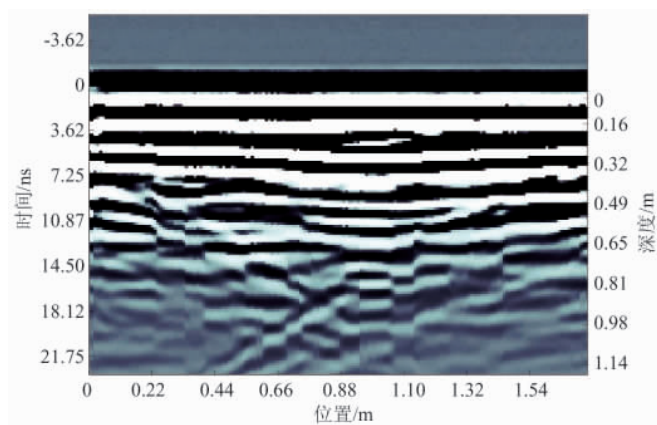


图 2 处理后的雷达图像

Fig. 2 GPR image after processing

显变化,说明此处遇到了不同介质的交界面,由此可由上至下介质的厚度依次为 34、17 和 21 cm;在 17.50 ns 时,雷达波局部发生变化,原因是此处埋有钢管和 PVC 管。

与模型设计对照,自上而下前三层介质厚度为 30、15 和 25 cm,探测差值分别为 4、2 和 4 cm。

此外,由于本次实验模型设计较小,使探测时雷达信号越往下衰减得越快,受空气干扰也越剧烈;从雷达图像上可以看到,图像中隐约出现剪刀状信号,初步判断为空气干扰。另一方面,因为此次采用的是 500 MHz 的天线,第二层介质—土层厚度较薄,使得这一层次的信号没有其他层次明显。

3.2 时间-振幅分析

振幅描述了物体振动幅度的大小和振动的强弱,即反映物体振动的能量。时间-振幅之间的关系对土壤层次有明显的反映,在同种介质中,波的形态不变,振动能量随着双程走时的增加,振幅逐渐减小。在不同介质的交界面,波形图的形状和大小发生改变,变为另外一种形态。

图 3 是由雷达图像处理得到的时间-振幅图。可以看出,0.95 ns 时,振幅急剧上升,此时遇到模型第一层介质——细砂层;7.15 ns 附近之后,振幅变化很小,几乎成直线,判断此处遇到模型细砂层与土层交界面;然后振幅变化慢慢降低,波动幅度趋向减小;9.93 ns 附近时,其之前和之后的波形发生明显变化,此处遇到土层与粗砂层交界面;15.7 ns 时,振幅大小几乎不变,之后振幅增大,说明此时遇到粗砂层与原状土层交界面;而在 17.50 ns 附近,振幅再次发生较大变化,原因是此处埋有钢管和 PVC 管。

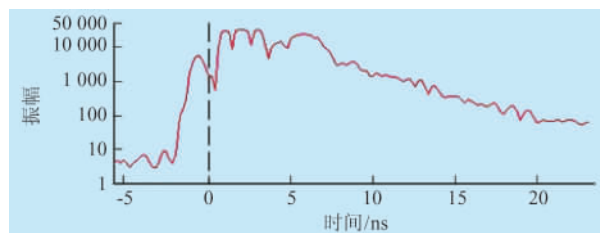


图 3 时间-振幅图

Fig. 3 Time-oscillation amplitude graph

由此可以看出,通过时间-振幅图可以得出与雷达图像同样的结论,原因是时间-振幅图是由雷达图像变换得出,但相比来说,时间-振幅图能够更直观地掌握雷达波的变化。

3.3 振幅-频率分析

频率是表示质点振动快慢的物理量,频率越大,振动越快。它和振幅均是反应振动过程的量。波的频率由波源决定,在任何介质中频率不变,但不同的频率在通过探测介质时振幅不同。通过频率-振幅分析,可以为探地雷达设备选择提供依据。图 4 为处理后得到的频率-振幅图。

根据图 4 及其导出的数据分析得出,频率达到 470.10 MHz 时,其振动能量最大,为 1 821。说明对于本模型实验,电磁波在此时最有效,即选择接近该频率的设备在探测时振幅

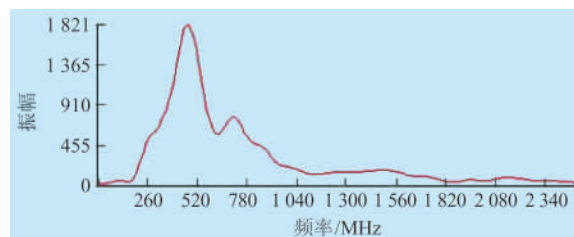


图 4 频率-振幅图

Fig. 4 Frequency-oscillation amplitude graph

能量大,最有效。同时证明本实验采用 500 MHz 的设备是有效的,也可以推证在土地复垦土壤层次探测时可以选择 500 MHz 探地雷达设备。

4 结论

本文应用 500 MHz 探地雷达对土地复垦工程中常见的 4 种土壤质地进行探测实验,数据处理分析后得到结论如下。

- 1) 介质层次探测差值分别为 4、2 和 4 cm,说明应用 GPR 探测土地复垦工程中土壤层次结构有一定应用潜力。
- 2) 通过时间-振幅分析,证明采用该分析能够更加直观的把握雷达波信号,从而更加准确地解译雷达信息。
- 3) 通过频率-振幅分析,证明采用 500 MHz 的探地雷达设备探测复垦土壤层次最为有效。

参考文献 (References)

- [1] Farrish K W, Doolittle J A, Gamble E E, et al. Loamy substrate and forest productivity of sandy glacial drift soils in Michigan [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1990, 70: 181-187.
- [2] Boll J, van Rijn R P G, Weiler K W, et al. Using ground-penetrating radar to detect layers in a sandy field soil[J]. *Geoderma*, 1996, 70: 117-132.
- [3] Aranha P R A, Augustin C H R R, Sobreira F G. The use of GPR for characterizing underground weathered profiles in the sub-humid tropics [J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2002, 49: 195-210.
- [4] Roth K, Wollschlager U, Cheng Z H, et al. Exploring soil layers and water tables with ground-penetrating radar [J]. *Pedosphere*, 2004, 14(3): 273-282.
- [5] Mamani R M, Caillaux V C, Pinto W P, et al. The Application of Ground Penetrating Radar (GPR) at Machu Picchu, Peru (C101-1) [C]// *Landslides*. Springer, 2005, Part 2: 55-59.
- [6] 薛建, 曾昭发, 田刚, 等. 利用探地雷达在吉林西部地区探测土壤碱化层[J]. *物探与化探*, 2005, 29(5): 421-424.
- [7] 彭亮, 徐清, 朱忠礼, 等. 应用低频微波波段 GPR 测量土壤结构[J]. *北京师范大学学报*, 2007, 43(3): 324-329.
- [8] 胡振琪, 陈宝政, 陈星彤. 应用探地雷达检测复垦土壤的分层结构[J]. *中国矿业*, 2005, 14(3): 73-75.
- [9] Hu Zhenqi, Chen Baozheng, Chen Xingtong. *China Mining Magazine*, 2005, 14(3): 73-75.

(责任编辑 朱宇)