

探地雷达在土地整治工程中的应用研究

徐 艳^{1,2,3,4}, 花东文^{1,2,3,4}

¹自然资源部退化及未利用土地整治工程重点试验室, 陕西 西安

²陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

³陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

Email: 1213349323@qq.com

收稿日期: 2020年11月20日; 录用日期: 2020年12月21日; 发布日期: 2020年12月29日

摘 要

传统的土地工程质量检测费时费力、准确度不高且存在一定程度破坏。探地雷达作为一种新型无损探测工具, 具有快速高效连续、操作简单及准确等优点而得以广泛应用。近年来国内外关于探地雷达在土壤探测方面的应用研究逐步展开, 关于土地工程土体有机重构方面研究较少。本文通过大量文献调研, 综述探地雷达组成及应用原理、在土地整治主体工程与配套工程中的应用及存在问题等, 以期探地雷达在土地工程质量无损检测领域的大面积推广应用提供依据。

关键词

探地雷达, 土地整治, 无损检测

Research on Application of Ground Penetrating Radar in Land Engineering Construction

Yan Xu^{1,2,3,4}, Dongwen Hua^{1,2,3,4}

¹Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources of China, Xi'an Shaanxi

²ShaanXi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

³Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Email: 1213349323@qq.com

Received: Nov. 20th, 2020; accepted: Dec. 21st, 2020; published: Dec. 29th, 2020

Abstract

Traditional land engineering quality inspection is time-consuming, labor-intensive, not accurate, and has a certain degree of damage. As a new type of non-destructive detection tool, Ground Penetrating Radar (GPR) has the advantages of fast, efficient, continuous, simple and accurate operation, and is widely used in many areas. In recent years, domestic and foreign research on the application of GPR in soil detection has been gradually carried out, and there is little research on the organic reconstruction of soil in land engineering. Thus, this article summarizes the application principles of GPR, and application and existing problems in the main and supporting projects of land remediation, in order to provide a basis for the large-scale promotion and application of GPR in the field of non-destructive detecting of land engineering quality.

Keywords

GPR, Land Engineering Construction, Non-Destructive Detecting

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土地作为一种宝贵的自然资源,是人类生产与生活、生存与发展的重要物质基础[1]。近年来随着经济发展和城镇建设步伐加快,耕地数量快速减少。土地整治作为增加耕地面积、提高耕地质量的有效手段得到了快速发展。随着土地整治规模不断壮大,对工程质量验收标准也越来越高。传统的土地工程质量检测费时费力、需消耗大量人力物力及时间成本,代表性欠缺、准确度不高且存在一定程度破坏,无法反映工程总体质量、适应现代农业的发展需求。探地雷达作为一种新型无损探测工具[2],具有快速高效、过程连续、操作简单及准确等优点,其无损获取地下目标物的信息能力是当下探测研究的一个热点[3],已被广泛应用于水文、采矿、考古、地质超前预报等领域。

近年来国内外关于探地雷达在土壤探测方面的应用研究也逐步展开[4][5],尤其在土壤含水量、颗粒大小、容重及土层厚度等方面[6][7][8][9],而在土地工程土体有机重构方面研究较少。由于在土体有机重构过程中时常面临地形结构复杂、土体易出现土层厚度差异明显、容重大、质地不均一、含水量差异显著等现象,这些因素均在一定程度上影响了土体有机重构的效率和效果。因此,本文通过查阅大量文献,综述探地雷达组成及应用原理、目前在土地整治工程领域中的应用及存在问题等,为未来探地雷达在土地工程质量无损检测领域的大面积推广应用提供依据。

2. 探地雷达应用原理

探地雷达主要利用中心频率在几十兆赫至几千兆赫范围的高频电磁脉冲探测地下或建筑物内部的结构与特征,电磁脉冲在遇到不同介电常数的分界面时会产生反射或散射。当雷达与被探测目标发生相对运动时,应用发射与接收的天线组合在被探测目标的上方移动,实现对目标的反射探测。通过对所接收信号的处理与解释即可获得被探测目标的空洞、深度及方位等空间属性信息[10][11]。目前探地雷达技术已在岩溶溶洞范围探测[12]、不同材质管径地下管线探测[13]、地基稳定性及潜在危害评价[14][15][16]、

土壤物理性状及污染监测、大坝及滑坡治理等工程质量领域[17] [18]得到广泛应用。

探地雷达(图 1)主要的数据采集参数包括天线频率、时窗长度、采样间隔、天线间距及天线步长等,其设置正确与否直接关系到探测结果的准确性,因此采集之前必须进行系统设置;此外,根据探地雷达工作方式及探测要求还需进行触发方式、雷达波速、脉冲电压、测量参数、显示参数等设置,以确保采集数据的准确性。



Figure 1. SeekerSPR ground penetrating radar
图 1. SeekerSPR 探地雷达

3. 探地雷达在土地整治工程中的应用

相较国外,我国将探地雷达应用在土地工程领域较晚,相关研究也较少。土地工程主要运用工程措施或非工程措施对退化及未利用土地、或是闲置废弃、受污染的土地进行土地整治。一般包括土体有机重构等主体工程 and 灌溉、排水、道路等配套工程[19]。整治后的土体在层次结构、组成成分及其他理化性质方面与天然土壤存在很大差异,此外灌排工程、道路工程的质量如何也至关重要。相较于超声波、回弹仪等测试仪器,探地雷达在土地工程检测中具有发挥稳定、误差合理、连续检测及准确度高等优点[20]。

土壤是由松散的矿物质及有机质组成的一种三维自然物质[21],在不同领域、不同尺度的相关测量中,土壤的理化性质、矿物特征以及生物和电磁特征十分复杂且差异较大,导致电磁波在土壤中传播速度、衰减程度和穿透深度有所差异进而影响探地雷达的探测效果。目前国内外学者运用探地雷达在土壤质量方面的应用做了一些研究并取得了一定成果。James A. Doolittle 研究认为探地雷达在土粒较粗、粘土含量较少、可溶性盐含量较少的地区应用效果较好,而在细粒土壤、含盐土壤以及硅酸盐占主体的粘土中应用效果相对较差[22];宋文等运用探地雷达及模型模拟、实际验证等方法实现了对农田潮土土体构型层次的无损检测[23]。刘恒柏证实利用探地雷达方法估算的土壤含水量与 TDR 的测定结果非常接近[24];胡振琪等研究表明压实度小的疏松土壤对高频电磁波的吸收能力更强,雷达数据的振幅谱对土壤压实程度也有反映,但效果相对较差[25]。

在灌排、道路等配套工程质量方面,相关学者也开展了部分研究。刘宁[21]运用探地雷达获取介质的剖面图像,并通过地面位置定位、电磁波传播速度标定和反射层拾取等关键技术实现了对覆土厚度、路

面厚度和渠道衬砌厚度的无损检测。宋文文等研究表明探地雷达对道路厚度结构探测最大相对误差不超过 1.43%，标准差介于 0.08~0.06 之间，精准可靠；此外雷达图像可清楚了解路面层与基层介质均匀度情况，可为土地整治道路工程的验收与质量评价工作提供有效帮助[26]。谢潇等运用探地雷达对新疆阿克陶地区盐渍化土地改良项目区的盐磐层进行探测，并对土壤紧实度和含盐量进行了测定，结果表明探地雷达可在盐渍土土层分布探测中结合实地取土方法进行大面积应用[27]。

4. 结论与展望

伴随着对探地雷达数据采集、图像分析和工程解释技术等研究的不断深入，如今探地雷达技术已不仅仅局限在“探地”方面，在工程、环境、考古、水文地质调查、矿产探查、军事侦察和反恐探测、生物医学探测等领域都有所应用[28]。GPR 的分辨力和穿透深度由天线频率和土体材料特性决定。在土地整治工程中，由于土壤理化性质、矿物组成以及生物和电磁特征较为复杂且差异较大，不同程度上会影响电磁波在土壤中的传播速度、衰减程度和穿透深度，进而影响到探地雷达的探测效果，因此相较于其他领域，探地雷达在土地工程领域尤其是土壤质量方面的应用研究还有待进一步探索，需要专业软件及人员对 GPR 设备配置、数据采集、图像处理解译进行规范，以确保高质量的普查结果。

资助项目

陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY2020-16)。

参考文献

- [1] 宋文文. 基于探地雷达的土地整治工程质量检测研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [2] 罗古拜, 曹银贵, 况欣宇, 等. 基于探地雷达的典型土壤物理性质探测研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(14): 40-44
- [3] 许献磊, 赵艳玲, 王方, 等. GPR 探测埋管管径研究综述[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(5): 2206-2215.
- [4] 王前锋, 周可法, 孙莉, 等. 基于探地雷达快速测定土壤含水量试验研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(5): 881-888.
- [5] Ratto, C.R., Morton, K.D., Collins, L.M. and Torrione, P.A. (2014) Analysis of Linear Prediction for Soil Characterization in GPR Data for Countermine Applications. *Sensing and Imaging*, **15**, Article No. 86. <https://doi.org/10.1007/s11220-014-0086-8>
- [6] 冉弥, 邓世坤, 陆礼训. 探地雷达测量土壤含水量综述[J]. 工程地球物理学报, 2010, 7(4): 480-486.
- [7] Tosti, F., Patriarca, C., Slob, E., et al. (2013) Claycon Content Evaluation in Soils through GPR Signal Processing. *Journal of Applied Geophysics*, **97**, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.04.006>
- [8] 杨峰, 杜翠, 梁胤程, 等. 基于探地雷达波速层析的金属矿区勘探仿真[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(3): 1332-1336.
- [9] Wang, P., Hu, Z.Q., Zhao, Y.L. and Li, X.J. (2016) Experimental Study of Soil Compaction Effects on GPR Signals. *Journal of Applied Geophysics*, **126**, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.01.019>
- [10] 王升, 陈洪松, 付智勇, 等. 基于探地雷达的典型喀斯特坡地土层厚度估测[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 1024-1030.
- [11] 陈晨. 地质雷达在城市道路塌陷灾害中的应用[J]. 科技风, 2019(18): 106-107.
- [12] 赵杨杉, 王洁, 张威. 地质雷达方法在武汉岩溶探测中的应用分析[J]. 中国煤炭地质, 2019, 31(S1): 108-112.
- [13] 刘莎, 吴满意, 陈晓宁, 等. MALA 探地雷达在地下管线探测中的应用研究[J]. 地理空间信息, 2019, 17(8): 30-32, 42, 10.
- [14] 李永通. 雷达探测在地基处理施工与检测中的研究及应用——以某高层建筑为例[J]. 工程建设与设计, 2019(17): 56-58.
- [15] 徐同桐, 周志奇, 何子苗. 探地雷达测试技术在房屋地基基础检测中的应用[J]. 山西建筑, 2019, 45(4): 84-86.
- [16] 杨雪娟. 地质雷达探测技术在地基空洞探测中的应用[J]. 住宅与房地产, 2017(33): 200.

- [17] 朱庆辉. 地基雷达在大坝及滑坡监测中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [18] 姜春生, 汪剑, 何玉童. 地基合成孔径雷达在大坝安全监测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(2): 146-149.
- [19] 韩霖昌. 土地工程概论(第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [20] 廖秀平. 基于探地雷达的土地整治工程质量检测研究[J]. 智能与信息化, 2019, 255-261.
- [21] 刘宁. 基于探地雷达的复垦土壤压实与工程质量评价[D]: [博士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [22] Doolittle, J.A. and Collins, M.E. (1995) Use of Soil Information to Determine Application of Ground Penetrating Radar. *Journal of Applied Geo Physics*, **33**, 101-108. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(95\)90033-0](https://doi.org/10.1016/0926-9851(95)90033-0)
- [23] 宋文, 张敏, 吴克宁, 等. 潮土区农田土体构型层次的探地雷达无损探测试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(16): 129-136.
- [24] 刘恒柏, 张佳宝, 朱安宁. 砂壤土中目标物的 GPR 图像解译及土壤含水量反演[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 55-57.
- [25] 胡振琪, 赵艳玲, 姜晶, 等. 土地整理复垦项目验收方案研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 60-63.
- [26] 宋文文, 李新举. 探地雷达在土地整治道路工程验收中的应用研究[J]. 山东国土资源, 2018, 34(3): 50-55.
- [27] 谢潇, 刘智杰, 花东文, 等. 探地雷达在盐渍土地区盐磐层判断中的应用[J]. 土地开发工程研究, 2019, 4(4): 8-12.
- [28] 王璞玉, 李忠勤, 吴利华, 等. 探地雷达在冰川厚度及冰下地形探测中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011(S1): 393-340.