

地质雷达技术在地铁非开挖工程中的应用

徐小马

安徽宏平工程科技有限公司, 中国·安徽 合肥 230001

摘要: 随着城市基础设施的不断完善, 地铁运营里程的不断增加, 非开挖技术因其施工速度快、环境友好、对周边环境扰动小等优势在地铁工程中应用越发广泛。在地铁非开挖施工中通常采用地质勘察、周边环境调查、管线调查、施工过程中的人工及自动化监测等多种措施确保施工质量及环境安全。随着技术的发展, 利用 GPR 技术对施工区域管线、孤立体、空洞等进行探查从而指导施工, 能有效控制施工风险, 同时利用 GPR 技术对成型结构缺陷探查及壁后注浆密实度检测, 发现缺陷部位及时修补或对不密实区域补浆。总之, GPR 技术的综合应用对非开挖施工的安全及质量保障成效显著。

关键词: 地质雷达; 非开挖技术; 探测; 检测

Application of Geological Radar Technology in Trenchless Metro Engineering

Xiaoma Xu

Anhui Hongping Engineering Technology Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230001, China

Abstract: With the continuous improvement of urban infrastructure and the continuous increase of subway operating mileage, trenchless technology is becoming more and more widely used in subway projects due to its advantages such as fast construction speed, environmental friendliness, and small disturbance to the surrounding environment. In the trenchless construction of subway, various measures such as geological survey, surrounding environment survey, pipeline survey, and manual and automated monitoring during the construction process are usually used to ensure construction quality and environmental safety. With the development of technology, GPR technology is used to detect pipelines, isolated bodies, voids, etc. in the construction area to guide construction, which can effectively control construction risks. At the same time, GPR technology is used to detect defects in the formed structure and test the tightness of grouting behind the wall. Defective parts are repaired promptly or grout is replenished in undense areas. In short, the comprehensive application of GPR technology has achieved remarkable results in ensuring the safety and quality of trenchless construction.

Keywords: ground penetrating radar; trenchless technology; probe; detection

0 前言

随着城市基础设施的不断完善, 城市功能的不断提升, 市政施工制约因素越来越多。传统的开挖施工技术主要缺陷: 噪音扬尘等污染大、阻断交通、破坏绿化。同时, 在需要穿越铁路、主干线、建构筑物、河流等情形下并不适用。而非开挖施工技术能有效避免这些缺陷。

1 非开挖施工技术概况

非开挖施工技术主要包括水平定向钻、矿山法、盾构法和顶管法等, 无需或仅需要小范围对地表进行开挖, 具有对地表破坏小、施工速度快、成本低、对环境影响小等优点, 尤其适用于城市密集区域、河流、道路、铁路下方的地下工程施工。早期非开挖技术主要应用于管道施工, 广泛应用于地下管线的安装、更换、检修和更新。非开挖施工技术的应用范围随技术的发展不断扩大, 已成功运用于地铁区间、地下过街通道、地下商业空间等不同领域。

非开挖施工技术是未来开发城市地下空间的主要施工

方法之一, 研究市政工程非开挖施工技术的安全及质量保证措施具有重要的意义。

2 地质雷达 (GPR) 探测技术

地质雷达 (Ground Penetrating Radar, 简称 GPR) 是一种非破坏性的地球物理勘探技术, 无需对地表进行开挖或破坏即可进行地下勘测。GPR 利用超高频短脉冲电磁波在介质中传播时其路径、电磁场强度与波形随通过介质的电性质和几何形态的不同而变化的特点, 根据接收到波的旅行时间 (亦称双程走时)、幅度与波形资料来判断探测物的深度、位置等^[1-2]。GPR 技术广泛应用在资源勘查、地下空间物探、工程检测等领域。

2.1 GPR 在地铁非开挖工程中的应用特点

地铁非开挖施工主要有盾构法区间施工、矿山法暗挖通道施工、顶管法出入口通道施工等, 其特点主要为在城市区域施工, 周边环境条件复杂, 地下管网密布, 新老建构筑物繁多且交通繁忙, 环境风险相对较大; 另外, 除盾构区间

部分区域隧道埋深较深外,大部分施工范围主要集中在地下10m范围内,埋深较浅,对地层扰动明显,需要精确控制地层变形。

GPR 技术作为无损探测技术的一种,可在多种地质条件下使用,适用于复杂多变的地下环境;能够快速进行地下探测,为工程决策提供即时的数据支持,适用于需要在短时间内获取地下信息的非开挖工程;GPR 提供的地下图像清晰,可准确识别地下管线、空洞、断层破碎带、岩溶洞穴、富水带等异常体,减少施工中的误差。GPR 设备便于携带和操作,在交通繁忙或空间有限的区域内,能够灵活快速地进行探测作业,已广泛应用到地铁非开挖工程中^[3-4]。

2.2 GPR 在地铁非开挖工程中综合应用

非开挖工程施工首先关注自身施工安全风险,主要为非开挖区域的前方及上部地质条件,判断疏松空洞等地下异常体分布情况和富水情况等。同时,周边环境风险的也是施工关注的重点,主要涉及对市政道路及上部的建构筑物影响,以及对非开挖工程周边各类市政管道的影响。

2.2.1 地面管线探测

市政工程涉及的管线错综复杂,管线施工质量不清、现状情况不明,通过 GPR 技术尽可能的探明地下管线情况,便于在非开挖施工时及时调整施工参数,减小对周边地下管线的扰动和损伤,在确保安全的前提下提升施工效率。采用 GPR 技术,利用中高频天线设备对非开挖区域进行探测,探测深度能达到 4~5m,能有效探测各类管线的走向,判断管线大致的埋深范围和管径^[5],有效探明雨污水管线缺陷漏水所形成的空洞、疏松、渗水位置等异常区域,在施工前可采用空洞注浆、管道修复等技术消除潜在安全隐患。

2.2.2 地下空洞探测

对于施工区域地表及深层土体区域可选用中低频天线,增加探测深度,有效探明地下空间存在的较大的孤立体、空洞或较大的地下建构筑物。

2.2.3 超前预报

部分空间受限采用矿山法施工的暗挖工程,利用 GPR 技术进行超前地质情况探查,揭示隧道施工掌子面前方地质

情况,结合勘察报告及 GPR 探测成果分析隧道施工掌子面前方可能遇到的不良地质体,预测不良地质体可能发生的地质灾害的类型、性质、分布位置、规模。主要目的是在隧道施工前或施工过程中预测和识别隧道掘进路径前方的地质条件和可能出现的问题,以便提前采取相应的施工措施规避风险。利用 GPR 技术进行超前预报可以极大地提高非开挖施工的安全性和效率,减少施工过程中的意外和成本。

2.2.4 注浆密实度检测

盾构法、顶管法隧道施工采用预制成型管片,通过注浆填充壁后空隙并加固壁后土体,由于注浆压力控制不当和浆液扩散等因素,壁后注浆密实性难以完全控制。利用 GPR 技术,采用高频天线对壁后注浆密实度进行检测,并提供清晰的管片结构、浆液与土体之间的界面图像,有效的判断识别出壁后不密实区域、空洞或裂缝等缺陷^[6]。便于对缺陷部位精准进行二次注浆,确保修补措施的针对性和有效性,在提高工程质量和施工效率的同时有效控制施工成本。

3 典型案例分析

3.1 矩形顶管工程地面雷达扫描

合肥地铁某车站出入口过街连通道采用矩形顶管法建设,顶管通道下穿城市主干道路,路面车流、客流量较大,地下管线繁多,施工过程中对道路、管线变形的控制要求高。顶管通道上方覆土厚度较浅,约 3.5m,难以形成有效的卸荷拱作用。同时,由于覆土厚度较浅,顶管施工引起的土体扰动会直接作用于地表附近的土层和顶管通道上方的管线,施工参数调整不当易引发较大的地表和管线隆沉变形。为顶管施工前的规划和设计提供准确的数据支持,确保施工的顺利进行和安全完成,使用 400MHz 地质雷达天线沿顶管通道轴线方向进行雷达探测,帮助判断施工区域的地质水文及管线情况。

顶管通道上方人行道区域探测成果如图 1 所示,该图像显示:顶管上方人行道区域 0~1m 深度分布多条管线;地下 1.0~1.5m 范围局部强反射杂乱,地层为杂填土,可能为石块、砖块等,土层较为疏松;地下 1.5~2.5m 范围内,信号衰减大,噪声大,分析为富水,表明地下水位较高。

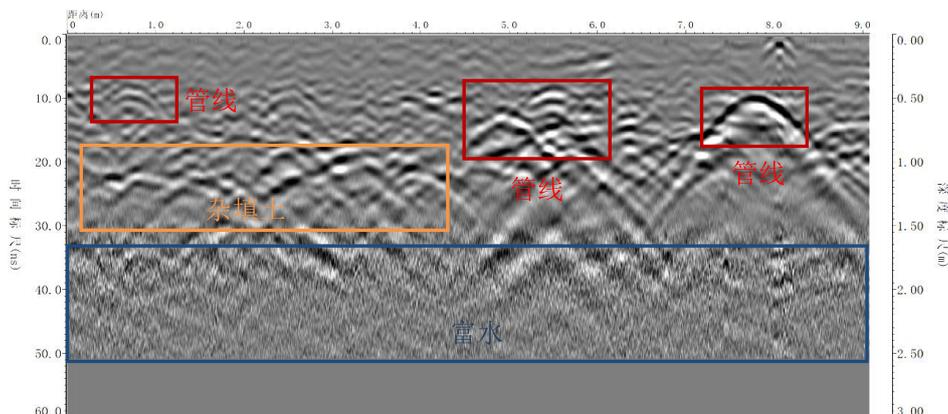


图 1 顶管工程雷达探测成果 1

顶管通道上方机动行道区域探测成果如图 2 所示, 该图像显示: 顶管上方行车道区域 0.6~1.0m 深度出现明显分层, 层际较为连续, 完整性较好; 地下 1.5~2.5m 范围内, 信号衰减大, 噪声大, 分析为富水, 表明地下水位较高。

3.2 矿山法暗挖通道超前预报

合肥某地铁车站位于商业中心地带, 周边范围内均有高密度大型商业区、办公区、片区规划成熟, 人流量大,

由于场地条件出入口采用矿山法施工。过地质雷达推断暗挖通道掌子面(10m 以内)可能出现的地层、构造、围岩情况; 推断掌子面是否存在不良地质体, 并推断其位置规模; 预测工作面前方一定范围内的隧道围岩情况, 提出准确的超前支护建议, 并对施工支护提出初步建议。如图 3 所示, 以车站 5 号口暗挖通道超前地质预报为例分析雷达探测成果。

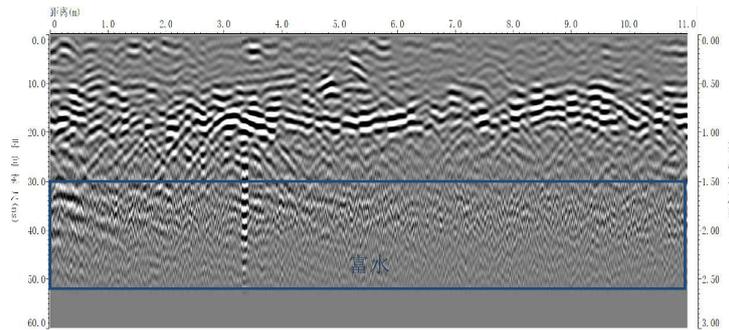


图 2 顶管工程雷达探测成果 2

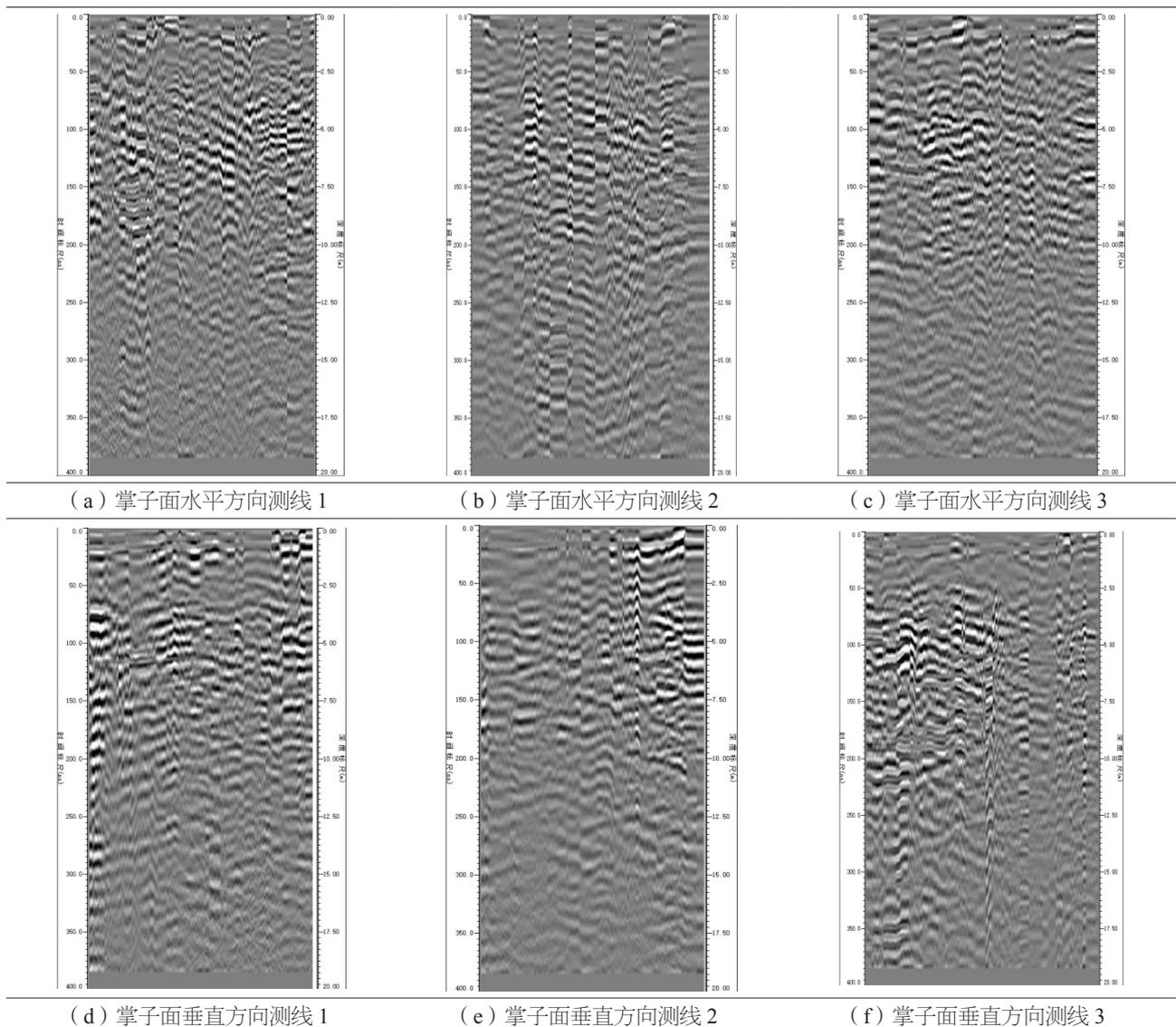


图 3 矿山法暗挖工程超前地质预报成果

使用 100MHz 地质雷达天线沿暗挖通道掌子面水平、垂直方向各布设 3 条雷达探测路线,经过对图像的分析判断:本次雷达超前地质探查有效探深约 12m,从雷达波形上来看,掌子面前方 12m 内有较强的反射波,同相轴连续性差,局部有明亮的低频多次波信号,推断此区域内存在围岩破碎严重,节理发育并含有裂隙水。

3.3 管片壁后注浆检测

合肥地铁某区间长度约为 1.7km,采用盾构法施工,管片外径 6.7m、厚 350mm、环宽 1.5m。区间贯通后使用 900MHz 天线对沿盾构掘进方向对拱顶、左拱腰、右拱腰、左边墙和右边墙分别进行壁后注浆密实度雷达检测。如图 4 所示,选择左拱腰雷达探测成果图进行分析。

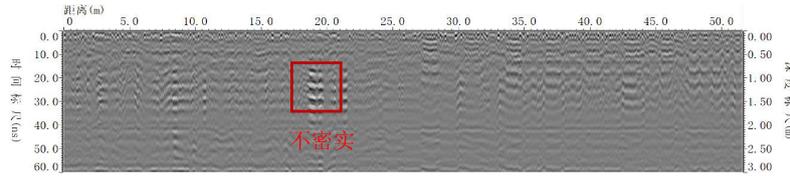


图 4 盾构隧道左拱腰注浆密实度探测成果

经过对图像的分析判断:本次雷达检测有效探深约 2m,从雷达波形上来看,管片结构中的内外钢筋网排列均匀,管片厚度 35cm 分层清晰可见。在雷达测线第 18~20m 位置处存在一处较强的反射波,考虑为不密实,应进行二次补充注浆。

4 结语

由于城市建设的复杂环境及传统明挖方法的多重局限,非开挖施工技术逐渐大规模应用于城市地下空间建设中,采用地质雷达无损探测技术对地下管线、孤立体、空洞、树洞等异常区域进行探查从而指导施工,能有效降低施工风险;采用地质雷达对成型结构进行缺陷探查及壁厚注浆密实度检测,可精确识别结构缺陷部位及壁厚注浆不密实区域,便于及时对缺陷部位进行修补,对不密实区域补浆以确保工程质量,控制施工成本。

论文结合多个实际工程案例,对典型地质雷达探测图谱进行分析,验证了 GPR 技术在地铁非开挖工程中的适用性和指导工程施工的有效性。在复杂环境下的非开挖工程施工过程中,科学合理地运用 GPR 探测技术以减小施工的不

确定性和风险,是提升工程质量、保证安全和经济效益的重要方法。

参考文献:

- [1] 李根强.地质雷达探测技术在复杂地质岩土勘察中的应用[J].江西建材,2024(1):176-177+180.
- [2] 石刚.探地雷达系统优化及在隧道地质超前预报中的应用研究[D].陕西:长安大学,2009.
- [3] 吴建伟.地铁勘察中地质雷达和微动探测技术的综合应用初探[J].未来城市设计与运营,2023(7):66-68.
- [4] 付荣翔,叶雷,黄辉.地质雷达在地层(岩土层)分界面探测中的应用[J].世界有色金属,2023(17):187-189.
- [5] 宿宁,魏东,姚爱军,等.雷达探测技术在北京某住宅区地下管线探测中的应用[C]//2009中国城市地下空间开发高峰论坛,北京:市政技术杂志社,2009.
- [6] 郭壮.地质雷达在地铁隧道施工中的应用分析[J].工程技术研究,2023,8(18):117-119.

作者简介:徐小马(1990-),男,中国安徽芜湖人,硕士,工程师,从事地质灾害防治与岩土工程勘测研究。