

探地雷达在城市地铁工程中的应用

刘浩杰,白明洲

(北京交通大学,北京 100044)

摘要:以北京黄庄地铁站工程为例,阐述了探地雷达应用于地铁车站施工中预测不良地质的几个成功实例,说明了黄庄地铁站的不良地质情况和地质预报的重要性,为探地雷达在地铁工程勘查中的地质预测积累了一定的经验和方法。

关键词:探地雷达;不良地质;地质预测;地铁工程;

中图分类号:P631 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8918(2006)03-0280-03

北京地铁四号线、十号线工程黄庄站施工条件复杂,管棚施工横穿公路,两边对打,长度为140 m;该地段分别有粘土、粉质粘土、粉土、砂层等,地下水位低,施工难度大,管棚横向间距600 mm,底部与顶部高差4 m,施工处在地表以下8~12 m。为确保周边高层建筑的安全,在开挖之前必须查明场地特殊地质条件,包括洞穴、管线渗漏和上层滞水等局部富水区等。

由于地铁车站施工区域地质条件极为复杂,勘察设计与实际地质情况,特别是和不良地质地段准确位置之间不可避免地存在误差,这是需要地质工程勘查预报的重要原因。当地下工程地质条件横向变化较大时,常规的钻探由于只能获得点上的资料,无法满足基础工程的要求,而探地雷达由于能对地下剖面进行连续扫描,因而在工程地质勘查中得到广泛的应用。探地雷达有它独特的优越性:不影响施工,快速便捷,可跟踪施工全过程。近些年来,国内外对探地雷达用于地铁工程勘查做了大量的试验和研究工作,积累了大量的工程实测数据和图像分析经验,使得探地雷达更加适用于工程实践。

1 探地雷达检测的方法及试验标定

探地雷达作为一种重要的地球物理探测方法,主要研究高频($10^6 \sim 10^9$ Hz)电磁波在不同介质中的传播、反射和绕射等波动现象和规律,能够提供不同介质的特性和结构的高分辨率信息。其基本原理是基于高频电磁波理论,在地面通过发射天线向地下发射宽频带短脉冲电磁波,经地层或目的体反射后形成反射回波返回地面,为接收天线所接收。探

地雷达向地下介质发射一定强度的高频电磁脉冲(几十兆赫兹至上千兆赫兹),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。

目前常用的探地雷达测量方法有剖面法、宽角法、透射法等,其中以剖面法结合多次覆盖技术应用最为广泛。对于地质工程进行勘查,使用连续扫描的剖面法效果较好,根据可能的埋置深度,采用400 MHz频率的天线,可探测地面以下5~8 m。

在测量工作正式开始之前,需要进行测量试验工作。其目的是:①检查测量参数的选择是否符合预想结果,如果不合适,还需调整测量参数,以便获得满意的探地雷达图像;②建立各种目标体的探地雷达图像特征。在检测过程中,介质中电磁波的传播速度和界面的反射系数是重要的影响因素。相对于探地雷达所用的高频电磁脉冲而言,通常情况下检测工程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电常数。由于地质体变化的复杂性,针对具体场地,需要分别进行检测试验与参数标定,以便保证检测结果解释的精度。在本场地,我们选择竖井口站台场地条件较好并且地质剖面层已经开挖、可明确掌握地层厚度等参数的地段进行了检测试验,以现场实际测试厚度情况为标准,进行了地球物理参数标定。

2 典型探地雷达图像特征

城市地铁车站施工中常见的不良地质情况有反

射异常(洞穴)、回填不密实、管线渗漏和上层滞水等局部富水区等,在对探地雷达图像资料的解释中,通过对检测波形的时间剖面、波形及振幅的变化规律的对比分析,对地层中各种不良地质作出评价。本次勘察工作使用美国劳雷工业公司物探部生产的 SIR2000 探地雷达系统。结合本次地铁车站施工的实际情况,对探地雷达采集的几种典型不良地质条件下的雷达波形作出简要解释。

(1)图 1 为管线分布及水泥管线渗漏导致局部富水区的典型探地雷达图像。管线分布区在探地雷达剖面上的主要特征为在胶结面以下出现绕射波、多次反射波,同相轴呈弧形,并与相邻道之间发生相位错位,且其能量明显增强,图 1 中左侧为管道的典型雷达波形。图 1 中间所示为水泥管线渗漏导致局部富水区,在探地雷达剖面上的主要特征为在同相轴呈弧形的下方(管道位置下方),其同相轴与相邻

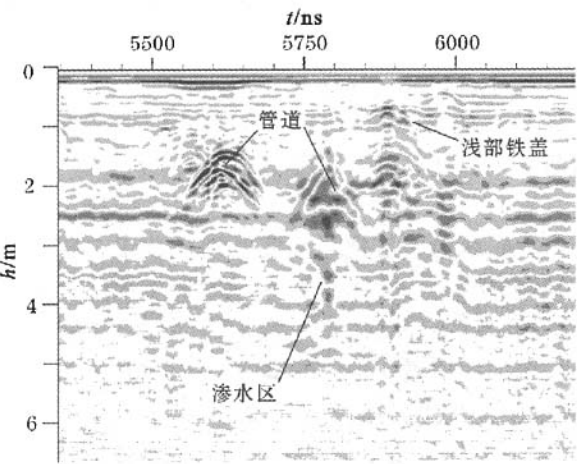


图 1 管道分布及渗漏导致局部富水区的探地雷达图像

(3)图 3 为反射异常区(可能洞穴)的典型探地雷达图像。发射异常(可能洞穴)区在探地雷达剖面上的主要特征为同相轴错断,不连续,波形混乱。从图中看,可能空洞处雷达反射波特征明显,易于识别。这种空穴形成有下列 3 个条件:一是下伏的粉砂颗粒要粗,透水性要大;二是粉土颗粒变细向素填土靠近,含水率高;三是其上人工填土层受到力学扰动。当这 3 个条件具备时,会在这类土中形成如图 3 所示的空穴。

综合分析以上成果,可以认为,黄庄车站场地 5 m 以上地层总体状况较均匀密实,部分回填和杂填土欠密实,部分地段存在由于地层含水状况变化导致的富水区,主要有地质条件变化导致的上层滞水、部分管线渗漏导致的局部富水区等,如图 4。施工中对于穿越富水区地段要给予充分的重视,防止施

道之间发生相位错位,且其能量逐渐向下减弱。图 1 右侧所示为浅部铁盖,主要特征为同相轴与相邻道之间发生相位错位,且其能量发生改变,并且从上到下同相轴都发生错位,能量保持不变。从图 1 中可以看出,经过处理的探地雷达图像对于管线(铁管或者水泥管)的反应非常明显,易于识别。

(2)图 2 为局部富水异常区的典型探地雷达图像。局部富水异常区在探地雷达剖面上的主要特征为同相轴不连续,多次出现绕射波、反射波,并与相邻道之间发生相位错位,能量发生改变。按场地地质勘测结果,粉质粘土层上有一小夹层粉砂层,其上覆盖有人工填土层、杂填土,颗粒比较细,无清晰的雷达反射波,同相轴比较连续;其下粉砂夹层颗粒相对较粗,由于受其下粘土层的阻挡,在粉砂层中的水排不下去而形成局部的富水区。从图可见,富水区域雷达反射波特征明显,易于识别。

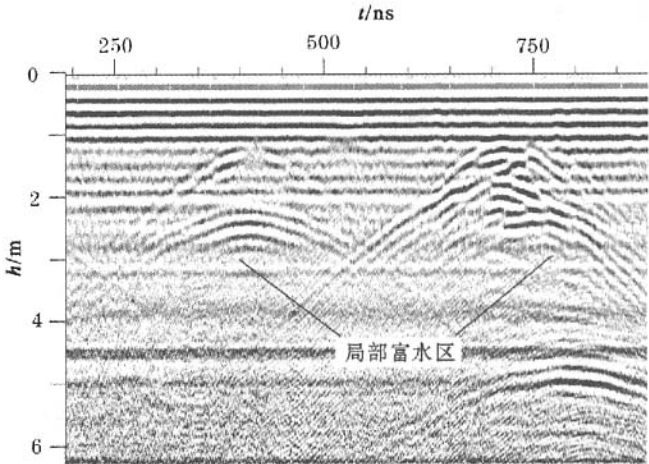


图 2 局部富水区的探地雷达图像

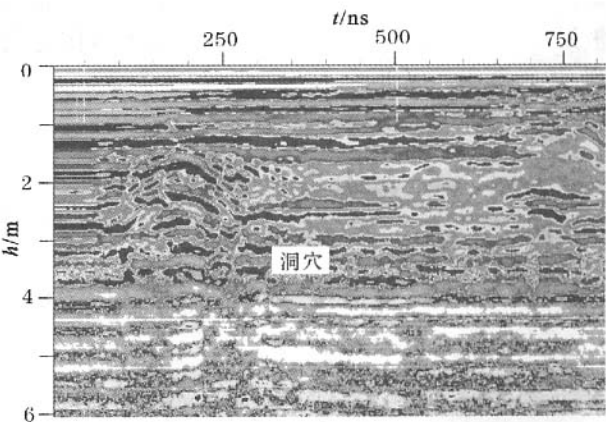


图 3 可能洞穴区的雷达波形

工引起水的损失导致地层沉降的突然变化;另外,对于管线渗漏地段,要在施工中防止因地层陷落导致的管线扰动变形等问题。

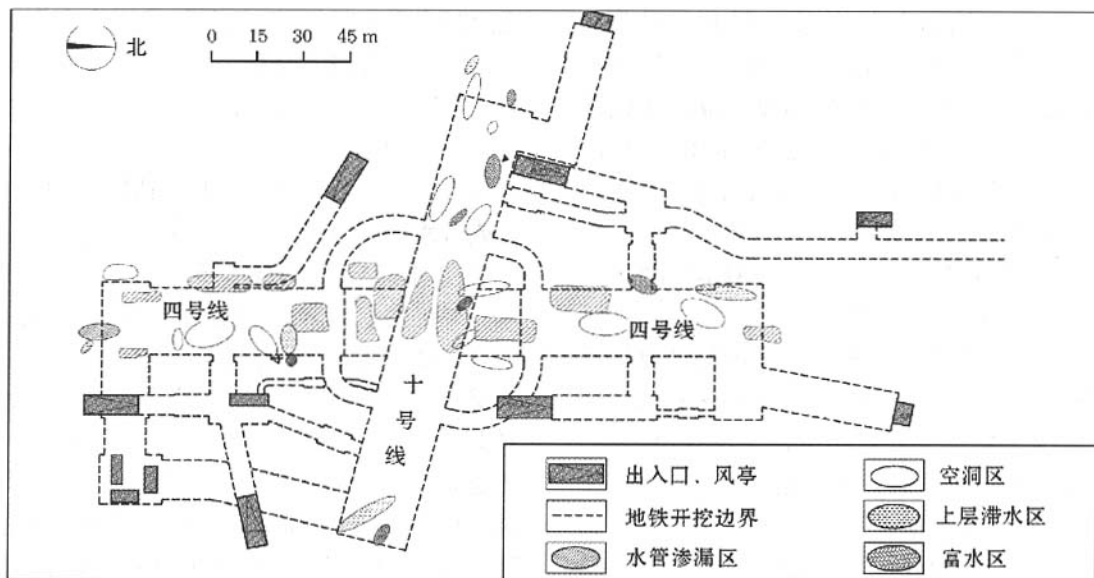


图4 黄庄地铁站探地雷达测量异常区分布

3 结论

雷达探测技术属地球物理应用技术,在实际应用中与物探的多解性是不可避免的,另外由于地层埋藏条件的变化,导致在工作中实测剖面位置的电性参数与标定位置的参数有可能存在较大差别,这些因素都会造成探测结果的误差,具体误差的大小和不同剖面土层参数与标定位置的参数差别密切相关,这些因素需要在使用物探结果时给予考虑。从试验中,我们得出以下结论:

(1)探地雷达用于城市地基不良地质情况的调查,可较快地做出判断,有利于工程施工,提高工作效率。

(2)为提高对探地雷达图像的解释和识别的准确性和精度,需要对不良地质条件下各种介质雷达波形的典型特征进行反复研究并积累大量图像资料,提高量化处理水平。

(3)在预报过程中,仪器参数的合理选定与实际经验关系密切。对于某种现象,需要反复实践才能取得较满意的雷达波形。

(4)探地雷达在短范围内(约10 m)准确率较高,与采集数据测线的长度有一定联系。

(5)在工程勘查过程中,经过多次探地雷达试验的总结,认为应该把当地实际地质状况与雷达波形的解释相结合,才能更好地预测地基中不良地质情况,同时这一经验应用于探地雷达其他工程中的预测,例如探地雷达在滑坡调查中的应用,在隧道超前预报中的应用等等。

参考文献:

- [1] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [2] 蔡柏林. 钻孔地球物理勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [3] 何樵登. 地震勘探原理和方法[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [4] 牟会宠. 滑坡[M]. 北京: 地震出版社, 1987.

THE APPLICATION OF THE GROUND PROBING RADAR TO URBAN SUBWAY CONSTRUCTION

LIU Hao-jie, BAI Ming-zhou

(Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: According to working principles of the ground probing radar (GPR), several successful examples illustrating the application of GPR to bad geological condition forecast in subway construction in Huangzhuang of Beijing are described. The bad geological condition instances and the importance of geological forecast are expounded. With these engineering examples, the authors have summed up the experience and means for the application of GPR to geological forecast in tunnel construction.

Key words: ground probing radar, bad geological condition, geological forecast, subway construction

作者简介: 刘浩杰(1980-)男, 北京交通大学土建学院在读研究生。