

Ground Penetrating Radar (GPR) Application in Advance Geological Forecast in Tunnel

Xiang Xiao^{1,2,3}, Ziqiang Zhu^{1,3}, Xiangcheng Liu², Yuanbeng Wei²

¹School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan

²303 Brigade of Hunan Nuclear Geology, Changsha Hunan

³Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring (Central South University), Ministry of Education, Changsha Hunan

Email: 48488075@qq.com

Received: May 7th, 2020; accepted: May 22nd, 2020; published: May 29th, 2020

Abstract

This paper introduces the product companies and application scope of ground penetrating radar system at home and abroad at present, and takes the geological survey of a tunnel in Hunan Province as an example, introduces the working principle and data interpretation and analysis of GPR, which shows that GPR has a good effect on the geological survey of the tunnel and its surrounding areas, fault fracture zone, water gusher, weak surrounding rock and other bad geological phenomena, provides reliable geological data for tunnel excavation, saves construction cost and guarantees the construction safety of the tunnel.

Keywords

Ground Penetrating Radar, Geological Forecasting, The Tunnel, The Highway

探地雷达在隧道超前地质预报中的 应用

肖 想^{1,2,3}, 朱自强^{1,3}, 刘湘成², 魏元泵²

¹中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙

²湖南省核工业地质局303大队, 湖南 长沙

³有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室(中南大学), 湖南 长沙

Email: 48488075@qq.com

摘要

本文介绍了目前国内外探地雷达系统的产品公司和应用范围，又以湖南某隧道地质勘察为例，介绍了探地雷达的工作原理及数据解释分析，表明探地雷达对勘察隧道及周边的地质情况、断层破碎带、涌水、软弱围岩等不良地质现象具有较好的效果，为隧道开挖提供了可靠的地质资料，节约了施工成本，保障了隧道的施工安全。

关键词

探地雷达，地质预报，隧道，高速公路

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

目前探地雷达技术已逐渐成熟，应用广泛，国际上影响较大的商用雷达系统有美国 GSSI (地球物理测量系统公司)的 SIR 系列、加拿大 SSI (Sensor and Software 公司)的 pulseEKKO 系列和瑞典 Mala 公司的 RAMAC 系列。其他公司的产品如 GDE、Penetradar、Rockradar、ERA Technology、NTT、JRC、EMRAD，以及国内 LT-1、CBS-9000 系列探地雷达系统也各有特色。探地雷达技术被应用于建筑工程质量检测、城市基础设施探测和检测、公路(机场跑道质量检测)、铁路踏勘质量检测、岩土工程勘察与地质勘探、隧道检测、堤坝、库岸等水利工程探测、考古探测、环境检测、军事与安全探测，经过长期的实践证明该方法与其他物探方法对比，在地下隐患无损探测及工程质量 swimming 方面有独特的优势，它可以针对不同问题、不同对象，合理选用适当的设备进行探测，并获得较好的效果[1] [2] [3]。

湖南某修建高速公路准备开挖，开挖前须查明工作面的地层岩性变化和水文地质特征，推断隧道围岩级别，为施工提出建议，保证隧道的安全施工，减少因地质灾害或支护不当而导致大塌方带来的损失。探地雷达是物探手段进行水文地质调查的一种重要方法，具有工作效率高、施工简单以及推断解释准确等优点，故该高速选取探地雷达来进行勘察。

2. 隧道区地质地球物理特征

根据隧道详细勘察工程地质说明书，隧址区地层是第四系覆盖层和泥盆系中统棋子桥组泥灰岩、灰岩以及跳马洞组砂岩、石英砂岩、泥质粉砂岩。场地地貌类型为剥蚀构造低山地貌，地表剥蚀较强烈。隧道穿越总体呈北东~南西向的山脉。隧道邵阳端左洞洞门仰坡自然坡度约 25~40°，右洞洞门仰坡自然坡度约 25~65°，坪上端洞门仰坡自然坡度约 30~40°，隧址区基岩出露良好，大部分地段产状稳定。

然而开挖后在隧身发现地下结构并非地表结构一般完整，地表水沿裂隙及节理与层面等组合面下渗，一般呈滴水状、淋雨状或线状出水，为查明地下水情况和岩石完整度，保障工作安全顺利进行须进行探地雷达超前地质预报工作。

3. 探地雷达工作方法概述

3.1. 工作原理

探地雷达一般采用天线向探测目标发射高频脉冲电磁波来进行探测。通常探测目标深度满足于远场条件,可近似看作是以平面波形式传播。平面波的极化是指空间给定点上场矢量方向随时间的变化特征。通常可分为线极化、圆极化和椭圆极化三种类型。波的极化是电磁波的一个重要特性,不同极化方式的波有着不同的工程应用。当地下介质存在各向异性时,以线极化方式入射的平面波,其反射回波可能转变成椭圆极化方式。因此,通过研究雷达波极化方式的变化可以获得与地下介质物性相关的信息[4]。工作原理图如图 1。

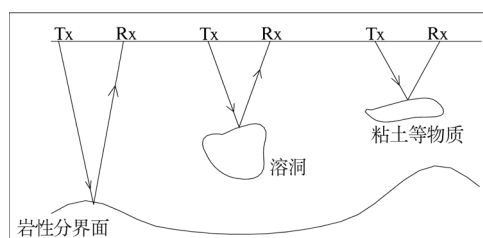


Figure 1. The principle diagram of the geological radar detection

图 1. 地质雷达探测原理图

3.2. 资料处理的方法依据

由于本次超前雷达探测的天线中心的频率为 100 MHz,采用了联系测量方式,故在进行带通滤波的时候,选择了频率为 50 MHz~150 MHz 的带通滤波器。本次探测在进行雷达波速反演时,选择的介质相对介电常数为 7.3,采样点数 512,采样时窗便采用 600 ns [5] [6] [7] [8]。

地质雷达的处理资料方式就是将实测数据导入到电脑,然后导入“RADAN 5.0”软件再进行分析(见图 2)。在数据处理的软件中,主要是用“Process”这个菜单中的数字滤波器(IIR Filter、FIR Filter)、褶积(Deconvolution)、偏移(Migration)、希尔伯特变换(Hilbert Xform)等数据处理的方法对野外采集结果进行预处理,再根据现场的地质情况,选择一个合理的相对介电常数[9] [10] [11] [12]。

4. 实测资料解释与分析

4.1. 掌子面围岩情况

观察发现在隧道出口右线掌子面里程 XK28 + 354,围岩组成主要为中风化砂岩,局部夹微风化泥砂岩,紫红色、浅灰色等,局部夹薄层软弱夹层,薄、中层状结构,节理发育,呈碎裂状结构,岩体较破碎、局部较完整,围岩整体完整稳定性一般。

观察发现在隧道出口左线掌子面里程 XZK28 + 410,围岩组成主要为中风化薄、中层状粉砂岩,局部夹泥砂岩,浅灰色、紫红色等,局部夹薄层软弱夹层;节理及劈理发育,地下水较发育,围岩较破碎、局部较完整,较硬岩夹坚硬岩,整体围岩完整性、稳定性较差,拱顶处易产生小型掉块现象。

掌子面照片如图 2、图 3 所示。

4.2. 工作测线布置

探测仪器是美国 GSSI 生产的 SIR-3000 型地质雷达系统,采用连续测量的方式,由于现场的环境限制,将测线 1 沿拱顶轮廓线、将测线 2 沿隧道掌子面底部 1 米左右的位置,测线长 6 米,如图 4 所示。



Figure 2. XK28 + 354 rock mass is broken: a complete mosaic structure

图 2. XK28 + 354 岩体较破碎~较完整多呈镶嵌结构



Figure 3. XK28 + 410 rock mass is broken mosaic structure

图 3. XZK28 + 410 岩体较破碎多呈镶嵌结构

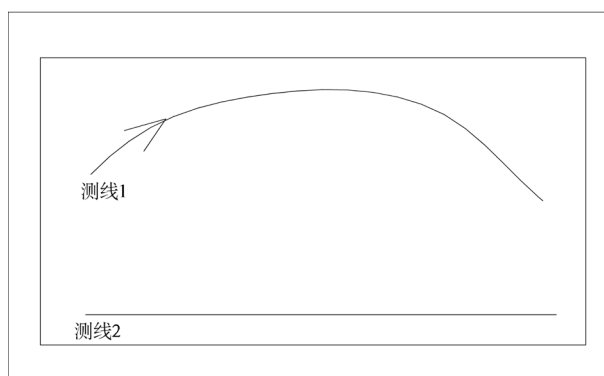


Figure 4. Radar detection line layout diagram

图 4. 雷达探测测线布置示意图

4.3. 测量数据分析

图 5、图 6 是通过对现场探测数据的分析处理，得出的雷达预报探测效果图：

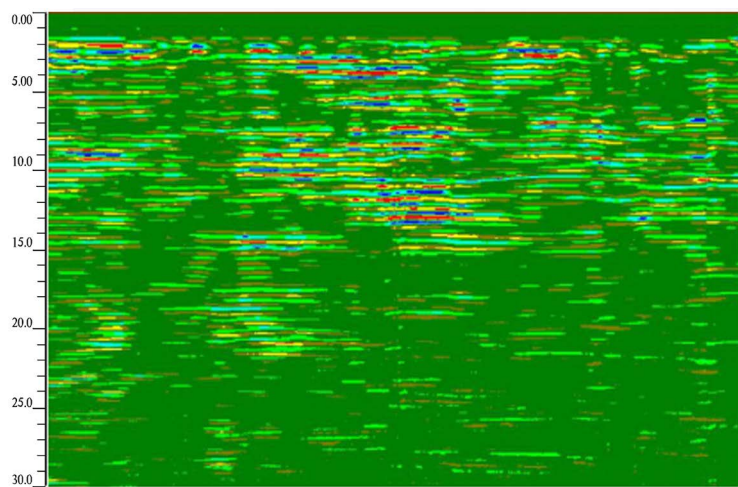


Figure 5. Export right-line radar detection results figure (from left to right)
图 5. 出口右线雷达探测成果图(从左往右)

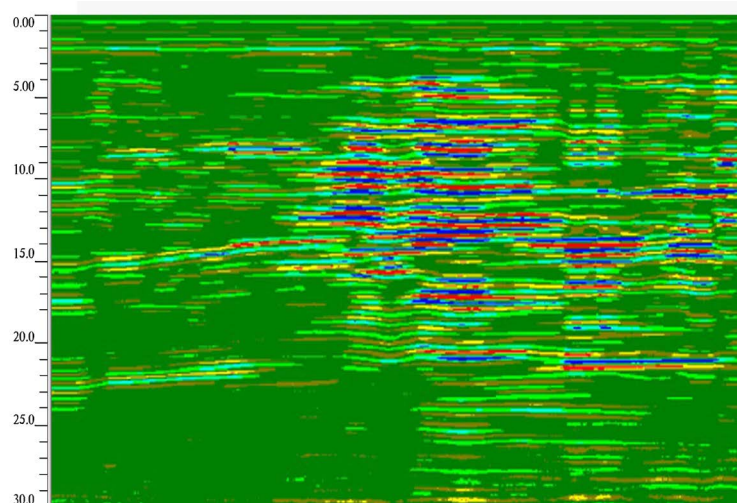


Figure 6. Export left-line radar detection results figure (from left to right)
图 6. 出口左线雷达探测成果图(从左往右)

图 5 是出口右线水平采集的地质雷达剖面图(测线 1)，采样时窗为 600 ns，探测深度 30 m，通过对比分析：

测线剖面显示，掌子面前方 XK28 + 354~+324 范围内，雷达电磁波整体上同相轴较连续，但在掌子面前方 2~11 m 范围局部呈现较强的反射信号，反射波同相轴相对紊乱，推测节理、劈理较发育、岩体较破碎，地下水较发育，其余位置电磁波反射较弱，同相轴连续性相对较好，推测岩体相对较完整。

图 6 为出口左线水平采集的地质雷达剖面图(测线 1)，采样时窗为 600 ns，探测深度 30 m，通过对比分析：

测线剖面显示，掌子面前方 XZK28 + 410~+380 范围内，雷达电磁波整体同相轴连续性较好，但是在掌子面前方 1~18 m 范围段反射信号强烈，反射波同相轴相对紊乱，推测节理、劈理较发育、岩体较破碎，地下水较发育，其余位置电磁波反射较弱，同相轴连续性相对较好，推测岩体相对较完整。

施工方后来告诉了我们实际情况，验证了此次结果的准确性，但由于某些原因并没有给我们看实际

施工图纸, 可见该方法在隧道超前预报中有一定的准确性和可靠性。

5. 结论

由于探地雷达探测精度高, 并能以图像方式显示探测成果, 因此, 在对探明断层破碎带、地下溶洞、软弱围岩、涌水等不良地质现象的探测中可以发挥独特作用, 在此次应用中, 地质雷达较好地完成了隧道检测方面的工作, 可以为隧道开挖提供可靠而又准确的施工技术方案。

参考文献

- [1] 肖兵, 周翔, 汤井田. 探地雷达技术及其应用和发展[J]. 物探与化探, 1996, 20(5): 119-123.
- [2] 白冰, 周健. 探地雷达测试技术发展概况及其应用现状[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(4): 527-531.
- [3] 谢昭晖, 李金铭. 我国探地雷达的应用现状及展望[J]. 工程勘察, 2007(11): 71-75.
- [4] 李大心. 探地雷达方法及应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [5] 杜树春. 地质雷达及其在环境地质中的应用[J]. 物探与化探, 1996(5): 384-392.
- [6] 汤洪志, 黎正根, 贺小军, 等. 探地雷达在管线探测与工程勘察中的应用[J]. 华东地质学院学报, 1999, 22(2): 156-166.
- [7] 谢昭晖, 白朝旭, 陈义军. 探地雷达在公路路基质量检测中的应用[J]. 勘察科学技术, 2005(5): 58-61.
- [8] 秦镇, 吴海波, 张恩泽. 探地雷达在城市交通建设中的技术应用[J]. 西部探矿工程, 2018, 30(4): 95-98, 103.
- [9] 刘四新, 曾昭发. 频散介质中地质雷达波传播的数值模拟[J]. 地球物理学报, 2007, 50(1): 320-326.
- [10] Jol, H.M. 探地雷达理论与应用[M]. 雷文太, 童孝忠, 译. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [11] 周耀, 王元丰, 韩冰, 等. 探地雷达检测混凝土含水率试验研究[J]. 北京交通大学学报, 2011, 35(1): 17-19, 884.
- [12] 舒志乐, 刘保县, 刘新荣, 朱成红, 著. 探地雷达正反演理论与信号处理[M]. 北京: 科学出版社, 2017.