

地质雷达探测技术在水工隧洞检测中的应用

李焱^{1,2,3}, 邹晨阳^{1,3}

(1. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 江西省水工安全工程技术研究中心, 江西 南昌 330029)

摘要: 本文首先介绍了地质雷达探测技术的原理, 结合实例, 对地质雷达探测技术在水工隧洞钢筋分布探测、衬砌回填灌浆质量探测中的应用进行了介绍. 在利用地质雷达技术对隧洞质量进行探测时, 应根据不同探测对象、探测深度等实际情况选择合适频率天线, 并精心调整相关参数.

关键词: 地质雷达; 隧洞; 钢筋分布; 回填灌浆

中图分类号: U456.3

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2017)05-0331-05

0 引言

为保证隧洞工程质量和安全运行, 在隧洞施工后常需对隧洞质量进行安全检测, 主要检测项目有: 钢筋分布情况、回填灌浆质量、衬砌厚度等. 地质雷达探测技术具有非破坏性、分辨率高、快捷高效等优点, 因此在工程检测领域得到了广泛应用.

陈礼伟^[1]介绍了地质雷达探测的原理, 并指出运用其对隧道衬砌质量进行检测时, 在现场数据采集及资料分析阶段应注意的问题. 王亮^[2]从地质雷达方法原理出发, 从理论上研究了电磁波在隧道衬砌内的传播规律、反射能力和基本雷达图像特征, 并结合工程实例, 总结了正确判识各类雷达异常的经验, 提出了常用的反演计算方法, 具有较高的指导意义. 不同的学者^[3-7]也针对隧洞(隧道)工程, 利用地质雷达技术对其工程质量进行了检测.

本文对地质雷达探测原理进行了介绍, 并结合工程实例, 对地质雷达探测的结果进行了分析.

1 地质雷达探测原理

地质雷达是利用高频电磁波在不同介质中的传播和反射特性, 对地下或物体内的目标体或界面进行探测

的技术. 这种方法在 20 世纪 60 年代发展起来, 并于 20 世纪 90 年代发展成熟.

其详细工作过程是: 由置于地面(被探测物体表面)的天线向地下(被探测物体内部)连续发射高频电磁脉冲, 当其在地下传播过程中遇到不同电性(主要是相对介电常数)界面时, 电磁波一部分发生折射透过界面继续传播, 另一部分发生反射折向地面, 被接收天线接收, 并由主机记录, 在更深处界面, 电磁波同样发生反射与折射, 直到能量被完全吸收为止.

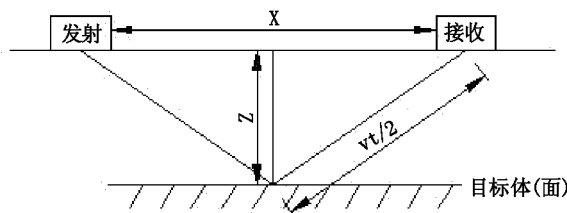


图1 地质雷达探测原理

取得雷达探测图像后, 主要进行两方面分析, 一是确定异常点位置, 二是判断异常产生的原因.

1.1 确定异常点位置

反射波从被发射天线发射到被接收天线接收的时间称为双程走时 t , 当求得地下介质的波速时, 可根据测到的精确 t 值折半乘以波速求得目标体的位置或埋深.

根据地质雷达探测原理图,目标体的埋深 Z 可以用数学关系表达为:

$$Z = \frac{\sqrt{v^2 t^2 + X^2}}{2} \quad (1)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

式中, Z 为被探测目标体的深度, m ; v 为电磁波在被探测物体中传播速度, m/ns ; t 为双程走时, ns ; X 为发射和接收天线的距离, m ; c 为电磁波在真空中传播速度, 取 $0.3 m/ns$; ϵ_r 为相对介电常数。

双程走时 t 是由地质雷达主机自动计算得到, 由于发射和接收天线的距离 X 是确定的, 因此式中只需确定被探测物体的相对介电常数, 就可以确定被探测目标体的深度 Z 。

1.2 判断异常产生的原因

图2是一根典型的地质雷达探测线图, 一幅雷达探测图就由数十至数万根波动线组成。在对异常部位进行判定时, 根据各反射波组的波幅与频率特征可以得到探地雷达的波形图像, 从而了解探测对象内目标体的分布情况。

1.3 探测深度和天线频率

地质雷达的探测距离与分辨率是地质雷达应用中

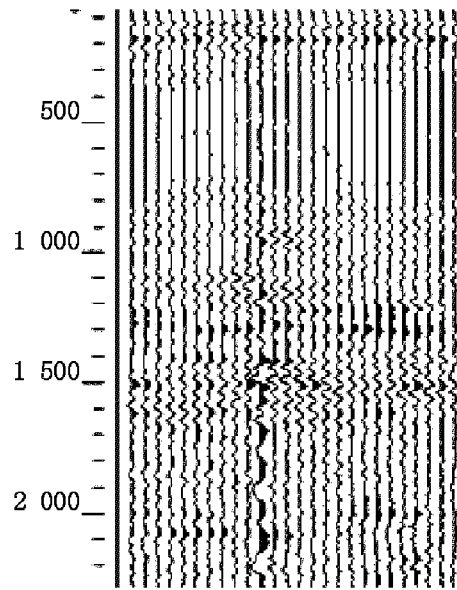


图2 典型的地质雷达探测线图

的两个重要的技术参数, 直接受天线的中心频率的影响^[1], 因此正确选择天线频率将直接影响到检测效果的好坏。天线频率高, 可提高地质雷达分辨率, 但探测距离减小, 降低天线频率, 可增大地质雷达的探测距离, 但其分辨率下降。天线频率和推荐的探测深度见表1。

表1 天线频率与参考探测深度

天线频率/MHz	2 600	2 000	1 000	900	400	270	200	100
参考探测深度/m	0.1~0.3	0.25~0.35	0.5~0.8	0.5~1	1~3	1~7	1~9	5~15

2 工程实例

某水库导流隧洞布置于坝址左岸山体中, 分布燕山早期第二阶段第二次侵入的花岗斑岩, 青灰~灰白色, 具斑状结构, 块状构造。隧洞为圆形, 洞径 6.00 m。施工结束后, 对其衬砌内钢筋分布情况、回填灌浆质量进行了探测。

2.1 衬砌钢筋分布探测

水工隧洞衬砌常承受较大山岩压力或内水压力, 钢筋数量的多少、位置的排列对隧洞安全运行十分重要。

现场检测采用美国地球物理公司生产的 SIR-3000 型地质雷达, 天线中心频率为 900 MHz。为了对自然界的杂波、仪器杂波及其他信号杂波进行过滤, 仅

采集 200~2 000 MHz 电磁波信号。记录长度设置为 50 ns, 采样记录线为 64 根/s, 采样点数为 1 024 个/记录线, 迭加次数为 16 位/样点。混凝土介电常数取 8.5。

对隧洞右下侧衬砌的受力筋进行了地质雷达检测。仅给出 0+000~0+012 的雷达图像, 见图3。图中, 横坐标为水平距离, 图片右侧为 0+000 桩号, 图片左侧为 0+012 桩号; 纵坐标为深度。

图3中白色抛物线的顶点即为受力筋位置, 可以看出, 在 0~7.00 m 范围内钢筋保护层厚度为 5~15 cm, 稍高于设计要求; 7.00~12.00 m 范围内受力筋位置偏下, 保护层厚度偏大。

图3中检测出钢筋数量共 46 根, 平均间距为 0.26 m, 设计钢筋间距为 25 cm, 基本与设计相符。

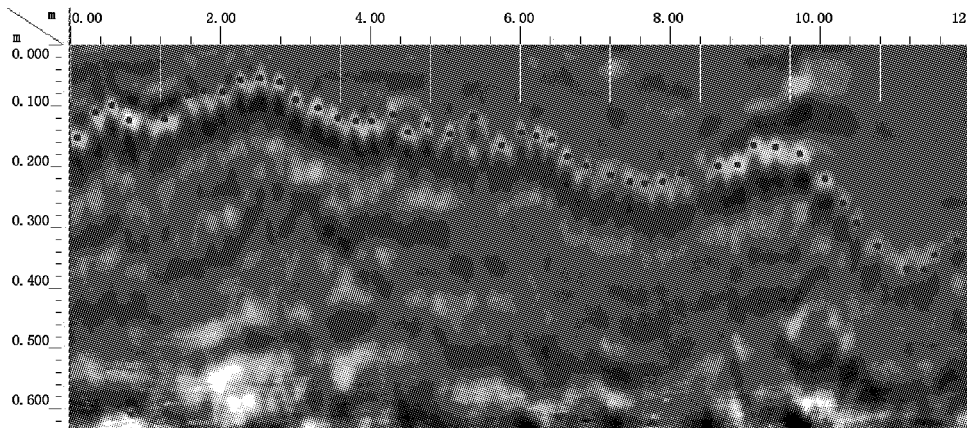


图 3 钢筋分布雷达探测图

2.2 隧洞衬砌质量检测

隧洞回填灌浆是在混凝土衬砌的背面对混凝土浇筑未能浇实留有空隙的部位灌浆。回填灌浆可使二衬、围岩结合为整体,使之共同抵御外力,是衬砌的重要组成部分。

回填灌浆胶结体多位于衬砌背面,即 0.50~0.70 m,因此要求天线具有更深的穿透性,选用天线中心频率为

400 MHz。为了对自然界的杂波、仪器杂波及其他信号杂波进行过滤,仅采集 100~800 MHz 电磁波信号。记录长度设置为 200 ns,采样记录线为 64 根/s,采样点数为 512 个/记录线,迭加次数为 16 位/样点。综合介电常数选择为 8.5。

对隧洞右侧的回填灌浆质量进行了地质雷达检测。仅给出 2.00 m 范围内的雷达图像,见图 4。

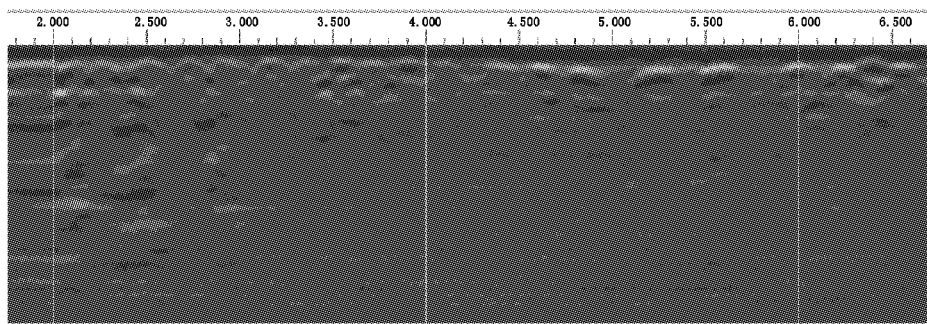


图 4 回填灌浆质量雷达探测图

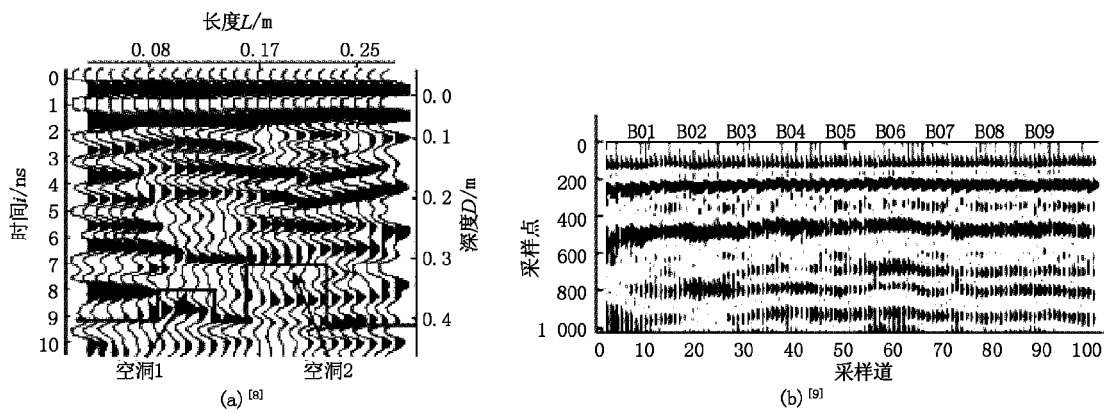


图 5 回填灌浆缺陷雷达探测图

可看到在图4中,雷达图像基本平稳,未出现强烈反射区,说明衬砌和基岩结合基本紧密,回填灌浆质量基本可靠。图5是文献^[8,9]给出的回填灌浆缺陷图,可看出图中存在较多反射强烈区域,说明衬砌背部存在较多空隙,回填灌浆浆液未能充填到这些部位,存在质量缺陷。

3 结 论

结合实例,对地质雷达探测技术在水工隧洞钢筋分布探测、衬砌质量探测中的应用进行了介绍。地质雷达可以快速、高效地对工程质量进行探测,具有一定推广应用前景。但在应用时,应根据不同探测对象、探测深度等实际情况选择合适频率天线,并精心调整相关参数。

参考文献:

- [1] 陈礼伟. 地质雷达检测隧道衬砌质量中的问题研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(S1): 146~149.
- [2] 王亮, 王绪本, 李正文. 地质雷达方法检测隧道衬砌质量研究[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(6): 26~31.
- [3] 马建斌, 贺志军. 应用地质雷达新技术检测“引额济克”水利工程5个隧洞工程质量[J]. 新疆地质, 2005, 23(3): 311~313.
- [4] 李子奇, 樊燕燕. 地质雷达在隧道衬砌质量检测中的应用[J]. 兰州交通大学学报, 2006, 25(3): 48~51.
- [5] 郭有劲. 地质雷达在铁路隧道衬砌质量检测中的应用[J]. 铁道工程学报, 2002, 74(2): 71~74.
- [6] 吴俊, 毛海和, 应松, 等. 地质雷达在公路隧道短期地质超前预报中的应用[J]. 岩土力学, 2003, 24(s1): 154~157.
- [7] 杨新安, 高艳灵. 沪宁铁路翻浆冒泥病害的地质雷达检测[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(1): 116~119.
- [8] 叶良应, 谢慧才, 徐茂辉. 地铁隧道衬砌脱空的雷达探测法[J]. 施工技术, 2005, 34(6): 12~14.
- [9] 王凡, 杜松, 肖建平. 地质雷达在引水隧洞回填灌浆探测效果的研究[J]. 公路交通科技, 2016, 33(2): 83~87.

编辑: 张绍付

Application of GPR in hydraulic tunnel engineering quality inspection

LI Yan^{1,2,3}, ZOU Chenyang^{1,3}

(1. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

3. Jiangxi Engineering Technology Research Center on Hydraulic Structures, Nanchang 330029, China)

Abstract: The principles of Ground Penetrating Radar (GPR) was introduced in this paper. Based on a practical example, the application of GPR in the detection of steel bar distribution and quality of backfill grouting in hydraulic tunnel was also introduced. When using GPR to detect the quality of tunnel, it is necessary to select appropriate frequency of antenna according to actual situation of detection object, detection depth.

Key words: Ground Penetrating Radar; Tunnel; Steel bar distribution; Backfill grouting

翻译: 李 焱