

# 地质雷达在某公路隧道质量检测中的应用

张墩

四川省冶勘设计集团有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v6i4.1533

**[摘要]** 地质雷达是一种先进的设备,以其简单便捷、精准高效的特点在公路隧道质量检测中广泛应用。本文将某公路隧道工程为例,介绍地质雷达的技术原理,并详细阐述其在隧道初支和二衬质量检测方面的应用。通过对地质雷达技术的深入研究和实际案例分析,我们将探讨该设备在提高隧道施工质量和安全性方面的重要作用。

**[关键词]** 地质雷达; 公路隧道; 质量检测

**中图分类号:** U459.2 **文献标识码:** A

## Application of Geological Radar in Quality Detection of a Highway Tunnel

Dun Zhang

Sichuan Yekan Design Group Co. Ltd

**[Abstract]** Geological radar, as an advanced technology with strong anti-interference, accuracy and efficiency, has been widely used in highway tunnel quality detection. Taking a highway tunnel engineering quality inspection as an example, this paper introduces the detection principle of geological radar, and expounds the application of geological radar technology in the quality inspection of tunnel lining components.

**[Key words]** geological radar; highway tunnel; quality detection

### 前言

随着我国公路建设不断加大投入,全国各地的公路建设正进入一个崭新时期。在道路隧道的时候或建造后地质雷达技术起到了很大的作用。本技术采用地质雷达来无损检查,对隧道初支和二衬结构进行科学评估,利用定性和定量指标对公路隧道进行工程质量评估,并及时发现其存在的问题,从而为消除其安全性提供参考。近年来,国内外地质雷达在工程检测领域的应用和发展取得了显著成效,展现出广阔的前景。考虑到地质雷达设备简单、测量快速、精度高以及抗干扰能力强等特点,采用地质雷达技术成为本文首选的方法,为公路隧道的工程质量提供可靠依据。通过本文的研究,我们将对地质雷达在道路隧道检测中的应用进行了深入的探讨,以及其对提升工程质量和确保安全的重要意义。

### 1 地质雷达方法原理

地质雷达法(地质雷达法)是一种电磁波反射技术,常用于地下探测,一般涵盖从甚高频到微波段的频率范围。其基本原理是:将电磁波发射到隧道衬砌和围岩中,通过发射机和发射天线,并沿着测线以均匀的速度贴附在掌面表面,使天线运动。在确定了传播的电磁波遇到了介电常数和导电率有差别的接口时,就会出现反射现象(reflection)。反射波由接收电线和接收器接收到,处在接收状态。同时,接收天线被作为系统时间基准的直

达波,直接通过岩体表面由发射天线到达。反射波往返时间的一半可以被提取出来,并乘以相应介质中的雷达波速度,经一系列信号后处理(包括参数输入、滤波、放大、改变显示方式和编辑等)来处理反射目标的深度。反射目标的性质可以根据反射波的强度、形状和垂直方向、水平方向的变化来判断,如断层、空洞、破碎带(fault)等。由于介质的电性和几何形状的改变,电磁波在介质中传播和波形都会发生改变,而传输和接收的天线通常是不太大的,甚至连合二为一都可以做到。地方地层倾斜角度是1小时,反射波的路径与地面垂直相连,因此接收到的反射波的旅行时间被称作“双程走时”(double-to-time)。目标的位置和埋藏深度可以通过测量反射波的旅行时间T,并以波速折半乘来确定。该方法可以利用发射天线对目标的表面运动进行检测。通过对反射波的幅度、频率、波形、纵横特征、变化等因素的分析,并根据地质背景,获得测量区域的目标分布和底层特征信息,并根据地质解释,推断出介质的内部结构。

地质雷达利用脉冲电磁波来探测其隐蔽媒体分布。在地质雷达系统中,将天线发射到隧道衬砌支护混凝土中,将高频宽带的短脉冲电磁波发射。当电磁波在不同的介电特性时,会产生某些波回报。接收到的天线接收,并将其记录到这些反射波的路线。采用传输和接收的天线,沿着靶面上的同步运动,获得了介质中的图像图象。详细原理见图2。

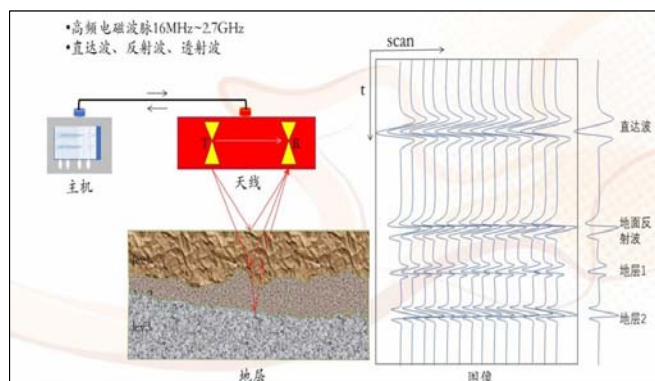


图1 地质雷达原理

脉冲波走时可根据公式(1)进行计算:

$$t = \sqrt{4z^2 + x^2} / v \quad (1)$$

式中  $x$  值在剖面探测中是固定的;  $v$  值可以利用现成数据或测定获得, 由上式可得目标体深度值, 即喷射混凝土厚度。

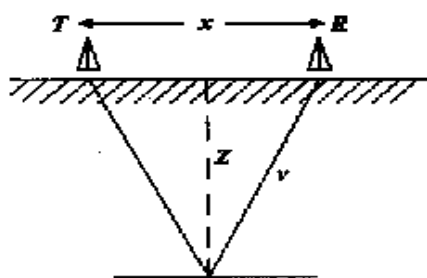


图2 反射探测原理图图

正常情况下, 基岩的岩性相对完整, 介电常数变化较小, 雷达信号具有连续的同相轴, 波形均匀, 往往表现出连续的水平反射。而在缺陷与支护或围岩之间存在明显的物性差异的情况下, 比如断层带, 雷达图像的能量团分布不均匀, 电磁波的能量减弱, 规律性差, 反射波的振幅增大, 波形杂乱。这是因为缺陷中的介电常数比支撑和围岩要大得多, 所以在雷达影像中存在着很强的反射, 有时还会产生绕射和散射, 使电磁波的频率由高频向低频聚集。

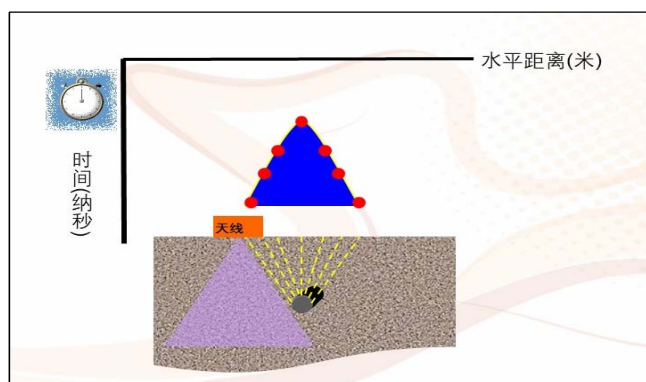


图3 检测结果与实际结构对照图

在裂隙密集带内, 由于介质的不均匀性和电性差异较大, 在雷达的电磁波向裂缝的表面上, 会产生大量的界面反射波。反射面的幅度提高, 并且有很大的改变, 同样的相轴会发生错断, 波形变得杂乱, 电磁波能量衰减快。

隧道初期支护和围岩间的相对介电常数差决定了分层是否可以被“探测”。在有缺陷的情况下, 由于缺陷与较好的衬砌或围岩间的介电常数比较差别, 也使得缺陷在雷达图像中“探测”, 具体情况请参考图3。

## 2 检测项目及仪器设备

在本次检测中, 主要涉及以下项目: 隧道衬砌的混凝土厚度和密实度, 以及衬砌中钢格栅、钢筋等材料的分布情况。为了完成这些检测任务, 选择美国 GSSI 公司生产的 SIR-3000 地质雷达系统 (简称 SIR-3000) 作为仪器设备。SIR-3000 地质雷达系统具有先进的控制权和数字处理软件。该系统的天线采用 400MHz 频率, 可以探测深度约为 2.5m-3.0m。在衬砌厚度较薄 (70cm 以内) 中, 我们还可以利用 900MHz 频率的天线来满足隧道质量检测的要求。

## 3 工程检测实例

以下是针对某公路 A 隧道二衬的实测雷达图像进行的工程检测实例。该隧道的二衬设计厚度为 60cm, 围岩为 V 级。我们采用美国 SIR-3000 型雷达仪器, 采用 900MHz 频率的天线进行取样, 采样点数为 512, 并通过连续采样方式进行测量。波速的确定采用了打孔标定的方法, 波速标定值为 0.1m/ns。在雷达图像中, 反射界面清晰可见 (可见反射亮线), 最小实测厚度为 22cm, 未达到衬砌厚度的设计要求 (见图 4)。

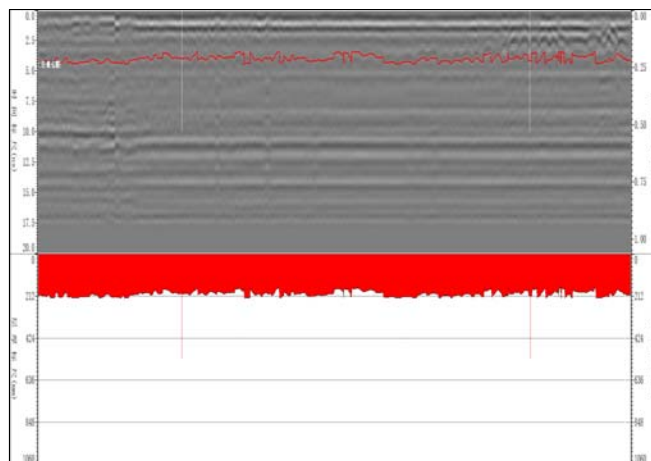


图4 某公路A隧道二衬检测的实测雷达图像

实例2: 某公路B隧道初支检测的实测雷达图像, 该隧道初支设计厚度为 26cm, 围岩为 V 级, 采用美国 SIR-3000 型雷达仪器, 天线频率为 900MHz, 采样点数为 512, 采用连续采样的方式, 波速的确定为打孔标定, 波速标定为 0.1m/ns, 图中指示处出现一空洞, 未能达到设计要求 (图 5)。

实例3: 某公路C隧道二衬检测的实测雷达图像, 该隧道二衬设计厚度为 50cm, 围岩为 IV 级, 采用美国 SIR-3000 型雷达仪器,

天线频率为900MHz, 采样点数为512, 采用连续采样的方式, 该图像可以看出混凝土中存在的钢筋造成强烈的月牙形信号反射, 在5m里程范围内, 可以准确的数出钢筋的个数为20根, 满足设计要求(图6)。

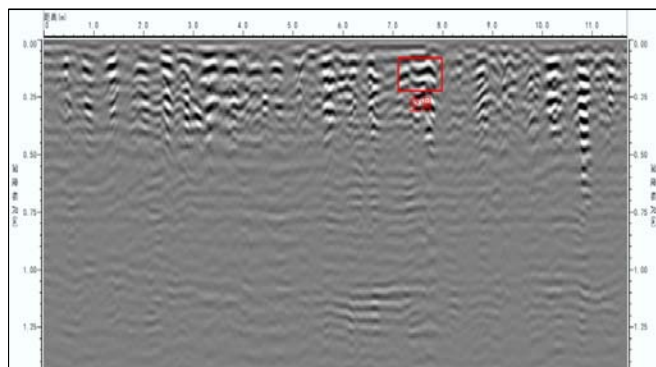


图5 某公路B隧道初支检测的实测雷达图像

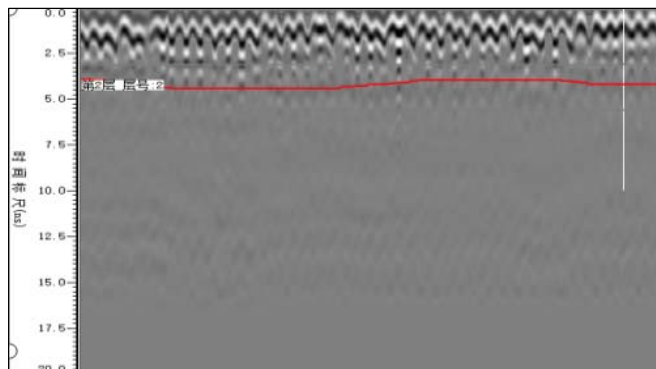


图6 某公路C隧道二衬检测的实测雷达图像

#### 4 结语

(1) 地质雷达是一种无损检测技术, 在公路隧道质量检测中起着举足轻重的作用。然而, 在使用地质雷达进行隧道检测时, 科技人员必须充分认识到隧道的施工工艺, 并根据其实际施工时间来全面地分析其工艺。这样可以避免由于施工工艺差异引起的检测误差。同时, 对于不同的隧道类型和材料, 技

术人员需要具备相应的专业知识和经验, 以确保检测的准确性和可靠性。

(2) 在某些情况下, 为了提高检测的精度、速度和准确性, 利用现场条件或制造混凝土标准组件和打孔验证等方法对校核地质雷达的探测参数进行调节和校核地质雷达的检测参数, 如介电常数和增益。这些步骤可以帮助优化地质雷达系统的性能, 以满足具体隧道工程的要求。

(3) 隧道设计参数的不完整性可能对地质雷达的检测产生一定的影响。为了克服这个问题, 需要选择合适的时窗和采样点数, 以提高垂直分辨率, 并更准确地识别隧道中的目标。此外, 在实际测量过程中, 要保证地质雷达的天线和隧道衬砌混凝土的表面紧密结合起来, 以避免由于贴合不良而导致的波形混乱。这将有助于减少数据解释阶段可能产生的误判。

综上所述, 地质雷达在公路隧道检测中的应用需要综合考虑施工工艺、参数校核和数据解释等因素。通过充分了解和析这些因素, 技术人员可以更好地利用地质雷达技术, 提高隧道施工质量的检测效果, 并且为以后的工程提供精确、可靠的数据支撑。

#### 【参考文献】

- [1]赵永贵.国内外隧道超前预报技术与推介[J].资源环境与工程,2007,(22):1344-1352.
- [2]孔祥春.探地雷达基本原理[J].工程勘察,2005,(9):95-96.
- [3]叶观宝,宋建.地质雷达在公路隧道短期地质超前预报中的应用[J].勘察科学技术,2010,(1):49-53.
- [4]何勇华.采用探地雷达对隧道掌子面前方地质状况进行超前预报[J].金属矿山,2010,(1):99-102.
- [5]祁长青,许人平,叶勇.地质雷达在岩质隧道施工超前预报中的应用[J].勘察科学技术,2007,(4):62-64.
- [6]李江林,关淑萍.探地雷达在隧洞衬砌质量检测中的应用[J].隧道建设,2010,30(1):7-11,49.