

# 地质雷达在隧道衬砌质量检测中的应用

## Application of Ground Penetrating Radar in Quality Inspection of Tunnel Lining

田龙

Long Tian

中交一公局土木工程建筑研究院 中国·北京 101100

Civil Engineering and Architecture Research Institute of CCCC First Highway Engineering Co., Ltd., Beijing, 101100, China

**摘要:** 地质雷达的检测具有快速扫描和简单操作的特征,同时具有高清晰度和直观图像等使用优点,在隧道衬砌检测中应用,可以有效地识别一些位置存在的缺陷,为隧道后安全运营提供必要的保障。

**Abstract:** The detection of geological radar has the characteristics of fast scanning and simple operation, as well as the advantages of high-definition and intuitive images. When applied in tunnel lining detection, it can effectively identify defects in some positions and provide necessary guarantees for safe operation after the tunnel.

**关键词:** 地质雷达; 隧道衬砌; 质量检测; 应用

**Keywords:** ground penetrating radar; tunnel lining; quality inspection; application

**DOI:** 10.12346/etr.v5i4.7846

### 1 引言

地质雷达是发展较快的高精度检测技术,技术应用凭借重量轻和灵活使用等优点,广泛应用于隧道衬砌检测,对于隧道衬砌控制发挥着积极的作用。为了保证隧道工程的顺利发展,在长期运用中对隧道工程要求越来越高。地质雷达测量具有精密连续操作的优点,在质量检验中占有重要的地位。论文从地质雷达的原理入手,对隧道衬砌质量进行了分析,并对雷达图像进行分析,为质量检测提供理论依据。

### 2 地质雷达方法简介

地质雷达方法是根据地下空洞和介质的物性差异,以及物探工作环境差异,区分目标物体的背景。经过查阅相关资料,需要调查的地面沉降、刚性道路、水土流失地带等。基于高频电磁脉冲发射电磁波信号,经由地下介质接收反射和折射电磁波,在雷达波传播中在地下介质反射和折射,接收的电磁波信号发生变化后,然后对接信号影像进行处理成像。

### 3 基本原理

地质雷达检测由一体机,天线及其他相关的结构组成。根据介质电性能差异,发送高频电磁波,接收反射电磁波进行处理、分析。检测过程是通过天线发送频率高电磁波。如果电磁波碰到其他介质就会产生反射,反射波回到表面通过天线接收。主机记录电磁波的发射时间,基于雷达影像上放射波频率特征变化来确认是否存在脱空。从反射波的波形特征中提取截面图像。通过研究电磁波的传播规律和波长特性,揭示结构属性、形态和空间分布。通过地面发送天线,以短脉冲形式发送到地下,在目标或其他电磁性质边界上反射。电磁能量通过界面传播,反射会持续到更深的界面,直到电磁能量都被介质吸收。因此,反射体的深度和变化是描述空间分布的参数之一。如果将发送天线和接收天线作为记录点,接收天线接收的反射波就会被记录,形成雷达截面。截面的横轴是侧点,往返时各点的反射为波动。在影像中,以传播时间和速度为基础,得到深度变换和地层深度的截面,以此来达到探测的目的。

**【作者简介】** 田龙(1995-),男,中国河北石家庄人,助理工程师,从事隧道系统锚杆检测技术、高原地区混凝土抗开裂的方法、桩基小应变检测技术、高原地区混凝土配合比研究。

## 4 地质雷达在隧道衬砌中的使用优势

地质雷达在剖面测量、反射法有一定的相似度，现在隧道的设计和施工在技术上都取得了较大的进步。在进行隧道衬砌检测中，使用排列天线，不失信息高密度，收集大量的雷达数据。雷达启动时，天线排列通过基站的高精度配置，并进行准确度控制。基于雷达数据的位置，提供直观的图像。地质雷达检测技术的应用具有分辨率高的优势，探测中最好的分辨率明确表示视觉感知的内部结构。地质雷达探测不破坏隧道衬砌结构，天线可以远离感知介质的表面。检查受现场条件的影响较小，对于隧道衬砌的质量检测具有适应性强的使用特征。基于直观有效的检测结果，可以感知到隧道衬砌的缺陷，提高数据采集的效率，并可对数据进行快速有效的处理。

## 5 地质雷达在隧道衬砌质量检测中的应用

### 5.1 工程概述

以某公路隧道为例，该隧道是复合衬砌结构。通过研究，这一地区的降水量较多，对于隧道衬砌要求也较高。为了加强隧道衬砌质量检测的准确度，在使用地质雷达检测施工质量，需要保证数据的真实全面，否则对于工程质量不能如实的反应。因此，合理地设置测量线，避免交叉情况。工程检测线如图1所示，位置是拱顶、左边的拱部，右边的拱部，左墙和右墙5个检测线。

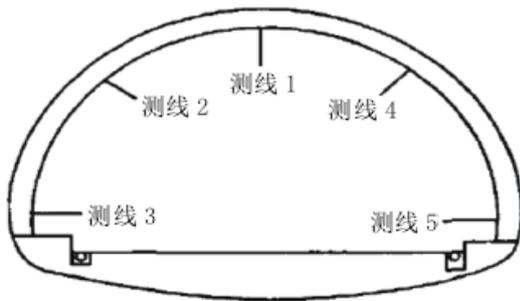


图1 隧道检测测线布置

### 5.2 衬砌背后钢架信号的识别

隧道初期支撑的钢框架分为格栅钢架和型钢钢架。格栅钢架截面形式由3~4个主筋构成。4个主筋的钢架钢筋高度相等，其弯曲力矩量大于3个主筋。格栅和钢支撑被分割加工，在架设时被组装成形。与混凝土紧密附着在岩石上，并且对于喷射混凝土的使用，可以填补周围岩石的间隙。型钢的钢框架用钢做支撑拱，刚性和强度大。但是与混凝土不能很好地结合，很难喷射混凝土填充周围间隙。地质雷达检测的支撑体为分散的反射信号，格栅钢架是分散的反射信号，呈反方向的形状。在实际检测过程中，需要按规范要求固定间隔，一般来说，隧道围岩结构较差，主要使用型钢支撑。围岩结构较好的情况下选择钢格栅<sup>[1]</sup>。

### 5.3 合理选择雷达的天线

电磁波的特征有高精度和高频率，由于在实际检测中能量衰减速度快，对于电磁波检测深度就会降低。因此，对于低频率的电磁波分辨率较低。由于能量不会迅速减少，对于低频率的电磁波准确度会提高。在应用地质雷达技术时，需要合理选择天线，根据混凝土探测要求、深度选择天线。天线频率与隧道衬砌检测深度有直接的关系。在感知衬砌质量前，需要根据隧道衬砌实际情况合理配置测量线，技术人员需要确认测量线的高度，确保检测线具备统一的高度和准确性。确定纵向方向的侧线，在隧道内以纵向侧线为主。在隧道衬砌检测过程中，需要完善横向侧线，同时，还要在隧道的拱形位置设置测量线。在特殊情况下，如果隧道衬砌有缺陷，需要增设1~3条加密线，设置在有特定条件的地方中心。对于周围的侧线有困难，可以根据隧道衬砌测定内容进行安排。如果在检查中发现不合格断面，需要依据实际情况合理地增加测量线，提高隧道衬砌检查的准确度。在检测过程中，需要确保采用连续测量的方式<sup>[2]</sup>。

### 5.4 检测数据应关注的问题

数据在处理前应进行必要的验证，确保数据的记录完整和信号的清晰，对于不合格的数据不得应用。根据反射波辨别反射波的异常，以此来提取有效信息。在进行隧道衬砌检测过程中，对于有扰动或障碍的现象，或者存在天线不贴合的问题引起的异常。在对隧道衬砌检测数据处理中，需要选择正确的过滤，根据数据正确分析隧道衬砌质量。在雷达数据分析后，如果有不确定的问题，需要进行重复的验证与调查，必要时进行开孔验证。在隧道施工中，随着隧道施工的调整和变更，开展前后需要引起注意。对于收集和统计段落的衬砌确认是否改变支撑参数，以便在进行检测数据的分析时不会误判。对准缺陷的测量，对准质量部位进行非破坏性检测，对定位测量和验证检测具有重要的意义。隧道衬砌缺陷的定位也是经常遇到的问题，在进行检测前，应用红色喷雾标注初始支撑或二次衬砌，并记录检测线的位置。在检测中，对雷达影像进行对应，将影像的显示点与现场对应起来，为准确判断隧道衬砌缺陷位置和验证缺陷提供准确的基础。地质雷达检测衬砌质量时，需要天线与衬砌表面接触。如果在实际测量时的天线的耦合不好，电磁波消耗就会变差，相应的检测数据质量就会变差。因此，为了高质量地进行隧道衬砌的检查，以此来得到可靠的数值，必须确保天线和隧道衬砌的耦合良好。对于隧道异常情况需要做好全面的记录，观察并记录排水管、障碍物等现场遇到的情况，以便在数据处理时进行有效的过滤<sup>[3]</sup>。

### 5.5 后期数据处理

为获得隧道衬砌检验结果，需要对钢筋检查结果进行分析，对于用钢筋混凝土支撑的明洞区间。隧道使用的钢筋导电性好，在进行检测中有很强的反射效果。具体由多个点上信号点构成，分布是有规律的图案，每个点对应一个钢筋。

隧道衬砌测试中,岩石和混凝土的比例有很大差异,可以更直观地看到图形边界。隧道衬砌施工时,由于现场受各种因素的影响,如技术、材料和操作性因素等,极有可能发生裂缝的现象,对于实际发生的裂缝数量、性质等影响隧道衬砌结构的承载能力。存在裂缝的位置进行反射波断裂,波形规则与附近影像的协调性不够。在隧道支撑工程中,混凝土粘合的密性差的原因很多,包括混凝土对电磁波和反射效果的影响,特点为实测结果,近的反射面振幅突出,反射面错段,进而导致规则性较差。对于数据处理采用数学技术抑制截面噪声,提高信号的信噪比,获得与介质相关的幅度和相位等信息。为隧道衬砌分析提供了高质量的信息。从收集的原始数据显示,缺陷位置的反射波很微弱,还有来自野外作业的噪音。因此,对截面的信噪比分析以抑制噪声。数据处理使用零时间校正、带通滤波器和时间深度转换。校准的目的是消除对地面的影响。直流励磁用于去除电磁波中的直流成分。大电流激发的目的是消除地表环境中的噪声。补偿电磁波通过地下介质传播的能量,向深层的时间转换,将时间截面转换到深层,以获得不同方向的雷达截面。对雷达数据进行处理,并针对数据处理软件研究处理方法的优劣。结合隧道衬砌现场条件,合理布局测量线,选择适合雷达检测中心频率的天线,并且需要根据实际隧道衬砌施工设置采集参数。经过数据处理获得雷达截面。剖面地质学描绘出空洞的深度和地表位置,为后续的隧道衬砌管理提供了科学的依据。

### 5.6 检测结果分析

二次衬砌主要缺陷是存在脱空现象,主要是隧道衬砌拱顶位置。在混凝土施工中,受钢筋和较大的混凝土颗粒的泵送影响,当泵送的压力不能达到设计时,会产生局部脱空的现象。另外,注入衬砌结构混凝土不均匀较大时,局部凸出位置极易产生弯曲,凹凸位置防水和衬砌混凝土反射截面存在和相互连续。截面主要表现为电磁波振幅大,动轴连续,呈倒三角反射弧。对于钢筋保护层大的混凝土不耐压缩,而采用钢材混凝土抗张力学性能能得到明显的提高。隧道衬砌要靠钢筋来确保,因此,环向主筋与衬垫整体承重性有直接的关系。拱形位置的钢筋保护层出现了较大的浮动,腰部和侧壁的保护层厚度与设计有较小偏差,钢筋保护层合格率达70%~80%。在铺设环形钢筋中,比较容易地调节侧壁的位置,拱板通过钢筋曲率来控制,在施工铺设混凝土中,控制混凝土不因挤压而暴露在外。进行二次衬砌局部脱空,

有效提高结构的接受度和稳定性。在隧道衬砌原缺陷位置进行地质雷达检测,得出电磁波振幅减弱,表明注浆后充填饱满,同时反映了与二衬密贴性较好,如图2、图3所示。

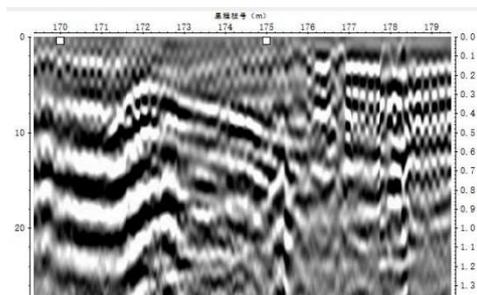


图2 地质雷达检测空间

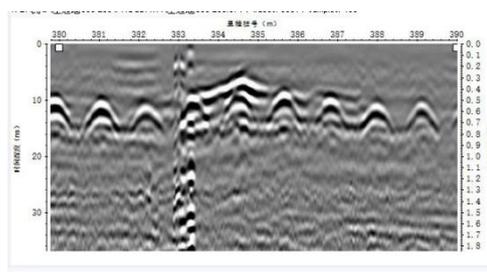


图3 空间厚度不够

## 6 结语

从整体上看,随着隧道工程建设范围与规模的扩大,对于隧道衬砌质量要求也越来越高,对隧道衬砌检测质量的要求也在提高,为了更准确地进行质量检测,必须依赖高质量的地质雷达技术。地质雷达是用检查装备来测定的,在衬砌的检测起着重要的作用。在工程实践中,需要正确掌握地质雷达技术的性能和程序,更好地检测工程缺陷,为隧道工程的顺利运行提供坚实的保障。

### 参考文献

- [1] 蔡一超,李晓猛,罗瑛,等.地质雷达在隧道衬砌质量检测中的应用——以云南某高速公路隧道为例[J].工程技术研究,2021,6(18):114-115.
- [2] 杨泰.SIR4000地质雷达在铁路隧道衬砌质量检测中的应用[J].四川水泥,2021(2):81-83.
- [3] 杨聚会.地质雷达在隧道衬砌质量检测中的应用[J].广东建材,2020,36(12):38-39+61.