

# 地质雷达在隧道质量检测中的影响因素研究

蔡 飒

(重庆市交通工程质量检测有限公司, 重庆 400000)

**摘 要:** 由于我国公路的建设迅速快速, 隧道数量呈逐年上升趋势。地质雷达能够快速检测隧道质量, 且精度高, 属于检测隧道质量检测的主要途径。但普遍会因为检测人员水平参差不齐, 再加上隧道内的实际环境复杂, 使施工的难度被增大, 所以, 促使检测不出隧道的实际质量情况。在检测的过程中必须要重视细节, 分析检测中普遍产生的问题, 给予具有针对性的策略, 地质雷达探测精度高, 其应用有助于隧道质量检测的顺利进行, 本文进一步分析了地质雷达在隧道质量检测中的应用, 以供同仁参考借鉴。

**关键词:** 隧道; 质量检测; 地质雷达

中图分类号: U456.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2022)39-0073-03

## 1 地质雷达检测原理

当前, 纳秒脉冲技术的不断发展, 推动了地质雷达的广泛应用, 其通过天线进行电磁脉冲发射, 且频谱宽度较大, 雷达可以在单次脉冲扫描下获得大量资料信息。地质雷达的检测普遍是一个工程单元, 在检测的过程中, 电磁波穿透的介质普遍都是非均质的、有消耗的介质。同时, 因为电磁波在耗电介质中进行传播是具有复杂性的, 无法准确解译通过地质雷达所得到的图像。

**地质雷达法:** 地质雷达法是通过电磁波在介质电磁特性不连续处进行散射以及反射, 使达到浅表层, 进而定量或定性的地表电磁的特性变化进一步辨识, 依据运动以及动力学的特征, 如电磁波回波的波形、振幅以及频率等, 对介质结构和物性特征进一步分析以及准确推断, 从而对表层下进行探测。能够通过波形记录图像, 直观对混凝土内部实际病害情况进行分析, 且, 能够根据特定的探测深度以及具体分辨率的要求, 选择与频率相对应的天线, 这种方法能够在隧道衬砌的表面进行探测, 具有方便快捷性, 能够大面积的进行检测, 并且可以反复的进行测试。地质雷达工作原理示意图如图 1 所示。

## 2 地质雷达检测技术在隧道检测中的应用

### 2.1 仪器设备和检测过程

地质雷达无损检测通常是选用国外普遍生产的地质雷达, 按照不同隧道的不同地质环境决定仪器的选择, 不同的隧道环境所需要的检测的仪器型号也是不一样的。在检测的具体过程中, 关键的检测项目被大约分为以下 3 项: ①检测隧道衬砌层的实际厚; ②检测岩

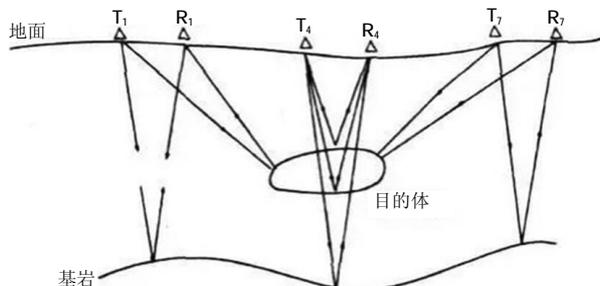


图 1 地质雷达工作原理

体间的实际电性; ③衬砌层和围岩间的具体密实度。地质雷达无损检测关键是通过分析检测的所有数据, 判断隧道内的实际情况。探地雷达的发射天线向地下定向发射高频短脉冲电磁波, 电磁波在实际的传播中遇到电性差异的地层或目标体就会进行反射以及透射, 当天线接收到反射波信号时, 会将其进行数字化, 再以反射波波形的形式通过计算机做好记录。处理好采集相关数据之后, 地下目标体的结构、空间位置以及分布特征可以按照反射波的具体传播时间、波形以及幅度进行准确判断<sup>[1]</sup>。

### 2.2 检测数据收集

在隧道内运用地质雷达无损探测技术时, 天线发出的信号与隧道衬砌结合的程度, 是必须要重视的, 所以, 相关负责人员必须要根据地质雷达的规范检测标准进行操作, 注意滑动时必须要顺着标准的路线进行移动。在雷达发出信号后, 必须要时刻观察隧道内的信号实况, 并做好信号采集工作。普遍情况下, 雷达所发出的脉冲信号频率为 64/s, 每个脉冲信号发出后, 其发射区域会获得 45~60 个监测点, 工作人员应在确保隧

道探测无损的基础上,保证所获数据的精准性,再由准也负责人员具体分析隧道内的实况,收集详细的数据信息,对隧道内存在的安全隐患进行判断。地质雷达应在探测必须要前标定隧道探测部位的介电常数<sup>[2]</sup>。地质雷达探测资料收集如图2所示。

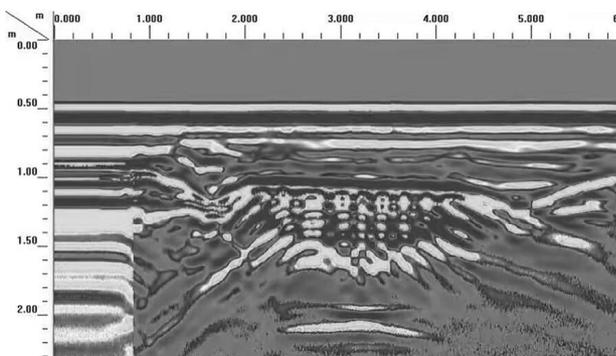


图2 地质雷达检测数据收集

### 2.3 所得监测数据的处理

地质雷达关键是运用超高频以及宽频带电磁脉冲技术,资料采集多是以反射波的特征为关键依据。但是雷达达到的效果会受隧道环境的影响,想要有效预防这种干扰,将检测结果的精准性得到提高,就必须科学处理好原始数据,这时就需要相关负责人系统分析采集到的数据。资料和数据的处理包括记录资料回訪显示,处理官方资料等两个环节。通过对第一阶段的正确分析,能够准确地处理好隧道内的异常,按照雷达图像中的实际频率、形态以及位置等具体特征,注意判断采集到的信息,准确找出隧道内遗留的安全隐患;第二阶段,利用雷达专用软件,以反射波为关键依据,对有关数据进行完整处理,详细了解隧道内的基本情况,并做好最终的数据分析<sup>[3]</sup>。

## 3 隧道检测中地质雷达的影响因素

### 3.1 介电常数对地质雷达在隧道质量检测中的影响

因为地质雷达是通过介电常数产生的差异对隧道病害进行判别的,因此,当介电常数产生较大差异时,电磁波的波形会出现明显变化,可以及时发现隧道存在的质量问题。介电常数对地质雷达的检测关键发挥两个方面的作用。

介电常数的变化会在一定程度上影响到天线接收反射波的时间。媒质雷达反射波时间与介电常数是成正比的。当介电常数较大时,媒介物质中的电磁波波速会被减小,如果媒介物质其介电常数未发生变化,电磁波要通过较长时间再能够穿透媒介。

若是介电常数产生了浮动变化,那么也会造成地

质雷达接收的电磁波发生改变。若在衬砌前表面的雷达反射波出现较大变化,原因是由于空气与媒介界面常数产生较大变化,空气的介电常数普遍是保持在稳定值,当面层的介电常数被增加后,空气和面层间的介电常数也会存在较大差异,促使面层电磁波的反射强度被一定程度上增大,促使此层的反射波振幅被增大,而位于面层以下界面的电磁波其振幅会减小<sup>[4]</sup>。主要原因有以下3个方面。

(1)空气层和面层属于介电常数不相同的不同物质,当电磁波穿过的介质的界面不同时,介电常数会发生强烈的变化,从能量学原理进行解释,波的传播其本质上就是在传递能量,当波穿过这两种介质时,一定会损耗一定程度的能量,因此,面层界面其电磁波的透射系数会被降低。

(2)若界面下层其介电常数未发生变化,但面层其介电常数被增加了,在此情况下,面层和下层其介电常数间会产生较大差异,这样界面的电磁波反射系数就会被一定程度上降低。

(3)面层电导率会损耗到电磁波,同时使面层介质中的波速减慢,造成电磁波传播到界面下的时间增长了,因为增加了介电常数,使电磁波向下传播的能量损耗。

### 3.2 地质雷达参数设置对检测结果的影响

检测结果的准确性会受地质雷达参数的影响。地质雷达的关键参数包括:主机时窗、天线中心频率、测点间点距以及样率设置等。

地质雷达选择天线中心频率时必须要对测量目标物的深度以及范围两个方面进行考虑,根据检测隧道的普遍规律,在分辨率和环境允许的情况下,尽量选择中心频率较小的天线。

在检测隧道质量的前期,必须要对目标体的实际深度范围进行掌握,且选择合适的频率的天线。检测深度以及分辨率会影响到天线中心频率的最终选择<sup>[5]</sup>。

### 3.3 其他因素的影响

运用地质雷达检测隧道衬砌质量中出现误差是必然的,对检测误差主要因素进行分析对降低误差有重要意义。在对隧道进行质量检测时,影响结果的因素包括:计算衬砌厚度时产生的误差、空洞以及回填松散区产生的误差、定位里程产生的误差等。

(1)计算衬砌厚度产生的误差,计算衬砌厚度产生误差的关键因素是电磁波速度产生变化以及界面判识缺少精确度,同一隧道内衬底混凝土的标号与含水量、

回填物的实际密实程度、隧道结构的变化、环境以及施工工艺出现异常都会造成介电常数产生不同差异。所以,介电常数会在一定范围内发生变化。但在计算衬砌混凝土厚度时,一般取固定的某一速度值;界面判识的准确性取决于界面的显著性、干扰波的大小以及判识者的经验<sup>[6]</sup>。

(2)脱空、空洞以及不密实等在回填松散区的深度范围产生误差,通过地质雷达检测衬砌质量时,从接收天线对回波信号进行直接接收,属于复杂的时域波形,由于当前硬件以及软件技术水平有限制,所以,无法从原始波形中直接区分出衬砌界面、空洞以及松散区等界面的反射回波、衬砌背后的空洞,回填松散区和裂缝中含有空气或水使反射信号更明显。

(3)里程定位误差,其关键是由里程标记的准确度决定的,由于隧道路面的实况差以及不能够均匀的检测车速度,还有里程标记之间的里程位置是要经过均匀内插才能获得到,若是检测车不能保持均匀的运行速度,那么内插的里程就会产生较大的误差。

#### 4 减小地质雷达检测隧道质量误差的方法

(1)进行检测前期必须要做好里程标记。里程尾数需要从0或者5开始,按先后顺序在隧道壁上每5m或10m通过油漆对里程桩做好标记。里程数标记必须要确保准确清晰,里程点会影响到检测缺陷的位置是否准确,若是某一里程桩号出现了漏点,就会导致判定结果的里程数不精准。

(2)确保良好的检测环境。①探测时雷达天线必须要避开配电箱、电焊机等电气设备,最大限度地降低无线电波产生干扰的概率。②预防在雷达天线上盘绕、捆绑侦测电缆线、铁丝等金属线,预防雷达天线接收端受到信号干扰。③确保待检测的断面混凝土其龄期最少在15d以上,降低混凝土中含水量的影响,预防检测隧道仰拱时地面出现积水。

(3)选对雷达天线,设置好与之相匹配的天线参数。隧道衬砌检测常用的是400MHz、900MHz两种频率的天线。在对不相同频率的雷达天线进行更换时,必须要在雷达主机设置中选择与之相匹配的天线型号。

雷达天线的频率不同,检测的深度以及精度就都不一样。雷达天线频率越高,检测的准确度就会更高。在检测深度达到标准的前提下,必须多选用频率高的雷达天线,从而才能够提高精度。

(4)标定介电常数。虽然在雷达仪器参数设置中给出了混凝土的介电常数值,但由于混凝土的配比、龄

期、含水量等方面的差异,造成了不同的介电常数。所以在实际检测中,可能会出现选用的介电常数与现场混凝土中的介电常值不符的现象。所以在检测时,应对隧道混凝土的介电常数值标定不少于1处,当隧道长度大于3km,衬砌材料或含水量发生较大变化时,标定点数量应适当增加。

(5)增益调整。隧道检测是否能发现缺陷信号增益是整个检测结果判定的灵魂,围岩等级不同,衬砌支护不同,雷达仪器在检测过程中显示的信号强弱不同,就需要不同的增益。增益调整时,先做自动增益调整,如果达不到要求,再做人工增益调整。总体原则是浅层信号减弱,深层信号增多。增益调整时,信号波峰和波谷左右的宽度尽量不要超过边界线,否则会造成信号过强,影响结果判定,保证以信号波峰和波谷左右的宽度为边界线宽度的3/4为宜<sup>[7]</sup>。

#### 5 结语

地质雷达具有易操作、检测速度快且精度高的优点,已广泛应用于隧道质量检测中,但因为隧道内环境复杂,需要先关负责人与施工人员进行配合,进行充分的检测准备,在检测的过程中必须要重视细节,分析检测中普遍产生的影响因素,给予具有针对性的策略,合理的运用地质雷达进行精准检测,顺利开展隧道质量检测工作。

#### 参考文献

- [1] 林有贵,周德存,易强,等.路面基层注浆加固质量评价的无损检测方法应用研究[J].西部交通科技,2021(2):8-11,184.
- [2] 牟勇,赵睿.地质雷达在高速公路隧道无损检测中的应用分析[J].黑龙江交通科技,2021,44(2):149,153.
- [3] 薛鹏.无损检测技术在隧道工程质量检测中的应用[J].交通世界,2020(35):123-124,126.
- [4] 钟世航,孙宏志,杨峰,等.探地雷达地质探查及检测技术[M].上海:上海科学技术出版社,2016.
- [5] 景胜.地质雷达在铁路隧道检测中的应用及典型图像分析[J].西部探矿工程,2015(4):188-191.
- [6] 袁定超.地质雷达在隧道衬砌质量检测中的应用及探讨[J].铁道建筑技术,2015(10):38-41,62.
- [7] 王石磊,高岩,齐法琳,等.铁路运营隧道检测技术综述[J].交通运输工程学报,2020,20(5):41-57.

作者简介:蔡飒(1984—),男,满族,重庆人,大专,工程师,主要从事隧道工程、桥梁工程检测方面工作。