

地质雷达技术在隧道工程无损检测中的应用

甄晨光

北京铁城检测认证有限公司 北京 102600

【摘要】：随着时代进步，应用于隧道工程中的技术也在不断改变，这些变化在一定程度上提高了工程质量。但目前隧道工程领域依旧面临着许多问题，如何在这种情况下，采用高效、全面的地质雷达进行无损检测，为隧道施工的检测提供了可靠的资料，是当今困扰人们的难题，针对这些问题，本文着重对地质雷达的非破坏性勘探技术在隧道检测中的运用进行分析，以便于参考。

【关键词】：地质雷达；隧道工程；无损检测

Application of Geological Radar Technology in NDT of Tunnel Engineering

Chenguang Zhen

Beijing Tiecheng Testing and Certification Co. Ltd. Beijing 102600

Abstract: With the progress of The Times, the technology applied in tunnel engineering is also constantly changing, and these changes have improved the quality of engineering to a certain extent. But it still faces many problems in the field of tunnel engineering, how in this case, using efficient, comprehensive geological radar nondestructive testing, provides reliable data for tunnel construction detection, is a problem of people, in view of these problems, this paper focuses on the geological radar nondestructive exploration technology in tunnel detection analysis, for reference.

Keywords: Geological radar; Tunnel engineering; NDT

引言

在国内，随着隧道工程建设的不断深入，地质雷达技术进行隧道衬砌的探测越发重要。其是一种高效、先进的无损检测手段，它可以实现对隧道的持续扫描，从而获取清晰、直观的探伤影像。但在国内，地质雷达的使用还处于起步阶段，因此，在实际工作中仍有很多问题需要解决。雷达技术的发展与完善离不开电磁原理。正确地设定探测参数，以便对试验资料进行科学的收集；熟悉数字滤波器技术及雷达波形特性，为试验资料的分析与处理奠定基础。

1 地质雷达探测技术概论

GPR (GRR) 是一种以高频率的电磁波对物体与周边物体进行探测的方法。利用地质雷达技术将高频率的电磁波辐射到地面，当它遇到空气界面、岩性边界、底层界面等不同的电性特征时，它就会被接收的天线所吸收^[1]。

2 隧道病害的普遍危害与实际意义

由于受经济、技术水平和施工人员的能力限制，再加上工程自身的隐蔽性，在这种情况下会出现许多工程的质量问题。如衬砌厚度不够，引起严重离析、空洞等。在工程中对超差开挖的管理不当，造成大范围超掘，而回填又不密实，导致在衬砌建设期间及建成之后围岩崩落，引起衬砌受力不合理而过早开裂，并且因人工偷工减料，加大了钢梁之间的间隔，从而降低了工程质量。这些问题的出现，甚至会让衬砌在经历气温、地下水的静水压力和脱空区落块负荷后，出现漏水、开裂、冻

害、腐蚀等一系列问题。目前，我国隧道施工质量的非破坏性测试是一项新兴的技术，使用方式也越来越多，采用多种设备，对工程结构的电磁性、弹性、放射性等进行测量。利用物理参数的改变来研究工程建筑物的状况。非破坏性检测技术在检测结果数据的定量可靠性、数据图像直观性、检测速度、安全和成本等诸多优势下，已逐渐发展为隧道施工质量检测的首选。同时在隧道施工中，无损检测是影响整个隧道施工安全的一个关键环节。因超欠挖、回填、不充分浇筑导致衬砌脱空、位于松散区、孔隙等，或者因疏忽导致的钢筋、钢拱梁与预应力之间的距离比设计值改变等。因此，在工程中及时发现并解决此类问题是保证隧道工程质量的关键^[2]。

3 无损地质雷达技术的测试工作原理

向地面发送超高频的地底电磁波后，利用在不同的电性条件下，所能收到的反射信号和所提取的接收时刻来判定被测对象的特性。通常，地质探测仪器由两大类组成：一是天线，二是控制主机。该系统的信号受主机的控制，而该天线则承担着UHF的发送与接收。通过天线的辐射，在围岩和衬砌中扩散，在遇到内部裂缝、围岩、空洞或者衬砌时，会产生电磁波，再通过天线将电磁波反馈给主设备，最后以数字方式传输给整个系统。通过对所采集的反射波趋势和强度资料的分析，可以判定出该区域内的分布、两侧的媒质特性，从而获得其厚度、空洞的位置、形状、岩体的构造状况等信息，从而实现高分辨率的无损探测。

4 利用地质雷达进行隧道探测的非破坏性技术

4.1 初始阶段的检测

一般来说，从天线发出的雷达波中，第一个到达的应该是空气直达波，其次是表面直达波，然后是水泥和围岩之间的回波。围岩和水泥的物理性能差别对回波能的大小有很大的影响，其物理性质的差别与其反射的强度呈显著的相关性。雷达波通过混凝土与岩体的交界面的反射，在影像上呈现出更大幅度更大、更长的共相轴线，由此可以获得相应的混凝土厚度^[3]。

4.2 二次衬砌的厚度检验

围岩与一次衬砌、二次衬砌相比有许多差异，其主要表现为材料组成和物性，而两者的差异使其介电常数有较大差异，尤其是衬砌与围岩。通过对衬层的电磁探测，可以观察到在基坑内的回波幅值有较大幅度地增加，而且其视场的频率也有下降的趋势。在不同的构造层间，由于电磁波产生了不同的波形，因此，采用相应的方法，可以得到相应的反应时间和速率。在混凝土中，EMR 信号的传播速率是事先已知的，所以在对其进行探测的过程中，要精确地测定每一层的电磁波的反射时刻是至关重要的。通过对反射的次数和传播速率的分析，可以得到层板的厚度。一次衬层与二次衬层的间隙较大，可以通过地质雷达的影像来判断二次衬层的厚度。然而，在实际的地震勘探中，由于两种构造材料均为水泥砂浆，其物理性质相差不大，如果水泥砂浆与喷水砼的粘接度良好，则在通过两种构造的边界处时，几乎不会发生反射，从而造成了影像上的边界不够清晰。见下图流程图 1。

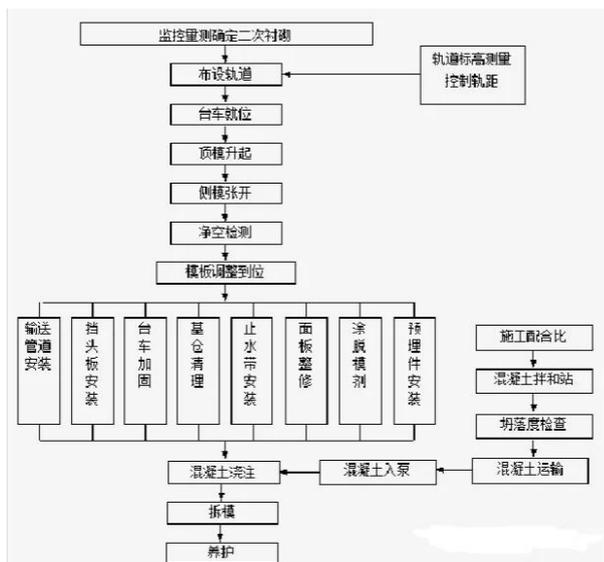


图 1 二次衬砌

4.3 探测脱空区

由于空气和水泥是完全不同的两种存在，所以它们的介质系数也会有很大的区别，比如在隧道中，在浇筑过程中，由于周围岩石间的间隙，会产生强烈的电磁波。脱空区愈大，则

岩体在影像上的接触面愈明显。在地震勘探中，可以观察到圆弧的反射波在地震勘探中的重复发生，而且呈现出共相轴线的特征，一般发生在地下，而且其强度随著时间的推移而增加。脱空区尺寸的确定是基于雷达波在隧道中的移动速率和介质的系数，通过横向位移来确定脱空区的区域。

4.4 钢结构的尺寸和布局

按照电磁原理，一种良好的导体，例如一种金属，它会将强烈的电磁波反射。在隧道衬砌工程中，常用的是钢支架和钢丝网，它们都是良好的导电金属。在隧道工程的地震探测中，若有钢筋进入水泥中，则会出现明显的强烈反射，表现为连续的点阵；当钢筋拱架位于钢筋内部时，将会产生一种强弯型改变，每个钢拱桥都会出现一种新的特征。通过对雷达的探测，可以计算出钢拱桥和钢梁的数量，通过对信号的形状，可以判断出拱桥的位置，并与设计相配合，确定钢拱桥和钢梁的配比，满足设计和技术指标。

5 勘探资料的整理和分析

在采用地质雷达技术进行隧道探伤时，天线传输方式，使其与隧道的内衬紧密相连。这个讯号一直在探测到的路线上。在雷达发射台发送高频段的情况下，可以从接收端开始采集信号。连续的信号传输可以确保探测点的精确和无损伤。而在雷达上，每个测点的分布都与隧道的长短密切相关。所以，在隧道的内侧墙壁上要有一定间隔的标记，而且要经常标明它的长度。有关工作人员可以按照特定的标志把对应的讯号导入到该设备中。如果在通道中的标志与雷达的记录相符，则可以在一定的间隔处设置一个大的标志。资料采集阶段完成后，要进行资料的整理和分析。采用已标注的资料，以确保资料的正确性。同时，在雷达的时间断面上也要清楚地标示出特定的长度。

6 用地质雷达法进行隧道品质检验的方法

6.1 野外收集

在进行地质探测作业前，要进行以下几方面的工作：（1）估算被测对象的基本特征。（2）作好测点布设，对野外的情况作好记录，并根据需要选择合适的雷达天线。（3）根据操作需要设定收集装置的各种性能指标。（4）在野外严格地校准介质的介电系数。（5）在所有的前期工作完成后，正式的测试操作就可以进行了。

6.2 排样

（1）在隧道施工中，施工中采用了以纵向为主，并采用了相应的水平布置。垂直布置的具体地点为拱顶、边墙及基座，而横排的布置与间距则视乎特定的检验内容与需要而定，无特别规定时则应按照 8~12 米来进行，若使用点测，则每段须设 6 处。此外，若在探测时出现不正常的区段，应对测线或测量点进行加密处理。（2）在完成了隧道的验收阶段，也是以垂直方向为主，当必要时，则采用横向布置。垂直布置包括拱顶、

拱腰和侧壁,测量线间距为8~12m,如果采用点测法,每个剖面应设置5个。在需要用探测方法来测定孔径和尺寸时,必须对测线和测量点进行正确的编码。(3)三线隧道应在拱顶增加两个测点,测线上每隔5~10米设一个历史标志。

6.3 参量校验

在施工之前,必须在施工之前先对衬砌的介质系数进行现场校准,并在每个隧道中进行三次测量,并将其平均介电系数确定为最后的介电常数。当隧道长度大于3公里或衬砌结构或实际含水量发生明显改变时,应加大相应的标记数目。该仪器的校准方式是:对已有的厚度或已有的物料和隧道的其它部件进行校准;利用直接波法对不会被交通工具所干扰的洞或洞内进行检测;如有需要,可以采用现场钻井来证实。

6.4 参数确定的标准

(1)标出的靶材厚度必须大于15cm,并且必须知道该厚度。(2)在校准时,应使各界面的反射讯号清楚、精确。

7 地质雷达技术应用于隧道工程中的问题及对策

虽然现在的地质雷达在隧道探测中起了一定的作用,但并不意味着这种探测技术就能在工程中发挥作用,甚至会对测试产生一定的干扰,从而使测试的过程和效果发生变化。

由于地质雷达探测工作是以电磁波为主,因此,决定合适的介电常数是进行地震探测和后期资料的关键,与地层相关的介质包括空气、纯水、混凝土、黏土、凝灰石等,而地下通道中则含有大量的金属介质,如电缆、台车、钢筋、管类等,这些都会对探测产生一定的干扰,见下图2。

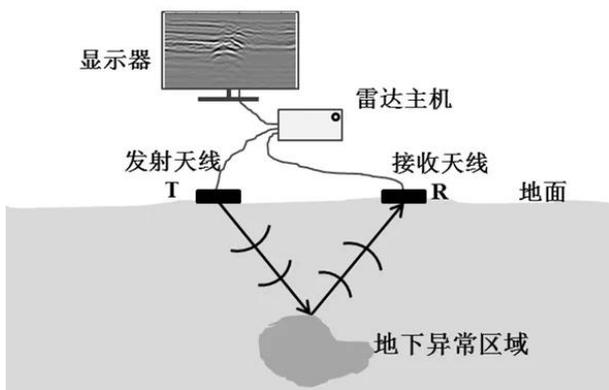


图2 雷达探测

参考文献:

- [1] 张辉,倪凯男.雷达技术在公路工程隧道无损检测中的应用[J].交通世界,2022(08):123-124.
- [2] 李坤琳,秦坚坚.地质雷达无损探测技术在隧道检测中的应用[J].黑龙江交通科技,2021,44(12):253+255.
- [3] 李建明.雷达技术在公路工程隧道无损检测中的应用研究[J].居舍,2021(09):169-170.

(1)利用地质雷达探测早期支护,由于早期的支撑面不够平坦,造成了测量中的里程记录错误,从而产生了错误的判断;(2)由于操作员没有经过专业训练,不能按标准进行作业,造成测试数据出现较大偏差;(3)在野外观测时,参数的采集设定状况会对数据的质量产生一定的干扰;(4)检验人员本身素质参差不齐,对同一测试的结论也不尽相同。根据上述工程应用的实际问题,结合以前的工作经验,提出了相应的对策:(1)在不同路段和不同的建设阶段,隧道的介质系数是不同的,因此,即使是同一隧道,也不能仅使用一种介质系数,对于不同时段的工程,应进行相应的现场校准,使其最大限度减小测量误差。(2)利用地质雷达进行野外测试时,应对现场的环境进行详细的检测,以保证后期资料的精确。在实践中,应将照明设备、车辆、人员、设备等一切有可能对探测产生的干扰都进行详细的记载,并说明其和测线的距离。(3)对现场检查中出现的部分,如出现平面不平的部分,则无需利用系统进行测距,需要利用时间触发来进行数据的收集,每隔5米就需要人工标注,同时还要保证该天线的工作速度。(4)强化对天线设备的技术培训,并配备专职的技术人才。在进行试验时,要对技术工人进行严格的训练,使其符合标准,若现场作业的工人已不能满足检验的需要,则要及时更换,避免因人为原因而对检验程序和测试的效果产生不良的效果。(5)对各种测试指标进行了多次模拟检验,并依据检验的结论不断地进行优化。同时,根据不同的靶材和天线的载荷情况,需要在野外探测中选择合适的探测参数。(6)运用预先设定的故障模式,可以将各种缺陷的图像显示出来,并将其转化为规范化的图形,从而为野外测试工作的开展奠定基础。

8 结语

要在施工过程中及时地发现问题,必须采用一种综合、快捷的检验方法进行及时的解决。由于隧道施工的不断深入,常规的钻孔取芯、压水试验等常规测试手段,已不能满足实际施工需要。利用地质雷达探测技术,可以检测出混凝土厚度、初期支护厚度等,它具有精度高、快速、无损检测等特点。