

地质雷达法检测隧道缺陷的分析及整治

胡恒良¹ 江 闯²

1. 成兰铁路有限责任公司 四川成都 610000;

2. 中铁九局集团工程检测试验有限公司 辽宁沈阳 110000

摘要:截至2020年底,我国投入运营的铁路隧道总长约19630公里,如何准确地识别隧道衬砌的缺陷并进行整治,是广大铁路建设者需要面对的问题^[1]。本文通过地质雷达隧道衬砌缺陷检测的方法,对隧道衬砌中的衬砌空洞、衬砌厚度不足及衬砌钢筋布设异常三种缺陷的形成、地质雷达检测图像特征、缺陷危害及整治方法进行分析。

关键词:隧道检测;地质雷达;缺陷整治

Analysis and Regulation of Tunnel Defects Detected by Geological Radar Method

Hengliang Hu¹, Chuang Jiang²

1. Chenglan Railway Co.,LTD,Chengdu,Sichuan, 610000,China;

2.Railway 9 Bureau Group Engineering Testing Co.,LTD,Shenyang,Liaoning,110000,China

Abstract: By the end of 2020,the total length of railway tunnels put into operation in China is about 19,630 kilometers.How to accurately identify the defects of tunnel lining and rectify it is the problem that the majority of railway builders need to face^[1].Through the detection method of geological radar tunnel lining defects,the paper analyzes the formation of three defects,insufficient defects and abnormal defects.

Keywords: Tunnel Detection;Geological Radar;Defect Regulation

1 引言

隧道因其不受自然气候的影响,减少噪音污染、有助于降低运输成本等优势,目前已成为铁路建设中的一种常见结构形式。近年来,随着铁路隧道施工技术愈发成熟,隧道数量大幅度增加,而隧道衬砌的缺陷问题也随之暴露出来,直接或间接影响铁路线路的正常运营。如何准确地识别隧道衬砌的缺陷并进行整治,是广大铁路建设者需要面对的问题。地质雷达具有高精度和可靠性,目前已被广泛用于隧道缺陷的检测。

2 地质雷达检测方法介绍

地质雷达是以超高频电磁波作为探测场源,由一个发射天线向地下界面发射一定中心频率的无载波电磁脉冲,另一个天线接收由地下不同介质界面产生的反射波,电磁波在介质中传播时,其传播时间、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质(如介电常数)及测试目标体的几何形态的差异而变化,根据接收的回波时间、波幅和波形等信息,可探测地下目的体的结构和位置信息。

在这项研究中,我们选择了意大利的RIS-K2型地质雷达。这种雷达具有双通道,能够同时连接2个天线,从而能够准确探测和处理所收集的信息。此外,我们还将主机和数据记录单元相互联系,实现了无线传输。RIS系列型主机配套的天线主要有1600MHz高频屏蔽天线、900MHz、600MHz、400MHz、200MHz、80MHz屏蔽天线、40MHz半屏蔽天线。1600 MHz高频天线的最大探测深度在50cm左右。该天线主要应用于浅层高精度探测。可准确测量出各结构层的厚度情况;900MHz、600MHz天线一般用于隧道初支、二衬混凝土内部的钢筋、裂隙、空洞等进行检测;用于隧道衬砌厚度与衬砌背后围岩情况检测。400MHz、200MHz天线一般用于隧道仰拱填充或挡墙混凝土内部的钢筋、裂隙、空洞等进行检测;80MHz、40MHz天线一般用于隧道超前地质预报检测。

3 缺陷形成及分析

3.1 隧道衬砌脱空

3.1.1 混凝土浇筑

在铁路隧道中,通常采用泵送方法进行衬砌施工。然

而，如果混凝土泵的压力过高，并且运行状态不稳，或者输送管发生了剧烈的晃动，那么就会使得拱顶的压力减小，由于混凝土的自重较大，无法完全覆盖整个拱顶，从而造成拱顶的衬砌脱落，产生脱空现象。

3.1.2 爆破影响

爆破质量的优劣直接影响到最终的壁面平整度，如果爆破面凹凸不平，将会严重影响初支喷射混凝土的表面质量，从而出现起伏现象，这将会严重阻碍防水板的安装，甚至可能导致空洞的出现。

3.1.3 防水板铺挂影响

在隧道防水板铺挂过程中，若防水板铺挂过紧，会在防水板与初支喷射混凝土界面之间产生空洞，若防水板铺挂过于松弛而形成褶皱，会造成衬砌背后脱空，若防水板固定不牢靠，浇筑衬砌混凝土的过程中防水板脱落，会形成脱空。

3.2 衬砌混凝土厚度不足

3.2.1 开挖影响

隧道爆破后局部欠挖，围岩面不平顺，导致拱架侵入二衬，产生衬砌混凝土厚度不足的现象。

3.2.2 浇筑影响

对隧道拱部浇筑过程中，由于输送泵压力不够，导致混凝土未能全部填满，引起衬砌厚度不足。

3.2.3 防水板铺挂影响

在施工衬砌混凝土的过程中，由于防水板固定不牢靠，混凝土浇筑过程中产生巨大的冲力使防水板下垮，致使防水板脱落，防水板阻挡产生衬砌厚度不足的现象。

3.3 隧道衬砌钢筋铺设异常

由于施工现场没有严格遵守施工工艺，钢筋绑扎不够牢固，加上浇筑混凝土时产生的冲击力过大，导致钢筋网

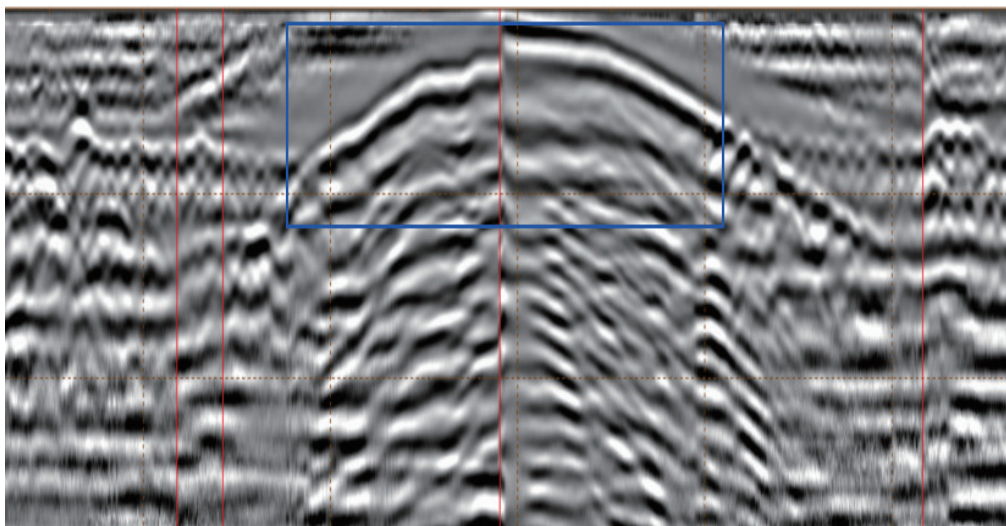


图1 隧道衬砌脱空地质雷达图像

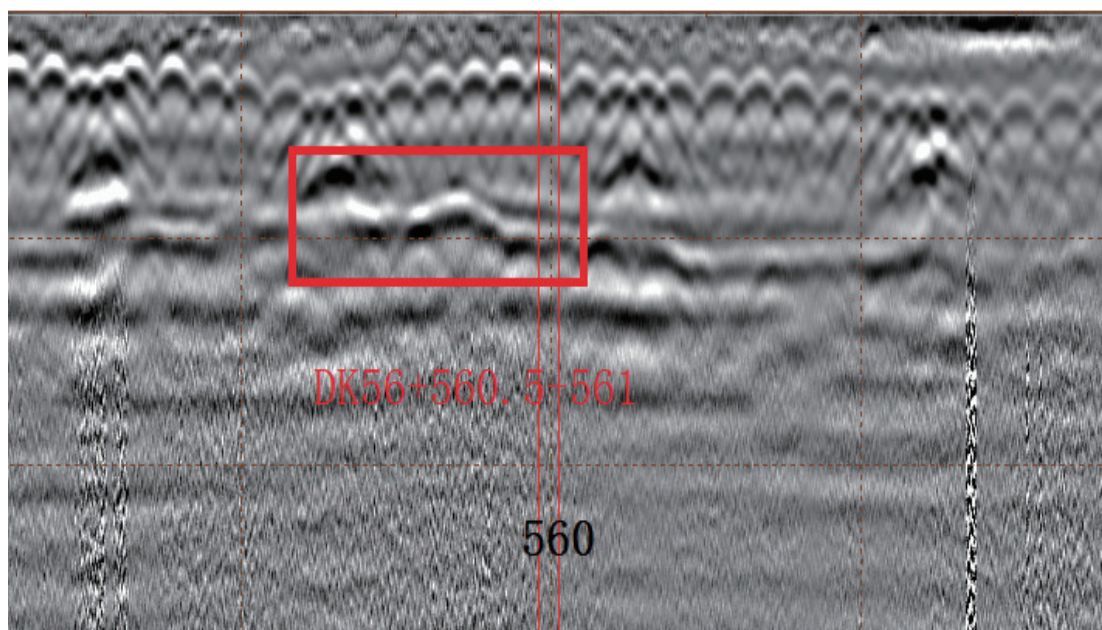


图2 衬砌混凝土厚度不足

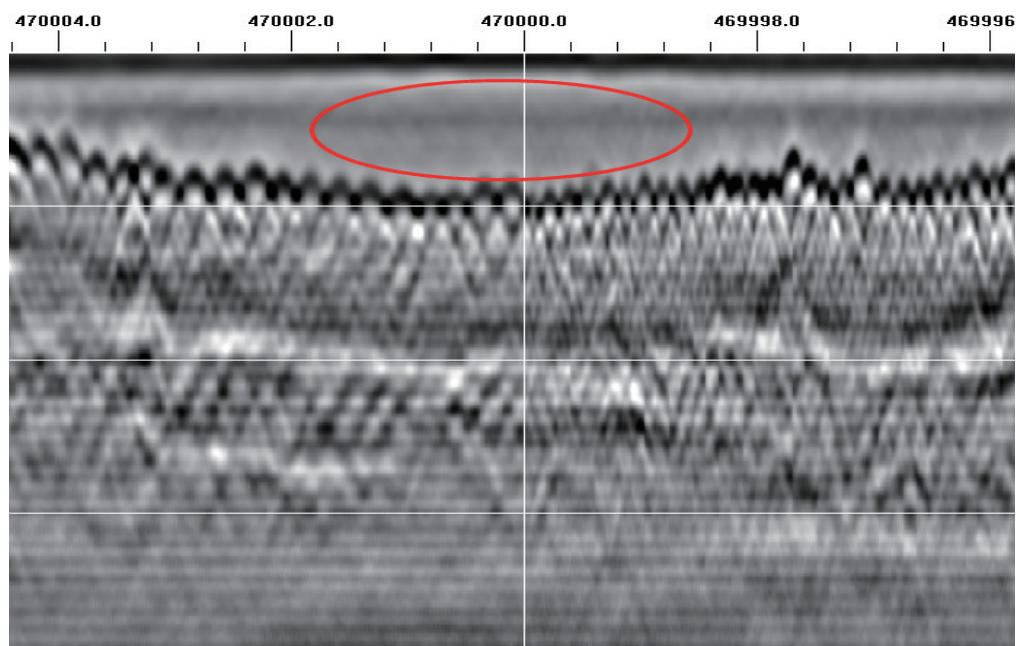


图3 钢筋保护层厚度过大地质雷达图像

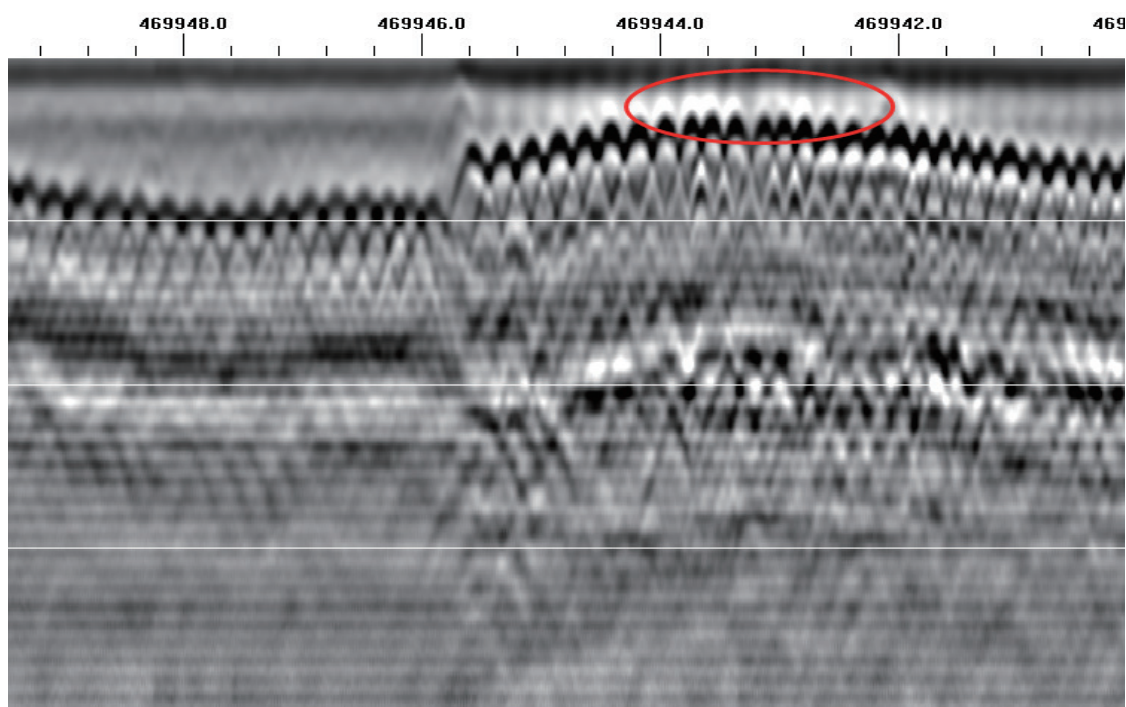


图4 钢筋保护层过小地质雷达图像

出现位移、变形或脱落的情况，导致钢筋保护层过大或过小、钢筋间距大于或小于设计范围等现象。

4 地质雷达检测缺陷实例及危害

4.1 隧道衬砌脱空（空洞）

如混凝土内部出现空洞，空洞内充满空气，介电常数发生变化，在雷达剖面上呈现明显的连续双曲线，雷达图像如图1所示：（见图1）

隧道衬砌空洞现象常出现在拱顶及拱腰处，主要危害为：

4.1.1 衬砌空洞使衬砌上方围岩在自身重力或外界干扰的情况下掉落，导致衬砌受到岩石冲击而掉块。

4.1.2 衬砌脱空导致衬砌整体结构受力不均，在空洞处形成应力集中点，破坏整体结构稳定。

4.2 混凝土厚度不足

由于混凝土和围岩的介电常数有明显的差异，因此，当设计的衬砌厚度满足要求时，可以观察到明显的分界线反射信号，其表现形式可以从雷达图2中得知：（见图2）

图中设计厚度为45cm，但在DK56+560.5-561段实测厚度为40-45cm，厚度不足。

衬砌厚度不足可存在于衬砌任意位置，主要危害为：

4.2.1 衬砌厚度不足处产生应力集中点，随着时间增

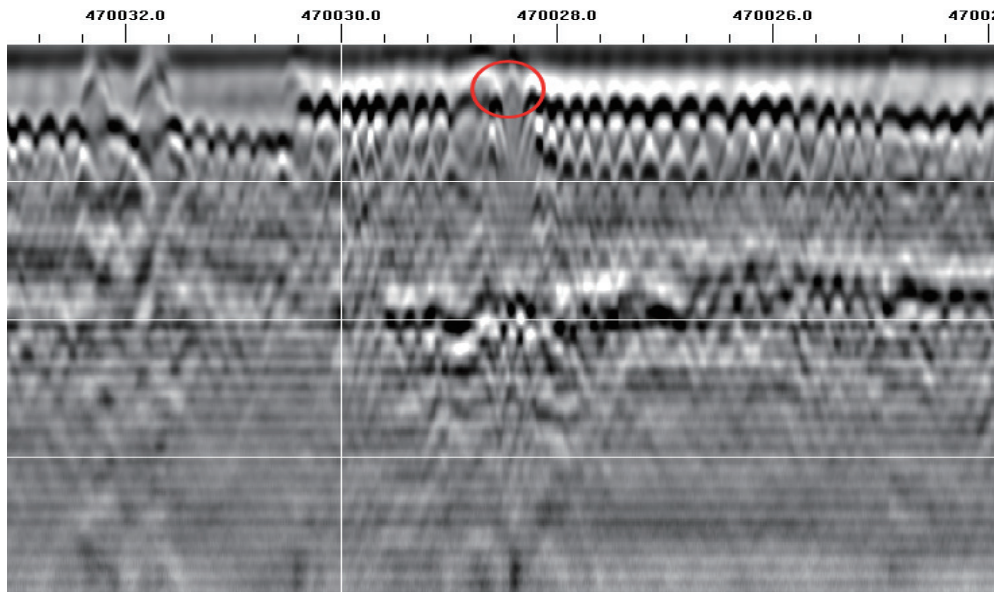


图5 钢筋间距大于设计值地质雷达图像

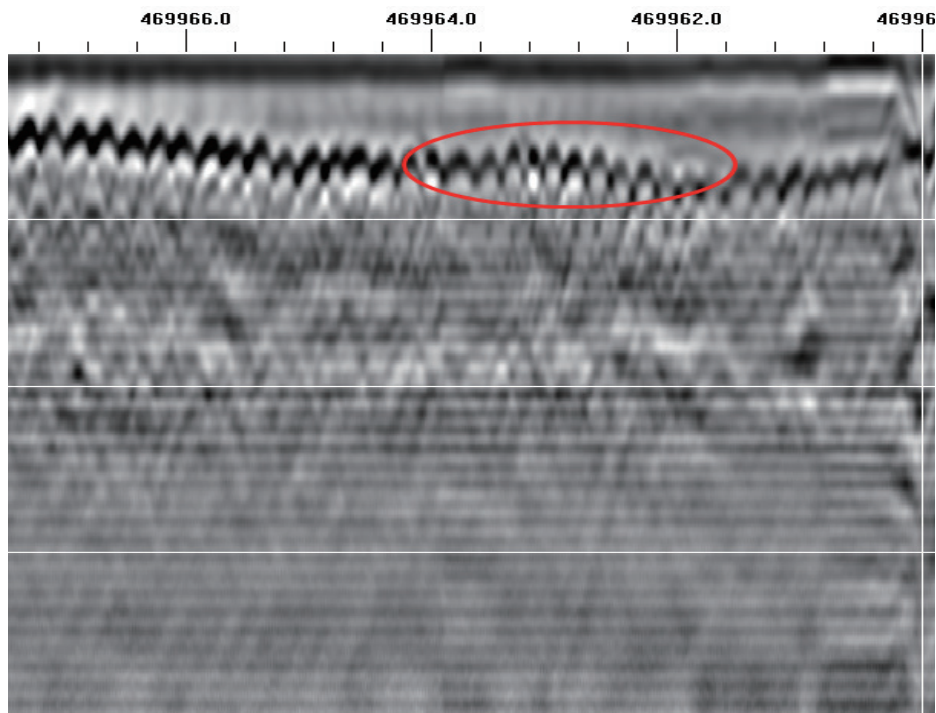


图6 钢筋间距小于设计值地质雷达图像

长，衬砌会逐步开裂，导致结构破坏，混凝土掉块；

4.2.2 衬砌厚度不足导致背后围岩扰动致使初支混凝土受压变形，过大的压力作用于衬砌上，导致衬砌垮塌。

4.3 隧道衬砌钢筋铺设异常

4.3.1 钢筋保护层厚度过大或过小

保护层过大，钢筋雷达信号清晰，如图3所示：（见图3）

保护层过大导致衬砌内部钢筋不能发挥作用，混凝土容易开裂，影响整体结构。

钢筋保护层过小，信号反射强烈，难以准确识别保护层厚度，深部雷达图像受到干扰，易产生缺陷假象，如图4所

示：（见图4）

钢筋保护层过小主要危害：

4.3.1.1 当钢筋承受外部压力时，其周边的裂纹很可能会扩散至整个建筑物的表面，从而导致保护层的混凝土遭受损害；

4.3.1.2 钢筋保护层过小，使得钢筋裸露在空气中，长时间会使钢筋生锈，影响结构。

4.3.2 钢筋间距过大或过小

当钢筋间距大于设计值时，雷达图像显示钢筋月牙状信号清晰，钢筋数量容易识别，如图所5示：（见图5）

该缺陷可出现在衬砌任意位置，钢筋间距过大的主要

危害:

钢筋数量少于设计值, 衬砌承载力不满足要求, 影响结构安全。

当钢筋间距小于设计值时, 雷达图像显示钢筋月牙状信号多次叠加, 反射信号强烈, 钢筋数量无法识别, 如图6所示: (见图6)

钢筋间距过小的主要危害:

钢筋间距过小, 混凝土中的粗骨料大于钢筋间距, 难以穿过钢筋缝隙, 导致粗骨料在钢筋外侧, 水泥浆进入钢筋内侧, 混凝土包裹能力下降, 使衬砌产生缺陷, 衬砌混凝土强度降低。

5 缺陷整治

隧道缺陷整治应以保证结构受力安全为前提, 尽量减小结构使用功能的降低, 尽量避免大拆大改, 尽量利用原结构进行加固补强。缺陷整治结构加固、补强措施可能会改变原有防排水体系, 降低原结构的整体防水性能, 本文所探讨的补救措施不能保证达到原设计标准, 整治后应至少经过一个雨季对结构防水性能进行观察, 如有异常, 应另行处理^[2]。本文所探讨的整治措施仅适用于单一类型的缺陷整治, 若同一部位同时存在多种缺陷, 应视具体情况进行综合整治处理。

5.1 隧道衬砌脱空(空洞)

为了有效地解决隧道衬砌中的脱空问题, 目前采用的方法是通过钻孔注浆来增强衬砌、初支和周边地层的总体稳定性。但是, 为了确保未来的安全性, 还需对这些问题进行更深入的检查, 比如通过钻芯验证来确定是否存在问题。

(1) 注浆前应确认缺陷在施工期间显示的地质条件与设计相符, 初支满足设计要求, 二衬混凝土强度满足设计要求, 衬砌厚度满足设计。

(2) 在脱空区域进行钻孔, 将非收缩微膨胀水泥砂浆或环氧浆液注入衬砌的背部, 钻孔间距交错布置, 钻孔至围岩表面。在实际施工中, 需要通过试验调整浆液配比。因浆体与混凝土性能存在差异, 需控制注浆量, 防止较大的空洞因一次注浆过多而塌落。

5.2 混凝土厚度不足

衬砌混凝土厚度不足分为一般性欠厚与欠厚空洞, 一般性欠厚指衬砌与初支之间没有空隙, 衬砌实际厚度不满足设计厚度要求; 欠厚空洞指衬砌内缘与初支之间距离满足设计要求, 但衬砌实际厚度不满足设计厚度要求, 衬砌与初支之间存在空洞的情况。

隧道衬砌实际强度、密实度满足设计, 但存在欠厚空洞, 欠厚严重等级判定为轻微时, 采用钻孔注浆的方式对缺陷进行整治, 欠厚严重等级判定为轻微以上时, 采用拆换措施整治。

5.2.1 注浆

注浆方案同5.1.1节。

5.2.2 拆换

为了保证安全, 我们建议对衬砌的安装过程中的每个细节都进行严格的审查。如果发现有任何不足或者二衬浇筑过程中初支没有完全收敛的情况, 建议首先对衬砌的背面进行注浆加固, 然后才能开始衬砌的拆换。

在开始拆除之前, 必须首先为除段前、后衬砌进行钢架临时加固。在拆卸和安装的阶段, 都要密切关注拆卸部分和周围区域的变化情况。

在确保安全的前提下, 应当首先使用切割技术将衬砌的边缘完整地切割, 然后再进行凿除, 以最大限度地减少对拆换范围外的衬砌造成的损害。

5.3 隧道衬砌钢筋铺设异常

5.3.1 钢筋保护层厚度过大或过小

为了避免钢筋保护层厚度不足导致的块体脱落, 应在该部位涂上水泥基渗透结晶涂料, 并定期检查, 及时补刷涂料, 以防止掉块的情况再次发生。

对于钢筋保护层厚度过小导致局部露筋处, 应对裸露钢筋进行除锈及防锈处理, 最后在衬砌表面涂刷防碳化涂层。

5.3.2 钢筋间距过大或过小

钢筋间距大于设计值需凿除部分混凝土, 重新支模浇筑。对于钢筋间距过小的情况, 可采取长期观察、检测的方法。

6 结语

本文依据地质雷达检测资料, 对隧道衬砌脱空(空洞)、衬砌厚度不足和钢筋铺设异常三种缺陷进行分析, 主要结论如下:

(1) 在进行隧道衬砌施工过程中, 应严格按照施工方案施工, 根据围岩情况合理优化爆破措施, 现场控制好混凝土输送泵的压力, 规范安装防水板、钢筋, 从施工上减少隧道衬砌缺陷的形成。

(2) 隧道施工过程中, 应及时进行地质雷达检测, 尽早排查出隧道缺陷, 根据地质雷达检测图像中的反射现象对缺陷进行识别, 及时整改。

(3) 对于隧道衬砌脱空(空洞)、衬砌厚度不足和钢筋铺设异常等缺陷应进行论证确定是否需要整治, 采用何种方法进行整治。

(4) 对于整治后的缺陷, 建议长期观察、检测, 必要时可重新进行地质雷达等检测方法进行检测。

参考文献:

- [1] 高磊, 刘振奎, 魏晓悦, 张昊宇, 张奎. 铁路隧道二次衬砌敲击检查声音特征分析及智能识别[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(07): 1997-2004.
- [2] 胡方林. 浅谈隧道衬砌厚度不足整治施工技术[J]. 四川水泥, 2022(04): 216-218.