

地质雷达与冲击弹性波在隧道二衬脱空 无损检测中的对比分析

张远军, 雷彤彤, 罗技明

(四川升拓检测技术股份有限公司, 成都 610045)

摘要:隧道二衬脱空危害越来越为业内熟知,除了必要的防治措施,无损检测也及其重要。文章对目前常用的隧道二衬脱空无损检测技术地质雷达和冲击弹性波原理进行了总结分析,通过实际应用对比,总结了两者之间的异同,异同虽多但无法相互取代,冲击弹性波法和地质雷达法两种方法各有所长,可取长补短。在工程实际测试中,采用多种方法相结合,对测试对象进行综合评价将是必然的趋势。

关键词:地质雷达;冲击弹性波;无损检测

中图分类号:TU459+.9

文献标志码:A

引言

隧道二次衬砌背后存在脱空将直接影响隧道的安全性能。目前国内的隧道施工初期支护只是起到临时的封闭作用,当初支收敛无法稳定时,一般紧跟施工做二衬补救,这也是实际工程中遵循的一个施工原则。所以二衬的作用就不仅仅是安全储备,相反承载着较大的围岩松散压力。鉴于此,对于衬砌背后脱空检测就显得尤其重要。目前常用方法分为破坏性检测和无损检测^[1]。破坏性检测,如钻孔检查法属于传统的检验方法,特点是效率低,偶然性大,代表性差,而且破坏了衬砌的整体性。无损检测法如地质雷达法和冲击弹性波法,特点是连续、高效、无损,具有分辨率高、图像直观、对场地条件要求低等优点。

无损检测较之破坏性检测,具有更广泛的适用性,已然成为现代工程检测、工程事故检测与分析的重要工

具,可快速准确地找出隧道二次衬砌质量隐患,检测结果更具有代表性。本文通过对隧道二衬脱空危害及防治措施调查,指出无损检测方法的优越性,并对地质雷达法和冲击弹性波法两种无损检测方法进行了对比分析,认为任何一种检测技术都有其适用的条件和范围。在以后的工程实际检测中,不同无损检测方法应相互协调补充,采用多种方法相结合,对测试对象进行综合评价将是必然的趋势。

1 二衬脱空危害及防治措施

1.1 二衬脱空危害

二次衬砌脱空成因很多,有前道工序不到位,如初支面不平顺,防水板挂设张弛度不适,拱架背后喷砼不密实等;有施工过程控制不当,如泵送混凝土压力不足,衬砌台车底座支撑不牢固^[2],拆管过早等。无论什么原因形成的脱空都将危害到隧道的安全性能。

收稿日期:2017-06-16

基金项目:四川省科技厅基金项目(2016GFW0137)

作者简介:张远军(1982-),男,四川南充人,主要从事土木工程无损监测技术方面的研究,(E-mail)176144466@qq.com

二次衬砌拱顶脱空时,拱部均为弯矩,即拱部上缘受拉,按常规配筋拱部上缘不配受力钢筋,这就会使拱部上缘受拉开裂^[3],导致渗水和腐蚀钢筋,进而使二次衬砌混凝土破坏。另一方面,二次衬砌拱顶脱空以后,围岩失去应有的保护和支撑,可能使围岩松弛和形变增大,进而导致围岩失稳,脱落破坏^[4],对隧道二衬脱空状况及早检测发现,及早进行防治处理,直接关系到隧道长期稳定和使用功能的正常发挥。

1.2 二衬脱空防治措施

隧道属于地下隐蔽工程,一旦建成,存在的问题将很难发现和处理。因此,应根据二衬脱空的成因,及早采取有效的防治措施,避免出现质量事故。

对于施工,应根据施工完成度,进行及时的检查,对隐蔽施工内容应采用合适的检测手段,进行质量评价,如初衬的密实性,应在防水板挂设前对喷射混凝土进行检测^[5];如防水板挂设完成后,应托起防水板观察其是否能与初衬面密贴。总之,及时发现施工缺陷,及时对施工工艺进行调整,方能最大限度的保证质量。

对于施工过程控制不当,应采取有针对性的措施。如加强混凝土浇筑过程控制^[6]。

(1)减小混凝土干缩徐变,保证泵送管到位并按序浇筑,确保振捣密实,应有专人监管等。衬砌台车应保证支垫稳固,定期检修,防止混凝土浇筑后被压碎引起台车下沉,或台车屈服变形。

(2)鉴于脱空存在的危害性,加强施工管理,进行早期防治是非常有必要的,但仅此还不够,采取有效的检测手段,尤其是对结构不产生破坏的地质雷达法和冲击弹性波法对结构进行全面检测,确保隧道整体安全性也非常重要。

2 地质雷达法

现阶段,检测隧道二衬脱空的手段较多,常见的有:视觉检查;打声法;地质雷达;红外热成像等,国内使用最广泛的二衬脱空无损检测方法是使用地质雷达检测。

地质雷达所采用的方式是反射测量,它的工作原理是天线发射器将高频电磁波以宽频带短脉冲的形式,发射到介质内部,然后经过存在电性差异的介质层,雷达天线接收器接收一部分被反射折向地面的电磁能量,而

另一部分能量被折射进入到下一层介质后继续传播^[7],通过测得的反射波旅行时间及电磁波在介质中的传播速度,就可以计算出反射面距离表面的距离。与此同时,根据接收到的反射波波形、振幅强度、时间变化和频谱变化,就能够推断地下介质的空间位置状况、结构形态等属性。

地质雷达原理如图1所示,当发射天线和接收天线距离为 x 时,目标的深度为:

$$Z = \frac{1}{2} \sqrt{V^2 T^2 - x^2}$$

其中: V 为介质中的电磁波速度, T 为测试反射时间。

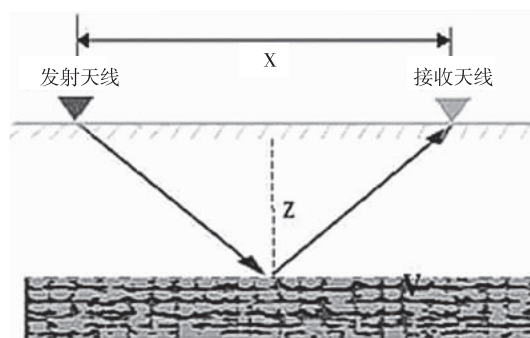


图1 地质雷达原理示意图

地质雷达能够较好地对隧道二衬厚度等做出较准确的检测。但是在检测过程中,由于探测精度与所取的波速有很大的关系,所以需要在检测现场测取足够多的测点来标定波速。而通常情况下,雷达波在混凝土中具有一定的离散性,这种离散性有时可达5%~10%,因此在注意波速测取时,可以将衬砌厚度的误差限制在2 cm~4 cm的范围内。

3 冲击弹性波法

冲击弹性波法又可以分为振动法和冲击回波法。其中振动法通过振动信号的持续时间、卓越周期、最大加速度等参数特性变化判定结构的脱空状况。该方法测试受空腔内填充物、边界条件等影响较大,从而使得振动法具有极大的局限性,如当空腔内存在泥浆、碎渣等柔性材料时,其振动特征参数将反向变化;当结构体积较大,厚度较厚时,难以振动,一般该方法更适用于表层或浅层脱空检测。

冲击回波法则是采用弹性波反射特性,通过阻抗差

异对板状结构内部状况进行检测^[8],其测试深度与击振能量等有关,目前一般可以达到 80 cm 以上,而二衬结构厚度一般在 40 cm~60 cm,在厚度上相对适用冲击回波法检测。

冲击回波法使用冲击锤沿二衬表面连续激发弹性波信号,当弹性波信号在结构介质中传播时,遇到空洞、脱空面等疏松介质时,其反映为机械阻抗(一般用 z 表示材料的机械阻抗, $z = \rho CA$, 这里的 A 是断面截面积)的变化。在机械阻抗发生变化的界面上,传播的弹性波会产生波的反射^[9],如图 2 所示,阻抗差异越大反射信号能量越强,即当存在脱空时,绝大部分信号反射,并被传感器接收;当不存在脱空时,由于二衬与初支阻抗差异相对小得多,反射信号很微弱,绝大部分信号发生透射,传感器接收到的信号能量很微弱。根据反射信号(能量)的强弱,即可识别脱空的有无及深度位置。

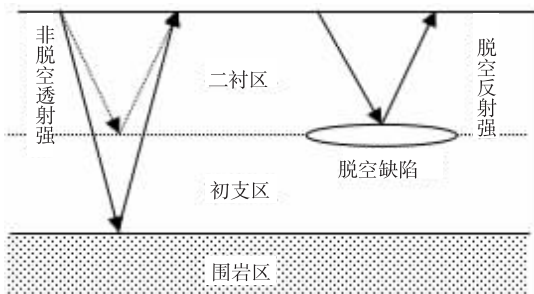


图 2 冲击回波法原理示意图

4 工程实例

4.1 工程概况

某铁路专线进行隧道厚度及二衬脱空检测,检测长度为 200 m,检测同时使用冲击弹性波检测和地质雷达检测。

4.2 测点布置

此次检测地质雷达共布置 5 条测线,分别为拱顶 1 条,拱腰 2 条以及边墙 2 条,冲击弹性波检测共布置 3 条测线,分别为拱顶 1 条以及边墙 2 条,且检测间距为 5 m 一个测区,测区布置 4×4 网格,网格的行列间距为 0.5 m。

4.3 检测结果

现场检测,地质雷达拱顶测线检测结果显示拱顶 DK555+980 位置存在脱空,但显示脱空范围较小,测试结果如图 3 所示。

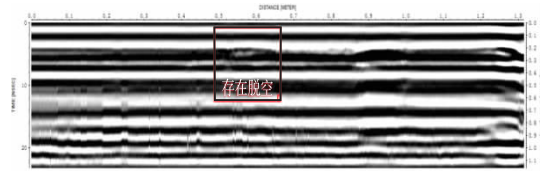


图 3 地质雷达检测结果图

使用冲击弹性波进行检测同样发现在隧道拱顶 DK555+980 位置存在脱空,其范围为测试坐标中 x 轴 0.9~1.5 m, y 轴 0~0.6 m,测试结果如图 4 所示。

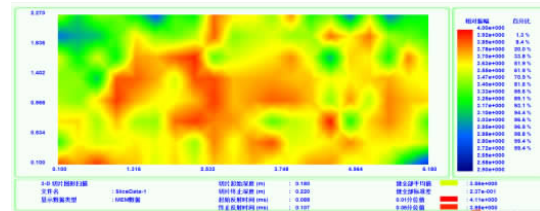


图 4 冲击弹性波检测结果图

通过冲击弹性波检测发现脱空面积较大,为保证后期隧道安全,所以扩大布点范围,由 4×4 改为 8×15,且检测网格点距为 0.3 m,线距为 0.6 m,测试结果如图 5 所示,图 5 中红色部分为脱空位置,脱空面积较大。

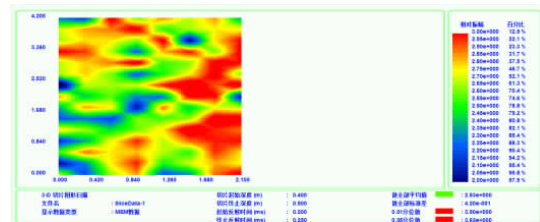


图 5 冲击弹性波检测结果图

4.4 检测结论

从扩大布点范围测试结果可知,测试区域内有较大面积存在脱空,后经打孔验证,测试结果与实际情况完全吻合(图 6、图 7)。



图 6 现场验证



图7 现场钻孔卷尺测深

5 地质雷达法与冲击弹性波法对比

地质雷达法^[10]和冲击弹性波法用于检测隧道二衬脱空的原理基础是一致的,同时都用到了信号(波)的反射特征,但两者所用到的媒介有较大的差异。地质雷达用的是高频电磁波,频率一般从十兆赫兹到数千兆赫兹,即其波长,而冲击弹性波法用的是低频声波,频率一般从数百赫兹到数千赫兹。正因如此,两种方法既有共性也有差异(表1)^[11]。

表1 地质雷达法与冲击弹性波法异同

项 目	地质雷达法	冲击弹性波法
原理基础	反射	反射
波长	长	短
能量	小	大
信号拾取	天线	加速度传感器
受信灵敏度	高	低
平整度要求	较高	较低
钢筋、水影响	有	无
振动噪音影响	无	有
测试效率	高	低
位置判别精度	低	高

由表1可知,两种方法异同点较多,但又无法相互取代。如在二衬脱空检测中,既需要较高的测试效率,又需要较高的位置判别精度,则需要两种方法相结合。地质雷达可用于快速地线性扫描^[12],对扫描段面做出快速的判定,对可能脱空的段面,可采用冲击弹性波法进行平面扫描,通过处理生成扫描平面的二维等值线图(图4、图5),最终对脱空的具体位置,脱空范围大小等做出准确的判定,并为后期处理提供较为可靠的参考依据。

现代隧道施工中钢筋含量较高,除了较密集的钢筋网外,还有工字钢等。由于地质雷达采用的是高频电磁波^[13],采用介电系数表达其反射系数 R 为:

$$R = \left| \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \right|$$

相对介电常数越小,则电磁波越容易穿透。而金属的相对介电常数为无穷大,因而电磁波遇到混凝土中的钢筋则全部反射,完全无法到达结构底部,失去对脱空检测的能力。

总之,地质雷达法和冲击弹性波法用于检测隧道二衬脱空,各自都有其优势和不足之处,但两者之间绝大部分是互补的,因此,在实际工程检测中,应根据检测需要选择合适的测试方法,必要的时候应采用两种或多种方法,进行相互弥补。

6 结 论

(1)地质雷达在二衬脱空检测中是最常见的一种高效的检测方法^[14],其显著特点是测试快速高效,精准度高,具有一定的深度测试能力,其不足在于其受钢筋、水等影响较大。

(2)地质雷达对小缺陷的识别与其使用的天线有关,因此,采用地质雷达进行脱空检测时,应根据衬砌厚度、预计测试深度选择合适的天线十分必要^[15]。

(3)冲击弹性波相对地质雷达对钢筋、水等不敏感,因此弹性波检测基本不受钢筋和水的影响,这一点弥补了地质雷达的不足。

(4)冲击弹性波检测具有更广泛的适用范围,相对于地质雷达的线性检测,弹性波法能准确判定出脱空位置以及脱空面积,实现由线到面的检测评价,相对于地质雷达更具有直观性。

(5)冲击弹性波二衬脱空检测就影响因素而言具有一定的优势,但相比地质雷达检测效率低,因此根据检测条件和检测要求,选择合适的检测方法十分必要。由于任何一种检测技术都有其适用的条件和范围,冲击弹性波法和地质雷达法两种方法各有所长,可取长补短,在以后的工程实际测试中,采用多种方法相结合,对测试对象进行综合评价将是必然的趋势。

参 考 文 献:

- [1] 吴佳晔,安雪晖,田北平.混凝土无损检测技术的现状和进展[J].四川理工学院学报:自然科学版,2009,

- 22(4):4-7.
- [2] 姚克贺.隧道衬砌病害关联性研究及评定设计[D].北京:北京交通大学,2012.
- [3] 杨小玉.隧道二次衬砌与初期支护间脱空原因分析及处理[J].中国安全生产科学技术,2012,8(2):140-143.
- [4] 沈松亮,徐建国.高速公路隧道渗漏水成因及对衬砌结构的影响[J].工程技术:引文版,2016(9):00141-00141.
- [5] 郑俊杰,梁艳,资谊.既有隧道改建工程防渗检测技术研究[J].铁道科学与工程学报,2006(1):83-86.
- [6] SL713-2015,水工混凝土结构缺陷检测技术规范[S].
- [7] 高翔.浅埋地层探地雷达信号处理与目标识别研究[D].青岛:中国海洋大学,2011.
- [8] 吕小彬,吴佳晔.冲击弹性波理论与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [9] 郭贵强,乔瑞社,解伟,等.基于冲击回波法的水工混凝土板内部缺陷检测试验研究[J].水力发电,2015(4):94-97.
- [10] 钟世航,王荣.探地雷达检测隧道衬砌中的几个问题[J].物探与化探,2002(10):403-406.
- [11] 曾昭发,刘西新.探地雷达方法原理及应用[M].北京:科学出版社,2006.
- [12] 严孝平.地质雷达在隧道工程无损检测中的应用与探究[J].黑龙江交通科技,2016(3):112-113.
- [13] 李昊佳.探地雷达工作原理初探[J].中国新技术新产品,2017(2):127-128.
- [14] 袁海波.地质雷达在公路隧道二衬质量检测中的应用[J].西部探矿工程,2016(1):185-187.
- [15] 李伟.地质雷达在隧道工程无损检测中的应用[J].山西建筑,2007(19):332-333.

Contrast Analysis of Geological Radar and Impact Elastic Wave in the Tunnel Two Lined Void in Nondestructive Detection

ZHANG Yuanjun, LEI Tongtong, LUO Jiming

(Sichuan Extension Test Technology Limited by Share Ltd., Chengdu 610045, China)

Abstract: Tunnel two lined void harm is becoming more and more well known in the industry, in addition to the necessary preventive measures, testing also appears to be important. In this paper, the commonly used tunneling nondestructive testing technology geological radar and the impact of elastic wave principle of the summary are analyzed, and then through the comparison in practical application, the similarities and differences of them are summed up. The results show that they are complementary, and can not replace each other. It is considered that the two methods of impact elastic wave method and geological radar method have their own advantages. In the future engineering practice, it is necessary to combine the various methods to evaluate the test object comprehensively.

Key words: ground penetrating radar; shock wave; nondestructive testing