

公路隧道二次衬砌厚度检测及统计分析

徐晨啸 张 磊

浙江爱丽智能检测技术集团有限公司 浙江 杭州 311700

摘要: 公路隧道二次衬砌厚度检测是确保隧道结构安全的关键环节。本文介绍了地质雷达法、激光断面仪法和钻孔法三种主要的检测方法,写了地质雷达在公路隧道二次衬砌厚度检测中的应用,并详细阐述了检测数据的收集与处理流程,包括检测方案的制定、数据采集及预处理。还探讨了二次衬砌厚度的统计分析方法,包括描述性统计分析、相关性分析,为隧道结构的健康监测提供了科学依据。

关键词: 公路隧道;二次衬砌;厚度检测;统计分析

引言

公路隧道作为交通网络的关键节点,其结构安全直接关乎行车安全与交通顺畅。二次衬砌作为隧道的核心承载层,其厚度是衡量隧道稳定性和耐久性的重要指标。精确检测与分析二次衬砌厚度,对于及时发现结构隐患、保障隧道安全运行至关重要。本文深入探索公路隧道二次衬砌厚度的检测技术与统计分析方法,旨在为隧道健康监测与维护提供科学依据和技术支撑,确保隧道结构长期安全可靠。

1 二次衬砌厚度检测方法

在公路隧道二次衬砌厚度的检测中,常用的检测方法包括地质雷达法、激光断面仪法和钻孔法等。这些方法各具特点,适用于不同的检测场景。

1.1 地质雷达法

地质雷达法,一种基于高频电磁波的检测技术,正在逐渐成为隧道、地下工程等领域进行无损检测的重要手段。其核心在于利用发射天线向地下发送短脉冲和宽频电磁波,这些电磁波在遇到隧道衬砌、围岩内的空隙裂缝、衬砌边界及围岩缝界面时,会发生反射现象^[1]。当反射回的电磁波被接收天线捕捉后,经过计算机信息数据的处理与分析,便可以生成雷达灰度剖面图。专业人员可以清晰地观察到地下的各种结构特征。图像中的同相轴、等灰线或等色线等特征,正是判断衬砌厚度、反射界面位置以及埋设物或空洞位置的重要依据。地质雷达法的魅力在于其无损检测的特性。与传统的钻孔检测等方法相比,地质雷达法不会对隧道或地下工程的结构造成任何破坏,从而保证了结构的完整性和安全性。该方法还具有检测速度快、精度高、操作简便等优点。据研究,地质雷达法的误差可以控制在 $\pm 2\text{cm}$ 之内,这一精度对于隧道等地下工程的检测来说,已经足够满足工程要求。地质雷达法还可以根据实际需求进行定制化检

测。通过调整发射天线的频率和功率,可以实现对不同深度、不同材质的目标进行检测。这种灵活性使得地质雷达法在隧道衬砌质量检测、地下管线探测、空洞识别等领域有着广泛的应用前景。

1.2 激光断面仪法

在公路隧道的建设和维护过程中,二次衬砌厚度的精确检测是至关重要的。而激光断面仪法,凭借其高精度、高效率以及低劳动强度的特点,在这一领域得到了广泛的应用。激光断面仪法的核心在于激光测距技术。它利用激光束对隧道断面进行扫描,通过测量激光束从发射到反射回来的时间,或者通过其他激光测距原理,精确地获取隧道断面的轮廓数据。然后,通过对比两个不同时间或位置的隧道断面轮廓尺寸,就可以准确地计算出二次衬砌的厚度。这种方法不仅具有极高的测量精度,其误差范围通常可以控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内,完全能够满足公路隧道二次衬砌厚度检测的要求。激光断面仪法的检测速度也非常快,能够在短时间内完成大量数据的采集和处理,大大提高了检测效率。激光断面仪法还大大降低了劳动强度。传统的检测方法往往需要人工进行大量的测量和计算工作,不仅耗时费力,而且容易出错。而激光断面仪法则可以通过自动化的测量和数据处理系统,实现快速、准确的检测,大大减轻了工作人员的负担。在隧道断面超欠挖检测中,激光断面仪法同样表现出色。它能够精确地测量出隧道的实际断面尺寸与设计尺寸之间的差异,为施工人员提供准确的反馈信息,帮助他们及时调整施工参数,确保隧道的施工质量和安全。

1.3 钻孔法

在隧道工程的检测与维护中,了解二次衬砌的准确厚度是确保结构安全的关键步骤。钻孔法,作为一种直接测量的方式,为工程师们提供了直观且相对精确的厚度数据。(1)该方法操作相对简单,在隧道二次衬砌

的指定位置,使用电钻垂直于表面进行钻进,直至达到预定的深度。随后,借助高清内窥镜,技术人员可以清晰地观察到钻孔内部的情况。若钻孔穿透了二次衬砌,他们便能直接目睹防水板、松散的砂石等内部结构;若未穿透,钻孔底部则往往呈现出较为均匀的形态。通过卷尺等测量工具,便可对脱空现象及二次衬砌的具体厚度进行量化评估^[2]。(2)尽管钻孔法能够提供直接且相对准确的测量数据,但其本质上的有损性质却不容忽视。钻孔过程不可避免地会对隧道结构造成一定程度的破坏,这在一定程度上限制了该方法的广泛应用。特别是在对既有隧道进行维护或检测时,过多的钻孔可能会削弱结构的整体稳定性,甚至引发安全隐患。在应用钻孔法时,工程师们需权衡利弊,谨慎选择钻孔位置与数量,以确保检测工作的科学性与安全性。他们还需结合其他无损检测方法,如地质雷达法或激光断面仪法,以获得更为全面且准确的隧道结构信息。

2 地质雷达在公路隧道二次衬砌厚度检测中的应用

地质雷达作为一种高效、无损的检测技术,在公路隧道二次衬砌厚度检测中发挥着至关重要的作用。它利用高频电磁波的传播与反射原理,能够准确地探测出隧道衬砌的内部结构,包括衬砌的厚度、是否存在空洞或脱空现象等。在公路隧道二次衬砌厚度检测中,地质雷达通过发射天线向隧道衬砌内部发射电磁波。这些电磁波在遇到不同介质界面时,如衬砌与围岩的界面、衬砌内部的缺陷等,会发生反射。反射波随后被接收天线捕获,并转化为电信号进行记录和分析。通过分析反射波的特征,如波形、振幅、频率和相位等,可以推断出衬砌的厚度以及内部是否存在缺陷。当衬砌厚度均匀且密度良好时,反射波信号通常较为平稳且强度适中。而当衬砌存在空洞、脱空或厚度不均匀等问题时,反射波信号会出现明显的波动或异常增强,从而指示出潜在的质量问题。地质雷达在隧道衬砌厚度检测中的优势在于其快速、连续、无损的特点。它能够在不影响隧道正常使用的情况下,对衬砌进行大面积、高效率的检测。此外,地质雷达还具有高分辨率的能力,能够准确识别出衬砌内部的微小缺陷,为隧道的安全运营提供有力保障。

3 检测数据收集与处理

3.1 检测方案制定

(1)检测方法的选择至关重要。根据隧道的实际情况,可以选择地质雷达法、超声波法、钻孔取芯法等多种检测方法。地质雷达法适用于探测隧道内部的结构异常和衬砌厚度变化,具有非接触、无损检测的优点;超声波法则通过测量超声波在衬砌中的传播速度和衰减情

况来推算衬砌厚度,适用于对衬砌质量进行定量评估;钻孔取芯法则通过直接钻取衬砌芯样来测量其厚度,虽然属于有损检测,但能够提供最为直观和准确的检测结果。在选择检测方法时,需要综合考虑各种方法的优缺点,以及隧道的实际情况和检测需求。(2)检测点位的布置也是检测方案中的重要内容。检测点位的布置应具有代表性,能够全面反映隧道不同部位的衬砌厚度情况。可以在隧道拱顶、拱腰、边墙等部位均匀布置检测点,以确保对隧道整体结构的全面检测。对于地质条件复杂、施工质量可能存在问题的区域,应适当增加检测点数量,以便更准确地评估这些区域的衬砌厚度和安全性。(3)检测频率的确定也是检测方案中的重要环节。检测频率的设定需要根据隧道的长度、重要性以及使用状况等因素进行综合考虑。对于长隧道或重要隧道,应增加检测频率,以确保及时发现并处理可能存在的问题。在隧道使用过程中,也需要根据维护需求进行定期检测,以确保隧道结构的长期稳定性和安全性。

3.2 数据采集

按照制定的检测方案,使用选定的检测方法进行数据采集是检测工作的核心环节。在数据采集过程中,需要严格按照仪器设备的操作规程进行操作,以确保采集数据的准确性和可靠性。对于地质雷达法和超声波法,需要注意仪器参数的设置^[3]。地质雷达法的发射频率和增益等参数需要根据隧道的实际情况进行调整,以确保检测信号的质量和深度。超声波法则需要根据衬砌材料的声速和衰减特性来设置仪器参数,以获得准确的测量结果。在数据采集过程中,还需要注意保持仪器与隧道表面的良好接触,避免由于接触不良而导致的测量误差。对于钻孔取芯法,需要严格按照操作规程进行钻取和测量。在钻取过程中,需要控制钻进速度和力度,以避免对隧道结构造成过大的损伤。在测量过程中,则需要使用精确的测量工具对芯样进行长度和直径的测量,以确保测量结果的准确性。在数据采集过程中,还需要做好数据记录工作。包括检测点位的位置、检测数据、检测时间等信息都需要详细记录,以便后续的数据分析和处理。

3.3 数据预处理

采集到的数据往往存在噪声、异常值等问题,需要进行预处理以提高数据的准确性和可靠性。数据预处理是后续统计分析的基础,也是确保检测结果准确可靠的重要环节。对于地质雷达数据,可以采用滤波、背景去除等方法对原始数据进行处理。滤波可以去除数据中的高频噪声和干扰信号,提高数据的信噪比。背景去除则

可以去除数据中的背景信号,突出有效信号,使数据更加清晰和易于分析。对于超声波数据,需要检查数据的完整性并剔除异常数据点。超声波在传播过程中可能会受到各种因素的影响而产生衰减和反射等现象,需要对数据进行仔细分析并剔除异常数据点,以确保测量结果的准确性。对于钻孔取芯数据,需要对芯样的测量数据进行核对和校验。钻孔取芯法属于有损检测,需要对芯样的长度、直径等测量数据进行仔细核对和校验,以确保测量结果的准确性和可靠性。还需要对芯样的外观和内部结构进行观察和分析,以评估衬砌的质量和安全性。通过数据预处理,可以去除数据中的噪声和异常值等问题,提高数据的准确性和可靠性。

4 二次衬砌厚度统计分析方法

4.1 描述性统计分析

在隧道工程领域,二次衬砌厚度的检测数据是评估衬砌结构安全性和施工质量的关键信息。为了深入理解这些数据,描述性统计分析成为了一种基础且有效的初步分析方法。描述性统计分析的核心在于通过一系列统计量来描绘数据的整体特征。这些统计量包括但不限于均值、中位数、标准差和极差。均值,作为数据的算术平均数,直观地反映了二次衬砌厚度的平均水平。它为我们提供了一个基准点,用以衡量各个检测值与平均水平的偏离程度。均值易受极端值的影响。为了弥补这一不足,中位数被引入作为另一个重要的统计量。中位数将数据按大小排序后,位于中间位置的数值即为中位数。与均值相比,中位数更具稳健性,不受极端值干扰,更能代表数据的一般水平。除了集中趋势的描述,数据的离散程度同样重要。标准差和极差是衡量数据离散程度的两大指标。标准差通过计算每个数据与均值的偏差的平方和的平均数的平方根来得出,它反映了数据的波动范围。标准差越大,说明数据的离散程度越高,即二次衬砌厚度的均匀性越差。而极差则是数据中的最大值与最小值之差,它提供了一个直观的数据波动范围^[4]。通过描述性统计分析,我们可以对二次衬砌厚度的整体情况有一个初步的了解。这有助于我们发现数据中可能存在的异常值或偏差,还为后续的更深入分析提供了基础。

4.2 相关性分析

在隧道工程的复杂施工环境中,二次衬砌厚度的质量受到多种因素的共同作用。为了深入理解这些因素如何影响衬砌厚度,进而优化施工工艺和提高施工质量,相关性分析成为了一种关键的数据分析手段。相关性分析旨在探讨衬砌厚度与潜在影响因素之间的关联程度。这些影响因素可能涵盖施工工艺的精细度、原材料的质量稳定性、地质条件的复杂性等多个方面。通过计算衬砌厚度与这些因素之间的相关系数,我们可以量化它们之间的线性关系或等级相关性。皮尔逊相关系数法是相关性分析中的一种常用方法,它适用于衡量两个连续变量之间的线性相关程度。当数据满足正态分布等假设条件时,皮尔逊相关系数能够提供准确且可靠的相关性度量。在实际施工中,某些影响因素可能以等级或排序的形式存在,此时斯皮尔曼等级相关系数法更为适用。该方法通过衡量两个变量的等级排序之间的一致性,来评估它们之间的相关性。通过相关性分析,我们可以识别出对衬砌厚度影响最为显著的因素。

结束语

公路隧道二次衬砌厚度检测及统计分析是保障隧道安全的关键措施。合理的检测方法结合科学的统计分析,能够精准识别隧道结构隐患,为隧道维护提供数据支持。随着科技的飞速发展,隧道检测技术将趋向智能化、高效化,统计分析手段也将更加精细。展望未来,我们将不断探索创新,提升隧道检测与分析的精准度和效率,为隧道结构的长期安全运行保驾护航,推动交通基础设施的可持续发展。

参考文献

- [1]刘爱生.公路隧道二衬厚度检测要点及合格率统计分析[J].石材,2024(1):80-82.
- [2]杨瑞鹏,王亚琼,高启栋,等.基于厚度检测的运营隧道二次衬砌安全评价研究[J].公路,2021,66(6):378-385.
- [3]韩景阳.地质雷达在隧道衬砌质量检测中的应用[J].江苏建筑,2022(z1):49-51.
- [4]任思永.公路隧道工程质量缺陷的原因与处理措施[J].工程技术研究,2021,6(20):45-46.