

# 公路隧道结构健康的定期检测技术研究

张凌铖 王太权

云南通衢工程检测有限公司 云南昆明 650000

DOI:10.32629/ems.v8i3.18687

**[摘要]** 公路隧道作为重要的交通基础设施,其结构健康状况直接关系到人民群众的生命和财产安全,也关系到地区经济的发展。随着我国公路隧道运营里程不断增加,服役环境日趋复杂,结构损伤问题也日趋突出,而定期检测则是保证公路隧道安全运行的重要措施。因此,本文就围绕公路隧道结构健康的定期检测技术展开深入分析,以期提升我国公路隧道的健康状态检测技术奠定基础。

**[关键词]** 公路隧道; 结构健康; 定期检测技术

## 引言

定期检测是公路隧道养护维修管理中的重要环节,通过对隧道结构进行定期的检测,可以及时发现存在的安全隐患,为养护维修方案制定提供科学的指导,对减缓隧道病害的发展,延长隧道的服役年限具有重要意义。

### 1 公路隧道定期检查的重要性

#### 1.1 隧道结构安全的影响因素

公路隧道作为现代交通基础设施的重要组成部分,其结构安全直接关系到交通运输的安全与效率。隧道结构安全的影响因素众多,包括地质条件、设计标准、施工质量、运营维护等多个方面。首先,地质条件是隧道建设的基础,不同的地质环境对隧道结构的要求不同,如软弱地层、断层带、地下水丰富等特殊地质条件都会对隧道稳定性构成威胁。其次,设计标准是确保隧道安全的前提,合理的设计能够预见并规避潜在风险,如荷载计算、结构形式选择、防水防渗措施等都必须严格遵循相关规范。再者,施工质量是隧道安全的关键,施工过程中的每一个细节都可能影响到隧道的长期稳定,如混凝土浇筑、钢材焊接、防水层铺设等都必须达到高标准。最后,运营维护是保障隧道持续安全运行的必要条件,定期的检查与维修能够及时发现并处理结构损伤、设备故障等问题,防止小问题演变成大事故。因此,对隧道结构安全的影响因素进行全面分析,是确保隧道长期安全运行的基础。

#### 1.2 定期检查的必要性

定期检查是确保公路隧道安全运营的重要手段。随着时间的推移,隧道结构会受到自然环境和交通荷载的持续影响,可能导致结构损伤、功能退化等问题。定期检查能够及时发

现这些潜在问题,并采取相应的维护措施,防止事故的发生。

首先,定期检查可以评估隧道结构的当前状态,包括结构的完整性、各项功能的正常运行情况。通过对比历史数据和设计标准,可以判断隧道是否存在超负荷运行、结构疲劳、材料老化等问题。其次,定期检查有助于制定科学的维护计划,根据检查结果,可以确定需要优先处理的区域和问题,合理分配维护资源,提高维护效率。再者,定期检查还能够提升公众对隧道安全的信心,通过公开透明的检查结果,可以增强公众对隧道安全管理的信任,减少因安全问题引发的社会恐慌和负面影响。因此,定期检查不仅是技术层面的要求,也是社会责任的体现,对于保障公共安全具有不可替代的作用。

### 2 公路隧道定期结构健康检测中传统人工检测技术

传统的人工检测主要依靠检查人员的目测和简单的仪器检测,来完成对隧道表层缺陷的初步识别和记录。包括采用裂隙测宽仪、裂隙测深仪、卷尺等仪器,对衬砌表面裂缝、渗漏、剥落、露筋等表面病害进行检测。在检测过程中,检测人员通常步行或在高空作业车配合下开展工作,逐段对隧道衬砌、拱顶、边墙等关键部位进行检测,人工记录或拍照存档。这种方法的优点是设备简单,设备携带方便,成本低,适用于局部关键部位的损害诊断。但是,该检测技术的限制也非常明显,检测速度一般较慢,且检测时间较长;受人为主观因素影响较大,检测结果容易受工作人员的主观经验和责任心的影响;其次是安全隐患大,在车流密集的隧道中检测时,需要进行交通控制,不但会影响正常的交通通行,而且存在碰撞、高空坠物等危险;检测覆盖面不够广,很难有效地检测到巷道中的隐伏位置和内部缺陷。

### 3 公路隧道结构健康的定期检测中的无损检测技术

#### 3.1 地质雷达检测技术

地质雷达(GPR)检测是利用电磁波的传播机理,将高频率的电磁波经由发射天线传输到隧道衬砌内,经过各介质的反射、折射和散射,由接收天线捕获反射后的传播路径、电磁场强度及波形的变化,进而对衬砌内的缺陷进行判定。该技术多适用于隧道衬砌厚度不够、背后空洞、混凝土密实、钢筋分布不均和防水层不合格等问题的检测,是实现隧道内质量无损检测的关键技术。该技术具有设备轻便、易操作、检测快速等优点,可对隧道结构进行完整的断面扫描,比传统的人工检测效率显著提高。在工程实践中,地质雷达技术已经被广泛应用于既有隧道的周期性检测中,如在公路隧道中,利用地质雷达检测到多个衬砌后方的孔洞,从而为注浆加固提供精准的位置指导。

#### 3.2 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术是通过激光发射器向隧道表面发射激光,采用激光测距的方法,采集海量的三维点云数据,并在此基础上,综合分析数据建立隧道内部的三维模型,进而对隧道结构的变形和表面病害进行精确的检测和定量分析。该技术可实现对隧道收敛变形、裂隙和渗漏等多个损伤特性的同步检测,并实现毫米量级的高精度检测,为隧道病害的演变规律研究提供准确的数据支持。在实际工程中,三维激光扫描技术在隧道断面变形检测、大范围病害定量评价和数字模型构建等方面具有重要的意义。比如,在特长隧道定期检测中,利用三维激光扫描技术构建的隧道三维模型,可以直观地反映隧道内部的变形规律,并与不同时段的扫描结果进行比对,实现对隧道内部结构变形的精确估算。

#### 3.3 红外热成像技术

红外热成像技术是利用红外热像仪检测隧道结构表面的红外线辐射能量,并对其进行热像分析,从而实现了对结构内部缺陷的识别。该技术多用于隧道衬砌渗水的检测,可实现对地下工程中的隐性渗漏点进行快速定位,并对浅层空洞、裂缝等内部缺陷进行检测,具有操作方便、非接触式检测等优点。在工程实践中,利用红外热像技术可以对整个隧道进行全面、快速地检测,可以有效地弥补传统的人工检测方法很难找到隐藏的漏水点的不足。但是,这种方法容易受到外界温度的影响,在隧道内部温度不均匀或者有外界热源的情况下,很容易造成漏检和误检。

#### 3.4 超声波检测技术

超声波检测技术是利用超声波在混凝土中传播的特性,通过其传播速度、幅值和频率等参数的变化,来实现对隧道结构混凝土内部缺陷、裂缝和质量的检测。该技术具有操作简单、易于操作、成本低廉等优点,在混凝土强度检测和内部裂纹检测中有着广泛的应用,常与回弹法结合形成超声回弹综合法,进一步提高检测精度。但是,目前的超声检测方法也有其局限,检测模式主要是接触式,不利于检测洞顶等高位区域结构,混凝土结构尺寸和内部钢筋分布对检测结果的准确性也有很大的影响;检测结果的判读主要依靠专家的经验,很难达到自动化分析的目的。

### 4 公路隧道定期结构健康检测中的智能化检测技术

#### 4.1 机器视觉检测技术

机器视觉检测技术是利用高清摄像头获取隧道内部结构信息的方法,通过图像处理和深度学习等方法对隧道内部结构进行自动识别和参数测定。该技术可以有效克服传统人工检测技术检测效率低、主观性强等缺点,可以实现对隧道结构的大规模高精度识别。在实际检测中,通过对隧道结构损害进行分析,建立深度学习模型,可以实现对结构损害的自动识别及分类。此外,结合特征点自动匹配计算技术,可生成隧道病害三维展布图,实现病害的数字化管理与历史演化过程分析。

#### 4.2 传感器网络与物联网技术

传感器网络可以将各种类型的传感器布置在隧道内的重要位置,并结合物联网技术,对传感器的数据进行实时采集、远程传输和智能分析。例如分布式光纤传感器其具有传感距离远、空间分辨率高、抗电磁干扰等优点,可实现对结构内部应力和温度的实时检测,对裂纹、变形等隐患进行预警。低功耗广域网和5G通信技术相结合,可以使其能够更好地适应复杂隧道环境下的数据传输需求和覆盖范围。该技术可以通过构建隧道结构健康的实时监测体系,通过分析传感器采集的振动、应变、位移等数据,实现对车辆荷载和环境共同作用下的结构动力响应特征的动态评价,为病害预报和养护维修管理提供持续的数据支持。

#### 4.3 无人机检测技术

无人机检测技术能有效地解决隧道高空、隐蔽部位和高危区域检测的难点,提高检测的安全性和全面性。比如利用携带高分辨率摄像机和激光雷达的无人机等先进设备,对隧

道拱顶、洞口等位置进行快速检测,同时结合惯性导航系统与光束三角测量技术,可以实现毫米级精度模型构建。

### 5公路隧道结构健康定期检测技术应用实践

#### 5.1 单一检测技术的工程应用

各种检测方法因其检测对象和所处的环境条件而具有特定的应用场合。在常规的表面病害检测中,传统的人工检测技术仍然被大量使用,特别是对于车流量较小的隧道进行例行检查;而地质雷达技术作为检测衬砌内部病害的方法,在全国多地公路隧道的定期检测中,被用于排查衬砌脱空、厚度不足等质量问题,为病害防治提供精确的依据。红外热成像技术在检测漏水方面具有明显的优越性,可以在多雨地区对隧道进行常规检查时,迅速确定漏水位置,从而指导施工。如在某山区的公路隧道中,利用地质雷达检测技术对其进行全面检测,共发现32个衬砌背面孔洞,经灌浆加固后,其承载力得到显著提高。

#### 5.2 多技术协同应用模式

各类检测技术都有自身的局限性,很难对各种类型的隧道进行全面地检查,因此,采用多技术协同检测更有助于应对各类隧道结构状况。综合多种检测手段可以实现由表及里,全方位,高精度的检测。目前普遍采用的协同方法是将外观缺陷和内部缺陷检测相结合,例如,机器视觉和地质雷达结合,首先采用机器视觉技术对地表裂纹进行快速识别,然后使用地质雷达进行裂纹深度和扩展范围的检测。此外还有三维激光扫描和传感器技术结合,实现静态和动态检测相结合的方法,通过三维激光扫描技术获得结构的静态形变信息,并与传感网实时动态信息相结合,实现对结构的整体健康状况的综合评价。

#### 5.3 检测数据的信息化管理应用

随着检验技术的不断进步,检验数据的数量也在成倍地增加,信息化管理已成为提升检测数据价值的关键。当前,以BIM技术为基础的检测数据管理平台应用逐渐增多,通过三维模型对检测结果进行可视化标记,可以达到精确定位、溯源和趋势预测的目的。比如某山区长隧道,在年度定期检测工作中,依托BIM搭建的隧道结构健康管理平台,整合地质雷达、三维激光扫描及传感器网络的多源检测数据,通过机器学习算法构建了衬砌裂缝扩展与环境、交通荷载耦合效应的预测模型,精准预判了3处高风险病害发展趋势,为养护部门制定针对性加固方案提供了定量依据。另外,在检测

数据安全性方面,通过引入区块链技术,加密存储和抗篡改机制,保证检测数据的真实性和可追踪性。

### 6公路隧道结构健康的定期检测技术保障措施

#### 6.1 建立全生命周期检测与预测性养护

隧道的健康管理也需要由常规检查以及被动维护向全生命周期监控和预测维护转变。将施工阶段地质资料、检测数据与运行期间的定期检测及实时检测数据相结合,构建隧道全生命周期的健康档案,以达到对结构性能损害全过程的追踪。将材料老化模型、疲劳损伤理论和机器学习等方法相融合,建立损伤演化预测模型,对结构的剩余寿命和隐患进行准确预测,并制定预防性的维修计划,达到防患未然的目的。

#### 6.2 标准化与规范化发展

随着检测技术的推广应用,标准化体系将不断完善。要制定统一的检测技术选型规范、病害分级标准与数据管理标准,使检测工作更加规范,提高检测结果的可比性和可靠性。同时,结合特殊环境和特殊类型隧道的勘察需要,对沿海、山区和海底隧道等隧道的勘察规范进行补充和完善,以保证检测方法的适用性和针对性。

#### 6.3 提高检测人员专业素养

而提高检测人员的专业素养,是技术优化策略的关键环节。检测人员作为隧道健康状态的第一道防线,其专业技能的高低直接影响着检测结果的准确性。因此,加强检测人员的专业技能培训,提升其病害识别、数据分析及报告撰写能力,是确保检测工作高效、精准的重要措施。同时,鼓励检测人员学习新技术、新方法,不断提升自身的专业素养,以适应日益复杂的公路结构与不断提升的检测要求。

### 结语

公路结构定期检测技术为保障我国交通的安全运行和可持续发展提供了重要支持。今后需要持续创新和应用定期检测技术,有效提升检测技术的性能,确保隧道结构的安全稳定,为现代交通基础设施的可持续发展提供坚实保障。

### [参考文献]

- [1]刘远.地质雷达无损探测技术在隧道检测中的应用研究[J].工程技术研究,2024,9(15):75-77.
- [2]贺晓铭.在役公路隧道结构健康监测系统设计与应用[J].黄河水利职业技术学院学报,2024,36(02):40-45.
- [3]黄丹樱.基于智能隧道检测车的隧道衬砌裂缝识别拼接系统研究[D].浙江师范大学,2023.002007.