

高速公路隧道病害检测与处治技术分析

赵亚伟¹ 刘振华²

1. 陕西高速公路工程试验检测有限公司 陕西 西安 710086

2. 西安沣东基础设施建投投资有限公司 陕西 西安 710086

摘要: 高速公路隧道病害的检测与处治是一项复杂而重要的工作。本文分析了隧道病害的主要类型及其成因,介绍了探地雷达、三维激光扫描和光纤光栅等先进的检测技术。阐述了隧道病害处治的基本原则,并重点探讨了衬砌修复、加固、渗漏水处理、裂缝修补以及预防性维护等关键处治技术。本研究旨在为高速公路隧道的维护与管理提供科学依据和技术支持,确保隧道结构安全,延长使用寿命,保障交通畅通。

关键词: 高速公路隧道; 病害检测技术; 处治技术

引言: 高速公路隧道作为现代交通网络的重要组成部分,其安全性和稳定性至关重要。但受地质条件、施工质量、运营环境等多种因素影响,隧道结构常出现开裂、渗漏、剥落掉块等病害,严重威胁行车安全。本文将系统分析隧道病害类型及成因,探讨先进的检测技术和有效的处治措施。

1 高速公路隧道病害类型

高速公路隧道作为现代交通的重要组成部分,其稳定性和安全性至关重要。但由于地质条件复杂、设计施工缺陷、养护不当等多种因素,隧道在运行过程中往往会出现各种病害。以下是高速公路隧道常见的病害类型:

(1) 渗漏水病害。渗漏水是高速公路隧道最常见的病害之一。隧道穿越含水层时,地下水容易通过衬砌裂缝、施工缝等薄弱部位渗入隧道内部。长期的渗漏水会导致隧道内部环境恶化,会软化围岩,引起衬砌变形和破坏。渗漏水还可能造成路面积水,降低行车安全性。(2) 衬砌开裂与破损。衬砌开裂与破损病害通常由地基沉降、温度变化、材料收缩、外力作用等多种因素引起^[1]。衬砌开裂会导致水渗漏和结构强度下降,严重时可能引发隧道坍塌。而衬砌破损则可能直接影响隧道的通行能力和安全性。(3) 剥落掉块。通常是因为衬砌混凝土碳化或氯离子侵蚀(尤其沿海地区),冻融循环(北方寒冷地区),钢筋锈蚀膨胀导致保护层脱落等。(4) 冻害。在寒冷地区,隧道内的水分容易结冰并产生体积膨胀,导致隧道结构破坏。这种冻害通常与隧道的保温措施和排水系统设计密切相关。如果保温措施不到位或排水系统不畅,隧道内的水分就容易结冰并引发冻胀病害。

2 高速公路隧道病害成因

高速公路隧道病害的成因多种多样,涉及地质、设计、施工、养护等多个方面。以下是对隧道病害成因的

详细分析:(1)地质条件。隧道穿越的地质结构复杂多变,如断层、褶皱、软弱夹层等,这些不良地质条件可能导致隧道在运营过程中出现变形、开裂等病害。地下水位的变化也对隧道稳定性构成威胁,高水位可能导致隧道渗漏水病害。(2)设计缺陷。隧道设计需充分考虑地质条件、施工难度、运营安全等因素。若设计不合理,如衬砌厚度不足、排水系统设计不当等,将直接影响隧道的稳定性和耐久性。(3)施工质量不达标。隧道施工过程中,若材料质量不合格、施工工艺不规范、施工监督不到位,都可能留下安全隐患,如衬砌开裂、钢筋锈蚀等。(4)养护管理不善。隧道运营过程中,若养护不及时、不到位,将导致病害逐渐恶化。排水系统堵塞未及时处理,将加剧隧道渗漏水病害;衬砌裂缝未及时发现并修补,将导致裂缝扩大,甚至引发结构破坏。

3 高速公路隧道病害检测技术

3.1 探地雷达技术

探地雷达(Ground Penetrating Radar, GPR)技术是一种利用电磁波在不同介质中传播特性的差异来探测地下结构和病害的无损检测方法。该技术通过向地下发射高频电磁波,并接收反射回来的信号,根据信号的时间、幅度和频率等参数,推断地下物体的形状、位置和性质。在高速公路隧道病害检测中,探地雷达技术主要用于检测衬砌背后的空洞、注浆不密实、衬砌厚度不足等病害。GPR能够穿透混凝土衬砌,探测到其背后的空洞和注浆不密实现象,为隧道病害的及时发现和处理提供了有力支持。GPR还可用于探测地下水的分布和钢筋位置,为隧道防水设计和维护提供重要依据。探地雷达技术的优点在于其非破坏性、高分辨率和实时性。但该技术也存在一些局限性。GPR的探测深度一般小于50米,且在地质复杂地区的应用精度可能受到影响。

3.2 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术是一种利用激光测距原理对物体进行非接触式测量的方法。该技术通过发射激光束并接收反射回来的信号,根据信号的时间差和角度信息,计算出物体的三维坐标。在高速公路隧道病害检测中,三维激光扫描技术主要用于变形监测、裂缝检测和渗漏水病害识别。三维激光扫描技术能够获取隧道内部结构的精确三维数据,通过对比分析不同时间点的数据,可以监测隧道的变形情况。该技术还能够检测隧道的裂缝和渗漏水病害。裂缝检测方面,三维激光扫描技术能够获取裂缝的三维形态和尺寸信息,为裂缝的评估和修复提供重要依据。渗漏水病害识别方面,该技术可以通过分析隧道内部表面的湿度和温度变化,识别出潜在的渗漏水区域^[2]。三维激光扫描技术的优点在于其高精度、高效率和非接触性。但该技术也存在一些挑战,点云数据的后期处理非常复杂,对数据处理的算法要求很高。该技术大部分还依赖一个一个的站来进行检测,需要不断进行搬站,速度较慢。因此,需进一步开发自动化移动巡检装备,如车载激光雷达、机器人携带激光扫描等来提高检测效率。

3.3 光纤光栅技术

光纤光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)技术是一种基于光纤传感原理的监测技术。通过将光纤光栅传感器嵌入到隧道结构中,实时监测结构内部的应变、温度和位移等物理量。当隧道结构发生变形或损伤时,光纤光栅传感器的反射光谱会发生变化,通过测量这种变化可以推断出结构的健康状况。在高速公路隧道病害检测中,光纤光栅技术主要用于监测隧道的变形、裂缝和渗漏水情况。该技术能够实时监测隧道结构的微小变形和裂缝扩展情况,为隧道的及时维护和修复提供重要依据。光纤光栅技术还可以用于监测隧道内部的温度和湿度变化,为渗漏水病害的识别和预防提供支持。光纤光栅技术的优点在于其高灵敏度、长期稳定性和分布式监测能力。光纤传感器具有质量轻、体积小、操作简单等优点,且对结构工作影响较小。但光纤光栅技术也存在一些挑战,传感器需要的技术要求较高,数据处理较为复杂。

4 高速公路隧道病害处治原则

由于地质条件、施工质量和运营维护等多种因素的影响,隧道在运行过程中难免会出现各种病害。针对这些病害,必须采取以下处治原则,以确保隧道的安全运营和延长使用寿命。(1)以“预防为主,防治结合”为基本原则。在日常运营维护中,加强对隧道的巡查和监

测,及时发现并处理潜在的病害隐患。通过定期检查、维修和保养,可以降低病害发生的概率,延长隧道的使用寿命。(2)坚持“综合治理,因地制宜”的原则。针对不同类型的病害,需要采取不同的处治措施。例如,对于衬砌裂缝,可以采取注浆加固、粘贴碳纤维布等方法进行修补;对于渗漏水问题,可以铺设防水卷材、优化排水系统等措施进行解决。处治措施应根据隧道的实际情况和地质条件进行选择 and 调整,以确保处治效果。(3)注重“安全环保,经济合理”的原则^[3]。在处治过程中,确保施工人员的安全,避免对隧道结构和周围环境造成损害。同时选用环保、节能的材料和技术,减少对环境的影响。在选择处治方案时,要考虑经济成本,选择性价比高的方案,确保处治工作的经济性和合理性。

5 高速公路隧道病害处治技术

5.1 衬砌修复、加固技术

衬砌是隧道结构的重要组成部分,其稳定性直接关系到隧道的安全。当隧道衬砌出现开裂、脱落等病害时,必须及时采取修复、加固措施。衬砌修复、加固技术主要包括以下几个方面:(1)表面修复。适用于混凝土保护层剥落,无结构性损伤。凿除松散层,露出坚实混凝土,边缘切割成阶梯状,喷涂界面剂(如环氧胶)增强粘结力;修复材料:聚合物砂浆(快硬、高强);喷射混凝土(厚度>3cm时采用湿喷法减少回弹);养护:覆盖保湿养护7天以上。(2)锚杆加固。锚杆加固是通过在衬砌内部或周围钻孔,然后注入锚杆并施加预应力,以增强衬砌的承载能力。锚杆加固技术适用于衬砌开裂严重、整体稳定性较差的情况。加固过程中,需要严格控制锚杆的长度、直径和间距,以确保加固效果。(3)钢纤维混凝土加固。钢纤维混凝土加固是在原有衬砌表面喷射一层钢纤维混凝土,以提高衬砌的抗拉强度和韧性。这种加固方法适用于衬砌表面剥落、裂缝较多且分布广泛的情况。加固过程中,需要保证钢纤维混凝土的喷射质量和厚度,同时还要注意与原有衬砌的粘结强度。(4)碳纤维布加固。碳纤维布加固是一种新型的高性能加固材料,具有轻质、高强度、耐腐蚀等优点。加固时,将碳纤维布粘贴在衬砌表面,通过专用树脂胶使其与衬砌紧密结合。这种加固方法适用于衬砌开裂较轻、需要提高抗剪强度的情况。加固过程中,需要严格控制碳纤维布的质量和粘贴工艺,以确保加固效果。(5)钢板加固。适用于局部承压不足(如拱脚剥落)。关键技术流程为:基面处理、钢板选型与加工、钢板安装与锚固以及防腐与防火处理

5.2 渗漏水处理技术

渗漏水处理技术主要包括以下注浆堵漏、防水卷材铺设和排水系统优化等。(1) 注浆堵漏。注浆堵漏是通过向渗漏部位注入化学注浆材料,使其与渗漏通道紧密结合,从而达到堵漏的目的。注浆材料的选择应根据渗漏水的性质、渗漏通道的大小和形状等因素确定。注浆过程中,需要严格控制注浆压力和注浆量,以避免对隧道结构造成损害。(2) 防水卷材铺设。防水卷材铺设是在隧道衬砌表面或内部铺设一层防水材料,以隔绝地下水与隧道结构的直接接触。防水卷材的选择要考虑其耐水性、耐腐蚀性和与衬砌的粘结强度等因素。铺设过程中,要保证卷材的平整度和搭接质量,同时还要注意与排水系统的配合。(3) 排水系统优化。排水系统优化是通过改进隧道内部的排水设施,提高排水效率,减少渗漏水的发生。优化措施包括增加排水沟的数量和深度、改善排水沟的坡度、增加集水井等。同时要定期对排水系统进行维护和清理,确保其畅通无阻。

5.3 裂缝修补技术

裂缝修补技术主要包括以下表面封闭法、压力灌浆法和结构加固法等。(1) 表面封闭法。表面封闭法是通过在裂缝表面涂抹封闭材料,以防止水分和有害物质的侵入。封闭材料的选择应根据裂缝的宽度、深度和形状等因素确定。封闭过程中,需要保证封闭材料的均匀性和密实度,以达到良好的封闭效果。(2) 压力灌浆法。压力灌浆法是通过向裂缝内部注入灌浆材料,使其与裂缝壁紧密结合,从而达到修补的目的。灌浆材料的选择应根据裂缝的性质、宽度和深度等因素确定。灌浆过程中,需要严格控制灌浆压力和灌浆量,以确保灌浆材料的充分填充和固化。(3) 结构加固法。对于裂缝严重且影响结构安全的隧道衬砌,需要采用结构加固法进行修补。加固方法包括增加衬砌厚度、增设锚杆或钢架等^[4]。加固过程中,需要根据裂缝的分布情况和隧道的整体稳

定性来确定加固方案。同时要注意加固材料与原有衬砌的粘结强度和协同工作能力。

5.4 预防性维护技术

预防性维护旨在通过定期检查和维修,提前发现并解决潜在问题,避免病害的发生或恶化。这包括隧道内部的日常清洁,及时清除积水、垃圾和杂物,以减少对隧道结构的侵蚀和损害。同时定期进行隧道结构的安全检查,包括衬砌、排水系统、通风设施等的状况评估,对发现的问题进行及时维修或更换。预防性维护还包括对隧道照明、交通标志和监控系统的检查与维护,确保其正常运行,提高隧道行车安全性和舒适性。通过实施预防性维护技术,可以有效降低隧道病害的发生率,延长隧道的使用寿命,同时减少紧急维修的成本和对交通的影响。

结束语:通过采用先进的检测技术,可以及时发现隧道结构中的潜在问题;而有效的处治技术则能够针对不同类型的病害进行精准治理。本文的研究成果为高速公路隧道的维护与管理提供了科学依据和技术支持,有助于提升隧道结构的安全性、稳定性和耐久性,保障交通畅通和行车安全。随着技术的不断发展,隧道病害的检测与处治将更加智能化、高效化。

参考文献

- [1]黄丽远,张紫明.高速公路隧道病害处治技术分析[J].西部交通科技,2019(11):63-65.
- [2]王帅.高速公路桥梁隧道病害处治方法及设备配置策略[J].砖瓦世界,2020,000(008):215-216.
- [3]杨春平,胡强.高速公路隧道病害检测与处治技术研究[J].现代隧道技术,2021,58(4):237-245.
- [4]曹毅.高速公路隧道病害检测与处治技术分析[J].四川建材,2024,50(7):172-174.