

铁路隧道衬砌病害现状与整治技术

刘 畅

中国铁路武汉局集团有限公司宜昌综合维修段 湖北 宜昌 434020

摘 要：随着我国铁路建设规模的持续扩大，隧道数量与日俱增，其衬砌病害问题愈发凸显。本文围绕铁路隧道衬砌病害展开研究，分析了病害形成的主要原因，包括设计阶段的地质勘察不准确、结构与防排水设计不合理；施工阶段的质量管控不足、方法不当及外力影响；运营阶段的列车荷载、环境侵蚀与养护缺失。针对裂缝、渗漏水、衬砌变形错台、背后空洞及厚度不足等典型病害，系统阐述了表面封闭、灌浆、堵水排水、加固修复、注浆填充等整治技术，为铁路隧道衬砌病害的科学防治及结构安全运营提供了理论与技术参考。

关键词：铁路隧道；衬砌病害；现状；整治；技术

引言：铁路隧道作为交通网络的关键节点，其衬砌结构的完整性直接关系到列车运行安全与工程使用寿命。随着运营时间增长及复杂环境作用，隧道衬砌易出现裂缝、渗漏水、变形等病害，不仅削弱结构承载能力，还可能引发次生灾害。当前，设计缺陷、施工不规范及运营维护滞后等问题加剧了病害的发生与发展，对隧道安全构成严重威胁。因此，深入剖析衬砌病害现状及成因，总结高效可行的整治技术，对于提升隧道养护水平、保障铁路运输畅通具有重要现实意义。

1 铁路隧道衬砌病害现状

1.1 设计因素

1.1.1 地质勘察不准确

地质勘察是铁路隧道设计的基础，若勘察不准确，将直接为衬砌病害埋下隐患。部分工程中，勘察范围过窄，未能全面覆盖隧道沿线的复杂地质区域，导致对断层破碎带、软弱夹层等不良地质体的分布、规模及性质判断失误。此外，勘察手段单一，仅依赖少量钻孔数据或地面物探，缺乏对地下水位、围岩应力等关键参数的精准测定，使得设计方案难以适应实际地质条件。

1.1.2 衬砌结构设计不合理

衬砌结构设计不合理是引发病害的重要因素。部分设计中，对围岩级别判定偏差较大，导致衬砌厚度、配筋量与实际受力需求不匹配。在高地应力区域，若未考虑围岩的流变特性，衬砌结构易因长期承受超额荷载而产生变形、错台。同时，结构形式选择不当，如在断层带附近仍采用整体式衬砌，未设置柔性连接结构，难以适应围岩的不均匀沉降，进而引发衬砌开裂。此外，设计中对施工过程中的临时荷载考虑不足，也会导致衬砌在建设期就出现早期损伤。

1.1.3 防排水设计不完善

防排水设计不完善会加剧衬砌病害的发生与发展。部分设计中，排水系统布局不合理，盲沟、泄水孔等设施间距过大或位置不当，无法及时排出围岩渗水，导致衬砌背后积水形成高水压。防水层选材不当，选用的防水材料耐腐蚀性、耐久性不足，在地下水长期侵蚀下易出现老化、破损，失去防水功能。同时，止水带、施工缝等关键部位的防水构造设计简单，密封性能差，极易成为渗水通道，使衬砌结构长期处于潮湿环境中，加速钢筋锈蚀和混凝土劣化^[1]。

1.2 施工因素

1.2.1 施工质量差

施工质量把控不严是导致衬砌病害的直接原因之一。混凝土施工中，常存在配合比随意调整、坍落度控制不当的问题，造成衬砌强度不足、密实性差，易出现蜂窝、麻面等缺陷。钢筋安装时，间距偏差过大、保护层厚度不足，甚至存在漏筋现象，削弱了结构的受力性能。模板支护不牢固，浇筑过程中发生变形、漏浆，导致衬砌表面平整度差、厚度不均。此外，施工缝处理粗糙，未按规定进行凿毛、清理，形成结构薄弱部位，为后期渗漏和开裂提供了通道，严重影响衬砌的整体稳定性。

1.2.2 施工方法不当

施工方法选择与应用不当会加剧衬砌病害的产生。在围岩条件复杂地段，仍沿用常规开挖方法，如全断面开挖未充分考虑围岩稳定性，导致开挖后围岩变形过大，衬砌承受额外应力。衬砌浇筑时，未严格遵循分层、对称浇筑原则，混凝土振捣不充分，特别是在拱顶等部位易出现空洞。防水层施工时，铺设不平整、搭接长度不足，甚至在后续工序中被破坏，失去防水作用。超前支护和初期支护施工不到位，未能有效控制围岩变形，使二次衬砌过早承受荷载而产生开裂。

1.2.3 施工过程中的外力影响

施工过程中的外力干扰易对衬砌结构造成损伤。爆破作业时,若装药量过大、起爆方式不合理,产生的强烈震动会使已施工的衬砌出现裂缝,甚至导致围岩松动,加剧结构受力失衡。大型施工机械在洞内行驶、作业时,碰撞衬砌或支护结构,造成局部破损。临时支撑拆除时机不当,过早拆除导致衬砌在未达到设计强度前承受过大荷载,引发变形。此外,施工期间洞内外排水不畅,积水浸泡衬砌基础,使结构产生不均匀沉降,进而出现错台、开裂等病害。

1.3 运营因素

1.3.1 列车荷载作用

列车长期行驶产生的荷载是衬砌病害的重要诱因。列车运行时的竖向冲击力反复作用于衬砌结构,使衬砌内部产生交变应力,长期积累易导致混凝土疲劳开裂。同时,列车横向摇摆力会加剧衬砌与围岩接触界面的应力集中,尤其在曲线段隧道,这种横向荷载易造成衬砌局部破损。此外,高速行驶列车形成的空气动力学效应,会在隧道内产生正负气压交替作用,导致衬砌表面出现鼓包、剥落,甚至引发接缝处渗漏。随着列车提速和货运量增加,荷载作用的频率与强度不断提升,进一步加速了衬砌结构的损伤进程。

1.3.2 环境因素

隧道所处环境的复杂条件对衬砌结构影响显著。在潮湿环境中,地下水或地表水通过衬砌裂缝渗透,使钢筋发生电化学腐蚀,体积膨胀后导致混凝土保护层剥落,削弱结构承载力。高寒地区隧道受冻融循环作用,衬砌内部水分结冰膨胀会产生冻胀应力,反复作用下混凝土出现疏松、开裂。同时,工业污染区域的腐蚀性气体与雨水结合,形成酸性介质,持续侵蚀衬砌表面,降低混凝土强度和耐久性,加剧结构劣化。

1.3.3 养护维修不到位

养护维修工作的缺失会使衬砌病害不断恶化。部分隧道未建立定期检查制度,难以早期发现衬砌表面的细微裂缝和渗漏水迹象,导致病害在隐蔽状态下持续发展。日常维护中,对发现的小型病害处理不及时,仅采取简单修补措施,未从根源解决问题,使裂缝逐渐扩展、渗漏范围扩大。此外,养护设备老化、检测技术落后,无法准确评估衬砌内部结构损伤程度,难以制定针对性维修方案,最终导致病害积累到一定程度后引发结构性破坏。

2 铁路隧道衬砌病害整治技术

2.1 裂缝整治技术

2.1.1 表面封闭法

表面封闭法主要用于处理那些宽度较窄、深度较浅且没有明显扩展迹象的表面裂缝。其核心原理是通过在裂缝表面形成一层连续的封闭层,阻止水分、腐蚀性物质等外界因素侵入裂缝内部,从而避免钢筋锈蚀和混凝土进一步损坏。施工时,首先要对裂缝表面及周围区域进行彻底清理,去除浮灰、油污等杂质,确保基层干净平整。之后,选用合适的封闭材料,如环氧树脂胶、聚合物水泥浆等,采用涂刷或刮抹的方式均匀覆盖在裂缝及周边,使材料与基层紧密结合,形成有效的防护屏障。

2.1.2 灌浆法

灌浆法适用于处理宽度较大、深度较深或者具有贯穿性的裂缝,目的是通过向裂缝内部注入浆液,填充缝隙并使其固化,从而恢复衬砌结构的整体性和承载能力。施工前,需要对裂缝进行详细检查,明确其走向、长度和分布情况,并清理裂缝内的粉尘和碎屑。根据裂缝的具体特征选择合适的灌浆材料,如环氧树脂浆液、水泥基浆液等。通过注浆嘴将浆液注入裂缝,注入过程中需控制好压力和速度,确保浆液能够充分填充裂缝。待浆液完全固化后,对表面进行修整处理^[2]。

2.1.3 嵌缝法

嵌缝法多用于处理宽度较大、变形量较大的裂缝,尤其适合存在一定位移的活动裂缝,能够较好地适应裂缝的开合变化。施工时,先沿着裂缝走向开凿相应形状的沟槽,然后将沟槽内的杂物和积水清理干净,保证沟槽内部干燥清洁。接着,选用弹性密封材料,如聚氨酯密封胶、聚硫密封胶等,将其嵌入沟槽内,并用工具压实抹平,使密封材料与沟槽壁紧密结合。形成的弹性止水带既能填充裂缝空隙,又能随着裂缝的变形而伸缩,有效防止渗漏和裂缝进一步扩大。

2.2 渗漏水整治技术

2.2.1 堵水法

堵水法多用于渗漏点集中、水量较小且水压不高的情况,核心是阻断渗水通道以阻止水流侵入隧道。施工时,先精准定位渗漏点,清理渗漏区域表面的杂物与松动部分,确保基层平整干净。依据渗漏状况选用速凝水泥、防水砂浆、止水条等合适的堵水材料。针对点状渗漏,直接将堵水材料封堵在渗漏点,利用材料快速凝固的特性形成止水屏障;对于线状渗漏,沿渗漏轨迹铺设堵水材料,保证材料与基层紧密结合,形成连续止水带,从而切断渗水路径。

2.2.2 排水法

排水法适用于水量较大、水压较高且渗水来源稳定

的情况,通过有组织地排出渗水,减轻对衬砌结构的水压影响。施工前,需探明渗水的来源与流动路径,规划好排水系统的走向。根据实际情况设置排水盲沟、泄水孔、集水井等排水设施,将渗水引入预设设施后,通过自然引流或机械排水的方式排至隧道外。排水过程中要保证系统畅通,避免因堵塞导致失效,同时关注排水对衬砌周围环境的影响,防止引发新的地质问题。

2.2.3 堵排结合法

堵排结合法融合了堵水法与排水法的优势,适用于渗漏情况复杂的场景,如既有集中渗漏点又有大面积渗水,且水量和水压不稳定。施工时,先对渗漏严重的集中点采用堵水法封堵,减少主要渗水来源;再针对剩余的分散渗水及可能存在的隐性渗水通道,设置排水系统将水排出。通过堵水控制渗水总量,通过排水降低结构承受的水压,两者协同作用,既能快速控制渗漏,又能长期维持效果,有效解决复杂渗漏水问题,保障衬砌结构干燥稳定。

2.3 衬砌变形与错台整治技术

2.3.1 衬砌加固法

衬砌加固法主要用于处理衬砌结构因变形导致承载能力下降的情况,通过增强结构刚度和强度,阻止变形进一步发展。施工前,需对变形区域的衬砌进行全面检测,明确变形程度、范围及受力状态。根据检测结果选择合适的加固方式,如粘贴钢板、碳纤维布等,或采用喷射混凝土增设加固层。施工时,先清理衬砌表面的杂物、风化层,确保加固材料与基层紧密结合。对于粘贴类加固,需涂抹专用粘结剂,使钢板或碳纤维布与衬砌表面牢固粘结;对于增设加固层,需保证喷射混凝土的厚度和强度均匀,与原衬砌形成整体受力体系,从而提升结构的承载能力和稳定性。

2.3.2 纠偏与修复法

纠偏与修复法适用于衬砌出现轻微错台或局部变形的情况,旨在通过调整位置和修补缺陷,恢复结构的平顺性和完整性。施工前,需测量错台的尺寸和变形的范围,制定针对性的纠偏方案。对于错台部位,可采用机械打磨或凿除的方式,消除突出部分,使衬砌表面平整过渡。对于因变形产生的裂缝或破损,采用修补材料进行填充和封闭,如使用聚合物砂浆修复表面缺陷。若变形导致衬砌位置偏移,可通过施加外力缓慢调整,使结构回归设计位置,调整过程中需实时监测,避免因纠偏过度引发新的损伤,最终确保衬砌表面平顺,满足列车

运行安全要求。

2.4 衬砌背后空洞与厚度不足整治技术

2.4.1 注浆填充法

注浆填充法主要用于处理衬砌背后存在空洞的情况,通过向空洞内注入浆液,填充空隙并固化,使衬砌与围岩形成整体受力结构。施工前,需通过探测确定空洞的位置、范围和形态,明确注浆范围和浆液类型。常用的浆液有水泥浆、水泥砂浆等,可根据空洞大小和地质条件选择。施工时,在衬砌表面钻孔,将注浆管插入空洞内,通过注浆泵将浆液加压注入,注入过程中需控制注浆压力和速度,确保浆液充分填充空洞且不损坏衬砌结构。待浆液固化后,形成坚实的填充体,增强衬砌的承载能力和稳定性。

2.4.2 增设衬砌法

增设衬砌法适用于衬砌厚度不足,无法满足结构受力要求的情况,通过在原衬砌内侧增加新的衬砌层,提高结构整体厚度和承载能力。施工前,需对原衬砌的状况进行检测,评估其完好程度和承载能力,确定新增衬砌的厚度和材料。施工时,先清理原衬砌表面的杂物、风化层和破损部分,确保基层平整坚实。然后根据设计要求支设模板,浇筑混凝土或喷射混凝土形成新的衬砌层,新增衬砌层与原衬砌需紧密结合,可通过设置连接钢筋等方式增强整体性^[3]。

结束语

铁路隧道衬砌病害的防治是保障铁路运输安全的关键环节。当前,设计、施工、运营等多方面因素导致的裂缝、渗漏水、变形等病害,对衬砌结构的稳定性构成持续威胁。通过表面封闭、灌浆、堵排结合、加固修复等针对性整治技术的应用,可有效遏制病害发展,恢复结构功能。然而,病害治理需坚持“预防为主、防治结合”原则,未来还需加强地质勘察精度、优化施工工艺、完善养护体系,推动智能化检测与整治技术的创新,以提升隧道衬砌的耐久性与安全性,为铁路交通的可持续发展筑牢工程基础。

参考文献

- [1]潘雪峰,陈俊宇,严江勇.贵州某高速运营隧道病害原因分析与处治措施[J].科学技术创新,2020(21):107-109.
- [2]康小玉.铁路隧道衬砌裂缝病害及其整治措施研究[J].城市建设理论研究(电子版),2021(10):164-166.
- [3]李建军.铁路隧道衬砌裂缝病害与整治技术[J].价值工程,2022,32(20):127-128.