

隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术

席晓龙

陕西省成通机械化公路生态工程有限责任公司, 陕西 西安 710000

DOI: 10.61369/ETQM.12223

摘 要：针对隧道渗漏水严重影响其结构安全、耐久性与运营环境的现状，本研究从隧道渗漏水的成因分析出发，详细介绍了隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术施工流程。分析发现，精准把握各成因及规范实施施工流程，能有效提升渗漏水治理效果。通过分析，文章旨在为隧道渗漏水治理提供系统、科学的技术路径与实践指导，以保障隧道长期稳定、安全运营。

关 键 词：隧道渗漏水；嵌缝堵漏；成因；施工流程

Leakage Remediation Technology for Tunnel Defects through Joint Sealing

Xi Xiaolong

Shaanxi Chengtong Mechanized Highway Ecological Engineering Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: In response to the current situation where tunnel leakage severely affects structural safety, durability, and operational environment, this study begins with an analysis of the causes of tunnel leakage and provides a detailed introduction to the construction process of joint sealing and leakage remediation technology for tunnel defects. Through analysis, it is found that precise understanding of various causes and standardized implementation of the construction process can effectively improve the effectiveness of leakage treatment. The article aims to provide a systematic and scientific technical pathway and practical guidance for tunnel leakage treatment, ensuring long-term stability and safe operation of tunnels.

Keywords: tunnel leakage; joint sealing; causes; construction process

在现代化交通体系中，隧道承担着关键的运输任务，是连接区域间的重要脉络。然而，隧道渗漏水问题却普遍存在，给其结构安全与运营带来诸多挑战。渗漏水不仅会引发钢筋锈蚀，破坏混凝土结构，缩短隧道使用寿命，还会影响隧道内设备运行，增加行车安全隐患。为有效解决这一顽疾，隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术应运而生。该技术通过科学方法封堵渗漏水通道，恢复隧道防水性能。深入研究这一技术，对保障隧道安全、降低维护成本意义重大，本文将对其展开全面探讨。

一、隧道渗漏水的成因分析

（一）地质因素

地质条件对隧道渗漏水有着根本性的影响。富水地层，像富含孔隙水的砂土层以及裂隙水发育的岩层，地下水储量丰富且水头压力较高。当隧道穿越这类地层时，地下水会在压力驱使下，透过隧道衬砌的孔隙、裂缝等薄弱处渗入隧道。断层破碎带地质结构复杂，岩石破碎，节理裂隙众多，地下水径流条件优越。一旦隧道穿越断层破碎带，就如同打开了地下水通道，大量地下水迅速涌入。并且断层破碎带岩石力学性质差，隧道衬砌在该区域更易变形、开裂，加剧了渗漏水问题。

岩溶发育区地质情况特殊，地下有大量溶洞、暗河等岩溶形态。隧道施工若不慎揭穿溶洞或暗河，会引发大规模涌水涌泥事故，对施工和运营安全构成极大威胁。即便未直接揭穿岩溶水体，岩溶地区的地下水也可能通过溶蚀裂隙等通道渗透进入隧道。像某城市地铁隧道在岩溶发育区施工时，就多次遭遇小型涌

水事件。此外，地质勘察若不准确，未能查明地层中地下水分布、地质构造等信息，会使隧道防水设计和施工缺乏针对性，增加渗漏水风险。

（二）设计因素

隧道防水设计方案的合理性直接关系到渗漏水问题是否发生。防水等级需依据隧道用途、地质条件、环境要求等因素合理确定。若防水等级过低，隧道衬砌防水性能无法满足实际需求，渗漏水就容易出现。

防水结构设计是防水方案的核心。防水卷材选型很关键，不同类型防水卷材性能不同，如 SBS 改性沥青防水卷材耐高温、耐低温性能好，高分子防水卷材耐化学腐蚀、抗穿刺性能突出。若防水卷材选型不当，不能适应隧道地质和环境条件，就难以发挥防水作用^[1]。施工缝和变形缝是隧道防水的薄弱环节。施工缝设计不合理，比如未设有效止水措施，或止水带选型、安装不当，混凝土浇筑时水泥浆易流失，导致施工缝出现缝隙，成为渗漏水通道。变形缝若不能适应隧道结构变形，在结构沉降、伸缩等变

形过程中，止水带易被拉裂或破坏，引发渗漏水。另外，排水系统设计也很重要，排水坡度不足会使隧道内积水无法及时排出，积水在重力和水压作用下渗透进入隧道衬砌结构，增加渗漏水风险。

（三）施工因素

施工过程中的防水施工质量对隧道渗漏水状况起决定性作用。防水卷材铺设质量直接影响防水层防水效果。铺设防水卷材时，若基层处理不平整，存在尖锐凸起物，容易刺破防水卷材，形成渗漏水隐患。卷材搭接宽度不足、搭接处粘结不牢固，会使防水层出现缝隙，地下水可借此渗透进入隧道。

止水带安装是防水施工的关键环节。止水带安装时若出现偏移、扭曲，或与混凝土粘结不紧密，混凝土浇筑后止水带无法发挥止水作用，施工缝就会成为渗漏水通道。而且止水带在运输、储存过程中若受损，出现孔洞、裂缝等，也会影响止水效果。混凝土浇筑质量同样重要，混凝土振捣不密实，内部会形成蜂窝、麻面、孔洞等缺陷，为地下水渗透提供通道。同时，混凝土配合比不合理，水灰比过大，会降低混凝土抗渗性能，增加渗漏水可能性^[2]。

（四）运营因素

隧道在长期运营中，受多种因素影响产生渗漏水问题。车辆荷载反复作用，使隧道衬砌结构承受频繁动应力，在动应力作用下，衬砌结构内部微裂缝逐渐扩展、贯通，形成宏观裂缝，地下水通过这些裂缝渗透进入隧道^[3]。温度变化使隧道结构热胀冷缩，在温度变化频繁且幅度大的地区，隧道衬砌结构反复伸缩，内部易产生应力集中，导致衬砌开裂，进而引发渗漏水^[4]。此外，地震等自然灾害会严重破坏隧道结构，使衬砌出现裂缝、变形甚至坍塌，大幅增加渗漏水风险。运营管理中维护不及时也是导致渗漏水问题加剧的重要原因。隧道内排水系统若不定期清理，杂物堆积堵塞排水管道，隧道内积水无法及时排出，积水水位升高，对隧道衬砌结构产生更大水压，促使渗漏水问题恶化。

二、隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏诊治技术施工流程

（一）施工前准备工作

在开展隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏施工前，全面且细致的准备工作是确保施工顺利进行的基础。首先，组建专业的施工团队至关重要。团队成员应具备丰富的隧道防水施工经验，熟悉嵌缝堵漏技术的操作流程和质量标准。对团队成员进行技术培训，使其深入了解本次施工所采用的技术方案、施工工艺以及安全注意事项，提高施工人员的专业技能和安全意识。同时，准备齐全施工所需的各类设备和工具，如钻孔设备、注浆设备、切割工具、清理工具等，并对设备进行调试和维护，确保其在施工过程中能够正常运行。在材料准备方面，根据设计要求和现场实际情况，采购质量合格的嵌缝材料、防水浆料、卷材等材料。对采购的材料进行严格的质量检验，检查材料的产品合格证、质量检验报告等质量证明文件，确保材料性能符合相关标准和设计要求。此外，对隧道渗漏水现场进行详细勘查。全面了解渗漏水的部位、渗

水量、渗漏形式等情况，并做好记录。绘制详细的渗漏水现状图，标注出渗漏水的具体位置、严重程度等信息，为后续的施工方案制定提供准确依据^[5]。同时，对隧道内的既有设施进行保护，如对电缆、通风管道、照明设备等进行遮盖、包裹，防止在施工过程中受到损坏。

（二）渗漏水缺陷嵌缝堵漏区域定位

精确的区域定位是嵌缝堵漏施工的关键第一步。采用多种方法对渗漏水部位进行精准定位。首先，通过现场目视检查，观察隧道衬砌表面的水渍、湿痕、流挂等现象，初步判断渗漏水的大致位置。对于一些隐蔽性较强的渗漏水部位，可借助专业的检测仪器，如红外热像仪、超声波检测仪等进行检测。红外热像仪能够通过检测物体表面的温度差异，发现因渗漏水导致的温度异常区域，从而确定渗漏水位置。超声波检测仪则可利用超声波在不同介质中的传播特性，检测衬砌内部的缺陷和渗漏水通道^[6]。在确定渗漏水位置后，对渗漏水区域进行详细标记。采用彩色油漆或标记带，在隧道衬砌表面清晰标注出渗漏水区域的边界，同时记录下该区域的具体位置信息，如里程桩号、隧道拱顶或边墙的具体部位等。对于多个渗漏水区域，按照一定的顺序进行编号，以便后续施工管理和质量控制。在定位过程中，若发现渗漏水问题较为复杂，如存在多个渗漏点相互连通或与隧道周边的地质构造有关，应及时组织技术人员进行现场研讨，制定针对性的解决方案。

（三）利用碎石碎片初步填补区域空隙

在确定渗漏水缺陷嵌缝堵漏区域后，利用碎石碎片对区域空隙进行初步填补。选择粒径合适的碎石碎片，一般粒径控制在5—20mm之间，确保其能够有效填充较大的空隙，同时又不会影响后续的施工操作。使用小型工具，如扫帚、铲子等，将碎石碎片均匀地铺设在渗漏水区域空隙处。对于较大的孔洞或缝隙，可先用较大粒径的碎石碎片进行初步填充，然后再用较小粒径的碎石碎片进行找平，使填充表面尽量平整。在铺设碎石碎片过程中，轻轻敲击碎石，使其相互嵌挤紧密，增强填充的稳定性。填充完成后，对填充表面进行清理，去除多余的碎石碎片和灰尘，为后续的嵌缝堵漏施工创造良好的基础条件。通过初步填补空隙，能够减少渗漏水的流量，降低后续施工的难度，同时也为嵌缝材料的填充提供更好的支撑。

（四）确定嵌缝堵漏区域止水图

根据渗漏水缺陷嵌缝堵漏区域的实际情况，确定详细的止水图。止水图应清晰标注出嵌缝的位置、宽度、深度，以及堵漏的范围和重点部位。对于不同类型的渗漏水情况，制定相应的止水方案。例如，对于点渗漏，在渗漏点周围确定一定范围进行嵌缝和堵漏处理；对于线渗漏，沿渗漏线方向确定嵌缝和堵漏的宽度和长度。

在绘制止水图时，充分考虑隧道衬砌的结构特点和渗漏水的成因。若渗漏水是由于衬砌结构裂缝引起的，止水图应围绕裂缝进行设计，包括对裂缝的处理方式、嵌缝材料的选择和铺设范围等。同时，结合施工前的勘查资料，如地质条件、隧道结构设计图纸等，确保止水图的科学性和合理性。止水图绘制完成后，组

织施工人员进行技术交底,使施工人员清楚了解每个区域的施工要求和操作要点,确保施工过程严格按照止水图进行。

(五) 制备嵌缝堵漏防水浆料

制备高质量的嵌缝堵漏防水浆料是确保施工质量的关键环节。根据设计要求和选用的材料,准确计算各种原材料的用量。常用的嵌缝堵漏防水浆料由水泥、砂、添加剂等组成。水泥应选用强度等级不低于42.5的普通硅酸盐水泥,确保浆料具有足够的强度。砂应采用洁净、坚硬的中砂,含泥量不超过3%。添加剂可根据实际需要选用,如防水剂、膨胀剂、缓凝剂等,以改善浆料的性能。在搅拌过程中,先将水泥和砂倒入搅拌机中,干拌均匀,然后加入适量的水和添加剂,继续搅拌。搅拌时间应根据搅拌机的性能和浆料的种类确定,一般不少于3min,确保各种原材料充分混合,浆料均匀一致。搅拌完成后,对防水浆料的性能进行检测,如流动性、粘结强度、抗渗性等。检测结果应符合相关标准和设计要求,若不符合要求,及时调整原材料的配合比,重新搅拌。制备好的防水浆料应在规定的时间内使用,一般不宜超过2h,防止浆料初凝影响施工质量^[7]。

(六) 嵌缝填充

在完成前期准备工作后,进行嵌缝填充施工。首先,对嵌缝区域的基层进行处理。使用钢丝刷、扫帚等工具,清除嵌缝区域表面的灰尘、油污、松散颗粒等杂质,使基层表面干净、粗糙,以增强嵌缝材料与基层的粘结力。对于基层表面的裂缝、孔洞等缺陷,采用修补材料进行修补,确保基层平整。将制备好的嵌缝材料,如密封胶、止水条等,按照设计要求填充到嵌缝槽内^[8,9]。对于密封胶,使用专用的打胶枪将密封胶均匀地注入嵌缝槽内,注胶过程中应保持胶枪的匀速移动,确保密封胶填充饱满、密实,无气泡、空洞。对于止水条,根据嵌缝槽的尺寸裁剪合适长度的止水条,将止水条粘贴在嵌缝槽底部,粘贴时应确保止水条与基层紧密贴合,无翘起、松动现象。止水条之间的搭接长度应符合设计要求,一般不小于50mm,搭接处采用专用胶水粘结牢固。嵌缝填充完成后,对嵌缝表面进行修整。使用刮刀等工具,将嵌缝材料表面刮平,使其与隧道衬砌表面平齐,保证外观质量。同时,对嵌缝材料与基层的粘结情况进行检查,若发现有粘结不牢的部位,及时进行补胶或重新粘贴处理^[10]。

(七) 铺设卷材防水层

铺设卷材防水层是进一步增强隧道防水性能的重要措施。在铺设卷材前,确保基层表面平整、干燥,含水率不超过9%。若基层表面存在潮湿现象,应先进行烘干或采用其他干燥措施,防止卷材铺设后出现空鼓、起泡等问题。根据隧道渗漏水区域的形状和尺寸,合理裁剪卷材。卷材的搭接宽度应符合设计要求,一般不小于100mm。在卷材搭接处,将卷材表面的隔离膜去除,采用热熔法或冷粘法进行粘结。

对于热熔法,使用喷枪将卷材搭接处的卷材和基层加热,使卷材表面的沥青熔化,然后迅速将卷材粘贴在基层上,并使用压辊滚压,确保卷材与基层粘结牢固,搭接处密封严密。对于冷粘法,在卷材搭接处和基层表面均匀涂刷专用的胶粘剂,待胶粘剂干燥至不粘手时,将卷材粘贴在基层上,并进行压实。铺设卷材

时,应注意卷材的铺贴方向,一般应与隧道轴线方向垂直或平行,确保卷材的防水效果。卷材铺设完成后,对卷材防水层进行质量检查,若发现存在缺陷,及时进行修补或返工处理。

三、结语

隧道渗漏水问题严重威胁隧道的结构安全、耐久性以及运营的安全性和舒适性。通过对地质、设计、施工和运营等多方面成因的深入分析,明确了各因素对渗漏水问题的影响机制。在此基础上,详细阐述的隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术施工流程,从施工前准备到铺设卷材防水层,每一个环节都紧密相扣,对保障施工质量、有效治理渗漏水具有重要意义。在实际工程应用中,应根据隧道的具体情况,灵活运用这些技术,严格把控施工质量,以实现隧道渗漏水问题的高效整治,确保隧道的长期稳定运行。同时,随着技术的不断发展和创新,未来可进一步探索更先进的材料和工艺,为隧道防水领域注入新的活力,提升隧道工程的整体质量和安全性。

参考文献

- [1] 靳昊,易忠来,李化建,等.铁路隧道典型渗漏病害整治技术[J].中国铁路,2015,(12):68-72.
- [2] 黄锦泉.公路隧道二次衬砌后渗漏水处理技术研究[J].福建建材,2022,(08):71-73+82.
- [3] 李鸿阳.武汉某公路隧道变形缝渗漏原因分析及整治方法[J].建筑施工,2023,45(03):530-533.
- [4] 贾东东.隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术研究[J].山西师范大学学报(自然科学版),2023,37(03):97-103.
- [5] 何威.探析地铁既有隧道防水堵漏施工的质量控制相关问题[J].佳木斯职业学院学报,2018,(05):477-478.
- [6] 张琨,陈定方,高铭鑫,等.有监督学习下的市域铁路隧道结构裂缝边缘识别方法[J].中国机械工程,2021,32(04):446-453.
- [7] 彭勇.运营地铁盾构隧道堵漏施工技术[J].广州建筑,2015,43(01):32-35.
- [8] 代显奇,王军,李占先,等.盾构隧道渗漏水病害成因与防治现状[J].人民长江,2022,53(11):186-192.
- [9] 刘文刚,张含霞.盖挖逆作法地下通道渗漏水缺陷治理措施研究[J].四川水利,2023,44(03):47-50.
- [10] 陈森森,高鑫荣,李康.水下大直径盾构隧道渗漏综合整治技术[J].中国建筑防水,2021,(05):44-49.