

# 地铁隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术研究

张 硕

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221000

**摘 要：**地铁隧道长期服役阶段，受地层形变、地下水压及环境侵蚀等多重因素影响，接缝渗漏水病害频发，对隧道结构稳定性与服役寿命造成不良影响。文章结合隧道接缝构造形式与病害发育规律，系统梳理各类嵌缝堵漏防水材料的性能特征与适配场景，细化不同工况下的标准化嵌缝施工工艺。依托全流程施工管控要点，规范基面处理、材料施用、填充成型及后期养护各环节作业标准，可有效解决隧道接缝渗漏水问题，提升嵌缝密封结构的密实度与耐久性，为地铁隧道渗漏水整治提供可靠的技术参考。

**关键词：**地铁隧道；接缝渗漏水；嵌缝堵漏；防水材料；施工管控

**引言：**地铁隧道多处于地下复杂水文与地质环境中，拼装及浇筑形成的各类接缝属于结构防水的薄弱部位。长期水土作用与地层微动变形，会持续破坏接缝原有密封体系，引发渗水、涌水及嵌缝材料老化破损等各类病害。渗漏水问题不仅破坏隧道内部运营环境，还会逐步侵蚀主体结构，降低隧道整体服役性能。为有效解决隧道接缝渗漏水难题，规范嵌缝堵漏施工流程，梳理适配不同工况的材料体系与施工技术，完善全过程工艺管控体系，对提升地铁隧道防水治理质量具有重要现实意义。

## 1 地铁隧道渗漏水接缝构造与病害特征

### 1.1 隧道常见接缝结构类型与构造特点

地铁隧道根据施工工艺的不同，会形成多种结构接缝，适配不同的受力条件与变形需求。装配式管片隧道依靠环向和纵向接缝完成整体拼装。环向接缝用于连接前后相邻的管片，能够适应地层微小变形，缓解纵向压力对结构的挤压作用。纵向接缝对接同一环内的各块管片，稳定隧道环形断面，约束结构横向位移。现浇混凝土隧道多采用分段浇筑施工，接缝主要分为施工缝与变形缝<sup>[1]</sup>。施工缝由分次浇筑成型，整体刚度大、结构整体性佳。变形缝主要用于抵消温度变化和地层沉降带来的结构形变，预留充足变形空间，结构柔性更强，是隧道防水防护的关键薄弱部位。

### 1.2 隧道接缝常见渗漏水病害表现形式

地下水环境与地层应力的长期作用，会让隧道接缝产生不同程度的渗漏水问题，病害表现具备明显的层级差异。轻度渗漏水多为接缝表面潮湿、结露发白，没有明显流水现象，前期很难被发现。中度渗漏水会形成稳定的渗

水通道，水分顺着接缝缝隙缓慢渗出，在结构表面残留水渍与污渍。重度渗漏水会出现集中出水、缝隙涌水的情况，水流持续冲刷接缝内部构造。各类渗漏水问题都会影响隧道正常使用，慢慢腐蚀结构表层和配套设施，加快隧道整体老化速度。不同层级渗漏水病害呈现递进式发展特征，轻微病害若未及时处置，会持续拓展渗水通道、扩大缝隙开度，逐步演变为持续性渗水与集中涌水病害，大幅提升整治难度。

### 1.3 嵌缝结构常见破损与病害表现形式

嵌缝结构是隧道接缝防水密封的核心构造，长期处于地下复杂环境中，容易产生各类破损病害。开裂是嵌缝结构最常见的病害，结构形变与地层扰动都会产生细微裂缝，破坏密封体系的完整状态。密封层会出现界面剥离、局部脱落的情况，与混凝土基层脱离分离，彻底失去防水封堵的作用。在长期水土侵蚀作用下，嵌缝材料会慢慢粉化、收缩变形，结构密实度不断降低，防水抗渗能力持续衰减，进一步加剧隧道接缝渗漏水问题。

### 1.4 不同环境下接缝渗漏水病害分布特点

不同地质、水文及温湿度条件，会让隧道接缝渗漏水病害呈现不一样的分布规律。高水压地层中，隧道底板与侧墙下部的接缝长期承受 0.2~0.5MPa 水压，病害发育数量更多、分布更为集中。软土地层易发生 2~5mm 不均匀沉降，造成结构受力失衡，环向接缝出现渗漏水破损的概率更高。低温环境低于 5℃时，会改变嵌缝材料的物理特性，降低柔韧性、提升脆性，大幅增加开裂风险。隧道内部封闭潮湿的环境会加速防水材料老化失效，使得渗漏水病害零散分布于隧道各个区段。

## 2 嵌缝堵漏防水材料类型与适配特性

### 2.1 弹性密封嵌缝材料基础工作特性

弹性密封嵌缝材料属于隧道堵漏常用的柔性防水材料,能够适应隧道接缝长期存在的微量变形。材料具备良好的拉伸性能与回弹性能,可应对地层轻微扰动、结构沉降和温度波动引发的缝隙伸缩变化。固化成型后整体质地柔韧,表层结构密实,可有效封堵细微孔隙,阻挡浅层地下水向内渗透。材料固化后不会形成硬质结构,能够跟随接缝形态变化自适应调整,持续保持密封体系的完整状态<sup>[2]</sup>。材料耐受潮湿环境,抗老化能力较强,可适应隧道地下封闭的服役条件。

### 2.2 刚性注浆嵌缝材料固结工作特性

刚性注浆嵌缝材料依靠浆液固化成型实现堵漏防渗,依靠优异的流动渗透性能完成缝隙填充。浆液可深入接缝深层孔隙以及周边疏松结构内部,填满贯通性渗水空腔。固化之后可形成高强度实体结构,整体密实度高、体积稳定性好,不易出现收缩变形。成型结构可以完全隔断渗水通道,承载较高地下水压,对局部松散结构起到加固作用,提升接缝整体结构稳定性。稳定的固结结构与高强抗压特性,让这类材料具备优异的高压防渗与结构补强能力。

### 2.3 复合止水嵌缝材料协同工作特性

复合止水嵌缝材料整合刚性材料与柔性材料的性能优势,形成层次化的防水结构体系。刚性组分可以深入缝隙内部,快速完成空腔填充与结构固结,提升接缝基体密实程度。柔性组分覆盖结构表层缝隙,利用变形适应能力抵消结构 $\leq 5\text{mm}$ 微动带来的位移影响,弥补刚性材料韧性不足的缺陷。多层结构相互配合,构建出兼具加固能力与变形适应能力的防水屏障。互补式结构体系有效平衡了结构刚度与形变适应性,解决单一防水材料性能存在的短板问题。

### 2.4 依据接缝工况的材料适配选用原则

隧道接缝所处水文与结构条件各不相同,防水材料选型需要贴合现场实际工况。变形活动频繁、缝隙开度 $\leq 3\text{mm}$ 波动较小的接缝,优先选用弹性密封材料,维持长期密封效果。缝隙开度 $\geq 5\text{mm}$ 、结构疏松且存在集中渗水的接缝,适合采用刚性注浆材料完成填充固结与结构补强。水压 $\geq 0.3\text{MPa}$ 、结构变形条件复杂的施工部位,可采用复合止水材料体系,兼顾结构加固与柔性密封需求。针对性的选材方式可充分发挥各类防水材料的性能优势,匹配不同接缝的防渗治理需求。

## 3 地铁隧道嵌缝堵漏标准化施工技术

### 3.1 渗漏接缝基面预处理施工技术

基面预处理是嵌缝堵漏施工的首要工序,处理效果直接决定防水材料的粘结效果与长期密封质量。施工初期需要对接缝位置进行全面清洁,清理表面堆积的灰尘、浮浆、淤泥以及残留的老旧填料,避免各类杂质附着界面影响材料结合效果。接缝表层存留的顽固水渍、腐蚀残留物和霉变附着物,可通过打磨设备与专用清洁工具逐一精细化处理,让施工界面保持干净通透<sup>[3]</sup>。清洁工作完成后,对缝隙内部进行干燥处理,排出积存的游离水分,营造适合材料固化粘结的施工环境。同步检查基面整体状态,及时处理蜂窝、麻面、松散碎屑等常见结构缺陷,规整接缝界面形态。

### 3.2 接缝修整与成型处理施工技术

地铁隧道原有接缝普遍存在缝隙大小不一、断面不规则、边角破损等问题,需要通过专项修整工艺优化结构形态。施工结合接缝实际开度和破损程度开展开槽修型作业,常规嵌缝槽体统一修整为宽 $20\sim 30\text{mm}$ 、深 $25\sim 35\text{mm}$ 的标准尺寸,打造规格统一、形态规整的嵌缝槽体。剔除槽口位置松散的混凝土结构与破损边角,对槽壁整体打磨找平,保证槽体立面平整、结构坚实。作业过程精准把控开槽尺度,严控开槽深度与宽度,避免施工操作不当损伤隧道主体结构。槽体修整完毕后,二次清理内部粉尘与松动碎屑,保证槽内施工界面干净稳固。

### 3.3 常规工况嵌缝密封施工技术

处于干燥环境或存在轻微渗水的普通隧道接缝,可采用标准化流程开展嵌缝密封作业。根据修整后的槽体尺寸挑选适配的弹性密封材料,严格按照规范比例搅拌调配,保证材料固化后的各项性能稳定达标。现场施工采用分层填充方式,将密封材料分次填入接缝槽体,利用专用工具逐层压实、抹平,有效消除内部孔隙与空鼓问题。单层填充厚度保持均匀统一,待表层材料初步固化后再开展后续施工,提升各层材料之间的粘结密度。全部填充工序结束后,对接缝表层进行收光找平,保证施工面与隧道原有结构衔接平顺。

### 3.4 复杂特殊工况嵌缝处置施工技术

面对水压超 $0.3\text{MPa}$ 、集中渗水、开度 $\geq 5\text{mm}$ 大缝隙及结构形变频繁的特殊接缝,常规施工方式无法满足治理需求,需要采用针对性处置工艺适配复杂工况。施工前期先布设导水泄压措施,疏导接缝集中水流,降低水压冲击对材料固化成型的干扰。针对宽大缝隙和基体松散部位,优先使用刚性注浆材料填充深层空腔,注浆压力控制在 $0.4\sim 0.6\text{MPa}$ ,通过固化固结方式加固薄弱结

构,夯实接缝内部基础。刚性结构成型稳定后,再于表层嵌填柔性密封材料,形成刚柔互补的复合密封体系。结合现场温湿度环境调整材料配比与施工间隔,有效规避水流冲刷和结构形变引发的材料破损问题。

### 3.5 老旧嵌缝结构置换施工技术

隧道长期服役过程中,嵌缝材料会逐步出现粉化、开裂、脱落等老化问题,密封性能持续衰减,需要通过标准化置换工艺完成翻新治理。施工时彻底凿除失效的老旧填料,清理缝隙内部残留的老化碎屑与腐蚀杂质,全面检查基层整体状态,排查隐蔽开裂、结构松散等新生病害。对施工基面重新打磨修整,修复破损基体,恢复接缝规整结构形态。结合现场形变特征与水文环境挑选适配的新型材料,按照标准流程分层嵌填、压实与固化,保证填充结构密实均匀。施工后期做好表层封闭处理,压实新老结构衔接区域,彻底封堵细微渗水通道。

## 4 嵌缝堵漏施工全过程工艺管控要点

### 4.1 前期基面处理工序管控要点

基面处理作为嵌缝堵漏施工的基础环节,施工质量直接影响防水材料的粘结效果和后期密封稳定性。现场管控主要围绕基面洁净度、槽体规整度和结构稳固性展开。施工过程中,需彻底清理接缝表面的浮浆、积尘、废旧填料及各类附着杂质,保持作业面干净整洁<sup>[4]</sup>。开槽修型作业需统一施工标准,规整接缝槽体的深度与宽度,修整凹凸断面和破损边角,确保槽壁结构坚实稳定。施工操作保持精细轻柔,避免粗暴作业损伤隧道原有主体结构。槽体修整完毕后,清扫内部粉尘和松散颗粒,合理调控基面干湿状态,为后续防水材料粘结固化打造良好施工基础。

### 4.2 现场材料调配与施用管控要点

防水材料的调配与现场施用,是保障嵌缝堵漏施工质量的关键环节。正式施工前,仔细核对对密封、注浆材料的规格和性能指标,结合现场实际工况确定合理配比,杜绝随意更改配比参数的不规范行为。材料搅拌依照标准流程推进,把控搅拌速度和作业时长,让各类组分充分混合均匀,确保材料固化后的强度、韧性和抗渗能力满足施工要求。严格把控材料有效使用时间,配制完成的浆料需在初凝前施工完毕,防止长时间静置造成性能衰减。根据现场环境温度微调施工细节,让材料固化过程平稳有序进行。

### 4.3 嵌缝填充成型工序管控要点

嵌缝填充成型的施工效果,直接决定密封结构的密实度和完整性,全程需要落实精细化管控标准。施工采用分层填充、分层压实的作业方式,均匀控制每一层10~15mm的填充厚度。每层压实结束后及时排查质量问题,处理空鼓、孔隙、层间开裂等缺陷,保证整体填充结构密实均匀。施工过程保持工序连贯,减少中途停顿引发的层间粘结不佳问题。针对不同开度的接缝灵活调整施工手法,细小缝隙侧重保障材料充分渗透,宽大缝隙重点强化深层压实作业。填充施工完成后及时收光找平,让接缝表层平整规整,结构形态均匀统一<sup>[5]</sup>。

### 4.4 后期封闭防护工序管控要点

后期封闭防护与养护管理,对提升嵌缝结构的长期耐久性有着重要作用。嵌缝材料初步固化后,对整个施工区域进行全面排查,修补填充不足、表层不平整等细微瑕疵。对接缝表层做封闭防护处理,隔绝潮湿空气、粉尘堆积以及外力磕碰干扰,为材料固化提供稳定的养护环境。严格遵守7d标准养护周期,保证材料完成完整的固化反应,杜绝提前扰动、提前受力等违规施工行为。重点排查新老结构的衔接位置,封堵细微渗水通道,减少渗漏复发隐患,切实保障整体堵漏施工质量。

## 结束语

通过梳理地铁隧道接缝构造特征与渗漏病害的分布规律,系统分析各类嵌缝防水材料的工作性能与适配特性,区分常规与复杂工况的标准化施工工艺,搭建完整的嵌缝堵漏施工管控体系。从基面预处理、材料调配、填充成型到后期防护养护,全环节规范施工细节,能够有效改善隧道接缝渗漏治理效果。整套技术体系贴合现场实际施工需求,可为城市地铁隧道渗漏缺陷整治、提升结构防水耐久性提供规范、可行的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 段杰扰. 地铁隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术研究[J]. 工程机械与维修,2024(10):92-94.
- [2] 张军平. 高速铁路隧道衬砌渗漏水缺陷整治技术研究[J]. 西部交通科技,2024(2):177-179.
- [3] 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(3):97-103.
- [4] 吴伟伟. 地铁隧道衬砌渗漏水破损的简易治理技术研究[J]. 运输经理世界,2026(5):62-64.
- [5] 朱海龙. 浅谈膨胀性泥岩地质地铁车站渗漏水处治措施[J]. 四川建筑,2023,43(5):64-65.