

# 探析铁路隧道防排水施工关键技术

鹿海隆

四川公路桥梁建设集团有限公司 四川 成都 610000

**摘要：**本文围绕铁路隧道防排水施工关键技术展开探析，立足“防排结合、刚柔相济”核心原则，阐述防排水系统构成及地质、材料、施工等影响因素，重点分析初期支护、防水层、排水系统及特殊地质条件下的施工关键技术，探讨质量控制体系构建与病害防治措施，结合行业规范与工程实际，为提升隧道防排水施工质量、杜绝渗漏隐患、保障铁路隧道长期安全稳定运营提供理论参考与实践指导。

**关键词：**铁路隧道；防排水施工；关键技术

引言：铁路隧道作为交通工程核心构筑物，其防排水施工质量直接关系到结构稳定性与运营安全性。我国水文地质条件复杂，岩溶、富水、软弱围岩等地质场景广泛存在，易引发隧道渗漏水、排水堵塞等病害，影响行车安全与隧道使用寿命。基于此，本文结合《铁路富水隧道技术规程》等行业标准，探析铁路隧道防排水施工关键技术，解决施工中的技术难点，为同类工程施工提供借鉴，推动铁路隧道防排水施工技术提质升级。

## 1 铁路隧道防排水施工相关理论与技术基础

### 1.1 铁路隧道防排水施工核心原则

(1) “防排结合、刚柔相济、因地制宜、综合治理”的核心原则，是隧道防排水施工的根本遵循。施工中需结合不同地质条件，如富水、岩溶、破碎带等和隧道类型，山岭隧道、水底隧道等，灵活调整防排水策略，既注重主动防水阻断水源，也强化排水系统疏导水流，实现防水与排水协同发力，同时兼顾刚性支护与柔性防水的配合，确保适配现场实际工况。(2) 兼顾防水可靠性与施工经济性，在保障防排水效果、避免后期渗漏隐患的前提下，优化施工方案，合理选用材料和工艺，减少不必要的成本投入。通过精准核算工程量、优选性价比高的防排水材料，实现工程质量与经济效益的双重提升，避免因过度追求防水效果而造成的成本浪费。(3) 贴合行业规范要求，严格遵循《铁路富水隧道技术规程》《铁路隧道工程施工质量验收标准》等相关标准，规范各施工工序操作，确保施工全过程合规。从材料进场检验、施工工艺实施到质量验收，每一步都严格对标规范，杜绝违规施工，保障防排水系统长期稳定运行。

### 1.2 铁路隧道防排水系统构成

(1) 防水系统是防排水的核心屏障，主要包括初期支护防水、二次衬砌防水、施工缝与变形缝防水三大环

节，涵盖防水板、止水带、止水条等核心构件。初期支护通过喷射混凝土防水，二次衬砌采用防水混凝土浇筑，施工缝与变形缝设置止水带、止水条，形成全方位、多层次的防水体系，阻断地下水渗透路径。(2) 排水系统负责将隧道内渗入的地下水有序排出，由环向排水盲管、纵向排水盲管、横向排水管、侧沟、中心水沟等组成。环向盲管收集围岩渗水，纵向盲管汇总水流，横向排水管将水流导入侧沟和中心水沟，最终排出隧道，形成完整的排水链路，避免地下水积聚损坏衬砌结构<sup>[1]</sup>。(3) 辅助防排水设施针对富水、岩溶等复杂地质条件，强化防排水效果，主要包括注浆堵水帷幕、井点降水等。注浆堵水通过向围岩注入浆液形成帷幕，阻断地下水源；井点降水用于降低施工区域地下水位，为施工创造干燥环境，保障施工顺利进行。

### 1.3 铁路隧道防排水施工的影响因素

(1) 地质因素是首要影响因素，地下水类型、围岩级别、地质破碎带分布等，直接决定防排水施工方案的选择。岩溶水易造成突水突泥，破碎带围岩渗水严重，需针对性采取注浆堵水、加强排水等措施，围岩级别越低，防排水要求越高。(2) 材料因素对防排水效果起决定性作用，防水板、止水带、排水盲管等材料的性能至关重要，如防水板的阻燃性、抗撕裂性，止水带的抗老化性，排水盲管的防结晶性和排水能力，材料性能不达标会直接导致渗漏隐患。(3) 施工因素影响防排水施工的整体质量，施工工艺的规范性、施工人员操作水平、各工序衔接质量，以及施工设备的性能状态，都会对施工效果产生影响。如防水板铺设不平整、止水带安装偏差、工序衔接不顺畅，均会降低防排水系统的可靠性。

## 2 铁路隧道防排水施工关键技术探析

### 2.1 初期支护防排水关键技术

(1) 初期支护表面处理技术是后续防水施工的基础

础, 施工中采用3D扫描仪进行隧道断面精准量测, 全面排查基面渗漏水点、岩石凸出物及平整度偏差。对渗漏水点采用引排或封堵处理, 对凸出物进行凿除修整, 确保基面平整度符合规范要求, 避免尖锐杂物刺破后续防水层, 为防水层铺设提供平整、干燥的作业基面, 保障防水施工质量。(2) 喷射混凝土防水技术核心是增强初期支护自防水能力, 施工中严格控制喷射混凝土配合比, 精准把控水泥、骨料、外加剂的用量, 优化喷射工艺参数, 采用湿喷法施工, 确保混凝土密实度达标, 减少因振捣不充分、配比不合理产生的裂缝。同时加强喷射后养护, 避免混凝土收缩开裂, 形成有效的初期防水屏障, 阻断地下水初步渗透路径<sup>[2]</sup>。(3) 注浆堵水技术主要用于地下水发育区域, 根据围岩裂隙分布、地下水流量等情况, 选用帷幕注浆、径向注浆等合适方式。施工前明确注浆压力、浆液配比、注浆量等关键参数, 采用合理的注浆顺序, 将浆液均匀注入围岩裂隙, 填充空隙并凝固形成防水帷幕, 有效减少地下水渗入隧道内部, 为后续施工创造干燥环境, 降低水害风险。

## 2.2 防水层施工关键技术

(1) 土工布缓冲层铺设技术重点保障缓冲和过滤效果, 施工中采用梅花形布置热熔垫圈, 垫圈间距符合规范要求, 确保固定牢固。铺设时从拱部向边墙自上而下进行, 避免土工布褶皱、松弛, 严格控制搭接宽度, 搭接处采用焊接工艺处理, 确保焊接密实, 防止地下水从搭接缝渗透, 同时发挥缓冲作用, 保护后续防水板不受基面尖锐物损坏。(2) 防水板铺设与焊接技术是防水系统的核心环节, 推广采用粘贴式铺挂工艺, 替代传统热熔铺挂, 有效避免热熔过程中焊穿防水板的风险。铺设时控制防水板张紧度, 避免过松或过紧导致破损, 焊接时严格把控焊接温度和时间, 采用双焊缝焊接方式, 确保焊缝密实、无漏焊、无假焊。焊接完成后立即进行充气检测, 检测合格后方可进入下一道工序, 杜绝渗漏隐患。(3) 施工缝与变形缝防水技术是防渗漏的薄弱环节, 需合理选用中埋式止水带、背贴式止水带及遇水膨胀止水条, 根据施工缝、变形缝的位置和受力特点优化安装方案。安装过程中规范操作流程, 确保止水带、止水条位置准确、固定牢固, 接头处采用搭接或焊接连接, 保证连接紧密, 避免因安装偏差、接头松动导致施工缝、变形缝渗漏, 保障防水系统的完整性<sup>[3]</sup>。

## 2.3 排水系统施工关键技术

(1) 排水盲管安装技术需结合围岩富水情况, 科学确定环向、纵向排水盲管的间距, 富水区域适当缩小间距, 增强排水能力。盲管安装前采用无纺布包裹, 防止

泥沙堵塞管道, 安装时确保盲管顺直、密贴基面, 采用专用固定件固定牢固, 避免松动移位。安装完成后进行通水试验, 检查盲管排水通畅性, 及时处理堵塞、漏水等问题, 确保盲管正常发挥排水作用。(2) 水沟与排水管施工技术核心是保障排水顺畅, 施工中严格控制侧沟、中心水沟的开挖坡度和尺寸, 确保坡度符合设计要求, 避免出现倒坡、陡坡导致积水。横向排水管安装时规范操作, 保证管道坡度不小于2%, 接口处密封严密, 防止漏水、渗水, 同时定期清理水沟和排水管内的杂物, 避免管道堵塞, 确保地下水能够及时排出隧道<sup>[4]</sup>。

(3) 富水隧道专项排水技术针对岩溶、富水地层的特殊工况, 采用钻孔排水、泄水洞降压等针对性技术。钻孔排水通过在隧道周边钻设排水孔, 将围岩内的地下水引出, 降低围岩水压; 泄水洞降压则通过设置专用泄水洞, 将隧道内部积水引流排出, 有效降低隧道内部水压, 减少突水、涌水等水害风险, 保障隧道施工安全。

## 2.4 特殊地质条件下防排水施工技术

(1) 岩溶地区隧道防排水技术重点应对岩溶裂隙和溶洞带来的水害隐患, 采用注浆封堵与排水疏导相结合的综合措施。对小型岩溶裂隙采用注浆封堵, 填充裂隙形成防水屏障; 对大型溶洞, 先进行疏导排水, 降低洞内水压, 再采用衬砌加固、注浆封堵等方式, 防止突水涌泥事故发生, 确保隧道施工安全和防排水效果。(2) 软弱围岩隧道防排水技术核心是保障防排水系统稳定性, 由于软弱围岩易变形, 需加强初期支护防水, 采用喷射混凝土与锚杆、钢拱架联合支护, 增强支护强度, 减少围岩变形。同时优化排水系统布置, 避免排水盲管、防水板因围岩变形被挤压破损, 确保防排水系统能够长期稳定运行, 杜绝渗漏隐患。(3) 防寒抗冻地区隧道防排水技术需兼顾防冻和防水, 优化排水系统设计, 采用深埋水沟、保温盖板等措施, 防止管道内积水结冰堵塞。选用耐低温、抗冻融的防水材料, 避免材料因低温脆化破损, 同时加强管道保温处理, 保障冬季防排水系统正常运行, 防止因结冰导致的隧道衬砌冻融损坏和渗漏问题。

## 3 铁路隧道防排水施工质量控制与病害防治

### 3.1 施工质量控制体系构建

(1) 质量控制目标: 明确防排水施工核心质量标准, 以“隧道无明显渗漏水、排水系统通畅、结构稳定”为核心, 严格契合行业规范及设计文件要求, 杜绝因防排水失效导致的衬砌破损、冻融损坏等隐患, 保障隧道长期安全运营, 满足铁路运营的各项指标要求。

(2) 质量控制流程: 建立“施工前准备→施工过程管控

→施工后验收”全流程闭环质量控制体系。施工前做好技术交底、材料检验、设备调试；施工过程中强化工序管控、现场巡查；施工后严格验收，明确各环节控制要点，确保每一道工序都符合质量标准，形成完整的质量管控链条。（3）人员与设备管控：加强施工人员技术培训和安全教育，重点讲解防排水关键工艺、操作规范及质量隐患防控要点，确保持证上岗、规范操作。定期检查注浆机、焊接机、检测设备等性能状态，及时维修保养，确保设备正常运转，为施工质量提供设备保障。

### 3.2 各施工环节质量控制要点

（1）材料质量控制：严格执行材料进场检验制度，对防水板、止水带、排水盲管等进场材料，按规范要求取样送检，重点检测材料的防水性、抗老化性、排水能力等核心指标，坚决杜绝不合格材料投入使用，从源头把控施工质量。（2）施工过程控制：聚焦防水板焊接、止水带安装、排水盲管铺设等关键工序，加强现场巡查频次。防水板焊接需严控温度和焊缝质量，止水带安装确保位置准确、接头牢固，排水盲管铺设保证顺直通畅，及时纠正违规操作，避免工序隐患累积。（3）施工后验收控制：规范验收流程，分阶段开展验收工作。采用充气检测、通水试验等专业方式，对防排水系统进行全面检测，重点排查渗漏点、排水堵塞等问题，验收合格后方可进入下道工序，确保防排水系统整体性能达标<sup>[5]</sup>。

### 3.3 常见防排水病害类型及成因分析

（1）常见病害类型：主要包括隧道渗漏水、排水系统堵塞、防水层破损、施工缝渗漏等。结合工程实际，渗漏水多表现为衬砌表面湿渍、滴水；排水系统堵塞会导致隧道内积水；防水层破损易引发局部渗漏；施工缝渗漏多出现沿缝滴水、流砂现象。（2）病害成因分析：材料质量不达标，如防水板抗撕裂性差、止水带老化；施工工艺不规范，如防水板焊接不密实、排水盲管铺设松动；地质条件复杂，如岩溶裂隙发育、地下水压力过大；后期维护缺失，导致排水系统淤积、防水层破损未及时修复，均会引发各类防排水病害。

### 3.4 防排水病害防治措施与处理方法

（1）预防措施：针对病害成因制定针对性方案，加强材料进场检验，杜绝不合格材料；优化施工工艺，规范关键工序操作；强化施工过程管控，及时排查隐患；结合地质条件优化防排水设计，提前预判病害风险。

（2）处理方法：对已出现的病害分类处理，渗漏水采用钻孔导流、分层封堵方式；排水系统堵塞采用机械疏通、开槽引水清理；防水层破损及时修补或更换；施工缝渗漏重新设置止水装置，确保快速恢复防排水系统功能，保障隧道结构安全。（3）运营期维护措施：定期对排水系统进行疏通，采用U形防结晶密封器、微型机械疏通设备，防止管道结晶堵塞；定期检查防水层状态，对破损部位及时修复，建立常态化维护机制，延长防排水系统使用寿命。

### 结束语

铁路隧道防排水施工是一项系统性、综合性工程，需兼顾技术合理性、施工规范性与经济适用性。本文系统梳理了防排水施工核心原则、关键技术及质量管控要点，明确特殊地质条件下的针对性措施，有效应对各类施工难题。未来需结合工程实践持续优化施工工艺，强化新材料、新技术的应用，完善质量管控与后期维护体系，切实提升隧道防排水可靠性，为铁路交通事业的安全、高效发展提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]李金澳.铁路隧道防水层的施工技术及其质量控制策略[J].设备管理与维修.2022,4(8):64-67.
- [2]纪波.隧道工程反坡排水施工技术与安全措施探讨[J].交通建设与管理.2023,10(6):96-98.
- [3]张琳,高亮亮.建筑工程给水排水施工中消防水系统安装的要点分析[J].安徽建筑.2023,30(2):145-147.
- [4]孟庆军.隧道工程中防排水施工技术探讨[J].交通建设与管理.2021,21(2):211-214.
- [5]温文豹.建筑工程给水排水施工技术要点探讨[J].城市建设理论研究(电子版).2023,9(23):119-121.