

公路隧道防水排水系统常见问题及治理方案

周文豪

河南交通投资集团有限公司洛阳分公司 河南 洛阳 471000

摘要：公路隧道防水排水系统是保障隧道结构安全与运营稳定的关键。其虽遵循“防、排、截、堵结合”原则，但在长期使用中常出现防水系统破损渗漏、排水系统堵塞破损及系统协同不足等问题，成因涉及设计、施工、材料与运营维护等多方面。本文针对上述问题，分别从防水系统、排水系统及系统协同层面提出针对性治理方案，并明确治理方案选择原则与注意事项，为公路隧道防水排水系统的优化与维护提供实用参考。

关键词：公路隧道；防水排水系统；常见问题；成因分析；治理方案

引言：公路隧道作为交通基础设施重要组成，其防水排水系统直接影响结构耐久性与运营安全性。随着隧道建设向复杂地质区域延伸，地下水、冻害等环境因素对系统的挑战加剧。当前部分隧道因防水排水失效出现衬砌渗水、冻胀破坏等病害，不仅增加维护成本，还威胁通行安全。因此，深入研究防水排水系统的设计原则与功能要求，识别常见问题及成因，制定科学治理方案，对提升隧道工程质量、保障交通网络畅通具有重要现实意义，也是推动隧道工程技术发展的关键课题。

1 公路隧道防水排水系统概述

1.1 防水排水系统的设计原则

公路隧道系统设计需遵循“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的核心原则。强调防水与排水措施的协同配合，优先通过地表截排与结构防水减少水的入渗量，再通过高效排水系统快速排出残留水体。设计需充分结合隧道所处地质水文条件，针对不同围岩类型与地下水发育情况调整方案，同时注重结构耐久性，选用抗腐蚀、抗冲刷的材料与构造形式。此外，需兼顾生态协调性，避免排水系统对周边自然水文循环造成破坏，实现工程防护与环境保护的平衡。

1.2 防水排水系统的功能要求

公路隧道防水排水系统需满足多重功能要求，一是确保隧道主体结构干燥，拱部、边墙、路面及设备箱洞等关键部位不渗水、不滴水；在有冻害的地段，需防止衬砌背后积水与排水沟冻结，避免冻胀对结构造成破坏。二是排水系统需具备足够的排水能力，能够快速排出围岩渗水、路面污水及运营废水，维持洞内干燥整洁的通行环境。三是系统应具备一定的稳定性与易维护性，在长期运营中保持排水通畅，减少因堵塞、破损等问题导致的维护成本，保障隧道运营的安全性与经济性^[1]。

2 公路隧道防水排水系统常见问题

2.1 防水系统常见问题

公路隧道防水系统在长期使用或施工过程中易出现多种问题。防水层方面，高分子防水板可能因施工时焊接不严密产生焊缝渗漏，或在初期支护表面不平整的情况下被尖锐物体刺破，导致局部隔水功能失效；无纺布若铺设时张力控制不当，易出现褶皱或破损，影响其滤水缓冲作用。衬砌结构自身的防水问题也较为突出，二次衬砌混凝土若振捣不密实，会形成内部孔隙与裂缝，成为渗水通道；施工缝、沉降缝处的止水带若安装偏差、固定不牢或老化破损，易在结构变形时出现缝隙渗漏，进而导致衬砌表面出现湿渍、滴水甚至涌水现象。此外，防水材料在长期环境作用下，可能发生老化、腐蚀，降低抗渗性能，加剧防水系统的失效风险。

2.2 排水系统常见问题

公路隧道排水系统的问题主要集中在排水通畅性与排水构件耐久性上。洞内排水盲管与排水管易因围岩泥沙、衬砌施工残留物的淤积而堵塞，导致衬砌背后积水无法及时排出，进而增大衬砌承受的水压力，诱发防水系统破坏。地表排水设施若设计不合理或维护不及时，截水沟、防渗层可能因冲刷、沉降出现开裂，失去对地表积水的拦截作用，导致大量雨水渗入地下，增加隧道涌水量。排水沟道内壁易因污水中的腐蚀性物质长期侵蚀而出现破损，或在寒冷地区因冻融循环发生冻胀破坏，影响排水能力。同时，排水系统的连接部位若密封不佳，可能出现污水外渗，污染周边土壤与地下水，破坏生态环境^[2]。

2.3 系统协同问题

公路隧道防水与排水系统的协同不足是导致整体防护效果下降的重要原因。一方面，防水系统设计与排水能力不匹配，若防水措施不到位导致渗水量超出排水系统承载上限，会造成排水拥堵；反之，若排水系统设

计冗余过大,可能增加工程成本,且过度排水可能引发围岩失水固结,影响隧道结构稳定性。另一方面,施工环节的协同性欠缺,防水施工与排水构件安装顺序不合理,可能导致防水板被排水盲管戳破,或排水管道铺设影响防水层的完整性。在运营维护中,若仅关注单一系统的检修,忽视两者间的相互影响,例如未及时清理堵塞的排水管导致积水压迫防水层,或未修复破损的防水层致使渗水量增大加剧排水负担,都会形成恶性循环,降低整个防水排水系统的运行效能。

3 公路隧道防水排水系统常见问题成因分析

3.1 设计因素

设计环节不合理是系统问题的源头。部分设计对隧道地质水文勘察深度不足,未精准掌握地下水分布、水头压力及围岩渗透特性,导致防水等级偏低或排水容量不足。如富水地层采用常规防水方案,易因抗渗能力不足渗漏;排水管道直径与坡度设计不当,会降低流速增加淤积堵塞风险。同时,设计对系统协同性考虑欠缺,防水与排水措施衔接失衡,如防水层铺设范围与排水盲管布置不匹配、施工缝止水构造未结合结构沉降变形优化,易形成防水薄弱点。此外,对特殊工况考虑不周,寒冷地区未采取防冻胀措施、围岩稳定性差地段未设计加强型排水构造,进一步加剧故障可能性。

3.2 施工因素

施工操作不规范是系统功能失效的关键诱因。防水施工中,防水层铺设前初期支护表面未平整处理,尖锐凸起易刺破防水板;焊接工艺控制不当,如温度过高或焊缝搭接宽度不足,会造成防水板焊缝开裂。衬砌混凝土施工若振捣不密实、拆模过早或养护不到位,易产生蜂窝、麻面及收缩裂缝,形成渗水通道;施工缝、沉降缝处止水带安装偏移、褶皱或固定不牢,会在结构受力变形时失去止水作用。排水系统施工中,排水盲管安装前未清理孔眼堵塞物、管道连接不严密,或排水沟浇筑漏振、钢筋保护层不足,会导致排水不畅或结构破损。各工序衔接混乱,如防水施工与二次衬砌浇筑间隔过长,防水层长期暴露受损,也影响系统整体质量。

3.3 材料因素

材料质量缺陷或性能不匹配是重要影响因素。防水材料方面,高分子防水板若厚度不均、抗撕裂强度不足,易在施工或使用中破损;止水带采用再生橡胶等劣质材料,会因老化快、弹性不足,难以适应结构变形。排水材料中,塑料排水盲管抗压强度低,易在围岩压力下压扁堵塞;排水管抗腐蚀性差,长期接触污水会锈蚀或老化破损。衬砌混凝土若水泥用量不足、骨料级配

不合理或外加剂掺量不当,会降低抗渗等级和耐久性。且不同材料相容性不足,如防水板与粘结剂粘结差、止水带与混凝土结合不紧密,会导致界面出现渗漏通道,影响防水排水效果^[3]。

3.4 运营维护因素

运营维护缺失会加速系统功能退化。一方面日常巡检不到位,未能及时发现微小渗漏、管道初期堵塞等问题,小故障逐渐发展为大隐患。如衬砌表面湿渍未及时处理,渗水会侵蚀结构钢筋引发衬砌开裂;排水口杂物堆积未清理,会逐步造成管道堵塞。另一方面维护措施不合理,如高压冲洗堵塞管道时压力控制不当,可能损坏管道接口;修补破损防水层未彻底清理基层,导致修补处再次渗漏。同时,长期运营中环境因素累积作用,如地下水冲刷、污水腐蚀性物质侵蚀、冻融循环反复破坏结构,若未采取针对性维护措施,会不断削弱系统性能,最终导致故障频发。

4 公路隧道防水排水系统常见问题治理方案

4.1 防水系统问题治理方案

公路隧道防水系统的常见问题集中于混凝土结构裂缝渗漏、防水层破损失效以及施工缝与变形缝防水不当三类。(1)针对混凝土结构裂缝渗漏,采用压力注浆法治理,选用水泥基渗透结晶型防水材料,其可深入裂缝内部填充并形成稳定防水屏障。施工前需清理裂缝,借助高压注浆设备注入浆液,控制注浆压力以保证浆液充分扩散。(2)对于防水层破损失效,破损范围较小时采用局部修补:切除破损部分后重新铺设高分子防水卷材,通过热熔焊接密封接缝;破损范围较大时则整体更换防水层,更换前处理隧道基层保证其平整、干燥、洁净,铺设时预留充足搭接长度确保防水效果。(3)施工缝与变形缝作为防水薄弱环节,治理时设置中埋式与外贴式止水带的双重防水构造,中埋式止水带需居中固定防止位移,外贴式止水带与防水层紧密贴合且接缝用密封胶密封;同时在施工缝涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料,进一步强化防水性能。

4.2 排水系统问题治理方案

公路隧道排水系统常见问题有排水盲管堵塞、排水管破裂、排水坡度不足导致排水不畅等。(1)针对排水盲管堵塞,可采用高压水冲洗法进行疏通,利用高压水枪产生的高压水流冲洗盲管内部的杂物,冲洗压力一般为2-3MPa,对于堵塞严重的部位,可采用机械疏通与高压水冲洗相结合的方式。还可在盲管进水口设置过滤装置,如土工布滤网,防止杂物进入盲管。(2)排水管破裂通常因管材质量不合格或施工不当造成的,治理时需

更换破损的排水管,更换的排水管应具有足够的强度和刚度,满足隧道排水的要求。安装时应保证管道接口严密,采用橡胶圈密封连接,接口处应做好防腐处理。对于埋地排水管,还应做好回填土的压实工作,避免管道因沉降而破裂^[4]。(3)排水坡度不足会导致雨水在隧道内积聚,治理时需重新调整排水坡度,确保排水坡度不小于2‰。对隧道底部的排水系统,可采用增设集水井和抽排水设备的方式,提高排水效率。集水井的间距一般为50-80m,集水井内设置潜水泵,当井内水位达到设定高度时,潜水泵自动启动排水,将水排至隧道外的排水系统。

4.3 系统协同问题治理方案

公路隧道防水排水系统协同问题主要表现为防水系统与排水系统配合不当,导致防水失效后排水系统无法及时排出渗水,进而引发隧道病害。治理时需从设计、施工和运维三个阶段进行协同管控。(1)在设计阶段,应进行系统的水力计算,确保防水系统的设防等级与排水系统的排水能力相匹配,根据隧道的地质水文条件,合理确定防水卷材的厚度、排水盲管的管径和间距等参数。(2)施工阶段,应加强防水与排水施工的衔接,防水层施工完成后及时进行排水系统的安装,避免防水层长期暴露在空气中受到损坏。同时,要严格控制施工质量,确保防水系统和排水系统的施工符合设计要求,如防水层的搭接缝焊接质量、排水盲管的安装坡度等^[5]。

(3)运维阶段,应建立防水排水系统协同监测机制,采用自动化监测设备对隧道内的渗水量、水位、温度等参数进行实时监测,监测数据传输至监控中心,当监测到异常情况时,及时发出预警信号。运维人员根据预警信息,及时对防水排水系统进行检查和维修,确保系统协同工作正常。并定期对防水排水系统进行联合检测,评估系统的协同工作效果,及时发现并解决潜在问题。

4.4 治理方案的选择原则与注意事项

治理方案的选择应遵循安全性、经济性、适用性和耐久性的原则。(1)安全性是首要原则,治理方案必须确保隧道结构的安全和运营的安全,避免因治理不当引发新的病害;经济性要求在保证治理效果的前提下,选

择成本较低的治理方案,合理控制工程造价;适用性要求治理方案应根据隧道的实际情况,如地质水文条件、病害类型和严重程度等进行选择,确保方案切实可行;耐久性要求治理方案所采用的材料和工艺具有较长的使用寿命,减少后期维护成本。(2)在治理过程中,还应注意以下事项:一是施工前应进行详细的勘察和检测,明确病害的具体情况,为治理方案的制定提供准确依据;二是严格控制材料质量,选用符合国家标准和设计要求的防水材料、排水管材等,材料进场前需进行抽样检测,合格后方可使用;三是加强施工过程中的质量控制,严格按照施工规范 and 设计要求进行施工,做好每道工序的质量检验,上道工序合格后方可进行下道工序;四是施工过程中应采取有效的安全防护措施,确保施工人员的人身安全;五是治理完成后应进行效果评估,监测隧道内的渗水量、排水情况等指标,确保治理效果达到预期目标。

结束语:公路隧道防水排水系统是一项复杂的系统工程,需兼顾防水与排水的协同性、材料耐久性及施工规范性。本文通过对系统常见问题及成因的分析,提出的治理方案为工程实践提供了可行路径。未来,应进一步加强智能化监测技术应用,实现系统病害的早期预警与精准治理;同时持续研发新型高性能材料,结合工程实际优化设计方案。只有将设计、施工、运维全过程紧密衔接,才能从根本上提升系统可靠性,为公路隧道的长期安全稳定运营提供坚实保障。

参考文献

- [1]张明轩,刘泾堂.高速公路黄土隧道防水排水系统研究及工程实践[J].工程建设与设计,2023(18):65-67.
- [2]张伟.公路隧道渗漏水原因排查及防水施工技术优化研究[J].交通建设与管理,2025(5):189-191.
- [3]王建峰.公路隧道施工防排水施工控制要点探讨[J].中国科技纵横,2023(1):119-121.
- [4]陈哲明.公路隧道工程中防排水施工技术及其防治措施[J].建筑与预算,2021,(01):68-70.
- [5]马存安.公路隧道防排水工程施工技术分析[J].工程技术研究,2021,6(09):97-98.