

大准线隧道渗漏水病害整治措施研究

王福

国能新朔铁路有限责任公司大准铁路分公司

DOI:10.32629/etd.v6i5.16883

[摘要] 大准线隧道由于其自身结构特点的特殊性及地形环境的复杂性,施工工序多,老旧隧道施工工艺落后,结构特殊且复杂,结构受力状态变化频繁,质量控制点多,施工技术难度较大和维修不便等,渗漏水是已建隧道中普遍存在的病害之一。任其发展下去,将导致围岩完整性与稳定性越来越差,衬砌因渗流溶蚀而破坏越来越严重。进而引起洞内照明、通风、排水等设施损坏,甚至造成严重的行车安全事故。本文通过对国内外营业线隧道渗漏水整治措施进行分析研究,提出高性能矿物基类胶凝材料固化浆液注浆和高性能水反应非乳化胶凝剂快捷注浆的施工工艺与技术等新的整治措施。

[关键词] 大准线; 渗漏水; 矿物基类胶凝材料; 整治措施

中图分类号: O741+.2 **文献标识码:** A

Research on Remediation Measures for Water Leakage in Dazhun Line Tunnels

Fu Wang

Dazhun Railway Branch, Guoneng Xinshuo Railway Co., Ltd.

[Abstract] Due to the special structural characteristics of the Dazhun Line tunnels and the complexity of the terrain environment, these tunnels involve multiple construction procedures. The construction technology of older tunnels is outdated, their structures are special and complex, the structural stress state changes frequently, there are many quality control points, the construction techniques are difficult, and maintenance is inconvenient. Water leakage is one of the common defects in existing tunnels. If left unaddressed, it will lead to deteriorating integrity and stability of the surrounding rock, while the lining will suffer increasingly severe damage due to seepage erosion. Consequently, the tunnel's lighting, ventilation, and drainage facilities may be damaged, and serious traffic safety accidents could even occur. This paper analyzes and studies domestic and international remediation measures for tunnel water leakage and proposes new remediation measures, including grouting with high-performance mineral-based cementing material solidification slurry and rapid grouting with high-performance water-reactive non-emulsified cementing agents, along with related construction techniques and technologies.

[Key words] Dazhun Line; water leakage; mineral-based cementing materials; remediation measures

引言

大准铁路自建成通车以来,至今已运营近30年,2023年5月组织对全线隧道进行综合检测,劣化等级为A1级的隧道病害占全部检测隧道的28.6%;劣化等级为B级的隧道占全部检测隧道的57.1%;劣化等级为C级的隧道占全部检测隧道的11.4%。主要存在衬砌脱空、渗漏水、冬季结冰等严重病害。因此,本文通过对现有整治技术、整治材料进行分析研究,研究提出高性能矿物基类胶凝材料快捷注浆的施工技术与工艺、工程质量检测方法与合格评定标准,建立注浆设计理论与方法,并制定高性能矿物基类胶凝材料注浆设计技术标准,便于高新材料技术大范围推广应用,最终实现规模应用,实现营业线隧道渗漏水及结冰病害

的永久整治。

1 大准线隧道渗漏水病害原理

1.1 渗漏水病害作用原理

渗漏水病害的本质是地下水或地表水突破隧道防排水体系,通过介质通道与结构缺陷进入洞内,引发物理作用与化学作用双重破坏的过程。

1.2 渗流传导原理

隧道建成后形成山体地下水的人工集聚通道,当围岩与含水层连通时,地下水在水头差作用下,通过围岩裂隙、衬砌孔隙及结构接缝等通道渗透。其渗流规律遵循达西定律,渗流量与介质渗透系数、水头差及渗流路径长度直接相关,在岩溶发育区或

断层破碎带,常因裂隙集中形成集中涌水通道,导致涌水量呈非线性增长。

1.3物理破坏原理

地下水进入隧道后,在环境变化与荷载作用下产生物理破坏:寒冷地区的冻融循环使衬砌内部水分结冰膨胀,产生冻胀应力导致裂缝扩展;干湿交替环境中,盐分在衬砌孔隙内结晶析出,形成结晶压力造成混凝土酥裂剥落;列车动荷载则对含水软化的道床产生反复抽吸与挤压,诱发翻浆冒泥病害。

1.4化学侵蚀原理

当环境水中含有硫酸盐、镁盐、氯离子等侵蚀性介质时,会与衬砌混凝土发生化学反应:硫酸盐与水泥水化产物生成膨胀性钙矾石,导致混凝土开裂;镁盐引发水泥石中硅酸钙水化产物分解,降低结构强度;酸性水则直接溶解混凝土中的碳酸钙成分,造成衬砌疏松剥落,最终削弱结构承载能力。

2 渗漏水病害核心成因

大准线老旧隧道渗漏水病害的形成是地质环境、设计缺陷、施工质量、材料老化及运营管理等多因素长期耦合作用的结果。

2.1地质与水文条件先天不足

隧道穿越含水地层是渗漏水的基础诱因,如砂砾土、漂卵石层等松散含水地层,节理裂隙发育的岩层,以及与隧道连通的岩溶溶洞、暗河等,为地下水提供了天然渗透通道。浅埋隧道地段的地表水易沿覆盖层裂缝下渗,而西南、中南等岩溶发育地区的长隧道,常因地下水补给充沛且水压高,成为涌水、涌砂灾害的高发区域。

2.2设计方案存在历史局限

早期隧道设计对水文地质勘察不足,防排水系统设计考虑不周:部分隧道未根据地质条件确定合理防水等级,排水坡度设计不合理;止水带、防水板等材料选型缺乏针对性,未考虑侵蚀性水环境的特殊要求;对结构抗冻、防蚀未做专项设计,防寒排水系统缺失,导致寒冷地区冻害频发。

2.3施工质量控制不到位

施工过程中的技术缺陷是渗漏水的直接诱因:混凝土浇筑振捣不充分,形成蜂窝、麻面及孔隙,降低自身抗渗能力;防水板铺设破损、焊接不牢固,止水带安装偏移、接头不牢,止水条安装不规范,导致关键防水节点失效;施工缝、变形缝未做有效防水处理,缝面清理不彻底,新旧混凝土粘结不良,形成渗漏通道;初支渗水未及时处理,引发积水倒灌。

2.4材料老化与结构劣化

大准线隧道的防水材料因长期受环境侵蚀与结构变形影响,出现耐久性失效:防水板、止水带等高分子材料老化龟裂,防水层与衬砌剥离;衬砌混凝土在长期干湿交替、冻融循环及化学侵蚀作用下,产生裂缝并不断扩展,结构完整性遭到破坏。同时,既有排水系统如盲沟、排水孔等年久失修堵塞,导致衬砌背后积水形成承压水,进一步加剧渗漏。

2.5运营管理与维护滞后

日常巡检不到位,未能及时发现早期渗漏水隐患;维修养护措

施缺乏针对性,对轻微渗漏水未及时处理,导致病害逐渐发展;部分隧道竣工验收时缺乏有效检验手段,对隐蔽渗水问题未能排查,运营后病害逐步暴露并恶化。

3.渗漏水病害整治技术路线

基于“防、排、截、堵结合,因地制宜,综合治理”的核心原则,构建“勘察诊断-源头防控-结构修复-长效运维”的全流程整治技术路线,实现渗漏水病害的标本兼治。

3.1第一步:精准勘察与病害诊断

采用综合勘察手段明确病害本质:通过地质雷达、红外探测等无损检测技术,结合钻孔取样分析,查明渗漏通道位置、地下水水源、水量及水质;检测衬砌混凝土强度、裂缝分布、钢筋锈蚀程度,判定侵蚀性介质类型及侵蚀等级;评估现有防排水系统功能状态,明确病害核心成因与严重程度,为整治方案制定提供科学依据。

3.2第二步:源头防控与水势调控

(1)截水减排:在隧道洞口及周边设置截水沟、排水沟,拦截地表水,减少地下水补给;对浅埋隧道上方覆盖层进行防渗处理,阻断地表水下渗路径。

(2)排水减压:改建或增设洞内排水沟、槽,优化排水坡度,确保排水通畅;通过钻孔降排技术,引排衬砌背后承压水,降低地下水压力;清理修复原有盲沟、排水孔等排水设施,恢复其排水功能。

(3)堵水防渗:对围岩裂隙及渗漏通道采用注浆封堵,选用低碱高抗硫酸盐水泥、双快水泥等专用注浆材料,或复合高分子材料,实现裂隙充填密实;在侵蚀性水环境中,采用抗侵蚀注浆材料,阻断化学侵蚀路径。

3.3第三步:结构修复与防水强化

(1)衬砌修复:凿除腐蚀、酥裂的混凝土表层,采用环氧树脂砂浆、抗化学腐蚀复合砂浆等耐蚀材料进行补强;对衬砌裂缝采用压力注浆封闭,必要时采用锚杆挂网喷射混凝土加固,恢复结构完整性与承载能力。

(2)防水系统补强:在衬砌内侧增设内贴式防水层,或在外侧修补外贴式防水层,选用与环境适配的抗老化、抗侵蚀防水材料;对施工缝、变形缝等关键节点进行专项处理,更换失效止水带、止水条,采用密封材料加强密封,形成完整防水体系。

(3)提高结构抗渗性:对衬砌表面涂刷防水砂浆或防腐涂层,采用防腐混凝土进行局部置换,通过添加减水剂、引气剂等外加剂,提高混凝土密实度与抗渗、抗冻性能。

3.4第四步:分类施策与专项整治

针对不同病害类型与环境条件优化整治方案:寒冷地区隧道重点增设防寒排水系统,采用保温材料包裹衬砌,防止冻胀开裂;岩溶地区隧道采用“注浆封堵+引流疏导”结合技术,处理溶洞与暗河涌水;侵蚀性水环境隧道优先选用抗硫酸盐、抗氯盐材料,结合排水降低地下水侵蚀性;道床翻浆冒泥地段,采用换填隔水层、增设排水盲管等技术,恢复道床稳定性。

3.5第五步:长效运维与动态监测

建立常态化巡检机制, 定期检查防排水系统运行状态与衬砌结构完好性; 安装地下水压监测、衬砌渗漏水监测及结构变形监测设备, 实现病害动态预警; 对整治后的隧道进行定期复查与维护, 及时处理新出现的渗漏隐患, 形成“治理-监测-维护”的闭环管理体系, 延长整治效果的耐久性。

4 大准线隧道渗漏水的整治措施

针对国内外渗漏水材料和整治技术的发展现状, 笔者认为大准线隧道渗漏水病害的整治需要采取以下措施:

(1) 研发新的高效能矿物基固化剂。针对季冻区重载铁路隧道围岩注浆止水与防渗对浆液性能的要求, 首先在天然矿物结晶原理的基础上, 采用无任何环境、土壤与地下水污染的多种天然矿物材料, 通过精细分级、调配且超细研磨、活化处理, 研制一种新型高性能矿物基类固化剂, 作为开发高新矿物基类胶凝材料所需的外加剂。

(2) 研制一种新型水反应非乳化胶凝剂。针对季冻区重载铁路隧道破损衬砌的裂缝封堵、裂缝区补强、潮湿或水环境注浆等对浆液性能要求, 以工程中广泛应用且无污染的多种高聚物为基础, 研制一种专用的高新注浆材料(水反应非乳化胶凝剂), 该种浆液应具有水反应特性、遇水不乳化、快速胶凝固化、固化微膨胀、固化强度超过衬砌混凝土强度等特点。同时, 通过科学调配形成不同条件下胶凝剂配比方案与制备工艺, 形成高聚物的类型确定与选择标准。

(3) 开发新型水反应非乳化胶凝剂注浆技术与工艺, 并包含与之对应的质检方法与标准: 对于正在运行中的交通隧道具有不允许长时间中断行车条件下注浆施工有限、洞内作业空间有限、注浆压力可控等特点。因此, 要求针对研制的新型水反应非乳化胶凝剂的技术性能, 有针对性的研究相应的快捷注浆技术及其工艺流程, 确保研制的新型水反应非乳化胶凝剂注浆材料在较短时间内注入所有裂隙, 并取得理想的注浆效果。针对新型水反应非乳化胶凝剂技术性能与相应的注浆技术、工艺流程, 提出一种适用于季冻区重载铁路隧道时间和空间要求的注浆施工质量抽检方法与判定标准。

(4) 针对选取的工程示范, 现场调查, 全面掌握隧道渗水情况、冻害特征、冻害分布与相应的围岩类型、结构, 现场就地就近采取分布广泛且具有一定地域代表性的制浆土料—粘土或粘性土, 并详细检测土料的颗粒成分、粘粒含量与粘土矿物类型、碱金属与碱土金属元素、活性化学成分等, 基于各项检测结果,

根据围岩注浆止水与冻害治理对浆液性能要求, 选择分布广泛、易于获取、成本低廉且无任何污染的天然多种矿物材料, 通过精细的化学反应分析与计算, 研制新型矿物基类固化剂, 作为制备注浆材料的高性能外加剂, 研制的新型矿物基类固化剂、制浆粘土或粘性土, 研发高性能矿物基类胶凝材料—注浆材料。

在重载铁路隧道渗漏水及冻害问题, 综合“天窗”时间段和作业受限条件, 研究高性能矿物基类胶凝材料快捷注浆的施工技术与工艺、工程质量检测方法与合格评定标准, 建立注浆设计理论与方法, 并制定高性能矿物基类胶凝材料注浆设计技术标准, 便于高新材料技术大范围推广应用, 最终实现规模应用。

5 结语

根据大准线隧道冻融破损衬砌的裂隙特征与分布、尺度与衬砌裂隙封堵与裂隙区补强注浆对高聚物材料浆液的性能要求、潮湿或富水环境灌注的施工条件, 研发的高性能矿物基类胶凝材料固化浆液注浆和高性能水反应非乳化胶凝剂快捷注浆的施工工艺与技术, 在岩土注浆堵漏、防渗、加固、增强与抗震加固、滑坡防控、沉降控制等方面具有很高的优越性, 已经成功应用在各种工程案例之中。

[参考文献]

- [1] 骆建军. 运营期隧道渗漏水治理研究现状综述[J]. 隧道与轨道交通, 2023, S01(1): 5.
- [2] 冯永, 骆建军. 水性持粘喷涂技术及其在地下工程防水中的应用[J]. 隧道与轨道交通, 2019, S01(0): 83-87.
- [3] 王登科, 骆建军, 王官清. 隧底富水围岩脱空条件下重载铁路隧道动力响应[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2023, 7(55): 33-42.
- [4] 王登科, 骆建军, 王官清, 等. Dynamic response of the tunnel bottom structure considering groundwater influence under heavy-haul train loading[J]. Structures, 2022, 11. 46, 1469-1479.
- [5] 王登科, 骆建军, 苏洁, 等. Research on dynamic response and fatigue life of tunnel bottom structure under coupled action of train load and groundwater[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2022, 10. 107405(161).

作者简介:

王福(1975—), 男, 汉族, 准格尔旗人, 本科, 助理工程师, 铁路线路、桥隧维修。