

探究隧道工程中的隧道排水施工

李胜利

山西省公路局晋城分局 山西 晋城 048000

摘要：隧道排水施工是保障隧道工程安全推进与长期稳定的关键技术。本文系统分析排水施工在维持围岩稳定、改善作业环境、预防地质灾害等方面的重要作用，重点探讨地表截排水、洞内系统布设、超前地质预报与预排水、衬砌背后排水及特殊地质条件排水等核心工艺，并从材料质量控制、施工过程管理、现场安全与应急响应等方面提出系统的控制措施，为隧道排水施工提供全面技术与管理依据。

关键词：隧道工程；隧道排水；施工技术；管理

引言

隧道工程常处于复杂水文地质环境中，施工期排水系统失效易导致洞内积水、围岩软化及结构受损，严重影响施工安全与工程进度。随着隧道建设向深部、复杂地层延伸，排水技术作为关键辅助工程，其科学设计与精细施工日益重要。本文基于隧道排水施工现状，系统梳理其技术体系与管理要点，重点分析不同排水工艺的适用条件与实施关键，旨在提升隧道工程的排水系统可靠性，为后续技术细节与质量控制措施的进行奠定基础。

1 隧道工程施工排水技术的重要性

隧道工程施工排水技术是保障工程安全与质量的关键环节，其重要性体现在施工全周期的各个环节；在地下作业环境中，地下水渗流、雨水积聚以及施工用水残留容易形成积水隐患；若排水系统不完善，积水问题将直接威胁施工安全与结构稳定，有效实施排水技术能够降低围岩含水率，增强岩体强度，避免因水压过大引发塌方、滑坡等地质灾害，确保开挖面始终保持稳定状态。科学的排水措施还能减少施工区域的湿度，改善作业环境，降低工人因长期处于潮湿环境而患上关节病、皮肤病等职业健康问题的风险，从而间接提升施工效率；排水技术通过合理布设排水管网、设置集水井与泵站，实现动态排水调控，有效防止地下水对混凝土、钢筋等建筑材料产生腐蚀，延长工程整体使用寿命。在富水地层或断层破碎带等复杂地质条件下，精准测算涌水量、优化排水路径显得尤为重要，这能够有效控制地下水位，为开挖、支护等工序提供干燥作业面，减少因积水导致的停工时间，确保工程按计划顺利推进。随着技术的不断进步，持续优化排水技术正推动施工工艺的创新发展，采用新型防水材料如高分子防水卷材，以及智能监测设备如水位传感器与自动化泵站，可以提升排水系统的自动化程度与可靠性，实现远程监控与智能调

控，为隧道工程的安全建设提供坚实的技术支撑，更好地适应现代工程对高效、环保、智能化的需求^[1]。

2 隧道排水施工核心技术与工艺

2.1 隧道工程的隧道地表排水技术

隧道工程的顺利推进与长期稳定运行需依托完善的地表排水体系，地表排水作为地下水治理的首道屏障，通过多种源头治理工艺有效控制地表径流，减少外部水体向洞内渗透，降低地下水位高度，为施工提供干燥安全的作业条件。截水沟是地表排水的主要设施，布设需环绕隧道洞口仰坡及易汇水的地表区域，断面规格应根据汇水面积与气候特征科学设计，确保过水能力充足；施工采用混凝土预制件或现浇结构提升耐久性，需精确控制沟底坡度走向，保证水流顺畅无阻滞，出水口应引导至稳定区域，避免水流冲刷引发边坡问题。地表注浆堵水适用于岩体裂隙发育且渗水路径明确的区段，通过地面钻孔至目标岩层，将配制浆液压入裂隙网络，浆液凝固后形成连续阻水屏障，切断地表水与洞内的水力联系，注浆参数需结合岩体实际设计，确保阻水效果可靠。植被防护作为生态型辅助措施，在浅埋段地表种植深根系植物，利用根系固土作用增强表层土体稳定性；植物冠层与地表覆盖物可减缓雨水汇流速度，增加下渗阻力，与其他工程措施协同使用可降低总渗水量，尤其适合生态敏感区域的隧道工程。

2.2 隧道工程的隧道洞内排水系统施工

洞内排水系统是隧道工程的关键子系统，负责汇集疏导围岩渗水，防止洞内积水，保障施工安全与结构耐久性，其立体网络结构依靠环向、纵向、横向管件协同作用实现功能。盲管作为核心部件，分为环向与纵向两种，环向盲管常用弹簧透水管或带孔波纹管，沿衬砌拱墙环向布设；间距视地层渗水强度灵活调整，渗水量大的断层破碎带需加密布设，安装时需在初期支护完成后

紧贴岩面,保证透水孔道朝向渗水岩体,并用射钉或钢丝固定牢固。纵向盲管沿边墙底部铺设,承接环向盲管引来的水流;安装要保持一定纵向坡度,以实现水流重力自流,管体外包土工布滤层可拦截泥沙,避免堵塞。纵向排水沟分中心沟与边沟,建在路面两侧或下方,结构尺寸依水力计算确定,满足最大涌水量排放。施工要精准控制沟底高程与坡度,用激光水准仪定位;横向导水管在衬砌浇筑时预埋于仰拱部位,与纵向盲管对接导流,接口要严密密封,防止混凝土浆液渗入,保障系统长期有效^[2]。

2.3 隧道工程的超前地质预报与预排水技术

复杂地质条件下隧道施工需重视超前探测与预排水,这对预防突水事故至关重要;超前钻孔探测是直接的地质勘察手段,通过分析钻探中的岩屑成分、出水位置及水量水压等参数,可判断前方地质条件与含水状况;若钻孔出现大流量高压涌水,表明前方存在富水区段,需及时采取应对措施,避免突水风险。管棚注浆工艺适用于大范围富水破碎带处理;施工时先沿开挖轮廓线环向布设管棚钻孔,插入带孔花管后实施压力注浆,浆液在岩体裂隙中扩散凝固,形成兼具支护与堵水功能的拱形壳体,为后续开挖提供安全屏障;该工艺通过加固岩体、封堵渗水通道,有效提升施工安全性。井点降水技术主要应用于浅埋富含水松散地层,通过在隧道周边设置降水井群,利用水泵持续抽水形成降水漏斗,使开挖作业在疏干条件下进行;施工时需严格控制降水过程,监测周边地层变化,防止过度降水引发地面沉降。该技术与超前钻孔、管棚注浆协同使用,可显著提升复杂水文地质条件下的施工安全水平,保障隧道长期稳定运行。

2.4 隧道工程的隧道衬砌背后排水施工

衬砌背后排水层构造是释放外围水压的核心措施,其施工质量直接关系隧道结构长期安全;无纺布铺设作为基础工序,需平整贴合于喷射混凝土基层表面,该材料兼具排水导流与缓冲保护双重功能,既能引导渗水顺畅导向排水盲管,又可防止防水板被基层凸起物刺穿损伤,铺设时要求材料与岩面紧密贴合,搭接宽度需符合工程标准,并采用专用固定件牢固安装,避免后续施工产生移位或空鼓。环向排水盲管安装于无纺布与防水板之间,需按设计间距沿隧道环向精确定位,固定过程中应使用专用卡箍确保盲管稳固,防止混凝土浇筑时发生位移;盲管两端与纵向排水管的衔接必须顺畅可靠,通常采用标准管件连接,确保水流无阻碍汇入主干系统,所有接口部位均需做好密封处理,防止浆液渗入造成堵塞。该工序的精细程度直接决定背后排水系统的长期有

效性,施工人员需严格遵循工艺要求,从材料选择到安装细节均需严格把控,确保排水层构造在隧道运营期间持续发挥水压释放功能,保障结构安全稳定^[3]。

2.5 隧道工程的特殊地质条件下排水工艺

特殊地质环境对隧道排水技术提出更高要求,需根据具体条件采取针对性措施,岩溶地区排水重点在于疏导溶洞水系,处理原则以引导为主、封堵为辅;已探明的大型径流通道不宜简单封堵,避免水位抬升引发次生灾害,应设置专用泄水洞或导流管将水流有序引入排水系统;对交叉溶洞可采用碎石回填与盲管导排结合的方式,所有处理措施均需基于水文地质详细勘察数据,确保水流通畅且不破坏地质平衡。冻土隧道排水核心是防冻保温,需采取综合措施防止排水系统冻结失效,常用方法包括对排水沟和水仓实施保温包裹,严寒区段可增设伴热装置。通过优化排水路径减少水平管段,增大排水坡度促进快速排放,避免水流滞留结冰,水仓结构需专门设计保温层并配备加热设备,在施工过程中要严格控制保温层连续完整性,确保系统在低温环境下正常运行,这些特殊工艺需充分考虑地域特点与环境因素,保证排水系统在特殊地质条件下的稳定性和耐久性。

3 隧道排水施工质量控制与安全管理

3.1 排水材料质量管控

隧道排水系统的长期稳定运行离不开优质材料的支撑,排水管材作为系统核心组成部分,其质量管控需从源头着手;管材进场前需核验产品合格证与性能检测报告,重点检查管径尺寸、壁厚均匀度及环刚度指标。对于弹簧排水管应测试其抗压变形能力,波纹管需检验接口密封性能,现场抽样进行压力试验,确保管材在额定水压下无渗漏无变形。防水板材料应注重厚度均匀性、抗撕裂强度及耐腐蚀性能验证;每卷材料展开检查表面是否平整无缺陷,搭接边完整性需特别关注。密封胶材料需测试其与混凝土和塑料管材的粘结强度,验证其长期浸水环境下的耐久性能,所有材料存储应避免阳光直射,分类堆放并设置清晰标识;特殊环境使用的材料还需提供耐低温或耐腐蚀专项检测证明。材料使用前需进行现场复试,确保其技术指标符合工程设计要求,建立完善材料追溯机制,记录每批材料的来源、检测结果及使用部位,为后续质量追溯提供依据^[4]。

3.2 施工过程质量控制

排水系统施工质量直接影响隧道整体防水效果,需建立全过程质量控制体系;排水管安装精度控制包括平面位置、高程及坡度校验。使用全站仪精确定位排水管安装轴线,水准仪严格控制纵向坡度,确保满足设计

要求的排水坡度,环向盲管安装需保证与岩面密贴,固定间距符合设计规定;纵向排水管连接需采用专用接头并确保密封可靠,管道接头密封性检测采用分级压力测试法,先进行初始压力试验,在系统安装完成后进行整体密封试验。测试压力保持时间需达到规范要求,期间检查所有接头无渗漏为合格;闭水试验在排水系统关键区段进行,注水至设计水位后持续观察水位变化,计算单位时间渗漏量是否符合标准。施工过程中需加强成品保护,防止后续作业损坏已安装的排水系统;混凝土浇筑前需对预埋管道进行专项检查,确保管道通畅、位置正确,每个施工环节都需留存影像资料与检测记录,形成完整的质量验收档案。

3.3 施工现场安全管理

隧道排水施工面临复杂的作业环境,需要采取系统化的安全管理措施;有限空间作业主要集中在竖井、集水仓等部位,必须严格执行通风监测制度。作业前使用专业设备检测氧气浓度、有毒有害气体含量,确保空气质量达标,通风系统应保证足够的新风量,在作业期间持续运行。人员进入需佩戴防护装备,设置专人监护并保持内外联络畅通,临时用电安全管理重点包括线路敷设规范、漏电保护完善、设备接地可靠。配电箱设置防雨防潮措施,电缆线采用架空或埋地保护,避免机械损伤;所有电动工具使用前进行绝缘检测,潮湿环境作业采用安全电压。高空作业主要出现在高位排水管安装环节,必须搭设稳固的操作平台,设置防护栏杆与安全网;作业人员使用双钩安全带,移动操作平台需经安全检查确认。现场还需做好防滑防摔措施,及时清理作业面积水杂物,建立日常安全巡查制度,及时发现并消除安全隐患。

3.4 排水系统应急管理

完善的应急管理体系是应对隧道排水施工风险的重要保障,突发涌水应急排水预案需根据地质预报资料提前制定,明确不同涌水量的应对方案。现场配备足够数

量的应急排水泵,储备充足的防汛物资,排水泵电源采用双回路供电或配备发电机组,确保突发情况下持续排水能力。建立涌水监测预警机制,设置水位报警装置,发现异常立即启动应急程序;设备故障备用方案要求关键排水设备实行一用一备配置,定期进行备用设备试运行。建立快速维修机制,储备常用易损配件,确保故障设备及时修复;对操作人员进行多技能培训,使其掌握基本故障判断与处理能力。人员疏散演练需制定详细的疏散路线与集结点,设置清晰的应急照明与指示标志;每季度组织全员应急演练,检验应急预案的可行性与有效性。演练后进行总结评估,持续改进应急管理措施,建立与相关单位的应急联动机制,确保在重大险情时能获得外部支援;对应急物资实行专项管理,定期检查更新,保证随时可用状态^[5]。

结束语:隧道排水施工是贯穿工程建设全过程的重要技术保障,其合理实施直接关系到工程安全、质量与运营寿命。本文系统总结了地表与洞内排水、超前预报预排水、衬砌背后排水及特殊地质应对等关键技术,并强调了从材料管控、施工质量到安全管理的全过程控制要点。未来应进一步加强排水技术的智能化与标准化研究,提升复杂水文地质条件下的系统适应性与可靠性,推动隧道排水施工向更高效、安全、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1]郭林深.旅游公路建设项目隧道工程防排水及衬砌施工工艺要点[J].汽车周刊,2025,(01):156-158.
- [2]豆海涛.公路隧道工程中防排水施工技术的应用[J].汽车画刊,2024,(08):248-250.
- [3]张兴辉.高速公路的隧道防排水工程的分析[J].产品可靠性报告,2023,(04):97-99.
- [4]陆国会.公路隧道排水设计与隧道路基病害防治[J].运输经理世界,2022(25):64-66.
- [5]方忠强,张鹏,刘毅等.堰筑法水下隧道变形缝渗漏病害与防水对策研究[J].隧道与轨道交通,2023,(S1):145-150.