

长距离输水隧洞施工要点及质量管理策略

马起栋 王俊珊

广州新珠工程监理有限公司 广东 广州 510610

摘要：文章围绕长距离输水隧洞展开，阐述了其施工的关键意义，包括水资源调配、生态环境保护、防洪减灾及技术产业发展等方面。详细介绍了施工要点，涵盖地质勘察、开挖支护、防水排水、通风运输管理。重点论述了质量管理策略，从人员管理、材料与设备管理、施工过程管理三方面入手，通过合理选配人员、严格控制材料设备质量、构建系统化施工过程管理体系等措施，旨在保障长距离输水隧洞施工质量，为类似工程提供参考。

关键词：长距离输水隧洞；施工要点；质量管理策略

引言

随着社会经济的快速发展和城市化进程的加速，水资源供需矛盾日益突出，长距离输水隧洞作为解决水资源空间分布不均的重要工程手段，其建设规模和数量不断增加。长距离输水隧洞施工面临地质复杂、难度大、技术要求高等挑战，施工环节失误易致质量安全问题。鉴于此，深入研究其施工要点与质量管理策略，对提升建设水平、保障质量安全、促进水资源合理利用意义重大，本文将展开系统探讨。

1 长距离输水隧洞施工的关键意义

长距离输水隧洞作为水利工程体系中的关键组成部分，其施工意义重大且深远。从水资源调配层面来看，它打破了地域限制，实现了水资源的跨区域输送与优化配置。在干旱缺水地区，通过长距离输水隧洞引入水源，能有效缓解当地水资源短缺状况，保障居民生活用水、农业灌溉用水以及工业生产用水的稳定供应，促进区域经济的可持续发展。在生态环境保护方面，长距离输水隧洞发挥着积极作用。它有助于维持区域水生态平衡，保障河流、湖泊等水体的生态流量，维护水生生物的生存环境。通过合理调配水资源，减少对地下水的过度开采，防止地面沉降、地下水漏斗等环境问题的出现，保护地下水资源。在防洪减灾领域，长距离输水隧洞具备重要的调蓄功能。在洪水季节，它可以将部分洪水引入其他区域，减轻下游地区的防洪压力，降低洪水灾害造成的损失。而在枯水季节，又能将储存的水资源释放出来，补充河流流量，保障航运、灌溉等用水需求，长距离输水隧洞的建设还推动了相关技术和产业的发展。在施工过程中，需要运用先进的勘察、设计、施工和监测技术，这促进了水利工程技术水平的提升，还带动了材料、设备制造等相关产业的发展，为经济增长和就业创造了有利条件。

2 长距离输水隧洞施工要点

2.1 地质勘察与分析

地质条件的精准评估是长距离输水隧洞施工的基础。在前期勘察阶段，综合运用地球物理勘探与钻探取样技术，构建隧洞沿线地质信息模型。地质雷达利用高频电磁波在不同介质中的传播特性，通过反射波的时间与强度差异，识别岩性变化界面与隐伏构造，可探测深度达数十米，分辨率达到厘米级。对于深部地质结构，采用岩芯钻探获取实物样本，通过微观岩相分析、岩石力学试验，测定岩石单轴抗压强度、弹性模量等参数。针对断裂构造，运用地震波CT成像技术，反演断层破碎带的宽度、填充物性质及地下水赋存状态。勘察数据需结合区域地质资料进行综合研判，利用地理信息系统（GIS）建立三维地质模型，直观呈现岩性分布、节理裂隙发育规律及地下水径流路径。在穿越碳酸盐岩地层时，通过物探与钻探结合，识别岩溶洞穴与管道系统，对出现的突水突泥风险进行分级评估。对于高应力区域，采用地应力测量技术获取最大主应力方向与量值，为支护设计提供力学参数。通过多技术融合的勘察手段，可将地质风险识别准确率提升至90%以上，为施工方案的动态调整提供科学依据，有效规避地质灾害对施工安全的威胁^[1]。

2.2 开挖与支护施工

（1）在长距离输水隧洞开挖环节，开挖方法的选择至关重要，它对施工效率与围岩稳定性有着直接影响。钻爆法凭借精确的炮孔布置和爆破参数设计，运用光面爆破技术精准控制开挖轮廓，将超挖量严格控制在15cm以内。对于软岩地层，采用微差爆破技术，有效减少振动效应，防止因爆破扰动引发围岩松弛。而TBM施工则依靠刀盘破岩与护盾支撑的协同作业，在硬岩地层中，掘进速度能达到10-15m/d。施工时，实时监测刀盘扭矩、

推进力等参数,实现掘进参数的动态调整。当面临岩爆风险时,采用超前应力解除爆破技术,降低围岩应力集中程度。(2)支护体系的构建需遵循“及时、协同、强化”原则。初期支护采用喷射纤维混凝土与预应力锚杆组合结构。喷射混凝土借助高压喷射,使骨料与围岩紧密嵌合,形成8-15cm厚的加固层;锚杆选用全长粘结型或预应力锚索,锚固力可达100-300kN,有效约束围岩变形。(3)二次衬砌采用C30-C40防水混凝土,通过台车液压系统实现全断面一次浇筑,控制混凝土坍落度在120-160mm,确保衬砌厚度均匀。在软弱围岩段,采用双层支护结构,中间设置缓冲层,吸收围岩变形能量,将衬砌结构安全系数提升至2.0以上,保障隧洞长期服役稳定性^[2]。

2.3 防水与排水处理

长距离输水隧洞长期处于地下复杂环境,地下水活动频繁,对防水性能要求极为严格。构建完善的防水体系是保障隧洞结构安全与输水功能稳定的核心举措。在防水措施上,需多管齐下。初期支护与二次衬砌之间设置防水板是关键环节。防水板需具备高柔韧性与卓越抗渗性,能够紧密贴合围岩表面,有效阻隔地下水向隧洞内部渗透。施工缝与变形缝作为防水薄弱部位,采用止水带进行密封处理。止水带需具备良好的弹性与耐久性,在混凝土收缩、温度变化等复杂工况下,仍能保持可靠的密封性能,防止地下水从这些部位渗入。对于特殊地质条件区域,如断层破碎带,可增设注浆止水帷幕,通过向围岩注浆,填充孔隙与裂隙,形成一道坚固的防水屏障。排水系统的合理设置同样至关重要。在隧洞底部设置排水沟,能及时汇集并排出施工过程中的积水以及运营期间的渗水。排水沟的尺寸、坡度等参数需根据隧洞的渗水量、汇水面积等因素进行科学设计,确保排水顺畅。可结合隧洞地形,设置横向排水管,将排水沟中的水引至隧洞两侧的排水盲管,增强排水能力。做好防水排水处理,可减轻地下水压力,保障隧洞衬砌结构安全,维持隧洞长期稳定运行。

2.4 通风与运输管理

(1)长距离输水隧洞施工空间封闭性强,通风状况不佳会带来严重后果。有害气体如瓦斯、一氧化碳等易在洞内积聚,导致空气质量恶化,威胁施工人员生命安全,还可能引发中毒、爆炸等事故。氧气含量不足会使施工人员出现缺氧症状,降低工作效率,影响施工进度。需依据隧洞的地质条件、断面尺寸、施工方法等因素,合理设计通风系统。压入式通风通过风机将新鲜空气压入洞内,排出污浊空气,适用于较短隧洞或通风要求不高的工况。混合式通风整合压入式与抽出式优势,

能明显提升长距离、大断面隧洞内空气质量。运行中需持续监测氧气、有害气体浓度等指标,确保符合安全标准。(2)高效的运输系统是保障长距离输水隧洞施工进度的关键。根据施工需求和现场条件,合理选择运输设备。有轨运输具有运输能力大、运行稳定等优点,适用于长距离、大运量的物料运输;无轨运输则具有机动灵活的特点,能适应复杂的地形和施工环境。在运输过程中,要优化运输路线,减少运输距离和运输时间。加强运输设备的维护和管理,确保设备处于良好的运行状态,降低设备故障率。合理安排运输计划,避免运输高峰期的拥堵,提高运输效率,降低运输成本。(3)通风与运输管理需协同配合。例如,合理规划运输车辆的行驶路线和时间,避免车辆行驶产生的尾气对通风系统造成干扰;通风系统要为运输设备提供良好的运行环境,确保运输人员的安全。通过通风与运输的协同管理,实现长距离输水隧洞施工的高效、安全进行^[3]。

3 长距离输水隧洞质量管理策略

3.1 人员管理

在长距离输水隧洞施工中,人员是质量管理的核心要素,合理选择与调配管理人员及施工人员至关重要。在管理人员方面,应选拔高技术水平、具备丰富管理经验的专业人才。此类管理人员需全程参与项目,对爆破和盾构施工进行整体全方位把控,专注于技术攻坚,确保施工方案的科学性与可行性。在项目推进过程中,管理人员要保持稳定,不随意调动,以此保障项目管理的连贯性,及时解决施工过程中出现的各类复杂问题。在施工人员方面,组建技术成熟、有多年现场经验的施工队伍。施工人员需具备高质量高素质,要有扎实的专业技能,还要有高度的责任心和严谨的工作态度。在人员培训体系构建中,针对施工的复杂性与专业性设计分层分类的课程。技术人员开展专项技术培训并结合BIM技术模拟施工场景;作业人员重点进行标准化施工工艺培训,利用VR虚拟仿真技术还原操作流程。培训效果评估采用理论考核与实操测试结合方式。建立科学的质量责任体系,依据施工组织设计,将质量目标分解至各部门与岗位,明确不同岗位在质量管理中的具体职责,通过签订质量责任书,将质量指标与个人绩效、薪酬挂钩,形成“全员参与、责任到人”的质量管理格局。

3.2 材料与设备管理

(1)材料质量是工程质量的基础。在采购阶段,构建供应商准入与评价机制,对钢筋、水泥、防水板等关键材料供应商开展实地考察,评估其生产工艺、质量管理体系及供货能力,优先选择通过ISO9001质量管理体系

认证的企业。材料进场时,实施“双检”制度,即供应商提供质量证明文件与现场抽样检测相结合。借助光谱分析仪、万能材料试验机等设备,对钢筋力学性能、水泥凝结时间与强度、防水板拉伸强度等指标进行检测,检测频率依规范及工程实际确定,确保材料性能达标。建立材料质量追溯系统,利用二维码标识实现材料全流程信息记录,以便质量问题发生时快速定位并处理。

(2)设备稳定运行是保障工程质量与进度的关键。制定设备全生命周期管理方案,选型时依据隧洞施工特点与技术要求,选择适应性强、可靠性高的设备,如硬岩地层选用大功率TBM掘进机。使用过程中,建立“点检-巡检-专项维护”三级保养制度,确保设备状态良好。运用物联网技术构建设备监控平台,实时采集设备运行参数,通过大数据分析预测设备故障,实现预防性维护,降低设备故障导致的质量波动与工期延误风险。(3)材料与设备管理需协同配合,确保材料供应与设备运行相互匹配,共同保障长距离输水隧洞工程质量^[4]。

3.3 施工过程管理

施工过程质量控制需构建系统化、动态化的管理体系。在施工方案管理方面,组织专家团队对施工方案进行多轮论证,重点审查开挖方法选择、支护参数设计、防水排水措施等关键内容,确保方案的科学性与可行性。施工过程中严格执行技术交底制度,采用三维动画演示、现场实操讲解等方式,将施工工艺、质量标准与安全要求详细传达至作业人员,避免因理解偏差导致质量问题。建立工序质量管控清单,明确各工序的质量控制点与检验标准,如在混凝土浇筑工序中,将配合比控制、浇筑速度、振捣密实度等作为关键控制点,制定量

化检验指标。质量检验环节采用“三检一验”制度,即班组自检、施工队互检、项目部专检与监理验收相结合。在长距离输水隧洞施工中,采用无损检测技术大显身手,地质雷达、超声波探伤等精准检测混凝土衬砌与钢结构质量。引入信息化管理平台,集成BIM模型与物联网传感器,实时采集围岩变形、混凝土强度等数据,经分析模型动态评估质量并预警。如果超限,自动生成整改通知单,明确责任与期限,复检确保问题闭环。

结束语

长距离输水隧洞施工是一项复杂的系统工程,涉及多个专业领域和技术环节。通过对施工要点和质量管理策略的深入研究,我们可以清晰地认识到,科学合理的施工要点把控和严格有效的质量管理是保障长距离输水隧洞施工质量的关键。施工时需综合考量地质与施工方法,精心规划实施。强化人员管理、把控材料设备质量,构建完善管理体系,并积极引入新技术,以推动水利工程建设发展。

参考文献

- [1]徐起.岩溶富水地质小断面长距离隧洞施工关键技术研究[J].建设机械技术与管理,2025,38(1):163-165.
- [2]苟三江.长距离输水隧洞施工中的关键问题及应对措施[J].四川水利,2023,44(5):75-77+85.
- [3]黄智刚,汪宏兵,郑守铭,赵健,卫魏,李国徽.长距离小断面输水隧洞施工下穿高速公路控制技术[J].西部探矿工程,2021,33(5):172-175.
- [4]林敬文.长距离输水隧洞混凝土质量保障关键技术探讨[J].广东建材,2019,35(6):31-33+21.