

水利工程中引水隧洞的施工技术浅析

罗祥雄

云南省滇中引水工程有限公司 云南 昆明 650051

摘要：引水隧洞施工涉及多方面技术，涵盖施工基础条件分析、洞口与洞身主体施工以及辅助施工技术。本文详细阐述了施工地质与水文条件分析、技术适配性要求及前期准备技术要点，介绍了洞口开挖、支护、防排水，洞身开挖、支护、衬砌等主体施工技术，以及洞内排水、通风、运输等辅助施工技术。这些技术相互配合，共同保障引水隧洞施工的安全、质量与效率，为水利工程中引水隧洞建设提供全面技术参考。

关键词：水利工程；引水隧洞；施工技术；洞身施工；辅助技术

引言：水利工程中的引水隧洞承担着引水、输水等关键功能，其施工质量直接影响水利工程的整体效益与运行安全。引水隧洞施工面临复杂的地质与水文条件，不同区域的地质构造、岩性特征以及地下水位、涌水量等因素，给施工带来诸多挑战。同时，施工过程涉及开挖、支护、衬砌等多个环节，各环节技术选择与实施质量相互关联。因此，深入研究引水隧洞施工技术，根据实际工程情况合理选用并优化技术方案，对于确保施工顺利进行、保障工程质量具有重要意义。

1 引水隧洞施工的基础条件与技术前提

1.1 施工地质与水文条件分析

施工地质与水文条件是引水隧洞施工开展的首要基础，直接决定施工技术选型与施工流程设计，其分析深度与精度对施工安全及技术实施效果具有重要影响^[1]。地质条件分析需聚焦隧洞穿越区域的岩层分布、岩性特征及地质构造，重点排查断层、破碎带、软岩等不良地质情况，通过加深炮孔、岩芯取样、地质素描等专业手段，明确岩层物理力学性质与完整性，为后续施工技术选择提供可靠支撑。水文条件分析主要围绕地下水位、地下水类型及涌水量展开，精准掌握地下水补给规律与渗透特性，排查地下水对隧洞施工的潜在影响，为排水技术设计与施工防护措施制定提供科学依据。地质与水文条件分析需贯穿施工前期全过程，通过系统勘查与数据整理，全面掌握施工区域地质水文禀赋，规避不良地质与水文条件引发的施工风险，为施工技术的合理应用奠定基础。

1.2 施工技术的适配性要求

引水隧洞施工技术的适配性是保障施工顺利推进的核心前提，需结合施工地质水文条件、工程建设要求，实现技术与实际施工场景的精准契合。技术适配性需兼顾地质适配与工程需求适配，针对不同岩性与地质构

造，选择对应开挖与支护技术，软岩及破碎带区域需侧重支护技术的强化，硬岩区域可优化开挖技术以提升施工效率。技术适配性还需考虑施工环境与工程规模，结合隧洞长度、断面尺寸等参数，合理选择开挖方式与施工设备，确保技术应用的可行性与经济性。同时，施工技术需适配水利工程引水隧洞的功能需求，兼顾施工安全与工程耐久性，确保技术实施过程中能够有效控制施工质量，减少施工过程中的各类隐患，实现施工技术与工程实际的深度融合，为施工有序开展提供技术保障。

1.3 施工前期准备技术要点

施工前期准备技术是引水隧洞施工的重要支撑，涵盖勘查、方案设计、设备调试等多个环节，直接影响后续施工进度与技术实施质量。前期准备需以地质水文勘查成果为基础，开展施工方案的科学编制，明确开挖、支护、排水等核心技术的实施细节，优化施工流程设计，确保方案具备较强的可操作性。设备准备需结合选定的施工技术，完成开挖、支护、通风排水等设备的选型与调试，确保设备性能符合施工技术要求，能够稳定运行。此外，需做好施工区域的场地平整、临时设施搭建及技术交底工作，明确各环节技术标准与操作规范，提升施工人员技术应用能力。前期准备技术需注重细节把控，通过全面的准备工作，规避施工过程中可能出现的技术衔接问题，为施工技术的顺利实施创造良好条件，保障引水隧洞施工有序推进。

2 引水隧洞洞口施工技术

2.1 洞口开挖施工技术

引水隧洞洞口开挖施工是工程启动阶段的关键技术环节，其实施质量直接影响后续施工的安全与整体效率^[2]。洞口开挖是引水隧洞施工的第一步，其重要性不言而喻。洞口开挖需以前期地质勘察成果为核心依据，结合洞口区域的地形地貌与岩土体特性，科学确定开挖轮廓

与施工顺序。科学确定开挖轮廓和施工顺序是确保开挖安全和质量的关键。开挖过程中需优先保障洞口边坡的稳定性,通过分层分段的作业方式,控制单次开挖高度与推进长度,避免因开挖扰动引发边坡失稳。分层分段作业是控制边坡稳定的有效方法,必须严格执行。针对洞口区域存在的不良地质层,需在开挖作业中同步调整施工策略,强化对岩土体变形的监测,确保开挖方向与设计要求保持一致。不良地质层是开挖中的难点,必须采取针对性措施。洞口开挖技术的实施需遵循自上而下的作业原则,先完成地表清理与截排水系统布设,再开展主体开挖工作,通过精细化的作业管控,为洞口施工奠定稳定基础。

2.2 洞口支护施工技术

洞口支护施工是保障隧洞洞口结构安全的核心技术,需与洞口开挖进程紧密衔接,形成有效的防护体系。洞口支护是确保洞口安全的重要措施,必须及时、有效。支护技术的选择需匹配洞口区域的地质条件,针对软岩、破碎带等地质情况,需采用高强度、高刚度的支护结构,提升洞口围岩的整体稳定性。不同地质条件需要不同的支护结构,必须因地制宜。支护施工需严格遵循设计规范,按照“先支护后开挖”的基本准则推进,通过系统的支护体系构建,有效约束围岩变形,防止岩土体松动脱落。“先支护后开挖”是确保支护效果的基本原则,必须严格遵守。在支护结构布设过程中,需精准把控支护构件的安装位置与施工参数,确保支护体系与围岩紧密贴合,形成协同受力的整体结构。支护构件的安装位置和施工参数直接影响到支护效果,必须精确控制。同时,需注重支护施工的连续性,避免出现支护滞后的情况,通过科学的支护技术应用,为洞口施工提供持久可靠的安全保障。

2.3 洞口防排水施工技术

洞口防排水施工是引水隧洞工程的重要组成部分,直接关系到洞口结构的耐久性与施工安全性。洞口防排水是确保洞口长期稳定的重要措施,必须重视。洞口区域受地下水、地表径流影响显著,防排水技术的实施需兼顾地表水拦截与地下水疏导,构建完整的防排水体系。完整的防排水体系是确保洞口干燥、安全的关键。地表水防治需在洞口周边设置截水沟、排水沟等排水设施,引导地表水流向指定区域,避免雨水直接冲刷洞口边坡或渗入隧洞内部。地表水防治是防止洞口水害的第一道防线,必须做好。地下水处理需结合洞口水文地质条件,通过设置排水盲沟、渗沟等设施,有效降低地下水位,减少地下水对洞口结构的渗透与侵蚀。地下水处

理是防止洞口水害的重要措施,必须根据实际情况采取有效措施。防排水施工需与洞口开挖、支护施工协同推进,确保排水设施的布设与施工进度相匹配,通过完善的防排水系统,降低水患对洞口施工的影响,保障工程长期稳定运行。

3 引水隧洞洞身主体施工技术

3.1 洞身开挖施工技术

引水隧洞洞身开挖施工是贯穿工程核心阶段的关键技术环节,其技术实施质量直接决定隧洞整体成型精度与施工安全^[3]。洞身开挖需以全段地质勘察结果为基础,结合洞身沿线岩性分布、地质构造特征,科学选定开挖方式与施工参数。针对完整硬岩段,可采用全断面或台阶法开挖,通过优化爆破参数控制超欠挖,保障开挖轮廓的规整性。面对破碎带或软岩段,开挖作业需调整为短进尺、弱扰动的施工模式,降低开挖对围岩的扰动,维持岩体自身稳定性。开挖过程中需严格遵循设计断面尺寸,精准控制轴线偏差与高程误差,同时配合洞内地质编录,实时反馈围岩变化情况,为后续施工技术调整提供依据。洞身开挖技术的实施需注重工序衔接的有序性,通过精细化的施工组织,实现开挖、出渣等环节的高效流转,为洞身施工推进奠定基础。

3.2 洞身支护施工技术

洞身支护施工是维持隧洞围岩稳定、保障施工安全的关键技术手段,需与洞身开挖进程紧密配合,形成动态防护体系。支护技术的选型需结合洞身不同段别的地质条件,针对硬岩段可采用锚杆结合喷射混凝土的轻型支护结构,强化围岩表层固结。对于软岩或破碎带段,需构建锚杆、钢拱架与喷射混凝土联合支护体系,通过钢拱架提供刚性支撑,锚杆实现深层岩体锚固,喷射混凝土形成封闭防护层,全面提升围岩整体承载能力。支护施工需严格控制施工时序,在开挖完成后及时开展支护作业,避免围岩长时间暴露引发松动变形。支护结构安装过程中需精准把控构件间距、安装深度等参数,确保各支护单元紧密衔接,形成协同受力的整体结构,通过持续的支护体系维护,保障洞身施工全过程的结构安全。

3.3 洞身衬砌施工技术

洞身衬砌施工是保障引水隧洞耐久性、实现工程功能的核心技术环节,主要承担防渗、承重与结构防护的作用。衬砌施工需在支护体系稳定后有序开展,根据工程设计要求,分为钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑与养护等关键工序。钢筋施工环节需严格把控钢筋规格、间距与保护层厚度,通过标准化的钢筋加工与安装,确保钢筋骨架的强度与稳定性。模板安装需保证模板的平

整度、刚度与密封性,避免出现漏浆、变形等问题,为混凝土成型提供精准轮廓。混凝土浇筑需采用连续浇筑方式,控制浇筑速度与振捣质量,避免出现蜂窝、裂缝等质量缺陷。衬砌混凝土养护需根据材料特性与环境条件,采用科学的养护措施,保证混凝土强度增长与抗渗性能提升^[4]。衬砌施工技术的实施需注重与前期支护的协同,通过高质量的衬砌结构,形成永久防护层,延长隧洞使用寿命,保障引水功能的稳定实现。

4 引水隧洞辅助施工技术

4.1 洞内排水施工技术

洞内排水施工技术是引水隧洞施工顺利推进的重要保障,直接关系施工安全与作业环境稳定性,依托水利工程隧洞施工相关技术规范,结合洞内水文地质条件构建科学排水体系。洞内排水需针对施工过程中出现的地下水、施工废水等不同水源,采取差异化处理措施,实现水源有序疏导与排出。地下水处理需结合洞身涌水量大小与渗透特性,布设排水盲沟、渗水管等设施,将地下水引入集水井,再通过排水泵组抽排至洞外,有效降低洞内地下水位,减少地下水对施工工序的干扰。施工废水需经过沉淀处理后再进行排放,避免废水携带泥沙堵塞排水设施,同时减少对周边环境的影响。排水施工需与洞身开挖、支护等工序紧密衔接,实时监测洞内水位变化,根据水位动态调整排水设备运行参数,确保排水系统始终处于高效运行状态,为洞内施工创造干燥、安全的作业环境。

4.2 洞内通风施工技术

洞内通风施工技术是保障施工人员作业安全、提升施工效率的关键辅助技术,遵循隧洞施工通风相关技术标准,结合隧洞长度、断面尺寸及施工人员数量,设计合理的通风系统。洞内通风核心目的是排出施工过程中产生的粉尘、有害气体,引入新鲜空气,维持洞内空气质量符合作业标准。通风系统布设需根据隧洞施工进度分段实施,采用压入式、抽出式或混合式通风方式,合理布置通风管道与通风设备,确保通风气流均匀覆盖洞内各个作业区域。通风设备选型需匹配隧洞通风需求,注重设备运行稳定性与节能性,定期对通风管道进行检查与清理,避免管道堵塞影响通风效果。同时,需实时监测洞内空气质量,根据粉尘浓度、有害气体含量调整通风强度,保障施工人员身体健康,为洞内施工有序开

展提供环境支撑。

4.3 洞内运输施工技术

洞内运输施工技术是衔接洞身开挖、出渣、材料供应等各工序的核心纽带,直接影响施工进度与作业效率,结合隧洞断面尺寸、施工强度及运输物料类型,制定科学的运输方案。洞内运输主要分为渣土运输与材料运输两类,渣土运输需选用适配隧洞断面的运输设备,优化运输路线设计,避免运输过程中出现拥堵,同时做好渣土密闭运输,减少粉尘扩散^[5]。材料运输需根据材料特性分类运输,钢筋、模板等大宗材料采用专用运输设备,确保运输过程中材料完好无损,小型耗材采用集中运输方式,提升运输效率。运输施工需建立完善的调度机制,合理安排运输车次与运输时间,实现开挖出渣与材料供应的有序衔接。同时,需加强运输设备的日常维护与检修,及时排查设备故障,避免设备损坏影响运输进度,通过高效的洞内运输技术,保障各施工工序高效流转,推动引水隧洞施工顺利推进。

结束语

引水隧洞施工技术的合理应用是保障水利工程顺利建设的关键。从施工基础条件的精准分析,到洞口与洞身主体施工技术的精细实施,再到洞内辅助施工技术的有效配合,每个环节都紧密相连、不可或缺。通过科学选择施工技术,严格把控施工过程,能够显著提升引水隧洞施工的质量与安全性,降低施工风险与成本。在后续的水利工程引水隧洞建设中,应持续总结经验,不断优化施工技术,以适应不同工程场景的需求,推动水利事业稳步发展。

参考文献

- [1]刘敬.水利工程中引水隧洞的施工技术[J].水上安全,2023(10):178-180.
- [2]黄耀坤.水利工程中引水隧洞的施工技术浅析[J].黑龙江水利科技,2023,51(3):49-51,89.
- [3]冉洋.水利工程中引水隧洞的施工技术[J].建筑与装饰,2024(10):49-51.
- [4]穆和党.水利工程中引水隧洞的施工技术浅析[J].装饰装修天地,2023(15):196-198.
- [5]王丰.水利工程施工中引水隧洞施工技术研究[J].黑龙江科学,2024,15(18):107-108,112.