

水利工程引水隧洞施工技术探析

袁 帅

陕西水利水电工程集团有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：水利工程引水隧洞作为水资源调配的关键设施，其施工技术至关重要。钻爆法、TBM、盾构法及新奥法等施工技术各具特色，适用于不同地质条件。钻爆法灵活经济，TBM高效适用于硬岩，盾构法适用于软土层，新奥法强调围岩自稳。施工质量控制涉及材料、过程、设备及监测等多方面，确保隧洞安全、稳定、高效运行。本文深入探讨了这些施工技术及其质量控制措施，为水利工程实践提供参考。

关键词：水利工程；引水隧洞；施工技术

引言

水利工程引水隧洞在水资源配置中扮演着举足轻重的角色，其施工技术直接影响到工程的进度、质量和安全。随着科技的进步，钻爆法、TBM、盾构法以及新奥法等多种施工技术应运而生，各自在不同地质条件下展现出独特的优势。施工质量控制作为保障隧洞长期稳定运行的关键环节，也愈发受到重视。本文将系统分析这些施工技术及其质量控制措施，为水利工程引水隧洞的建设提供理论支撑和实践指导。

1 水利工程引水隧洞的重要性

水利工程引水隧洞在水利工程中占据举足轻重的地位，其重要性体现在多个方面。第一，引水隧洞是水利工程中实现水资源有效输送的关键设施，它能够将丰富的水资源从源头或水库等水源地，通过地下隧洞的形式，安全、高效地输送至缺水地区或需水点，如发电站、灌区、城镇供水系统等，从而满足不同地区和行业的用水需求，提高水资源的利用效率。第二，引水隧洞在水力发电领域发挥着不可替代的作用。在水能资源丰富的地区，通过引水隧洞将水流引导至水轮机，驱动水轮机旋转发电，实现清洁能源的生产，这种发电方式不仅环保高效，而且受气候和季节变化影响较小，为地区的能源供应提供了稳定保障。第三，引水隧洞还具备防洪减灾的功能。在洪水易发地区，通过合理设计引水隧洞的布局和流量控制，可以有效地分洪、泄洪，减轻洪水对下游地区的威胁，保护人民生命财产安全。值得注意的是，引水隧洞的施工建设也具有一定的技术挑战，由于隧洞位于地下，施工环境复杂多变，需要采用先进的挖掘技术和支护措施，确保施工安全和隧洞的稳定运行。第四，引水隧洞的设计和施工还需充分考虑地形、地质、水文等因素，以确保隧洞的经济性和实用性。水利工程引水隧洞在水资源输送、水力发电、防洪减灾等

方面具有重要意义，是现代水利工程不可或缺的重要组成部分。

2 水利工程引水隧洞施工技术

2.1 钻爆法施工技术

钻爆法是水利工程引水隧洞施工中较为传统且应用广泛的技术。其通过在岩石中钻孔，装填炸药并引爆，利用炸药爆炸产生的能量破碎岩石，从而形成隧洞轮廓，该方法适用于各类岩石地层，尤其是坚硬、整体性较好的岩石。在复杂地质条件下，如岩石节理裂隙发育、断层破碎带等，可通过合理设计爆破参数，如炮孔间距、深度、装药量等，有效控制爆破效果，减少对围岩的扰动。钻爆法施工流程较为复杂，需进行测量放线，确定隧洞的开挖中心线和轮廓线，随后开始钻孔作业，钻孔设备根据岩石硬度和隧洞断面大小选择，常用的有风动凿岩机、液压凿岩台车等。钻孔完成后，进行炸药装填，炸药类型根据岩石特性和爆破要求选取，爆破后，及时进行通风排烟，排除有害气体。接着进行出渣作业，将爆破后的岩石渣料运出洞外。在施工过程中，还需对围岩进行支护，常用的支护方式有锚杆支护、喷射混凝土支护、钢支撑支护等，以确保施工安全和隧洞稳定。钻爆法施工成本相对较低，设备简单，对不同地质条件适应性强，但施工过程中会产生较大噪音和震动，对环境有一定影响^[1]。

2.2 TBM（全断面硬岩隧道掘进机）施工技术

TBM施工技术是利用全断面硬岩隧道掘进机在岩石中连续掘进，通过刀盘上的刀具破碎岩石，同时进行出渣和支护作业，一次性完成隧洞的开挖和衬砌。该技术适用于长距离、大直径、硬岩地层的引水隧洞施工。TBM掘进机具有施工速度快、效率高、安全性好等优点，能够显著缩短施工周期，其施工过程相对连续，减少了传统钻爆法施工中的爆破、通风等间歇时间，且在

封闭的作业环境中,可有效降低施工人员的劳动强度,减少安全事故的发生。TBM施工的关键在于设备的选型和操作,根据岩石的硬度、耐磨性等特性,选择合适的刀具类型和刀盘结构。在施工过程中,通过控制掘进机的推进速度、刀盘转速、扭矩等参数,确保设备的稳定运行和高效破岩。出渣系统采用皮带输送机或螺旋输送机将破碎后的岩石渣料及时运出洞外,支护作业可采用预制管片衬砌或现场浇筑混凝土衬砌,保证隧洞的稳定性。TBM施工技术前期设备投入大,对设备维护和操作人员要求高,但长期来看,在长隧洞施工中具有明显的成本优势,且对环境影响较小,能够实现高效、环保的施工。

2.3 盾构法施工技术

盾构法主要用于软土地层或富水地层的水利工程引水隧洞施工。其利用盾构机在地下进行掘进,盾构机前端的刀盘切削土体,同时通过千斤顶推动盾构机向前推进。在掘进过程中,盾构机内部的出土装置将切削下来的土体排出,同时在盾构机尾部进行管片拼装,形成隧洞的衬砌结构。盾构法施工对周围土体扰动小,能有效控制地面沉降,特别适用于城市区域或对地面建筑物保护要求较高的引水隧洞工程。盾构机的选型至关重要,需根据地质条件、隧洞直径、埋深等因素综合确定。在施工前,要对盾构机进行调试和组装,确保其性能良好;施工过程中,通过控制盾构机的推进速度、刀盘扭矩、出土量等参数,维持开挖面的稳定。同步注浆是盾构法施工的重要环节,在管片拼装完成后,及时向盾尾空隙注入浆液,填充空隙,防止地层变形。盾构法施工机械化程度高,施工速度快,施工环境相对安全,可有效减少对周边环境的影响,但盾构机设备成本高,施工过程中对地质条件变化的适应性相对较弱,一旦遇到复杂地质情况,可能需要采取额外的辅助措施^[2]。

2.4 新奥法施工技术

新奥法施工技术以岩体力学理论为基础,强调充分发挥围岩的自承能力。在水利工程引水隧洞施工中,采用光面爆破或预裂爆破等控制爆破技术,尽量减少对围岩的扰动,使围岩形成承载环。施工过程中,通过及时的初期支护,如锚杆、喷射混凝土、钢支撑等,与围岩共同作用,保持隧洞的稳定,并利用监控量测手段,对围岩和支护结构的变形、应力等进行监测,根据监测结果调整支护参数和施工方法。新奥法施工流程包括开挖、初期支护、监控量测和二次衬砌等环节。开挖时,根据围岩条件选择合适的开挖方法,如全断面开挖法、台阶法、分部开挖法等,初期支护要及时施作,使支护

结构与围岩紧密结合,共同承受荷载。监控量测数据是指导施工的重要依据,通过分析监测数据,判断围岩的稳定性,及时发现安全隐患。当围岩变形趋于稳定后,进行二次衬砌施工,进一步提高隧洞的承载能力和耐久性。新奥法施工充分考虑了围岩的特性,能够合理利用资源,降低工程成本,在各类地质条件下均有较好的适用性,但对施工技术和管理水平要求较高,需严格控制施工过程中的各个环节。

3 水利工程引水隧洞施工质量控制措施

3.1 施工材料质量控制

(1)对隧洞施工所用的原材料,诸如水泥、钢材、骨料等,要严格把控其质量源头。在采购环节,需选择具备良好信誉、产品质量稳定且符合国家标准供应商。例如,水泥应选用强度等级合适、凝结时间正常、安定性良好的品种,每批次进场的水泥都要附带质量检验报告,详细核对其各项技术指标是否达标。钢材则要求具有较高的强度和良好的可焊性,对其屈服强度、抗拉强度、伸长率等关键性能指标进行抽样检测,确保满足设计要求。(2)材料进场后的存储管理至关重要。水泥要存放于干燥、通风良好的仓库内,按照品种、标号、出厂日期分别堆放,避免受潮结块,影响使用性能。骨料应分类堆放,防止不同粒径的骨料混杂,同时采取措施防止泥土等杂质混入,确保骨料的洁净度和级配符合施工标准。对于有特殊要求的材料,如防水卷材等,要根据其特性进行专门的储存,确保在使用前材料性能不受损。(3)在材料使用过程中,要严格执行材料的检验制度。每一批次的材料在投入使用前,都要再次进行抽检,确保材料在存储和运输过程中未发生质量变化。对于不合格的材料,坚决禁止用于隧洞施工,及时进行退场处理,避免因材料质量问题而影响整个工程的施工质量。通过严谨的材料质量控制流程,为水利工程引水隧洞施工提供坚实可靠的物质基础。

3.2 施工过程质量控制

(1)隧洞开挖是施工过程中的关键环节。在开挖作业前,要依据地质勘察资料 and 设计要求,合理选择开挖方法,如钻爆法、TBM法等,若采用钻爆法,需精确设计炮孔参数,确保爆破效果符合设计轮廓。施工过程中,要严格控制每循环的进尺,根据围岩情况调整爆破参数,避免超挖或欠挖。加强对开挖面的地质观察,及时发现围岩变化,以便采取相应支护措施。(2)支护施工紧跟开挖作业,是保障隧洞稳定的重要手段。初期支护要及时,喷射混凝土应采用湿喷工艺,保证与围岩紧密贴合。锚杆安装要位置准确、深度达标,锚固力符合

设计,需通过拉拔试验检验。钢支撑要位置正确、连接牢固。二次衬砌施工时,需控制钢筋加工和安装质量,确保间距、保护层厚度等符合设计,混凝土要分层浇筑、振捣密实,防止缺陷。(3)隧洞的防排水施工质量直接影响到隧洞的使用寿命。防水板的铺设要保证平整、无破损,焊接牢固,搭接宽度符合规范要求;止水带的安装要位置准确、固定牢固,确保在混凝土浇筑过程中不发生位移;排水系统的施工要保证排水通畅,盲管、排水管等的安装要符合设计坡度,避免出现堵塞现象。通过严格的施工过程质量控制,确保水利工程引水隧洞的施工质量满足设计和使用要求^[3]。

3.3 施工设备质量控制

(1)施工设备的选型要依据隧洞的施工特点和要求进行。例如,对于大型隧洞开挖,选用功率大、性能稳定的TBM设备,能够提高施工效率和开挖质量。对于钻爆法施工,要配备合适型号的钻孔台车、装载机、运输车辆等设备,确保各工序之间的衔接顺畅。设备的生产能力要与工程规模相匹配,避免因设备能力不足而影响施工进度和质量。(2)设备进场后,要进行全面的检查和调试。对设备的关键部件,如发动机、液压系统、电气系统等进行细致的检查,确保其性能良好。调试过程中,要严格按照设备的操作规程进行,对设备的各项技术参数进行测试和调整,使其达到最佳工作状态。要建立设备档案,详细记录设备的型号、生产厂家、进场时间、调试情况等信息,为后续的设备管理提供依据。

(3)在设备使用过程中,要加强设备的维护保养工作。制定完善的设备维护保养计划,定期对设备进行保养,包括更换润滑油、滤清器,检查设备的零部件磨损情况,及时进行维修和更换。对于易损件,要提前储备,确保设备在出现故障时能够及时修复,减少设备停机时间。通过良好的设备质量控制,保障水利工程引水隧洞施工的顺利进行。

3.4 施工监测质量控制

(1)施工监测是保障隧洞施工安全和质量的重要手段。在隧洞施工前,要根据工程特点和地质条件,制定详细的监测方案。确定监测项目,如围岩变形监测、支

护结构应力监测、地下水位监测等。合理布置监测点,确保监测数据能够真实反映隧洞施工过程中的实际情况。监测点的布置要具有代表性,覆盖隧洞的关键部位和可能出现问题的区域。(2)选用精度高、稳定性好的监测仪器设备,并定期对其进行校准和维护,例如,全站仪、水准仪等测量仪器要按照规定的周期进行校准,确保测量数据的准确性。在监测过程中,要严格按照监测方案的要求进行数据采集,保证监测数据的及时性和完整性。监测人员要经过专业培训,具备丰富的监测经验,能够正确操作监测仪器,准确读取和记录监测数据。(3)对监测数据进行及时分析和处理。通过对监测数据的分析,判断隧洞施工过程中围岩和支护结构的稳定性,当监测数据出现异常时,要及时进行预警,并采取相应的处理措施。例如,当围岩变形超过预警值时,要暂停施工,对支护结构进行加强或调整施工方案。通过科学有效的施工监测质量控制,为水利工程引水隧洞施工提供安全保障,确保施工质量达到预期目标^[4]。

结语

综上所述,水利工程引水隧洞的施工技术及质量控制是确保工程成功的关键。钻爆法、TBM、盾构法及新奥法等施工技术各有千秋,应根据具体地质条件合理选择。严格的施工材料、过程、设备及监测质量控制措施是保障隧洞安全、稳定、高效运行的基石。未来,随着技术的不断进步和创新,水利工程引水隧洞的施工将更加高效、环保,为水资源的高效利用和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]童杰栋.水利工程引水隧洞施工技术探析[J].建筑,2022(6):88-90.
- [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]姜海瑞,刘明海.水利工程中引水隧洞的施工关键技术探讨[J].科海故事博览,2024(16):43-45.
- [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.