

水利水电工程引水隧洞施工技术

唐 静 徐嵩展 庄创鑫

广州新珠工程监理有限公司 广东 广州 510630

摘 要：水利水电工程引水隧洞施工技术是水利工程建设中的关键环节，其施工质量直接影响工程整体效能与安全。该技术涉及复杂的地质条件应对、精准的开挖与支护作业、以及严格的混凝土喷射与衬砌施工等多个方面。施工人员需根据地质勘察结果，选择适宜的开挖方式，并强化支护措施以确保洞身稳定。同时，混凝土施工需严格控制质量，确保衬砌结构的强度和耐久性。

关键词：水利水电工程；引水隧洞；施工技术

引言：随着水利事业的快速发展，引水隧洞作为连接水源与用水区域的重要通道，其施工技术的重要性日益凸显。该技术不仅要求应对复杂多变的地质条件，还需确保施工过程中的安全稳定与高效性。基于此，深入研究引水隧洞施工技术，探索创新施工方法，对于提升水利水电工程的建设质量、促进水资源可持续利用具有重要意义。

1 水利水电工程引水隧洞概述

水利水电工程中的引水隧洞是水利枢纽中至关重要的组成部分，主要用于引水、输水、导流、泄洪以及排放水库泥沙等多种功能。这些隧洞根据其功用和水流特点，可以细分为引水隧洞、泄水隧洞（包括导流隧洞、泄洪隧洞、尾水隧洞、排沙隧洞等）两大类，并根据水流状态进一步划分为有压隧洞和无压隧洞。引水隧洞主要用于从水源地引水以供发电、灌溉、工业和生活用水等。其洞线选择需考虑上下游水流衔接、洞线长度、转弯次数以及围岩地质条件等因素，力求短而直，以减少水流阻力和施工难度。引水隧洞的经济断面需综合地质、施工和运行条件，通过技术经济比较后确定。其断面形状多为圆形、城门洞形或马蹄形，其中有压隧洞多采用圆形断面，以承受内水压力，而无压隧洞则根据具体情况选择。隧洞的建设过程中，洞身段常用锚喷或钢筋混凝土进行临时支护或永久性衬砌，以提高围岩稳定性，防止岩石坍塌和渗水。衬砌类型包括混凝土、钢筋混凝土、喷锚支护以及复合式衬砌等，具体选择需根据围岩条件、内水压力大小和经济性等因素综合考虑^[1]。在引水隧洞的设计、施工和运行过程中，还需特别关注水流特性和结构安全。引水隧洞的水流流速一般较低，但要求隧洞具有光滑的外形，以减小水头损失，保证隧洞出口的水头。同时，对于泄水隧洞，其流速较高，需采取有效的消能措施，防止水流对出口渠道或河床的冲刷。

2 水利水电工程引水隧洞施工技术要点

2.1 隧洞开挖技术

隧洞开挖前需进行详尽的地质勘探，了解洞身穿越地层的岩性、构造、地下水等地质条件，为开挖方法的选择和支护设计提供依据。开挖方法主要包括全断面开挖法和导洞开挖法，具体选择需根据围岩类别、断面尺寸、机械设备和施工技术水平等因素综合确定。对于全断面开挖法，通常适用于围岩稳定性较好的隧洞段。该方法采用一次爆破成型，全面推进，能显著提高掘进速度。在开挖过程中需严格控制爆破参数，确保开挖面与设计轮廓线一致，避免超挖和欠挖现象。导洞开挖法则适用于围岩稳定性较差或断面较大的隧洞段，该方法先开挖断面的一部分作为导洞，再逐步扩大开挖至设计断面。导洞开挖有利于探明隧洞的地质和水文地质情况，并为洞内通风和排水创造条件。在扩挖过程中，需确保导洞与扩挖部分的有效衔接，避免施工干扰和安全隐患。除此之外，隧洞开挖过程中还需注意以下几点技术要点：一是合理布置炮眼和装药量，采用光面爆破技术，减少爆破对围岩的扰动和破坏；二是加强开挖面的支护工作，及时喷射混凝土或安装锚杆等支护结构，提高围岩稳定性；三是严格控制开挖进尺和循环时间，确保施工质量和安全；四是做好出碴和运输工作，保持洞内作业面的整洁和有序。

2.2 支护技术

支护方案的设计需根据隧洞的地质条件、断面尺寸、开挖方法以及施工机械设备等因素综合确定。设计时应充分考虑围岩的稳定性、变形特性以及可能的破坏模式，确保支护结构能够有效承载围岩压力，防止隧洞坍塌。支护时机的选择至关重要，支护工作应在开挖后及时进行，以限制围岩的变形和破坏。对于稳定性较差的围岩，还需采取超前支护措施，以确保开挖工作的顺

利进行。支护材料的选择应满足强度、刚度、耐久性和经济性等要求。常用的支护材料包括锚杆、钢筋网、喷射混凝土等。其中,锚杆能够深入围岩内部,提供有效的锚固力;钢筋网能够增强喷射混凝土的抗裂性能;喷射混凝土则能够迅速封闭围岩表面,防止风化和渗水。另外,在施工过程中,应严格控制钻孔深度、角度和间距,确保锚杆等支护材料能够准确安装到位^[2]。同时,还需注意喷射混凝土的配合比、喷射厚度和养护时间等参数,确保支护结构的强度和耐久性。支护施工完成后,应加强对隧洞围岩和支护结构的监测工作。通过监测可以及时了解围岩的变形和支护结构的受力情况,为施工调整和安全评估提供依据。一旦发现异常情况,应及时采取措施进行处理,确保隧洞的稳定和安全。

2.3 衬砌技术

衬砌材料的选择需根据隧洞的功能、围岩条件、内水压力以及经济性等因素综合考虑。常用的衬砌材料包括混凝土、钢筋混凝土等。混凝土衬砌适用于围岩较完整、内水压力不大的情况;而钢筋混凝土衬砌则适用于内水压力较大、围岩条件较差的隧洞段。另外,衬砌类型主要分为单层衬砌和复合式衬砌。单层衬砌结构简单,施工方便,但适应性较差;复合式衬砌则能更好地适应复杂的地质条件和水压力变化。在结构设计时,需充分考虑隧洞的受力特点,合理设置配筋和止水措施,确保衬砌结构的稳定性和耐久性。衬砌施工工艺包括模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑与振捣、养护等多个环节。模板安装需确保平整度和稳固性,以便浇筑出高质量的混凝土衬砌;钢筋绑扎需严格按照设计图纸和规范要求进行,确保钢筋的型号、长度、间距等参数满足设计要求;混凝土浇筑与振捣则需控制好浇筑速度和振捣力度,确保混凝土密实度和均匀性;养护工作则需在混凝土初凝后及时进行,以防止混凝土开裂和强度降低。在不良地质条件下,如断层破碎带、软弱岩层等,需采取特殊的处理措施来确保衬砌结构的稳定性和安全性。这些措施可能包括加强支护、设置超前管棚、注浆加固等。衬砌与围岩之间的联合作用是保障隧洞整体稳定性的重要因素。在施工过程中,需通过合理的支护和衬砌设计,使衬砌与围岩形成整体受力体系,共同承担外部荷载和水压力。通过监测隧洞围岩的变形、衬砌结构的应力状态以及混凝土的强度等指标,可以及时发现并处理施工中的问题。

2.4 隧洞施工排水技术

隧洞施工排水的主要目的是确保隧洞内部的干燥和稳定,防止地下水对施工进度和质量的影响。地下水不

仅会增加施工难度,还可能引发塌方等安全事故。在施工前,必须进行详尽的地质勘察,了解地下岩层、水文地质情况和地下水流状况,为排水系统的设计提供准确依据。根据地质勘察结果,制定合理的排水系统规划,包括排水沟、排水泵站和管道等设施的布局 and 数量。排水系统应能够覆盖整个隧洞施工区域,确保水流畅通无阻。排水设备应选用性能稳定、效率高的产品,如潜水泵、离心泵等。在安装过程中,需精确测量和布置排水设备,确保其能够充分发挥作用。接下来,在隧洞开挖初期,应及时排除开挖面附近的积水,防止积水对围岩稳定性的影响。初期排水可采用集水坑和抽水机相结合的方式,将积水迅速排出隧洞。随着隧洞开挖的深入,应持续进行排水作业,确保隧洞内部始终保持干燥状态。排水过程中,需定期检查排水设备的运行状况,及时清理堵塞物,确保排水畅通。在遭遇突发情况(如暴雨、地下水位突升等)时,应迅速启动应急排水预案,增加排水设备数量,提高排水效率,确保隧洞施工安全。最后,在排水过程中,应定期对排水效果进行监测和评估,包括水流量、水位变化等指标。通过监测数据,可以及时调整排水方案,优化排水效果。同时,还应对排水系统进行定期检查和维护,确保其长期稳定运行。

3 水利水电工程引水隧洞施工质量管理策略

3.1 加强施工前准备与规划

在施工前,必须对引水隧洞工程所在区域进行详尽的地质勘察,包括地质构造、地层岩性、水文地质条件等。通过钻探、物探等手段,全面了解隧洞穿越地段的地质情况,评估潜在的地质风险,如断层、破碎带、软弱岩层等。这一步骤对于后续的设计和施工方案的制定至关重要,能够确保施工过程中的安全性和稳定性。基于地质勘察结果,结合工程需求和水资源输送要求,科学制定引水隧洞的施工方案和设计。施工方案应明确开挖方法、支护形式、衬砌类型等关键技术要点,并充分考虑地质条件、工期要求、成本效益等因素。设计过程中,需采用先进的设计理念和计算方法,确保设计方案的合理性和经济性。施工前,需根据工程规模和施工进度要求,合理安排施工队伍和物资供应。施工队伍应具备丰富的隧洞施工经验和专业技能,能够胜任复杂的施工任务^[3]。同时,需提前采购和储备所需的施工物资和设备,如钢筋、水泥、炸药、支护材料等,并确保其质量和数量满足施工需求。在施工前,应对所有施工人员进行全面的安全教育和培训,包括隧道施工技术、安全操作规范、应急处理等内容。通过培训,提高施工人员的安全意识和自我保护能力,确保施工过程中的安全生产。

3.2 强化施工过程中的质量控制

水利水电工程引水隧洞施工过程中的质量控制是确保工程质量和安全性的关键环节。(1) 严格遵循施工方案与设计。在施工过程中,必须严格遵循已制定的施工方案与设计的要求。这包括开挖方法、支护形式、衬砌类型等关键技术要点的严格执行。任何对施工方案的变更都应经过充分的论证和审批,确保变更后的方案仍能满足工程质量和安全要求。(2) 加强现场监督与检查。施工现场应设立专门的监督与检查机构,对施工过程进行全方位的监控。监督人员需具备丰富的施工经验和专业知识,能够及时发现并纠正施工过程中的违规行为和质量问题。同时,应建立完善的质量检查制度,定期对施工成果进行验收和评估,确保施工质量符合设计要求。(3) 注重材料质量控制。在施工过程中,必须加强对材料的质量控制。这包括材料的采购、验收、存储和使用等各个环节。采购时应选择信誉良好的供应商,确保材料质量可靠;验收时应严格按照相关标准进行检测,确保材料性能符合设计要求;存储时应采取适当的措施防止材料受潮、变质等;使用时应注意材料的搭配和比例,确保施工质量。(4) 加强施工技术管理。为了确保施工质量,必须加强对施工技术的管理。这包括施工技术的选择、应用和改进等方面。在选择施工技术时,应充分考虑工程特点、地质条件、施工条件等因素;在应用施工技术时,应严格按照相关规范和操作规程进行操作;在发现施工技术问题时,应及时组织技术人员进行研究和改进,确保施工技术的先进性和适用性。(5) 注重施工安全与环保。在施工过程中,必须严格遵守安全生产和环境保护的相关法律法规和规定。加强施工人员的安全教育和培训,提高安全意识;建立健全的安全生产责任制和应急预案;采取有效措施防止施工对周边环境造成污染和破坏。

3.3 完善施工后的验收与评估

施工完成后,应依据相关标准和工程设计要求,制定详细的验收标准和流程。这些标准和流程应涵盖隧洞的结构尺寸、支护质量、衬砌强度、防水性能等多个

方面,确保验收的全面性和准确性。为确保验收工作的专业性和公正性,应组建由设计、施工、监理等多方代表组成的验收团队。团队成员应具备丰富的专业知识和实践经验,能够准确判断工程质量是否达标。验收过程中,应采用先进的检测技术和设备,对隧洞进行全面的检测和试验。这包括但不限于对支护结构的稳定性、衬砌的密实度和强度、防水层的完整性等进行检测,以及进行必要的荷载试验和渗透试验等。通过这些检测和试验,可以直观地了解隧洞的各项性能指标,为验收提供科学依据。验收完成后,应编制详细的验收报告。报告内容应包括验收过程、检测结果、存在的问题以及处理意见等^[4]。对于存在的问题,应明确责任方和整改期限,确保问题得到及时解决。施工后的验收与评估并非一次性工作,而应注重后续的评估和反馈。在隧洞运行一段时间后,应对其性能进行再次评估,了解是否存在质量问题或安全隐患。同时,应建立健全的质量反馈机制,鼓励用户和相关方提出意见和建议,以便及时发现并解决问题,不断提升工程质量和管理水平。

结语

总之,通过优化开挖方法、强化支护措施、提升混凝土施工质量等关键环节,有效应对了复杂地质条件带来的挑战,确保了隧洞施工的安全与高效。展望未来,随着科技的持续创新,引水隧洞施工技术将更加智能化、精细化,为水利事业的高质量发展注入新的活力。我们坚信,在全体水利工作者的共同努力下,水利水电工程引水隧洞施工技术必将迎来更加辉煌的明天。

参考文献

- [1]马晓明.水利水电工程引水隧洞施工技术分析[J].水利技术监督,2019(04):23-25+73.
- [2]梁秋.水利工程引水隧洞施工技术探析[J].江西建材,2021(11):194-195.
- [3]王玉琦.水利工程中引水隧洞的施工技术与质量控制分析[J].城市建筑,2019,16(29):147-148.
- [4]侯晓斌.水利工程中引水隧洞施工技术与管理措施[J].城市建设理论研究(电子版),2019(15):186-187.