

# 水利工程引水隧洞施工技术分析

高志桂

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

**摘要:** 随着对清洁能源需求的不断增长,水利水电工程在能源领域发挥着重要作用。引水隧洞是水力发电厂的重要组成部分,其施工技术对工程的安全、效益和成本管理具有至关重要的影响。在分析水利水电工程引水隧洞的施工技术,包括施工方法、材料选择等方面。为水利水电工程引水隧洞施工提供可行性建议和经验总结。

**关键词:** 隧洞;开挖支护;方案选择

引言:随着基础设施工程建设规模的不断扩大,水利水电工程结合水生态环境改善且兼顾发电、航运综合利用效益的水利工程发挥着重要作用,其中引水隧洞作为水利水电工程的一部分,在充分考虑隧洞的安全、质量、进度和成本因素下,采用先进合理的技术手段来提高工作效率,保证施工安全和质量。本文将深入分析引水隧洞的施工方法和技术,探讨如何应用新技术、新材料来提高施工过程的效率和质量,以满足水利水电工程建设和管理的需求。

## 1 隧洞施工技术

### 1.1 新奥法施工

新奥法施工是目前应用最广泛和技术最成熟的施工方法之一,该方法应用岩体力学理论维护和利用围岩的自承能力为基点,使地应力靠隧洞空间空洞效应而得以保持稳定,围岩体自身的承载能力得到最大限度的发挥。采用光面爆破,进行全断面或分层开挖,利用锚杆、钢筋网片、钢拱架、超前管棚、喷射混凝土进行初期支护,控制围岩的变形和松弛,使围岩成为支护体系的组成部分,并通过对围岩沉降观测,来指导隧洞施工和地下工程设计施工的方法和原则。其优点是采用常规施工设备,易操作,施工速度快,成本低,适用性广,对技术要求相对较低;缺点是洞内爆破扰动、噪音、粉尘污染造成肺矽病,而且特殊地质段需采取适当的辅助措施才能施工如涌水涌泥地层、岩溶地段、围岩破碎不能自稳以及浅埋段。

### 1.2 盾构法施工

盾构法(Shield Method)是暗挖法施工中的一种全机械化施工方法,是将盾构机械在地中推进,通过盾构外壳和混凝土管片支承四周围岩防止发生往隧洞内的坍塌,同时在掌子面前方用切削装置进行土体开挖,通过皮带机运出洞外,靠千斤顶在后部加压顶进,并拼装预制混凝土管片衬砌,形成隧洞结构的一种机械化施工

方法。适用在软质地基、破碎岩层、松软含水地层或地下线路等设施埋深达到10m或更深时中掘进隧洞的施工方法。其优点是不需要火工材料,施工安全,掘进速度快,施工劳动强度低,施工中没有噪音和扰动;缺点是断面尺寸适应力差、设备购置费昂贵、围岩强度高的地段钻头消耗量大,成本高不适用在中小型隧洞使用。

### 1.3 悬臂掘进机施工

相比盾构法施工,悬臂掘进机适应不同洞径和土层以及岩石强度较低的围岩隧洞,在设备就位后,从掌子面底部水平切割出一条槽,向前移动再一次就位后切割头采取自上而下,左右循环切削。在切削同时将切削下来的洞渣装入皮带机,直接装入出渣车运出洞外。当局部遇有硬岩时( $>70\text{MPa}$ ),可先掘进周边软岩,使大块硬岩坠落,改爆破方式再次处理。其优点是适应不同断面,机动性,降低施工安全风险和劳动强度,施工中振动小,对围岩扰动较小,设备购置费相对较低;缺点是成本高,围岩强度高于 $70\text{MPa}$ 地段截齿消耗量大,成本高,另外设备功率较大,需要高压进洞,线路布置要求高。

### 1.4 水磨钻施工

水磨钻机是一种在隧洞设计轮廓线岩体中进行钻孔,掌子面掏槽钻孔结合爆破,实现隧洞开挖成形。钻孔机孔径和孔深根据围岩类别确定参数。隧洞平行水磨钻施工需要大量电力支持,因此,在施工前需进行配电系统的规划与安装,以保障施工中对能源的要求然后开钻,泥浆泵打开开始循环泥浆和向下钻孔。其优点是适应不同断面和围岩强度,隧洞机械化施工程度及其配套施工技术要求和施工安全风险低,施工中振动和对围岩扰动较小,成本较小,设备购置费相对较低;缺点是有电量大,需要高压进洞,线路布置要求高,洞内空间狭小的情况下,泥浆处理困难,现场文明施工差。

## 2 引水隧洞施工材料选择

### 2.1 隧洞衬砌材料选择

在隧洞建设中,衬砌材料的选择是非常重要的,因为它能直接影响到隧洞工程的安全、质量和寿命。材料需要具备强度、抗渗防冻和腐蚀性能,同时应具有耐磨损和防水渗漏特点。常见的衬砌材料包括钢筋混凝土、纤维增强聚合物(FRP)材料、预制块等。其中,钢筋混凝土衬砌具有强度高、耐久性好、抗冲击等优点,既能够应对传统地下隧洞施工环境中的各种挑战,又能够满足高速铁路和地铁隧洞工程中对空间、载重、速度和安全性要求等。纤维增强复合材料(FRP)在强度、耐腐蚀性和抗震能力方面都具有良好的表现,常用于环保要求较高的隧洞工程中。预制砖块安装速度快和较佳的防水性能,节约工期,适用于防水性要求较高的路桥隧洞<sup>[1]</sup>。不同的隧洞环境和建设标准需要选择不同的隧洞衬砌材料,制定相应的施工方案,确保工程施工的质量和安全性。

### 2.2 透水性材料选择

在隧洞施工中,透水性材料的选择影响到隧洞安全。渗水处理,能够有效防止地下水的渗透和泄漏,避免隧洞内部排水系统的堵塞和破损,确保隧洞工程的稳定性和安全性。常见的透水性材料包括烧结陶块、复合材料、玻璃纤维等。其中,烧结陶块具有良好的耐压性、耐腐蚀性和透水性,可以有效防止地下水的渗透和泄漏,是引水隧洞衬砌的理想选择。复合材料在透水性、强度、耐腐蚀性等方面均表现出色,能够适应地下水环境中的各种挑战。玻璃纤维的透水性能也比较好,也可以用于一些需要较高的透水性能的隧洞施工中。综上所述,不同的引水隧洞施工环境需要选择不同透水性材料,制定相应的施工方案,确保工程施工的质量和安全性。

### 2.3 渗透材料选择

隧洞施工中,渗透材料的选择关系到隧洞衬砌质量控制。渗透材料用于渗透防水,能够有效地防止地下水的渗透和泄漏,保证隧洞的安全和稳定。常见的渗透材料包括聚氨酯弹性体、地下水膜、防渗胶粉等。聚氨酯弹性体具有很高的弹性和耐久性,能够抵抗各种外界因素带来的挑战,被广泛应用于地下水、道路、桥梁等领域的防水处理中<sup>[2]</sup>。地下水膜是一种由高分子材料制成的防水材料,具有极好的耐酸、耐碱、耐老化、防渗漏性能非常好等特点,广泛应用于地下工程防水。防渗胶粉使用比较方便,应用于地下工程中,可以有效地防止地下水的渗透和泄漏,提高隧洞的防水性能。综上所述,不同的引水隧洞施工环境需要选择不同的渗透材料,以确保施工的质量和安全性。同时,每种渗透材料都要有相应的施工方案,以确保施工的效果和使用寿命。

## 3 引水隧洞支护技术

### 3.1 初期支护技术

在引水隧洞的施工过程中,初期支护技术对隧洞安全起关键因素。初期支护技术一般指的是在隧洞开挖的同时,采用钢支撑、喷混凝土、锚杆和钢筋网片等工艺手段,对隧洞进行立体加固,防止围岩破碎、岩爆、溶腔溶隙等原因造成的隧洞坍塌或者变形,保证施工安全。初期支护技术的应用可以提高隧洞的稳定性,减少工程灾害,提高工作安全系数。常见的初期支护技术包括:喷混凝土加固法、钢筋混凝土衬砌法、锚杆喷锚法等。其中,喷混凝土加固法是采用空压机的高压风把一级配混凝土喷压到隧洞开挖面上,用以提高隧洞围岩的整体性和强度,提高隧洞的稳定性。钢筋混凝土衬砌则是采用钢模台车或满堂脚手架模板浇筑混凝土进行加固,以增加隧洞承载力。锚杆喷锚法是将锚杆钻孔后安装锚固在岩层中,使锚杆把破碎岩壁稳定在一起,可以有效地保障隧洞的安全和稳定。初期支护技术的应用,有助于提高隧洞的强度和稳定性,有效保障工程的安全和顺利完成。

### 3.2 中期支护技术

在引水隧洞的施工过程中,中期支护通常是在洞体稳定后进行的。中期支护能够起到加固洞体和减小压力的作用,保障隧洞的安全与稳定,是隧洞施工过程中不可或缺的工艺。中期支护技术包括:钢拱架支护、锚索喷锚法、锚筋桩、管棚等。钢拱架支护技术是一种以钢拱架为支撑基础,并结合喷锚将岩壁固定的支护方式,能够有效增加隧洞强度,提高隧洞的稳定性。锚索喷锚法则是将锚索嵌入开挖的岩体中,并进行预应力张拉锚固,在岩壁的支撑作用下增强岩体的整体性和岩体结构的稳定性。管棚支护使用超前小导管或大管棚进行支护,并高压注浆对岩体进行加固的技术,管棚支护不仅有着较高的抗震能力,而且安装方便,适用于隧洞中不同的地质环境。中期支护技术能够对隧洞进行加固、减小压力,保障隧洞的安全和稳定。

### 3.3 永久支护技术

永久支护技术是指在隧洞开挖完成后进行的隧洞支护工程,主要是为了保障隧洞的安全和长期使用。常见的永久支护技术包括:衬砌加固、注浆加固、预制支护板等。衬砌加固是把预制块或混凝土或钢板等岩体衬砌材料和支承结构组合在一起,形成一个稳定的隧洞,增加其强度和稳定性。注浆加固则是通过压力注入水泥及其它固化材料,填塞隧洞与岩壁间的空隙,以提高隧洞的密封性、抗渗性和支撑力,通常有固结灌浆和回填灌浆。预制块支护是将预制的钢筋混凝土板按照固定的规

范和方案按顺序安装在洞壁或洞顶,形成一个具有强度和稳定性的支撑结构。永久支护技术是引水隧洞施工后的重要工序,可以保障隧洞的安全和稳定性,选择适合的支护材料和技术方案是非常关键的。因此,在设计支护方案时应考虑到地质条件、隧洞形状、施工条件以及预算等要素,以制定出最优方案,保障工程的质量和安全。

#### 4 隧洞施工中的安全技术

##### 4.1 预防坍塌和滑坡

在引水隧洞的施工过程中,坍塌和掉岩块是常见的安全隐患。为了保障工人的生命安全,施工单位需要采取一系列预防措施和安全技术,以保障隧洞的安全和稳定。预防坍塌和掉岩块的安全技术包括:超前地质勘探和评价、基础加固、支护结构设计优化等。在施工前需要对地质条件进行充分的勘探和评价,以确定隧洞施工的适宜方法和加固措施。施工中,采取超前地质预报或基础加固措施,例如钻孔注浆、加固土层或岩体整体稳定,以增加隧洞的整体强度和稳定性。同时,在设计支护结构时,需要优化设计方案,确保支护结构能够承受隧洞灾害的影响。施工中应注意对地体稳定性进行跟踪监测,发现异常情况应及时采取措施,避免灾害发生。同时,施工工人应配戴劳动保护用品,如胶鞋、安全帽、安全带、防尘口罩和手套等,以减少意外伤害的发生。预防坍塌和滑坡是引水隧洞施工过程中需要重视的安全问题。施工单位应采取一系列预防措施和安全技术,以确保工作人员的生命财产安全,保障工程的质量和安全。

##### 4.2 预防涌水涌泥

在引水隧洞的施工过程中,涌水涌泥是常见的安全隐患之一。为了预防,施工单位需要采用注浆加固、超前支护、逆渗压排水、导流等技术,堵塞渗水孔洞,降低地下水位,减少发生的可能性。同时,施工人员应该加强防水意识,洞内掌子面附近配置救生衣以及逃生管道等,规范操作。对现场环境进行实时监测,发现异常情况及时采取应急措施,确保施工过程的安全。通过采取这些安全技术,可以大大降低水灾的发生,保障工作人员和施工工程的安全。

##### 4.3 预防火灾

在隧洞的施工过程中,火灾是另一个需要注意的安

全隐患。要预防施工中的火灾,一方面需要做好防火宣传教育工作,提高员工的防火意识和自救能力;另一方面,需要严格按照防火规范进行施工,设置必要的消防设施设备,定期进行检查和维修保养。此外,禁止在施工过程中使用易燃物品和明火,以及加强施工现场的卫生管理,保持工作区域的整洁,避免灰尘和垃圾等物质引起火源。通过这些预防措施的综合配合,可以大大提高施工现场的防火安全水平,避免火灾对施工工程带来的影响和危害。

#### 5 引水隧洞施工效率提升的技术手段

随着工程建设的不断发展,隧洞作为一项重要的基础设施建设也在不断推进。为了提高工程施工效率,现代化技术手段开始被越来越多地应用到工程施工中。其中,一种常见的提升施工效率的技术手段是微震探测技术,通过在隧洞中埋设微震探测设备,可以对整个隧洞在不同施工阶段中的变形及构造状态进行实时监测和分析,这种技术可以直观地反映出隧洞施工的稳定状态,以便及时调整施工方案和方法,提高施工质量和效率。另一个可采用的提升施工效率技术是机械化施工技术,可以大大提高施工效率,减少人工使用量,缩短施工周期,并且可以减少人工成本和工人的劳动强度。数字化施工管理系统也是一种有效的技术手段。通过使用BIM建模数字化施工管理系统,可以实现工程全程数字化管理。通过实时信息的共享,可以便于各个施工节点之间的协调,减少误差和交通成本,并且可以提高工作效率,节约时间和成本,通过上述技术手段的优化组合,可以大大提高引水隧洞的施工效率和质量。

#### 结语

水利水电工程引水隧洞的施工技术对工程的安全和效率具有重要的意义。通过分析隧洞施工方法、材料选择、支护技术以及相关的安全和环境保护措施,可以为各类工程施工隧洞工程施工提供指导和经验总结。

#### 参考文献

- [1]王永,黄崇亮.引水隧洞施工中的孔洞治理技术[J].水文地质工程地质,2021,48(3):100-103.
- [2]朱强,徐时真.内托梁、隧洞顶板偏心摆度分析及其控制技术[J].岩石力学与工程学报,2022,41(1):267-274.