

# 隧洞开挖与支护技术在水利工程施工中的研究

汪志胜

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 水利工程建设对于水资源的合理调配、防洪灌溉以及能源开发等方面具有不可替代的作用。本文详细阐述了隧洞开挖前准备工作,分析了钻爆法、TBM法、盾构法等开挖技术特点,以及锚杆支护、喷射混凝土支护、衬砌支护、钢架支护、预应力锚索支护等支护技术原理与应用。探讨其发展趋势,包括智能化施工技术和绿色环保施工技术,旨在为水利工程隧洞施工提供技术参考,保障工程质量、安全与可持续发展。

**关键词:** 隧洞开挖; 支护技术; 水利工程施工; 研究

引言: 水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分,隧洞施工的质量和效率直接关系到整个工程的成败。隧洞开挖与支护技术在其中扮演着关键角色,不同的开挖与支护方法适用于各异的地质条件和工程需求。随着科技的不断进步,传统技术面临着新的挑战与机遇。因此,深入研究这些技术及其发展趋势,对于提升水利工程建设水平、降低成本、减少环境影响具有重要意义,能够为水利工程的可持续发展提供有力支撑。

## 1 隧洞开挖前的准备工作

### 1.1 地质勘察

地质勘察是隧洞开挖前的基础性工作,其主要目的是详细了解隧洞沿线的地质条件,包括岩石类型、地质构造、地下水分布等信息。通过地质测绘、钻探、物探等多种勘察手段,绘制出准确的地质剖面图和平面图,为后续的开挖方案制定提供依据。例如,在某大型水利工程的隧洞施工前,地质勘察团队运用先进的地震波探测技术,精确查明了隧洞穿越区域的断层位置和破碎带范围,为施工中采取针对性的支护措施提前做好准备,有效避免了因地质条件不明而引发的工程事故。

### 1.2 施工测量

施工测量的任务是确定隧洞的中心线、洞口位置以及各控制点的平面和高程坐标。利用全站仪、水准仪等高精度测量仪器,进行精确的放线测量,建立起施工控制网。在测量过程中,要严格遵循测量规范,保证测量数据的准确性和可靠性,其精度误差必须控制在允许范围内,以确保隧洞在施工过程中能够按照设计要求准确贯通,避免出现偏差过大而影响工程质量和使用功能的情况<sup>[1]</sup>。

## 2 水利工程隧洞开挖技术

### 2.1 钻爆法

钻爆法是水利工程隧洞开挖中较为常用的传统方

法。其施工流程包括钻孔、装药、起爆以及通风排烟、出渣等环节。首先,根据隧洞的设计轮廓和地质条件进行钻孔布置,钻孔的精度和深度直接影响爆破效果。在装药环节,需严格控制炸药的种类、装药量和装药结构,以实现预期的爆破破碎效果并减少对围岩的过度扰动。起爆网络设计则要确保起爆的顺序和时间间隔合理,使岩石能按照设计的方向崩落。爆破后,及时通风排烟排除有害气体,然后进行出渣作业,为后续工序创造作业面。钻爆法的优点在于其灵活性高,对不同地质条件的适应性强,尤其在地质条件复杂多变的隧洞工程中,能够通过调整爆破参数来应对各种情况。

### 2.2 TBM法(全断面隧道掘进机法)

TBM法是一种机械化程度较高的隧洞开挖方法,适用于长距离、大直径的隧洞施工。TBM设备集破岩、出渣、支护等功能于一体,通过旋转刀盘上的刀具对岩石进行切削破碎,然后利用刮板输送机或皮带输送机将破碎的岩石运出洞外。其施工过程具有连续作业、速度快、效率高的特点,能够显著缩短隧洞的施工周期。同时,由于TBM施工对围岩的扰动较小,有利于保持围岩的稳定性,从而减少了支护工作量和成本。在施工过程中,TBM能够根据不同的地质条件自动调整掘进参数,如刀盘转速、推力、扭矩等,以保证良好的破岩效果和设备的正常运行。然而,TBM法也存在一定的局限性。首先,TBM设备的购置和租赁成本高昂,前期投资大,这对于一些小型水利工程来说可能难以承受。其次,TBM对隧洞的地质条件适应性相对较弱,在遇到复杂多变的地质情况,如断层破碎带、涌水突泥等时,设备的掘进效率会受到较大影响,甚至可能出现故障停机,需要进行复杂的地质预处理和设备维修,增加了施工风险和成本。

### 2.3 盾构法

盾构法主要适用于软土地层中的隧洞开挖，如在城市水利工程或穿越河流、湖泊等软弱地质条件下的隧洞施工中应用较为广泛。盾构机由刀盘、盾体、推进系统、管片拼装系统等部分组成，施工时，盾构机利用刀盘切削土体，同时通过千斤顶向前推进，在盾壳的保护下进行隧洞的开挖和衬砌施工。管片拼装系统在盾构机尾部将预制好的钢筋混凝土管片逐块拼装成环，形成隧洞的衬砌结构，有效地支撑周围土体，防止土体坍塌。盾构法施工具有对地面交通和建筑物影响小、施工安全可靠、掘进速度较快等优点。而且，盾构法施工的隧洞衬砌质量高，防水性能好，能够满足水利工程的防渗要求。不过，盾构法也存在一些不足之处。盾构机的制造和维护成本较高，技术要求复杂，需要专业的技术团队进行操作和管理<sup>[2]</sup>。

### 3 水利工程隧洞支护技术

#### 3.1 锚杆支护

锚杆支护是水利工程隧洞支护的重要手段之一。它通过将锚杆打入围岩，使锚杆与围岩紧密结合，利用锚杆的抗拉强度和锚固力来加固围岩，提高围岩的稳定性。锚杆的类型多样，如砂浆锚杆、中空锚杆、自进式锚杆等，不同类型适用于不同的地质条件和工程需求。其作用原理主要包括悬吊作用，即将不稳定的围岩悬吊于深部稳定岩体上；组合梁作用，通过锚杆将薄层状岩体组合成类似梁的结构，增强岩体的抗弯能力；加固拱作用，在围岩中形成一定厚度的加固拱，承载围岩压力。在施工过程中，首先要根据围岩情况确定锚杆的长度、间距、直径和锚固力等参数，然后进行钻孔、清孔，再将锚杆插入孔内并进行锚固。质量控制的关键在于确保锚杆的锚固质量和安装角度，使其能够充分发挥支护作用，有效控制围岩变形，防止围岩坍塌，保障隧洞施工安全和长期稳定。

#### 3.2 喷射混凝土支护

喷射混凝土支护能够及时对隧洞围岩进行封闭和加固，具有较高的早期强度和良好的粘结性能。其原材料主要包括水泥、砂石料、外加剂和水等，通过搅拌机搅拌均匀后，利用喷射机将混凝土高速喷射到围岩表面。喷射工艺分为干喷、湿喷和潮喷，其中湿喷工艺因粉尘污染小、回弹率低等优点应用逐渐广泛。喷射混凝土与围岩紧密粘结，能够填平围岩表面的凹凸不平，将围岩表面的松动岩块粘结在一起，形成一个整体的支护结构，从而增强围岩的承载能力，防止围岩风化和剥落。在施工时，要注意控制喷射混凝土的配合比、喷射厚度、喷射压力和喷射角度等参数，确保喷射质量。

#### 3.3 衬砌支护

衬砌支护作为水利工程隧洞支护的关键环节，通常在初期支护完成后进行，分为一次衬砌和二次衬砌。一次衬砌一般采用钢筋混凝土结构，通过现场浇筑或预制拼装的方式形成，主要作用是进一步加强隧洞的支护强度，承受围岩压力、地下水压力以及其他可能的荷载。二次衬砌则更多地考虑隧洞的耐久性、防水性和外观要求，通常采用钢筋混凝土或素混凝土，其厚度和配筋根据隧洞的设计要求确定。衬砌施工过程中，需要确保模板的安装精度和牢固性，保证混凝土的浇筑质量，避免出现裂缝、蜂窝麻面等缺陷。同时，要做好衬砌与初期支护之间的防水处理，防止地下水渗漏对衬砌结构造成侵蚀和破坏，从而保证隧洞的长期稳定运行和水利工程的正常使用功能，提高隧洞的整体安全性和可靠性。

#### 3.4 钢架支护

钢架支护在软弱围岩地段的隧洞施工中发挥着重要作用。常用的钢架有工字钢钢架和格栅钢架，其具有较高的强度和刚度，能够迅速提供强大的支护抗力，有效控制围岩的过度变形和坍塌。钢架支护的施工流程包括钢架的加工制作、运输、安装和固定等环节。在加工制作时，要严格按照设计尺寸和规范要求进行，确保钢架的尺寸精度和焊接质量。安装过程中，需根据围岩的实际情况确定钢架的间距和位置，并确保钢架与围岩紧密贴合，可通过设置垫块、楔块等方式进行调整和固定。同时，要将钢架与锚杆、喷射混凝土等支护手段紧密结合，形成联合支护体系，使各支护构件协同受力，充分发挥支护效能，提高隧洞在软弱围岩条件下的稳定性和安全性，为后续施工创造有利条件。

#### 3.5 预应力锚索支护

预应力锚索支护适用于高陡边坡、深部围岩加固等复杂地质条件下的水利工程隧洞。它通过对锚索施加预应力，将不稳定的岩体或土体锚固在深部稳定岩体中，从而提高围岩的整体稳定性。锚索一般由钻孔、锚索体、锚固段、自由段和预应力张拉端等部分组成。施工时，首先进行钻孔作业，钻孔的深度、直径和角度要符合设计要求，然后将锚索体下入孔内，并在锚固段进行注浆，使锚索与岩体形成可靠的锚固力。待锚索锚固段达到一定强度后，进行预应力张拉，使锚索对岩体产生预压应力，主动限制围岩的变形和位移。预应力锚索支护能够充分发挥岩体的自身强度，有效控制围岩的大变形和深层滑动，增强隧洞围岩的长期稳定性，但其施工技术要求较高，需要专业的设备和技术人员进行操作，确保锚索的安装质量和预应力施加的准确性，以保障支

护效果,确保水利工程隧洞的安全施工和运营<sup>[3]</sup>。

#### 4 水利工程隧洞开挖与支护技术的发展趋势

##### 4.1 智能化施工技术的应用

###### 4.1.1 智能化设备的引入

随着科技的飞速发展,水利工程隧洞施工中智能化设备的应用日益广泛。例如智能凿岩台车,能够根据隧洞的设计参数自动规划钻孔路径和深度,精确控制钻孔位置,极大提高了钻孔的精度和效率,减少了人为误差。还有智能掘进机器人,通过搭载先进的传感器和人工智能算法,可实时感知围岩的地质状况,并自动调整掘进参数,如刀盘转速、推力等,实现高效破岩的同时降低对围岩的扰动。此外,智能运输设备能自动规划最优运输路线,实现物料的快速、精准配送,避免运输过程中的拥堵和延误,提升整个施工流程的自动化程度,为隧洞开挖与支护施工带来更高的效率、精度和安全性,推动水利工程建设迈向新的台阶。

###### 4.1.2 施工管理的智能化

施工管理的智能化在水利工程隧洞建设中也具有重要意义。借助大数据技术,能够收集和分析施工过程中的各类数据,包括地质信息、施工进度、设备运行状态、人员工作情况等,为管理者提供全面、准确的决策依据。通过建立智能化的施工管理平台,实现远程监控和实时调度,管理人员可以随时随地掌握施工现场的动态,及时发现问题并下达指令进行调整。例如,当监测到某一区域的围岩变形异常时,系统能自动发出预警,并推送相应的处理方案,如调整支护参数或暂停开挖作业等。利用人工智能算法还可对施工进度进行预测和优化,合理安排资源配置,确保工程按时、高质量完成,有效提升水利工程隧洞施工的管理水平和综合效益。

##### 4.2 绿色环保施工技术的发展

###### 4.2.1 减少对环境的影响

在环保意识日益增强的当下,水利工程隧洞施工正朝着绿色环保方向发展,首要任务是减少对环境影响。在开挖过程中,采用新型的低噪声、低振动的施工设备和工艺,如静音型的爆破器材或非爆破的机械开挖方法,降低施工噪声和震动对周边生态环境和居民生活的干扰。同时,配备高效的除尘设备,对钻孔、爆破、运输等环节产生的粉尘进行有效治理,减少大气污染。对于施工过程中产生的废水,通过建立完善的污水处理

系统,进行净化处理后达标排放或循环利用,避免废水直接排入自然水体造成水污染。在隧洞支护方面,尽量选用环保型的支护材料,减少材料生产和使用过程中的环境污染。通过这些措施,最大限度地保护隧洞周边的生态环境,实现水利工程建设与环境保护的协调发展。

###### 4.2.2 资源的循环利用

资源的循环利用是水利工程隧洞绿色环保施工技术的重要发展方向。在施工过程中,对产生的各类废弃物进行分类回收和再利用。例如,将隧洞开挖产生的弃渣进行加工处理,制成建筑材料,如用于填筑路基、生产混凝土骨料等,减少对天然骨料的开采,降低资源消耗。对于废旧的支护材料,如钢材、锚杆等,进行回收修复后再次投入使用,提高资源的利用率。同时,在施工用水方面,加强循环水系统的建设,将处理后的废水用于施工场地的降尘、设备冷却等环节,提高水资源的重复利用率。通过这些资源循环利用措施,不仅可以降低施工成本,还能减少废弃物对环境的污染,实现经济与环境效益的双赢,推动水利工程隧洞施工向可持续发展模式转变<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

本文通过对钻爆法、TBM法、盾构法等开挖技术以及锚杆支护、喷射混凝土支护、衬砌支护等支护技术的深入研究,明确了其各自的优缺点和适用范围,为工程实践提供了坚实的理论依据。智能化施工技术的应用和绿色环保施工技术的发展趋势,也为该领域指明了未来的方向。随着科技的不断进步,我们应持续探索和创新,不断优化这些技术,以应对水利工程建设中日益复杂的地质条件和更高的施工要求,确保水利工程的长期稳定运行和可持续发展,为社会经济的繁荣提供有力保障。

#### 参考文献

- [1]郑红,易俊新,刘志鹏,魏樯.滇中红层软岩隧洞开挖方式研究[J].民营科技,2019(09):130-132+192
- [2]鲁朝显,李鹏.白龟山水库尾水隧洞开挖支护技术[J].水利建设与管理,2019,38(07):14-17+6.
- [3]杨意.滇中红层软岩隧洞变形特征及合理支护体系研究[D].西南交通大学,2019.
- [4]把发仓.小断面引水隧洞开挖及支护技术要点[J].农业科技与信息,2019(06):119-120+126.