

# 水利工程隧洞开挖施工技术与质量控制分析

周云中

昆明理工大学 云南 昆明 650500

**摘要：**水利工程隧洞开挖施工技术与质量控制分析是确保工程安全、稳定和高效运行的关键。本文探讨了水利工程隧洞开挖的主要施工技术，包括钻爆法、掘进机开挖等，并分析施工过程中的质量控制要点，如开挖精度控制、围岩稳定性监测、支护结构设计与施工等。通过本文的研究，旨在为水利工程隧洞开挖施工提供科学依据和技术支持，确保施工质量达到设计要求，提高工程的安全性和耐久性。

**关键词：**水利工程；隧洞开挖；质量控制

## 1 水利工程隧洞开挖施工概述

水利工程隧洞开挖施工是水利工程建设中的重要环节，旨在穿越山体、河流等障碍物，构建输水、泄洪或发电所需的水工隧洞。该施工过程复杂且精细，首先需进行详细的地质勘探，以了解隧洞穿越区域的地质构造、岩性特征和水文条件，为后续施工提供科学依据。开挖作业常采用钻爆法或掘进机法，根据地质条件灵活选择，确保施工效率和安全性。施工中还需严格控制爆破震动对周边环境的影响，采取有效支护措施，保障隧洞稳定性和施工安全。施工期间还需进行持续监测，及时调整施工方案，应对突发情况。水利工程隧洞开挖施工的成功实施，对于保障水利工程的整体质量和功能发挥具有重要意义。

## 2 水利工程隧洞开挖施工中的常见问题

### 2.1 地质条件复杂

在水利工程隧洞开挖施工中，地质条件的复杂性是一个不容忽视的问题。隧洞穿越的区域往往地质构造复杂，岩层多变，甚至可能遇到断层、破碎带、软弱夹层等不良地质现象。这些地质条件不仅增加了施工难度，还可能对隧洞的稳定性和安全性构成严重威胁。例如，在穿越断层带时，隧洞开挖可能引发断层活化，导致围岩失稳、塌方等事故。软弱夹层的存在也可能使隧洞开挖面临支护困难，增加施工成本<sup>[1]</sup>。即使有了详细的地质勘探和评估，地质条件的复杂性仍然可能给施工带来不确定性。例如，在开挖过程中可能遇到未预见的地质异常，如地下水突涌、有害气体释放等，这些都需要施工队伍具备高度的应变能力和紧急处理能力。

### 2.2 施工变更频繁

在水利工程隧洞开挖施工中，施工变更频繁也是一个常见的问题。施工变更可能源于多种原因，如地质条件的变化、设计方案的调整、施工进度的延误等。这些

变更不仅增加施工难度，还可能对隧洞的整体性能和安全性产生不利影响。例如，当隧洞穿越区域的地质条件与预期不符时，施工队伍可能需要调整开挖方式和支护措施，以适应新的地质条件。这种变更不仅增加了施工成本，还可能延误施工进度。设计方案的调整也可能导致施工变更，如隧洞断面的调整、支护参数的修改等。这些变更都需要施工队伍具备高度的灵活性和适应能力，以便及时应对。施工变更频繁还可能对隧洞的整体性能和安全性产生不利影响。例如，频繁的变更可能导致隧洞开挖过程中的支护不足或过度支护，从而影响隧洞的稳定性和耐久性。

## 3 水利工程隧洞开挖施工技术分析

### 3.1 地质勘探与超前预报

在水利工程隧洞开挖施工中，地质勘探与超前预报是至关重要的环节。地质勘探主要是通过通过各种地质调查手段，了解隧洞沿线的地质构造、岩层分布、水文地质条件以及不良地质现象等。通过地质勘探，可以为隧洞开挖提供详细的地质资料，为施工方案的制定提供科学依据。地质勘探工作通常包括地质测绘、物探、钻探和坑探等多种方法，这些方法的综合运用可以大大提高地质勘探的准确性和可靠性。超前预报则是在隧洞开挖前，通过地质分析、物探等方法，对隧洞前方一定范围内的地质情况进行预测预报。超前预报的目的是及时发现异常情况，预报掌子面前方不良地质体的位置、产状及其围岩结构的完整性与含水的可能性，为正确选择开挖断面、支护设计参数和优化施工方案提供依据。超前预报可以大大降低地质灾害发生的几率和危害程度，为隧洞施工的安全和顺利进行提供有力保障。超前预报的内容一般包括不良地质预报及灾害地质预报、水文地质预报、断层及其破碎带的预报、围岩类别及其稳定性预报以及预测隧洞内有害气体含量、成分及动态变化等。

根据预报距离的不同,超前预报可以分为短距离预报、中距离预报和长距离预报。短距离预报主要用于临灾预报或防灾处理阶段,中距离预报则用于为施工提供足够的准备时间,长距离预报则更多地强调战略上的指导作用。在超前预报中,经验预报和仪器预报是两种常用的方法。经验预报主要依赖于预报人员的工程经验和直觉,适用于临灾预报。仪器预报则通过各种地质、物探仪器进行探测,适用于不同距离的预报。为了提高预报的准确性,通常采用综合预报方法,即根据地质条件的差异和不同精度要求,适时选用若干种方法相互补充和印证。

### 3.2 开挖方法与工艺

隧洞开挖是指修建隧洞时,将土或岩石松动、破碎、挖掘并运出碴的工程。在水利工程中,隧洞开挖广泛应用于引水、泄水、导流、交通以及其他隧洞的施工。隧洞开挖的方法多种多样,主要包括全断面掘进法、导洞法、分部开挖法等。全断面掘进法适用于地质条件良好、断面较大的隧洞,整个开挖断面一次钻孔爆破,开挖成型,全面推进。在隧洞高度较大时,也可分为上下两部分,形成台阶,同步爆破,并行掘进。全断面掘进法具有施工速度快、效率高、成本低等优点,是隧洞开挖中常用的方法之一<sup>[2]</sup>。导洞法适用于隧洞断面较大,由于地质条件或施工条件,采用全断面开挖有困难时。先开挖断面的一部分作为导洞,再逐次扩大开挖隧洞的整个断面。导洞法可以增加开挖爆破时的自由面,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。导洞开挖后,扩挖可以在导洞全长挖完之后进行,也可以和导洞开挖平行作业。分部开挖法则是在围岩稳定性较差,一般需要支护的情况下,开挖大断面的隧洞时采用。先开挖一部分断面,及时做好支护,然后再逐次扩大开挖。分部开挖法可以有效控制地表下沉和坍塌,保证施工安全。除了上述开挖方法外,还有掘进机法、盾构法、顶管法等多种开挖工艺。

### 3.3 钻爆作业与出碴运输

钻爆作业是隧洞开挖中的关键环节之一。钻爆法是通过钻眼、爆破、出碴而形成结构空间的一种开挖方法,是目前修建山岭隧道的最通行的方法。钻爆作业的施工要点包括:在有可能的条件下,应尽量采用全断面或大断面分部的开挖方法;应尽量采用先修筑仰拱(或临时仰拱)或铺底的施工方法;为保证二次衬砌的施工质量和整体性,在任何情况下,都应该采用先墙后拱的施工顺序。钻爆作业通常分为钻孔、装药、爆破、通风散烟、出碴等工序。钻孔可以采用凿岩机或掘进机进

行,钻孔的深度、角度、间距应根据爆破设计要求确定。装药时应选择适合的炸药和起爆器材,确保爆破效果。爆破后应及时进行通风散烟,降低有害气体浓度,保证施工人员安全。出碴运输则是将爆破后的岩石碎块从隧洞内运出。出碴运输可以采用有轨运输或无轨运输方式。有轨运输由机车牵引斗车或梭式矿车,在窄轨铁路上行驶。无轨运输则应用较多,一般由装载机或挖掘机配合汽车完成。出碴运输的效率直接影响到隧洞开挖的施工速度,因此应合理选择运输设备和运输路线,提高出碴效率。

### 3.4 辅助作业与安全支护

隧洞开挖施工中,除了掘进、出碴等主要作业外,还需进行通风散烟、降尘、防有害气体和排水等辅助作业。通风散烟是隧洞开挖中必不可少的环节,爆破后产生的有害气体和烟尘需要通过通风设备及时排出隧洞外,保证洞内空气新鲜。通风设备通常包括风机、风管等,应根据隧洞的长度、断面大小等因素合理选择。降尘则是通过洒水、喷雾等方式,减少隧洞内的粉尘浓度。粉尘不仅影响施工人员的健康,还可能引发爆炸等安全隐患。应定期进行降尘作业,保持隧洞内环境整洁。防有害气体则是通过监测隧洞内的气体浓度,及时发现并处理有害气体。有害气体主要来源于爆破产生的炮烟和地层中的有害气体。应定期检测隧洞内的气体浓度,并采取相应措施进行处理,如安装排气扇、设置有害气体报警器等。排水作业则是将隧洞内的积水及时排出,保证隧洞内干燥,隧洞开挖过程中,地下水可能通过裂隙、断层等进入隧洞,造成积水。积水不仅影响施工进度,还可能引发坍塌等安全隐患。应合理设置排水设施,如排水沟、集水井等,及时排除积水。安全支护则是隧洞开挖中的另一项重要工作,在不良地质或地下水活动较严重的地段开挖隧洞时,需采取钻超前孔的方法探明地下水情况,或是对围岩进行预灌浆,以增强地层稳定性和安全性。在开挖过程中,应根据围岩的稳定性和施工条件,合理选择支护方式和支护材料。常用的支护方式包括锚杆支护、喷射混凝土支护、钢支撑支护等。支护材料的选择应根据围岩的性质、支护方式以及施工条件等因素综合考虑。

## 4 水利工程隧洞开挖施工质量控制

### 4.1 质量控制原则与目标

水利工程隧洞开挖施工质量控制的首要原则是确保工程的安全性、稳定性和耐久性。这一目标要求在施工过程中,必须严格遵守国家及行业相关的技术标准和规范,确保施工质量达到设计要求。具体而言,质量控制

目标包括：保证隧洞开挖的精度和尺寸满足设计要求，避免超挖或欠挖现象；确保隧洞围岩的稳定性，防止坍塌和滑坡等安全事故的发生；还要保证隧洞开挖过程中的支护结构安全可靠，能够承受预期的荷载和环境影响<sup>[3]</sup>。在质量控制过程中，需要注重预防为主、过程控制和持续改进的原则。预防为主意味着在施工前，要充分进行地质勘探和超前预报，了解隧洞穿越区域的地质条件，为施工方案和支护设计提供科学依据。过程控制则强调在施工过程中，要严格执行各项施工规范和操作规程，对关键工序进行重点监控，确保施工质量始终处于受控状态。持续改进则要求在施工完成后，及时总结经验教训，对施工中出现的問題进行分析和整改，不断提高施工质量和水平。

#### 4.2 关键工序的质量控制

在水利工程隧洞开挖施工中，关键工序的质量控制是确保整体施工质量的关键。钻爆作业的质量控制要求钻孔深度和角度必须准确，炸药用量和起爆顺序要合理，以确保爆破效果满足设计要求。爆破后要及时进行通风散烟和降尘处理，保证洞内空气新鲜和施工人员的健康。出渣运输的质量控制则要求运输设备要安全可靠，运输路线要畅通无阻，出渣效率要高。在运输过程中，要避免对隧洞围岩和支护结构造成破坏。支护施工的质量控制是确保隧洞稳定性的关键，支护材料要符合设计要求，支护结构要稳定可靠，能够承受预期的荷载和环境影响。在施工过程中，要对支护结构的安装质量和稳定性进行重点监控，确保支护效果达到设计要求。

#### 4.3 施工过程中的质量监测与反馈

在水利工程隧洞开挖施工过程中，质量监测与反馈是确保施工质量的重要手段。质量监测的内容包括隧洞开挖的精度和尺寸、围岩的稳定性、支护结构的可靠性和施工过程中的安全状况等。监测方法可以采用人工检测、仪器监测等多种方式。人工检测主要依靠施工人员的经验和判断，对隧洞开挖的精度和尺寸进行直观检查。仪器监测则通过安装各种传感器和监测设备，对隧洞围岩的稳定性、支护结构的可靠性和施工过程中的安全状况进行实时监测。在质量监测过程中，要及时收集和分析监测数据，对施工中出现的質量問題进行反馈和

处理。对于轻微的质量问题，可以采取现场整改的方式进行处理；对于严重的质量问题，则需要停工整顿，并采取相应的补救措施。同时要将质量监测和反馈的结果作为施工质量控制的重要依据，不断优化施工方案和施工工艺，提高施工质量和水平。

#### 4.4 质量问题的预防与处理

在水利工程隧洞开挖施工中，质量问题的预防与处理是确保施工质量的关键环节。在施工前的准备阶段，要充分进行地质勘探和超前预报，了解隧洞穿越区域的地质条件，为施工方案和支护设计提供科学依据。同时要对施工设备和人员进行培训和考核，确保施工设备和人员满足施工要求<sup>[4]</sup>。在施工过程中，要严格执行各项施工规范和操作规程，对关键工序进行重点监控，确保施工质量始终处于受控状态。同时加强质量监测和反馈工作，及时发现和处理施工中的质量问题。在施工后的验收阶段，要对隧洞开挖的精度和尺寸、围岩的稳定性、支护结构的可靠性和施工过程中的安全状况等进行全面检查，确保施工质量符合设计要求。对于发现的质量问题，要及时进行处理和整改，确保工程质量达到标准。

#### 结束语

水利工程隧洞开挖施工技术与管理是确保工程质量和安全的重要环节。通过合理选择施工技术、加强质量管理和监测，可以有效提高隧洞开挖的精度和效率，确保围岩的稳定性和支护结构的可靠性。未来，随着技术的不断进步和经验的积累，水利工程隧洞开挖施工技术与管理将进一步完善和发展，为水利工程建设提供更加坚实的技术支撑。

#### 参考文献

- [1]郑祥乐.水利工程隧洞开挖施工技术与管理分析[J].大众科学,2024,45(13):79-81.
- [2]成利强.水利工程隧洞开挖施工技术与管理控制[J].农业科技与信息,2019(7):121-122.
- [3]王英.水利工程隧洞开挖施工技术分析[J].四川水泥.2021,(8).DOI:10.3969/j.issn.1007-6344.2021.08.089.
- [4]唐明秀,杨繁昌.地质复杂引水隧洞超挖控制[J].云南水力发电.2021,(8).DOI:10.3969/j.issn.1006-3951.2021.08.022.