

# 水利工程输水隧洞开挖初期支护施工技术分析

白瑞杰<sup>1</sup> 绳鸿阳<sup>1</sup> 朱健康<sup>2</sup>

1. 陕西省引汉济渭工程建设有限公司 陕西西安 710000

2. 陕西子午建设管理有限公司 陕西西安 710000

**摘要:** 水利工程输水隧洞开挖支护技术直接影响着隧洞施工的生产效率和安全质量的控制。选择合理的施工工艺、明确开挖及支护工作中的参数及要点,能更好的解决工程中的重点、难点。本文结合工程建设实际,重点探讨和分析了洞口工程、输水隧洞开挖及爆破方式、钢拱架支护、喷射混凝土和安全监测等施工关键技术的选择和要点,为隧洞施工技术管理和质量管理提供依据和参考。

**关键词:** 水利工程; 输水隧洞; 开挖及初期支护; 安全监测; 施工技术

## Technical analysis of excavation and initial support of water conservancy tunnel

Bai Ruijie<sup>1</sup>, Sheng Hongyang<sup>1</sup>, Zhu Jiankang<sup>2</sup>

1. Shaanxi han Jiwei Engineering Construction Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710000

2. Shaanxi Ziwu Construction Management Co., LTD., Xi'an, Shaanxi 710000

**Abstract:** The excavation and support technology of water conservancy project directly affects the production efficiency and safety quality control of tunnel construction. Choosing a reasonable construction technology, clarifying the parameters and key points in the excavation and support work, can better solve the key points and difficult points in the project. Combined with the actual situation of engineering construction, this paper mainly discusses and analyzes the selection and key points of key construction technologies such as hole engineering, water transmission tunnel excavation and blasting mode, steel arch frame support, shotcrete and safety monitoring, so as to provide the basis and reference for tunnel construction technical management and quality management.

**Keywords:** water conservancy project; water transmission tunnel; excavation and initial support; safety monitoring; construction technology

### 前言:

调水工程是解决我国南北水资源不均衡,解决北方水资源短缺制约经济发展的重要措施,也是解决南方水灾的重要措施,调水工程的典型代表为南水北调工程。目前调水工程作为实现水资源的利用的主要方式正在蓬勃发展,输水隧洞作为调水工程必不可少的组成部分,它的施工开挖和初期支护技术是水利建设领域研究的重点,也是企业提高生产效率和施工质量的重点。

### 1 工程的基本概况

我国西北某调水工程输水隧洞洞室围岩以云母片岩为主,裂隙3组以上且不规则,主要为强风化,大部分为张开裂隙,裂隙发育,洞室位于地下水位以下,施工过

程易产生洞室涌水、围岩失稳、软弱围岩大变形等问题,属于V类围岩,隧洞断面型式为圆拱直墙型。

### 2 洞口工程施工技术分析

隧洞暗洞开挖前要完成洞口施工内容,主要施工内容及施工工序为洞顶截水沟施工、边仰坡开挖、导向墙施工及管棚施工。

#### 2.1 洞顶截水沟施工

洞顶截水沟主要目的是截排地表径流,使仰坡不受冲刷,保证洞门结构的稳定。截水沟的断面、位置根据施工区域水文地质条件及截留要求确定,当遇到有坑洼积水的情况,需修筑临时排水沟与截水沟连通,使积水流入截水沟。本工程截水沟为C25混凝土截水沟,位于

开挖线外10米处,为防止泥沙淤塞,沟底纵坡大于3‰,对于湿陷性黄土地段水沟底铺设15cm厚5%水泥改良土垫层,垫层内铺设一层防渗复合土工膜。

## 2.2 边仰坡开挖

截水沟施工完成后进行边仰坡开挖。在边仰坡开挖过程中,变形因素和地质因素是影响边坡稳定的主要因素,也是我们在施工期重点关注和考虑的问题。边坡变形影响到施工进度与施工质量,甚至会对施工人员的安全生命造成威胁,复杂的地质水文条件等也会对其边坡稳定性产生不利影响,甚至会出现边坡基础不均匀沉降、边坡坍塌等的安全事故,因此在边仰坡开挖过程中掌握现场地质水文情况,防治边坡变形,并以此为依据来进行施工方案的编制和管理,满足整体工程的质量与安全需求。本工程边仰坡为土方开挖,开挖自上而下进行,采用机械开挖,机械开挖不到的边角采用人工开挖,挖掘机纵、横向台阶开挖施工,自卸汽车运输,边仰坡坡面人工整修,随开挖的进度自上而下支护。

边坡支护要紧跟开挖进行,目前采用的技术主要有以下几种:锚杆锚固技术、悬臂支护技术、重力式挡墙技术和锚喷支护技术等,几种技术适用范围存在差异,在施工中应根据现场实际条件选择合理的支护方式。锚杆锚固支护是在边坡上钻孔并打设锚杆,利用锚杆达到加固支护边坡的作用,锚杆施工时必须严格控制钻孔位置、角度、钻孔深度等指标;这种支护方式具有成本低、支护效果好、操作简便、使用灵活等优点。悬臂式支护技术是利用悬臂式支护结构嵌固土体进行支护;重力式挡土墙边坡支护技术是利用挡土墙对土体抵抗进行支护;锚喷支护是一种综合性支护措施,主要是利用锚杆和喷射混凝土组成承载结构对边坡进行防护。本工程开挖边坡采用锚喷支护技术,施工工序为边坡清理、安装钻机、钻进成孔、锚杆安装压力注浆、挂钢筋网、排水管安装、喷射混凝土。在锚杆施工及压力注浆时,重点控制以下要点:第一,锚杆布置位置、孔深应严格按照设计图纸要求进行,其孔位偏差小于150mm,孔深偏差小于50cm。第二,锚杆孔的孔轴线方向应垂直于开挖面,保证锚杆发挥作用。第三,注浆锚杆的钻孔孔径应大于锚杆直径,采用“先安装锚杆后注浆”的程序施工,孔径为32mm。第四,锚杆安装后立即进行注浆,灌浆管应插至孔底50-100mm处,并随水泥浆的注入缓慢匀速拔出,灌浆压力值不大于0.4Mpa。第五,锚杆注浆后,在砂浆凝固前,不得敲击、碰撞和拉拔锚杆。第六,对锚杆进行注浆密实度试验和拉拔力试验,保证锚杆受力及施工

质量。

## 2.3 导向墙和管棚施工

导向墙是洞口引导隧道方向的拱墙,在隧洞明挖和暗挖交界处施作,里面预埋管棚的导向管,作为管棚施工的指导方向,保证管棚方向、角度的施工精度。为方便安装导向墙内模,导向墙拱部土质开挖掏槽法并预留核心土,一般拱部核心土高度留至洞身开挖轮廓线下1.0m左右、自开挖成洞面向洞口方向5m。开挖完成后进行导向墙基础模板安装和混凝土浇筑,在基础混凝土强度符合要求后进行导向墙底模安装、钢筋绑扎、导向管安装和堵头板的安装。底模采用弧形I18工字钢做底模支撑,工字钢每榀间距为50cm,工字钢之间用Φ25钢筋纵向焊接连接以保证底模的整体性,纵向连接钢筋环向间距为1.5m,工字钢搭设加固好以后,将模板通过钢筋固定在工字钢上作为底模。底模安装完成后进行导向钢管的安装,通过测量确定钢管的位置和角度,进而控制后续管棚的角度,发挥作用,此外还要对导向钢管进行固定,最后导向管管口进行堵塞,防止混凝土浇筑时流入管中堵塞导向管。本工程为C25混凝土导向墙,径向厚度为1m、纵向长度为1m,导向钢管为直径140mm、壁厚5mm的钢管和钢花管,轴线与隧道轴线夹角为1°。

导向墙施工完成后开展管棚施工,施工顺序为钻孔、清空、顶进钢管棚、注浆等工序。为防止塌孔、卡钻,钻孔采用跳孔的方式进行,由低到高、由下往上先逐一进行钢花管(单数)的钻孔、压管、注浆后再打设相邻位置钢管(双数),钢管可作为检查管,以便检查钢花管的注浆质量,钻孔完成后进行清空和验孔工作,用测斜仪等检测孔深、倾角、外插角等,若不满足要求,应视情况清孔或补孔,合格后进入管棚顶进工序,棚管顶进采用管棚钻机和人工相配合的方式顶进钢管及钢花管,采用不同长度的钢管及钢花管进行连接,保证相邻接头错开,具体要求为同一横断面内的接头数小于50%,相邻钢管接头至少错开1m,管棚顶进完成后进行注浆,注浆管跟随钢筋笼顶至孔底,注浆前应检查管路及设备情况,并在管端头焊接止浆阀。导向管与管棚间的缝隙要采用砂浆进行填塞,并预留排气孔,待砂浆凝固后准备注浆;注浆必须严格按照注浆参数和要求进行,并做好注浆记录工作。本工程管棚采用热轧无缝钢管及钢花管,外径89mm,壁厚6mm,每节钢管两端预加工成外丝扣,以便连接接头钢管,每节钢管长4~6m,环向间距40cm,钢花管尾部留长度不小于1m不钻孔的止浆段,注浆采用水泥单浆液。

### 3 隧洞开挖施工技术分析

隧洞开挖施工主要分为全断面开挖和导洞开挖, 导洞开挖又细化为上导洞、下导洞、中间导洞和双导洞几种形式。首先, 结合地勘及开挖揭露围岩情况、项目的工期计划、施工机械的配备情况和施工内外部条件等因素, 通过科学的理论计算选择合适的开挖方式是项目效益及安全质量控制的关键。其次, 在确定好开挖方式后, 实时监控地质情况, 关注围岩变化情况, 保证开挖方式的选择适应整个开挖过程的开展, 进而促进工期的合理化管理, 质量指标的控制, 安全责任的落实, 实现施工成本和施工效率的双赢。

爆破方式的选择及爆破设计的合理性直接决定开挖的质量和施工的安全, 光面爆破是水工隧洞施工中最常采用的一种方式, 采用这种爆破方式可以有效的控制超挖和欠爆的情况, 此外可以合理利用炸药能量, 实现炸药的最大利用。爆破时需要进行测量、钻孔、装药连线起爆等程序: 第一, 在进行钻孔爆破前, 测量出隧洞的开挖轮廓线、隧洞中心线等关键位置, 并根据断面结构确定掏槽眼、周边眼、底板眼和主爆掘进眼, 其中周边孔是控制开挖轮廓, 控制超欠挖的中带你, 必须做到孔距、孔向、角度均满足要求, 对不合格的炮孔, 坚持堵塞重新钻孔, 保证成孔质量。第二, 装药前先要对钻孔进行清洗, 并按照安全爆破操作规程和爆破设计的内容进行装药方式和装药量的控制, 确保爆破质量和效果。第三, 本项目炸药选用乳化炸药, 采用导火索和导爆管的方式进行起爆, 并用粘土对炮孔进行封堵, 封堵长度大于炸药的最小抵抗线, 保证爆破的安全和质量。第四, 起爆前, 统一指挥, 先检查再排查, 专人负责警戒, 当检查洞内无人、无不安全因素时, 再指挥起爆, 爆破工作完成以后, 要进行散烟壳, 散烟过程中需要有定量的抽风系统进行强有力的散烟。

结合本工程特点, 地质情况较好的 V 级围岩采用(光面)爆破上下台阶法施工, 开挖方法见图 2.1; 断裂带及可能产生涌水段主要采用预留核心土法进行施工, 预留核心土的断面面积应大于开挖断面 50%, 开挖方法见图 2.2。本工程 V 级围岩每循环进尺、钢拱架布设间距及造孔深度相同为 0.8m, 造孔直径为  $\phi 42\text{mm}$ , 掏槽眼约为循环进尺的 1.1 倍, 即 0.88m。主爆孔根据光面爆破最小抵抗线确定, 爆破孔排距取  $b=1w=0.8\text{m}$ 。根据爆破施工经验, 底板眼与周边眼的孔距应适当加密, 爆破孔距取值  $a=0.5\text{m}$ 。周边眼、底板眼为集中装药, 确保周边成型良好, 减少对围岩的扰动。掘进眼、掏槽眼为间隔

装药, 药卷装药密度为  $0.91\text{kg/m}$ 。施工通风采取自然通风和射入轴流式通风, 出渣采用装载机挖装和自卸汽车运输。

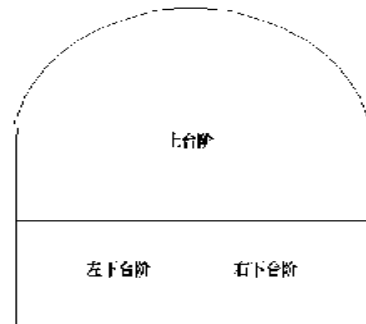


图 2.1

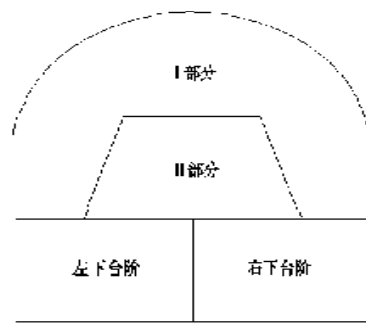


图 2.2

### 4 初期支护施工技术分析

#### 4.1 锁脚锚杆+钢拱架联合承载

支撑是在地下工程开挖过程中用以稳定围岩的重要措施, 锁脚锚杆+钢拱架+连接筋是通过三者联合成为整体支撑稳定围岩的一种方式。本工程采用 I16 工字钢拱架进行支撑, 并采用  $\phi 42$  的锁脚锚杆进行加固, 连接筋采用  $\phi 22$  钢筋。首先, 钢拱架的制作需采用钢架成型机, 按照开挖断面及拱架支撑部位进行加工, 加工时按照预留变形量 10cm 进行加工, 抵抗后期围岩变化对对面的侵限, 同时连接板与拱架进行焊接, 并预留螺栓口。其次, 钢拱架的安装要先进行测量定位, 安装时控制轴线误差为  $\pm 5\text{cm}$ , 且垂直度控制在 2 度以内, 采用  $M20 \times 70$  螺栓对拱架之间的连接板进行连接。再次, 钢拱架的安装要保证坐于稳定的基岩面上, 遇基础不平整或不稳定的情况时设钢垫板或混凝土垫板。最后, 拱架安装完成后打设锁脚锚杆, 采用  $\Phi 42$  锚杆锁脚与拱架成 45 度角斜插入岩面, 并与拱架焊接牢固, 两榀拱架间采用 1m 长连接筋进行连接。

#### 4.2 喷射混凝土

喷射混凝土能有效缩短开挖与支护的间隔时间、提高岩体整体性, 并起到承载拱的作用, 在隧洞支护中有

着十分重要且明显的作用,主要有干喷和湿喷两种工艺,其中湿喷在大规模喷射时具有很大优势:粉尘少、回弹低、物料拌和均匀、质量易管理、性能稳定、混凝土强度高,本工程喷射混凝土采用湿喷工艺施工,混凝土强度为C25,喷层厚度为20cm。第一,对原材料进行出场及进场检查,保证选用材料与配合比设计报告原材料相同,并按照设计配合比进行现场拌合。第二,用高压风配合人工对喷射面进行清理,并做好喷层厚度的位置标识,保证喷射混凝土与围岩的结合及喷层厚度等重要指标符合要求。第三,为了保护围岩的稳定性及初期支护的质量,开挖工序工作完成后立即开始进行喷射工作,并包好各工序的衔接工作,保证在喷射混凝土具备强度后进行下循环开挖爆破工序,喷射过程中控制回弹量减少施工成本,同时控制喷射质量,保证表面平整度及密实度等各项指标。第四,持续做好混凝土的养护工作,及时观测并对比实验室试块的强度,保证混凝土发挥作用。

#### 5 安全监测技术分析

隧洞施工过程中通过埋设安全监测观测点对输水隧洞进行过程监测,通过测量数据的专业化分析,确定围岩的变化情况,进而推断围岩及初期支护的变化,保证施工过程的安全,并对后期设计修正和施工工艺的调整

提供技术支持。本工程分别对拱顶下沉和水平相对净空变化进行监测和量测,二者在同时进行,围岩变形速度越快,距开挖工作面距离越近,监控频度越高,结束标准根据收敛速度判别,收敛速度 $> 5\text{mm/d}$ 时,围岩处于急剧变化状态,加强初期支护系统,收敛速度 $< 0.2\text{mm/d}$ 时,围岩基本达到稳定。当监控量测检测值达到预警值时,隧洞停止施工,并协调相关各方商讨应对措施,采取有效措施,确保洞内施工作业人员安全。

#### 6 结语

综上所述,本文结合我国西北某输水隧洞实际开挖及初期支护,重点分析了水利工程输水隧洞洞口工程施工技术、开挖施工技术、初期支护施工技术和安全监测技术,论述了施工过程中的技术要点,为水利隧洞施工提供了技术参考,为提升输水隧洞施工质量和安全提供技术支撑。

#### 参考文献:

- [1]常军.水利工程输水隧洞施工开挖衬砌技术[J].水利水电建设.2016(4):144-147.
- [2]黄智刚.下穿高速公路输水隧洞爆破设计[J].水利规划与设计.2020(11):137-140.
- [3]张艳平.浅谈隧洞爆破施工[J].中国科技信息.2005(10):121.