

# 复杂地质条件下引水隧洞开挖施工技术研究

庄生银

中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810000

[摘要] 水利项目的引水隧洞施工环境较为复杂, 不仅场地有限, 而且多处在于山区、水流湍急的施工地带, 这增加了施工的影响因素, 给施工技术带来了很大难度。基于此, 要通过对施工区域的地理地质条件分析, 制定完善的引水隧洞施工方案。文章以具体工程案例为背景, 对引水隧洞开挖施工技术实际应用进行了探索, 以供借鉴。

[关键词] 复杂地址; 引水隧洞; 开挖; 支护

DOI: 10.33142/sca.v5i1.5549

中图分类号: TV554

文献标识码: A

## Research on Excavation and Construction Technology of Headrace Tunnel under Complex Geological Conditions

ZHUANG Shengyin

Sinohydro Engineering Bureau 4 Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

**Abstract:** The construction environment of diversion tunnel of water conservancy project is relatively complex. It is not only limited in site, but also located in mountainous areas and construction areas with rapid water flow, which increases the influencing factors of construction and brings great difficulty to the construction technology. Based on this, a perfect diversion tunnel construction scheme should be formulated through the analysis of the geographical and geological conditions of the construction area. Based on specific engineering cases, this paper explores the practical application of diversion tunnel excavation technology for reference.

**Keywords:** complex address; headrace tunnel; excavation; support

### 1 工程概况

本项目为贵德县拉西瓦灌溉工程, (桩号 16+130.91~19+461.845m), 位置在黄土高原与青藏高原的过渡地带, 处于贵德县境内黄河上游拉西瓦电站大坝和李家峡电站水库库尾之间的黄河南岸。项目工程掘进支衬 6#隧洞 698.5m、7#隧洞进口 1888.2m; 新建 5#明渠 39m、3#渡槽 79m、5#分水闸及为完成主体工程而实施的临时工程。干渠分布在贵德盆地南部边缘低山丘陵及山前平原地带, 以“几”字型呈现, 干渠地带的地质地貌复杂, 主要为盆地丘陵地貌、河谷平原地貌和山前洪积地貌, 出露的地层岩性有三叠系变质岩系, 中新统粘土岩、上新统互层状粘土岩与砂岩、第四系砂砾石及黄土状土, 岩性比较复杂, 因此, 需要考虑黄土湿陷问题、洞室稳定问题、边坡稳定问题、渠道渗流问题。

### 2 复杂地质段的隧洞施工

#### 2.1 断层破碎带施工

洞身处于断层破碎带的情况下, 宜采用分部台阶法施工, 针对断层破碎带的裂隙存在严重风化、填充物较多的情况, 隧洞开挖宜采用人工配合风镐进行施工, 其他的断层破碎带开挖宜采用预裂爆破方式。

#### 2.2 岩爆地段施工

有些施工地带容易出现岩爆现象, 为了避免围岩由于承受不住极限应力而发生岩爆, 需要提前合理设计钻孔,

然后安装锚杆并予以注浆, 实现应力释放, 防范形成岩爆。如果施工区域的岩爆问题较弱, 那么则在隧洞开挖后通过岩面洒水来缓解岩爆问题。当施工区域的岩爆情况较为严重, 为了加强锚杆的锚固力, 则要采用摩擦型锚杆, 并且选择钢钎维混凝土进行喷射施工, 以避免开挖面拱部脱落, 有必要的情况下, 还需要布置钢筋网, 并联合钢支撑提高支护的稳定性。

#### 2.3 隧洞涌水溶洞施工

当有涌水溶洞出现在隧洞拱顶局部和边墙时, 需要选择水玻璃+水泥灌注的方式进行封堵。不存在涌水溶洞情况下, 采用 C20(2) 混凝土浇筑方式封堵, 封堵施工的长度应当不少于 2 米, 超过溶洞直径的 5 倍。对于空溶洞的处理, 如果溶洞底的高度高于底板开挖线, 需要结合底板开挖线的数据合理规划开挖施工, 顶端溶洞空腔部位根据围岩的具体形态采用随机喷锚支护方法进行施工。如果溶洞底部处于底板开挖线下部, 需要结合考虑溶洞的规模和大小, 选择综合支护的方式, 例如对底板溶洞进行混凝土填充, 利用钢筋混凝土梁板结构架桥穿越, 或针对跨度较大的溶洞, 将多跨渡槽设计在洞口位置, 利用随机锚喷方式对溶洞上部洞室进行支护施工。

#### 2.4 隧洞方及应急措施

实际施工时, 塌方的隐患很大, 塌方无论给施工还是人员带来的伤害都是很大的, 针对塌方要采取有效的解决

方案进行防范。对于规模不大的塌方,采用锚杆和喷射混凝土联合支护的方式,封闭隧洞侧墙和顶部,再进行清渣处理。对于规模较大的塌方情况,如果洞身被塌渣已经全部堵住了,需要先支护后清渣。塌方处理过程中,需要做好排水工作。当开挖施工过程中存在不良地质及围岩破碎的情况,需要遵循“先排水、短开挖、弱爆破、强支护、早衬砌、勤量测”的原则进行施工。

### 3 引水隧洞开挖施工技术具体应用

#### 3.1 洞挖施工

测量放样。前期准备工作完成后,专业测量人员采用全站仪对洞室内控制网进行测量,同时放样洞室开挖轮廓线,在精确位置上标志各钻爆孔位,且标识好钻孔的相关参数,具体有孔距、孔深、角度及排距等,为接下来的钻孔施工奠定良好基础。每月都应当组织洞轴线和坡度的测量检验工作,确保隧洞开挖施工的有效性。

布孔:开挖方案为:全断面洞室钻进,掌子面梅花锥形掏槽、周边光爆,技术人员结合实际测量放样的数据和爆破要求,合理进行布孔,做好主要孔位标记,便于实际钻孔作业。

钻孔:为给隧道段开挖施工提供更良好的条件,结合设计断面的尺寸,设计加工2台简易型钻爆台车,钻孔装药等工作都借助台车开展。选择风煤钻或YT-28型气腿式手风钻进行光爆孔、主爆孔施工,孔径设计为 $\Phi 42$ ,根据施工要求有效控制钻孔的角度和孔深,完成造孔的需要做好防护措施。由于堵塞原因而不能装药的钻孔,需要进行吹孔或补钻,经过对钻孔进行严格检验并达标后才能进行装药。

装药、连线、起爆。在钻孔过程中,会在孔内遗留大量的岩粉,会对装药、爆破产生不利影响。基于此,应当在装药钱进行清孔操作,达到标准后再进行装药爆破。不同类型的孔洞的炸药要求和装药方式具有差异,掏槽孔和崩落孔均为 $\Phi 32\text{mm}$ 乳化炸药卷连续柱状装药,周边孔为 $\Phi 25\text{mm}$ 乳化炸药卷不耦合间隔装药。完成装药后,仔细进行连线以及封堵,这一过程中需要以炸药的最小抵抗线长度为依据把控好封堵长度,通常封堵长度不应少于炸药的最小抵抗线长度。最后,要组织专业、细致地检验,确认无误后组织人员和其他机械设备离场。各项工作均达到标准后,由专业的爆破人员开启起爆,现场要加强安全警戒,严禁无关人员进入。

剥离。爆破结束后,等待场内通风散烟,确认现场完成后,采用反铲剥离松动的危石和岩块,再利用剥离杆清理剩余的小块危石和岩块。剥离过程中,加大检查力度,对开挖洞段的围岩稳定性情况进行实时监测。

出渣清理。洞室中的渣土通过扒渣机配合15T运输车进行清理并运输到制定的场地。大体积的岩石由于装载机无法装运,需要再次解爆后运输。出渣清理时会产生较多

的粉尘,能见度低,清理运输效率低,也容易发生安全事故,基于此,要借助设备进行通风处理。出渣清理结束后,利用钢拱架支护不稳定围岩段以及岩溶地段,并反铲排除围岩危石,以及延长风、水线路,对不稳定围岩进行及时识别和处理。

#### 3.2 隧洞开挖支护施工

##### 3.2.1 超前小导管支护

针对隧道进口加强段顶拱 $100^\circ$ 的区域,采取超前小导管支护方式,具体参数为:直径 $\Phi 40$ ,壁厚3.5mm,单长3.0m,间距30cm,环向间距200cm。超前小导管壁加工注浆花孔,孔径为 $\Phi 8\sim 10\text{mm}$ ,间距为30cm呈梅花形排列,前端20cm制作成尖锥形,钢管尾部1.0m范围不打孔。

钻孔施工借助风煤钻或YT-28手风钻进行。小导管要在钻孔后及时安装,以免发生塌孔现象。小导管安装时,先根据要求进行钻孔,孔径应当超过钢管直径 $3\sim 5\text{mm}$ ,再利用锤击或钻机打入的方式将小导管安装到内。小导管进入孔内的长度应当超过钢管长度的90%。最周采用高压风清理钢管中的残留物。

注浆施工利用孔口注浆管来完成,排气管选用 $\Phi 20$ 塑料管,将其深入到孔底 $5\sim 10\text{cm}$ 的位置,在注浆管等各种管路的连接配合下进行注浆施工。注浆中,通过阀门对孔口排气管与注浆管进行开关控制;对于掌子面与导管间的缝隙,通过锚固剂进行封堵,避免出现漏浆现象。注浆施工还需要合理配置注浆材料,设计水泥浆的水灰比为1:1,注浆压力控制在 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 。

正式注浆施工前,先对设备和管理的状态进行检验,确认无误后组织压浆试验,采集注浆试验的相关数据,并结合现场实际情况对注浆参数进行优化和调整。其次,还需在注浆施工前保证全部孔眼都已经装配了止浆塞,并且有效封闭管口与孔口侧的缝隙。注浆过程中,设置两个容器放置不同的浆液,采用两台注浆泵对不同浆液进行泵送,然后混入混合器中,再进入注浆管。可以选择群管注浆(每次 $3\sim 5$ 根)的方式进行注浆施工,这样能够提升注浆效率。注浆顺序为:从拱顶向下;由无水孔到有水孔;先小水后大水孔;由疏到密(每排孔先间隔灌注,然后对中间的加密孔进行补注,最后成为帷幕)。

为了保证注浆质量,需要在实际过程中结合具体开展情况不断进行注浆操作,以确保浆液固结能够达到预期要求。注浆中严格控制注浆压力,将其控制在 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 范围内,持压 $3\sim 5$ 分钟后停止注浆,注浆量控制在钻孔圆柱体的1.5倍。如果注浆量较大,不符合压力要求,需要对浆液浓度进行调整后再次注浆,直到满足设计标准。如果注浆中压力骤升,需要暂停运行并查看原因,可能是出现了堵管现象。当浆液填满了钻孔周围岩体与钢管周围孔隙,可以终止注浆作业。

注浆中需要指派专人对注浆操作的数据进行记录,包

括时间、浆液量、压力等，对注浆压力进行实时观测，对管路、设备等进行严密监控，以确保注浆施工顺利进行，并提高注浆质量。

### 3.2.2 挂网施工

钢筋网选择直径 $\phi 8$ ，规格 $15 \times 15 \text{cm}$ 的一级钢筋。根据图纸设计，按照单位尺寸规格 $2 \sim 4 \text{m}^2$ 在加工常编结焊接成钢筋网，然后通过载重汽车运输到场内。钢筋网施工前需要检查钢筋的直径、钢筋网的间距等是否满足施工要求，并进行污锈清洁；钢筋网施工采用人工方式，已经施工好的锚杆和钢支撑等支护体系与钢筋网连接采用铅丝捆绑并焊接，网片搭接长度为 $20 \text{cm}$ 。钢筋网施工完成后组织质量验收，符合质量标准后再开展接下来的施工。

### 3.2.3 锚杆支护

**测量定位和布孔：**根据设计图纸将钻孔位置测量定位在施工区域，系统锚杆的孔轴与开挖面相垂直；局部加固锚杆的孔轴相反于可能滑动面的方向，成超过 $45^\circ$ 的夹角。

**钻孔：**钻孔借助气腿手风钻及圆盘式钻机，钻孔误差控制在 $10 \text{cm}$ 内，孔深误差小于 $5 \text{cm}$ ，倾角误差小于 $2^\circ$ 。

**洗孔：**孔内的岩粉通过高压风进行吹洗。

**验孔：**全面检查钻孔的位置、深度、倾斜角度等数据是否与设计一致，同时准确记录相关数据，发现不达标的钻孔要标示并及时处理。

支护采用的水泥药卷的强度需要符合标准，进场的水泥药卷做好保存管理，避免暴晒、受潮。支护施工时，用水对水泥药卷先浸泡，根据水泥药卷的直径大小来确定浸泡的时间，通常浸泡 $50 \sim 120 \text{s}$ ，浸泡时的水温控制为 $10^\circ \text{C} \sim 25^\circ \text{C}$ 。

通过专用喷枪进行水泥药卷装填。先在供风管上接枪尾，供风压力控制在 $0.6 \sim 0.8 \text{MPa}$ ；在锚孔中插入导向管，深度距离孔底 $0.5 \text{m}$ ；然后把浸泡后的水泥基药卷根据分段计算量逐个填入枪膛，填入顺序为先装快凝药卷后装缓凝药卷，最后利用喷枪打入孔中，并通过风压进行压实。装填时，需要一边装一边将导向管向外拔，保证其一致与装入卷距离 $0.5 \text{m}$ 左右，这样能够避免已装入的锚固剂吹出锚孔而不密实，提高锚固质量。

### 3.2.4 钢拱架支护

施工标段开挖位置有着复杂的地质特征，其岩石稳定性不足，基于此，需要在开挖施工中对上部围岩采用钢拱架支撑方式进行支护，确保洞内施工安全；上部围岩封闭后，实施清渣处理，接着再开展下下部支护。如出现特殊情况，需要将钢支撑支护轮廓挖掘出来，立即开展钢支撑支护，然后予以爆破。

钢支撑构成为顶拱、侧拱各单元钢构件，通过拼装成型，连结采用螺栓。预制加工厂根据设计图纸分节、编号

加工钢支撑，然后试拼成型，偏差控制在 $\pm 0.5 \text{cm}$ ；沿洞身周边轮廓偏差控制在不超过 $2 \sim 3 \text{cm}$ 。平面放置状态下的钢支撑翘曲误差控制在 $\pm 2 \text{cm}$ 。

安装时，采用仪器对钢支撑安装位置进行测量定位，在基脚位置预留出 $15 \sim 20 \text{cm}$ ，先安装锁脚锚杆，其孔深为 $1.4 \text{m}$ ，将锁脚锚杆与钢支撑焊接在一起，以增强钢支撑的整体稳定性。沿钢支撑设直径不小于 $\phi 22$ 螺纹钢的纵向连接钢筋，并按环向间距按 $1.0 \text{m}$ 设置。

钢支撑与隧洞中轴线相垂直，角度偏差控制在 $2^\circ$ 内，钢支撑的各部位与垂直面偏差小于 $3 \text{cm}$ 。如果钢支撑与初喷层之间存在明显的缝隙，需要设置骑马垫块，钢支撑距离围岩（或垫块）不超过 $5 \text{cm}$ 。沿钢支撑纵向配置 $\phi 22$ 螺纹钢，环向间距为 $1.0 \text{m}$ 。钢支撑支设后立即进行混凝土喷射施工，全面覆盖钢支撑，促进钢支撑与混凝土建立受力体系。混凝土喷射采取分层施工方式，从拱脚或墙脚位置向上施工，每层混凝土厚度 $5 \sim 6 \text{cm}$ ，确保混凝土强度，提高拱脚（墙脚）的稳定性。

## 4 结语

综上所述，在水利工程项目中，引水隧洞施工是重点内容之一，引水隧洞施工不但施工条件恶劣，且施工质量关系到水利工程运转。施工单位需要紧密结合实际情况，合理应用开挖支护施工工艺，加强质量控制，在安全、高效的环境中促进施工顺利完成。

### 【参考文献】

- [1] 王国威, 董龔蛟. 穿越复杂地层超长引水隧洞的开挖及支护[J]. 建筑施工, 2021, 43(8): 152-154.
  - [2] 赵爽. 某引调水工程引水隧洞施工方案分析[J]. 陕西水利, 2021(8): 241-242.
  - [3] 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, 37(8): 105-107.
  - [4] 王晓平. 乌斯通沟水库放空冲砂隧洞开挖支护施工技术[J]. 中国新技术新产品, 2021(14): 125-127.
  - [5] 曹光辉. 小断面长距离引水隧洞施工与技术分析[J]. 低碳世界, 2021, 11(6): 127-128.
  - [6] 张卫华, 孙根江, 罗勇. 长距离大断面水工隧洞下半洞开挖施工技术研究[J]. 四川水力发电, 2021, 40(3): 40-43.
  - [7] 侯剑桥. 硬梁包水电站大断面洞室开挖施工方法研究[J]. 四川水力发电, 2021, 40(3): 56-59.
  - [8] 张永鹏, 吴建东. 引洮供水二期主体工程第35标段引水隧洞施工技术[J]. 水利规划与设计, 2021(5): 125-128.
- 作者简介：庄生银（1986.5-）男，杨凌职业技术学院，基础工程技术，中国水利水电第四工程局有限公司，项目副经理，工程师。