

# 道路隧道开挖工程中的洞内支护施工实例分析

李灵国

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450001

**摘要:** 本文以一项道路隧道开挖工程为例,探讨了洞内支护施工中的相关工艺技术要点,包括锚喷支护施工、钢拱架支护、超前小导管施工、锚杆施工等环节,强调了支护施工在保障隧道开挖过程中的安全性和稳定性的重要作用,以期为类似工程建设提供参考。

**关键词:** 隧道开挖; 支护; 施工工艺

## 1. 工程概况

某抽水蓄能电站枢纽工程中道路隧道施工采用先明后暗的施工工序,先对洞口边坡进行施工。道路隧道起点桩号为K0+023,高程为478m,终点桩号为K0+270,高程为485m,长度247m。隧道标准断面尺寸6.5m×6.77m(宽×高),建筑限界6.5m×4.5m(宽×高),最大埋深101.3m,最小埋深位于洞口部位,埋深2~3m左右。洞口施工包括:被动防护网、截水沟、边坡、超前支护等。待洞口开挖支护完成后,进行洞身段开挖支护。

## 2. 隧道开挖中的洞内支护施工工艺分析

在本次隧道施工中所采用的支护结构主要有以下几种:

### 2.1 锚喷支护施工

锚喷支护施工应在洞室开挖后适时进行,为防止岩体发生松弛变形,危及洞室安全,对于洞口段、IV类围岩洞段和不良地质段的锚喷支护施工在每次爆破后均应及时跟进,即一炮一支。施工时,先对洞身岩面和掌子面喷4cm厚素混凝土进行封闭,再进行锚杆支护施工与钢筋网挂设、钢拱架架立,最后再二次喷射至设计厚度。II、III类围岩洞段支护工作面与开挖工作面距离不超过6m,防止岩石面长期裸露导致洞石结构不稳定。

### 2.2 钢拱架支护

IV类围岩洞段采用钢拱架支护结构,钢拱架采用I18工字钢,其中包含架立钢板(22cm×19cm×1cm)、连接钢板(22cm×19cm×1cm)、C22锁脚锚杆(L=4.5m)组成。相邻两榀钢拱架纵向间距为1m,当围岩极破碎或处于断层拱架间距可缩短至50cm~1m,连接筋为C22,环向间距100cm钢筋。

钢拱架支撑施工工艺流程:施工准备→场外钢拱架加工→混凝土初喷→测量定位→现场拼装安设→纵向连接筋及钢筋网片安装→复喷混凝土

①钢拱架加工。根据施工设计图纸,单榀钢拱架根据连接板布设位置采用弯弧机分段进行加工,每段半成品同样由连接板、工字钢组成,两者间均采用焊接形式,竖向支撑工字钢可根据现场实际情况调整单根长度。连接板采用氧气焊将钢板原材切割,切割后连接钢板利用钢板钻加工螺栓孔。加工成型半成品进行分类码放,码放时,底部需架设方木或垫块与地面隔离,同时顶部加盖防雨设施。

②测量定位。按照既定设计规划来进行测量放线,先完成隧洞轴线高程等的测量,之后再行钢拱架的测量,需要注意,在钢拱架安装前还需要进一步检查断面的尺寸,如果存在欠挖净空等情况,则需要及时处理,以免影响钢拱架安装。

③钢拱架安设。在初喷4cm混凝土后,原则上要求紧贴初喷面,其腿部必须支承在坚固平稳的基岩。其安装顺序,按钢支撑→连接筋→钢筋网片→锁脚锚杆。

根据测量定位,钢拱架安装方式采取自下而上。利用装载机将半成品工字钢运至洞内,人工根据现场测量放样先进行两侧支腿安装,立于可靠的岩石基础上,利用钻爆台车架立顶拱,连接钢板对位后,缝隙紧密,人工利用扳手将螺栓安装就位,外露丝扣用电焊点焊;安装完成后进行支腿底部锁脚锚杆加固施工,锁脚锚杆与钢拱架焊接<sup>[1]</sup>。在挂网喷护前,两排钢拱架间沿周边设置φ25@100cm纵向连接筋,与钢拱架点焊,形成纵向连接系。拱架端部采用I18钢支撑或槽钢支承,或提前预制的混凝土块进行支撑。边顶拱空隙

中的空洞较大部位可采用钢支撑形成拱上拱, 安装完成后进行空腔混凝土回填, 达到“主动支护”作用; 当钢拱架与初喷混凝土面之间有较小间隙时喷射混凝土填补。

④挂网喷护。钢拱架安装完成, 经验收合格后, 开始挂网喷护混凝土施工(25cm厚), 采取两层喷护方式, 挂网前先进进行第一层4cm厚喷射混凝土施工, 而后进行第二层喷护(21cm厚)将钢拱架完全覆盖。

### 2.3 超前小导管施工

根据Y3号道路设计图纸, 隧道进出口段、IV类围岩较破碎洞段都采用超前小导管支护。具体布置图如图1所示。小导管施工工艺如下:

①在钢拱架顶部实做超前小导管, 超前小导管参数:  $\phi 42 \times 6@400$ ,  $L=4.5\text{m}$ , 外插角 $15^\circ$ , 搭接长度不小于1m。

②小导管采用外径 $\phi 42$ , 壁厚6mm的热轧无缝钢管制作, 前端50mm加工成圆锥形并予以封焊严实, 管身设置注浆孔, 孔径为 $\phi 6\text{mm}$ , 孔距150mm, 按梅花形排列; 后端500mm不设注浆孔, 管身在加工过程中要保证顺直。

③布孔: 根据超前小导管的设计图纸, 测定开挖线断面的中线, 拱顶外轮廓线后利用全站仪进行布孔放样, 同时利用油漆标注。之后就可以进行打孔作业, 打孔完成后需要检验孔的垂直度。

④插管: 小导管安装过程中必须准确对准管孔, 然后再利用推进器将其缓缓推入孔内<sup>[2]</sup>, 同时小导管端部还需要与工字钢进行牢固焊接。之后喷射混凝土, 厚度约5cm, 对尾管周围加强封闭, 以防浆液外流。

⑤注浆: 超前小导管预注浆过程中要采用两种浆液, 一种为单液水凝胶, 另一种则为水泥水玻璃双浆液, 水泥水灰比以及水泥浆、水玻璃比分别为1.0和1:0.5, 后者多用于渗水比较严重的区域。施工过程中必须严格控制注浆量以及

注浆压力。注浆参数应根据实际注浆效果进行调整, 并经现场工程师同意, 注浆量按实计量。

### 2.4 锚杆施工

1) 岩面清理。施工前必须先清理干净整个岩壁上的浮渣, 为后续施工营造良好环境。

2) 测量布孔。按照既定设计图纸来进行锚杆孔位及孔倾斜角的测量放线。

3) 钻孔。施工采用风钻配合锚杆钻机进行钻孔, 孔位偏差最大不超过150mm, 垂直偏差最大不超过3%, 孔深偏差最大不能超过50mm。

4) 清孔。完成钻孔后, 需要先通过水对钻孔进行清理, 以无废渣废粉为标准。在通过监理工程师验收后, 才能够进行后续施工。

5) 材料设备就位。所有施工设备及材料都需要有序运至工程现场。睡衣砂浆配合比为1:1.07, 水灰比为0.44, 通过螺杆制浆机进行拌合。砂浆在拌合完成后必须及时使用, 在初凝结束后则禁止使用, 同时砂浆骨料需要提前过筛, 其粒径应该控制在 $2.5\text{mm}$ <sup>[3]</sup>。

6) 注浆: 锚杆注浆采用TG30EB型螺杆制注浆一体机连续注浆, 施工前用水或空气检查管道是否畅通, 将注浆管、泵用接头连接好, 结合施工设计图纸控制注浆参数, 在注浆过程中需要先进行注浆, 注浆期间需要将注浆管直接接触到孔底, 然后再往外拔出50~100mm, 之后再行注浆, 随着注浆的增多缓慢, 将其拔出, 直至整个浆液注满, 然后再将锚杆插入其中。如果在施工中先插入锚杆, 然后注浆, 在此过程中必须在排气管出现浓浆后才能够进行注浆。灌浆压力应不小于0.5MPa, 如不能使得砂浆完全填充锚杆周围空隙, 则需要利用试验来确定是否需要增加灌浆压力, 在注浆期间, 如果停止时间超过半小时, 则先需要通过西水泥浆对

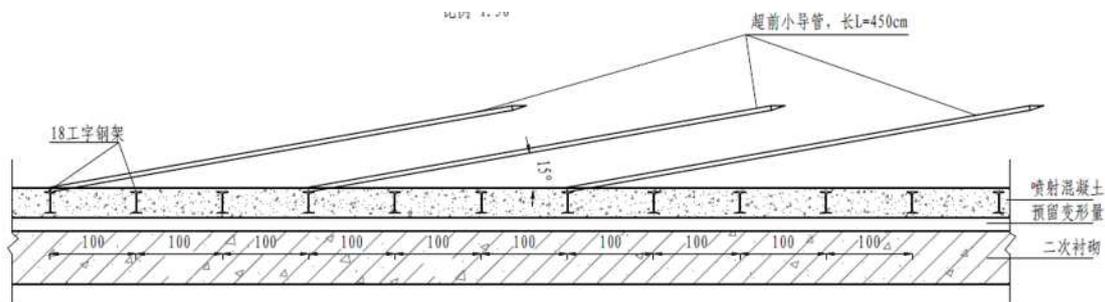


图1 超前小导管布置详图

管路或者罐体进行湿润,然后再继续注浆。在完成注浆后,必须在浆液强度超过70%后才可进行拉拔等操作

7) 锚杆安装与孔口封堵:在注浆完成后,及时将锚杆插入孔内设计位置,孔口封堵采用干硬性水泥砂浆进行封堵。

### 2.5 钢筋网安装

本工程钢筋网采用 $\phi 8$ 圆钢,原材料在进场前需要进行质量检验,如果经检验不合格则禁止使用,网片间、排距 $250\text{mm} \times 250\text{mm}$ ,钢筋网片在场外加工完成后再利用平板车运至工程,现场由人工进行挂网作业,并绑扎牢固<sup>[4]</sup>。如果钢筋网设置在有锚杆的位置,钢筋网和锚杆需要在尾部位置进行焊接,如果不存在锚杆,则可以直接通过插件和网片进行连接,钢筋绑扎长度控制在30d。在完成铺设后,还需要对整个钢筋网进行平整,与混凝土面贴在一起,避免存在架空的情况。然后就可以进行混凝土喷射,混凝土保护层厚度一般需要在20mm以上。

### 2.6 喷混凝土施工

#### 1) 配料拌和

采用的混凝土为C25混凝土,强度必须超过42.5MPa。在前一阶段主要采用商品混凝土,本工程自建拌和站投产后采用自建拌和站供料,速凝剂在施工现场添加。搅拌时间应根据试验确定,且不小于2min。各类材料的原材的计量误差不得大于规范要求。

#### 2) 拌和料输送

混合料在拌合完成并经检验合格后,通过罐车运至现场,再转运至湿喷机内,在此期间需要做好控制措施,避免混凝土裂隙。

#### 3) 基底表面处理和其它准备工作

混凝土喷射前,需要先对整个基地进行清理。同时还需要设置好混凝土喷射厚度的标志,一般通过钢筋作为标志物,控制面积在两平米左右。同时还需要对设备管线等进行进一步的检测,确保其不存在任何问题,以免在施工过程中存在中断。此外,如果受喷面出现渗水等问题,则需要结合工程现场具体情况,设置导槽或者埋管等方式,将积水渗水排出。

#### 4) 喷射作业

在喷射过程中,喷枪与受喷面之间必须保持垂直,同时喷枪和受喷面之间的距离需要控制在0.6~1.5米之间,

在整个喷射作业中,需要按照先墙后拱,分段分层,由下到上的顺序进行喷射作业。在喷射过程中,如果受喷面中存在较大的凹洼,需要先对其修补平整,然后再进行混凝土喷射。在分层喷射过程中,必须确保前一层终凝之后才可进行下一层的施工,同时在混凝土喷射过程中,如果上一层混凝土表层存在较多粉尘则必须先对其进行清理,然后再进行下一层的喷射作业。仙林两侧混凝土喷射必须设置一定的搭接长度,一般在200mm左右,同时混凝土表面的起伏差最大不能够超过100mm<sup>[5]</sup>。由于富水地段存在着较多的积水如果直接进行喷射,会影响最终的凝固效果,所以在施工中需要根据具体情况来进行处理,如果涌水量比较大,必须先封堵,之后再喷射混凝土,如果涌水量较小或者仅存在渗水情况,则可以通过导管引排后再进行作业。

混凝土终凝后需要及时养护,一般在终凝2h时开始,连续养护7天以上。如果施工期间温度过低,则必须严格控制混合料的入机温度必须在5℃以上,同时如果外界混凝土温度低于5℃,则禁止洒水养护。

### 2.7 支护质量保证措施

#### (1) 锚杆施工

针对不同的锚杆型号,对应的锚杆深度是不同的,为了避免在施工中发生混淆,必须通过不同颜色油漆进行标识和区别。在完成钻孔并清孔后,需要进一步检测孔的深度、垂直度等是否符合既定设计要求,如果不达标,则需要修整,经检验合格后才可安装锚杆。整个施工期间必须安排技术人员进行旁站监理,严格控制施工过程中的各方面技术参数。在完成安装后,需要由质检部门随机抽检,如果经无损检测,发现质量问题,该范围内的锚杆必须增加抽检比例。

#### (2) 混凝土喷护施工

1) 喷锚支护作业前必须详细检查围岩情况,以此为基础制定支护施工方案,确定支护类型和参数。在动身施工期间,对于不良地段必须确保开挖与支护同步进行,确保施工安全

2) 喷锚支护必须严格按照既定工艺流程开展,在完成钻孔、安装、注浆等各环节都必须由监理工程师检查并签字确认。

3) 喷混凝土。混凝土材料必须严格按照技术要求经过反复的试验确定最佳配合比设计,确保混凝土的强度等相关性能指标都符合设计要求,同时还需要由监理工程师同

意确认。

4) 混凝土喷射需要按照螺旋形轨迹横向移动, 分层喷射, 同时还需要采用一圈压半圈的方法, 这样才可以保证混凝土喷射的厚度和均匀性。施工期间, 喷嘴和受喷面也需要尽可能维持垂直, 这样可以避免回弹问题的发生, 提高喷射质量。混凝土终凝后需要及时养护, 一般在终凝 2h 开始, 连续养护 7 天以上。

### 3. 结语

在隧道开挖过程中, 施工工艺、开挖进尺控制和洞内支护施工是保障工程安全性和稳定性的关键环节。在具体工程建设中, 需要结合隧道开挖的实际情况综合采用一种或者多种支护方式, 比如锚喷支护、锚杆支护、超前小导管等实现对围岩结构的加固保护, 尽可能增强围岩结构的稳定性,

为隧道施工提供一个安全可靠的环境。

### 参考文献

- [1] 李道红, 杨志刚. 软弱围岩条件下隧道开挖支护施工研究 [J]. 运输经理世界, 2023, (19): 83-85.
- [2] 陈航. 软弱围岩隧道开挖及支护施工技术 [J]. 四川建材, 2021, 47(11): 90+98.
- [3] 张建录. 高速公路隧道开挖支护技术分析 [J]. 四川建材, 2021, 47(06): 141+143.
- [4] 许兆勇. 软弱围岩浅埋隧道开挖支护施工关键技术 [J]. 工程建设与设计, 2021, (04): 156-158.
- [5] 陈长春. 关于隧道开挖支护施工技术的运用研究 [J]. 山西建筑, 2018, 44(26): 174-175.