

# 水利工程中水工隧洞暗挖施工技术研究

张 亮

安徽水利开发有限公司 安徽 蚌埠 233000

**摘 要:** 在水利灌区工程建设中,隧洞是常用的供水设计建筑物,在水工隧洞施工过程中,隧洞暗挖质量、安全尤为重要。在项目具体实施中,仍存在诸多不确定因素影响隧洞工程暗挖质量、安全,鉴于此,本文以安徽省港口湾水库灌区工程项目为例,首先分析隧洞暗挖施工要点,然后探讨隧洞暗挖技术的应用,以供参考。

**关键词:** 水利工程;隧洞暗挖;铣挖机;施工技术

## 1 水利工程隧洞暗挖施工要点

### 1.1 施工测量要点

在水工隧洞暗挖过程中,要进行大量的测量作业,测量的精准度对于隧洞顺利贯通尤为重要,因此,隧洞的测量作业要有专人负责,熟悉图纸和规范,操作仪器熟练可靠,确保测量数据的准确、真实。

进洞测量是将洞外测量基准数据转到隧洞内,便于洞内测量作业,具体测量操作是将洞外基准控制点通过水准和导线测量,在洞口建立临时控制点,通过水准仪和全站仪,把高程和坐标控制点引至隧洞内,为隧洞开挖作业提供高程和坐标依据。

本项目隧洞长度属特长隧洞,隧洞设计断面小,利用单向导线控制隧洞测量放样,主辅共用。

### 1.2 隧洞排水要点

隧洞进出口边坡、仰坡为防止上坡面水流入洞口,设置截水沟,截水沟距洞脸边坡2m,马道上设排水沟。

隧洞掘进方向为下游向上游开挖,施工前进方向为上坡,洞内的水流靠自身重力自然流向集水坑,再由抽水泵接力排水。

在隧洞两侧渗水位置向内开挖集水坑,抽水设备采用抽水泵阶梯式抽排至洞口沉淀池,经沉淀后排至基坑外沟渠或作为砼养护用水。集水坑数量、大小可根据实际情况增加。隧洞洞身根据渗水点和渗水量的大小增设排水管,导出洞身渗水,释放水压力。

### 1.3 设备选择要点

隧洞洞身均在强~弱风化泥质粉砂岩岩层中通过,主要地质为粉质黏土、细砂~轻壤土,围岩属极软岩,具崩解性,进、出口地形单薄,埋深较浅,初步围岩分类均属V类,极不稳定,需及时支护。

基于此,隧洞不适用于传统的钻爆法施工,优先选用电动液压铣挖机进行隧洞暗挖作业,采用电动液压铣挖机进行开挖<sup>[1]</sup>,当岩石硬度不高或遇水易软化的岩层

时,可以采用工作面适当超前钻孔,孔内加压喷水的方式进行提前软化,大大降低开挖难度。

按照整机功率匹配设计铣挖头,采用三泵三回路系统设计,各种功能之间不干扰,极大发挥了铣挖头的工作效率的同时,按照不同工况条件选用不同的截齿,采用不同的布局方式,使铣挖头动力强劲,工作效率得到极致发挥。

### 1.4 铣挖机施工要点

根据隧洞断面尺寸,选择铣挖机配合3t出渣车进行掘进施工,铣挖机自上而下进行开挖,洞渣由铣挖机传送带进行出渣,出渣车在尾部传送带接土后,运至洞外弃渣场。

### 1.5 洞口边坡、仰坡施工要点

洞口边坡、仰坡采用C25砼喷锚支护,为保证仰坡、边坡稳定,开挖与支护同时施工,即开挖一层,支护一层,分层进行,至设计标高。

隧洞进出口支护方式大致相同,洞口边坡、仰坡开挖完成后,由于隧洞施工时间较长,洞口边坡、仰坡外露时间长,因雨水等易造成失稳,故洞口边坡、仰坡全部采用锚喷支护,按照图纸设计锚喷支护方式为<sup>[2]</sup>:①边坡、洞口以上仰坡打设 $\Phi 16$ 锚杆( $L=3.0m$ , $@1.5m \times 1.5m$ ),梅花形布置;洞脸打设 $\Phi 16$ 锚杆( $L=3.0m$ , $@1.0m \times 1.0m$ ),梅花形布置;②挂钢筋( $\Phi 8$ 钢筋网, $@15cm \times 15cm$ );③喷射混凝土,洞脸以上边坡喷射5cm厚C25砼,洞脸区域喷射10cm厚C25砼,喷护边坡钻排水孔( $@4.0m \times 4.0m$ )。

### 1.6 隧洞安全监测要点

隧洞均为V类围岩,围岩完整性总体较差,局部裂隙发育。变形监测主要包括进出口边坡、围岩表面变形、围岩内部变形、浅埋地段地表沉降。变形监测采用收敛仪、全站仪、水准仪、多点位移计等。

隧洞拱顶沉降和收敛变形第一次测量位置距掌子面

不大于1m, 后每隔30m设置一个变形监测断面, 每断面设置3个点; 内部变形设置1个断面, 每断面3个测孔, 每测孔布置3个点; 边坡变形监测在顺隧洞开挖方向洞口设置1个监测断面; 洞口地表沉降测点沿隧洞开挖方向设置3个断面, 每断面3个点。

掌子面开挖前进行首次监测, 距离掌子面3倍洞径范围内, 每个开挖循环监测1次, 不少于1次/d, 进口边坡、围岩表面变形及围岩内部变形按照1次/周~1次/月进行监测。<sup>[1]</sup>

进出口边坡位移量中误差限值按照 $\pm 3.0\text{mm}$ 控制, 洞身表面变形按照 $\pm 2.0\text{mm}$ 控制, 深部变形按照 $\pm 0.3\text{mm}$ 控制, 接缝、裂缝开合度按照 $\pm 0.2\text{mm}$ 控制。

## 2 水利工程隧洞开挖施工技术的运用

### 2.1 全断面开挖施工技术

全断面开挖施工技术特点是把整个隧洞断面进行一次开挖成型, 根据设计提供地质资料, 隧洞洞身段分为土洞和中厚岩层结构, 岩洞段为碎裂结构, 主要都是红砂岩结构且隧洞断面较小, 有利于采用铣挖机一次开挖成型, 开挖顺序按照隧洞掌子面预加固施工→洞身土方全断面开挖→初喷砼→出渣→锚杆钢拱架制安→复喷砼。每次开挖至设计轮廓线前预留大约20cm厚土层, 预留土层采用人工手持铁锹修挖, 开挖后及时进行支护施工。

为了确保隧洞开挖成型, 隧洞采用全站仪和激光导向仪配合放样开挖, 待开挖轮廓线形成后, 对局部欠挖部分人工进行修整, 立即进行初期临时支护, 确保洞身开挖高效、安全施工。在水利小断面隧洞工程施工中应用该技术有利于提高隧洞施工进度, 很大程度上提高了隧洞施工的综合效率, 在保证隧洞施工质量的前提下对整个隧洞施工工期进行有效控制。

### 2.2 管棚施工技术

在洞口开挖支护完成后, 按设计架设3榀钢拱架, 焊接 $\Phi 20$ 拱架连接钢筋, 并和墙面锚杆连接牢固。按照 $3^\circ$ 角在拱顶焊接好导向管, 焊接牢固后支模浇筑洞口的锁口混凝土, 待锁口混凝土达到设计强度的80%后, 架设管棚机, 沿导向管钻孔, 钻到设计深度后, 通过风压洗孔, 然后安装管棚。<sup>[1]</sup>

管棚采用热轧无缝钢管, 前端做成尖锥形; 钢管上钻注浆孔, 梅花形布置, 尾部预留1.5cm作为不钻孔止浆段, 钢管内插加筋钢筋笼。

管棚注浆采用设计的水泥-水玻璃双液注浆, 采取机械配合人工分段注浆的方式, 浆液扩散半径大于0.8m; 管棚注浆参数为: 水泥浆与水玻璃体积比为1:0.5, 水泥浆水灰比为1:1, 水玻璃浓度35Be, 模数2.4, 灌浆初

压0.3~0.5MPa, 终压1.0MPa。可根据现场试验进行适当调整。管棚注浆工作结束后立即清理管棚注浆口多余浆液, 使用M30号水泥砂浆充填密实。

### 2.3 注浆小导管施工技术

支护顺序按照超前注浆小导管→开挖→初次喷射砼→立钢拱架→打设系统锚杆→挂钢筋网→二次喷射砼→打设排水孔, 初期支护施工应紧邻掌子面。

小导管采用无缝热轧钢管, 前段做成尖锥形, 导管尾部使用 $\Phi 8$ 的钢筋加劲箍焊接; 导管管壁上使用电钻按梅花型钻眼, 间隔10~20cm, 钻孔直径为6~8mm, 导管尾部预留30cm以上作为不钻孔的止浆段。

超前小导管采用手风钻钻孔, 人工在平台车上安装小导管, 注浆机灌注水泥(砂)浆, 按照初压0.3~0.5MPa进行压力注浆, 终压1.0MPa, 可根据现场试验进行适当调整。注浆工作结束后立即清理管棚注浆口多余浆液, 使用M30号水泥砂浆充填密实。

### 2.4 锚杆施工技术

锚杆采用 $\Phi 22$ 水泥基药卷锚杆, 矩形布置, 水泥基药卷锚杆采用Y28手风钻进行钻孔, 采用人工进行锚杆安插施工, 仰角 $10\sim 15^\circ$ 。

施工时用锚杆的杆体缓慢匀速将“药卷”锚固剂顶入安装孔, 同时一边顶一边转动锚杆杆体, 使“药卷”锚固剂在杆体周围均匀充填密实, 但不能过度搅动。锚杆施工中, 顶入和转动杆体时, 应注意“缓慢、匀速、密实”。“药卷”锚固剂安装完毕后, 孔口采用木楔块将杆体固定牢靠。

### 2.5 拱架施工技术

钢拱架采用Q235轧制的I16工字钢拱架, 钢拱架再钢筋加工厂拼装完成, 采用运输车运至隧洞内进行安设, 钢拱架与洞壁之间紧贴, 在安装钢拱架时, 当钢拱架与土体之间存在间隙过大使用垫块进行垫实, 相邻拱架间沿周边用 $\Phi 20$ 连接钢筋焊接牢固, 形成纵向连接系, 连接间距不大于1m, 内外缘交错布置; 钢支撑立柱脚设钢垫板。钢拱架安设完后, 与相邻的锚杆进行焊接牢固, 与初喷砼之间应楔紧, 使之成为整体结构, 防止松动。

钢拱架安装尺寸严格按设计施工图执行, 确保不侵入衬砌设计断面范围内。

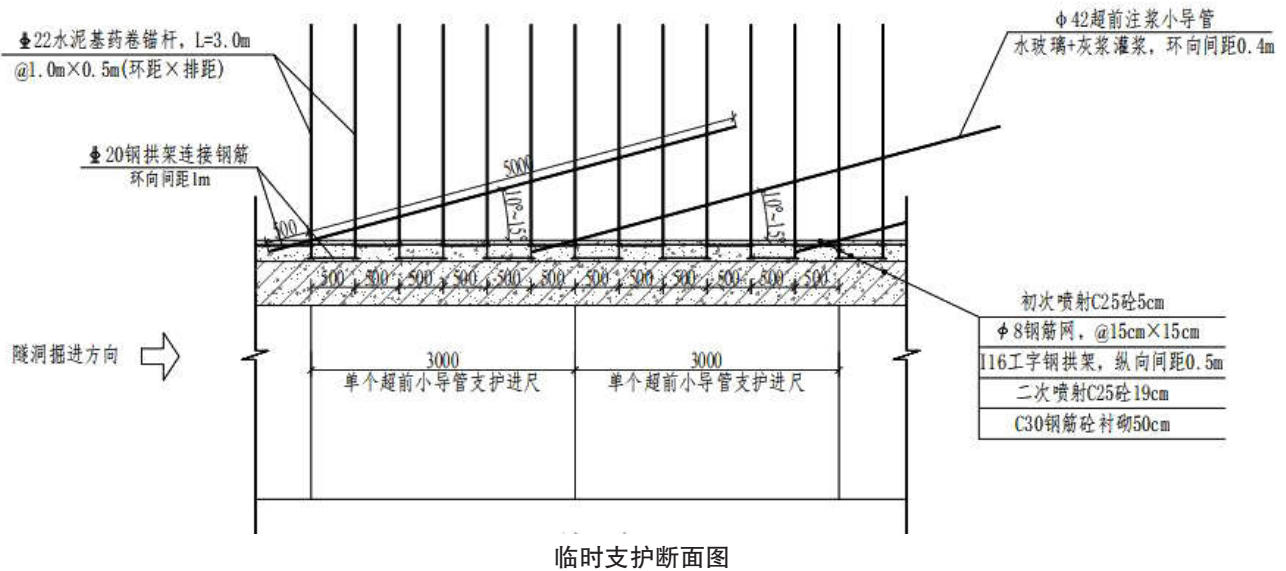
### 2.6 挂网、喷射混凝土施工技术

钢筋网在钢筋厂集中加工, 加工成网片后运至现场安装, 钢筋网采用HPB300钢筋, 连接钢筋采用HRB400钢筋, 为 $\Phi 8$ 钢筋网,  $@20\text{cm}\times 20\text{cm}$ , 运至工作面后人工在平台车上铺挂, 在有锚杆的地方, 钢筋网与锚杆头进行焊接牢固, 确保喷射混凝土时对钢筋网的振动影响。

挂网作业完成后,进行喷射混凝土作业,喷射混凝土按照设计采用湿喷喷射施工,喷射前埋入铁钉等喷层厚度控制标志。

采用HPC6型喷射机接导管至工作面人工喷护,喷

射混凝土顺序由下而上,施工分初喷和复喷进行,开挖成型后开始初喷混凝土,初次喷射厚度5cm,钢拱架、钢筋网安设完成后进行二次喷射混凝土,复喷喷射厚度19cm。



### 3 不良地质段处理方法

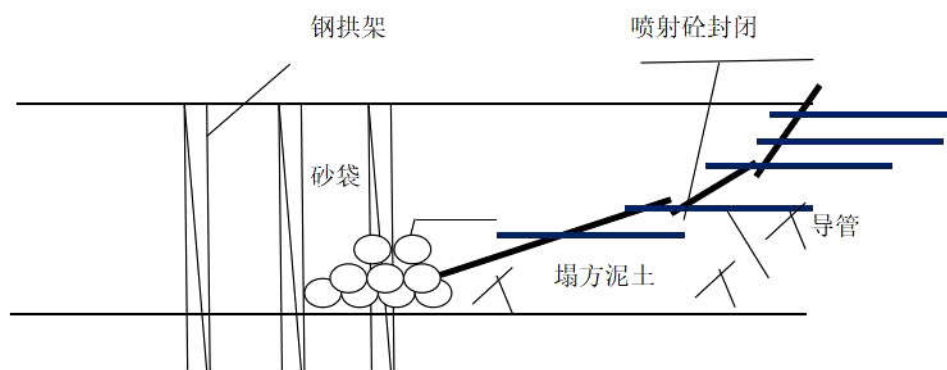
根据地质资料显示,土洞结构和碎裂结构为开挖不良地质,围岩自稳能力差,隧洞拱顶部易导致局部塌方<sup>[4]</sup>。

土洞段施工主要采用短进尺0.5~1.0m,碎裂结构段施工主要采用短进尺1~2.0m进行开挖施工。

施工过程中若出现隧洞拱部地层失稳导致局部塌方,首先洞内作业人员第一时间撤出,立即上报相关负

责人,等待救援。

出现塌方后,首先封闭掌子面,通过预备的沙袋进行码砌,沙袋多列分层堆砌,再打入圆木进行支撑牢靠;对于顶部较高位置,采用钢拱架支撑。然后对掌子面进行喷射混凝土进行加固,再打入小导管进行注浆施工。洞内围岩稳定后,在进行塌方土体出渣,清理完毕后才能进行正常隧洞开挖作业。



隧洞掌子面塌方处理示意图

### 结束语

铣挖机在水工隧洞中属于新技术、新设备,通过本项目的应用,尤其是小断面尺寸隧洞,对今后我公司类似项目具有良好的指导和借鉴作用。经过本项目的使用,铣挖机全断面开挖法,对围岩及已支护完成段落扰

动小,避免掉块、塌方的发生,欠挖、超挖控制的很好,对减少危险源,节约成本,提高效率具有较高的推广价值。

隧洞属于超过一定规模的危险性较大的地下暗挖工程,隧洞开挖过程中,极易受到诸多素的影响,造成安

全事故、质量事故等，不仅影响工程进度、施工成本，还会危及隧洞施工人员的人身安全。所以，在隧洞开挖作业时，要综合考虑地质、水文等因素，选用适宜的施工设备、施工工艺，遵循“管超前、严注浆、短进尺、强支护、快封闭、勤量测、速反馈”的施工原则来进行施工，从而确保工程施工质量和工程进度，减小安全事故发生的概率。

#### 参考文献

- [1]引洮工程泥岩隧洞采用铣挖机开挖施工方法 李芳芳；《广东水利水电》；2018-09-26.
- [2]水利水电工程锚喷支护技术规程（SL377-2017）.
- [3]水工隧洞安全监测技术规范(SL764-2018).
- [4]浅谈隧道塌方及时应变及处理 田敢增；《城市建设理论研究（电子版）》；2014-07-25.