

# 滇中引水软岩隧洞施工支洞交岔口开挖控制技术

殷本林

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 611730)

**摘要:**滇中引水工程大理段狮子山隧洞处于红尘软岩段,变形情况突出。为便于超长输水隧洞的施工设置了斜井作为施工支洞,鉴于该支洞与主洞交汇处结构跨度大,开挖支护期间其变形与稳定控制难度大。阐述了针对该支洞与主洞交岔口部位的分区分块、开挖程序、支护结构等具体情况采取的相关变形控制措施,以期对类似工程施工提供参考。

**关键词:**滇中引水工程;软岩隧洞;交岔口;开挖控制技术

中图分类号:TV7;TV52;TV554;TV523

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2023)06-0016-04

## Excavation Control Technology for Intersections of Construction Adits in Soft Rock Headrace Tunnel in the Central Yunnan

YIN Benlin

(Sinohydro Bureau 7 Co.,Ltd., Chengdu Sichuan 611730)

**Abstract:** The Shizishan Tunnel in the Dali section of the Central Yunnan Water Diversion Project is located in the red bed soft rock section with prominent deformation. In order to facilitate the construction of an ultra-long water conveyance tunnel, an inclined shaft has been set up as a construction adit. The structural span at the intersection of the adit and the main tunnel is large, making it difficult to control deformation and stability during excavation and support. This article explains deformation control measures taken based on the specific conditions, such as zoning and blocking, excavation procedures, and supporting structures at the intersection of the adit and the main tunnel, which can provide reference for the construction of similar projects.

**Key words:** Central Yunnan Water Diversion Project; Soft rock tunnel; Intersection; Excavation control technology

### 1 概述

滇中引水工程是我国西南地区规模最大、投资最多的水资源配置工程,也是我国在建的大型引水工程之一。工程由石鼓水源和输水总干渠两部分组成。输水总干渠跨滇西北、滇中及滇东南地区,共划分为大理 I 段、大理 II 段、楚雄段、昆明段、玉溪段和红河段 6 段。由中国水电七局承建的标段位于大理 II 段,主要包含狮子山隧洞、牛驼子箐暗涵、洗窝帚山隧洞等主要建筑物。

狮子山隧洞长 5.164 km,设计流量为 125 m<sup>3</sup>/s,底坡  $i=1/4\ 200$ ,断面型式为马蹄型,衬砌后的断面尺寸为 9.2 m×9.2 m,衬砌厚度为 0.4~0.7 m,跨断裂带的衬砌厚度为 0.7~0.8 m。

为满足狮子山隧洞的开挖进度,工程设置了 5 号支洞作为主洞(狮子山隧洞)的施工通道。其交叉口包含主洞段和支洞段,其主洞段长 42 m,

支洞段长 9 m。在主洞段交叉口范围布置了工字钢及底板永久横撑进行加强支护,其间距为 0.5 m,共计布置了 85 榀。对该支洞段交叉口处的工字钢设置为左密右宽的辐射状,隧洞左侧工字钢布置的间距为 0.232 m,右侧的间距为 0.8 m,共计布置了 18 榀工字钢。支洞与主洞交岔口处的结构混凝土与主洞浇筑为一体。5 号施工支洞交岔口平面图见图 1。

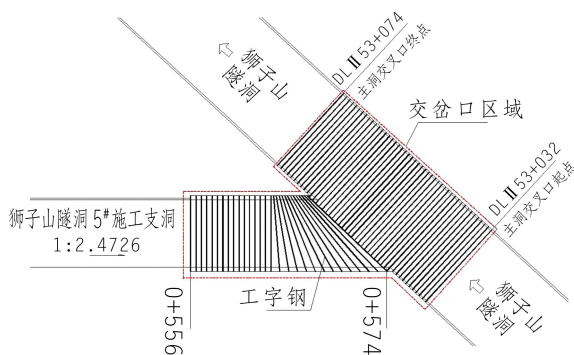


图 1 5 号施工支洞交岔口平面图

收稿日期:2023-05-30

该段地层岩性为(T3ba)强风化粉砂质泥岩、钙质泥岩,夹薄层状粉砂岩、泥质砂岩,岩体较破碎~完整性差,岩体节理裂隙多呈微张~半闭合状,裂隙延伸长度为5~8 m,裂隙面平直粗糙,填充岩屑夹泥。围岩软弱破碎,节理裂隙发育密集,裂隙水发育,存在流水、股状涌水的可能性。针对实际施工工况,项目部制定出切实可行的施工方案并付诸实施,取得了较好的效果。

## 2 总体施工程序

针对该交岔口的施工,总体分以下步骤进行:支洞交岔口段的开挖支护→道路回填→主

洞交岔口段导洞的开挖支护→交叉段主洞挑挖施工→主洞上下游交叉段的开挖支护。待交岔口段的开挖支护施工完成后,分别向主洞上下游掘进<sup>[1]</sup>。

支洞段采用机械开挖<sup>[2]</sup>,待开挖支护至主洞下游边墙时停止掘进,利用开挖渣料填筑形成道路后爬坡进入主洞工作面,开始实施主洞的开挖支护。主洞分三层进行开挖支护,其中上层又分为中导洞+扩挖并设置了临时支护措施。待上层开挖支护完成后分别进行中层和下层的开挖支护。交岔口开挖分层剖面图见图2。

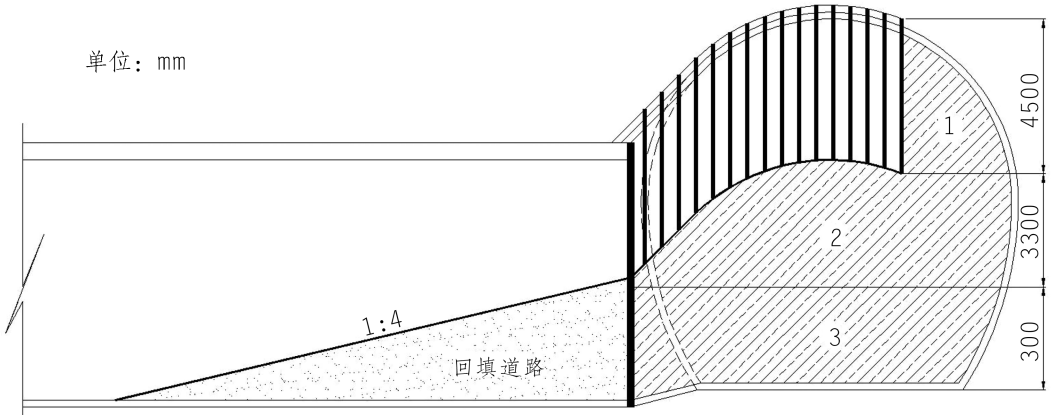


图2 交岔口开挖分层剖面图

施工期间主要通过初支加强措施确保交岔口岩体的安全稳定。交岔口支洞段采用双层 I20a 工字钢进行加固,主洞段增加 I20a 永久横撑闭环,横撑间距同主洞钢支撑间距。横撑左侧(顺水流方向)通过在端头设置地梁的方式将横撑进行固定,同时在地梁背部、轨道对应位置预埋 I20a 工字钢作为轨道车挡。交岔口地梁的布置情况见图3。

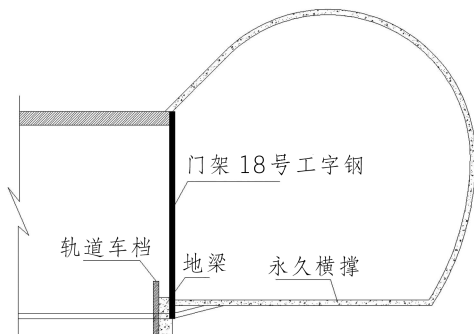


图3 交岔口地梁布置示意图

## 3 主要施工方法

### 3.1 交岔口支洞段的开挖

支洞段根据所揭露的围岩条件采用全断面和台阶法开挖,在完成支洞段开挖及支护后再进行交岔口主洞段的开挖,期间需要在支洞部位回填部分洞渣作为施工通道。随着交岔口和主洞段的开挖支护进度,逐步挖除该部分洞渣。

交岔口段布置的18榀钢支撑采用 I20a 内外双拼工字钢,其中最后一榀工字钢(与主洞相交部位)采用方型门架型式,同时,该段底板设置单层 I20a 工字钢横撑,喷20 cm厚C20混凝土封闭。顶部工字钢与主洞段工字钢连接成整体。交岔口18号工字钢结构示意图见图4。

超前支护措施为超前注浆小导管,参数为: $\Phi 42$  mm, $L=4.5$  m,间距0.3 m,排距3.0 m,搭接长度为1.5 m;锁脚采用注浆锚管,参数为:双排、四根 $\Phi 42$  mm, $L=4.5$  m;挂网喷混凝土的参数为: $\Phi 6$  mm@200 mm $\times$ 200 mm,40 cm厚C20混凝土;系统锚杆采用中空注浆锚杆,参数为: $\Phi 25$  mm, $L=4.5$  m,间排距为2.0 m<sup>[4]</sup>。

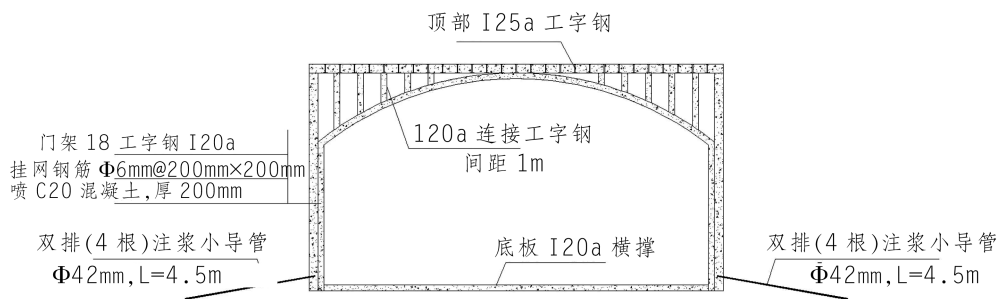


图 4 交岔口 18 号工字钢结构示意图

### 3.2 导洞开挖

支洞开挖完成后进行主洞导洞的开挖,导洞开挖的断面为  $5.4\text{ m} \times 4.7\text{ m}$  (宽 $\times$ 高),导洞开挖采用全断面开挖,一次开挖成形。

采用 I20 钢支撑,共布置了 16 榀工字钢,间

距为  $0.5\text{ m}$ 。导洞开挖支护完成后实施导洞段主洞钢支撑,将主洞钢支撑左侧末端与支洞 18 号钢支撑焊接牢固,使导洞顶部形成钢支撑网壳,以便其整体受力;在完成上述项目施工后方可进行下一步施工。中导洞钢架结构见图 5。

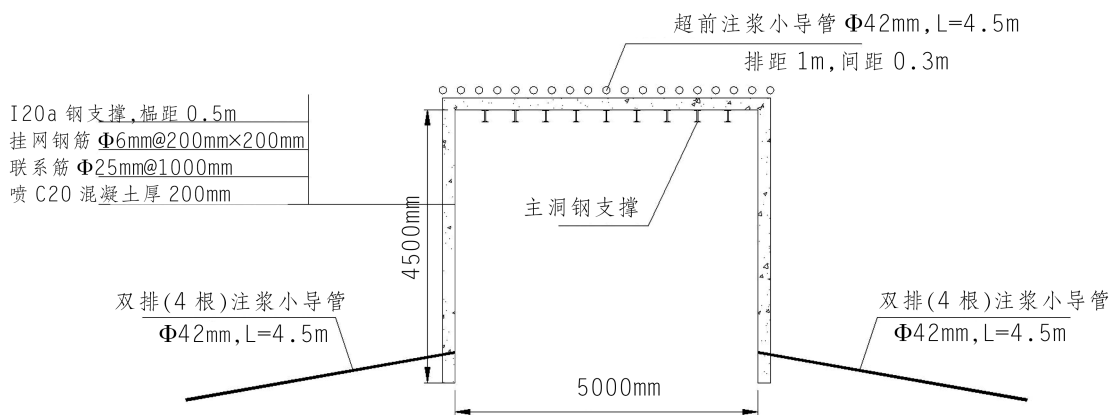


图 5 中导洞钢架结构示意图

### 3.3 主洞开挖

在完成导洞及导洞对应的主洞钢支撑施工后启动主洞段施工,采用三台阶开挖,主要分为以下三个步骤。

第一步:拆除导洞上游的竖向钢支撑后进行上游段的开挖,长度为  $4\text{ m}$ ,循环进尺为  $0.5\text{ m}$ 。

第二步:继续向前掘进,该部分工字钢不再搭接至支 18 号工字钢,需根据围岩情况按  $0.5 \sim 1.0\text{ m}$  长度进行开挖。

第三步:重复上述步骤组织并进行下游剩余区域的开挖。

第四步:在完成第三步施工后,交岔口工作面逐步打开,上下游可交错进行开挖,待工作面操作空间满足施工要求后,组织进行第二台阶、第三台阶开挖。

要求将三台阶的长度整体控制在  $25 \sim 30\text{ m}$  范围内<sup>[5]</sup>,严格执行初支尽早封闭成环的施工

工艺。

## 4 超前地质预报

根据围岩地质条件及风险程度,将超前地质预报的级别分为 A、B、C 级并采取了相应的预测手段。各种地质预报手段见图 6。

### 4.1 加深炮孔

加深炮孔的探测方法应在施工超前地质预报洞段全覆盖(采用超前钻探洞段除外),其前后探测循环宜有适当的重叠段。对于断层、节理密集带或其他破碎富水地层每循环宜钻 1 孔,富水岩溶发育区每循环宜钻  $3 \sim 5$  个孔。揭示岩溶时应适当增加钻孔,以满足安全施工和溶洞处理所需资料为原则,加长炮孔的孔深为  $5\text{ m}$ ,搭接长度为  $1\text{ m}$ 。

### 4.2 超前水平钻

超前水平钻以冲击钻为主,孔径不小于  $65\text{ mm}$ ,用以确定掌子面前方的岩石类别,判断含水

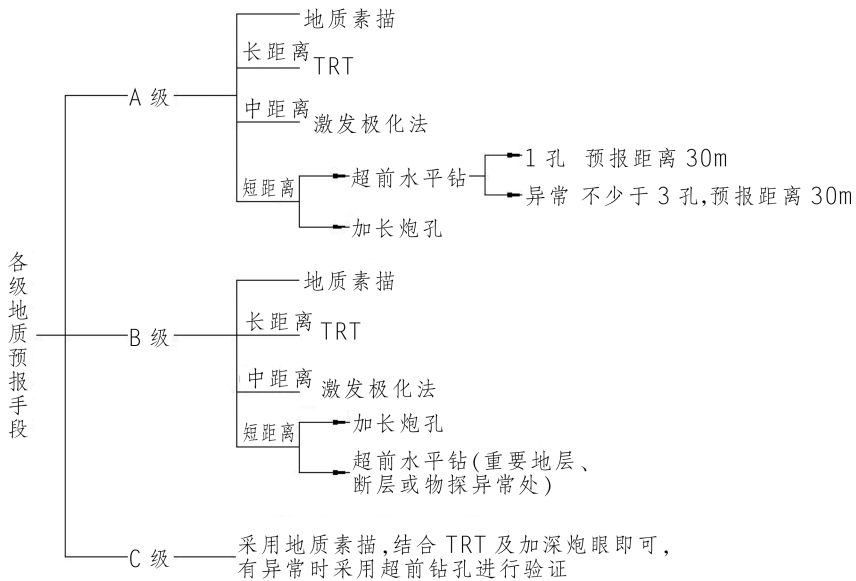


图6 各种地质预报手段示意图

的裂隙与孔洞、富水带、含有害气体的岩层等,孔数的布置为在断层、节理密集或其他破碎富水地层每循环钻1孔,在富水岩溶发育区每循环钻3~5个孔,用以揭示岩溶时应适当增加,以满足安全施工和溶洞处理基础资料为原则;当连续预报时,其前后两次的预报钻孔需搭接3~5 m。钻孔过程中若遇到夹泥层、涌水时应停止钻孔,待处理后方可施工。超前钻孔主要作为短期超前地质预报手段,每30 m探测预报一次,每次搭接长度为5 m。

## 5 监控量测

### 5.1 监测点的埋设

监测点的安装应能保证开挖后12 h(最迟不超过24 h)内和下一循环开挖前测得初次读数。测点应牢固可靠、易于识别并需注意保护,严禁爆破损坏。监测点的制作要求:采用 $\Phi 22$  mm螺纹钢,长40 cm,将其端部切割成约 $15^\circ$ 斜面,于斜面焊接 $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的正方形钢板,用于粘贴反光片。

监测断面的一般间距为:Ⅱ类围岩每隔60 m左右布置1个收敛断面,Ⅲ类围岩每隔50 m左右布置1个收敛断面,Ⅳ类围岩每隔40 m左右布置1个收敛断面,Ⅴ类围岩每隔30 m左右布置1个收敛断面。对于断层破碎带,5~10 m布置1个收敛断面。特殊情况按设计要求执行,在每个收敛监测断面布设5个收敛测点。

### 5.2 监测频率

隧洞围岩收敛监测的时段系从掌子面附近具备收敛测点埋设条件开始,直至二次衬砌开始浇筑时为止。各收敛断面在开挖或支护后的7 d内每天应观测2次;8~15 d每天观测1次。当掌子面距收敛断面的距离大于2倍洞径后每2 d观测1次。变形稳定后,每周观测1次,直至围岩衬砌后停止观测。在收敛断面附近进行加固处理时或测值出现异常时应酌情增加观测次数。

### 5.3 数据分析

隧洞安全监测成果包括:监测周报、监测月报、收敛变形监测现场记录表,其中收敛变形监测现场记录表是按照水平位移法、垂直位移法整理出来的,该分析表能有效反映顶拱沉降与水平线收敛变形,具备反映围岩变形的功能。

## 6 结语

监测数据反映的情况表明:交岔口段在采取系统施工措施后围岩的收敛变形马上得到有效控制,变形速率在3 mm/d以内,围岩趋于平稳。

综上所述,在隧洞施工过程中,应坚持做好监控量测、超前地质预报工作,分析变形机理,然后有针对性地采取加强措施和方案优化是行之有效的治理手段。然而,由于隧洞地质条件复杂以及变形的多样性,其变形机理不同而导致软岩变形的治理、预防仍然是一项严峻的课题。

(下转第24页)

(2)解决办法。①按照规范使用要求并根据其使用程度在绳锯对接前将绳锯预扭转(常规新绳锯绕三圈;对使用过的绳锯视具体情况绕圈,正常可绕 5 圈)。②减小绳锯的张紧度,降低电流。③应对不同厂家或不同型号的绳锯加以区分,应根据实际情况调整圈数,安装时一定要拉紧绳锯等。

#### 4.3 串珠锥度过大

绳锯使用时,串珠的前端(前进方向一端)的磨损一般快于后端,出现一定的锥度( $<0.2\text{ mm}$ )属于正常现象。但如果串珠前端直径与后端直径差超过  $0.2\text{ mm}$  时则可定为锥度过大。锥度过大反映串珠磨损过快,将导致绳锯寿命偏短。

(1)原因。①切割时电流过大,因强行下刀而导致绳锯串珠磨损加快。②切割线速度偏低而导致串珠磨损加快。

(2)解决办法。①适当降低下刀速度。②适当提高线速度。

#### 4.4 串珠松动及窜动

在绳锯使用过程中,所使用的固定材料不能牢固固定串珠,从而使串珠绕钢丝绳转动或沿钢丝绳窜动,使部分串珠间距发生变化,甚至出现串珠拥挤的现象。

(1)产生的原因。①切割时,由于绳子的局部弯曲半径过小,弯曲应力过大,导致串珠与橡胶脱离,失去了橡胶对串珠的固定能力,易产生串珠松动。②冷却水不到位或冷却效果不佳,导致橡胶过热老化而失去了对串珠的固定能力,易产生串珠松动。③绳子出现卡绳。应避免强拉强扭,否则串珠易被拉脱而产生松动。

(2)解决办法。①切割时,采用导向轮合理调

(上接第 19 页)

#### 参考文献:

- [1] 陈锡琪. 复杂地质条件下大断面隧洞交岔口快速开挖技术[J]. 山西建筑, 2017, 43(28):180-181.
- [2] 郑红, 易俊新, 刘志鹏, 等. 滇中红层软岩隧洞开挖方式研究[J]. 民营科技, 2018, 24(9):130-132, 192.
- [3] 曹爱武, 褚卫江, 吴家耀, 等. 复杂地质条件下隧洞交岔口开挖支护稳定研究[D]. 抽水蓄能电站工程建设文集, 中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会 2021, 442-446.

整锯绳的弯曲半径。②切割时,确保有充足的冷却水使锯绳处于冷却状态。③绳子出现卡绳时应适当放松锯绳,对卡绳进行处理后再进行施工。

#### 5 结 语

采用绳锯对防渗墙顶部混凝土浇筑块进行切除时其切割功率可达  $6\text{ m}^2/\text{h}$ 。考虑到单次转运设备、穿绳等准备工作需要 3 h,每天正常切割时间为 5 h,对于宽度为  $0.8\text{ m}$  的防渗墙,单台切割机每天可切割  $37.5\text{ m}$  左右,施工效率较高。

对内蒙古芝瑞抽水蓄能电站防渗墙顶部混凝土浇筑块切割,所采用的施工方法对防渗墙主体结构零损伤,切割面光滑、平整,施工噪音小、无粉尘、无废气排放,施工效率高,既能够满足不扰动防渗墙主体结构的要求,又能够快速进行切割,进而降低了施工成本,亦保证了施工质量,大大加快了大坝施工进度,所取得的经验可供类似工程参考。

#### 参考文献:

- [1] 刘文清, 贾宁, 杨翠竹, 等. 绳锯无损切割技术在混凝土支撑拆除中的应用分析[J]. 江西建材, 2021, 41(3):133, 135.
- [2] 倪平, 牛运君, 邓智. 地铁车站绳锯切割拆除钢筋混凝土腰梁施工技术[J]. 建筑技术, 2022, 53(9):1169-1170.
- [3] 陈文华. 浅析混凝土结构静力无损拆除施工技术[J]. 中国建筑装饰装修, 2021, 20(12):64-66.
- [4] 王俊澎. 绳锯无损切割技术在地下连续墙拆除施工中的应用[J]. 工程建设, 2020, 52(1):51-55.
- [5] 李永林, 胡紫航, 刘奎奎, 等. 抽水蓄能电站高边墙绳锯切割施工技术应用研究[J]. 水电与抽水蓄能, 2022, 8(1):117-120.

#### 作者简介:

付红刚(1978-),男,四川简阳人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

杨云志(1989-),男,四川资阳人,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。 (责任编辑:李燕辉)

- [4] 赵利奎, 李晓丽, 冯立红, 等. 滇中红层深埋软岩隧洞支护措施研究[J]. 地下空间与工程学报, 2020, 16(2):737-743, 761.
- [5] 郑红, 易俊新, 刘志鹏, 等. 滇中红层软岩隧洞开挖时空效应研究[J]. 民营科技, 2018, 24(9):74-76, 84.

#### 作者简介:

殷本林(1979-),男,四川成都人,分局总工程师,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)