

# 复杂环境下小洞径隧洞施工技术浅析

古小梦<sup>1</sup>, 李凯<sup>2</sup>, 史明泽<sup>2</sup>, 胡兵<sup>3</sup>

(1. 华电金沙江上游水电开发有限公司拉哇分公司, 四川 甘孜州 627650;

2. 中国水利水电第四工程局有限公司西南分局拉哇项目部, 四川 甘孜州 627650;

3. 四川二滩国际工程咨询有限责任公司拉哇水电站主体工程监理部, 四川 甘孜州 627650)

**摘要:**该工程排水洞受环境因素影响较大, 结合右岸边坡整体施工规划, 对隧洞施工进行浅析, 笔者通过利用开挖支护工序关系, 优化爆破设计参数, 采取光面爆破钻孔超深及回填, 利用自制简易移动式台车等一系列方法以保证小洞径隧洞快速施工, 为后续复杂环境下小洞径隧洞施工提供重要的参考。

**关键词:**复杂环境; 小洞径隧洞; 施工技术

中图分类号: TV554

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)03-0145-04

## Analysis on Construction Technology of Tunnel with Small Diameter under Complex Environment

GU Xiaomeng<sup>1</sup>, LI Kai<sup>2</sup>, SHI Mingze<sup>2</sup>, HU Bing<sup>3</sup>

(1. Lawa Branch, Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD., Ganzi, Sichuan 627650;

2. Lawa Project Department, Southwest Branch, Sinohydro Bureau 4 Co., LTD., Ganzi Sichuan 627650;

3. Supervision Department of the Main Project of Lawa Hydropower Station, Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., LTD., Ganzi, Sichuan 627650)

**Abstract:** The drainage tunnel of this project is greatly affected by environmental factors. Combined with the overall construction planning of the right bank slope, the construction of the tunnel is analyzed. In this paper, the relationship between excavation and support processes is used to optimize blasting design parameters, and a series of methods are adopted to ensure the rapid construction of the small diameter tunnel, such as smooth blasting drilling and backfilling, self-made simple mobile trolleys. It provides an important reference basis for the construction of small diameter tunnel in the complex environments.

**Keywords:** Complex environment; Tunnel with small diameter; Construction technology

## 0 引言

排水洞开挖支护技术较为传统, 在水利水电工程领域取得了较好的成绩。随着水电站的不断发展与开发, 受现场自然环境与水文地质等因素影响, 小洞径隧洞开挖支护技术正在逐步优化和提高, 笔者通过过简述复杂环境下小洞径排水洞开挖支护方法, 以供类似工程借鉴及参考。

### 1 工程概况及施工难点

#### 1.1 工程概况

排水主洞起点位置布置于右岸泄水建筑物进口边坡 EL. 2 799.70 m 马道平台处, 排水主洞全

长 320.60 m, 排水支洞全长 47 m。城门洞室净空尺寸 2.70 m×3.10 m(宽×高), V 类围岩区域洞室净空尺寸 3.60 m×3.85 m(宽×高) 排水主洞起止桩号为 0+001.074~0+319.521, 洞室底板开挖起点高程 2 799.700 m, 洞室底板终止高程 2 809.586 m。PSD2-2 排水支洞起止桩号为 0+000.00~PSD2-20+047.00。洞室底板开挖起点高程 2 805.927 m, 终点高程 2 807.299 m, 隧洞底板均为 3% 的坡度。

#### 1.2 施工难点

(1) 工程地质条件复杂。据右岸平硐揭露, 右岩主要发育 3 组节理和 3 组卸荷裂隙。岸坡岩体

收稿日期: 2024-03-15

强卸荷水平埋深一般为5~15 m,谷底弱卸荷最大水平埋深45 m,坝顶弱卸荷水平最大水平埋深67 m。右岸坝顶局部存在深卸荷现象,水平最大埋深约90 m。岸坡岩层属于中硬岩~坚硬岩,工程区地质条件复杂。

排水主洞进口位于右岸泄水建筑物进口处,进口边坡从上至下依次出露大理岩和角闪片岩、绿泥角闪片岩,岩层产状总体上为 $N10^{\circ}\sim 60^{\circ}W$ , $SW\angle 35^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ,局部为 $N10^{\circ}\sim 50^{\circ}W$ , $NE\angle 15^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ,与岸坡构成反向坡为主。自然边坡地形陡峭,地表裸露弱风化基岩,为反向坡节理、裂隙较发育,存在多种节理组合模式与开挖边坡交切后构成的潜在不稳定的随机块体。边坡开挖施工过程中需要及时清除坡面松动不稳定小块体及加强临时支护措施。

(2)施工条件差。材料及石渣运输主要道路为现场临时施工便道,进口位于泄水建筑物AB区连接段EL.2 800.00马道平台处,平台马道下部有8级边坡。该段施工时间位于汛期且上下边坡正在施工边坡支护工程,运输及开挖支护交叉作业严重,安全问题较为突出。

## 2 机械设备选型及组合

根据设计图纸洞径尺寸、隧洞长度、周边环境、运输道路等,结合施工方法及施工进度,选用的开挖支护设备组合见表1。

表1 开挖支护设备选型一览表

序号	机械设备名称	型号	备注
1	手风钻	YT-28	主要用于造孔
2	扒渣机	STB-80	带小型液压破碎锤头
3	潜孔钻机	100B	主要用于支护
4	自卸车	3 t	用于材料运输和出渣
5	风机	—	用于通风排烟
6	混凝土喷射机	GL型	用于支护
7	注浆机	3SNS型	用于锚杆注浆
8	空压机	22 m <sup>3</sup> /min	用于开挖机械设备供风
9	卧式装载机	ZYJ935	辅助备用

考虑到有限空间作业、开挖断面尺寸及通风排烟条件,采用柴油设备机械进入隧洞施工,发动机燃烧产生的尾气很难在短时间内抽出去<sup>[1]</sup>,因此现场所有机械设备尽量全部使用电力驱动。

## 3 总体施工方案总体规划

总体施工程序为:风水电路准备→测量放点→造孔装药爆破→通风排烟除尘→人工机械排危→运渣装车→锚喷支护→下一循环<sup>[2]</sup>。

### 3.1 风水电标准化施工

(1)施工用风主要为隧洞开挖、锚杆及排水孔钻孔、喷混凝土用风。洞室进口适当位置设置集中供风站,供风站内由2台容量22 m<sup>3</sup>/min电动空压机,每台配2个2.0 m<sup>3</sup>的稳压容器罐。沿隧洞左侧边墙使用专用支架敷设DN100钢管用作供风管线,隧洞进口处使用风机对洞内进行通风排烟。

(2)施工用水主要为洞内造孔、喷锚用水等。施工用水从就近布设的系统蓄水池接引,洞内供水主管采用DN50钢管,与供风管线同侧,上下层敷设,端头距离掌子面控制在30 m,利用底板设计结构及横纵坡进行施工废水排放,排至洞口位置的三级沉淀池内<sup>[3]</sup>。

(3)施工用电主要为施工照明用电、通风设备、供风设备等用电。施工用电从21号变压器接引,工作面用电设备按照三级配电一机一闸施工。洞内电缆支架采用矿用电缆挂钩沿右侧边墙敷设,桥架距离隧洞底部高度2.0 m,支架间距控制在10~15 m,照明电缆位于左侧边墙。

### 3.2 开挖

根据施工蓝图、设计通知等文件结合现场实际情况,对不同围岩、不同断面分别做出相应的爆破设计,各类围岩爆破设计见图1。使用测量仪器按爆破设计放点。使用YT-28手风钻造孔。设备就位后,检查钻杆的位置、方向及倾角,确定无误后开钻,发现偏差立即纠正。钻孔根据功能不同分为掏槽孔、坍塌孔及光爆孔,掏槽孔间排距0.2 m×0.2 m,坍塌孔间排距0.60 m×0.75 m,Ⅲ、Ⅳ类围岩光爆孔间距0.45 m,Ⅴ类围岩光爆孔间距0.4 m,钻孔完成后高压风枪冲洗孔道。

炸药选用 $\phi 32$  mm乳化炸药,严格按照爆破设计(爆破参数实施过程不断调整优化)进行装药,掏槽孔、坍塌孔连续装药,装药要密实,堵塞良好,光爆孔用小药卷捆绑于竹片上间隔装药,所有炮孔装药堵塞完毕并检查无误后,用非电雷管联结起爆网络<sup>[4]</sup>。

采用扒渣机辅助3 t自卸式运输车出渣,开挖有用渣料统一拉运至指定渣场。出渣完成后将

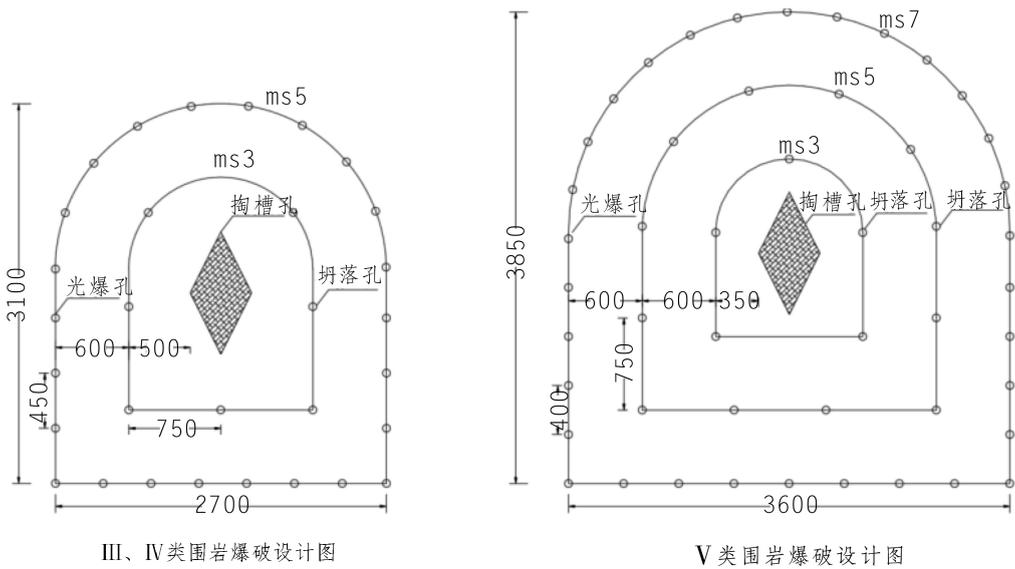


图 1 各类围岩爆破设计图(单位:mm)

表 2 爆破参数表

围岩类别	炮孔名称	炮孔深度 /m	雷管段位	单孔装药量 /kg	线装药密度 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	炸药单耗 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
III、IV类围岩	掏槽孔	2.5	MS1	1.20	—	—
	坍落孔	2.5	MS3	0.90	—	1.26
	光爆孔	2.6	MS5	0.53	0.15	—
V类围岩	掏槽孔	2.5	MS1	1.20	—	—
	坍落孔	2.5	MS3~MS5	0.90	—	1.18
	光爆孔	2.6	MS7	0.53	0.15	—

扒渣机的铲斗换为小型液压破碎锤头,人工指挥配合进行清危,为下一循环钻爆作业做好准备。

### 3.3 支护

锚杆支护采用全站仪放控制点,皮尺进行孔位与桩号放样,以红油漆标识。锚杆孔采用 YT-28 手风钻造孔。钻孔完成后,立即用高压风枪冲洗孔道,并及时进行钻孔验收和注浆插筋,防止孔内坍塌和异物阻塞。洞身顶拱锚杆按“先插筋后注浆”程序施工,洞身侧墙锚杆按“先注浆后插筋”顺序施工。

主要采用 GL(小型)型喷射机喷射混凝土作业,采用 3SNS 型注浆机注浆。采用分段分片自下而上的工序依次进行喷射。分层喷射时,后一层在前一层混凝土终凝后进行;喷射作业紧跟开挖工作面,混凝土终凝至下一循环放炮时间不少于 4 h<sup>[5]</sup>。

锚杆及喷混凝土施工工艺流程图图 2。喷射混凝土施工工艺流程图见图 3。

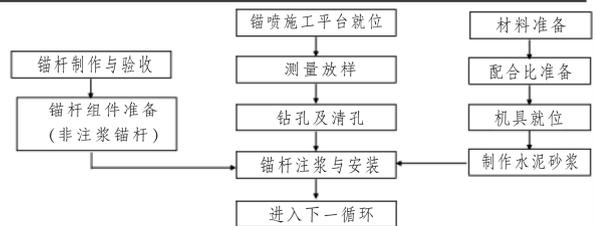


图 2 锚杆支护施工工艺流程图

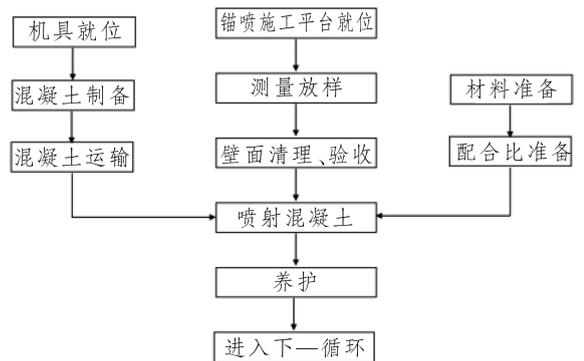


图 3 喷射混凝土施工工艺流程图

作业平台采用“自制简易移动式施工平台”,

采用 I 16 工字钢做平台支撑,直径 12 mm 螺纹钢间排距 5 cm×5 cm 钢筋网片做平台台面,用于上层及顶拱施工作业。自制简易移动式施工平台示意图 4。

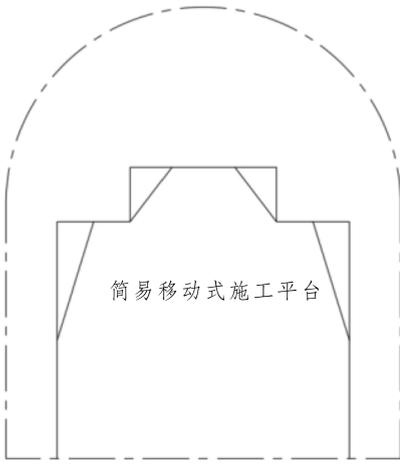


图 4 自制简易移动式施工平台示意图

## 4 快速施工

### 4.1 快速开挖

按照 2.5 m 一个循环进行开挖施工,使用测量仪器按爆破设计放点。同时经测量放线,定出各孔样架,根据样架按照设计 3% 坡度对每孔施钻。为提高开挖效率,减少每次开挖移动钻爆台车的工序,采用光爆孔钻孔超深 10 cm,并用细砂回填,对下一循环开挖轮廓控制(下道循环可按该钻孔超深点位继续行钻),每三个循环复测一次,保证质量的前提下进行快速施工。

### 4.2 快速支护

(上接第 118 页)

用,改善了巴塘水电站表土收集较少的现状,是一个环境友好改造方案,可为面临同类问题的砂石加工系统设计提供借鉴和参考。

#### 参考文献:

- [1] 龚华伟. 大渡河猴子岩水电站砂石加工系统设计研究[J]. 经济与管理科学, 2010(3): 103-105.
- [2] 施工组织设计手册第五卷结构设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1994(2009 重印).
- [3] 水工混凝土施工规范: DL/T 511-2015 [S].
- [4] 焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定: GB/T

每循环开挖结束后,利用自制简易移动式施工平台作为锚喷施工平台。施工平台的就位与移动采用机械辅助人工推行并固定。减少脚手架支护平台搭设作业时间,从而加快整体支护工作效率。

## 5 结语

在该次小洞径排水洞开挖支护施工过程中,采用光爆造孔超深及回填、自制简易移动式台车等一系列优化措施,合理利用现有条件,攻克解决诸多现场施工难题,可为类似的小洞径隧洞施工提供参考与借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 钟永兵,方正. 掘进扒渣一体机在小断面隧洞施工中的应用[J]. 四川水利, 2018, 39(3): 58-60.
- [2] 吴景利. 小断面隧道施工技术分析[J]. 邢台职业技术学院学报, 2018, 35(1): 93-96.
- [3] 李临杰. 长距离小断面陡坡支洞隧洞排水措施浅析[J]. 山西水利, 2017, 33(10): 30-31.
- [4] 张春洪,梁胜利. 正反井开挖施工技术在梅蓄电站下库闸门井上的应用[J]. 广东水利水电, 2020(10): 43-49.
- [5] 高万生. 张峰水库导流泄洪洞施工技术[J]. 山西水利, 2007(4): 72-73.

#### 作者简介:

古小梦(1993-),男,四川泸县人,工程师,学士,从事水利水电工程建设管理工作;

李凯(1997-),男,河南开封人,助理工程师,本科,从事公路隧道及水电工程施工质量与技术工作;

史明泽(1999-),男,河南开封人,本科,从事水电工程施工技术与质量管理工作;

胡兵(1998-),男,四川广安人,助理工程师,本科,从事水电工程施工技术与质量管理工作. (编辑:吴永红)

11345-2013[S].

- [5] 李宏国,王飞. 金河电站砂石集料筛分系统设计[J]. 水利水电技术, 2004(35): 45-47.

#### 作者简介:

陈志刚(1992-),男,甘肃陇西人,工程师,学士,从事水电工程建设管理工作;

曾鸣(1989-),男,甘肃岷县人,工程师,本科,从事水利水电工程施工工作;

李力(1995-),男,湖北襄阳人,助理工程师,本科,从事水利水电工程施工工作. (编辑:吴永红)