

超长特大导流洞洞室爆破开挖施工方法

周东平¹, 王存成², 罗文君¹

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

2. 中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810000)

摘要:拉哇水电站导流洞工程是国内在建隧洞最长、规模最大、洞径最大的导流洞群工程, 如何实现导流洞洞室群快速高质量开挖贯通, 对实现 2021 年导流洞正式过流和大江截流目标至关重要。通过对该电站超长特大导流洞工程施工布置、爆破开挖方法、爆破参数等施工技术应用成果进行归纳、总结, 对推动规模集群化、超长特大化、施工条件复杂化等洞室工程施工技术发展和为同类工程提供经验具有重要意义。

关键词:超长特大; 洞室; 爆破开挖; 施工方法

中图分类号: [TM622]; TV551.1+2; TV542

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)03-0041-05

Study on Construction Method of Blasting and Excavation of Extra-long and Super-large Diversion Tunnel

ZHOU Dongping¹, WANG Cuncheng², LUO Wenjun

(1. Lawa Branch of Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD,

Batang, Sichuan, 627650; 2. Sinohydro Bureau 4 Co., LTD, Xining, Qinghai, 810000)

Abstract: The diversion tunnel of Lawa Hydropower Station ranks first in terms of length, scale and diameter among tunnels under construction in China. Rapid excavation of the diversion tunnel group in high quality and earlier breakthrough are of great importance for achieving the goal of formal flow passing of the diversion tunnel and river closure in 2021. This paper summarizes the application results of the blasting excavation technology for extra-long and super-large diversion tunnel, such as the construction layout, blasting excavation method and blasting parameters, which are of great significance in developing construction technology for underground cavern clusters which are super in length, huge in size, and complicated in construction condition, etc. Summarization in this paper is also of great importance in providing references for similar projects.

Key words: extra-long and super-large; cavern; blasting excavation; construction method

1 概况

拉哇水电站位于金沙江水电基地川藏界河上, 是金沙江上游水电 13 级开发中的第 8 级, 属一等大(I)型工程。电站枢纽主要由混凝土面板堆石坝、右岸溢洪洞、右岸泄洪放空洞、右岸地下厂房等建筑物组成, 总装机容量 2 000 MW。

该导流洞工程为目前国内在建隧洞最长、规模最大、洞径最大的导流洞洞室群工程。具有洞身轴线长、断面尺寸大、渐变段多(进口矩形渐变城门洞型、圆拱形变矩形、矩形变圆拱形)、与周边建筑物空间位置关系复杂的特点。

大坝施工采用隧洞导流方式, 两条导流隧洞

平行布置在右岸, 洞轴线中心距 35 m。①导流隧洞长度 2 189.823 m, 标准净断面尺寸为 17 m×19 m(宽×高), 衬砌厚度 0.5~3.5 m; ②导流隧洞长度 2 266.33 m, 弧门闸室上游洞段净断面尺寸为 7.5 m×8 m(宽×高), 下游洞段标准净断面尺寸为 7 m×15 m(宽×高), 衬砌厚度 0.5~3 m。导流洞洞身段埋深介于 60~1 000 m, 主要处于大理岩(Ptxna-2)和角闪片岩(Ptxna-1)地层, 岩层产状总体上为 N10°~60°W, SW∠35°~50°, 围岩稳定性整体较好, 洞内以滴状渗水为主。

2 施工布置

地下工程施工机械化、自动化、智能化等科学技术不断创新提升, 地下工程逐渐向规模集群化、超长特大化、施工条件复杂化等方向发展^[1], 对地

收稿日期: 2022-05-12

下工程施工要求越来越高。

导流洞工程施工组织严格遵循“开挖为先导,支护为重点”的施工原则,采取支洞控制,分区、分段、分层相对独立的工作面组织施工,整体按照“先上层光面爆破贯通(含扩挖)、中层梯段预裂、底板光面爆破的‘错距’方式进行”。闸室井均采用反井钻扩挖工艺。

导流洞系统锚杆利用多臂钻钻孔,人工辅助反铲改装台车安设。喷射混凝土采用机械臂湿喷台车,喷射混凝土集中厂拌,混凝土罐车拉运。钢筋网片利用支护台车现场安设,钢支撑采用工厂

提前加工成型现场拼装。导流洞洞室通风排烟结合支洞布置,采取压入式为主、吸入式为辅通风。

2.1 施工通道布置

结合导流洞设计布置特点,支洞多点设置为规划设计亮点,可有效形成多面均衡施工。导流洞支洞分上岔洞和下岔洞,共计8条支洞,支洞长度97~370 m,纵向坡度均不大于8%。各支洞净空尺寸7.5 m×6.5 m(宽×高,城门洞),支洞之间洞室控制长度400~700 m。施工支洞布置见图1。

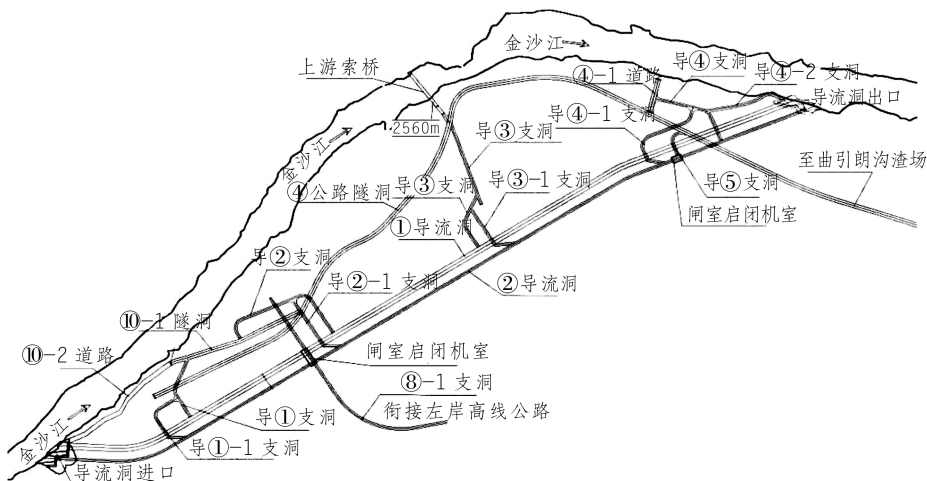


图1 施工支洞布置图

2.2 施工“四管”布置

洞内通风管、排水管、供风管、供水管及照明、动力供电线“四管两线”两侧布置和架设,安装顺直、整齐。供风、供水、排污管按照“供风在上、排污在下,供水居中”的原则架设。

导流洞施工供风采取集中供风站,供风以电动固定式、移动式空压机为主。洞内供风主管路采用DN200的焊接钢管;供风管路末端距离工作面60~100 m与风包连接,并采用耐高压Φ80 mm胶管与用风设备联通。

供水主要采用钢制10 m³集水箱和加压泵通过沿洞壁敷设的DN150的主供水管供应,用法兰连接;供水管路末端距离工作面60~100 m与水包连接,并采用耐高压Φ50 mm胶管与用水设备联通。

施工排水主要采取洞间隔布置积水沉渣坑、潜污泵抽取,经洞壁设置DN150焊接钢管排至洞

外沉淀池,经沉淀处理后主要用于路面降尘。工作面设置小型潜污泵,采用耐高压Φ50~Φ100 mm胶管抽排至集水坑。

2.3 施工“两线”布置

照明线路及动力线缆“两线”与“四管”相同,分两侧布置。动力电线悬挂高度:400 V时大于2.5 m,10 kV时大于3.5 m控制;按照“高压在上、低压在下,干线在上、支线在下,动力线在上、照明线在下”架设。

洞外系统供电线路采用钢芯铝绞线架空线路,洞内采用铠装240 mm铝芯电缆,采用TN-S供电系统,三级配电。变压器分二期建设,以确保供电质量。一期在各支洞口附近布置,二期在一期基础上利用支洞侧壁扩挖区布置;变压器至工作面供电距离按500 m控制。

2.4 施工通风布置

导流洞洞室通风排烟以压入式为主、吸入式

为辅通风。通风设备选用大功率轴流风机,主通风管路选用直径 $\Phi 1.5\text{ m}$ 的光面尼龙风带,支通风管路选用直径 $\Phi 1\text{ m}$ 的光面尼龙风带,风带按距离作业面 50 m 控制。风带沿隧洞拱肩顶部靠壁敷设,沿隧洞纵向设置 1 道 $\Phi 6\text{ mm}$ 钢筋作为吊绳,环向选用 $\Phi 5\text{ mm}$ 钢丝绳与吊绳可靠连接。每条支洞作业面设置轴流风机压入,中部设置轴流风机由洞内压出,增加洞内空气流速。

3 爆破开挖施工

3.1 分段分区组织施工

导流洞洞身段采用支洞控制分段、分区^[2],同断面分层,形成相对独立的工作面组织施工。①导流洞和②导流洞弧门闸室下游洞段开挖支护整体按照先上层光面爆破贯通(含扩挖),中层梯段预裂爆破,底板光面爆破的“错距”方式进行。②导流洞弧门闸室上游洞段预留底板保护层,以分层全断面爆破开挖为主。

3.2 爆破开挖分层

爆破分层高度以施工机械设备发挥最优性能来决定,①导流洞除闸室衔接洞段外,其余分三层五区^[3]组织施工,上层高度控制在 8.5 m ,上层开挖后拱肩以下净空距离按 3 m 控制。闸室衔接段分四层组织施工,①导流洞洞身爆破开挖典型分层见图 2。②导流洞弧门闸室上游段分 2 层爆破施工,下游段分三层爆破施工,上、中层高度控制在 $6.5\sim 10.5\text{ m}$,底板预留 2 m 保护层。

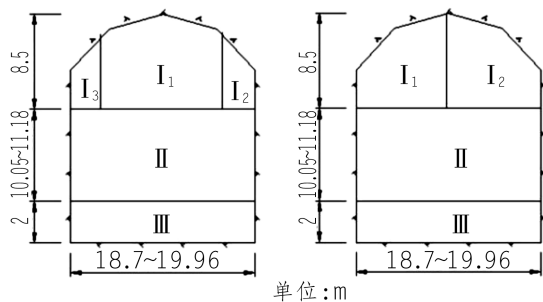


图 2 ①导流洞洞身爆破开挖典型分层图

3.3 施工总体方法

①导流洞上层和预留底板保护层区采用手风钻钻孔,光面爆破技术施工。中层主要以 D9 液压钻机钻孔,梯段以预裂爆破为主,其中①导流洞上层掘进方式采用中导洞超前和两侧光面爆破扩

挖跟进钻爆法作业^[4],部分洞段采用半幅分区、半幅先行和半幅跟进的方式掘进。②导流洞各层区采用光面爆破施工。中导先行两侧扩挖方式的优点:适应性强,不良围岩段相对安全;半幅分区、半幅先行优点:能够及时形成设计体型进行围岩系统支护,针对围岩突变洞段现场适应性强的特点,坍塌风险较高。

施工测量及放样采用 TCR802 及 TS06 型,精度 $1'$,各层区工作面石渣装运采用斗容 4 m^3 的侧卸装载机 and 2 m^3 及以上液压反铲辅助 25 t 自卸车。各层区光面爆破选用 $\varphi 32\text{ mm}$ 的②岩石乳化炸药,中层梯段爆破选用 $\varphi 32\text{ mm}$ 和 $\varphi 70\text{ mm}$ 的 2 号岩石乳化炸药。

3.4 施工爆破参数

①、②导流洞光面爆破均采用楔形掏槽布孔,周边孔距均为 50 cm ,爆破孔间排距 $0.6\sim 1\text{ m}$,周边孔线装药密度 250 g/m ,Ⅲ类围岩洞段单循环掘进进尺 4 m ,Ⅳ类围岩 2 m 控制。

①导流洞上层中导洞分区光面爆破施工参数见表 1。

①导流洞洞身中层梯段爆破预裂孔采用 100E 潜孔钻机,采用 $\Phi 48\text{ mm}$ 脚手架管搭设钻架控制,孔径 76 mm ;主爆破采用液压钻机钻孔,孔径 90 mm 。预裂孔间距 0.8 m ,主爆孔间距 $2.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ 或 $3\text{ m}\times 2\text{ m}$,缓冲孔间距 $1\sim 1.5\text{ m}$,孔距 2 m 。预裂孔线装药密度 350 g/m 。①导流洞中层梯段施工爆破参数见表 2。

3.5 施工爆破网络

3.5.1 上层中导洞开挖爆破

①导流洞上层中导分区采用光面爆破技术,典型爆破网络见图 3。②导流洞分区全断面施工参照执行。

3.5.2 中层梯段开挖爆破

①导流洞中层开挖采用台阶梯段预裂爆破技术^[5]。爆破 10 m 一段,缓冲孔及主爆孔孔内均设置 M15 段非电毫秒雷管,爆破网络采用孔内延时微差毫秒起爆网络,预裂孔内及联网均采用导爆索。①导流洞中层分区爆破网络见图 4。

3.5.3 导流洞掏槽设计

①导流洞上层中导洞和左右分半幅开挖及②导流洞 I 区全断面开挖爆破均采用楔形掏槽。通过实践证明,掏槽孔角度一般介于 $60^\circ\sim$

表1 ①导流洞上层中导洞分区光面爆破施工参数

序号	孔别	段位	孔径/mm	孔数(个)	药卷/mm	单孔药量/kg	间距/m	排距/m	线密度(g/m)	装药量/kg	备注
1	掏槽孔	1	42	14	32	3	0.8	0.5	—	42	
2		3	42	18	32	3			—	54	
3	崩落孔	5	42	24	32	2.4	0.7~1.1	0.6~1	—	57.6	
4		7	42	16	32	2.4			—	38.4	
5		9	42	10	32	2.4			—	24	单循环掘进进尺4 m
6	周边孔及顶光爆孔	11	42	8	32	0.9	0.7	—	250	7.2	
7		13	42	25	32	1.05	0.5	—	—	26.25	
8	底板孔	11	42	7	32	2.1	0.6~1.2	—	—	14.7	
9	底角孔	13	42	8	32	2.1	0.7~0.85	—	—	16.8	

备注:其他区装药结构及②导流洞洞身光面爆破参数参照上层中导洞执行。

表2 ①导流洞中层梯段施工爆破参数

孔类	孔径/mm	孔深/mm	超深/m	孔距/m	排距/m	药径/mm	堵塞长度/m	单孔药量/kg	线密度/kg·m ⁻¹
预裂孔	76	10.5	0.5	0.8	—	32	1	4.8	0.333~0.375
缓冲孔	90	11	0.2	2	1.5~1.8	70	2.5~3	21	—
爆破孔	90	11	0.5	2.5	2	70	2.5~3.0	30	—
施工预裂孔	90	11	0.5	2	—	70	2.0~2.5	21	—

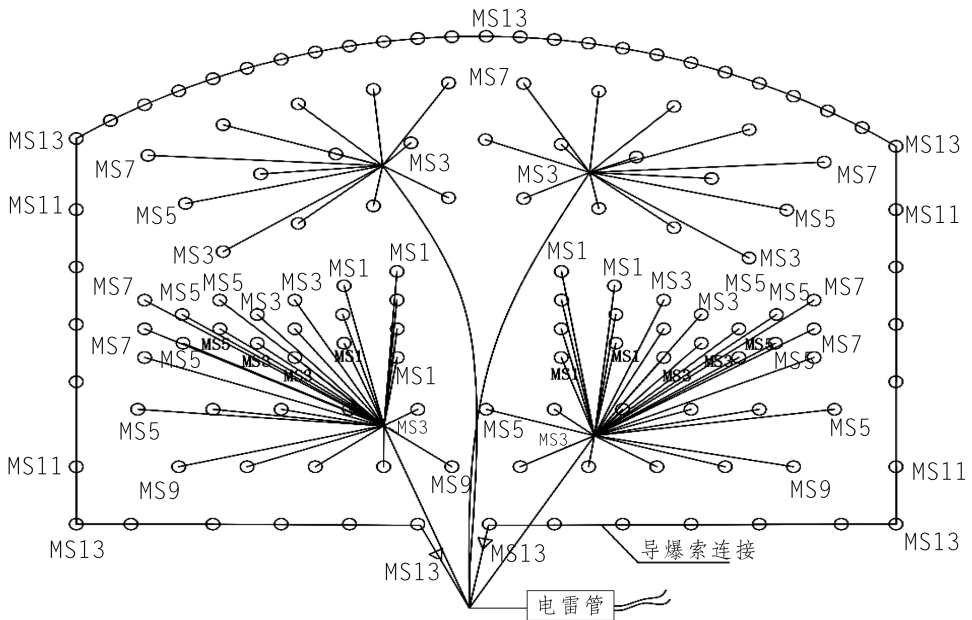


图3 典型爆破网络图

70°,大角度掏槽效果较好,中导洞掏槽及上层半幅掏槽孔布置见图5(a为中导洞掏槽布置图;b为上层半幅掏槽布置图)。

4 结语

该本程导流洞是国内在建隧洞最长、规模最

大、洞径最大的导流洞洞室群工程,如何实现导流洞洞室群快速高质量开挖贯通,对实现2021年导流洞正式过流和大江截流目标至关重要。拉哇超长、特大导流洞洞室群洞通过设计布置多条施工通道,合理划分施工作业段,形成相对独立的多工

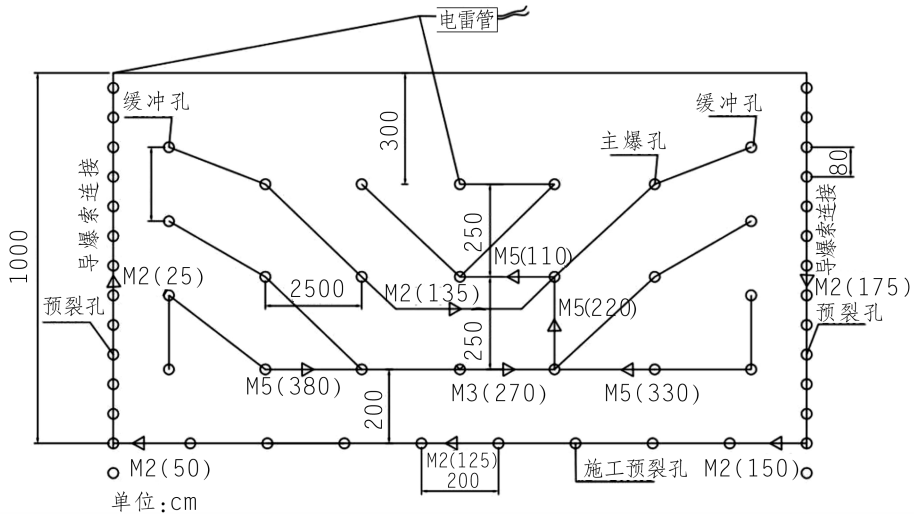


图 4 ①导流洞中层分区爆破网络图

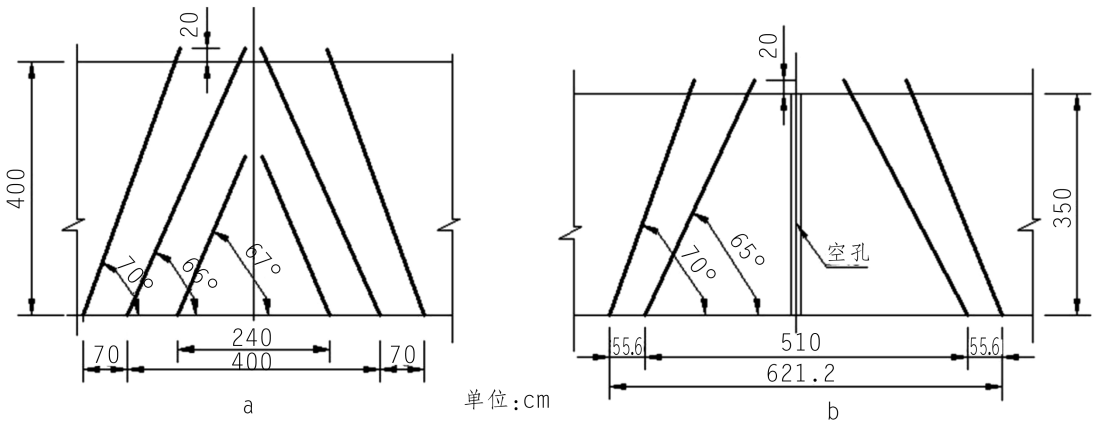


图 5 中导洞掏槽及上层半幅掏槽孔布置

作面施工。洞内采用“两线”及“四管”等施工辅助设施的标准化布置,结合围岩、施工机械特性等划分合理爆破作业区,以“开挖为先导,支护为重点”的原则,选择适宜的爆破参数,充分发挥了大型作业机械设备钻孔和出渣的性能。安全监测选择Ⅳ类及以上、断层影响带不良地质洞段拱顶变形量和支护结构应力为重点监测项目,通过监测数据动态调整设计及施工参数。该电站的导流洞洞室群施工总历时 24 个月,于 2021 年 11 月 27 日正式过流。导流洞群开挖质量可控,实现了导流洞快速高质量建设目标,被评为质量样板工程。超长特大导流洞洞室爆破开挖施工,对推动规模集群化、超长特大化、施工条件复杂化等洞室工程施工技术发展,为同类工程提供经验具有重要意义。

参考文献:

- [1] 江正荣.我国隧道及地下工程近两年的发展与展望[J].隧道建设,2017,37(2):123-134.
- [2] 魏永华,杨萧.南方十三省(市区)水电学会联络会暨学术交流会,2007-08.
- [3] 齐文钦,翟春明.三层五区法在特大断面隧洞开挖中的运用[J].河南水利与南水北调,2014,(4):87-89.
- [4] 胡荣林,司礼山.不良地质条件下特大断面导流隧洞开挖施工技术探讨[J].河南水利与南水北调,2014,(6):66-68.
- [5] 郭进平,聂兴信.新编爆破工程实用技术大全[M].光明日报出版社,2002.

作者简介:

周东平(1971-),男,湖南邵阳人,高级工程师,本科,从事水利水电工程管理工作;
 王存成(1985-)男,甘肃白银人,高级工程师,本科,从事水利水电工程施工;
 罗文君(1973-),男,甘肃景泰人,高级工程师,大学本科,从事水电工程建设管理工作。

(责任编辑:卓政昌)