

# 特长特大导流洞洞室快速施工技术研究

宿银山, 龙伦刚

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 611130)

**摘要:**导流洞地质条件复杂、施工难度高、工程量大、质量要求高。为加快施工进度,采用了增设施工支洞,分部开挖、分区支护,选用高效设备,优化爆破设计,加强监测和施工组织管理等措施,保证了工程按期完成,保障了施工安全,提高了开挖支护施工质量,提升了施工效率,对类似工程施工有一定的借鉴意义。

**关键词:**水电工程;导流洞;洞室开挖;快速施工

**中图分类号:**TV7;TV551.1+2;TV52

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2022)03-0046-03

## Study on Rapid Construction of Cavern inside Extra Long and Super Large Diversion Tunnel

SU Yinshan, LONG Lungang

(Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., LTD, Chengdu, 611130)

**Abstract:** Construction of diversion tunnel is fairly difficult and also facing high quality requirements due to complex geological conditions and larger engineering quantity. In order to accelerate construction progress, measures such as arranging more construction adits, subdividing excavation, zoning support, selecting high-efficiency equipment, optimizing blasting design, strengthening monitoring and construction organization management are adopted to ensure on-time completion of the project and to ensure construction safety. With those measures, the quality of excavation & support as well as the construction efficiency are improved. Experience accumulated can be referenced in construction of similar projects.

**Key words:** hydropower engineering; diversion tunnel; cavern excavation; rapid construction

## 0 引言

水电工程建设往往位于地形地质条件较为复杂的地区,施工道路布置困难,地下洞室群错综复杂,施工难度大,合同工期较短。这些洞室群具有开挖断面大,洞身轴线长等特点,采用高效的施工方法、先进的施工设备、合理组织施工是保证工程质量与进度的关键<sup>[1-3]</sup>。

拉哇水电站位于金沙江上游川藏河段,属一等大(I)型工程,总装机容量 2 000 MW,多年平均年发电量 90.89 亿 kWh(梯级联合)。枢纽主要建筑物由挡水建筑物、泄洪消能建筑物、地下输水发电系统等组成。挡水建筑物采用混凝土面板堆石坝,坝顶高程 2 709 m,坝顶长度 398 m,最大坝高 239 m。大坝施工采用隧洞导流方式,布置有 2 条导流隧洞。洞身轴线平行布置,轴线平面上由上游直线段、转弯段和下游直线段组成,轴线

间距 35 m。①导流隧洞轴线长 2 189.823 m,洞身结构长 2 126.75 m,标准断面尺寸为 17 m×19 m(宽×高),属特大断面洞室。②导流隧洞轴线长 2 266.33 m,洞身结构长 2 208.95 m。

导流洞洞身轴线长,开挖断面大,支护工程量大,施工难度高。工程施工采用了分部开挖、分区支护,增设施工支洞,优化爆破设计,加强施工组织管理等措施,保证了施工安全,提高开挖支护施工质量,提升了施工效率,也保证了施工进度。

## 1 导流洞工程施工技术难点

电站坝址河段为峡谷地形,山高坡陡,地质条件复杂,施工布置条件差。导流隧洞标准断面尺寸大、洞身轴线长、施工质量要求高,施工难度大。

### 1.1 地质条件复杂

坝址区右岸山体雄厚,岸坡陡峻,地表多暴露弱风化基岩,从山顶至河谷依次暴露蚀变角闪片

收稿日期:2022-05-10

岩、绿泥角闪片岩、云母石英片岩、绢云母片岩( $P_{\text{txn}}^{a-5}$ )、大理岩( $P_{\text{txn}}^{a-4}$ )、角闪片岩、绿泥角闪片岩( $P_{\text{txn}}^{a-3}$ )、大理岩( $P_{\text{txn}}^{a-2}$ )和角闪片岩( $P_{\text{txn}}^{a-1}$ )地层,岩层产状总体上为  $N10^{\circ}\sim 60^{\circ}W, SW\angle 35^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。

坝址区右岸断层不甚发育,导流洞进口洞段未见有断层发育,但洞身段发育断层  $F_{316}$ 、 $F_{317}$ 、 $F_{318}$ 、 $F_{331}$  及  $F_{126}$ ,出口洞段发育断层  $F_{323}$ 。总体来看,导流隧洞洞身段围岩以  $\text{III}_2$ 、 $\text{III}_1$  类围岩为主,成洞条件较好,对施工较为有利,但在导流隧洞进、出口强卸荷带及少量断层带附近洞段围岩为 V 类,进、出口弱卸荷带洞段围岩为 IV 类,开挖期围岩稳定问题突出。

### 1.2 施工难度高、工程量大

①导流隧洞标准断面尺寸为  $17\text{ m}\times 19\text{ m}$ (宽 $\times$ 高)。②导流隧洞弧门上游标准过水断面尺寸为  $7.5\text{ m}\times 8\text{ m}$ (宽 $\times$ 高),弧门下游段过水断面  $7\text{ m}\times 15\text{ m}$ (宽 $\times$ 高)。最大开挖断面达  $29.56\text{ m}\times 25.28\text{ m}$ ,属特大型断面开挖,石方开挖量合计约  $101.5\text{ 万 m}^3$ ,开挖工程量大,施工强度高。同时导流洞洞室断面尺寸大,围岩自稳能力差,难以一次快速开挖成型,制约开挖施工进度。

①导流隧洞轴线长  $2\ 189.823\text{ m}$ ,洞身结构长  $2\ 126.75\text{ m}$ 。②导流隧洞轴线长  $2\ 266.33\text{ m}$ ,洞身结构长  $2\ 208.95\text{ m}$ ,为国内在建、已建的最长导流洞工程。导流洞洞身轴线长,对外洞口少、转弯多,加之工作面多,通风散烟难度较大,影响施工效率。

导流隧洞支护措施主要有锚杆、喷混凝土、挂网钢筋、钢格栅拱架等。其中锚杆合计  $38.5\text{ 万根}$ ,挂网喷混凝土  $2.77\text{ 万 m}^3$ ,钢筋网  $364.89\text{ t}$ ,钢格栅拱架  $872.634\text{ t}$ ,支护工程量大。导流洞洞室开挖断面大,围岩稳定性差,在开挖完成后,及时进行支护施工至关重要。

### 1.3 开挖质量要求高

导流洞过流期长,过流流速高,开挖质量要求较高。为保证开挖质量,不仅需要根据地质情况因地制宜地进行爆破设计,还需要选用经验丰富的钻孔施工人员,严格控制好钻孔精度。同时为了减少对围岩的爆破破坏,残留炮孔壁面不产生

明显爆破裂隙,往往采用短进尺、少药量、多循环的方式进行施工。这些因素都较大地制约了施工进度。

## 2 快速开挖支护施工方法

导流隧洞工程量大、施工难度高、工期紧张,采取了增设施工支洞、分区施工等多种措施,达到了快速施工的目的。

### 2.1 增设施工支洞

导流隧洞洞身轴线长,进出口边坡陡峭,施工道路布置困难,无法由进出口直接向内开挖主洞。通过增设施工支洞,快速形成多个施工作业面是切实可行的施工措施<sup>[4]</sup>。导流洞工程共设置了 6 条施工支洞,施工支洞布置图见图 1。其中⑤支洞和⑧-1 支洞负责闸室段开挖支护,导①~导④支洞负责导流洞洞身段开挖支护,各施工支洞控制施工长度约  $500\text{ m}$ 。导①~导④支洞又分为上支洞和下支洞两条岔洞,其中上支洞承担①导流洞洞身上层开挖支护施工,下支洞承担①导流洞洞身段中下层及②导流洞洞身段开挖支护施工。采用增设施工支洞的方法,增加了施工作业面,加快了施工进度,同时减少了施工通风散烟距离,极大限度提高了施工效率。

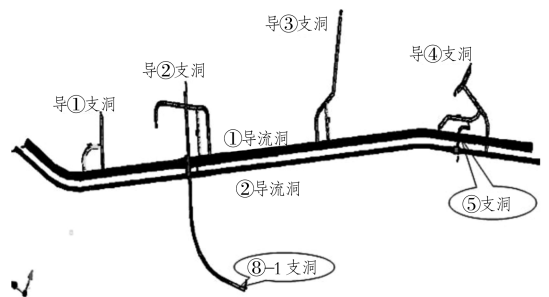


图 1 施工支洞布置图

### 2.2 分部开挖和分区支护

导流洞洞室开挖断面大,一次开挖成型施工难度大,安全风险高。为确保围岩成洞稳定及施工安全,采取以分部开挖、分区支护的方式进行施工<sup>[5-7]</sup>。总体施工程序为先进进行①、②导流洞上层开挖,同步跟进支护施工,待①、②导流洞上层开挖支护施工基本完成后,进行①导流洞中层开挖,同步跟进支护施工,最后进行①、②导流洞下层开挖支护施工。①导流洞采用分层进行开挖,洞身分上、中、下(保护层)三层施工,上层采用三

臂凿岩台车钻孔为主,局部手风钻辅助,设计轮廓光面爆破,中层开挖采用垂直预裂爆破进行施工。其中上层开挖根据围岩地质条件,又分为“导洞开挖法”和“半洞开挖法”(见图 2)。地质条件较差时,采用“导洞开挖法”进行施工,先开挖出导洞,逐步释放岩体卸荷应力,充分发挥岩体自承能力,有利于岩体稳定。导洞开挖 30~50 m 后,进行扩挖施工。地质条件较好时,为加快施工进度,采用半洞开挖的方法进行施工。为确保施工安全,两个半洞开挖掌子面间距不小于 30 m。因采用分部开挖,相当于大断面洞室被拆分为多个小断面洞室,开挖完成后,岩体自稳性好,支护施工可根据现场施工情况分区集中进行,减少了施工干扰,保证了开挖支护施工连续性,加快了工程进度。

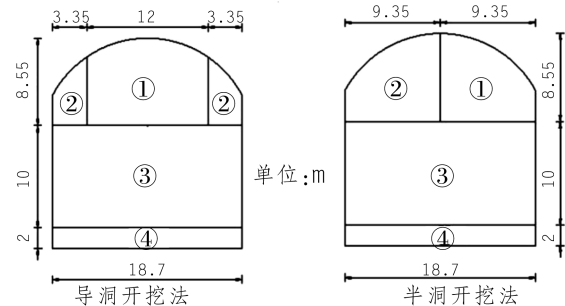


图 2 导洞开挖法和半洞开挖法

### 2.3 选用高效施工设备

导流洞开挖工作面多,开挖支护工程量大,保证开挖支护施工资源配置充足,选用高效施工设备,提升施工效率是加快工程进度的关键。上层开挖支护造孔施工主要采用阿特拉斯·科普柯 Boomer353E 多臂台车进行。多臂台车打孔作业时,采用机械臂定位,开孔位置准确,钻孔间距控制较好,同时成孔效率高,移动便利迅速,有效减少了施工干扰,大大提高了开挖支护施工进度。

### 2.4 优化爆破设计

为提升开挖施工质量,施工前进行爆破试验,根据试验选取合适的爆破施工参数。光爆孔孔深 3.5 m,间距 0.5 m,单孔装药量 0.8 kg。主爆孔孔深 3 m,间排距 0.6~0.8 m。采用小直径药卷、低密度、低爆速炸药,绑扎在竹片上形成串状装药结构,装药结构采用不耦合装药,控制好堵塞质量,采用高精度毫秒雷管起爆,提升开挖质量。

结果表明,采用合适的爆破施工参数,保证了开挖施工质量。同时避免了围岩爆破破坏,保证了施工安全,提升了施工进度。

### 2.5 加强监测

洞室开挖过程中根据地质情况、开挖部位及洞室结构特点,设置临时动态变形观测点、围岩收敛监测断面及爆破振动观测点进行监测,根据变形观测数据分析结果,对开挖过程中洞室稳定进行评判,进而对开挖、支护程序的调控进行指引,并根据量测信息反馈结果,调整各单项工序的施工参数。监测成果显示,导流洞开挖施工过程中,围岩变形量较小,为快速施工提供了数据支撑,保证了施工安全,加快了施工进度<sup>[8]</sup>。

### 2.6 加强施工组织管理

导流洞工程规模大,施工工序多,作业面广,工期紧,施工强度高。结合导流洞施工实际情况,统计各关键工序效率,各施工设备施工工效,按照施工进度计划安排,配备了足够的施工人员及设备,保证了施工强度。同时通过加强协调管理,合理组织施工,保证了各工序之间紧密衔接,减少了工序之间间隔时间,形成流水施工,避免了作业面闲置,极大地提升了施工进度。

## 3 结 论

针对坝址区地质条件复杂、施工难度高等问题,研究了复杂地质条件下特长特大导流洞洞室快速施工技术,同时研究了增设施工支洞、分区施工、选用高效施工设备、优化爆破设计、加强监测和加强施工组织管理等措施对特长特大导流洞洞室施工工效的影响。同时,通过增设施工作业面、减少施工干扰、加强工序衔接等手段,达到了工程按期完成的目的。结果表明,在地质条件复杂及施工难度较大的工程中,采用高效的施工方法、先进的施工设备、合理组织施工等,可有效地提高施工效率、加快施工进度。研究结果对类似工程具有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 陈华剑. 大跨度地下洞室开挖施工[J]. 河南水利与南水北调, 2017, (6):58-60.
- [2] 王文利. 长大隧道三臂凿岩台车快速施工方案[J]. 科技创新导报, 2017, 14(16):97-99.

(下转第 51 页)

系统启动前准备工作,手动模式适用于洞内正在施工,利用遥控控制系统行走速度,避免出现安全事故,当水箱水位低于最低水位时,暂停行走,加完水后再继续行走,直至衬砌混凝土养护工作完成。

## 5 自动养护的成果

隧道中衬砌混凝土,由于环境中的  $\text{CO}_2$  含量常年较高,碳化深度加大,降低了混凝土抗弯拉性能。通过养护系统进行隧道衬砌混凝土的养护,混凝土的表面强度有所提高,混凝土的碳化深度降低。隧道衬砌经养护后,表面强度提高百分比达到预期,碳化深度明显降低。采用隧道衬砌养护台车进行衬砌的初期养护能够有效提高衬砌质量和寿命<sup>[5]</sup>。

通过后期质量验评数据表明:导流洞工程衬砌混凝土质量优良,裂缝较少。①、②导流洞衬砌混凝土工程单元个数为 366 个,合格率 100%,其中优良单元工程 342 个,优良率 93.4%。圆满通过质量监督、安全鉴定等专项验收,按期实现电站大江截流重大节点目标。

## 6 结语

全自动养护控制系统的设计旨在简单、高效并经济地提高衬砌混凝土养护质量。

(1)全自动养护控制系统采用工业化模块 PLC 控制电机驱动,实现了全自动均匀全覆盖洒水养护,且无需大量养护设备及人工频繁进出作业面,有效提高混凝土养护质量,又不妨碍隧道内其余施工机械施工。

(上接第 48 页)

- [3] 夏菲菲. 特大断面导流洞开挖施工工法[J]. 科技创新与应用, 2014, (32): 237.
- [4] 张亚杰,常明云. 复杂软岩地层长引水隧洞洞室开挖关键控制技术[J]. 小水电, 2012(2): 61-63.
- [5] 杨葛,林志旺,彭伟. 大型地下洞室快速开挖施工方法探究[J]. 四川水力发电, 2018, 37(4): 84-87.
- [6] 李俊,魏宝龙,焦凯. 大型地下洞室群开挖支护施工技术研究与实践——以杨房沟水电站为例[J]. 人民长江, 2018, 49(24): 77-82.

(2)全自动养护控制系统供水管道由多节镀锌钢管现场拼装组成,成本低、易加工、方便更换、周转次数多,有效降低了施工成本,提高了施工效益。

(3)自动喷淋系统用水量少,节约施工用水,有利于节能环保。该系统应用后,形成强烈的经济反差:传统养护方式需 8 台洒水车,投入人工 16 人,智能化养护系统仅 1 人,可节约设备、人工成本 80%;智能养护系统较传统养护方式节约养护用水约 60%,使养护费用减少约 28.8 万元。

## 参考文献:

- [1] 章远方. 隧道衬砌养护台车设计及研究[J]. 铁道建筑技术, 2020, (3): 34-38.
- [2] 王成龙. PLC 自动控制技术的应用[J]. 一重技术, 2017, (6): 73-74+64.
- [3] 章远方. 隧道衬砌养护台车设计及研究[J]. 铁道建筑技术, 2020, (3): 34-38.
- [4] 周平,仲姓,周自强,等. 隧道二衬混凝土自动喷淋养护系统设计与应用[J]. 施工技术, 2019, 48(S1): 711-714.
- [5] 纪博林. 隧道衬砌养护台车智能系统研究[J]. 国防交通工程与技术, 2020, 18(4): 71-73.

## 作者简介:

- 侯树芑(1997-),男,甘肃武威人,助理工程师,本科,从事工程建设管理工作;
- 龚泽鹏(1997-),男,四川成都人,助理工程师,本科,从事工程建设管理工作;
- 李召杰(1988-),男,重庆人,工程师,本科,从事工程建设管理工作;
- 王国阳(1990-),男,河南灵宝人,工程师,硕士,从事工程建设管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

- [7] 段亚刚. 大型地下洞室开挖方案的数值方法优化[J]. 铁道工程学报, 2013(8): 83-87.
- [8] 樊启祥,刘益勇,王毅. 向家坝水电站大型地下厂房洞室群开挖工程实践[J]. 水力发电, 2011, 37(2): 11-14.

## 作者简介:

- 宿银山(1980-),男,宁夏石嘴山人,高级工程师,本科,从事水利水电工程工程管理工作;
- 龙伦刚(1996-),男,四川南充人,助理工程师,硕士,从事水利水电工程工程管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

## 国家发改委:推进金沙江、雅砻江、大渡河等主要水电基地扩机

2022 年 6 月 7 日,国家发改委发布《“十四五”可再生能源发展规划》指出,在中东部及西部地区,适应新能源的大规模发展,对已建、在建水电机组进行增容改造。科学推进金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、红水河、黄河上游等主要水电基地扩机。

(北极星电力网)