

# 拉哇水电站高陡峭岸坡开挖支护施工技术

孙广亮

(中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江 杭州 310004)

**摘要:**在大型水电工程建设中,高陡峭岸坡的开挖支护施工具有体型复杂、范围广、坡道陡峭、施工条件差等特点,已成为影响工程施工安全、进度、质量、效益的严峻挑战。如何克服在强卸荷带区域、倒悬体区域、危岩体区域、有较大节理裂隙发育区域等多类型不良地质条件的施工难点,使预裂爆破控制技术增强预留面边坡的稳定性、降低开挖施工难度、加快施工进度,已成为复杂地质条件下提高施工质量的当务之急。本文通过对拉哇水电站上游围堰高陡峭岸坡开挖施工技术进行总结,以供类似工程参考和借鉴。

**关键词:**高陡岸坡;地质条件;开挖支护;施工技术

**中图分类号:**[TM622];U656.35;U445.4

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2023)02-0118-03

## Excavation and Support Construction Technology for High and Steep Bank Slopes of Lawa Hydropower Station

SUN Guangliang

(Sinohydro Bureau 12 Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310004)

**Abstract:** In the construction of large-scale hydropower projects, the excavation and support construction for high and steep bank slopes has the characteristics of complex shape, wide scope, steep slopes and poor construction conditions, which has become a serious challenge to the safety, progress, quality and benefit of the construction. How to overcome the construction difficulties in the areas with unfavorable geological conditions such as strong unloading zone, overhanging body, dangerous rock mass and the area with large joints and fissures, etc., adopt the pre-splitting blasting control technology to enhance the stability of slope, reduce the difficulty of excavation and speed up the construction progress have become the top priority for improving the construction quality under complex geological conditions. In this paper, the construction technology of high and steep bank slope excavation of upstream cofferdam of Lawa Hydropower Station is summarized, which can provide reference for similar projects.

**Key words:** high and steep bank slope; geological condition; excavation and support; construction technology

### 1 工程概况

拉哇水电站位于金沙江上游,左岸为四川省甘孜藏族自治州巴塘县拉哇乡,右岸为西藏自治区昌都市芒康县朱巴笼乡,是金沙江上游 13 级开发方案中的第 8 级电站,为一等大(I)型工程。枢纽采用河床布置混凝土面板堆石坝,右岸布置地下引水发电系统、2 条溢洪洞、1 条泄洪放空洞、2 条导流隧洞的枢纽布置方案。面板堆石坝坝顶高程 2 709.00 m,坝顶长度 398 m,坝顶宽 15 m,最大坝高 239 m。

上游围堰堰顶高程 2 597.00 m,堰顶长度 187.75 m,堰顶宽度 15 m,最大堰高 60 m。上游

侧边坡在高程 2553.00 m 以下,坡比为 1:3.5,高程 2 553.00 m 以上为 1:2.5;在高程 2 582.00 m、2 567.00 m 处各设置 3 m 宽马道;在高程 2 567.00 m 以下设置宽 20 m 的防砸堆石区。下游侧边坡在高程 2 553.00 m 以上,坡比 1:1.8,以下为 1:2,下游侧边坡从左岸堰顶作为起点布置“之”字型下基坑道路。两岸布置有趾板,趾板范围自桩号 SY0-147.5(防渗墙轴线位置)至 SY0±000.0(上游围堰轴线位置),高程自 2 552.50 m 至 2 595.75 m。

### 2 地质条件

上游土石围堰轴线位于下松洼沟沟口处,离大坝轴线沿河距离 890 m。轴线处枯水期水深约

收稿日期:2022-09-21

2.7 m,河床覆盖层厚度约 66 m,主河槽基岩面高程约 2 470 m。围堰堰址区位于高山峡谷区,两岸边坡地形地质条件复杂,岸坡卸荷裂隙较发育,两岸滚石、飞石现象时有发生,岸坡多处见危岩体分布。变形破坏特征主要为岩体崩塌、滑动(楔形体滑动、倾倒蠕变、平面型滑动)及覆盖层崩滑三种破坏模式。坡面基岩大面积裸露,岩性为绿泥角闪片岩(Ptxna-1),岩体风化、卸荷剧烈成堆积体<sup>[1]</sup>。左岸地形坡度约 60°,岩层产状为 N50°~80°W、SW/25°~35°,与岸坡构成斜交顺向坡,右岸地形坡度 35°~45°,岩层产状为 N30°~50°W、SW/35°~45°,与岸坡构成斜交反向坡;两岸强卸荷带埋深 10~15 m,弱卸荷带埋深 40~45 m;河床部位基岩岩性为绿泥角闪片岩(Ptxna-1),弱风化下限铅直埋深 55~75 m,其岩体厚度 5~15 m。

堰址区出露地层为元古界雄松群下段片麻岩组(Ptxna),变质程度深,相变大、岩性复杂,主要为大理岩、砂质大理岩、角闪片岩、绿泥角闪片岩夹云母石英片岩、石英片岩,属于中硬岩—坚硬岩。堰址区片岩地层内层面多不清晰,片理发育,节理面多附铁锈;大理岩岩层内层面较清晰,但层间揉皱现象较发育,岩层产状变化大,顺层断层、挤压带及挤压面较为发育,溶孔、溶槽较发育,节理面多附钙化物及黄色泥膜。

### 3 作业区周边环境

(1)岸坡开挖作业区上游③—4 隧道出口,③—4 隧道是上游围堰施工的重要通道,爆破作业必须保证③—4 隧道不受破坏和爆破施工期间的交通安全。

(2)爆破中心距离金沙江右岸两条导流洞直线距离约 168 m;导流洞为“一大一小、一高一低”两个导流洞,①导流隧洞进口高程 2 540.00 m,城门洞型,断面尺寸 17 m×19 m(宽×高);②导流隧洞进口高程为 2 544.00 m,城门洞型,断面尺寸 7.5 m×8 m(宽×高)。导流洞已经建成过流,是上游围堰截流后、工程施工期间的唯一过流通道,对工程施工安全起到关键性和决定性作用<sup>[2]</sup>。

(3)左岸岸坡开挖作业区距离金沙江对岸⑩—2 道路最近距离 130 m。⑩—2 道路是导流洞进口段施工的唯一通道,爆破期间必须保证该道

路畅通。

### 4 重难点及对策

(1)上游围堰左岸趾板 Z19—Z13 段,原设计为半边洞开挖方案。根据现场实际地质条件,半边洞 Z19—Z13 段开挖的部分区域,因岩体处于强卸荷带,节理、裂隙发育,周边分布软弱夹层。对策:

①该段原半边洞开挖方式调整为明挖。边坡开挖坡比 1:0.15,趾板底面位置及尺寸维持原设计不变,开挖后桩号 SY0—121.481 上游底面为水平面、开挖高程 2 552.50 m,桩号 SY0—121.481 下游为 1:2.5 斜面。桩号 SY0—130.016 上游段、下游段边坡坡比分别为 1:0.50 和 1:0.15,桩号 SY0—130.016 处开挖时平顺衔接上下游边坡。

②开挖后的边坡采用挂网  $\Phi 6@200\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 、喷 C25 混凝土  $\delta=120\text{ mm}$ 、系统锚杆 C28、 $L=6\text{ m}$  及业 C32、 $L=9\text{ m}$  系统锚杆支护,锚杆在实际开挖岩面处外露 80 mm,间排距 2 m(开挖坡面),交错布置。坡面设置 1000 kN、 $L=30\text{ m}$  锚索,在高程 2 576.00 m 和 2 572.00 m 处各布置 3 束,锚索孔俯角 10°。

(2)根据现场开挖揭露的地质条件,上游围堰右岸趾板桩号 SY0—022.356—SY0—028.356 段开挖边坡存在倒悬体,趾板 Y2—Y5 段桩号 SY0—044.856—SY0—063.000 段边坡存在危岩体。对策:

①右岸趾板桩号 SY0—022.356—SY0—028.356 段边坡倒悬体采用爆破开挖处理,清除孤石、危石。倒悬体清理后,按原设计及时支护。

②右岸趾板 Y2—Y5 段(桩号 SY0—044.856—SY0—063.000)边坡危岩体采用爆破开挖方式清除。趾板 Y2—Y5 段原半边洞开挖方式调整为明挖,开挖边坡坡度为 1:0.1,趾板底面位置及尺寸维持原设计不变。开挖后的边坡采用挂网  $\Phi 6@200\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 、喷 C25 混凝土  $\delta=120\text{ mm}$ 、系统锚杆 C28、 $L=6\text{ m}$  及 C25、 $L=4.5\text{ m}$  支护,锚杆在实际开挖岩面处外露 80 mm、间排距 2 m(开挖坡面)、交错布置。

(3)原设计上游围堰桩号 SY0—57.500—SY0—73.500 段左岸趾板地基为半边洞开挖形成的岩石底板。根据现场实际微地形条件及开

挖掘露的地质条件,桩号 SY0-57.500-SY0-60.500 段发育断层 F343,产状为 N38°E/SE70°,受断层影响,该段趾板地基形成三角形地形缺口,需要采用混凝土回填形成趾板基础;桩号 SY0-60.500-SY0-73.500 段趾板地基发育两组长大节理相互切割形成的特定块体,在开挖施工过程中塌落,造成趾板地基宽度不足。对策:

①桩号 SY0-57.500-SY0-73.500 段,地基不足部分,采用 C25 混凝土回填形成趾板基础,混凝土基础顶面为原设计趾板地基开挖高程,趾板宽度不小于原设计宽度。

②桩号 SY0-57.500-SY0-60.500 段趾板混凝土基础周边岩面设置插筋,在铅垂方向间距为 1 m,顺水流方向沿坡面布置间距为 1 m。

③桩号 SY0-60.500-SY0-73.500 段趾板宽度范围内基础应设置台阶,并在铅垂方向设置插筋,单个台阶宽度不小于 0.5 m,总台阶宽度不小于 1.5 m,台阶高度据地形条件而定。混凝土底部及内侧的基岩面清洗干净,对于光滑的地基岩面凿毛处理。

④回填区插筋规格:25@1 m×1 m、L=4.5 m,入岩 3.5 m,外露锚入混凝土内 1 m,水泥砂浆强度等级 M30,应注浆饱满。

(4)上游围堰左岸趾板桩号 SY0-108.000-SY0-106.000 段(Z15 点下游)发育一条斜穿趾板结构的裂隙 L1,裂隙产状 N10~20 W、NE/40~50°,面较平直,张开宽度 1~15 cm,充填黄色碎屑、次生黄泥。对策:

①趾板建基面以下,沿裂隙上游侧开挖刻槽。开挖刻槽宽度 0.3 m,深度 0.5 m,长度沿趾板建基面范围全线布置。

②趾板混凝土浇筑前,清理刻槽槽内基础面,采用 C25 混凝土回填。刻槽回填混凝土与趾板结构同时浇筑。

③裂隙与帷幕灌浆轴线交点增加 1 个帷幕灌浆孔,按二序孔施工,顶角 45°,基岩内灌浆深度 20 m。

## 5 施工要点

### 5.1 脚手架搭设

搭设脚手架作为边坡开挖、锚索及锚喷支护的施工平台,脚手架参数为 1.8 m×1.8 m×0.7 m。

### 5.2 被动防护网搭设

趾板开挖区顶部以外设柔性被动防护网,以防上部浮石浮渣滚落伤人。施工时利用搭设的脚手架作为施工平台。

### 5.3 临时便道填筑

为保证钻孔施工安全及防滚石落江,左岸先填筑一条沿江岸的施工便道,并在临江侧采取防护拦挡措施。便道自高程 2 556.00 m 向下游按 10% 降坡至高程 2 550.00 m,最后填筑至围堰轴线处为止。该段道路长约 156 m,宽 5 m,堤岸坡比 1:1.5。施工便道作为钢筋石笼防护的拦挡布置平台。

### 5.4 钢筋石笼布置

钢筋石笼作为防滚石落江的措施,单个钢筋石笼尺寸为 2 m×1 m×1 m(长×宽×高),自桩号 SY0-147.5-SY0-000.0 在两岸道路临江侧布置,左岸单排双层,右岸根据道路宽度可布置双排双层。

### 5.5 爆破开挖

边坡、趾板基础要求开挖面达到平整、稳定,尽量减少对保留区岩体的破坏影响。开挖钻爆施工方案为:边坡采用(预裂、光面爆破)控制爆破,主爆孔采用微差爆破,严格控制单响装药,趾板建基面采用保护层开挖。

### 5.6 半边洞开挖

半边洞趾板开挖施工分为二期,一期沿设计开口线按 1:0.1 坡比将脚手架平台开挖成型,搭设脚手架,完成洞顶锁口锚杆及自然边坡系统锚杆的施工,再进行二期开挖至设计断面。脚手架作为爆破孔、锚杆孔、锚索孔的钻孔作业平台,在完成相应爆破范围的上部锚索、锁口及系统支护后全断面爆破开挖。平洞开挖采用手风钻钻孔,全断面开挖掘进,周边光面爆破<sup>[3]</sup>。

### 5.7 锁口及系统锚杆支护

入岩深度大于 6 m 且入岩倾角为上仰孔的锚杆,采用“先插杆后注浆”的施工方法;入岩深度小于等于 6 m 且入岩倾角为水平孔、下倾孔的锚杆采用“先注浆后插杆”的施工方法。

### 5.8 锚索布置

上游围堰左岸布置锚索共 15 根,为 P=1000 kN、L=30 m,为无粘结型预应力锚索,预应力锚索钢绞线采用 1860 MPa 级。

(下转第 124 页)

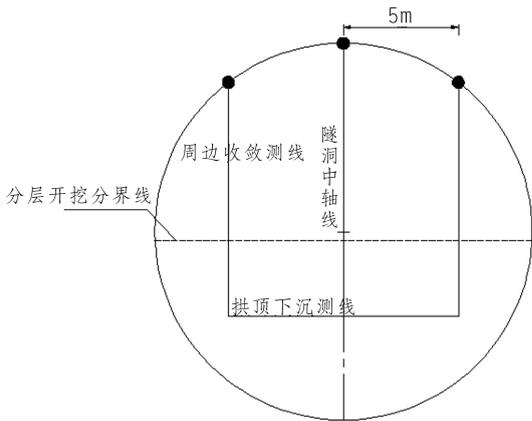


图5 监测断面测点布置图

理施工变形情况,结果显示:在各测点拱顶下沉速率小于 $0.07\sim 0.15\text{ mm/d}$ 时,日沉降位移值逐渐减小并呈收敛趋势,支护结构趋于稳定,满足后续衬砌施工安全条件。

#### 4 结语

针对巴塘水电站泄洪放空洞复杂地质条件出口段塌方处理的实践,可得出如下结论:

(1)采取先稳固洞外影响段、再掘进洞内塌方段的整体施工原则,能有效减小对洞口段不稳定卸荷破碎岩层的影响,确保施工过程的安全;

(2)在塌方段处理过程中,根据塌方后具体岩层变化,分部位采取不同处理措施。通过“洞外反压+超前管棚+混凝土拱梁+钢支撑”的综合治理,不仅能有效保证施工的安全,而且能大幅提高

(上接第120页)

#### 6 结语

高陡峭岸坡开挖支护施工技术在各大水电工程施工中都有重要的应用价值,它是在保证安全的前提下,实现高效率、高质量的施工<sup>[4]</sup>的必备条件。本文通过总结电站上游围堰高陡峭岸坡开挖过程中遇到的强卸荷带区域、倒悬体区域、危岩体区域、有较大节理裂隙发育区域等多类型不良地质条件下开挖支护的实践,得到如下结论:

(1)在地质条件复杂多变的环境中,高陡峭岸坡开挖支护要根据复杂多变的地质条件分区、分块采取有针对性的开挖支护措施<sup>[5]</sup>。如采用卸载措施、喷锚封闭措施、锚杆支护措施、被动防护措施等。

(2)高陡峭岸坡开挖支护要先保证岸坡顶部锁口支护安全稳定,为下部施工创造安全有利条件。越早封闭开挖面对后续施工越有利。

塌方段处理的效率;

(3)对处理后塌方段布设观测点、多点位移计,通过对日沉降位移值和下沉速率等指标的持续观测,有效提供了洞内安全稳定的详细数据指标,保障了洞内后续计划施工。

巴塘水电站特大断面泄洪洞出口处大范围塌方安全快速处理,为巴塘水电站安全顺利度汛提供了强力的保障。相关施工经验可供类似大跨度复杂地质隧洞出口段塌方处理施工借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 严厚治,周正清.大断面引水隧洞塌方处理技术研究与实践——以硬梁包水电站引水隧洞为例[J].四川水力发电,2021,40(3):22-27.
- [2] 真强华.炭质页岩地层大断面隧洞施工支护及塌方处理措施[J].水利科技,2016,(3):22-24.
- [3] 张良平,雷文,娄彩红,等.大断面泄洪洞突泥涌水防治技术研究[J].施工技术(中英文),2021,50(17):97-101.
- [4] 冯艳朝,卢应洵,唐勇,等.大中天桥泄洪隧洞不良地质洞段塌方处理[J].水利水电快报,2019,40(6):52-53.
- [5] 周春清,周志东,金连军.西藏旁多水电站泄洪洞塌方处理施工技术[J].四川水力发电,2015,34(4):12-14.

#### 作者简介:

刘潇瑜(1992-),男,四川成都人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

梁燕平(1997-),女,四川广元人,助理工程师,本科,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

荆卢峰(1992-),男,河南三门峡人,助理工程师,本科,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

(3)高陡峭岸坡开挖要采用合理的预裂爆破参数,降低用药量,减少开挖爆破震动对预留破面的影响。

#### 参考文献:

- [1] 屈建军.某项目高边坡和深基坑支护的技术控制[J].山西建筑,2018,(18):62-63.
- [2] 李正江.构皮滩水电站尾水出口软岩高边坡开挖支护施工[J].贵州水力发电,2006,(3):37-40.
- [3] 成万龙.分析水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].珠江水运,2014,(17):71-72.
- [4] 郑朝基.基坑支护实例分析与支护措施施工的技术要点分析[J].劳动保障世界(理论版),2013,(12):127-128.
- [5] 王朋辉,韩晓燕,孙建新.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术分析[J].科技资讯,2012,(4):133.

#### 作者简介:

孙广亮(1986-),男,河南温县人,工程师,本科,注册一级建造师,注册安全工程师,主要从事项目安全技术管理工作。

(责任编辑:卓政昌)