

硬梁包水电站大断面洞室开挖施工方法研究

侯 剑 桥

(中国安能第三工程局成都分公司,四川 成都 611135)

摘 要:硬梁包水电站引水隧洞开挖是现代水电站施工中较为典型的大断面洞室开挖案例,详述了研究与优化硬梁包水电站引水隧洞洞室开挖施工技术的过程,提高了洞室开挖质量,优化了施工顺序,节省了工期和成本,所取得的经验可为今后大断面洞室开挖施工提供参考。

关键词:大断面开挖;施工方法;爆破设计;硬梁包水电站

中图分类号:TV7;TV554;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)03-0049-04

Study on Excavation Method of Large Section Cavern in Yingliangbao Hydropower Station

HOU Jianqiao

(Chengdu Branch of China Anneng Group Third Engineering Bureau Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611135)

Abstract: Excavation of the headrace tunnel of Yingliangbao Hydropower Station is a typical case of large-section cavern excavation in construction of modern hydropower stations. This paper expounds in detail study and optimization process of technology for excavation of cavern of headrace tunnel in Yingliangbao Hydropower Station. With the excavation method, the construction sequence is greatly optimized, construction period and cost are saved. The experience gained can provide a reference for the excavation of large-section caverns in the future.

Key words: large-section excavation; construction method; blasting design; Yingliangbao Hydropower Station

1 概 述

硬梁包水电站引水采用两条引水隧洞平行布置于大渡河左岸,均为全断面钢筋混凝土衬砌,衬砌厚度为:Ⅲ1类围岩段0.4 m、Ⅲ2类围岩段0.5 m、Ⅳ类围岩段0.8 m、Ⅴ类围岩段1 m。1号、2号引水隧洞分别接1号、2号调压室。根据引水线路所处地形、地质条件以及施工要求,隧洞在平面布置上共设置了5个转弯点,转弯半径为200 m或80 m,在引水隧洞末端围岩条件较好处设置了一组集石坑,以避免块石等杂物进入机组。首部枢纽进水口底高程为1 215 m,调压室处隧洞底高程为1 198 m。

引水隧洞所处地层岩性主要为晋宁-澄江期花岗岩,辉绿岩脉穿插其中。Ⅲ类围岩岩体呈微风化~新鲜,完整性较好,呈次块状~镶嵌结构,局部碎裂~碎块状结构段为Ⅳ、Ⅴ类岩体,为弱下风化段。岩体中小断层较发育,主要以NE向、陡倾山内和NNW向中缓倾山内的断层为主。笔者

根据实际地质情况对隧洞开挖采用的施工方案进行了研究,分述如下。

2 主要施工方案研究

2.1 施工方法的选择

根据目前国内成熟的施工技术经验做法,洞室开挖的方法主要有全断面法、正台阶法、环形开挖预留核心土法以及设临时支撑的侧壁导洞法和地铁隧道常用的盾构机施工方法。全断面法适用于跨度 ≤ 8 m且地层较好的洞段;正台阶法适用于跨度 ≤ 10 m、地层较差的洞段;环形开挖预留核心土法适用于跨度 ≤ 12 m、底层差的洞段。由于硬梁包水电站地处山区,不适用于盾构机施工,同时其开挖断面中存在Ⅳ、Ⅴ类围岩,岩性较差,且因其断面直径较大不适用于全断面法开挖。项目部结合正台阶法和环形开挖预留核心土法施工工艺^[1],同时根据我公司已有的施工经验及现场作业情况,拟采用分层分序开挖的方式。

分层分序开挖具有以下优点:

收稿日期:2021-04-16

(1)能较好地控制开挖质量。分层分序开挖每次开挖的断面不大,该隧洞中导洞断面面积为 52.6 m^2 ,跟进开挖左右侧保护层断面面积为 25.3 m^2 ,小断面的爆破开挖能较好地控制爆破系数,对于超欠挖的控制能力较好。

(2)能避免出现洞室坍塌的情况。分层分序开挖采用的是随挖随支的工艺,开挖一部分,临时支护一部分,对于防止洞室开挖暴露面变形坍塌具有较好的效果;同时,由于Ⅳ、Ⅴ类围岩岩性较差,且又处于破碎断裂带位置,开挖前即需进行支护。采用超前注浆小导管或管棚方式、分层分序开挖,能够有效地利用超前支护的效果,更好地控制开挖断面的成型效果,控制好断面应力和断面变形^[2]。

(3)能流水施工,提高施工效率。采用中导洞先行、两侧保护层紧跟施工的方式进行爆破开挖能够提高施工作业效率。中导洞与两侧保护层掌子面的距离为 $30\sim 50\text{ m}$,在施工过程中同时钻孔,同时爆破,同时出渣,不仅能保证爆破质量,也能减少不必要的施工停歇时间,在上层开挖完成后,下层施工类似于平面光爆,施工效率高,速度快,能够很好地保证工期要求。

2.2 施工程序研究

(1)开挖分两层Ⅳ序进行,Ⅲ类围岩Ⅰ序为上层 $8\text{ m}\times 7\text{ m}$ (宽 $\times$ 高)导洞,采用三臂钻进行水平造孔;Ⅳ、Ⅴ类围岩根据地质预测的结果选择左右半洞法(左半洞尺寸为 $7.59\text{ m}\times 8\text{ m}$)或导洞先行(导洞尺寸为 $8\text{ m}\times 7\text{ m}$),或者双侧壁导坑法。Ⅱ序为上层两侧扩挖,采用三臂钻进行水平造孔;Ⅲ序为下层槽挖,采用T35钻机进行竖向造孔,槽挖断面为梯形断面,上口宽度为 8 m ,下口宽度为 5 m ,高度为 $4.8\sim 5.7\text{ m}$;Ⅳ序为两侧及底板保护层,厚度为 1.6 m ,采用手风钻造孔。

(2)上层两侧扩挖滞后导洞 10 m 跟进施工,下层槽挖在上层贯通后进行,下层及底板保护层开挖在槽挖完成后进行。

3 主要施工方法

3.1 引水隧洞上层洞身的开挖施工

Ⅲ类围岩分两层开挖施工,第一层(上层)采用中导洞和两侧保护层前后错距 10 m 的开挖方式,先进行中导洞开挖,尺寸为 $8\text{ m}\times 7\text{ m}$ (宽 $\times$

高),断面面积为 52.6 m^2 ,跟进开挖左右侧保护层的断面面积为 25.3 m^2 。

为了减轻水平应力对边墙稳定性的影响,对Ⅳ、Ⅴ类围岩需进行大管棚、小导管超前预支护时,按照左右半洞法或双侧壁导坑法进行开挖支护^[3]。

(1)施工程序。引水隧洞上层的开挖采用中导洞和左右侧保护层错距 10 m 的方式开挖施工(Ⅴ类围岩左右半洞滞后一个循环),具体施工工序为:测量放线、布孔 $\rightarrow$ 钻爆 $\rightarrow$ 通风散烟 $\rightarrow$ 出渣 $\rightarrow$ (临时安全支护) $\rightarrow$ 延伸风水电线路 $\rightarrow$ 转入下一循环。

(2)钻爆施工方法。三臂凿岩台车钻孔,周边设计结构面采用光面爆破(炮孔间距为 $45\sim 50\text{ cm}$),中部大面为主爆孔(炮孔间距为 $90\sim 110\text{ cm}$),采用空洞直孔掏槽、分段毫秒非电雷管微差起爆网络进行爆破,计划钻爆循环进尺为 3.5 m 。具体的开挖施工方法为:

①布孔与钻孔。布孔时,先由测量人员用测量仪器准确放出主要控制点,再按照爆破设计的布孔参数用钢卷尺等工具准确定出每个炮孔的位置,将孔位用红油漆标注于岩面上。现场对周边孔及二圈孔孔位全部给予标识,每 2 m 标识一个钻孔方向线,并将测量放样成果表提交于开挖作业队。

导洞采用三臂凿岩台车造孔。钻孔孔位偏差、孔向偏差、孔深偏差必须符合规范要求。钻孔作业时必须保护好孔口,炮孔钻完后,立即用编织袋或棉纱堵塞孔口进行保护,防止石渣掉入孔内。对于因堵塞无法装药的钻孔应予以吹孔或补钻。钻孔经检查合格后,由专业炮工严格根据钻爆设计要求装药。

爆破钻孔严格按照设计钻爆图进行,每排炮由值班质检员按“平、直、齐”的要求进行检查。周边光爆孔、预裂孔开孔与测量点位的偏差不大于 3 cm 。

②装药与联网。钻孔完成并经质检合格后,立即将钻孔机具及人员撤离钻爆区。炮孔全部采用自制装药台车操作平台由人工装药,一般孔为连续装药,光爆孔为不耦合间隔装药。在连续装药结构中,孔内采用非电毫秒雷管引爆。起爆雷

管一般置于孔底第二节炸药上,并将聚能穴朝向孔口方向。起爆雷管必须用胶带与炸药绑牢并注意保护好雷管脚线。为确保爆破效果及安全,起爆雷管必须严格按爆破设计要求选择段号,切不可有误。装药时一定要严防药卷在孔内出现架空现象,每装入一节炸药必须用木制炮棍轻轻向下捅一捅以保证药卷与药卷之间紧挨。光爆孔使用导爆索引爆,施工时先将炸药药卷按设计药量、设计间距绑于导爆索上,再将炸药和导爆索绑于小竹片上,经检查无误后将绑有炸药的竹片缓慢插入炮孔内。

堵孔是影响爆破效果的关键因素之一,务必认真对待。堵孔采用专制的炮泥进行堵塞。堵孔必须堵至孔口。所有炮孔装药完毕并经检查合格后即可进行孔外联网作业,用磁电雷管进行起爆。

③警戒。由于该标段工程在两条引水隧洞内有8个工作面同时进行爆破施工,因此,安全警戒尤为重要。每次爆破前,必须做好相邻单位及引水隧洞洞内的安全警戒工作并告知洞内所有工作面的施工人员。每次实施爆破作业时,只有在起爆网络检查合格、各项工作准备就绪的情况下方可进入起爆程序。

④爆后排烟与排险。每次爆破、待洞内烟尘部分消散后,爆破人员方可进入洞内进行检查。检查的内容主要包括:有无瞎炮,有无危石等情况。若无补炮,则及时通知解除警报,恢复洞内的车辆流通。对于拱顶、边墙的危石,必须采用反铲及时进行撬除。

一旦发现瞎炮必须立即处理。处理瞎炮可视具体情况采用重新起爆法、打平行眼装药引爆法、掏空炮泥药包引爆法等^[4]。

(3)钻爆设计。对于Ⅲ类围岩的开挖,所设计的钻爆循环进尺为3.5 m,钻孔深度为3.8~4 m,爆破单耗为1.29 kg/m³,单响药量为31.2 kg。中导洞开挖断面为8 m×7 m的城门洞形,面积为52.86 m²,共布置了106个孔,平均2个孔/m²,孔径为Φ56 mm,主爆孔孔深为3.8 m,掏槽孔孔深为4 m,其中光爆孔孔距为77~123 cm,光爆抵抗线为50 cm;崩落孔抵抗线为80~100 cm;采用平行直孔掏槽。两侧保护层开挖断面面

积为25.6 m²,共布置了52个孔,孔径为Φ56 mm,孔深3.2 m。其中光爆孔孔距为48 cm,光爆抵抗线为50 cm;崩落孔抵抗线为81~123 cm。

对于Ⅳ类围岩的开挖,所设计的钻爆循环进尺为2 m,钻孔深度为2.5~2.2 m,爆破单耗为0.87 kg/m³,单响药量为19.2 kg。中导洞开挖断面为8 m×7 m的城门洞形,面积为69.01 m²,共布置107个孔,平均1.6个孔/m²,孔径为Φ56 mm,主爆孔孔深为2.2 m,掏槽孔孔深为2.5 m,其中光爆孔孔距为54 cm,光爆抵抗线为54 cm;崩落孔抵抗线为80~115 cm;采用平行直孔掏槽。两侧保护层开挖断面面积为20.75 m²,共布置了72个孔,孔径为Φ56 mm,孔深2.2 m。其中光爆孔孔距为53 cm,光爆抵抗线为50 cm;崩落孔抵抗线为69~100 cm。

对于Ⅴ类围岩的开挖,所设计的钻爆循环进尺为1 m,钻孔深度为1.5~1.2 m,综合爆破单耗为0.91 kg/m³,单响药量为12 kg。左、右两边半洞开挖断面为7.4 m×8 m,面积为48.77 m²,共布置了93个孔,平均1.9个孔/m²,孔径为Φ56 mm,主爆孔孔深1.2 m,掏槽孔孔深1.5 m,其中光爆孔孔距为54 cm,光爆抵抗线为60 cm;崩落孔抵抗线为60~80 cm;采用平行直孔掏槽。右半洞共布置了74个孔,孔径为Φ56 mm,孔深1.2 m。其中光爆孔孔距为53 cm,光爆抵抗线为60 cm;崩落孔抵抗线为90~110 cm。先导洞后扩挖时导洞的开挖断面为8 m×7 m,面积为53.05 m²,共布置了86个孔,平均1.6个孔/m²,孔径为Φ56 mm,主爆孔孔深1.2 m,掏槽孔孔深1.5 m,其中光爆孔孔距为54 cm,光爆抵抗线为60 cm;崩落孔抵抗线为60~80 cm;采用平行直孔掏槽。两侧和底板扩挖共布置了76个孔,孔径为Φ56 mm,孔深1.2 m。其中光爆孔孔距为53 cm,光爆抵抗线为60 cm;崩落孔抵抗线为90~110 cm。

炸药采用2号岩石乳化炸药,雷管采用非电毫秒雷管。周边孔采用竹片绑导爆索分节间隔装药的方式,爆破孔采用柱状连续装药。对于光面爆破参数,施工初期由经验公式确定,每次爆破后测量半孔率和轮廓的不平整度,不断优化爆破设计,其具体参数待爆破生产性试验后确定。

3.2 引水洞下层洞身的开挖施工

引水洞下层槽挖高度为 4.8~5.7 m,底部保护层厚度为 1.6 m。

下层开挖施工时,先挖中部抽槽,两侧和底板保护层开挖滞后槽挖 1~2 个循环。抽槽顶宽 8 m,底宽 5 m,梯段高 3.7 m,槽挖采用 T35 履带钻机造孔,两侧进行预裂爆破;两侧保护层开挖采用手风钻水平造孔,周边孔光面爆破成型。渣料采用 3 m³ 侧卸式装载机或 1.6 m³ 反铲进行挖装,20 t 自卸汽车运渣。

(1)开挖施工工艺流程。

槽挖施工:施工准备→测量放线→钻孔→装药爆破→通风散烟、洒水除尘→安全处理→出渣清底→延伸风水电线路→转入下一循环;

保护层开挖:工作面清理→测量放线→造孔施工→钻孔验收→装药爆破联网→通风散烟→安全处理→出渣清底→延伸风水电线路→下一循环爆破施工。

(2)爆破参数。

下层抽槽开挖:采用 T35 液压履带钻机造垂直孔,钻孔孔径为 90 mm,孔深 3.7~4.2 m,主爆孔间排距为 2 m×2 m,预裂孔间距为 1.5 m,炸药为乳化炸药,主爆孔及缓冲孔均采用 Φ70 mm 药卷,梯段爆破循环进尺为 7 m,爆破单耗为 0.62 kg/m³,单响药量为 35.2 kg。采用非电毫秒延期爆破网络。

底板及两侧保护层开挖采用手风钻造孔,孔径为 Φ42 mm,孔深 3.2 m,主爆孔间排距为 0.8 m×0.9 m,光爆孔间排距为 0.48 m×0.52 m,炸药为乳化炸药,主爆孔采用 Φ32 mm 药卷,光爆

孔采用 Φ25 mm 药卷,爆破循环进尺为 3 m,爆破单耗为 0.77 kg/m³,单响药量为 16 kg;采用非电毫秒延期爆破网络,光爆孔采用导爆索引爆^[5]。

4 结 语

硬梁包水电站引水隧洞开挖断面尺寸为 15.4 m×15.4 m,为水利水电工程建设中较为典型的引水隧洞工程。通过研究和总结各类开挖施工方法的使用范围以控制该工程的施工,不仅对该项目具有较为重要的实际意义,同时对今后的类似洞室,包括市政轨道、公路隧道工程施工也具有着很好的借鉴意义。

分层分序施工不仅能降低施工难度和施工的危险性,同时亦能提高洞室开挖施工的质量;其次,分层施工能更好地提高施工效率,施工工期能够更好地得到保证。

参考文献:

[1] 刘保国,徐干成.大跨度高边墙地下洞室分层间隔施工方法[J].岩土力学,2011,32(9):2759-2764.
[2] 马晓莉,要宝忠.浅谈大断面地下洞室的开挖与支护施工[J].中国西部科技,2010,9(36):24-26.
[3] 韦寒波,高谦.大断面洞室开挖支护与围岩稳定性分析[J].中国矿业,2007,16(10):80-85.
[4] 杨小华,王良兵.浅埋深特大断面溢洪洞开挖技术研究与应用[J].四川水力发电,2014,33(5):116-118.
[5] 樊启祥,刘益勇,王毅.向家坝水电站大型地下厂房洞室群施工和监测[J].岩石力学与工程学报,2011,30(4):666-676.

作者简介:

侯剑桥(1994-),男,四川乐山人,助理工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

安能第三工程局成都分公司参与指导四川省应急厅
2021 年防汛综合演练

4 月 30 日下午,受四川省应急厅邀请,成都分公司纪委书记韩立民率队前往德阳市,参与指导四川省应急厅 2021 年防汛综合演练。演练会场设在德阳市中江县,在中江县应急管理局副局长王文峰的带领下,韩书记一行首先对演练预设场地进行踏勘,详细了解演练工作的初期情况。随后来到德阳市应急管理局参加 2021 年防汛综合演练筹委会。省应急厅水旱灾害救援处处长朱雅琴主持会议,相关参演单位人员参加会议。会上,韩书记根据现场勘查情况,就背景构想、场地布置、科目设计等内容提出了相关建议。通过此次交流,进一步增进了安能第三工程局与省应急厅的沟通联系,对下一步双方深化拓宽合作领域达成了共识。公司将以此交流为契机,按照“一基两翼”要求大力加强非现役专业队伍建设,不断提升应急救援能力!

(安能第三工程局成都分公司 供稿)