

固增水电站引水隧洞复杂特殊地质问题的处理

王军红

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局,四川 彭山 620860)

摘要:固增水电站建设为 EPC 总承包模式,引水隧洞在开挖过程中遇到深埋洞段类覆盖层(岩石风化过于严重,与覆盖层夯实土包裹孤石相似,设计简称类覆盖层)、较大反坡超长洞段特大涌水、突发泥石流、深埋洞段不明气体二次爆炸和全断面连续蠕变张裂等引起的大型塌方等地质问题。阐述了施工过程中通过不断进行技术总结,提前预判,提前做好技术应对措施的过程,为减少损失、提高质量和履约能力等奠定了基础,所取得的经验可为今后类似工程提供借鉴。

关键词:固增水电站;超前预报;水平超前勘探孔;半洞预留核心土开挖;超前支护;大管棚

中图分类号:TV7;TV554;TV52;[TV221.2]

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)01-0060-04

Treatment of Complex and Special Geological Condition in Headrace Tunnel of Guzeng Hydropower Station

WANG Junhong

(First Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Pengshan, Sichuan, 620860)

Abstract: Guzeng Hydropower Station is built under EPC contract mode. During excavation, severely weathered-rock and overburden-like compacted rock-soil are encountered in the deep-buried tunnel section, excessive water gushing and sudden mud bursting happened in the super-long section with large reverse, secondary explosion occurs due to unknown gas in the deep-buried tunnel section, continuous creep and crack of the whole section happened. Through summarizing the technology during construction, carrying out advance forecast, working out counter-measures, the losses of the project is reduced, construction quality and performance is improved. This paper provides reference for other similar projects.

Key words: Guzeng Hydropower Station; advance prediction; advance horizontal exploration hole; excavation with reservation of core soil; advance support; large pipe shed

1 概述

固增水电站引水隧洞位于木里河左岸,设计全长 11.06 km,纵坡降 $i=2.0869\%$,沿线垂直埋深为 60~760 m,隧洞过撒洼沟段埋深最浅,该段隧洞垂直埋深约 60 m,由 6 条施工支洞辅助施工。衬砌后净断面尺寸为 6.1 m×7.8 m。引水线路位于高山峡谷地貌区,地形高差悬殊,沿线沟谷深切,多呈不对称的“U”和“V”型谷,植被较发育;隧洞区处于前山背斜和甲沟向斜 NW 末端,地质构造较为复杂,规模较大的断层有 4 条,分别为:基洼断层、撒洼断层、索根断层和曼念吉冈断层,断层破碎带一般宽约 20~40 m,其中撒洼、索根断层宽达 50~100 m,由碎裂岩、糜棱岩、角砾岩、少量断层泥、裂隙密集带等组成,断层均为非

活动性断层;地质调查显示岩体中小断层、层间错动带较为发育,小断层破碎带宽一般为 0.5~2 m;地层中揉皱、挠曲等小褶皱现象普遍,岩层产状变化较大,构造节理较为发育。引水隧洞复杂特殊地质洞段主要具有前方围岩复杂多变、预判不准、暴露时间过长、易发生垮塌、突发大型事件风险过高、不明气体引发的二次爆炸措施准备不足、全断面连续蠕变在 100 m 以上,难以保证后续施工的安全可靠和松散薄层炭质板岩夹炭质页岩开挖支护处理经验不足导致易垮塌的施工难点。

2 针对引水隧洞不良地质洞段施工难点采取的应对措施

(1)参照现有的施工经验并结合先进的勘探技术,采用多种超前勘探方法以提高围岩预判的

收稿日期:2021-01-27

准确性;

(2)深埋类覆盖层围岩变化多样,体现出施工工法选择准确和及时的重要性,必须严抓工序循环,及时封闭;

(3)针对较大反坡超长洞段突发特大涌水的应急措施合理,及时消除了风险且须加强后续应对措施;

(4)洞内突发泥石流诱发大型塌方的施工工法选择、控制施工成本和提高进度。

2.1 超前地质预判

该引水隧洞地质条件变化复杂,根据掌子面揭露的围岩判定前方岩性不准确易造成现场施工盲目,风险较高。

总包部采用先进的俄罗斯 TGS~360pro、美国 TRT 仪器超前地质预报 120 m 左右(直段),用以预判前方大致的围岩变化情况;对变化明显的区域接近掌子面 30 m 时采用地质雷达再次进行超前预报^[1](地质雷达预报相对准确,对水的预报更敏感);对于超前预报围岩变化较大且富含水和围岩明显变差区域布置 2~3 个超前勘探孔^[2](用 100B 钻孔,深 25~30 m),对钻孔速度、声音、出水颜色和钻渣情况做好详细记录,并将其汇报给设计地质工程师结合地质勘探资料做出正确的判定,并交代现场技术质量管理人员对施工班组进行交底以指导现场施工;现场钻工可根据 4.5 m 或 6 m 钻杆钻孔速度的情况并结合已开挖洞段的经验进行分析,控制钻孔深度、间排距和装药量,以减少因爆破振动对周边围岩的扰动。

通过上述超前地质判定并对前期预报的情况进行分析后决定后续勘探的必要性,将掌子面前方围岩的变化情况完全掌握。技术质量人员根据判定选择相应的应对技术措施,以解决前方预判围岩施工困难的问题,对施工作业班组详细交底,指导操作,同时为施工指明方向。该措施的优点是对施工的安全、质量、进度提供了有利的保障,降低了风险发生的概率、减少了损失并消除了工人的畏惧抵触心理。

2.2 特殊洞段的处理

2.2.1 深埋类覆盖层的处理

1#支洞及其上游段主洞 800 m 为 V 类覆盖层开挖。根据已开挖揭露的 V 类覆盖层特点,所

采取的处理技术措施不同。

对凝结力较强、无特大孤石、稳定性好的 V 类覆盖层,采用破碎锤全断面 0.5~1 m 短进尺开挖,强支护(I16 工字钢)跟进,无需超前支护,严禁爆破掏槽深孔开挖。该措施的优点是单循环进度耗时少,处理速度快,施工工艺灵活,超控控制好。

对于含有特大孤石、稳定性差、少量渗水的 V 类覆盖层,采用 $\varphi 25, L=4.5\sim 6$ m 的超前锚杆加强支护,上下半洞短进尺循环开挖。超前支护钻孔施工出现卡钻、塌孔现象时,采用 I16 工字钢开孔内穿 $\varphi 42, L=4.5\sim 6$ m 的超前小导管进行固结注浆支护;出现不吸浆时采取小导管内插 $\varphi 25, L=4.5\sim 6$ m 的锚杆以提高超前支护的强度。该措施的优点是操作灵活,施工占用时间较短。

对于含有断层裂隙、大量孤石、稳定性极差的 V 类覆盖层,采用 $\varphi 108$,内插 3 Φ 28 锚筋束大管棚超前固结灌浆的施工方法(管棚的长度和环数应根据勘探孔揭露预判塌方范围确定)进行处理。开挖采用短进尺,支护根据现场情况施工超前小导管、I16 工字钢等加强支护。该措施的优点是安全可靠,质量有保证。缺点是耗用时间、资金较高,一般为防止发生大型塌方时实施。

2.2.2 特大反坡特长洞段突发特大涌水的处理

引水隧洞上游段 0~4 100 区域底板高程接近天然河床水位,在地下水水位线以下且其灰岩和砂岩裂隙空腔发育较多,储水量大,造成 1#支洞控制段下游开挖掌子面(T)1+370 突然出现特大涌水。高峰期涌水量约为 3 500 m²/h,1 h 控制段下游长 530 m 的底板被涌水淹埋。1#洞施工支洞和控制段下游为倒坡,支洞长 508.41 m,坡比为 4.52%,支洞三岔口距出水点 530 m,总抽排水高差为 24.09 m,长 1 038.41 m。

在 1#洞下游突发涌水前,根据掌子面探孔的出水已预备了三级抽排系统,其用电相互独立,分别为一级三岔口抽排系统 3 m \times 1.5 m \times 2 m(长 \times 深 \times 宽)的集水坑(桩号 0+840),共配备 388 kW 水泵,管路齐全;二级抽排系统为 5 m \times 3 m \times 3.4 m(长 \times 深 \times 宽)的集水坑(桩号 1+250),配备 352 kW 水泵,管路齐全;三级抽排系统跟进掌子面,配备 118 kW 水泵和自流。掌子

面爆破时移除第三级抽排系统(防止爆炸损坏),待出渣后恢复。掌子面(桩号1+370)爆破突发特大涌水后一级和二级抽排系统满负荷运行,因突水量大,水位上涨较快,二级抽排系统在配电设备还剩50 cm被淹时关闭电路,以防止发生触电事故。维护一级抽排系统正常超负荷运行,积极组织添加抽排管路,新增了一台75 kW潜水泵和一台132 kW离心泵,抽调场内焊工紧急安装管路抢险。施工过程中,为防止涌水上涨淹没一级抽排系统,将配电设备根据水位上涨情况搭设排架两次抬高,总共抬高2 m以维持正常抽排。经过8 h抢险安装管路,1#支洞内左侧一趟管径 $\varphi 273$ 、配备75 kW潜水泵的抽排系统投入使用,水位平缓持续3 h后缓慢下降,涌水得到控制。后续支洞左侧新增 $\varphi 200$ 管路和132 kW水泵的投入,加快了抽排速度。为保证抽排系统正常运行并预防后续施工再次发生涌水增大,在1#支洞左侧增加了1趟管径 $\varphi 273$ 管路。后续施工结合超前地质预报和勘探孔出水流速,间断性对管线、水泵、变压器等进行检修,在掌子面采用地质钻机造多个超前排水孔^[3],长度在40 m左右,以保证抽排能力大于涌水强度。预计排水计算能力大于爆破后的涌水速率时,掌子面采用短进尺爆破放水;掌子面无积水时,对涌水部位加强支护,预留排水孔。该措施的优点是处理速度快;缺点是抽排管路等设施费用高。

2.2.3 突发泥石流引发大型塌方封洞的处理

2#支洞控制段上游开挖(T)2+693出现小型垮塌伴随泥石流导致渣体封洞,采取及时撤离人员及设备、待泥石流过后加强观察的措施确保稳定后对发生部位垫渣,预留排水沟,边墙用地质钻机施工多个排水孔泄水。涌水全部通过泄水孔排除,掌子面渣体无大量流水时增加堆渣以提高抵抗力,防止垮塌区扩大。退后安全距离27 m到(T)2+720岩石较好的洞壁扩挖60 cm,搭设排架,采用地质钻机施工 $\varphi 108$,内插3 $\Phi 28$,长度为33~36 m的大管棚,管壁梅花型布设直径为0.5 mm的渗浆小孔,间距30 cm,有压注浆固结。管棚施工完采用上半断面微台阶^[4]并结合预留核心土^[5]开挖,洞壁进行4.5 m固结灌浆,孔径50 mm,长度深入基岩10 cm(浮渣1.5 m),排距

3 m交替布置;灌浆浆液的水灰比为2、1、0.8、0.5四个比级,灌注时由稀至浓逐级变换。注浆压力为0.2~0.5 MPa;结合已施工的超前大管棚,掌子面顶拱施工 $\varphi 42$ 小导管,超前固结灌浆5 m,孔径50 mm,倾角 $13^\circ\sim 15^\circ$,孔间距45 cm,固结后形成抵抗拱圈以保证开挖过程结构稳定(注浆压力和浆液比参考上述要求)。塌方处理至掌子面,可根据已开挖揭露的围岩条件选择性施工 $\varphi 42$, $L=4.5$ m的超前小导管,小导管的注浆根据岩性选择是否采用有压注浆,注浆压力不大于0.5 MPa。系统锚杆因岩性卡钻可改用 $\Phi 25$, $L=4.5$ m的自进式锚杆。该措施的优点是处理大型塌方及泥石流等效果良好,确保了质量与安全;缺点是占用时间和成本较高。

2.2.4 不明气体二次爆炸的处理

4#支洞控制段下游多次出现不明气体及二次爆炸,无色无味。爆炸发生后首先撤离人员以确保安全,加强通风24 h,安全人员协同气体检测专家携带氧气瓶、佩戴防毒面具进行掌子面气体检测并采用活禽试验的方式。经检测,结果良好,遂对施工人员进行安全培训后进洞加强支护,防止塌方扩大。后续施工时,每次进洞前对工人进行班前5 min安全教育,详细登记进出洞时间,须检查操作人员佩戴防毒面具、氧气瓶和对讲机,支洞三岔口和洞外留守专人对接信息。在洞壁和掌子面不同位置采用气退钻凿孔收集气体,送成都院物探检测公司检测无误后启动恢复施工。在距掌子面100 m处安装直流通风机加强通风,掌子面摆放 $\varphi 120$ cm的逃生钢管。向掌子面垮塌区域洞壁用100B造30 m深孔排气,等待12 h无气体放出后安排施工,塌方的处理结合上述不同类型施工超前管棚支护^[6],处理过程加强气体的安全检测。塌方处理完成后,在掌子面掘进施工时采用超前地质钻进造深孔勘探,确保无误后进行正常掘进。该措施的优点是施工安全,处理到位;缺点是占用时间长。

2.2.5 连续蠕变张裂的处理

3#支洞控制段下游、4#支洞控制段下游和5#支洞控制段上游均出现了连续蠕变张裂,4#支洞控制段下游伴随塌方和不明气体的二次爆炸,采取了清除开裂喷射的混凝土块、重新挂网喷

混凝土封闭的措施;对蠕变较小的洞段,采用 $\Phi 28, L=6\text{ m}$ 的锚杆加强工字钢锁脚锁腰;对于蠕变使工字钢扭曲严重的洞段,在原工字钢旁再安装 I16 型钢拱架加强支护以增加刚度,再采用 $\Phi 22$ 连接筋将该段所有工字钢进行连接以形成整体受力,底板结构线以下采用 I18 工字钢进行对撑,边墙施工 $\Phi 28, L=9\text{ m}$ 或 $L=12\text{ m}$ 的锚筋桩,对其进行锚固以防止边墙向内侧挤压,针对圆弧范围采用 $\varphi 42$ 花管、 $L=4.5\text{ m}$ 或 $L=6\text{ m}$ 进行固结灌浆,对松散岩体进行稳固,防止松动岩体扩大。在底板采用 I18 工字钢对撑,浇筑锁脚混凝土进行加固,危险洞段边墙摆放 $\Phi 120\text{ cm}$ 的逃生管道。处理完成后及时设监测点,加强检测频次,及时汇报分析以便于动态掌控,指导施工。经组织专家多次勘探和对监测结果进行分析得知,蠕变缓慢持续,但不易发生垮塌。衬砌混凝土施工阶段逐步处理因变形导致的欠挖,及时支护,衬砌混凝土跟进。该措施的优点是处理及时,确保安全;缺点是处理时间过长,无法彻底排除蠕变和对工人造成的心理压力。

2.2.6 松散薄层炭质板岩夹炭质页岩的开挖处理

3#施工支洞控制段上游薄层炭质板岩夹炭质页岩受揉皱影响产状局部变化较大,岩层面结合差,岩体内短小裂隙发育多,岩体破碎,岩体以薄层状结构为主,地下水以滴水~串珠状滴水为主。开挖难成型,小范围连续垮塌扩大,掉块手捏成泥状,因岩性含饱和水软化,超前卡钻不渗浆。

针对以上问题,经短时间进行开挖支护总结,决定采用上下台阶、左右半幅、预留核心土超前 $\varphi 42$ 小导管支护^[7]开挖。上下台阶错开 5 m ,上台阶高度为 2 m ,以便于人工操作。先施工上台阶半幅,人工用电镐沿设计轮廓线槽槽宽 20 cm ,将 I16 工字钢嵌入安装,间距 $50\sim 80\text{ cm}$,施工锚杆固定,工字钢劲板开 $\varphi 45$ 孔径、间距 30 cm 。采用 $\varphi 42$ 、长 4.3 m 超前小导管,管壁开钻花孔以便于注浆,孔间距 35 cm 、梅花形布置,孔径 5 mm ,小导管端头加工成尖。导管套在 4.5 m 钻杆通过工字钢穿孔,气腿钻施工、人工辅助入岩,克服卡钻,导管入岩外露 50 cm ,内插 $\Phi 28, L=4\text{ m}$ 的锚杆,导管封孔,有压注浆,使内部钢筋、导管和周

围岩石形成厚 30 cm 的固结柱,小导管之间采用固结连接以形成封闭圈待凝 8 h 。人工开挖内侧核心土,循环进尺控制在 1 m ,工字钢之间用 $\Phi 22$ 钢筋、 50 cm 加密连接,及时挂 $\varphi 6.5@20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$,喷 C20 混凝土左右半幅交替施工,上部台阶施工完成后进行下部台阶的施工,下部台阶施工参考上部台阶的施工工艺,挖机配合人工开挖,后续安装临时安全监测点观测变形。该措施的优点是预防了垮塌,保证了施工质量与安全,对主洞开挖支护进行了总结并积累了经验,同时培养了一批高素质的一线施工人员;缺点是施工降效,成本较高。

3 结语

固增水电站充分发挥了 EPC 总承包模式的特点,针对复杂多变的地质特点,不断进行技术探索优化,广泛收集相关资料,及时进行技术总结,对引水隧洞涌水、大型连续塌方、突发泥石流、不明气体二次爆炸、连续蠕变张裂等做到技术先行,确保了施工安全可靠、质量有保证,从成本和效益方面控制了固增水电站履约。

参考文献:

- [1] 郭毅,胡畔,刘骅彪.超前地质预报在夹岩水利枢纽工程长石板隧洞开挖中的应用[J].水利水电快报,2020,41(9):13-16.
- [2] 隆东,李杰,向军文.物探与水平定向钻进在工程勘察取心中的结合应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):42-44.
- [3] 冯兴龙.隧道陡坡斜井抽排水施工技术[J].山西建筑,2018,44(28):153-155.
- [4] 杨志刚,肖伯强,杨钊,陈培帅,田洪铭.破碎岩体隧道塌方预测及台阶工法调整技术研究[J].人民长江,2017,48(11):72-76.
- [5] 郭鹏,黄娟.预留核心土法在隧洞进口浅埋软土段中的应用[J].四川水力发电,2017,36(3):84-86.
- [6] 刘雪霞,陈雪艳,魏珂,陈浩东.超前管棚支护在输水隧洞复杂地层中的应用[J].人民黄河,2019,41(8):134-137+143.
- [7] 张正雨,罗伟庭,李敢,邱琼,王以杰,刘莉.超前小导管支护下三台阶法在原位扩建隧道工程中的应用[J].施工技术,2019,48(17):81-84.

作者简介:

王军红(1985-),男,甘肃渭源人,项目质量管理部主任,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与质量管理工作。

(责任编辑:李燕辉)