

长大隧洞断层破碎带及蚀变岩层开挖支护技术的研究与应用

罗 勇

(中国安能集团第三工程局有限公司, 四川 成都 611130)

摘 要:在硬梁包水电站引水隧洞掌子面掘进过程中,遇到了大小不等的断层破碎带及蚀变岩层,其稳定性差,若在施工中控制不当极易发生急剧变形、坍塌、涌水突泥等各种工程地质问题,安全风险极高,给工程的施工进度造成了极大影响。对硬梁包水电站引水隧洞掘进过程中穿过此类地层采取的减少对围岩的扰动、先行超前支护以增强围岩的整体性、开挖后及时采用钢支撑锚喷封闭、同时做好控制地下水等一系列措施进行了阐述,旨在为类似长大隧洞掘进过程中断层破碎带及蚀变岩层开挖支护施工提供参考。

关键词:硬梁包水电站;长大隧洞;断层破碎带;蚀变岩层;开挖;支护技术

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)增 2-0078-04

Research and Application of Excavation Support Technology for Long and Large Tunnels in Fault Fracture Zones and Altered Rock Formations

LUO Yong

(China Anneng Group Third Engineering Bureau Co. Ltd., Chengdu Sichuan 611130)

Abstract: During the excavation of the diversion tunnel of the Yingliangbao Hydropower Project, it encountered a fault fracture zones and altered rock formations of different sizes, where the stability was poor. If they were not properly controlled during construction, there would be various engineering geological problems such as rapid deformation, collapse, water gushing and mud bursting, which had a great impact on the construction progress of the project. In this article, a series of measures are described during the excavation process of that strata of the diversion tunnel of the Yingliangbao Hydropower Project, such as reducing the disturbance of the fence, first advance support to increase the integrity of the surrounding rocks, using steel support anchor spraying in time after excavation, and controlling groundwater at the same time, in order to provide reference for the construction of fault fracture zones and altered rock formations in the excavation of similar long and large tunnels.

Key words: Yingliangbao Hydropower Project; Long and large tunnels; Fault fracture zones; Altered rock formations; Excavation; Support technology

1 概 述

硬梁包水电站两条引水隧洞平行布置,间距为 60 m,长度分别为 14.32 km 和 14.42 km,其过流断面为内径 13.1 m 的圆形。硬梁包水电站场内地质构造复杂,受多期构造运动影响引水隧洞沿线的花岗岩、辉绿岩等岩体断裂构造及蚀变岩带发育,对隧洞围岩的稳定造成了不利的影响。隧洞全线Ⅳ类、Ⅴ类围岩居多,占比高达 75%以上,洞室岩体呈不稳定~极不稳定,且其丰富的地下水对断层破碎带及蚀变岩体又具有一定的软化

作用,易沿断层带及断层影响带发生塌顶或垮塌。已开挖揭示的引水隧洞洞段反映两条引水隧洞均存在不同程度的岩体蚀变现象,部分洞段还产生了较大的变形、塌方,开挖施工难度大^[1]。

项目部针对上述实际情况,通过采取隧洞物探超前综合预报预测、减少围岩扰动、先行超前支护、开挖后采用钢支撑锚喷封闭、增加 NPR 支护材料等技术措施,确保了硬梁包水电站引水隧洞断层破碎带及蚀变岩层洞段开挖支护的施工安全及顺利贯通。

2 针对断层破碎带及蚀变岩层采取的开挖措施

2.1 施工现场的工作流程

收稿日期:2024-01-10

(1)在长大隧洞掘进过程中,若掌子面遇到断层破碎带、蚀变岩层后,现场作业人员必须在第一时间通知工程技术人员;若掌子面出现掉块、溜渣等紧急情况时,为了避免引起大范围坍塌,必须迅速对开挖掌子面采取喷混凝土封闭措施,其封闭厚度为 5~10 cm,以限制或减少岩体卸荷松弛,并按照设计参数进行系统支护。

(2)监理工程师应及时组织参建四方在现场确定对不良地质体采取的加强支护方案,例如:增加钢支撑支护、超前支护小导管、超前支护锚杆、小吨位锚索、NPR 锚索等措施。

(3)现场工程技术人员按照参建四方在施工现场确定的加强支护方案上报技术核定单进行四方会签,同时对现场施工人员进行安全技术交底,要求其迅速按照确定的技术方案进行加强支护,在加强支护及系统支护未完成前严禁进行下一循环的施工开挖。

(4)长大隧洞穿越断层破碎带及蚀变岩层现场施工时必须严格按照“管超前、严注浆、短开挖、弱爆破、强支护、快封闭、勤测量、速反馈”的施工原则对拱部 120°范围内实施超前支护预注浆固结围岩保护下进行隧洞掌子面的开挖。

2.2 主要技术措施

硬梁包水电站引水隧洞针对穿越断层破碎带及蚀变岩层洞段上半洞开挖时,主要采用三台阶施工法,其具体的施工措施为:

(1)对于断层破碎带及蚀变岩层洞段,要求所采用的开挖循环进尺不大于 1.5 m。

(2)根据开挖揭露的断层破碎带及蚀变岩层洞段的围岩实际情况,在下循环掘进前视需要采用超前小导管灌浆或超前锚杆进行超前加固。超前小导管选用 Φ42 钢管,钢管长度为 4.5~6.0 m,环向间距为 20~35 cm,外倾角为 10°~15°。小导管加工时开梅花孔,灌水泥净浆;超前锚杆采用 Φ25 钢筋,长度为 4.5 m,环向间距为 20~35 cm,与超前小导管相间布置,外插角为 5°~10°,超前锚杆末端与 I20a 型钢支撑采用焊接连接。

(3)根据开挖揭露的断层破碎带及蚀变岩层洞段围岩的稳定情况,视需要及时采用素喷混凝土封闭边顶拱岩面,必要时封闭开挖掌子面以限制或减少岩体卸荷松弛,并及时采用钢支撑进行加强支护、跟进系统支护。钢支撑采用 I20a 型

钢,间距为 75~100 cm;在开挖面初喷 4 cm 厚混凝土后架设钢支撑,其外侧保护层厚度不小于 3 cm;锁脚锚杆采用 Φ25 钢筋,长度为 4.5 m,入岩 4.1 m,采用锚固剂进行锚固,顶部弯折 20 cm 与 I20a 型钢翼缘采用双面焊接牢固。I20a 型钢的纵向采用 Φ22 钢筋进行连接。对于蚀变岩层全断面高岭土洞段,可在两榀钢支撑腹部增加多根 I20a 工字钢进行纵向加强连接以形成整体,进一步确保围岩稳定。

(4)超前锚杆、锁脚锚杆及系统锚杆施工时如遇松散破碎带、锚杆孔不能成孔时,可以采用同规格的中空自进式锚杆替代或采用锁脚锚杆工艺提前钻进 Φ42 钢管后再插入锚杆。

(5)系统锚喷支护施工完成后及时进行隧洞围岩收敛变形监测,根据围岩收敛监测结果及变形规律进一步调整系统支护参数。围岩收敛监测点不得固定在型钢支撑拱架上,其在施工现场应单独进行造孔安装,量测点采用 Φ16 膨胀螺栓将其固定在孔内,锚固长度约为 5~10 cm,孔外预留长度为 10 cm,在螺栓上焊接 3 cm×3 cm 的薄铝板,并挂设标识进行保护,标识牌的长×宽可为 30 cm×20 cm,标题为红底白字,内容为白底红字。

(6)对于断层破碎带及蚀变岩层洞段应设置应急逃生管道,该逃生管道可选用超高分子新型隧道逃生管。应急逃生管道在跨越断层破碎带及蚀变岩层洞段时应通长布置并向两端延伸,其长度不小于 10 m。在逃生管道口配备应急工具箱,应急工具箱内应配备紧急呼救设备(如手机或对讲机)、手电筒、防护手套、铁锤、钳子、线锯、撬棍等应急工具,以利于险后逃生。

2.3 三台阶法施工工艺

硬梁包水电站引水隧洞在穿越断层破碎带及蚀变岩层洞段上半洞开挖时主要采用三台阶开挖法。三台阶开挖法要求及时施作各台阶系统挂网、型钢支撑及喷混凝土,在下台阶完成后要求及时完成上半洞系统锚杆支护的施工。同时,在开挖掘进过程中,应根据揭露的断层破碎带及蚀变岩层的实际情况在各台阶适时增设临时仰拱。以硬梁包水电站引水隧洞 V 类围岩开挖断面为例,其上半洞三台阶分层高度见图 1、图 2。

(1)施工工艺流程。三台阶开挖法的主要工艺流程为:现场施工准备→超前地质预报、测量→

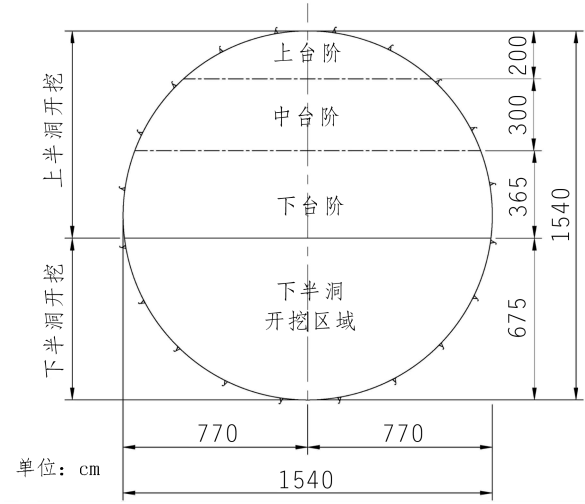


图 1 三台阶开挖法横断面示意图

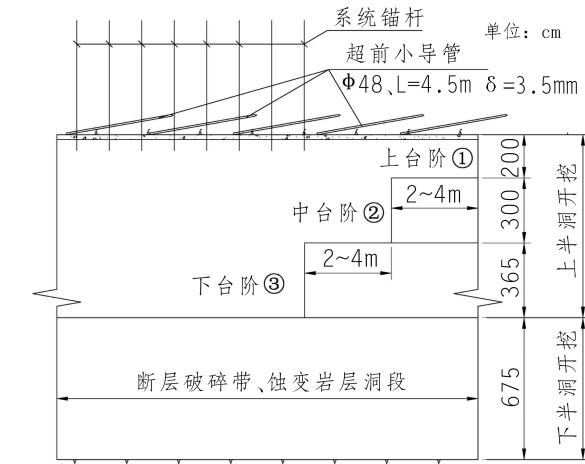


图 2 三台阶开挖法纵断面示意图

上台阶开挖及钢筋挂网、型钢支撑及喷混凝土施工→中台阶开挖及钢筋挂网、型钢支撑及喷混凝土施工→下台阶开挖及钢筋挂网、型钢支撑及喷混凝土施工→上半洞系统锚杆施工→围岩变形监控量测→下一循环开挖与支护。

(2) 超前地质预报。鉴于长大隧洞地质条件复杂,施工中极有可能会遇到断层破碎带及蚀变岩层洞段,还存在坍塌、涌(突)水等不良地质情况。为了有效降低施工阶段因不良地质情况引发的风险,在隧洞开挖前应进行超前地质预报工作,以预测、预报隧洞地质条件的变化、断层或不稳定岩层、涌水对隧洞掌子面开挖的影响。通过分析隧洞的实际地质构造情况,采用“TST、TRT、TSP 隧洞超前预报+CFC 隧洞超前探水(地震波+电磁波)+超前地质探孔”相结合的方式开展隧洞物探超前综合预报预测,并根据预报预测结果用

以指导长大隧洞掌子面施工并防止掌子面前方地质灾害的发生,提高长大隧洞的施工安全水平^[2]。

(3) 三台阶开挖法。采用三台阶开挖法施工可以在便于现场施工的前提下尽量缩短每一循环中各台阶的长度,确保初期支护尽快闭合成环。要求上台阶每循环的开挖进尺不大于 1.0 m、中台阶每一循环的开挖进尺不大于 2.0 m、下台阶每一循环的开挖进尺不大于 2.5 m。各台阶的开挖要求在每一循环支护完成后方可进行下一循环的开挖施工^[3]。

3 针对断层破碎带及蚀变岩层采取的主要支护措施

针对硬梁包水电站引水隧洞穿越断层破碎带及蚀变岩层采取的支护措施主要包括超前小导管、钢支撑、真空锚杆、喷混凝土(包括喷普通 C25 混凝土、钢纤维混凝土及玄武岩混凝土)、Φ6 钢筋系统挂网、系统支护砂浆锚杆、小吨位锚索、NPR 锚索等,依据引水隧洞中Ⅲ类、Ⅳ类及Ⅴ类围岩洞段的不同分别进行设置。笔者详细介绍了硬梁包水电站引水隧洞针对断层破碎带及蚀变岩层采用的新型 NPR 支护材料。

NPR (Negative Poisson's Ratio) 锚杆/索亦称为恒阻大变形锚杆/索,是具有理想弹塑性的新型 NPR 支护材料,其兼顾了高应力和大变形,是隧洞工程“高应力-大变形-经济性”的需求的理想支护材料,具有高恒阻、高预应力、大变形和吸收能量的特性。新型 NPR 支护材料还具有多次冲击而不断、防爆抗冲等特性^[4]。NPR 锚索结构见图 3。

硬梁包水电站引水隧洞在蚀变岩层全断面高岭土洞段边顶拱 180°范围内增设了 NPR 锚索,其具体的支护方案、施工步骤及工艺为:

(1) 支护方案

①采用 HZS35-300-0.5 型 NPR 锚索。该锚索钢绞线的直径为 21.8 mm,单根锚索长度为 9 m,在引水隧洞横断面左、右两侧边顶拱 120°和 180°位置处各布置了一根,纵向间距为 1.5 m,单根 NPR 锚索施加的预应力要求不小于 150 kN。

②NPR 锚索锁体钻孔直径为 32 mm,锚索孔口恒阻器扩孔直径为 90 mm,扩孔深度为 500 mm。对锚索钢绞线端头采用树脂药卷进行端头

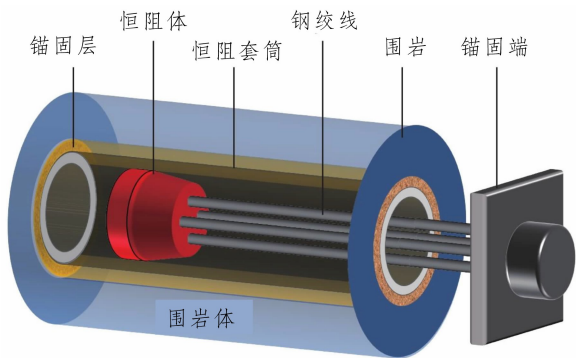


图 3 NPR 锚索结构示意图

锚固,锚固后施加的预应力要求不小于 150 kN。

③NPR 锚索张紧施加预应力前,在孔口设置底托盘,该托盘采用厚度不小于 16 mm 的钢板加工而成,钢板的长、宽尺寸均为 30 cm,钢板中心开孔径为 105 mm 的孔以利于锚索钢绞线的穿出。

(2)NPR 锚索的施工步骤

NPR 锚索的施工是一项系统工程,硬梁包水电站引水隧洞中单根 NPR 锚索的具体施工步骤为:测量出 NPR 锚索位置→造孔、清孔→恒阻器孔口位置进行扩孔(扩孔直径为 90 mm、深度为 500 mm)→孔内充填锚固剂并搅拌→插入锚索并安装恒阻器→放置锚垫板、安装锁具→NPR 锚索张拉、锚固及测量预紧力→单根锚索施工完成后转入下一根 NPR 锚索施工。

(3)施工设备的配置

NPR 锚索施工作业需要配置的设备包括:NPR 锚索钻机、空压机、风动凿岩机、锚索搅拌机、锚索张拉机等。各设备配置的数量应根据 NPR 锚索工程量进行相应配置,以满足施工进度与工期要求。

4 断层破碎带及蚀变岩层的施工保证措施

(1)在长大隧洞穿越断层破碎带及蚀变岩层洞段的施工过程中,项目部技术人员利用现代科技手段,如遥感技术、地质雷达等对引水隧洞的地质情况进行了超前预报、预测及更为详细的探测分析,提供了科学依据和技术支持,并据此提前采取了相应的预防措施。

(2)根据地质情况并结合长大隧洞的实际情况及施工要求,制定出科学合理的施工方案,包括系统支护方案的设计、隧洞地质条件分析、预处理

措施等,该方案应具体、明确,选用合适的支护结构和材料,能够及时应对各种不利地质情况的发生,确保施工洞段的稳定和安全。

(3)针对施工过程中遇到的断层破碎带及蚀变岩层等不利地质条件的洞段采取了预处理措施,如注浆、加固等,以提升地质环境的稳定和可施工性。

(4)施工过程中,应加强对围岩收敛变形和支护体系的监控量测,并将监控量测结果及时反馈。当发现围岩和支护体系的变形速率异常时应立即采取有效措施进行处理;情况危急时,应将全部人员撤离危险区^[5]。

(5)断层破碎带及蚀变岩层等不良地质条件洞段施工完成后,一定要加强对该类洞段的巡视和维护,及时发现和处理地质灾害隐患,确保该洞段的安全。

(6)断层破碎带及蚀变岩层等不良地质条件洞段的施工有可能会遇到各种因素的干扰,因此,施工企业一定要加强对一线工人的安全培训,使他们掌握有效的应急避险技术和措施,以避免突发事件的发生。

5 结 语

硬梁包水电站引水隧洞 C II 标段的施工隧洞长度为 7 890 m,于 2020 年 4 月开工,2021 年 12 月 11 日实现上半洞全线贯通,历时 620 d,较原计划工期目标提前 19 d。从施工总体情况看,对于断层破碎带及蚀变岩层的隧洞工程建设,若要确保长大隧洞的安全顺利贯通,必须以合理的支护手段为根本。既使系统锚喷支护在满足围岩稳定计算强度的要求下,也要保证其在现场施工时具备可操作性,否则隧洞工程的施工安全、质量及工期仍然难以得到保障。另外,施工现场在制定和落实切实可行技术方案的同时,也要对施工中可能出现的突发性事件做好充分的准备:一方面,一定要对施工中因断层破碎带、蚀变岩层等不良地质洞段可能出现的情况有超前考虑,并制定出合理的防范技术措施及应急预案,尽可能地将不良地质情况的影响消除在萌芽状态;另一方面,一旦出现意外情况,一定要以快速的反应、灵活的方式和可靠的手段加以处理,将事故导致的不良影响最小化。

(下转第 112 页)

梁的另一端,同样将 T 梁的另一端放到另一台运梁小车上,使用一台卷扬机慢慢拉动运梁小车、直至人字扒杆 A 下方。

(3)使用卷扬机 A 吊起 T 梁的前端、用卷扬机 B 同样挂在 T 梁的前端孔内。起动卷扬机 A 将 T 梁吊起、卸掉运梁小车,再将 T 梁放平。

(4)启动卷扬机 B,同时放松卷扬机 A,使 T 梁前移。

(5)当 T 梁达到 B 点时,从 T 梁后面设防溜拉索(卷扬机 D)。使用卷扬机 B 和卷扬机 D 将 T 梁固定并将卷扬机 A 从 T 梁前端移至后端。

(6)用卷扬机 A、B 起吊,将 T 梁安装就位。

(7)第一片梁安装完成后,采用齿条式千斤顶横向移动人字扒杆到第二片梁的位置。

(8)第二跨梁吊装完成后,将扒杆 A 纵向移到原扒杆 B 的位置,此时扒杆 B 相应纵移到后面的桥墩上。架设第三孔 T 梁时,在第二孔 T 梁上安设厚木板作为临时移梁的过道。

7 结 语

乐安水电站受地形条件限制且因其同时横跨雅砻江及 S217 省道,导致现场作业空间受限,施

工安全风险较高。项目部经研究后根据现场实际条件采用两台吊车和扒杆配合、顺利完成了 T 梁吊装。现场实践证明:该架梁方法有效地克服了跨河、跨路、回转半径不足、施工作业空间受限等不利条件,无需龙门吊、架桥机等重型设备即可完成预制梁板的安装工作,所取得的经验可为类似施工条件下的架梁施工参考。

参考文献:

[1] 卢红军. 钢扒杆“双钓鱼”架梁施工技术[J]. 价值工程, 2015,34(23):81-83.

[2] 李晓龙. 炮车喂梁组合双吊机架梁施工技术在上跨桥工程中的应用[J]. 上海铁道科技, 2017,11(1):100-102.

[3] 谭继承. 薛公岭隧道大桥人字扒杆双钓鱼法架梁施工[J]. 山西建筑, 2004,30(4):109-110.

[4] 王海中. 复杂条件下大吨位汽车吊架梁施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2020,13(增刊 1):26-29.

[5] 代路云. 40 m 预制 T 梁吊车架施工在江通高速的应用[J]. 云南水力发电, 2022,38(4):139-143

作者简介:

强 蕾(1989-),女,陕西西安人,助理工程师,学士,从事电力行业经营管理工作;

冯 凯(1980-),男,北京房山人,工程师,学士,从事电力行业经营管理工作. (编辑:李燕辉)

(上接第 81 页)

参考文献:

[1] 周国平. 隧洞蚀变岩层洞段开挖支护施工技术研究与实践——以硬梁包水电站引水隧洞为例[J]. 四川水力发电, 2021,40(3):10-14,35.

[2] 严厚治,周正清. 大断面引水隧洞塌方处理技术与实践——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.

[3] 项正军. 引水隧洞不良地质三维地震反射波法超前预报技术应用[J]. 四川水利, 2021,42(增刊 2):15-19.

(上接第 95 页)

实用、安全可靠,不断推动检测方法的进步。

参考文献:

[1] 岩土锚杆(索)技术规程:CECS 22:2005[S].

[2] 基坑土钉支护技术规程:CECS 96:97[S].

[3] 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范:GB 50086-2015[S].

[4] 建筑地基基础设计规范:GB 50007-2011[S].

[5] 建筑基坑支护技术规程:JGJ 120-2012[S].

[4] 胡杰,何满潮,李兆华,等. 基于三维离散-连续耦合方法的 NPR 锚索-围岩相互作用机理研究[J]. 工程力学, 2020,37(7):27-34.

[5] 蒋波. 浅论复杂地质条件下特大断面水工隧洞开挖施工技术的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2018,6(5):127-128.

作者简介:

罗 勇(1986-),男,湖北赤壁人,项目常务副经理兼总工程师,工程师,从事水电工程施工技术与管理工. (编辑:李燕辉)

[6] 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程:JTG F80-1-2017[S].

[7] 建筑地基基础工程施工质量验收标准:GB 50202-2018[S].

[8] 建筑边坡工程技术规范:GB 50330-2013[S].

[9] 公路隧道施工技术规范:JTG F3660-2020[S].

作者简介:

石伟伟(1982-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事工程质量检测工作. (编辑:李燕辉)