

长隧洞、大断面不良地质洞段施工措施研究

赵文剑, 唐洪应, 万柯

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要:引水隧洞是水电工程的重要组成部分,大多布置在深山峡谷,属于典型的地下工程,且其具有埋深大、洞线长、断面大、地质条件复杂等特点,施工过程中会面对诸多不确定因素。为了随时应对突发问题,需要对不良地质洞段的具体情况进行分析、制定出相应的解决措施,当不良地质洞段出现问题后能够高效、快速地进行处理以确保施工人员和设备的安全。阐述了对长隧洞、大断面不良地质洞段施工措施进行的研究。

关键词:绰斯甲水电站;不良地质洞段;钢拱架;小导管;施工措施

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2023)04-0019-04

Research on Construction Measures for the Unfavorable Geological Cave Section of Long Tunnel with Large Section

ZHAO Wenjian, TANG Hongying, WAN Ke

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: The headrace tunnel, mostly arranged in deep mountain canyons, is an important component of hydropower projects, and it is a typical underground engineering. It has the characteristics of large burial depth, long tunnel line, large section, and complex geological conditions. During the construction process, many uncertain factors will be faced. In order to deal with the unexpected problems at any time, it is necessary to analyze the conditions of the unfavorable geological cave section and to formulate corresponding measures. When problems occur in the unfavorable geological section, they can be efficiently and quickly handled to ensure the safety of construction personnel and equipment. This paper introduces the research on construction measures for the unfavorable geological cave section of long tunnel with large section.

Key words: Chuosijia Hydropower Station; Unfavorable geological cave section; Steel arch; Small conduit; Construction measures

1 概述

绰斯甲水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州境内,为闸坝引水式电站。引水建筑物由取水口、引水隧洞、调压室和压力管道等建筑物组成。引水隧洞的总长度为 21.185 km,其中由水电十局中标施工的标段长度为 12.30 km(隧 3+000~隧 15+300),施工布置有 2 号、4 号、5 号、6 号四条施工支洞,其中以 2 号施工支洞下游主洞的开挖进尺最长,单向进尺长度为 2 478.5 m。引水隧洞低压段(隧 10+588 上游)Ⅲ类围岩的开挖采用平底马蹄型断面,其马蹄型开挖断面底宽 7.00 m,高 10.45 m,边顶拱采用挂网锚喷支护,底板采用素混凝土衬砌;高压段(隧 10+588 下游)Ⅲ类围岩和全隧洞的Ⅳ类、Ⅴ类围岩的开挖直径为 9.94~10.80 m,采用钢筋混凝土衬砌。

该引水线路处于崇山峻岭,山坡植被茂盛,河谷深切且多呈“V”型。引水线路区的支沟较发育且个别切割较深,左岸从上至下规模较大的支沟分别有:斯泡楼沟(隧 3+219~隧 3+546)、斯跃武下沟(隧 9+530~隧 10+023)、日公塔沟(隧 12+339~隧 12+839)等,沟底常年流水。该工程除隧洞(隧 10+023~隧 12+839)围岩为三叠系上统侏倭组(T3zh)薄层状变质砂岩与板岩、千枚岩不等厚韵律互层外,其他隧洞所处的围岩均为三叠系上统杂谷脑组上段(T3z2)的灰色、中厚~厚层细粒变质砂岩夹板岩。其围岩主要以Ⅲ2类和Ⅳ类围岩为主,其中Ⅲ2类围岩占隧洞总长度的 49.87%、Ⅳ类围岩占隧洞总长度的 9.2%。

在引水隧洞开挖过程中,受人为因素影响,围岩中局部受裂隙切割而形成不稳定或潜在不稳定块体;受地下渗水沿岩体裂隙及软弱面流动导致

收稿日期:2023-03-30

破坏岩体组织、造成岩体失稳及局部不稳定情况出现;受地质构造的影响,部分洞段可能会出现断层破碎带、松散及软弱等稳定性差的围岩、过沟段以及不利结构面组合的洞段,存在发生各类塌方的可能性。

综上所述,该工程具有单向进尺长、开挖断面大、地质条件较差等特点。为了保证隧洞的正常施工,“不良地质条件下的安全施工措施是本工程地下工程施工的重点及难点所在”^[1]。阐述了针对不良地质洞段施工措施进行的分析与研究。

2 不良地质洞段处理措施

根据对隧洞地质条件及洞内施工情况进行分析,制定出针对洞内施工过程中可能出现的不良地质类型及采取的处理措施为:

(1)局部不稳定块体:随机锚杆或随机锚杆+喷混凝土。

(2)局部破碎带或局部软弱夹层:随机锚杆+局部加强钢筋网+喷混凝土。

(3)局部含水破碎带或软弱夹层:超前锚杆或超前注浆小导管+喷混凝土+架设钢拱架+钢筋网+随机锚杆+排水孔。

(4)较大范围内存在稳定性极差的破碎带或软弱夹层:超前大管棚+素喷混凝土(厚度为3~5 cm)+架设钢拱架+系统锚杆+钢筋网+喷射混凝土至设计开挖线。

(5)塌方:①塌落物未将洞室堵塞:塌渣清理(先支护顶部,再清除石渣)+素喷混凝土(厚度为3~5 cm)+架设钢拱架+钢筋网+随机锚杆+塌腔回填混凝土+回填灌浆。②塌落物将洞室堵塞:对塌渣进行固结灌浆或超前支护(超前管棚)+塌渣清理+素喷混凝土(厚度为3~5 cm)+架设钢拱架+钢筋网+随机锚杆+喷射混凝土+回填灌浆。

(6)涌水处理:对于地下水渗水量较小的洞段,在顶拱范围渗水部位施打一定数量的超前钻孔作为泄水减压孔,根据其流量大小估算可能发生的涌水量,再选择合适的排水设备并备有一定的富余量。对于流量较大的涌水洞段,必须判明地下水流方向,可以采用“排、堵、截、引”综合治理的方法进行处理。

3 施工参数及方法

3.1 锚杆

采用 $\Phi 25$ mm或 $\Phi 28$ mm、长度为4.5~6 m的随机锚杆。为确保施工人员安全,锚杆全部采用DW551凿岩台车钻孔,孔轴方向应与可能滑动面的方向相反,并与可能滑动面的倾向成约45°的交角。锚杆的注浆采用GSZ130注浆机。在采用先注浆、后插杆的先后顺序进行锚杆施工时,先将注浆管插到孔底,然后退出5~10 cm后开始注浆,注浆管随砂浆的不断注入慢慢拔出,然后将锚杆匀速缓慢送入孔中。锚杆安装后其孔内的砂浆应饱满。

3.2 挂钢筋网

局部加强钢筋网片的规格为 $\Phi 8$ mm@15 cm $\times$ 15 cm。钢筋的加工制作在加工场内完成并使用8 t平板汽车运抵现场,由施工人员现场绑扎安装。

绑扎时根据实际布置的位置测放出中线等控制点,根据控制点利用随机锚杆或预埋锚筋布设好钢筋网骨架,经对钢筋网骨架的设置核对无误后铺设分布钢筋。钢筋采用人工绑扎,绑扎时使用扎丝梅花型间隔绑扎,钢筋网片搭接的长度为15 cm,与随机锚杆焊接连接。

3.3 钢拱架

当已开挖段边顶拱出现塌方且塌方规模较小时,首先对未塌方洞段的两侧洞身进行加固,以防止塌方范围进一步扩大,再挂网喷射混凝土或随机锚杆、挂网与喷射混凝土联合支护封闭塌穴的顶部和侧部,然后进行清渣。在确保施工人员和设备安全的前提下,视具体情况在塌方洞段架设钢拱架等临时支护。

当掌子面后方未开挖段的围岩松散、软弱、破碎、渗水量较大时,需要立即确定掌子面后方未开挖段的围岩类别,以便按照围岩类别对应的断面一次开挖成型。对于需要安装钢拱架的部位,开挖时应一次性扩挖到位(扩挖25 cm),并确保所安装的钢拱架不侵占设计开挖断面,避免因围岩类别变化二次扩挖时引起大量塌方。对于松散、软弱破碎的洞室岩体开挖采取一掘一支护、稳步前进的方式。

钢拱架安装部位开挖后,立即素喷一层5 cm厚C25混凝土封闭岩面。钢拱架(20号工字钢)为自制,按开挖断面的大小在加工场分节加工制

作成型、洞内连接,钢拱架的榫距为60~120 cm;安装允许的偏差为:横向和垂直方向均为5 cm。其必须紧贴岩面,每段钢拱架端头焊接8 mm厚的钢板(30 cm×30 cm),其连接采用高强度螺栓,相邻钢拱架采用 $\Phi 25$ mm钢筋连接,环向间距为50 cm,纵向搭接长度为30 cm。锁脚锚杆采用 $\Phi 25$ mm, $L=4.5\sim 6$ m的锚杆,在钢拱架左右两侧各设置2排、每排2根、每榫共设置8根,第一排与第二排之间的距离为1.5 m左右,将锁脚锚杆制作成L型,其短边长0.2 m、长边长4.3~5.8 m。锁脚锚杆孔位开孔前用红油漆进行标点放样,将孔轴方向垂直于开挖面。L型锁脚锚杆的长边安装孔内应填满砂浆,其短边与钢拱架满焊牢固。钢拱架安装完成后,对其边顶拱增加铺设了一层钢筋网片,规格为 $\Phi 8$ mm@15 cm×15 cm,钢筋网应紧贴喷护基面且与锚杆外露端头焊接连接。最后喷射20 cm厚C25混凝土至设计开挖线。

钢拱架的安装不应侵占设计结构的断面尺寸。钢拱架安装后,应对破碎软弱地段的钢拱架顶拱进行监测,遇到危险情况时应及时增强钢拱架或采取其它加强措施予以处理。对于地质条件较差段,在其分层开挖过程中需要进行钢拱架加固支撑时,应分别根据分层高度制作钢拱架,待其下层开挖后及时将钢拱架及锚喷支护向下延伸至底板。

3.4 喷射混凝土

喷射混凝土的强度等级为C25,初喷厚度为3~5 cm,喷射混凝土采用湿喷法施工工艺并添加液体速凝剂以减少回弹。喷射顺序应先拱后墙、分段分块进行。当喷射混凝土厚度较大时应分层进行喷射,边墙混凝土的厚度不宜超过8 cm,顶拱不宜超过6 cm。分层喷射时,相邻两层的间隔时间不亦太短,一般情况下应在初喷混凝土终凝后再进行复喷。喷混凝土采用PX-3016湿喷台车施喷,喷混凝土料由9 m³混凝土罐车从拌和站运料至各个工作面,湿喷机械手直接喷射。

3.5 超前锚杆及注浆小导管

在顶拱120°范围内布置超前锚杆,其环向间距为30 cm,外插角 $\alpha=6^\circ\sim 12^\circ$,采用 $\Phi 25$ mm或 $\Phi 28$ mm, $L=4.5\sim 6$ m的超前锚杆,排距2~4 m。

注浆小导管施工前,在距掌子面最近的位置

安装钢拱架,钢拱架的顶部按照40 cm的间距开导向孔,孔径为5 cm。注浆小导管直径为42 mm, $L=4.5\sim 6$ m,环向间距40 cm、排距2~4 m、注浆压力约为0.3 MPa。将注浆小导管前端做成尖锥状,尾部焊接两道 $\Phi 6$ mm加劲箍,间距10 cm,以防止安装小导管施打时造成其尾部开裂,尾部预留1 m不进行钻孔而作为止浆段,在该管口设置止浆阀,在管壁均匀布置四排、直径为10 mm的出浆孔,其孔间距为15 cm,交错布置。钻孔孔向为开挖轮廓线向上倾斜,外插角 $\alpha=6^\circ\sim 12^\circ$ 。

“小导管采用手持风钻施工,方便灵活,可加快施工进度”^[2]。采用自制台车作为施工平台,钻孔完成后立即由人工安装小导管。值得注意的是:地质条件不好的洞段难免会出现超挖,因此,应预先给出适当的上抬量,以防止钢管侵入开挖断面以内。

小导管内均采用水泥浆灌注。注浆前,在小导管中沿管壁安装一根直径为10 mm的塑料硬管至孔底,将小导管灌浆口处的塑料硬管管口与止浆塞排气孔相连接作为注浆时的排气孔,在该排气孔上设置止浆阀。将注浆管与止浆塞的进浆孔相连接,止浆塞与小导管紧固连接。注浆采用从孔口一次性注入的方式,注浆按环向分为两序,采用间隔注浆的方式。为防止串浆和跑浆现象的发生,注浆前首先对掌子面岩面进行喷射混凝土封闭。注浆结束后、浆液初凝前对小导管内的浆液进行清理,采用水泥砂浆将其填充饱满、密实,以增强小导管的刚度和强度。

3.6 管棚

“在穿插局部塌方区和断层、破碎带时采用超前大管棚施工技术”^[3]。将管棚设置在顶拱120°范围,管棚在加工场内加工。“管棚采用外径108 mm的钢管(壁厚6 mm)”^[4],将其加工成长度为3 m、6 m两种规格,丝扣长度为15 cm。前端加工成尖锥形,在钢管上钻注浆孔,排距为20 cm,每排布置4个孔,孔径为10 mm。钢管尾部预留1 m不进行钻孔而将其作为止浆段,按照9 m一段,环向间距30 cm,搭接长度为2 m,外插角2°布置。

在管棚起始位置设置2榫钢拱架,将管棚钢管的尾端布置于钢拱架顶部并焊接牢固。管棚施

工利用潜孔钻机及特制钻杆打孔,钻孔前,按照钻孔位置编号顺序钻孔。钻孔形成后,将管棚钢管送入孔内并做好孔口封闭,待全部大管棚施工结束及时对管棚进行注浆,注浆材料使用水泥浆液。为便于插管,钻孔直径应比管棚设计直径大2~3 cm。钻机开钻应采用低速、低压,待成孔3 m左右可根据围岩情况逐渐调整钻速及风压。

成孔困难时,采用M4履带式锚固钻机跟管钻进工艺施工。跟管钻机的套管采用DZ40高频淬火无缝钢管,每节的长度为1.5~2 m,随孔跟进。管棚施工完成后,采用破碎锤开挖,开挖进尺为50 cm,开挖完成后对掌子面素喷5 cm厚C25混凝土,再架设1榀钢拱架,钢拱架安装完成后方可进行下一循环施工。

3.7 排、堵水施工

(1)排水措施:当已开挖洞段出现大面积渗水或淋水情况时,应根据淋水量的大小在淋水部位采用凿岩台车施打一定数量的排水孔,该排水孔的孔深根据实际流水情况确定,其孔径为42 mm,再将直径40 mm的PVC管插入排水孔内。将PVC管与岩壁之间的缝隙用无纺布封紧,再用1:1的水泥砂浆(掺加速凝剂)堵在无纺布外部以迫使渗水沿PVC管排出。

(2)堵水措施:该工程对地下渗水“采用排、堵、截、引等综合治理措施进行处理”^[5]。对未开挖段已探明前方有突涌水时,采用超前注浆堵水的方式;而对已开挖段出现涌水、股状水、大面积渗水时,采用径向注浆堵水的方式予以治理。

为了防止串浆和跑浆现象的发生,径向钻孔注浆在初期支护完成后进行,并将注浆范围控制在开挖轮廓线以外4~6 m,注浆孔垂直于开挖岩面,其深度不小于4 m。注浆应分段、分片进行,注浆顺序宜从上往下进行,应从水少的区域向水多的区域进行,可多孔同时注浆,注浆终压宜为0.5 MPa。灌浆材料优先选择水泥灌浆堵水和水泥-水玻璃双液灌浆堵水。

当隧洞开挖前方发现水体时,对于地下水渗水量较小的洞段,在其顶拱范围的渗水部位施打一定数量的超前钻孔作为泄水减压孔,并根据其流量大小估算可能发生的涌水量,再选择合适的排水设备(备有一定的富余量)进行排水。可能出现涌水时,应采取开挖前超前堵水的方案,注浆堵

水的横向范围为隧洞开挖前方开挖半径2~3倍的全部区域,其钻孔深度、注浆压力、浆液浓度根据现场实际围岩情况确定。注浆材料优先选择效果较好的水泥-水玻璃双液灌浆堵水和化学灌浆堵水。

3.8 回填混凝土

若塌方部位较大、喷射混凝土无法将塌方空腔部位喷满时,则需采用回填混凝土的方式填满空腔部位。首先,在安装钢拱架的同时在顶拱预埋混凝土输送管,所预埋的输送管道宜采用无缝钢管材质且其管径与混凝土泵送管道匹配。管道埋设的位置应均匀分布于顶拱中心、左右侧拱角三处以保证混凝土铺料均匀。预埋排气管道兼作控制混凝土浇筑厚度的溢浆孔道,宜设置于顶拱中心位置,管道的长度应依据回填混凝土的总浇筑厚度计算确定。

对于塌方体部位,采用泵送C25混凝土回填,若塌方部位较大,则回填混凝土方量大,应采取短间歇、分层回填,先两侧边墙、后顶拱,直至回填至预定高度。回填过程中采用全站仪对钢拱架拱顶的下沉进行实时监测,以防止一次性回填混凝土工程量过大而导致钢拱架变形。

4 结 语

引水隧洞工程是一个线形地下隐蔽工程。因其所处环境的特殊性,通常将其布置于山体内部且其埋深较大,导致在工程地勘阶段无法准确判断山体内部的地质构造、岩体结构及地下水活动情况,且因山体内部的围岩千变万化而造成不良地质洞段在地下洞室的实际开挖过程中常见,导致其施工存在一定的风险。在绰斯甲水电站引水隧洞施工过程中,通过对不良地质洞段的岩体类型进行分析研究,制定出相对应的措施并予以实施,当施工中遇到不良地质洞段时,能够快速地对不良地质洞段进行支护封闭处理,同时使现场安全、质量、进度得到保证,效果较好,所取得的经验对类似地下工程施工具有推广借鉴作用。

参考文献:

- [1] 赵继焄. 中小断面引水隧洞不良地质洞段施工处理措施[J]. 农业科技与信息, 2021, 28(3): 125-126.
- [2] 陈勃文. 某水电站引水隧洞工程不良地质洞段施工方案探讨[J]. 中国水能及电气化, 2014, 10(6): 7-11.
- [3] 陈炎和. 锦屏二级水电站引水隧洞不良地质洞段施工[J]. 人民长江, 2008, 39(9): 35-36.

(下转第44页)

管穿入精轧螺杆,使用起重设备吊起抗剪牛腿,由人工配合穿入精轧螺杆中、安装进预埋的钢盒子,然后采用穿心式千斤顶张拉精轧螺杆^[5],并采用双高强螺栓进行锚固。抗剪牛腿的张拉工序十分重要,且整副托架的受力均在牛腿上,因此,必须张拉至牛腿牢固嵌入预埋钢盒子内为止。扇形托架的单个配件重量不足 1 t,对于高度 40 m 以下的墩柱采用起重吊车将其起吊至安装位置、插销插入安装即可;针对高度 40 m 以上的高墩大悬臂预应力盖梁施工,其垂直运输设备为塔吊,亦可采用塔吊直接进行托架的安装施工。两侧扇形托架安装完成后,采用槽钢将同一侧的两个托架斜撑有效连接在一起以加强单侧扇形托架的整体稳定性。在横梁上的相应位置安装卸落装置,在卸落装置上安放分配梁,最终形成施工平台。

虽然扇形托架的支架方案在任何高度的墩柱中均可适用,但扇形托架的安装和拆除过程较为复杂,其安装工序较多,对人工操作的依赖性较大,在高空进行支架的安装和拆除时其整体施工难度较大,安全风险系数高且施工耗时较长,一个墩柱托架的安、拆过程需要 2 d 左右,相比桁架式穿心棒法而言,虽然扇形托架适用的范围更广,但其施工效率与其相比略低一些。但针对高度 40 m 以上的高墩大悬臂预应力盖梁,该类支架能够很好地解决施工材料垂直运输限重的问题,并在该工程头屯河连接线特大桥中得到了充分应用。

4 结 语

乌鲁木齐绕城高速(西线)工程 PPP 项目头

(上接第 22 页)

[4] 靳俊杰. 某水电站引水隧洞不良地质洞段初期支护措施研究[J]. 现代商贸工业. 2017, 27(6): 197-198.

[5] 李瑞. 新疆某隧洞不良地质洞段支护及地质缺陷处理措施研究[J]. 东北水利水电. 2022, 40(5): 4-7.

作者简介:

赵文剑(1989-),男,甘肃天水人,工程师,一级建造师,从事水利

(上接第 34 页)

[2] 建筑边坡工程技术规范,GB 50330-2013[S].

[3] 孔思丽. 多项技术措施在某公路边坡塌方中的综合应用[J]. 建筑技术, 2009, 40(2): 180-182.

[4] 杨培武. 某基坑塌方事故的分析与抢险[J]. 福建建设科技, 2004, 18(2): 13-14.

屯河连接线特大桥中的大悬臂预应力盖梁在常规桥梁建设中十分罕见。由于大悬臂预应力盖梁施工的复杂性和风险性,盖梁的结构线形及外观质量均成为施工控制的首要指标,因此,对其支架方案的设计和选型十分重要。文中所述的桁架式穿心棒法和扇形托架法两种方案相比常规的支架方案而言,避免了对支架地基的处理,其支架材料用量少,进而降低了施工成本,同时施工现场可以根据墩柱高度的不同选择适合现场施工的支架方案。其整体施工平台安装速度快,支架周转效率高,进而加快了工程进度,缩短了工期,同时其施工安全可靠,减少了安全事故的发生。

经综合分析后得出上述大悬臂预应力盖梁施工方法不仅可以降低成本、加快施工进度,还能缩短工期,提高其安全性,具有较好的直接和间接经济效益和社会效益,所取得的经验可以在类似工程施工中大力推广。

参考文献:

[1] 钢结构设计标准,GB 50017-2017[S].

[2] 建筑结构荷载规范,GB 50009-2012[S].

[3] 公路桥涵施工技术规范,JTG/T 3650-2020[S].

[4] 钢结构高强度螺栓连接技术规程,JGJ 82-2011[S].

[5] 桥梁预应力张拉施工技术规程,DB 45T 1550-2017[S].

作者简介:

唐 鑫(1990-),男,四川安岳人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工
唐新华(1989-),男,甘肃定西人,工程师,学士,从事建设工程施
工技术及管理工
杨君磊(1989-),男,湖北枝江人,工程师,学士,从事水利水电工
程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

水电工程建设施工技术与管理工

唐洪应(1982-),男,湖北恩施人,高级工程师,一级建造师,学士,
从事水利水电工程建设施工技术与管理工
万 柯(1985-),男,四川成都人,工程师,学士,从事水利水电工
程建设施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

[5] 冯科明. 复杂环境条件下基坑边坡失稳与加固[C]. 第十届深基础工程发展论坛论文集. 2020: 44-47.

作者简介:

胡 欣(1984-),男,湖北孝昌人,分局副分局长,高级工程师,双
学士,从事工程建设施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)