

长大断面圆形引水隧洞下半洞开挖支护措施总结研究

——以硬梁包水电站引水隧洞为例

周 强¹ 李 凯¹, 温哲昊², 杨树仁²
(1. 中国安能集团第三工程局有限公司, 四川 成都 611130; 2. 四川华能泸定水电有限公司, 四川 泸定 626100)

摘 要:硬梁包水电站引水隧洞地质条件复杂,洞室开挖断面大,Ⅲ、Ⅳ类围均存在不同程度蚀变。在下半洞开挖过程,Ⅳ类围岩腰线 180°至 240°受围岩破碎及不利结构面切割组合影响均存在不同程度掉块及地质超挖现象,通过总结对比硬梁包水电引水隧洞 CⅡ 标下半洞开挖采取的不同支护措施所对应的开挖体型及地质超挖情况,研究该标段采取的支护措施对控制开挖体型及地质超挖的实际效果,为相同地质条件下类似工程的开挖提供可借鉴的支护参数,以期进一步优化控制开挖体型减少地质超挖,确保施工期洞室围岩安全稳定。

关键词:引水隧洞;下半洞;大断面;围岩蚀变;支护参数;塌方掉块;地质超挖

中图分类号:U455.41+2 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2023)01-0048-04

Research on the Excavation and Support Measures of the Lower Half of the Circular Headrace Tunnel with Large Section: Taking Headrace Tunnel of Yingliangbao Hydropower Project as an Example
ZHOU Qiang¹, LI Kai¹, WEN Zhehao², YANG Shuren²
(1. China Anneng Group Third Engineering Bureau Co., Ltd, Chengdu Sichuan, 611130;
2. Sichuan Huaneng Luding Hydropower Co., Ltd., Luding Sichuan 626100)

Abstract: The geological conditions of the headrace tunnel of Yingliangbao Hydropower Project are complex, the excavation section of the cavern is large, and there are different degrees of alteration in the surrounding rock mass of Class Ⅲ and Ⅳ. During the excavation process of the lower half, Class Ⅳ surrounding rock mass between the 180° and 240° waistline is affected by the fragmentation of surrounding rock mass and the cutting combination of unfavorable structural planes, and there are various degrees of block loss and geological over-excavation. This paper summarizes and compares the excavation shape and geological over-excavation corresponding to the different support measures in the excavation of the lower half in CⅡ bid package of headrace tunnel in Yingliangbao Hydropower Project, and the actual effect of the support measures on controlling the excavation shape and geological over-excavation is studied. In this way, reference of support parameters for excavation of similar projects under the same geological conditions can be provided, the excavation shape to reduce over-excavation can be optimized, and the stability of the underground surrounding rock mass can be ensured.

Key words: Headrace tunnel; Lower half of the tunnel; Large section; Alteration of surrounding rock mass; Support parameters; Block dropping; Geological over-excavation

0 引 言

长大断面圆形引水隧洞开挖过程中,通常按照上下半洞分层进行开挖,在上半洞开挖过程中受掌子面围岩情况不确定因素、无临空作业面以及需要及时跟进支护影响,一般情况下根据地质情况每循环进尺控制在 1~3 m。下半洞开挖支护过程中,受制约因素相对较小,为此施工进度相

较于上半洞开挖有较快的提升,但同时也面临着下半洞开挖后造成围岩应力重新分布,导致上半洞钢支撑变形,喷混凝土掉块脱落等现象。尤其是遇到断层蚀变等不良地质洞段时,在下半洞开挖过程中洞室难以成型,超挖量较大,导致上半洞钢支撑悬空等现象出现,严重影响洞室安全稳定。结合硬梁包水电站引水隧洞下半洞开挖支护过程中的掉块与地质超挖程度,研究该标段采取的加

收稿日期:2022-06-05

强支护措施对控制掉块及地质超挖的实际效果,为相同地质条件下的类似工程的开挖提供可借鉴的支护参数,以期减少下半洞开挖过程中的掉块及地质超挖,确保施工期洞室围岩安全稳定。

1 工程概况

硬梁包水电站位于四川省甘孜藏族自治州泸定县冷碛镇境内的大渡河干流上。工程规模为 2 等大(2)型,采用混凝土闸和面板堆石坝+左岸引水系统+地下厂房的枢纽总布置方案。引水系统采用引水式开发,闸址处流域面积 59 516 km²,多年平均流量为 897 m³/s,水库正常蓄水位 1 246 m,相应库容 2 075.4 万 m³,调节库容 826 万 m³,具有日调节性能。闸址处安装 1 台 3.6 万 kW 生态机组,下游地下厂房安装 4 台 27 万 kW 发电机组,总装机容量为 111.6 万 kW。

引水隧洞为两条平行布置的隧洞,在平面布置上共设置 5 个转弯点,转弯半径为 200 m 或 80 m,1 号、2 号引水隧洞两洞中心间距为 60.0 m,衬砌后内径 13.1 m,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 1.0 m^[1]。

2 基本情况

2.1 地质条件

根据引水隧洞已开挖揭示的地质条件,引水隧洞围岩主要为闪长岩、花岗岩等,属坚硬岩。局部伴随辉绿岩脉($\beta\mu U$)、花岗细晶岩脉($\gamma M2$)、闪长岩脉(δ)等各类脉岩穿插,尤以辉绿岩脉分布较多。Ⅳ类围岩呈块裂~碎裂结构,局部碎裂~碎块状结构,局部岩脉发育及断层破碎带为Ⅳ偏差或Ⅴ类围岩。

2.2 下半洞开挖具体情况

引水隧洞开挖共分三层进行,上台阶开挖高度为 8~8.32 m,中台阶开挖高度为 2.57~3.41 m,底台阶开挖高度为 3.53~3.79 m。其中上台阶与中台阶分界线为 180°,中台阶与底台阶分界线为 240°^[2]。

在下半洞 180°~240°中台阶开挖支护过程中受围岩不利结构面组合影响,开挖过程中易形成较大超挖洞室难以成型。部分洞段岩体松散、岩石强度较低,裂隙发育,围岩自稳性差,爆破开挖后持续掉块造成较大地质超挖,需要及时喷射混凝土封闭岩面方能确保围岩稳定,同时因地质超挖极易

对上半洞已施工钢支撑拱脚处形成悬空现象,严重影响下半洞开挖质量及洞室安全稳定。

3 下半洞开挖加强支护方案

3.1 加强支护措施

根据引水隧洞不良地质洞段下半洞开挖支护专题咨询会议要求,对引水隧洞Ⅳ类偏差段以及Ⅴ类围岩洞段在下半洞开挖前对腰线 180°及以上部位进行加强支护,具体加强支护措施如下:

(1)Ⅴ类(常规)。180°、240°洞两侧各点位分别对称设置 2 根 $\Phi 28$, $L=6$ m 加强锁定锚杆,排距 0.75 m。采用小导管 $\phi 42$, $\delta=3.5$ mm 注浆+钢(花)管加固方案,腰线(180°线)以上布置两排小导管,间距 1.5 m,长度为 6 m。腰线部位采用 9 m 的 $\phi 89$ mm $\times$ 4 mm 钢(花)管,与水平线夹角 60°~75°,排距 1.5 m,Ⅴ类围岩加强支护示意图见图 1。

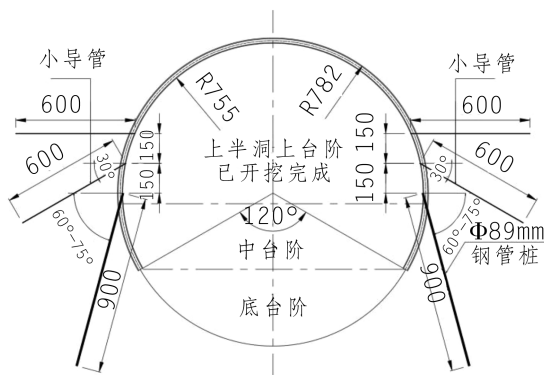


图 1 Ⅴ类围岩加强支护示意图(单位:cm)

(2)Ⅳ类(偏差)。在开挖完成后 180°、240°隧洞两侧各点位分别对称设置 2 根 $\Phi 25$, $L=4.5$ m 锁定锚杆,排距同钢支撑排距。腰线(180°线)以上,采用小导管 $\phi 42$, $\delta=3.5$ mm 注浆加固方案,布置两排小导管、间距 1.5 m,长度为 4.5 m,腰线部位小导管长 6 m,与水平线夹角 60°~75°,排距 1~1.25 m,Ⅳ类围岩偏差段加强支护示意图见图 2。

3.2 主要施工方法

Ⅳ类围岩偏差洞段主要采用 $\phi 42$ mm、 $\delta=3.5$ mm、 $L=4.5$ m 以及 $\phi 42$ mm、 $\delta=3.5$ mm、 $L=6$ m 注浆小导管进行加固,具体施工方法如下:

(1)注浆小导管制作。注浆小导管采用 $\phi 42$ mm、 $\delta=3.5$ mm 钢管加工而成,尾部焊套箍,顶部做成锥形,管壁按梅花型布钻小孔,孔眼直径

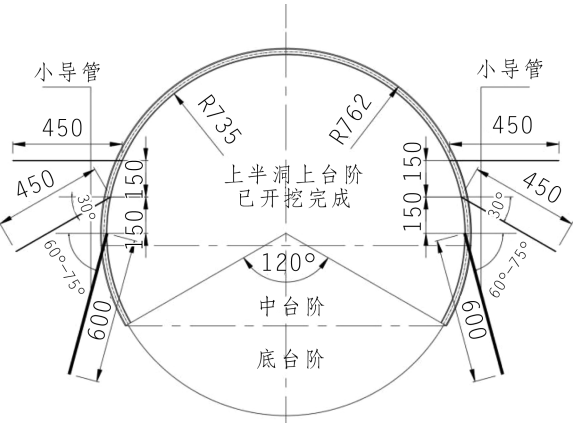


图 2 IV 类围岩偏差段加强支护示意图(单位:cm)

φ8 mm,间距为 20 cm,距离管口 1 m 长度范围内不钻孔,管体前端加工成 45°尖角^[3]。

(2)小导管安装。采用多臂钻进行钻孔,孔径较小导管管径大 5 mm 以上,造孔完成后人工利用简易钻爆台车或 12 t 吊车作为施工作业平台,人工将小导管插入孔内。

(3)小导管注浆。①小导管孔口 30~50 cm 采用锚固剂密实封堵,封闭器采用能够承受 5 MPa 压力的球阀并与导管焊接牢固,与高压灌浆管采用丝扣连接,丝扣连接段采用土工布或其他材料进行隔离保护。②注浆泵采用 3SNS 型高压注浆泵,注浆压力为 0.6~0.8 MPa,为有效控制注浆压力,在注浆泵及注浆掌子面附近分别安装一处压力表进行压力控制,灌浆压力在达到规定注浆压力后,灌浆孔停止吸浆,并继续灌注 10~15 min 后即可结束。③注浆采用纯水泥浆,注浆顺序由下向上间隔进行,浆液采用拌和机拌制,水泥浆水灰比为 2:1,1:1,0.5:1 三个等级,浆液由稀到浓逐级变换,按照先注稀浆,然后逐步变浓直到 0.5:1,注浆压力根据小导管所处位置采取不同压力进行控制,最大压力不能超过要求控制值^[4]。

4 下半洞开挖情况

IV 类围岩偏差及 IV 类围岩常规洞段下半洞开挖均采用钻爆法施工,分左右半幅交替进行开挖,交替开挖安装不超过 50 m 长度控制,每循环进尺为 3 m,周边孔采用间隔装药,孔距为 0.45 m。IV 类围岩偏差洞段在下半洞开挖前均已按加强支护方案要求完成腰线及以上部位注浆小导管施工^[5]。

IV 类围岩常规段与 IV 类围岩偏差洞段(已实

施加强支护)均采用全站仪对开挖体型进行测量,测量断面间距为 1 m,点位间隔为 30 cm,断面及点位为平均布置。

4.1 IV 类围岩常规段

共统计分析 1 号引水隧洞 1+286 m~1+306 m 连续 21 个 IV 类围岩常规段开挖断面,该段在上半洞开挖支护过程中未发生塌方现象,地质特征描述为岩性为花岗岩,岩体裂隙较发育,总体以镶嵌结构为主,局部次块状结构,围岩类别为 IV 类。下半洞开挖过程中存在地质超挖现象,地质超挖采用全站仪进行断面测量。

IV 类围岩常规段在未进行注浆小导管施工的情况下,通过测量的 21 个断面,89 个测量点,进行数据分析:其 89 个测量点最大超挖深度为 1.281 m,发生在桩号 1+297 m。21 个断面的最大超挖深度平均值为 0.864 m。IV 类围岩常规段部分桩号测量断面最大超挖数据统计见表 1。

4.2 IV 类围岩偏差洞段(已实施加强支护)

共统计分析 1 号引水隧洞 0+800 m~0+823 m 连续 24 个 IV 类围岩偏差洞段开挖断面,该段在上半洞开挖过程中部分发生塌方,地质特征描述为花岗石为主,总体以镶嵌结构为主,部分碎裂结构,局部发育断层,岩脉。围岩类别为 IV 类围岩偏差段。

IV 类围岩偏差洞段在已进行注浆小导管施工的情况下,通过测量的 24 个断面,102 个测量点,进行数据分析:其 102 个测量点中最大超挖深度为 0.809 m,发生在桩号 0+813 m。24 个断面的最大超挖深度平均值为 0.630 m。IV 类围岩偏差洞段部分桩号测量断面最大超挖数据统计见表 2。

4.3 开挖体型控制分析

IV 类围岩常规段与 IV 类围岩偏差洞段均采用相同的开挖方式,在爆破设计上 IV 类围岩偏差洞段实际装药参数低于 IV 类围岩常规段。但测量数据表明已实施注浆小导管加固施工的 IV 类围岩偏差洞段最大超挖深度及平均超挖深度明显低于 IV 类围岩常规段。表明在下半洞 180°~240°开挖支护过程中注浆小导管施工对洞室开挖体型及围岩稳定起到了良好的效果。

5 后续开挖支护措施

(1)严格控制腰线部位 6 m 注浆小导管钻孔

表 1 IV类围岩常规段部分桩号测量断面最大超挖数据统计表											
桩号	1+289	1+290	1+291	1+292	1+293	1+294	1+295	1+296	1+297	1+298	1+299
最大超挖深度 /m	1.031	0.749	0.588	0.921	0.655	0.357	0.828	0.898	1.281	0.825	0.637

表 2 IV类围岩偏差洞段部分桩号测量断面最大超挖数据统计表											
桩号	0+809	0+810	0+811	0+812	0+813	0+814	0+815	0+816	0+817	0+818	0+819
最大超挖深度 /m	0.537	0.579	0.774	0.805	0.809	0.650	0.620	0.770	0.627	0.642	0.448

角度,在现场施工条件满足时,尽可能以大角度钻孔施工。确保小导管注浆对下半洞围岩的约束作用,进一步减小地质超挖,控制开挖体型。

(2)加强注浆小导管注浆质量及注浆压力控制,施工过程严格控制注浆压力及水灰比,注浆浆液按照由稀到浓逐级变换,针对碎裂结构围岩等可灌性较好的洞段可适当提高注浆压力等级,确保松散岩层能得到最大范围的加固。

(3)加强下半洞开挖地质预报,针对同一桩号范围内下半洞开挖与上半洞开挖出现围岩变差情况,必要时及时增加注浆小导管施工以进一步加固围岩,确保围岩安全稳定。

6 结 语

注浆小导管具有施工作业不受工作面限制,可在隧洞内多点同时展开,且不占用作业面正常开挖时间,可以实现快速高效施工。通过对比IV类围岩常规洞段下半洞开挖以及IV类围岩偏差段(已施工加强支护措施)下半洞开挖的体型测量断面数据,得出以下结论:

(1)在下半洞开挖之前,对IV类围岩腰线部位进行注浆小导管施工可以极大的控制开挖体型及地质超挖,对确保围岩安全稳定起到极大的作用。

(2)在下半洞开挖施工过程中应加强地质预报,对在下半洞开挖过程中地质条件变差部位及时进行加强支护,确保下半洞开挖安全稳定及开

挖体型。

(3)注浆小导管施工不仅能有效控制洞室开挖体型,减少地质超挖,同时在施工过程中具有可多工作面同时展开、快速、高效、经济等特点。

参考文献:

[1] 张卫华,孙根江,罗勇.长距离大断面水工隧洞下半洞开挖施工技术研究[J].四川水力发电,2021,40(03):40-43.

[2] 戴波,吴旭.天生桥一级水电站引水隧洞群开挖施工[J].四川水力发电,2000(03):3-7+94.

[3] 张金龙,王洪源.黄金坪水电站引水隧洞强卸荷花岗区大洞室不良地质洞段施工[J].水利水电技术,2014,45(05):63-65.

[4] 陈旭东.天生桥一级水电站4号引水隧洞下半洞开挖爆破设计[J].红水河,1997(04):48-50.

[5] 孟令滨.引水隧洞施工中遇不良地质段的处理措施分析[J].工程建设与设计,2020(06):122-123.

作者简介:

周 强(1991-),男,湖南沅江人,中国安能集团第三工程局有限公司,工程师,本科,从事工程项目管理工作;

李 凯(1991-),男,江西新余人,中国安能集团第三工程局有限公司,工程师,本科,工程项目管理;

温哲昊(1992-),男,四川成都人,四川华能泸定水电有限公司,工程师,本科,从事水利水电工程管理工作;

杨树仁(1981-)男,四川凉山人,四川华能泸定水电有限公司,助理工程师,本科,助理工程师,从事征地移民及水利水电工程施工与管理工作。

(编辑编辑:吴永红)

(上接第 33 页)

[2] 赵根,黎卫超.水下爆破技术发展[J].爆破,2020,37(01):1-12.

[3] 黄迪.水下爆破振动对周围建筑物影响研究[D].湖南大学,2019. DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2019.003738.

[4] 蒋峰.水电站围堰拆除爆破振动控制研究[D].长江科学院,2008.

[5] 樵平,卜俊锐,张维明,等.两河口围堰拆除爆破[J].爆破,2016,33(04):90-93.

作者简介:

何英建(1994-),男,重庆荣昌人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工;

周 建(1990-),男,重庆合川人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工;

喻 健(1990-),男,四川眉山人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工;

白庆锋(1988-),男,云南昭通人,工程师,学士,从事水电工程机电金结安装管理工作。

(责任编辑:吴永红)