

不同地质条件下特大断面洞室上层开挖方式的探讨

杨红富, 包秀花

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 611130)

摘要:特大断面地下洞室开挖是现代大型水工建筑物的重要组成部分,其中上层开挖是特大断面地下洞室开挖的关键,上层开挖主要有全断面开挖法、中导洞开挖法、对称半导洞开挖法、非对称半导洞开挖法等,施工阶段选择适宜的开挖方式能使施工安全、进度得到有效保障。笔者主要结合拉哇水电建设中泄洪放空、溢洪洞分别采用全断面开挖法及中导洞开挖法的应用进行简单论述,意在论证不同开挖方法对洞室施工质量、施工安全及洞身稳定的影响,仅供参考。

关键词:特大断面;开挖方式;施工措施;围岩地质

中图分类号: TU94+1

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)03-0124-05

Discussion on Excavation Methods of the Upper Layer of Extra-large Cross-section Caverns Under Different Geological Conditions

YANG Hongfu, BAO Xiuhua

(Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611130)

Abstract: The excavation of extra-large section underground caverns is an important part of modern large-scale hydraulic buildings, wherein the upper excavation is the key to the excavation of extra-large section underground cavern. The upper excavation mainly includes the full section excavation method, the middle pilot tunnel excavation method, the symmetrical semi-pilot tunnel excavation method, the asymmetrical semi-pilot tunnel excavation method, etc. The selection of appropriate excavation mode in construction stage can make the construction safety, progress be effectively guaranteed. This paper mainly discusses the application of the full-section excavation method and the middle pilot tunnel excavation method in the flood discharge and spillway tunnel construction in Lawa hydropower construction, respectively, and intends to demonstrate the influence of different excavation methods on the construction quality, construction safety and stability of the caverns, which is for reference only.

Keywords: Extra-large section; Excavation method; Construction measures; Surrounding rock geology

1 项目概况

拉哇水电站泄洪系统工程分别规划布置泄洪放空与生态放水洞(以下简称:泄洪洞)、①号、②号两条溢洪与生态放水洞(以下简称:溢洪洞),其中①、②号溢洪洞布置于右岸靠山体侧,方位角 $N17^{\circ}35'30''W$,总长度(水平投影长度)分别为 1 455.47 m、1 554.49 m,两条溢洪洞平行布置,相邻洞室间岩体厚度 23 m,溢洪洞标准过流断面 $15.00\text{ m}\times 24.00\text{ m}$ (宽 $\times$ 高),最小断面开挖尺寸为 $17.70\text{ m}\times 26.55\text{ m}$ (宽 $\times$ 高),最大开挖断面尺寸为 $20.56\text{ m}\times 29.28\text{ m}$ (宽 $\times$ 高),属特大断面地下洞室。

泄洪洞布置于①号溢洪洞左侧,与①溢洪洞

轴线距离 46 m,洞身总长 1 318 m;泄洪洞标准过流断面 $11.00\text{ m}\times 17.00\text{ m}$ (宽 $\times$ 高),最小断面开挖尺寸为 $13.300\text{ m}\times 20.787\text{ m}$ (宽 $\times$ 高),最大开挖断面尺寸为 $18.300\text{ m}\times 25.282\text{ m}$ (宽 $\times$ 高),属特大断面地下洞室。

泄洪洞主要为蚀变角闪片岩、绿泥角闪片岩及蚀变绿泥角闪片岩等地质围岩,洞室埋深较厚,推测洞室围岩主要为 3 类,成洞条件相对较好。

由于泄洪洞、溢洪洞洞室开挖断面较大,为确保洞室开挖质量、施工进度、洞身安全等,根据实际施工情况选择合理的开挖施工工艺显得尤为重要。

2 特大断面洞室上层不同开挖施工工艺比选

2.1 全断面开挖法

收稿日期:2024-03-15

全断面开挖法是整个断面一次钻孔、一次爆破成型,采用中心楔形掏槽周边光面爆破一次成型^[1],该开挖方法利于施工风水电一次跟进布置,渣料装运利于机械化操作,开挖与支护工序相互干扰相对较小,但也存在一定施工缺点:

(1)开挖断面跨度受限,也受限于洞室本身围岩地质条件,当开挖断面跨度较大且洞室围岩地质条件较差时采用该开挖方法极不利于开挖成型断面的临时结构稳定及施工安全。

(2)采用一次爆破成型,爆破孔总孔数相比较多,钻孔时间及装药时间过长,每个开挖爆破循环时间较长,同时按合同招标技术文件规定爆破平整度和半孔率要求较高,整个开挖断面成型质量不好控制。

(3)单段药量大,质点峰值振动速度较大,对洞室的震动较大,遇大断面洞室群,洞室与洞室之间距离较小,或开挖断面围岩条件变化时,不利于围岩稳定。

(4)中心掏槽是全断面开挖进尺的关键,掏槽出现问题,整个循环开挖进尺受到影响。

(5)遇到破碎围岩,全断面开挖危险程度较大,须结合分台阶或分块等开挖方式,一定程度影响开挖进度^[2]。

(6)采用人工开挖时,开挖台车较大,台车移动困难,过程易损坏,需要做好台车使用过程中的日常维护、修复工作,保证作业安全。

2.2 中导洞开挖法

中导洞开挖法是将开挖断面分为中间及两侧边墙三部分进行开挖,中间部分先行开挖形成中导洞,中导洞开挖、支护完成后,再开挖两侧部分,两侧剩余部分可同时开挖,也可分别开挖;该开挖方法一次开挖断面相对较小,有利于安全稳妥,但也存在一定施工缺点:

(1)由于两侧扩挖滞后先行中导洞一定距离,涉及风、水、电及通风系统要多次重复拆除安装,工作量大。

(2)中导洞开挖与支护工作相互干扰,因中导洞开挖宽度受限,且中导洞及两侧边墙扩挖作业面多,开挖与支护工序协调工作较繁琐。

(3)两侧剩余部分扩挖后,两侧扩挖与中导洞开挖交界处可能因二次应力重新分布和洞身收敛变形,围岩易产生层状纵向开裂,从而发生

掉块现象。

2.3 半洞开挖法

半洞开挖法是将主洞室第一层分为两部分,先开挖任意一半作为先导洞,先导洞开挖支护完成后,再开挖剩余一半,邻近半洞开挖相距错开30~40 m;该开挖方法主要是主洞室分为两部分开挖,开挖断面相对较小,有利于围岩稳定,但也存在相应施工缺点:

(1)半洞开挖为半边直墙半边圆拱直墙,中间进行掏槽,掏槽的宽度可能不理想,爆破用药量单耗较高。

(2)与中导洞开挖法一样,先导的开挖与支护存在施工干扰,施工工序协调工作量较大,不利于施工进度控制。

(3)遇到围岩条件较差时,无法及时将加强支护(拱架等)封闭成环,对已开挖成型的半洞围岩结构稳定不利。

3 溢洪洞上层中导洞开挖法及施工措施

溢洪洞属特大断面地下洞室,拟分为四层开挖:第Ⅰ层断面开挖高度为9.0 m,第Ⅱ层断面开挖高度为8.0 m,第Ⅲ层断面开挖高度为7.55 m,第四层为保护层开挖,开挖高度因开挖类型断面不同而不同,分别为2.6 m(A类型)、2.73 m(B类型)、2.0 m(C类型)。综合考虑溢洪洞跨度较大,两平行溢洪洞各邻近作业面隔墙间距相对较小,以及围岩地质条件复杂(绝大部分实际揭露围岩层状结构多、陡倾角及缓倾角结构面发育、大理岩及角闪片岩岩性掺杂变化频繁),为减小爆破质点扰动及确保开挖成型质量,该工程溢洪洞第一层开挖施工采取中导洞开挖法更为合适^[3]。

3.1 溢洪洞上层开挖工艺

上层开挖分为中导洞先行开挖,两侧边墙扩挖跟进的施工方法,中导洞超前两侧扩挖开挖30~50 m,两侧呈阶梯式跟进,周边光面爆破;因①、②号溢洪洞平行布置,且两条溢洪洞之间隔墙间隔仅约23 m;开挖过程应考虑邻近作业面(相邻作业面中导洞、边墙扩挖)开挖掌子面错距50 m以上,并在先开挖成型面完成初期支护后方能进行邻近作业面开挖施工。

溢洪洞第一层开挖高度9 m,中导洞开挖断面尺寸为10 m×9 m城门洞形,中导洞每排炮进尺3 m,侧墙实际开挖揭露围岩存在一定的揉皱

及缓倾角和陡倾角结构面开挖后切脚问题,为确保侧墙开挖质量及施工安全,固采取相对减小排炮进尺,侧墙扩挖排炮预进尺 2.8~3.0 m。

3.2 溢洪洞上层开挖施工措施

(1) 中导洞施工

采用中导洞开挖施工不仅能降低爆破药量总单耗,减小邻近作业面爆破质点扰动,中导洞先行开挖后为侧墙扩挖提供临空面,侧墙扩挖爆破扰动随之减小,且利于侧墙开挖爆破质量控制与提高爆破效率,同时可以导洞先行探明围岩地质情况。中导洞开挖法开挖爆破过程控制措施:

1) 掏槽孔,仅有一个自由面,是整个循环的关键。现场采用手风钻进行爆破孔钻孔,施工过程可多施钻 3 个空眼,作为装药孔爆破时的自由面;空孔及掏槽孔比其他炮孔略深 20 cm,采用高精度毫秒微差方式起爆,实现振动错峰,避免振动峰值叠加,以利抛渣、提高爆破效率;开挖爆破过程注意底孔的钻孔平整度,保证爆破后新鲜工作面的平整度,以及爆破过程结合爆破振动监测,不断完善优化爆破方案,在保证爆破振动在安全允许范围内,爆堆松散,易于挖装,提高爆破掘进进度。

2) 崩落孔能充分利用掏槽孔所创造的自由面,为提高洞室开挖周边光爆效果(半孔留存率、平整度等),可在光爆孔、崩落孔排距间增加一排空眼,间距 0.8~1.0 m,以减小爆破对周边光爆孔的破坏,提高洞室开挖整体光爆、平整度整体形象。

3) 周边孔是决定光爆效果的关键,光面爆破使围岩收到的震动减轻,洞室岩壁表面平整,改善围岩支护结构的受力状况。周边光爆采用不耦合装药结构,现场采用小直径药卷($\phi 25/\phi 32$ 药卷),导爆索加小药量,竹片绑扎间隔装药。钻孔严格执行分区分块,“定人、定区、定机”三定原则进行施钻,尤其注意光爆孔“平、直、齐”的要求控制,确保光爆成型质量。

4) 中导洞开挖阶段导洞与两侧墙交接部位(临时边墙)也严格按光爆控制,有利于中导洞开挖后两侧临时边墙安全稳定,大大减小中导洞开挖两侧边墙临时支护工作,也提升整体开挖工效。

(2) 边墙扩挖施工

1) 中导洞开挖后,两侧边墙临空面增加,爆破效率可大大提高,但考虑到溢洪洞边墙实际揭露

围岩地质情况复杂、多变,通过控制边墙循环间排炮进尺,以减小边墙扩挖爆破对围岩震动,开挖过程加强周边光爆控制,加强施工期临时安全监测及严格控制爆破振动监测工作。

2) 扩挖过程尤其注意侧墙与中导洞拱部交接位置爆破控制,该部位围岩预留厚度较薄,采取光爆孔加密、小药量爆破,避免造成超挖(影响整体开挖平整度)。

(3) 具体措施

该工程①、②号溢洪洞平行布置,仅以泄洪系统③号施工支洞(开挖断面 6.5 m×7.5 m)作为溢洪洞上层开挖通道,开挖作业面从 0+540 桩号段分开,两条溢洪洞往进口、出口方向同时进行开挖施工,现场中导洞开挖面 4 个、边墙扩挖作业面 8 个,共计 12 个开挖作业面。现场各个作业面开挖及支护台车组装、开挖与支护工序干扰、施工风水电交叉影响等问题突出;为做好现场施工组织协调,减小工序间施工干扰,确保整体施工进度,现场具体施工程序及存在问题如下:

1) 前期溢洪洞开挖阶段现场作业空间受限,各作业面开挖台车组装困难,现场利用泄洪系统①、③号施工支洞原开挖台车优先启动①号溢洪洞下游侧上层中导洞、②号溢洪洞上游侧上层中导洞开挖施工,开挖期间采用简易台车穿插跟进边墙扩挖(以上两个作业面边墙),中导洞开挖高度不够(底板未开挖到位)采用手风钻钻孔抬炮处理(确保中导洞开挖高度达到原定 9 m),开挖距离推进约 30 m 以上后,利用已开挖方式进行 10 m×9 m 中导洞开挖台车加工;期间再利用①、③号施工支洞台车启动①号溢洪洞上游侧中导洞,②号溢洪洞下游侧中导洞开挖施工,过程注意开挖爆破台车避炮工作,从而实现在最短时间内完成上述两个作业面的钻爆台车组装,从而保证各作业面均进入连续、正常施工状态。

2) ①号溢洪洞下游侧、②号溢洪洞上游侧上层中导洞开挖台车组装完成后按 10 m×9 m 断面正常推进两个作业面中导洞开挖施工,①号溢洪洞上游侧,②号溢洪洞下游侧按以上方式开挖一定距离后再利用开挖空间组装 10 m×9 m 断面中导洞开挖台车,待溢洪洞交叉段作业空间打开后逐个进行边墙扩挖台车、支护台车组装工作,多工作面全面展开现场开挖支护施工。

3)由于导洞先行两侧墙一定距离,中导洞开挖后,若两侧墙围岩不好,则须进行侧墙临时支护处理,现场可能多工作面同步进行开挖施工,导致开挖与支护工序间交叉干扰施工影响较大。

4)现场作业面多,整体施工协调与工序协调较困难,现场施工风水电管路采用成品塑胶软管布置,便于相邻作业面开挖爆破作业前进行收整防护;若采用成品钢管布置风水设施,不利于及时跟进掌子面,易造成损坏(防护工作量较大或涉及二次拆装),影响整体施工进度。现场风水电跟进布置极大程度取决于两侧墙与中导洞开挖跟进情况,侧墙扩挖须及时跟进,便于风水电管路随之跟进布置,保障整体施工功效。

4 泄洪放空与生态放水洞上层全断面开挖法及施工措施

泄洪放空与生态放水洞属(特)大断面地下洞室,与之场内④号交通道路平交,泄洪洞上层洞开挖起初采用中导洞开挖法进行开挖,施工过程通过沿轴线方向以渐变扩挖方式将斜巷道扩挖至与泄洪洞主洞上层中导洞断面(开挖断面 9 m×9 m)。中导洞开挖循环进尺 2.8~3.0 m,中导洞先行开挖 30 m 后,再进行两侧墙扩挖施工,施工阶段各作业面开挖、开挖与支护间空间受限,各工序间施工干扰较大;中导洞开挖与两侧墙扩挖后,现场实际揭露围岩完整性相对较好,经参建各方讨论,为减小多作业面施工间、开挖与支护间施工干扰,经现场生产性试验后,决定采用全断面开挖方式进行泄洪洞上层开挖施工。

4.1 泄洪洞上层全断面开挖工艺

(1)泄洪洞上层全断面开挖排炮进尺 2.80~3.20 m,一次起爆用药量相对增大,泄洪洞以现场最小开挖跨度(13.30 m)单次装药量达 260~275 kg。

(2)中心掏槽成为整个开挖循环的关键,现场重点控制掏槽钻孔、装药爆破工序,确保每循环进尺。

(3)施工过程可根据掌子面开挖进度随即跟进风水电管路,不因施工临建布置影响施工功效;开挖阶段作业空间相对较大,在围岩地质条件不变的情况下,现场掌子面开挖与已开挖段支护同步开展,开挖支护整体施工进度较快。

(4)洞室整体开挖跨度相对较大,过程中须注

意系统支护的及时跟进;若遇围岩变化及时调整爆破参数、控制循环进尺。

5 不同开挖方法比较

5.1 洞身稳定及安全

(1)全断面开挖泄洪洞,一次开挖跨度相对较大,基本开挖跨度为 13.30~14.56 m,最大达 18.30 m,一次爆破用药量相对较多,随之爆破震动对围岩破坏增加,不利于围岩整体稳定;一般开挖跨度不超过 15 m 的洞室,地质围岩条件较好洞室可采取全断面开挖法,过程注意系统支护的及时跟进。

(2)中导洞开挖法施工溢洪洞,先导洞开挖跨度为 10 m,先导开挖后及时完成导洞支护,必要时须对侧墙采取临时支护措施,洞身围岩相对稳定。扩挖先导侧墙时,侧墙临空面较大,用药量及爆破对围岩震动相对较小;侧墙爆破时,虽中导洞顶拱部位可能出现二次收敛变形,但中导洞先行完成系统支护,中导洞二次收敛变形受到约束,位移不会出现大的变化。但是,两侧墙扩挖后,侧墙两侧围岩处于自由位移状态,侧墙围岩收敛变形较中导洞顶拱收敛变形大,可能易发生掉块现象,须及时完成侧墙支护,并加强相应收敛变形监测^[4]。

(3)断面开挖尺寸大、地质围岩条件多变,采用中导洞先行、两侧壁跟进扩挖的开挖法相对全断面开挖法利于洞身稳定及施工安全,但须高度关注中导洞及两侧壁及时跟进系统支护;同时,在中导洞顶拱系统支护完成前,不得进行两侧壁的扩挖施工。

5.2 开挖质量

中导洞开挖与全断面开挖法中,当地质围岩条件较好无不良地质条件时,中导洞开挖爆破震动相对较小,对围岩破坏相对较小,两侧墙爆破临空面较好,中导洞开挖法在半孔率、平整度较全断面开挖法相对要好。其中“中导洞开挖法”的两侧墙与先导交接区域(位置)由于预留岩层较薄,须加密光爆孔、小药量爆破控制,避免该部位围岩破坏较大造成超挖(平整度较差)现象^[5]。

5.3 施工进度

5.3.1 不同开挖方式对比分析

(1)溢洪洞上层“中导洞开挖法”。溢洪洞上层洞开挖 1 个完整的循环总体需要时间为:中导

洞每个循环约 5.5~6.5 h,同一上层洞作业面左、右两侧边墙考虑同时爆破每个循环约 4~5 h。(以上每个循环时间暂未考虑爆破后排烟、测量放样工作时间)

(2)泄洪洞上层“全断面开挖法”。泄洪洞上层洞每循环开挖爆破时间达 7~8 h(不含排险、通风及放样时间)。

综上,在开挖断面尺寸相差不大的条件下,两种不同开挖方式施工资源及每个开挖爆破循环时间对比,采用“全断面开挖”法施工开挖人员投入较“中导洞开挖”法开挖人员投入相对减少,开挖循环时间相对缩短。

6 结 语

结合拉哇水电站泄洪洞、溢洪洞主体工程特大断面地下洞室上层洞开挖为例,从开挖工艺、施工措施等进行简单论述,对不同开挖工艺及施工措施方面进行不同方法下,特大断面地下洞室开挖围岩稳定洞身安全、施工进度方面完成总结,对于一般特大断面地下洞室开挖施工具有一定的参考意义及借鉴作用。通过拉哇水电站泄洪洞、溢洪洞特大断面地下洞室不同开挖工艺及施工措施的实施,主要得出以下结论:

(1)中导洞开挖法须等中导洞开挖一定距离后才能启动侧墙扩挖施工,现场侧墙扩挖须及时跟进,才能随之跟进风水电布置;同时侧墙未能跟进时,中导洞开挖空间相对较小,渣料装运耗时延长,影响整体施工工效。

(2)中导洞开挖法存在多工作面同步施工,现场开挖及支护台车数量增多、组装耗时过长,现场工作面间施工协调工作量较大;以及作业面开挖与支护间施工干扰较大,一定程度影响整体施工进度。

(3)地质围岩条件基本一致,无特殊不良地质条件下,若开挖断面尺寸相差不大的情况下,中导洞开挖法与全断面开挖法单次循环开挖进尺基本相同;但中导洞开挖法整体施工进度相比全断面开挖法减慢。

(4)遇不良地质围岩条件下,全断面开挖法可能出现暂停开挖工序进行系统支护的情况,而中导洞开挖法只需先支护先导洞,支护量较小,相对暂停时间较短;而且中导洞开挖法先导暂停支护期间可进行两侧墙扩挖施工,施工过程可根据先导揭露围岩情况提前对侧墙进行预判、预支护。总体而言,当地质围岩条件相对理想及施工管理合理时,全断面开挖法相对中导洞开挖法施工进度相对较快。

参考文献:

[1] 杨伟才.全断面钻爆法在洞室开挖中的应用[J].中国科技纵横,2013(14):203-205.

[2] 陈万业,董兰凤.地下洞室施工理论及技术进展[J].西北水电,2002(2):47-50.

[3] 水工建筑物地下开挖工程施工技术规范:DL/T 5099-1999[S].国家经济贸易委员会,1999.

[4] 于景辰.地下厂房开挖的若干问题[J].东北水利水电,1999(5):16-18.

[5] 陈自宝.浅谈洞室开挖质量及安全控制[J].华东科技:学术版,2017(9):141.

[6] 陈自宝.浅谈洞室开挖质量及安全控制[J].华东科技:学术版,2017(9):1.

作者简介:

杨红富(1994-),男,云南大理人,项目工程助理,本科,从事水利水电工程监理工作;

包秀花(1999-),女,甘肃定西人,助理工程师,学士,从事水利水电工程监理工作.

(编辑:吴永红)

“粤、黔、桂、川、湘”五省(区)第四届水电厂
技能竞赛筹备会在广东河源召开

2024 年 4 月 19 日,“粤、黔、桂、川、湘”五省(区)第四届水电厂技能竞赛筹备会议在广东省河源市召开,广东、贵州、广西、四川、湖南五省水电学会、广东省能源集团水电分公司、广东粤电新丰江发电有限责任公司及其他报名参赛的 27 家单位代表共 46 人参加了会议。

(学会秘书处 冯建明)