硬梁包水电站方变圆大断面隧洞开挖技术

张 国 平

（中国水利水电第七工程局有限公司，四川 成都 610213）

摘　要：硬梁包水电站引水隧洞进口方变圆大断面洞室开挖通过先进行安全治理、锁口支护、超前预支护等措施后再进入洞段施工，先进行导洞开挖，再利用导洞开挖取得的技术参数和其所揭示的实际地质情况完成扩挖和分段分层开挖，施工时大量采用光爆和预裂爆破技术与工艺，抓住质量关键并严格过程控制，有效地保证了工程控制目标，效果明显，所取得的经验可为类似工程施工借鉴。

关键词：硬梁包水电站；引水隧洞；方变圆大断面；隧洞开挖技术

中图分类号：TV7；TV52；TV554　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2024)05-0033-04

Excavation Technology of Tunnel with Square-to-circular Large Section of Yingliangbao Hydropower Project

ZHANG Guoping

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: The excavation of the large section cavern with a square-to-circular shape at the entrance of the diversion tunnel of the Yingliangbao Hydropower Station was carried out after the safety management, lock support, advance pre-support and more. The pilot tunnel was excavated first, and then the technical parameters obtained from the excavation and the actual geological conditions revealed by the excavation are used to complete the complete expansion and segmented layered excavation. A large number of light blasting and pre-crack blasting technology was applied during the excavation, the key quality was grasped and process control was strictly controlled, effectively guaranteeing the engineering control target, achieving obvious effect, which can provide reference for similar engineering construction.

Key words: Yingliangbao Hydropower Project; Diversion tunnel; Square-to-circular large section; Tunnel excavation technology

1　概　述

硬梁包水电站位于四川省甘孜藏族自治州泸定县境内的大渡河干流上，为四川省大渡河干流规划 28 级方案中的第 14 级水电站，上游为泸定水电站，下游接大岗山水电站。该电站采用引水式开发，总装机容量为 111.6 万 kW，工程规模为二等大(2)型。电站挡水建筑物采用 38 m 高的混凝土闸坝和面板堆石坝；引水建筑物为两条净空直径为 13.3 m、单边轴线长度为 14.4 km、中心线间距 60 m 的全埋式引水隧洞；厂房为地下厂房，采用 4 台立式机组发电。中国水利水电第七工程局有限公司硬梁包项目部(以下简称：项目部)承担了该电站挡水大坝和引水隧洞进口段 0+000～0+050 的施工任务。

引水隧洞进口段50m为方变圆大断面结构，开挖建基面面积为 2 610 m^2，石方开挖量达 10 005 m^3。其中方型结构的开挖长度为 10 m，断面开挖高度为 16.1 m，宽 13.6 m，断面面积为 218.9 m^2，石方量为 2 189.6 m^3；方变圆渐变段的开挖长度为 10 m，开挖断面面积从 218.9 m^2 渐变至 192.1 m^2，石方量为 2 055 m^3；圆型结构的开挖长度为 30 m，开挖直径为 15.64 m，断面面积为 192.1 m^2，石方量为 5 760.6 m^3。

隧洞进口段埋深较浅，除 0+000～0+006 段岩石类别为Ⅳ类外，其余洞段岩石以Ⅱ类为主。

施工前，项目部按相关规定要求编制了专项施工方案，经企业技术负责人、总监理工程师审核后组织专家论证并按照论证通过的技术方案实施。

该技术方案的总体思路为：先完成洞口边坡的安全治理、锁口支护和超前小管棚预支护等必要的安全措施，再进入洞段施工；洞段施工优先完

收稿日期：2024-04-04

成导洞开挖,利用导洞开挖获得的技术参数和揭示的实际地质情况,再采取导洞扩挖、分层分段下挖的方法完成隧洞的全部开挖。

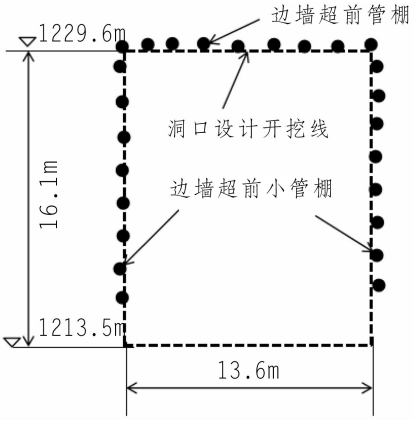
2　进洞前的安全措施

隧洞施工前,先完成洞口边坡的安全治理、锁口支护、超前小管棚预支护等,为隧洞施工创造出必要的安全条件。

(1)洞口边坡的安全治理。洞口边坡的安全治理包含松散体开挖、挡护网、锚喷支护、修筑截排水沟、挡渣墙、洞顶防护棚等,以避免滚石、掉块、塌方、水流倒灌等不利影响[1]。

(2)锁口支护。锁口支护采用 3Φ28 螺纹钢锚筋束,其长度为 900 cm,埋置深度为 880 cm,外露长度为 20 cm,沿设计开挖线外 20 cm 范围内分两排、呈梅花型布置于洞顶、洞侧,采取先注水泥砂浆,再插锚筋束杆件的方法施工[2]。

(3)超前小管棚预支护。超前小管棚预支护主要采用 Φ42 钢管注浆的方法,其布置形式为门型。预支护长度为 5 m,其范围为开挖轮廓线洞顶及两侧。超前小管棚施工工艺见图 1。



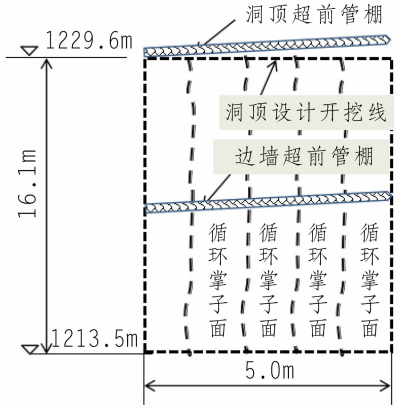
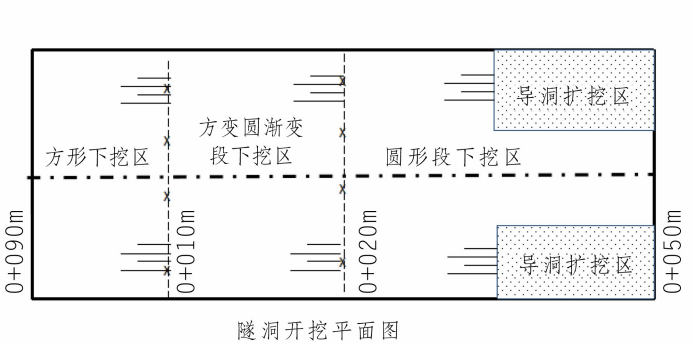


图 1　超前小管棚施工工艺图

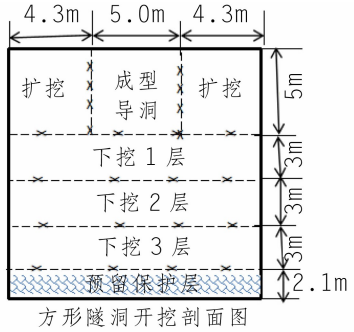
3　隧洞开挖施工

隧洞的开挖优先进行导洞开挖,通过导洞开挖总结出成熟的技术经验和揭示的实际地质情况再采取导洞扩挖、分层分段下挖的方法完成全部隧洞的开挖。隧洞开挖采用的施工方法见图 2。

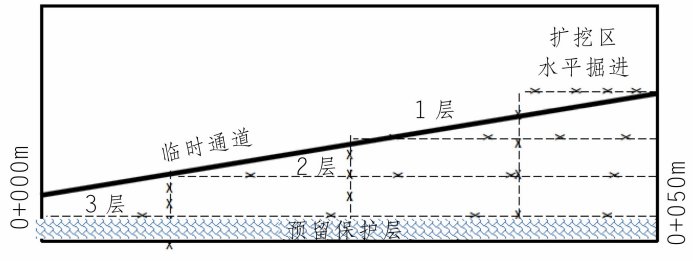
(1)首先开挖导洞。导洞优先施工的主要作



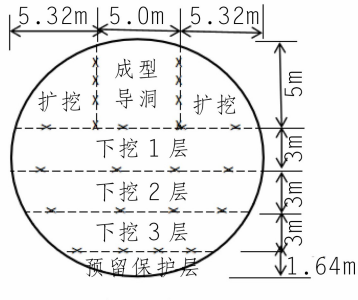
隧洞开挖平面图



方形隧洞开挖剖面图



隧洞开挖立面图



圆形隧洞开挖剖面图

图 2　隧洞开挖施工方法示意图

用包括三个方面：一是通过导洞揭示的实际地质情况为后续方案优化奠定基础；二是通过导洞实施的钻爆工艺总结经验，旨在为后续工艺优化提供参考；三是导洞形成后可以用作剩余开挖的施工通道、作业平台及爆破临空面。

导洞布置在隧洞上半洞中心部位，其断面尺寸为 5 m(宽)×5 m(高)；方型洞段采用方型导洞，圆型洞段采用城门型导洞。导洞的布置型式见图 3。

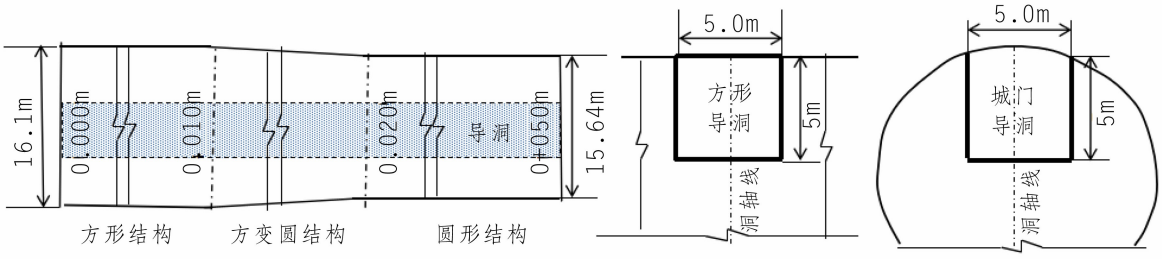


图 3　导洞布置型式示意图

导洞开挖采用自制钻爆台车施工，人工配气腿钻造孔，循环进尺按 2 m 控制。周边设光爆孔，孔径为 42 mm，孔深 2 m，孔间距为 30 cm，采用竹片间隔装 Φ25 乳化炸药；中间设掏槽孔，掏槽截面为 2 m^2；大面设主爆孔，孔径为 42 mm，孔深 2 m，孔间距为 100 cm，连续装 Φ32 乳化炸药；爆破网络采用非电雷管与导爆索搭接网络，磁电雷管起爆。爆破后，先由人工配合机械排险，再采用挖掘机装自卸汽车运渣，随后跟进支护。

(2)导洞扩挖。导洞成型后用作两侧扩挖的施工通道和爆破临空面。两侧的扩挖采取水平向掘进同步实施，循环进尺按 2 m 控制。沿开挖线设光爆孔，孔径为 42 mm，孔深 2 m，孔间距为 30 cm，用竹片间隔装 Φ25 乳化炸药；大面设主爆孔，孔径为 42 mm，孔深 2 m，孔间距为 150 cm，连续装 Φ32 乳化炸药；爆破网络及起爆方式不变，爆破后先排险，再支护。

(3)分段分层开挖。方型段开挖的分段长度为 10 m，分层厚度为 3 m，均采用 JK590 履带式液压潜孔钻机造孔。两侧沿直墙开挖线采用竖向预裂孔，间距 70 cm，深 10.64 m，一次预裂爆破至设计开挖面；大面采用竖向主爆孔，间排距为 2.5 m×2.5 m，梅花型布置，孔深 3 m。

渐变段开挖分段长度为 3 m，分层厚度为 3 m。两侧渐变段沿开挖线采用水平光爆孔，间距 35 cm，深度不超过 1.5 m，采用人工配气腿钻造孔；大面采用竖向主爆孔，间排距为 2 m×2 m，梅花型布置，孔深 3 m，采用 JK590 履带式液压潜孔钻机造孔。

圆型段开挖分段长度为 3 m，分层厚度为 3 m。两侧沿弧型开挖线采用水平光爆孔，间距 60 cm，深度为 3 m，人工配气腿钻造孔；大面采用竖向主爆孔，间排距为 2 m×2 m，梅花型布置，孔深 3 m，采用 JK590 履带式液压潜孔钻机造孔。

预裂孔和光爆孔均采用竹片间隔绑扎、装 Φ25 乳化炸药，竖向主爆孔连续装 Φ32 乳化炸药；爆破网络及起爆方式不变，爆破后先排险，再支护。其分段分层开挖爆破孔布置型式见图 4。

(4) 保护层开挖。保护层的开挖借鉴了杨房沟水电站宽大平底板结构石方开挖施工工艺，采

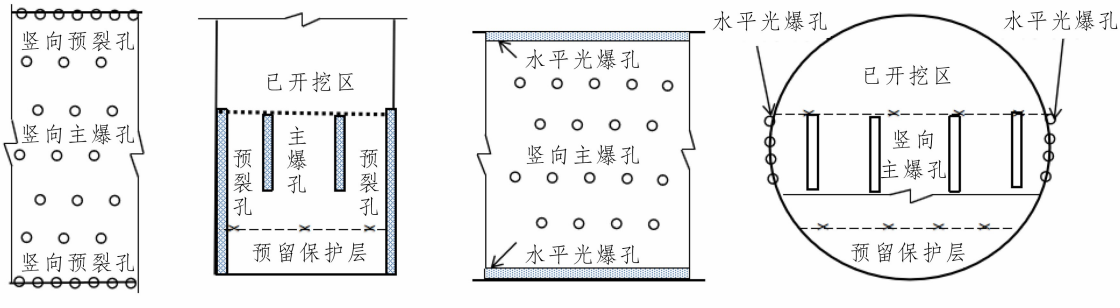


图 4　分段分层开挖爆破孔示意图

取结构线水平预裂孔、大面竖向主爆的方法完成[4]。水平预裂孔造孔前,在分段或齿槽部位设先锋槽,断面尺寸为 1 m(宽)×0.5 m(深)。先锋槽开挖出渣后,在槽内搭设简易样架,测量人员在槽身和样架上分别测放孔位、方位角、深度、间距等,并用标签标注在每个孔位上[5]。

水平预裂孔采用 QZJ－100B 型潜孔钻造孔,孔径为 42 mm,间距 60 cm,深度为 9 m。大面竖向主爆孔采用 JK590 履带式液压潜孔钻机造孔,孔径为 42 mm,间排距为 3.0 m,方型隧洞孔深 2.1 m,圆型隧洞孔深 1.64 m,梅花型布置。

水平预裂孔采用竹片间隔绑扎装 Φ25 乳化炸药,超前爆破;竖向主爆孔连续装 Φ32 乳化炸药;爆破网络及起爆方式不变。保护层钻孔工艺见图 5。

4　实施效果分析

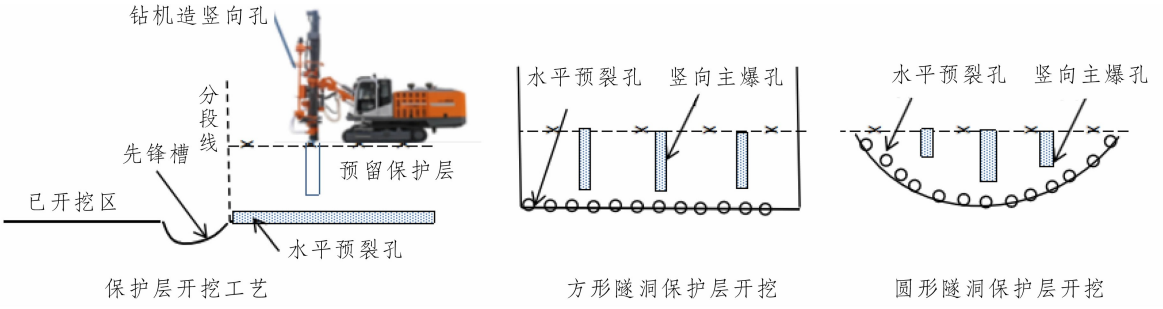


图 5　隧洞保护层开挖钻孔工艺图

(1)隧洞施工前,先完成洞口边坡的安全治理、锁口支护、超前小管棚预支护后为隧洞的开挖创造了安全施工条件,降低了掉块、塌方等风险。

(2)优先施工导洞,为隧洞大面积开挖提供准确的判断依据并取得可靠的工艺技术参数,为洞室开挖的安全质量奠定了良好的基础条件。

(3)隧洞大面积开挖采用光面和预裂爆破,实施一炮一设计、一炮一评估机制,抓住关键要素全过程进行控制,有效地保证了隧洞开挖质量与安全[6]。

(4)隧洞开挖后及时清帮问顶,严格限制开挖面的暴露时间,先初支护、再系统支护,有效地降低了隧洞掉块、塌方风险,为隧洞的安全与质量提供了保证。

(5)隧洞开挖历时 45 d,平均每天完成石方开挖 222.3 m^3,实际完成时间比原计划提前 9 d。

(6)隧洞开挖设计建基面面积为 2 610 m^2,实测超挖总量为 150 m^3,平均每 m^2 超挖量为 0.057 m^3,成本受控。

(7)隧洞开挖合计为 5 个单元,质量全部为优良。轮廓面残留炮孔半圆痕迹均匀分布,残留炮孔痕迹保存率为 95.5%,两炮孔间岩面的不平整度实测平均值为 7.3 cm,开挖成型面无裂隙张开、错动及层面抬动现象,满足设计文件规定的要求。

5　结　语

硬梁包水电站引水隧洞方变圆大断面洞室开挖采取先安全治理、锁口支护、超前预支护等一系列措施,为隧洞安全施工创造条件后再进入洞段施工。隧洞施工先完成导洞,再扩挖和分段分层开挖,施工中结合导洞揭示的实际地质情况和技术经验总结,大量采用光爆和预裂爆破技术工艺,抓住质量关键并严格过程控制,有效地保证了工程质量、安全、进度、成本控制目标,效果十分明显。目前我国水利、水电、铁路、交通及矿山等行业建设中的石方开挖居多,规模趋于扩大,施工环境和条件复杂多变,其安全质量标准要求严格,硬梁包水电站引水隧洞方变圆石方开挖工艺可为类似工程施工借鉴。

参考文献:

[1] 樊启祥,刘益勇,王毅.向家坝水电站大型地下厂房洞室群施工和监测[J].岩石力学与工程学报,2011,30(4):666-676.

[2] 杨小华,王良兵.浅埋深特大断面溢洪洞开挖技术研究与应用[J].四川水力发电,2014,33(5):116-118.

[3] 马晓莉,要宝忠.浅谈大断面地下洞室的开挖与支护施工[J].中国西部科技,2010,9(36):24-26.

[4] 张国平,徐晶,李鑫越.宽大平底板结构石方开挖施工工艺探讨[J].四川水力发电,2023,42(2):66-71.

[5] 孟顺,张国平,周建平.提高拱坝坝肩槽开挖质量的控制措施[J].人民长江,2018,49(24):72-75.

[6] 张国平.浅谈杨房沟水电站大坝坝肩槽开挖质量管控要点[J].四川水力发电,2018,37(4):173-174.

作者简介:

张国平(1976-),男,四川乐山人,项目副经理,副高级工程师,一级建造师、注册安全工程师,从事工程项目管理工作.

(编辑:李燕辉)