

地下厂房首层 TBM 成型全圆中导洞扩挖施工技术研究

彭固生 冀春辉

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8498

[摘要] 本文通过借助地下厂房首层 TBM 成型全圆中导洞扩挖施工技术, 研究 TBM 硬岩掘进机首次用于抽水蓄能交通洞及通风洞的施工扩挖技术, 而 TBM 成型中导洞两侧扩挖技术也为全圆型扩挖, 技术难度较高, 且顶部相切弧形面保护层较薄, 针对两侧扩挖及保护层预留, 严格进行爆破设计及质量控制措施, 确保两侧扩挖质量, 形成一套完整的扩挖技术, 为后续厂房首层采用 TBM 施工后两侧扩挖提供技术参考。

[关键词] 地下厂房首层; TBM 成型; 全圆中导洞扩挖

Research on the Construction Technology of TBM Forming Full Circle Middle Guide Tunnel

Expansion for the First Floor of Underground Powerhouse

Peng Gusheng Ji Chunhui

China Water Resources and Hydropower 11th Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] This article studies the construction expansion technology of TBM hard rock excavation machine for pumped storage transportation tunnel and ventilation tunnel for the first time by using the TBM forming full circle middle guide tunnel expansion construction technology on the first floor of underground factory building. The expansion excavation technology on both sides of TBM forming middle guide tunnel is also full circle expansion excavation, with high technical difficulty and thin protective layer on the top tangent arc surface. For the expansion excavation on both sides and the reserved protective layer, strict blasting design and quality control measures are carried out to ensure the quality of the expansion excavation on both sides, forming a complete set of expansion excavation technology, and providing technical reference for the expansion excavation on both sides after TBM construction on the first floor of the factory building.

[Key words] first floor of underground factory building; TBM forming; Expansion excavation of the entire circular guide tunnel

1 前言

抚宁抽水蓄能电站位于河北省秦皇岛市抚宁区内, 距离抚宁区约 32km。抚宁抽水蓄能电站额定发电水头 437m, 总装机容量为 1200MW, 电站共安装 4 台单机容量为 300MW 的立轴单级混流可逆式水泵水轮机。工程属大(1)型一等工程, 主要永久建筑物按 1 级建筑物设计, 次要永久建筑物按 3 级建筑物设计。

地下厂房 TBM 中导洞直接扩挖易造成顶拱及边墙扩挖, 因此需对顶拱层开挖及爆破设计严格控制。首先在地下厂房全圆导洞左右边墙进行扩挖, 使其能安放钻爆台车, 在保证安全距离的情况下进行两侧交替扩挖施工, 增加了工作面。然后顺轴线方向进行保护层的开挖及后续第一层扩挖的循环钻爆施工。结合现场实际情况, 针对性设计爆破参数, 并根据爆破效果进行爆破设计调整, 并严格控制爆破参数及爆破振动, 局部采用破碎锤进行剔除, 减少扰动, 降低超挖。

2 本工程地下厂房中导洞扩挖施工特点

抽水蓄能电站地下隧洞群规模大、项目繁多、工程量大，特别是地下隧洞断面形式多样，尺寸大小不一，比较适合钻爆法施工。但钻爆法开挖存在施工机械化程度低、劳动力投入大、施工工期长、不利因素。因此，抚宁抽水蓄能电站引入全断面岩石隧道掘进机（简称TBM），为本项目主厂房顶拱层的施工提供了中导洞便利。TBM掘进至地下厂房段沿顶拱拱轴线方向平穿厂房段，地下厂房段长164m

TBM成型中导洞单次开挖成型，截面为圆形断面且开挖面积更小，扩挖技术难度较高，且顶部相切弧形面保护层较薄，针对两侧扩挖及保护层预留，需严格进行精细化爆破设计，采取相应的质量控制措施。

3 关键技术及创新点

3.1 关键技术

TBM全圆中导洞扩挖关键技术在于根据不同围岩类型采取不同的开挖爆破方式及范围，首先控制顶部弧形相切面的薄层超挖，然后两侧扩挖刻槽，保证边线准备，实现顺轴线开挖条件。精细化爆破设计，现场施工严格按照实际爆破参数，确保半孔率，减少超挖出现。

3.2 技术创新点

厂房开挖为主线工期，工期紧张，施工需严格控制施工进度及施工质量。首先在地下厂房全圆导洞左右边墙“刻槽”，使其能安放钻爆台车，进行两侧交替扩挖施工，增加了工作面。然后顺轴线方向进行保护层的开挖及后续第一层扩挖的循环钻爆施工，为保证顺轴线方向施工时开挖质量，选取厂房一个部分进行爆破试验，选择适合的爆破参数、孔间排距及钻孔参数。顶部相切弧形面保护层较薄，且两侧三角区岩层破碎，严格控制爆破参数及爆破振动，较薄处采用破碎锤进行扣除，减少超挖。

厂房中导洞使用TBM提前贯通，中导洞扩挖，根据围岩类型，为减少超挖，首先进行底部弧形切角处理，使得台车可正常放置，然后根据围岩类型分为两种扩挖形式。

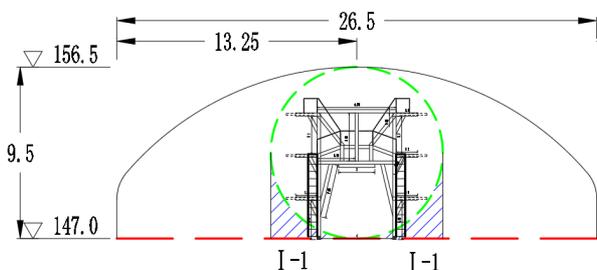


图1 中导洞底部弧角处理

首先进行圆型中导洞底角处理，使扩挖台车可正常放置，然后III类围岩顶部切角及两侧均采用开挖成型；IV/V类围岩

预留中导洞三米范围内顶部切角采用液压锤剔除，两侧其余部分采用爆破处理，减少切角薄层爆破所导致的超挖。分台阶进行开挖，先进行底部开挖，然后弧形边墙光面爆破修边。

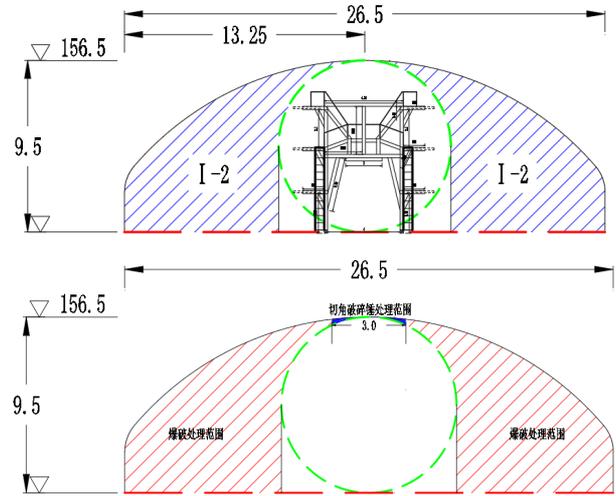


图2 不同围岩类型扩挖形式

4 主要研究内容

4.1 边墙刻槽开挖

地下主厂房开挖先在导洞左右边墙“刻槽”，刻槽采用分区分段进行，底部按照间距2.5m，逐步爆破处理，顶部预留约1.0m保护层，均布处理。确保顶层弧形边墙位置正确，并保证可以安放钻爆台车，然后实施后续第一层扩挖的循环钻爆施工。

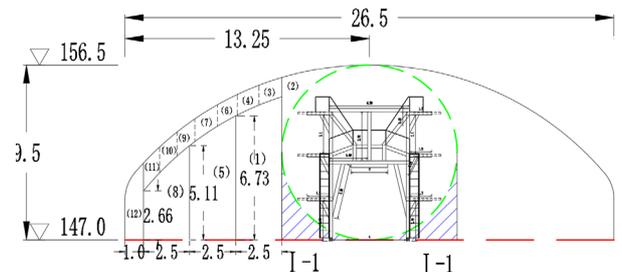


图3 边墙刻槽分区处理示意图

4.2 钢拱架拆除

刻槽过程中，遇原TBM掘进厂房全圆中导洞施工过程所立钢拱架，首先使用破碎锤或挖机对钢拱架进行拆除，然后进行两侧的扩挖。

4.3 测量放样

利用现场施工控制网提供的控制点进行施工测量放样，洞内测量控制点埋设要牢固隐蔽，做好保护，防止机械设备破坏。测量采用全站仪进行施工控制，控制放样精度不大于±3cm。根据设计角度在钻杆前后由测量布置两点，确定入钻角度，入岩体后使用坡度尺进行外插角检查，再次确定角度。

4.4 钻孔验收

采用 YT-28 手风钻进行钻孔，钻孔直径φ40mm。应严格

按照爆破设计中孔深、孔径、角度进行钻孔,各孔需保持固定的角度,均匀布置。

每个孔在开孔后应立即检查孔位是否符合爆破设计要求,确保孔位无误后再继续施钻,并在钻进过程中注意检查及修正。钻孔完毕后采用高压风和高压水进行清孔,并做好保护。清孔完毕后应严格执行三检制进行验收。

4.5 精细化爆破设计

顶拱层利用已经完成的TBM钻孔(直径9.5m),对两侧进行扩挖支护。掘进初期先进行单侧爆破扩挖,再进行两侧爆破

扩挖。顶部相切弧形面保护层较薄,且两侧三角区岩层破碎,严格控制爆破参数及爆破振动,较薄处采用破碎锤进行剔除,减少超挖。

掏心爆破试验设计孔深4.5m,采用YT-28手风钻钻孔,孔径40mm,主爆孔孔深4.5m,间距0.95-1.2m,排距0.8m。主爆孔采用不耦合连续装药,爆破采用直径 ϕ 32mm的乳化炸药,数码电子雷管微差起爆网络,顺序依次间隔60ms起爆。不耦合系数为1.25,线装药量为1kg/m,单孔药量为2.4kg,单耗为0.69kg/m³,最大单响为12kg。

表1 爆破参数表

名称	孔径 (mm)	孔深 (m)	孔数 (个)	排距 (m)	药卷直径 (mm)	不耦合系数	线装药量 (kg/m)	单孔药量 (kg)	单耗 (kg/m ³)	最大单响 (kg)	小计 (kg)
主爆孔	40	4.5	30	0.8	32	1.25	1	2.4	0.69	12	72

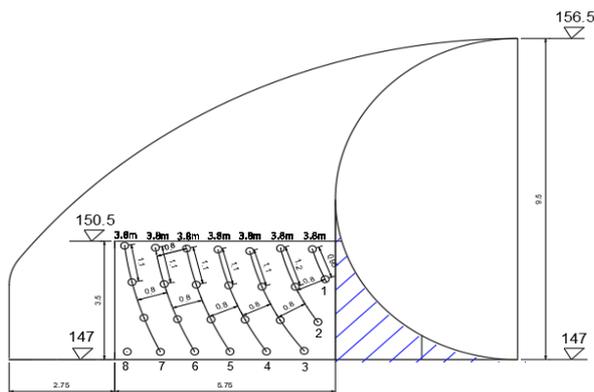


图9 主爆孔孔布置图及爆破现场图

光面爆破试验设计孔深4.0m,孔径40mm,主爆孔孔深4.0m,间距0.7m,排距0.7-0.8m。光爆孔孔深4.0m,间距0.5m,光爆孔与主爆孔间距为0.7-0.8m。主爆孔采用不耦合连续装药,光爆孔采用不耦合间隔装药,爆破采用直径 ϕ 32mm的乳化炸药,数码电子雷管微差起爆网络,按下图顺序依次间隔60ms起爆。主爆孔及光爆孔不耦合系数均为1.25,主爆孔线装药量为1kg/m,光爆孔线装药量为0.2kg/m,主爆孔单孔药量为1.84kg,光爆孔单孔药量为0.8kg,主爆孔单耗为0.71kg/m³。

表2 光面爆破参数表

名称	孔径 (mm)	孔深 (m)	孔数 (个)	排距 (m)	药卷直径 (mm)	不耦合系数	线装药量 (kg/m)	单孔药量 (kg)	单耗 (kg/m ³)	最大单响 (kg)	小计 (kg)
主爆孔	40	4.0	22	0.7-0.8	32	1.25	1	1.84	0.71	33.12	40.48
光爆孔	40	4.0	32	/	32	1.25	0.2	0.8	/	25.6	25.6

根据开挖爆破后的实际开挖效果,主厂房爆破开挖轮廓成型规则,岩面平整;岩面上保存50%以上孔痕,且无明显的爆破裂缝;爆破后围岩壁上无危石,达到了光面爆破效果。

4.6 顶部预留切角剔除

IV/V类围岩预留中导洞三米范围内顶部切角采用液压锤剔除,测量实时监控,两侧其余部分采用爆破处理,减少切角薄层爆破所导致的超挖。

5 结语

地下厂房首层TBM全圆中导洞扩挖,垂直中导洞向两侧扩挖至厂房顶拱和边墙位置,开挖20m转为顺厂房墙壁方向施钻,支护与掌子面间距控制在50m以内,以保证较小的挖空区域并及时进行支护施工,确保洞室围岩的稳定和施工安全。本施工技术保证了圆型中导洞扩挖弧形轮廓,又减少了超挖,既加快了施工速度,节约了施工费用,保证了施工质量、操作者的安全和施工工期,可供其他项目借鉴。

[参考文献]

- [1]李宇轩.TBM隧洞豆粒石灌浆体成型质量无损检测技术应用研究[D].华北水利水电大学,2024.
 - [2]朱莹莉.深部岩巷TBM高效掘进技术与围岩控制研究[D].中国矿业大学,2024.
 - [3]潘福营,潘月梁,张金宇,等.竖井TBM开挖排风竖井施工技术[J].水电与抽水蓄能,2024,10(01):98-101.
 - [4]段任荣,王耀毅,尚书毫,等.非连续衬砌的TBM隧洞衬砌台车行走技术应用[J].云南水力发电,2023,39(10):120-124.
- 第一作者简介:彭固生,1973.04,男,工程师,本科,主要从事水利水电工程施工技术管理工;
- 第二作者简介:冀春辉,1982.07,男,高级工程师,本科,主要从事水利水电工程施工技术工作。