

## 地下厂房第VII层提前开挖施工技术

彭固生 冀春辉

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

**[摘要]**文中通过地下厂房第VII层提前开挖施工技术研究, 通过优化尾水隧洞的供风系统、供电系统及施工排水系统, 从1#~4#尾水隧洞提前进入地下厂房第VII层, 利用尾水隧洞钻爆台车采用“全断面法”进行地下厂房第VII层的提前开挖, 希望文中为相关抽水蓄能电站地下厂房快速施工提供参考。

**[关键词]**地下厂房; 第VII层; 提前开挖

DOI: 10.33142/hst.v8i10.18043

中图分类号: TU92

文献标识码: A

## Construction Technology for Pre-excavation of the Layer VII of Underground Powerhouse

PENG Gusheng, JI Chunhui

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

**Abstract:** This article studies the construction technology of early excavation of the layer VII of the underground powerhouse. By optimizing the air supply system, power supply system, and construction drainage system of the tailwater tunnel, the layer VII of the underground powerhouse is advanced from the 1 # to 4 # tailwater tunnels. The tailwater tunnel drilling and blasting trolley is used to excavate the layer VII of the underground powerhouse in advance using the "full section method". It is hoped that this article can provide reference for the rapid construction of underground powerhouses in related pumped storage power stations.

**Keywords:** underground powerhouse; layer VII; advance excavation

### 引言

抚宁抽水蓄能电站位于河北省秦皇岛市抚宁区境内, 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。

地下厂房第VII层位于厂右0+025.8~厂左0+080.65, 厂上0+014.65~厂下0+020, 长106.45m, 宽34.65m, 开挖高度7m(EL.109~EL.102), 与尾水隧洞相接。集水井位于厂右0+006.350~厂右0+025.800, 厂上0+004.150~厂下0+010.350, 长19.45m, 宽14.5m, 开挖高度13m(EL.102~EL.89)。从1#~4#尾水隧洞提前进入地下厂房第VII层, 利用尾水隧洞钻爆台车采用“全断面法”进行地下厂房第VII层开挖, 有效缩短地下厂房开挖支护施工工期。

### 1 本工程地下厂房施工特点

河北抚宁抽水蓄能电站地下厂房开挖支护工程量大, 尤其第VII层及集水井开挖结构复杂、施工程序繁多, 占据直线工期较长。为提高地下厂房施工效率, 缩短施工工期, 项目通过有限元仿真分析技术, 分析确定地下厂房第VII层提前开挖的可行性, 打破传统逐层开挖的施工工艺, 利用尾水隧洞的供风、供电及施工排水系统, 从1#~4#尾水隧洞提前进入地下厂房第VII层, 利用尾水隧洞钻爆台车采

用“全断面法”进行地下厂房第VII层开挖, 有效缩短地下厂房开挖支护施工工期。

### 2 关键技术及创新点

#### 2.1 关键技术

(1) 地下厂房第VII层提前开挖的有限元仿真分析技术。

采用有限元仿真模拟, 动态模拟地下厂房第VII层开挖支护过程, 验证以尾水隧洞断面为基准, 采用暗挖的形式进行第VII层提前开挖的可行性。

(2) 厂房第VII层开挖预留中心岩柱技术。

根据监测数据, 及现场地质条件, 计算复核不同围岩类型条件下预留中心开挖区中心岩柱的规模及施工安全稳定性, 优化开挖程序, 提高施工安全性。

(3) 厂房第VII层开挖临时支护技术。

厂房第VII层提前开挖施工, 根据现场模拟分析及围岩类型分布情况, 优化确定支护参数, 采用玻璃纤维+喷混凝土的施工工艺作为地下厂房第VII层临时支护措施。

#### 2.2 技术创新点

(1) 采用有限元仿真软件ABAQUS与地下厂房施工图纸建立了1:1二维断面模型, 仿真模拟地下厂房与主变室第III、IV、V层和母线洞第I、II层开挖的同时, 逐步推进尾水隧洞的开挖及地下厂房第VII层提前开挖的可行性。

(2) 根据有限元模拟结果, 提取监测点的竖向位移-开挖时间步曲线, 根据竖向位移量判断地下厂房第VII层的

提前开挖施工的可行性；同时，为提前开挖方案下的临时支护设计提供理论依据。

(3) 开挖过程，对围岩变形数据进行收集，分析围岩稳定状态及应力变化，并实时进行监控，根据监测数据及现场地质条件，复核不同围岩类型条件下预留中心开挖区中心岩柱的规模及施工安全稳定性，优化支护参数，提高施工安全性。

(4) 地下厂房第VII层提前开挖时，针对局部块体不稳定问题，根据工作面地质巡查及编录成果，及时对潜在不稳定块体进行搜索、预测、分析，评价其稳定性，并提出针对性处理措施。

### 3 主要研究内容

#### 3.1 地下厂房第七层提前开挖的有限元仿真分析技术

采用有限元仿真软件 ABAQUS 与地下厂房施工图纸建立了 1:1 二维断面模型，模拟地下厂房、主变室、母线洞的开挖程序，在主厂房与主变室第III、IV、V层和母线洞第I、II层开挖的同时，逐步推进尾水隧洞的开挖，当主厂房第V层完工时，第VII层完成前半段的开挖，最后，主厂房第VII层独自完成后半段的开挖。

##### (1) 仿真模型

基于有限元仿真软件 ABAQUS 与地下厂房施工图纸建立了 1:1 二维断面模型。

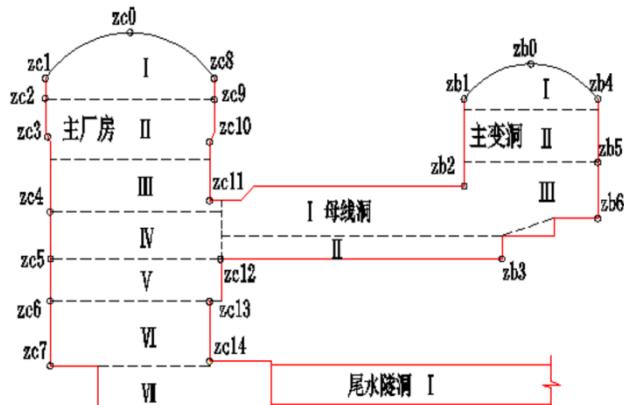


图 1 地下厂房二维断面模型图

##### (2) 模拟结果及分析

位移是围岩力学行为变化最直观的综合反映，不管其作用机理如何复杂，其效应均可通过洞室周边位移反映出来。对洞室位移进行分析，是了解地下洞室力学动态的最直观的方法。对地下厂房第VII层开挖有限元模拟结果见下图。

根据有限元模拟结果，提取主厂房第VI层的 1 个监测点和母线洞下方岩体的 2 个监测点，共 3 个监测点的竖向位移-开挖时间步曲线。

主厂房第VII层提前开挖施工，使得地下厂房围岩出现了明显的变形重分布现象，具体表现为母线洞下方围岩产

生负位移，即原本隆起的围岩在尾水隧洞开挖后，向下凹陷，但位移依然在可控范围内（不超过 10mm），可以保证施工的安全。

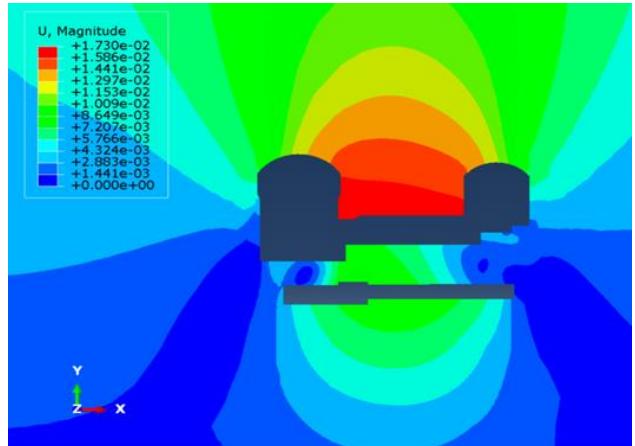


图 2 主厂房第七层开挖后位移云图

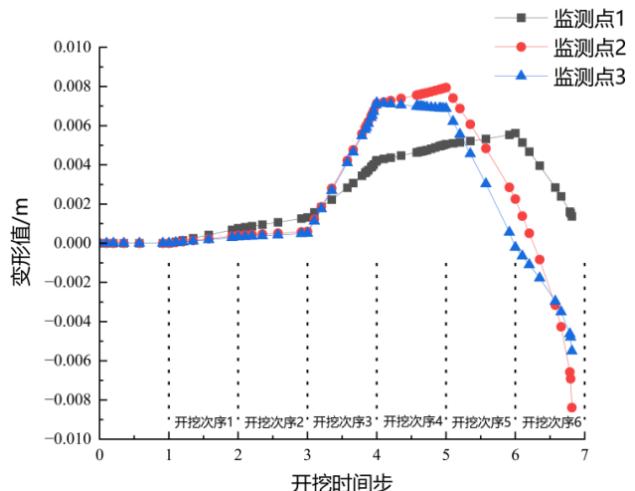


图 3 开挖竖向位移曲线图

综上所述，地下厂房第VII层的提前开挖施工并不会对地下厂房第VI层和母线洞下方的围岩造成较大的扰动，符合开挖条件；同时，有限元模拟结果也为提前开挖方案下的支护设计提供了理论依据。

#### 3.2 厂房第VII层开挖施工技术

利用尾水隧洞钻爆台车采用“全断面法”进行地下厂房第VII层开挖，根据尾水隧洞台车最大宽度进行开挖，由马蹄形开挖调整为城门洞型开挖。

厂房第VII层开挖，出渣时预留 1m 厚度石渣作为保护层，防止第 VI 层施工时破坏第VII层底板。地下厂房第VII层开挖断面为城门洞型，断面尺寸为 6.4×7.8 (宽×高)。开挖采用手风钻+钻爆台车水平钻孔，周边永久轮廓线及底板采用光面爆破技术成型。III类围岩循环进尺为 3.2m，IV类围岩循环进尺为 2m，V类围岩循环进尺为 1m。

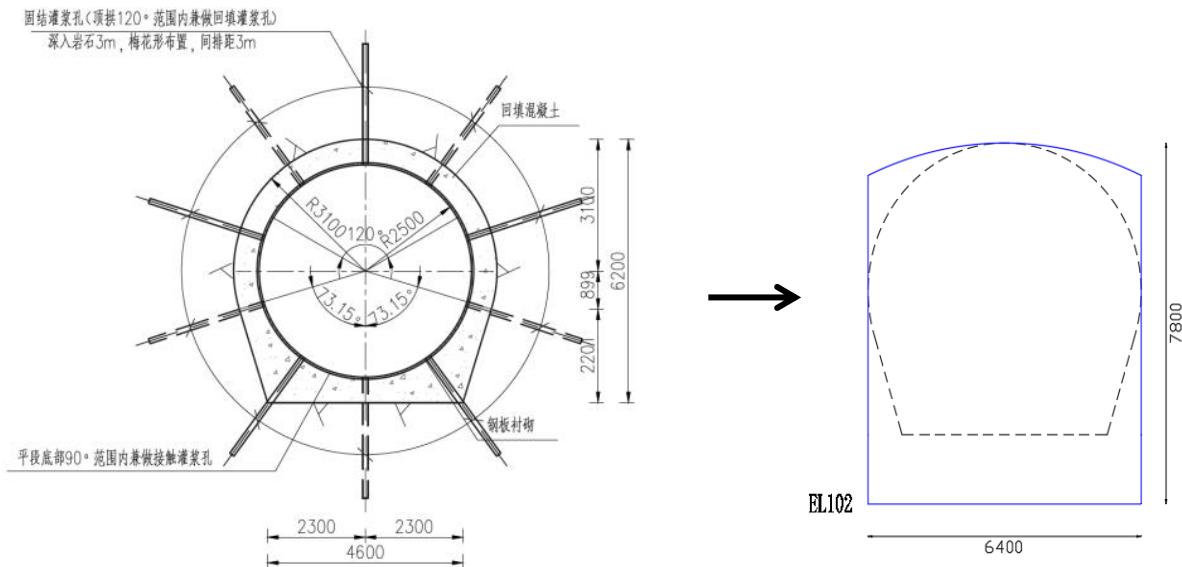


图4 开挖施工示意图

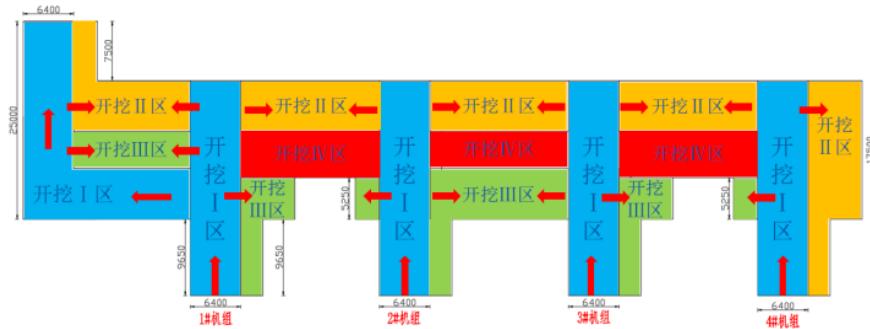


图5 厂房第VII层开挖程序

### 3.3 厂房第VII层开挖预留中心岩柱技术

为保证上下层施工安全,关键点在于中心岩柱的保留,施工过程中,加强围岩变形监测,根据不同围岩类型的变化及地质条件,计算确定中心岩柱的保留范围及临时支护参数,确保预留完整,避免破坏造成上层岩体不稳,在保证第VII层正常开挖时,确保第VI层预留岩体的稳定性。施工期间加强对围岩变形的监测,并及时进行地质素描及预报措施,并根据现场实际情况,及时调整开挖程序。开挖程序如图5:

从1#~4#尾水隧洞进入,采用平推的方式进行I区~III区开挖支护。施工顺序为开挖I区→开挖II区→开挖III区→开挖IV区(地下厂房第VI层开挖支护完成后进行),开挖断面为城门洞型,断面尺寸为6.4×7.8(宽×高)。开挖采用手风钻+钻爆台车水平钻孔,周边永久轮廓线及底板采用光面爆破技术成型。

### 3.4 厂房第VII层开挖临时支护技术

利用1#~4#尾水隧洞提前进入厂房第VII层开挖,开挖过程中,需进行临时支护,来保证开挖过程中岩体稳定。定期检测围岩变形情况,分析围岩稳定情况,各方进行讨论研究,必要时加强支护,明确各类围岩采取的支护措施,

及支护后的围岩稳定情况,可为其他工程地下厂房第VII层提前开挖时,提供参考依据。

厂房第VII层提前开挖施工,根据现场模拟分析及围岩类型分布情况,确定支护参数:地下厂房第VII层临时支护采用玻璃纤维锚杆,Φ22@1.5m×1.5m、L=3m(梅花形布置)、入岩2.9m,钢筋网为Φ8@20cm×20cm, C30喷混厚度为15cm。

玻璃纤维锚杆Φ22@1.5m×1.5m、L=3m、入岩2.9m  
挂网Φ8@0.2m×0.2m, 喷C30混凝土厚0.15m

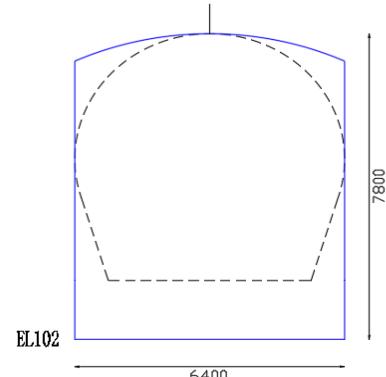


图6 临时支护示意图

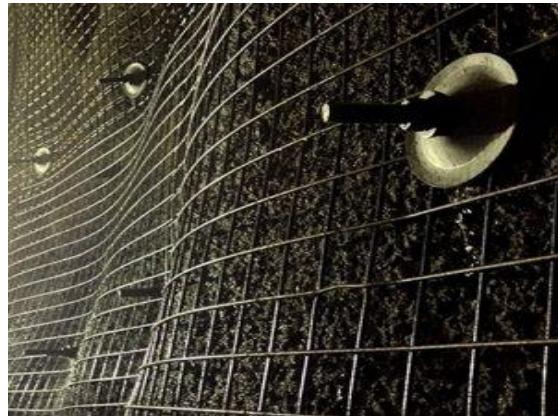


图 7 玻璃纤维锚杆施工

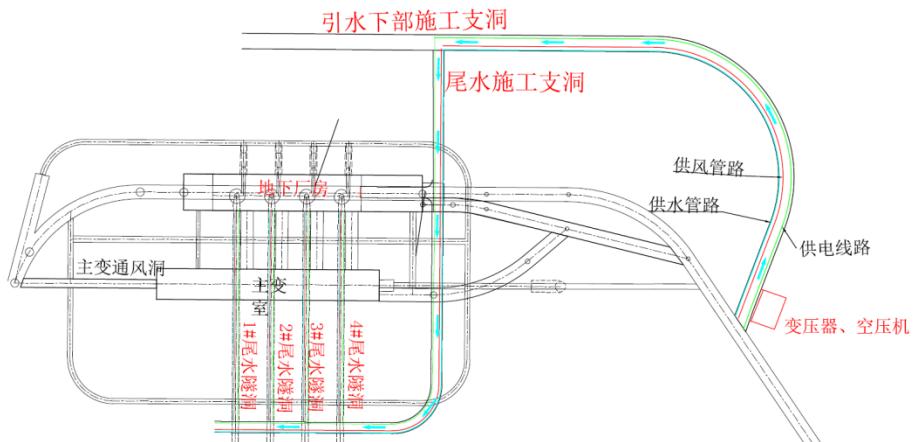


图 8 厂房第VII层开挖施工平面布置

### 3.5 施工平面布置

厂房第VII层开挖首先需要合理布置道路及风水电布置。

出渣道路布置:主厂房→尾水隧洞→尾水隧洞施工支洞→引水下支洞→交通洞→Y3号公路→Y1号公路→L6号公路运至南沟渣场。

采用尾水隧洞的供风系统,使用引水下支洞已布置的4台 $24\text{m}^3/\text{min}$ 空压机,供风量为 $96\text{m}^3/\text{min}$ 。采用尾水隧洞的施工通风系统,使用在交通洞洞口已安装的1台 $2*110\text{kW}$ 隧洞专用轴流式通风机,向地下厂房第VII层压入新鲜空气。施工用电由场内主要的 $10\text{kV}$ 线路接入,采用尾水隧洞施工支洞洞口设置的1台S11-1000/10/0.4变压器进行供电。

采用尾水隧洞的施工排水系统,尾水隧洞底板高程为EL.104,地下厂房第VII层底板高程为EL.102。在第VII层设置 $3\text{m} \times 2\text{m} \times 1.5\text{m}$ (长×宽×高)的集水坑,集水坑内安装2台WQ100-100-30-15污水泵,抽排至尾水隧洞的施工排水系统,如图8所示。

### 4 结语

通过尾水隧洞实现主厂房第VII层的提前开挖,为验证该方案的可行性,对地下厂房第七层提前开挖使用有限元

仿真软件ABAQUS进行了仿真模拟。第VII层的提前开挖不会对主厂房第VI层和母线洞下方的围岩造成较大的扰动,符合开挖条件;同时,有限元模拟结果也为提前开挖方案下的支护设计提供了理论依据。通过优化尾水隧洞的供风系统、供电系统及施工排水系统,从1#~4#尾水隧洞提前进入地下厂房第VII层,利用尾水隧洞钻爆台车采用“全断面法”进行地下厂房第VII层开挖,缩短地下厂房开挖支护工期。

### [参考文献]

- [1]胡良坡.大跨度、高边墙地下厂房分层开挖支护施工技术分析[J].建筑设计及理论,2019(5):78.
- [2]王军政.大跨度深埋地下厂房洞室群开挖支护施工技术研究[J].建筑理论,2025(4):67.
- [3]陈庆宇.水电工程地下厂房洞室群开挖与支护施工技术应用[J].建筑科学,2025(11):69.
- [4]刘进.水电站地下厂房开挖和支护方案[J].文化科学,2018(12):91.

作者简介:彭固生(1981.12—),男,工程师,本科,主要从事水利水电工程施工技术管理工。