

Simulation Analysis of Construction of Underground Plant for Wendeng Pumped Storage Project

Yanqun Xu¹, Chuanjun Liu¹, Xiang Xi^{2*}, Changhai He², Shaojun Fu²

¹Shandong Wendeng Pumped Storage Co., Ltd., Weihai Shandong

²State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan Hubei
Email: *958819450@qq.com

Received: Feb. 20th, 2018; accepted: Mar. 6th, 2018; published: Mar. 14th, 2018

Abstract

The obvious characteristics of the caverns of underground plant of pumped-storage power station are large scale, many caverns and many structure types. In order to explore the possibility of shortening the project duration of the Three-dimensional excavation method, taking the Wendeng Pumped Storage Power Station as an example, the whole construction process simulations of underground excavation in sequence plan and two different 3D excavation plans were carried out. The results show that the short-term high input of mechanical equipment can shorten the total construction period and bring significant benefits when technical conditions and the input of machinery are allowed. This study is of great reference significance for similar projects.

Keywords

Pumped Storage Power Station, Underground Plant, Three-Dimensional Excavation, Construction Simulation

文登抽水蓄能电站地下厂房施工仿真分析

徐艳群¹, 刘传军¹, 席翔^{2*}, 贺昌海², 傅少君²

¹山东文登抽水蓄能有限公司, 山东 威海

²武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉
Email: *958819450@qq.com

收稿日期: 2018年2月20日; 录用日期: 2018年3月6日; 发布日期: 2018年3月14日

*通讯作者。

文章引用: 徐艳群, 刘传军, 席翔, 贺昌海, 傅少君. 文登抽水蓄能电站地下厂房施工仿真分析[J]. 土木工程, 2018, 7(2): 177-182. DOI: 10.12677/hjce.2018.72022

摘要

抽水蓄能电站地下厂房洞室群具有规模大,洞室多,结构型式多等特点。为探讨立体开挖方法缩短厂房开挖工期的可能性,以文登抽水蓄能电站为例,本文对其地下厂房顺层开挖方案与两种不同的立体开挖方案进行了施工全过程仿真计算。计算结果表明:立体开挖在技术条件和机械投入允许的情况下,短期内的机械设备的高投入可以缩短总工期,从而带来显著的效益,对类似工程具有参考意义。

关键词

抽水蓄能电站,地下厂房,立体开挖,施工仿真

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 序言

水利水电工程地下厂房洞室群施工是一项极其复杂的系统工程,许多因素都会影响其施工进度,合理的开挖方案能够有效的节省工期。近年来,“平面多工序,立体多层次”的施工工艺越来越多地应用于地下厂房的开挖实践中。瀑布沟水电站采用立体施工方案,多个工作面进行洞室开挖,减少了每层支护与开挖的干扰,使其6号机开挖提前46天完成[1]。官地水电站采用立体施工组织后,加快了厂房开挖的施工速度,确保了整体施工进度[2]。为保证厂房的开挖节点目标,清远抽水蓄能电站提前通过尾水支管进行厂房底层的开挖[3]。大朝山水电站采用立体开挖技术方案,不仅将已经拖后的土建工期抢回,而且提前5个月完工,经济效益显著[4]。可见,相对于传统的地下厂房的顺层开挖方法,立体开挖方法有着比较显著的优势。但是,立体开挖目前只有实践成果表明其优势,并没有系统详细的理论计算证明。本文根据文登抽水蓄能电站地下厂房的特点,对地下厂房顺层开挖方案和两个立体开挖方案,进行地下厂房系统施工全过程仿真计算研究,从理论计算角度证明立体开挖的优势,为工程施工提供参考。

2. 施工方案

2.1. 工程概况

文登抽水蓄能电站位于山东省威海市文登区界石镇境内。地下厂房系统主要建筑物由主副厂房、主变室、通风机房、母线洞、进厂交通洞、通风洞(包括通风支洞和主变通风支洞)、排烟洞、排风竖井、出线洞、出线竖井、排水廊道(包括上、中、下3层)和地面开关站等组成。

各建筑物的主要控制尺寸:主副厂房(包括主机间、安装场和副厂房)洞室开挖尺寸 $209.5 \times 24.9 \times 53$ m(长 $\times$ 宽 $\times$ 高);主变室工程(含主变副厂房)洞室开挖尺寸 $203.41 \times 19.9 \times 20.0$ m(长 $\times$ 宽 $\times$ 高);母线洞洞室开挖尺寸 $40.0 \times 8.5 \times 11$ m(长 $\times$ 宽 $\times$ 高,6条)。

2.2. 开挖方案

根据工程实际情况,拟定三种可行的开挖方案。

1) 顺层开挖方案:主厂房按七层开挖。顶拱开挖采用中导洞领先、两侧跟进扩挖的方法,开挖高度

9.5 m。II 层开挖层高 8.0 m。岩壁吊车梁位于此层, 为确保围岩稳定, 将该层分为 II₁、II₂ 两个开挖区, II₁ 区为中央开挖区、II₂ 区为两侧开挖区, II₁ 区开挖领先两侧 II₂ 区至少 30 m。III~VI 层采用液压钻机钻孔, 沿厂房边线先打预裂孔, 中部梯段爆破开挖。厂房 VII 层开挖层高 7.0 m, 采用三臂液压凿岩台车钻孔, 液压平台车辅助人工装药爆破开挖(参见表 1)。

2) 立体开挖方案 1: 主厂房开挖分层同上, 开挖顺序: 先进行顶拱开挖, 然后同时进行第二层和第五层开挖, 其他层的开挖同上。

3) 立体开挖方案 2: 主厂房开挖分层同上。开挖顺序: 先进行顶拱开挖, 然后开挖第二层。为便于施工出渣, 在第二层开挖的同时, 将高压引水管从上游边墙延伸至下游边墙部分开挖, 将尾水洞从下游边墙延伸至上游边墙部分开挖, 将底部施工支洞从厂房左端延伸至厂房右端部分开挖。其他层的开挖同上。

3. 模拟成果分析

仿真就是用模型(物理模型或数学模型)代替实际系统进行实验和研究。随着计算机技术的不断发展, 计算机仿真已被广泛应用于各个领域。刘宁通过对两河口心墙堆石坝场内交通运输过程的仿真和优化研究, 提高了心墙堆石坝施工组织设计的效率和水平[5]。张鹏飞对向家坝工程的土石方平衡调配规划仿真, 优化了施工过程中的土石方调配工作, 提高了工程质量[6]。黄建红对水布垭地下厂房洞室群施工过程的仿真, 平衡了洞室群开挖中的强度仿真, 降低了洞室开挖的高峰强度[7]。由此可见, 计算机仿真技术对水电工程有着可靠的指导作用。

本文对文登抽水蓄能电站的研究集网络计划技术、循环仿真随机网络技术、系统仿真技术及三维可视化技术于一体, 采用两个层次的建模技术: 工序模型和活动模型。应用“仿真时钟”来体现“模拟时间”的运行轨迹, 在仿真过程中相应地设置两个仿真钟全程仿真钟和本地仿真钟。

全程仿真钟记录工序模型的仿真运行轨迹, 采用事件步长法推进, 以事件发生的持续时间为增量, 按照持续时间的进展分步对系统的行为进行仿真, 直到预定的仿真时间结束或所有时间完成为止, 当有模拟工序事件发生时, 全程仿真钟保留当时的状态, 然后将控制权交给活动模型; 本地仿真钟用于活动模型的仿真轨迹, 采用事件步长法推进, 当活动模型接受到控制权, 启动本地仿真钟, 事件驱动本地仿真钟的推进, 待到仿真事件全部完成为止, 关闭本地仿真钟, 本地仿真钟归零, 将控制权交还工序模型, 重新启动全过程仿真钟。最后得到合理工期、施工机械配置、优化的开挖方案[8] [9] [10] [11]。

3.1. 顺层开挖方案

顺层开挖施工方案模拟于第 1 年 3 月 1 号开始, 第 2 年 12 月 07 日结束, 历时约 21.23 个月, 平均月开挖强度 1.29 万 m³。开挖高峰期发生在第 2 年 4 月, 高峰期最大开挖强度 2.5 万 m³/月。开挖期间内共需投入三臂液压凿岩台车 97.4 台班、ROC 液压钻机 201.9 台班、手风钻 92.9 台班、装载机 430.2 台班以及自卸汽车 3011.5 台班(表 2)。

3.2. 立体开挖方案 1

立体开挖方案 1 模拟于第 1 年 3 月 1 号开始, 于第 2 年 10 月 22 日结束, 历时约 19.73 个月, 平均月开挖强度 1.38 万 m³。开挖高峰期发生在第 1 年 9 月, 高峰期最大开挖强度 3.47 万 m³/月。开挖期间内共需投入三臂液压凿岩台车 140.0 台班、ROC 液压钻机 164.7 台班、手风钻 92.9 台班、装载机 435.0 台班以及自卸汽车 3045.1 台班(表 3)。

3.3. 立体开挖方案 2

立体开挖方案 2 模拟于第 1 年 3 月 1 号开始, 第 2 年 10 月 26 日结束, 历时约 19.86 个月, 平均月

Table 1. The program of plant stratification
表 1. 厂房分层方案

厂房分层	分层高程(m)	层高(m)	施工通道
I 层(顶拱)	75~65.5	9.5	通风洞和主厂房通风支洞
II 层	65.5~57.5	8.0	
III 层	57.5~49.5	8.0	
IV 层	49.5~43.0	6.5	以交通洞作为施工通道
V 层	43.0~36.0	7.0	
VI 层	36.0~29.0	7.0	厂房下部施工支洞、 引水隧洞(压力管道)下平段
VII 层	29.0~22.0	7.0	
			尾水隧洞施工支洞

Table 2. The simulation duration of stratified excavation in sequence
表 2. 顺层开挖方案仿真工期

工序名称	模拟开始时间	模拟完成时间
1 层中导洞	第 1 年 3 月 1 日	第 1 年 5 月 21 日
1 层扩挖上游侧	第 1 年 5 月 22 日	第 1 年 8 月 9 日
1 层扩挖下游侧	第 1 年 6 月 1 日	第 1 年 8 月 18 日
2 层中梯段	第 1 年 8 月 19 日	第 1 年 10 月 3 日
2 层预留保护层上游	第 1 年 10 月 4 日	第 1 年 12 月 18 日
2 层预留保护层下游	第 1 年 10 月 14 日	第 1 年 12 月 28 日
岩锚梁施工	第 1 年 12 月 29 日	第 2 年 3 月 28 日
主厂房 3 层	第 2 年 3 月 29 日	第 2 年 5 月 28 日
主厂房 4 层	第 2 年 5 月 29 日	第 2 年 7 月 7 日
主厂房 5 层	第 2 年 7 月 8 日	第 2 年 8 月 22 日
主厂房 6 层	第 2 年 8 月 23 日	第 2 年 10 月 7 日
主厂房 7 层	第 2 年 10 月 8 日	第 2 年 12 月 7 日

Table 3. The simulation duration of stereoscopic scheme 1
表 3. 立体开挖方案 1 仿真工期

工序名称	模拟开始时间	模拟完成时间
1 层中导洞	第 1 年 3 月 1 日	第 1 年 5 月 21 日
1 层扩挖上游侧	第 1 年 5 月 22 日	第 1 年 8 月 9 日
1 层扩挖下游侧	第 1 年 6 月 1 日	第 1 年 8 月 18 日
2 层中梯段	第 1 年 8 月 19 日	第 1 年 10 月 3 日
2 层预留保护层上游	第 1 年 10 月 4 日	第 1 年 12 月 18 日
2 层预留保护层下游	第 1 年 10 月 14 日	第 1 年 12 月 28 日
主厂房第 5 层	第 1 年 9 月 1 日	第 1 年 11 月 15 日
岩锚梁施工	第 1 年 12 月 29 日	第 2 年 3 月 28 日
主厂房 3 层	第 2 年 3 月 29 日	第 2 年 5 月 28 日
主厂房 4 层	第 2 年 5 月 29 日	第 2 年 7 月 7 日
主厂房 6 层	第 2 年 7 月 8 日	第 2 年 8 月 22 日
主厂房 7 层	第 2 年 8 月 23 日	第 2 年 10 月 22 日

Table 4. The simulation duration of stereoscopic scheme 2
表 4. 立体开挖方案 2 仿真工期

工序名称	模拟开始时间	模拟完成时间
1 层中导洞	第 1 年 3 月 1 日	第 1 年 5 月 21 日
1 层扩挖上游侧	第 1 年 5 月 22 日	第 1 年 8 月 9 日
1 层扩挖下游侧	第 1 年 6 月 1 日	第 1 年 8 月 18 日
2 层中梯段	第 1 年 8 月 19 日	第 1 年 10 月 3 日
2 层预留保护层上游	第 1 年 10 月 4 日	第 1 年 12 月 18 日
2 层预留保护层下游	第 1 年 10 月 14 日	第 1 年 12 月 28 日
下部施工支洞延伸	第 1 年 9 月 1 日	第 1 年 10 月 25 日
引水下平段延伸	第 1 年 10 月 1 日	第 1 年 11 月 5 日
尾水支管延伸	第 1 年 11 月 1 日	第 1 年 12 月 15 日
岩锚梁施工	第 1 年 12 月 29 日	第 2 年 3 月 28 日
主厂房 3 层	第 2 年 3 月 29 日	第 2 年 5 月 28 日
主厂房 4 层	第 2 年 5 月 29 日	第 2 年 7 月 7 日
主厂房 5 层	第 2 年 7 月 8 日	第 2 年 8 月 14 日
主厂房 6 层	第 2 年 8 月 15 日	第 2 年 9 月 19 日
主厂房 7 层	第 2 年 9 月 20 日	第 2 年 10 月 26 日

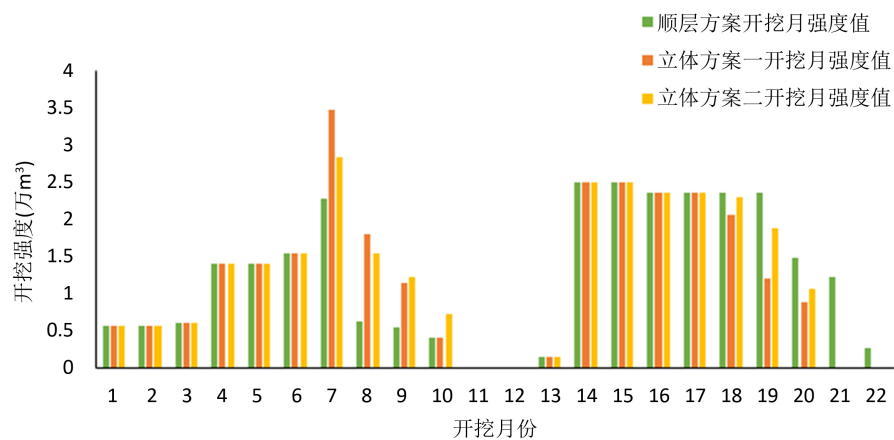


Figure 1. Comparison of three plans excavate intensity
图 1. 三种方案开挖强度对比图

开挖强度 1.37 万 m³。开挖高峰期发生在第 1 年 9 月，高峰期最大开挖强度 2.84 万 m³/月。开挖期间内共需投入三臂液压凿岩台车 118.5 台班、ROC 液压钻机 183.6 台班、手风钻 92.9 台班、装载机 436.3 台班以及自卸汽车 3053.9 台班(表 4)。

3.4. 成果比较

顺层开挖方案更多地使用 ROC 液压钻机，立体开挖方案则使用三臂液压凿岩台车更多；对于装载机和自卸汽车的总投入台班，三种开挖方案基本一致。

相对于顺序开挖方案，立体开挖方案 1 能节省工期 1.5 个月，立体开挖方案 2 能节省工期 1.36 个月。

从开挖强度看,在厂房第二层开挖时(第1年9月至第1年12月中旬),由于立体开挖方案同时进行多个工作面的工作,两种立体开挖方案的高峰期开挖强度均高于顺层开挖方案,同时机械设备的投入也比顺层开挖方案的同期投入多。在其他时段,三种开挖方案的开挖强度和机械设备投入情况总体差距不大(图1)。

4. 结语

通过仿真计算,本文对比了地下厂房顺层开挖与立体开挖的优劣。结果表明立体开挖在技术条件和机械投入允许的情况下,短期内的机械设备的高投入可以缩短总工期,从而带来显著的效益。应该指出的是,是否采用立体开挖方案,还应结合施工过程围岩稳定分析成果等综合确定。

参考文献

- [1] 严军,肖培伟,孙继林.瀑布沟水电站地下厂房开挖施工综述[J].水力发电,2010,36(6):56-59.
- [2] 王明涛,杨明刚,程福安.官地水电站地下厂房开挖施工技术[J].中国水能及电气化,2012(10):28-32.
- [3] 刘芳明.广东清远抽水蓄能电站地下厂房开挖施工[J].云南水力发电,2016,32(4):38-42+125.
- [4] 冯学善.大朝山水电站地下厂房洞室群立体开挖施工技术[J].云南水力发电,2008,24(6):39-41.
- [5] 刘宁.两河口水电站场内交通仿真与优化研究[D]:[硕士学位论文].天津:天津大学,2010.
- [6] 张鹏飞.水电工程土石方工程量电算及平衡调配规划研究[D]:[硕士学位论文].武汉:武汉大学,2004.
- [7] 黄建红.地下厂房洞室群施工系统仿真研究[D]:[硕士学位论文].武汉:武汉大学,2004.
- [8] 赵浩栋.水利工程设计仿真系统及在施工中的应用[J].住宅与房地产,2016(21):144.
- [9] 冯旭.水利水电工程可视化仿真中BIM技术的应用分析[J].自动化与仪器仪表,2016(3):214-215.
- [10] 毕磊,钟登华,赵梦琦.基于均匀设计的地下洞室施工进度仿真多因素敏感性分析[J].水力发电学报,2016,35(1):118-124.
- [11] 钟登华,郑家祥,刘东海,等.可视化仿真技术及应用[M].北京:水利电力出版社,2002.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org