

Stability analysis and research on surrounding rock of underground powerhouse of Xingtai Pumped Storage Power Station

Qiang Wang Donghui Li Zhen Zhang Jiabing Liu

PowerChina Beijing Engineering Corporation Limited, Chaoyang District, Beijing, 100020, China

Abstract

Based on the layout of the underground powerhouse cavern group of the Hebei Pumped Storage Power Station and in combination with the geological conditions of the surrounding rock, this paper establishes a three-dimensional model incorporating faults and joint fissures to simulate the stratified excavation and support scheme for the powerhouse. By analyzing and calculating the deformation of the surrounding rock of the underground cavern group, as well as the stress around the cavern and the range of the plastic zone, the rationality of the layout of the cavern group and the overall stability of the main cavern are judged. The rationality of the excavation sequence and support parameters for the main cavern is demonstrated, and suggestions for the support of special parts such as faults are proposed, providing guidance for subsequent construction design.

Keywords

Pumped storage power station; Excavation and support; Fault; Underground cavern group; Surrounding rock stability

邢台抽水蓄能电站地下厂房围岩稳定分析研究

王强 李东辉 张震 刘佳冰

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 中国·北京 100020

摘要

本文根据河北抽水蓄能电站地下厂房洞室群布置,结合围岩地质条件,建立包含断层及节理裂隙的三维模型,对厂房分层开挖支护方案进行模拟。通过分析计算地下洞室群围岩变形及洞周应力、塑性区范围等,判断洞室群布置的合理性以及主要洞室整体稳定性。论证主要洞室开挖步序和支护参数的合理性,提出断层等特殊部位的支护建议,同时为后续施工设计提供指导。

关键词

抽水蓄能电站; 开挖支护; 断层; 地下洞室群; 围岩稳定

1 引言

抽水蓄能电站的地下厂房洞室群具有规模大,埋深大,洞室群密集,地质条件普遍复杂等特点,其中,断层、裂隙及地应力是控制地下洞室群围岩稳定的主要因素。本文采用 ABAQUS 有限元软件进行计算,建立河北邢台抽水蓄能电站地下厂房洞室群数值分析模型,计算分层开挖、无系统支护和有系统支护条件下,围岩的变形、应力及塑性区及计算有系统支护、不同开挖施工步序条件下,地下洞室群围岩的变形、应力及塑性区和支护应力;对比分析不同施工步序对围岩变形的影响和作用,并对地下厂房开挖施工步序提出合理化建议等。为工程后续开挖支护提供依据,同时可为类似

工程项目设计施工提供参考。

2 工程概况

河北邢台抽水蓄能电站位于邢台市信都区境内,距邢台市中心 40km,距石家庄市 110km,电站初拟安装 4 台单机容量为 300MW 的立轴单级混流可逆式水泵水轮机发电机组,总装机容量为 1200MW,额定发电水头 305m。枢纽建筑物主要由上水库、输水系统、下水库、地下厂房系统、补水系统及地面开关站等建筑物等组成。地下厂房洞室群工程抗震设防类别为乙类,设计抗震采用基准期 50 年内超越概率为 5%,相应的基岩峰值加速度为 110gal;该工程场地的地震基本烈度为 VII 度。

地下厂房采用中部布置方式,厂区建筑物主要有地下厂房、主变洞、母线洞、主变运输洞、交通电缆洞、出线平洞及出线竖井、排风平洞及排风竖井、交通洞、通风洞、地

【作者简介】王强(1991—),男,中国河南人,硕士,高级工程师,从事水工结构工程研究。

面排风机房和地面开关站等建筑物组成。其中，地下厂房开挖尺寸 177m×27.4m×55.8m，布置 4 台 300MW 可逆式水泵水轮发电机组，机组安装高程 244.00m。厂房顶拱开挖高程为 285.80m，尾水管底板开挖高程为 230.00m。主变洞和地下厂房为平行布置型式，两洞间净间距 40m。主变洞开挖尺寸为 160m×21m×23.5m（长×宽×高）。尾闸室位于主变洞下游 40m 处，开挖净尺寸为 143m×10.9m×20m（长×宽×高）。

3 计算模型

根据引水发电系统洞室群的位置及布置型式、断面尺寸，模拟了河北邢台抽水蓄能电站地下厂房洞室群的实际结构以及厂区实际地形地质条件，以此建立三维有限元模型，包括主厂房洞、主变洞、尾水事故闸门室、4 条母线洞、4 条尾水洞、4 条引水洞及岔管、出线支洞、出线洞、交通洞、通风洞等主要洞室，以及对厂房区围岩稳定影响较大的断层 fp2-1、fp2-5、fp2-7（Fc35），地下洞室群及断层模型位置图见图 3-1。

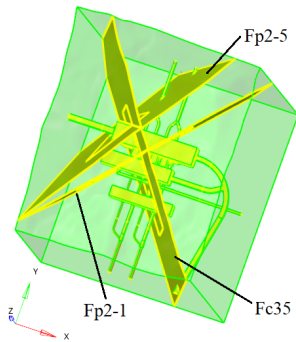


图 3-1 地下洞室厂房区与断层相对位置图

4 地下洞室群开挖施工步骤

4.1 主厂房

主厂房开挖尺寸为 177m×27.4m×55.8m（长×宽×高），拟分七层开挖，从上到下依次布置 4 层施工通道，分别为通风洞、交通洞、厂房下部施工支洞以及尾水隧洞施工支洞。

主副厂房从上至下共分为七层开挖，并分别采用不同高程的施工支洞进行出渣。地下厂房洞室群开挖分层见表 4-1。

表 4-1 主厂房开挖分层表

厂房分层	起止高程(m)	开挖高度(m)	出渣通道
I层(顶拱)	285.8 ~ 278.8	7.0	通风兼安全洞
II层	278.8 ~ 271.8	7.0	
III层	271.8 ~ 260.3	11.5	交通洞
IV层	260.3 ~ 253.5	6.8	
V层	253.5 ~ 247.5	6.0	厂房下部施工支洞、引水系统下支洞和交通洞
VI层	247.5 ~ 239.0	8.5	
VII层	239.0 ~ 230.0	9.0	尾水隧洞、尾水隧洞施工

4.2 主变室、尾闸室、尾调室

主变室分层开挖施工可考虑与主厂房同高程开挖同步进行。

5 地下洞室群开挖设计支护方案

邢台抽水蓄能电站地下洞室群均采用喷锚支护，支护方案及参数详见下表 5-1。

表 5-1 地下洞参数支护表

位置锚杆		支护参数		
		喷混凝土	挂钢筋网	
地下厂房	顶拱边墙	Φ28/Φ32@1.5×1.5m, L = 6m/9m 间隔布置, 9m 为预应力树脂锚杆; 系统锚索: 顶拱 5 排、L=25m, P=1600KN, 上游边墙 5 排, L=20m, P=1600KN, 间距为 6m; 下游边墙 5 排, L=20m/40m, P=1600KN, 间距为 6m。	20cm	Φ8@20×20cm
	岩壁吊车梁	上部锚杆(2排): Φ36mm, L = 10m, @0.75m; 下部锚杆(1排): Φ28mm, L = 8m, @0.75m。		
主变洞		Φ25/Φ28@1.5×1.5m, L = 5m/7m 间隔布置, 7m 为预应力树脂锚杆; 系统锚索: 上下游边墙各 2 排, L=20m/40m, P=1600KN, 间距为 6m;	15cm	Φ8@20×20cm
尾水事故闸门室		锚杆 Φ25/Φ28, L=5/7m, 间隔布置; IV、V 类围岩段设随机锚索 L=20m, T=1000KN、工字钢 I 20a 间距 0.75m、喷钢纤维混凝土 C30 厚 20cm 加强支护。	15cm	Φ8@20×20cm
母线洞		Φ22@1.5×1.5m, L = 3m	10cm	Φ8@20×20cm

6 地下厂房围岩稳定计算分析

6.1 围岩变形

图 6-1 为了有、无支护工况下 2# 机组段开挖结束时位移等值线云图，从图 6-1 可以看出，支护方案下围岩的变形分布规律与无支护工况基本相似，在进行喷锚支护后，洞

室围岩的整体位移减小。主厂房下游墙上部关键点处的喷锚支护效果明显，位移值由未支护的 14.59mm 减少到施加支护的 0.89mm，水平位移减小 32.21。2# 机组断面主厂房顶拱铅直向位移减小 23.08%，主变室顶拱铅直向位移减小 17.12%，尾闸洞顶拱铅直向位移减小 5.52%。

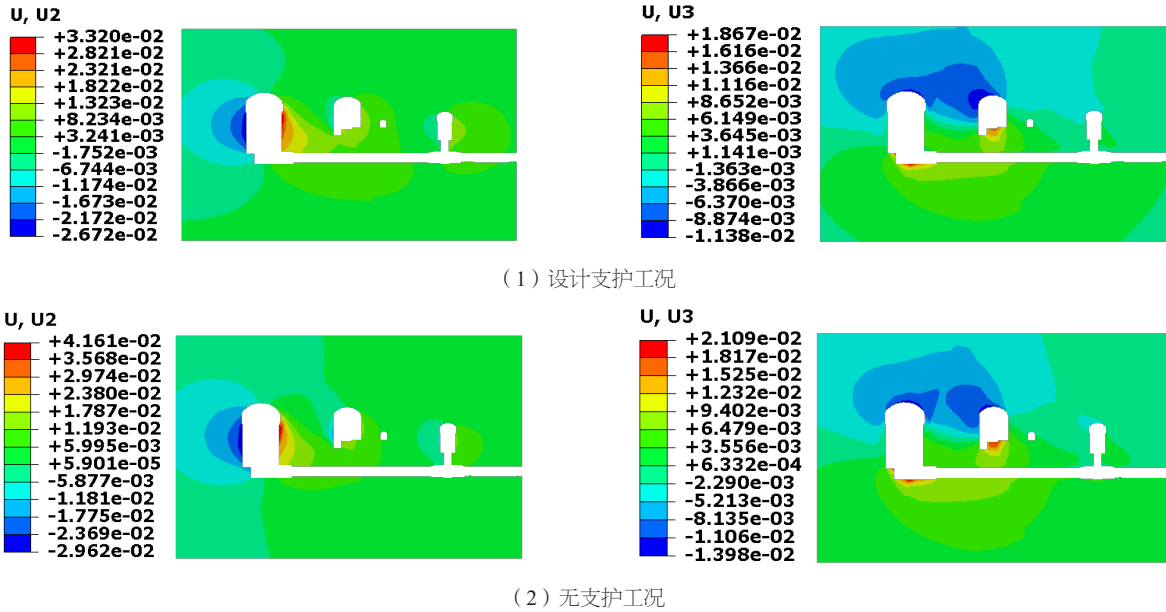


图 6-1 有无支护工况下，2# 机组位移等值线云图（U2 为水平向，U3 为铅直向）（m）

6.2 围岩应力

地下厂房最大主拉应力发生在主厂房上游墙底板与岩体交汇处，其值为 0.68MPa。最大主压应力为 -24.23MPa，发生在主变室下部上游墙底板与岩体交汇岩体处。相比无支护工况，洞室围岩的最大主拉应力从 0.63MPa 增大到 0.68MPa，最大主压应力也由 -25.09MPa 降低到了 -24.23MPa。在整个厂房开挖过程中主拉及主压应力均没有超过围岩的

强度指标。

6.3 围岩塑性区

图 6-2 为有、无支护工况下，各机组段中剖面开挖结束后洞周围岩塑性区对比示意图，给出了 2# 机组段中剖面在 7 级开挖过程中洞周围岩塑性区变化的示意图。从中可见，支护方案围岩塑性区的分布规律与无支护方案基本相同、且塑性区面积变化明显，支护效果显著。

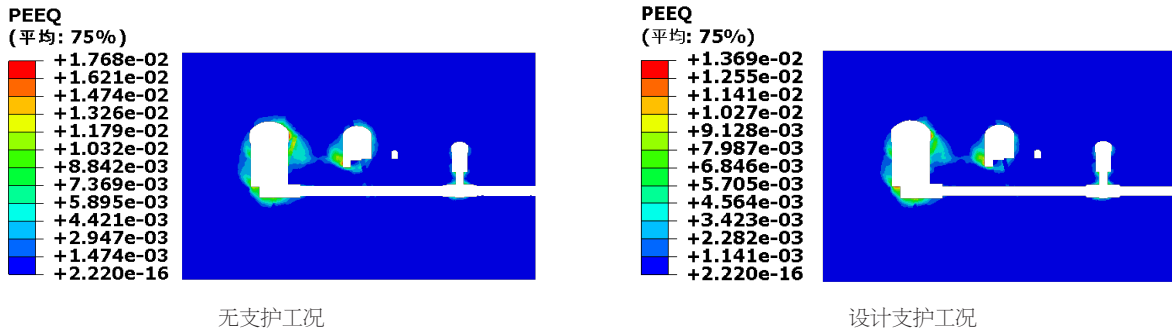


图 6-2 设计无支护及支护工况，2# 机组段中剖面主应力等值线云图 (Pa)

7 结语

根据对邢台抽水蓄能电站围岩稳定数值计算分析结果看，邢台抽水蓄能电站地下厂房设计支护方案能够满足地下厂房稳定安全要求。同时，经对主要计算结论分析，后续为河北邢台抽水蓄能电站地下厂房洞室群施工过程中的围岩稳定支护方案、断层出露部位局部采取相应的随机支护措施及开挖支护参数等提供了支撑依据。

参考文献

[1] 于新华, 王丽新, 陈建胜, 等. 某抽水蓄能电站地下洞室群围岩三维稳定分析[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(32): 73-78.
 [2] 杨庆, 杨钢, 王忠昶, 等. 块体理论在荒沟抽水蓄能电站地下厂房

系统洞室群围岩稳定性分析中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007(8): 1618-1624.

[3] 刘坤, 刘晓青, 刘庆晶. 某抽蓄电站地下厂房洞室群开挖支护过程中围岩稳定性分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(11): 79-83.
 [4] 何一纯, 丁秀丽, 吕风英, 等. 大型抽水蓄能电站地下厂房围岩变形时效特征和反馈分析[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(11): 172-179, 186.
 [5] 张恩宝, 孔张宇, 王兰普, 等. 丰宁抽水蓄能电站地下厂房围岩稳定性分析[J]. 人民长江, 2021, 52(8): 151-157.
 [6] 何艳丽. 福建云霄抽水蓄能电站地下厂房洞室群围岩稳定分析[J]. 广东水利水电, 2022(10): 42-47.