

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.01.14

白鹤滩水电站地下厂房层状节理岩体变形机理分析

刘思杰¹, 王 凯²

(1. 重庆交通大学河海学院, 重庆 410074; 2. 中国长江电力股份有限公司, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 为了研究白鹤滩水电站右岸地下厂房洞室群开挖期间的变形破坏问题, 通过分析地下厂区工程地质特征、地应力实测资料和微震监测结果, 利用通用离散元程序 UDEC 建立白鹤滩水电站地下厂房层状节理模型, 计算得到了地下厂房开挖后的应力场、塑性区、位移场分布规律, 揭示了围岩变形破坏区域。研究结果表明: 围岩变形量增加速率与开挖强度具有密切关系; 主厂房上游侧位移大于下游侧, 损伤更严重, 上游层状节理密度比下游大是造成上下游变形差异的主要原因。白鹤滩地下厂房变形机制的研究对其后续施工及其安全运营具有重要意义。

关键词: 地下厂房; UDEC; 变形特征; 围岩损伤

中图分类号: TV 689

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)01-0085-08

Deformation mechanism analysis of layered and jointed rock masses at right bank underground powerhouse of Baihetan hydropower station by DEM

LIU Sijie¹, WANG Kai²

(1. School of River&Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 410074, China;

2. Yangtze Power Co. Ltd, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: In order to study the deformation and failure of underground cavern in the right bank of Baihetan hydropower station during the excavation period, the analysis of characteristics of geologic framework, measured geostress data and result of micro-seismic monitoring was done to establish a calculation model to study the deformation of the right bank underground powerhouse during excavation unloading by using the discrete element analysis procedure UDEC. In the computation, the principle stress field, deformation field, plastic yielded zones distribution were studied, the deformation mechanism of layered and jointed rock at the underground powerhouse has been declared. The result of comprehensive study shows that the speed of deformation increasing has a close relation with the intensity of the excavation; the value of the deformation at the upstream side is larger than that at downstream, as the consequence of the fact that layered and jointed rock masses at the upstream side is denser than that at downstream side. The research on the deformation mechanism of Baihetan underground powerhouse is of great significance to its subsequent construction and safe operation.

Keywords: underground powerhouse; UDEC; deformation characteristic; surrounding rock damage

收稿日期: 2017-03-22; 修订日期: 2017-04-28

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51374149)

第一作者: 刘思杰(1994-), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 研究方向为岩土工程灾害防治。E-mail: liusijie123@163.com

0 引言

近年来我国水电站工程蓬勃发展,特别是西南地区,大批水电站项目开工建设。这些水电站通常建在深山峡谷之中,受地形条件限制,引水发电系统往往布置在地面以下,具有埋深大、规模大、地质条件复杂等特点^[1-2]。围岩变形作为埋深、开挖尺度、应力、地质条件、开挖方式及强度等各种综合因素影响的结果^[3-4],已成为地下厂房安全评价体系关键指标之一,是支护参数选取的基础^[5-7]。

数值模拟是地下厂房变形研究的重要方法。CHEN 等^[8]使用 Drucker-Prager 准则对黄河引水工程进行了变形分析;孙红月等^[9]采用非线性有限元方法对泰安抽水蓄能电站地下厂房等主要洞室进行开挖模拟;Rajinder 等^[10]使用 UDEC 重演喜马拉雅山脉地区某水电站地下厂房围岩条件及支护作用对围岩变形的影响;于崇等^[11]利用 UDEC 模拟大连地下油库工程开挖支护作用,获得节理岩体在开挖后的应力及位移场。

前人对地下洞室开挖过程中围岩变形特征及机理进行了大量的研究,但其方法往往比较单一,监测结果与数值模拟不能有机结合。微震监测作为一种有效的监测手段,能够对岩体进行三维体监测,并通过对微震监测仪器采集到的数据进行分析,得出岩石微破裂的时间、位置、规模以及发展趋势,从而揭示围岩应力及变形演化规律。由于该技术可以对围岩稳定性进行实时监测,近年来在水电行业运用很广泛。本文以白鹤滩水电站地下厂房为研究对象,利用开挖阶段围岩微震监测的结果,结合数值模拟,深入研究地下洞室层状节理岩体变形特征,探讨低地应力条件下,围岩破坏的

时空特征及机理,分析和评价地下厂房稳定性,为其下一阶段开挖和支护提供重要参考。

1 工程概况

白鹤滩水电站为金沙江下游河段第二梯级。电站采用地下厂房布置型式,左右岸引水发电建筑物均靠河床侧布置,各安装 6 台单机容量为 850 MW 的水轮发电机组,总装机容量 10 200 MW。右岸主厂房布置 7#~12#机组,主厂房开挖尺寸为 333.00 m×30.50 m (32.50 m)×89.80 m;主变洞位于主厂房下游侧 45 m 处,开挖尺寸为 272.00 m×18.80 m×35.00 m;尾调室位于主厂房下游侧 100 m 处,其半圆筒半径为 25.00 m,高度 113.50 m,上部由 11.20 m×23.00 m 闸门廊道相连,三大洞室通过 6 条母线洞、3 条尾水管等构成一等大型洞室群结构。

右岸地下厂房厂区围岩以Ⅱ、Ⅲ类灰岩、白云岩和石英岩为主,局部分布 A 类及 B 类角砾岩^[12],其中 837 m 高程地质剖面见图 1。右岸主厂房岩层产状变化大,靠江侧及中间段岩层走向为 245°~275°,倾向 S,倾角 70°~85°;山内侧岩层走向为 285°~310°,倾向 NE,倾角 60°~75°。主厂房分布有大量层状节理,并且岩层走向与厂房轴线夹角从靠江侧往山内侧逐渐变大。主厂房靠江侧岩层走向与厂房轴线夹角≤20°,中间段夹角 20°~30°,上游边墙部分≤20°,山内侧夹角>30°,典型的层状节理岩体及其张开破坏图 2 从开挖现场勘探结果可知,上游层状节理比下游更为密集。右岸地下厂房围岩地应力以重力为主;右岸厂房开挖部位实测最大值水平主应力为 9.7 MPa,集中于 5~8 MPa,为低应力水平;最大水平主应力方向集中在 NEE~EW 向,侧压系数集中在 0.5~0.9^[13]。

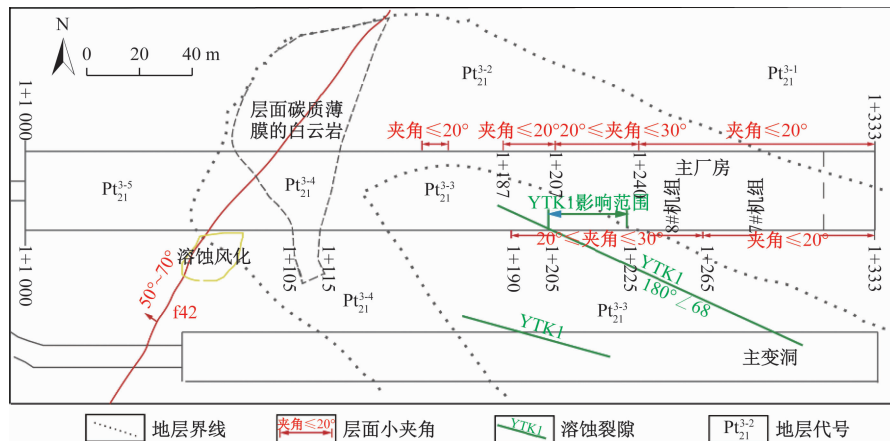
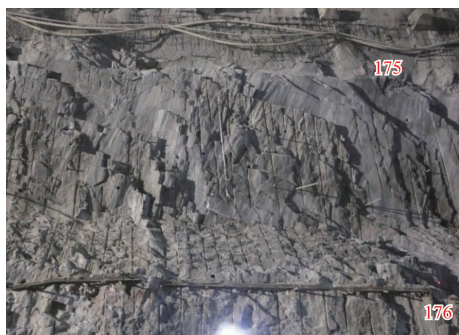


图 1 右岸地下厂房地质剖面图^[12]

Fig. 1 Geological profile of the right bank underground

总体而言,右岸地下厂房三大洞室具有“大跨度、高边墙、小夹角、陡倾角、中低地应力”的工程地质特点。在大规模地下厂房洞室群开挖卸荷作用下,围岩变形大,层状节理岩体易出现开裂、掉块等破坏现象,给地下厂房施工和运行安全带来严重的影响,需要深入分析变形特征及机理。



(a) 层状节理岩体



(b) 层状节理岩体张开破坏

图 2 典型层状节理岩体及其张开破坏^[12]

Fig. 2 Typical layered and jointed rock masses and their corresponding extension damage

2 洞室开挖方式与微震监测结果

2.1 开挖方式

白鹤滩水电站地下洞室群采用分层分步开挖方式,开挖一层支护一层;主厂房分 XI 层进行开挖,主变室分四层开挖。根据厂房地质条件,选取地质条件较差的,具有代表性的 7# 机组中心线(桩号:厂横 1 + 283 m)作为典型断面进行分析。监测数据截止到 2016 年 3 月 25 日(此时正在进行第 XI 层的开挖)。其中微震监测系统是在开挖第 VI 层时开始运行。图 3 给出了 7# 机组(桩号:厂横 1 + 283.00 m)分层开挖与微震监测布置示意图。

2.2 微震监测

针对白鹤滩水电站右岸地下厂房在爆破开挖过程中岩体的开裂、变形等问题,2015 年 7 月建设单位引

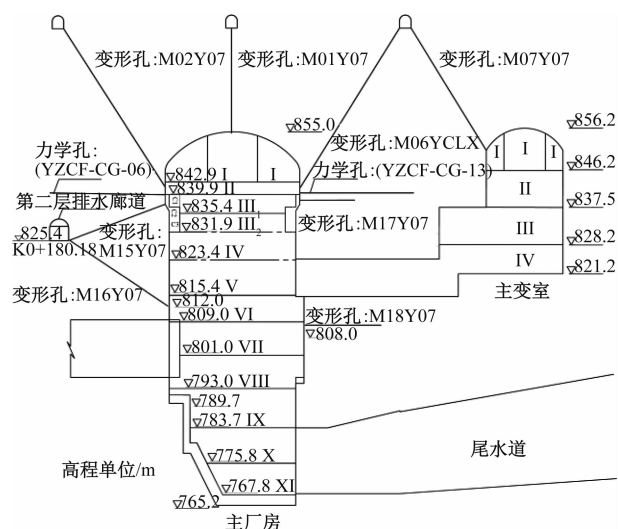


图 3 主厂房分层开挖与监测仪器布置示意图

Fig. 3 Sketch map of stratified excavation and monitoring instruments layout at the main powerhouse

入矿山微震监测系统,6 通道单轴加速度传感器分别安装在主厂房上游侧中层排水廊道和补气洞内,实现右岸地下厂房微震活动采集。通过对采集信息的处理和分析,获得微震事件发生的时间、位置、能量大小等参数,初步识别和圈定地下厂房风险区域,从而对围岩变形破坏进行评价预测,右岸地下厂房微震监测系统传感器空间布置见图 4。

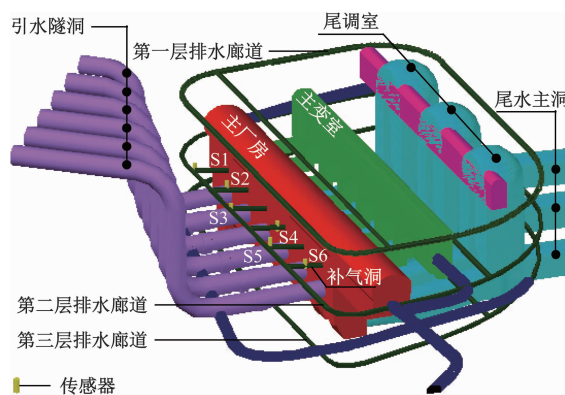


图 4 传感器空间布置

Fig. 4 Spatial layout of sensors

2015 年 7 月 7 日~8 月 30 日期间第 VI 层爆破开挖,岩体内部应力再次调整,局部区域出现应力集中,积聚在岩体内的弹性能释放,围岩损伤加剧,变形量迅速增大。剔除爆破、背景噪音后,微震采集系统共采集到 162 个有效微震事件。图 5 给出了该段时间微震事件频次分布及 7# 机组上游高程 812 m 多点位移计 M16Y07 孔口位移累积图。通过对白鹤滩地下厂房微

震事件频次分析可知,微震事件平均每天 3 个,远低于同类水电站同期水平,这可能是由于白鹤滩地下厂房围岩应力中等偏低,使得微震事件数量较少。值得注意的是 7 月 7 日~22 日微震活动频繁,其中 7 月 10 日微震事件个数达到 13 个。经现场勘探,该段时间机组正在进行 7#及 8#机组第 VI 层上半幅以及压力管道下平段开挖,致使压力管道出露,7#及 8#机组上游多面临空,引起应力集中,导致岩石发生微破裂,围岩变形量增加。7 月 23 日~8 月 30 日主要进行支护工作,微震事件活动频率具有减弱的现象,变形减缓。总体上,微震事件活动频率能够很好地反映现场施工强度。

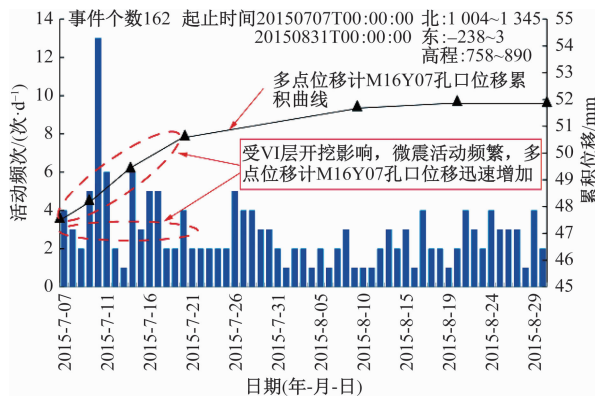


图 5 微震事件数量随时间演化规律
及多点位移计 M16Y07 累积位移图

Fig. 5 Temporal evolution laws of MS events and cumulative displacement of multipoint extensometer M16Y07

图 6 为该时段微震事件空间分布图,圆球代表微震事件,球体越大,能量越大;颜色越亮,矩震级越大,该区域边墙内部岩石破裂情况越严重。从图 6 可以看出,微震事件主要分布于 7#及 8#机组上游侧距离上游边墙临空面 35 m 以内的区域,高程在 815 ~ 845 m,呈条带状分布。可能是因为 7#及 8#机组上游边墙部位存在大量的层状节理,岩体性状差,开挖损伤严重,集中大量微震事件。

图 7(a)、(b)分别为微震监测系统揭示的白鹤滩水电站地下厂房能量云图、变形云图,可以看出,能量释放密度较大及地震变形量较大的区域均集中于 7#及 8#机组上游边墙高程 815 ~ 845 m 区域,与图 6 微震事件分布区域一致。这可能与该区域存在大量小夹角层面(图 1),在开挖作用下岩体破裂,诱发大量微震事件并释放能量有关。

微震活动可以很好的反映卸荷开挖对软弱结构面活化以及地质构造缺陷的影响。微震监测再次表明陡倾角层状节理是控制白鹤滩右岸地下厂房开挖变形破

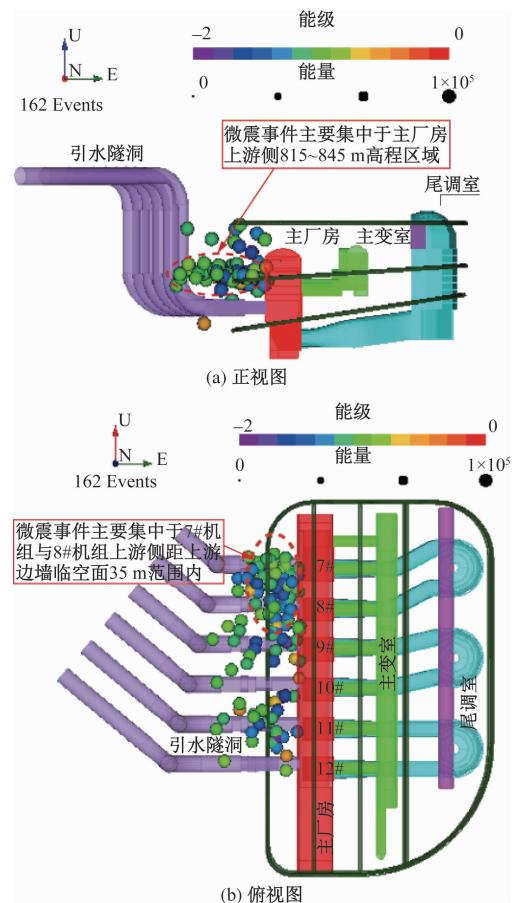


图 6 微震事件空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of MS events

坏的重要因素。微震监测可以实时监测现场施工对地下厂房围岩的扰动,准确圈定和识别围岩内部存在的变形破坏风险区,为下阶段开挖进度及支护参数的选取提供一定的参考价值。

3 数值模拟

3.1 模型建立

通过对地勘资料的综合分析,白鹤滩地下厂房 7#机组中心线(桩号:厂横 1+283 m)剖面岩体质量可以划分为 III₁ 级;最突出的地质特征是存在大量的层状节理,倾向下游,倾角大于 70°,并且上游节理密度大于下游层。因此在数值模拟过程中假设白鹤滩层状节理倾角为 75°,上游节理间距 2 m,下游节理间距 4 m。岩体变形块体模型使用 Mohr-Coulomb 弹塑性模型,结构面采用 Coulomb-Slip 模型,模型顶部采用自由边界,左右和底部边界定向约束,模型边界施加现场应力测量值反演得到的自重应力和构造应力。表 1 列出了模型中岩体及节理面参数,参数主要参考了向家渡等的设计报告^[14]。根据研究区域的不同,重点细化主厂房

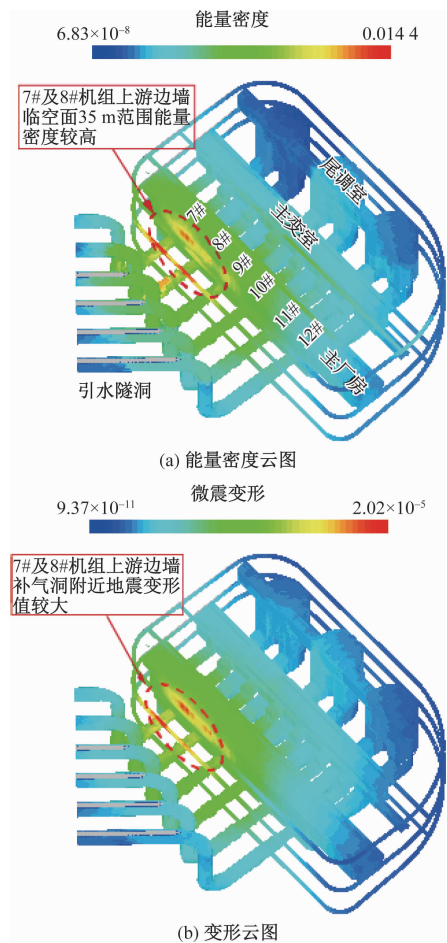


图 7 地下厂房微震事件表征参数
Fig.7 Comparison of microseismic event parameter
characterization of underground powerhouse

上下游岩体模型,对于主变室围岩进行适当粗化,提高计算效率,模型见图 8。为了获得与实际情况较为一致的变形,在考虑支护的情况下对 7#机组开挖过程进行模拟,获得应力场、位移场和塑性区分布特征,对地下洞室变形机理进行分析。

表 1 岩体和节理面物理力学参数				
Table 1 Physico-mechanical parameters of rock mass and joint surface				
岩体				
密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	剪切模量	凝聚力/MPa	摩擦角/($^{\circ}$)	抗拉强度/MPa
2 740	1.2×10^{10}	1.6	52.44	1.5
节理面				
法向刚度	切向刚度	凝聚力/MPa	摩擦角/($^{\circ}$)	抗拉强度/MPa
1×10^9	1×10^9	0.3	20	0

3.2 结果分析

图 9 (a)、(b)、(c)、(d)分别是开挖结束后的第一主应力、第三主应力、水平应力及竖向应力分布图,

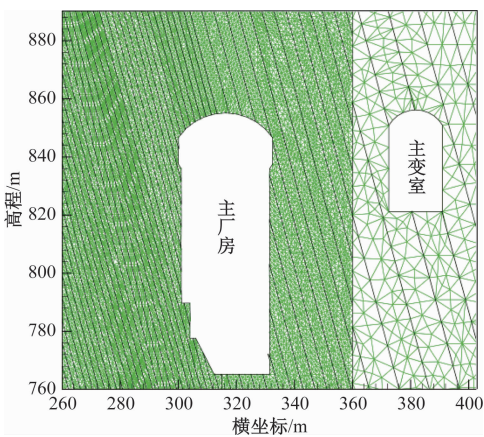


图 8 7#机组断面数值模型
Fig.8 Simulation model of underground
powerhouse along the section of 7# unit

从图 9(a)、(b)可以看出,主厂房顶拱及底部由于存在形状突变,导致应力集中,主厂房上下游均出现拉应力区域。主厂房腰部存在大面积水平应力卸荷区(图 9(a));竖向应力卸荷区主要出现在顶拱及机窝底部(图 9(b)),其范围远小于水平应力卸荷区。值得注意的是,主厂房与主变室之间岩柱竖向应力远大于其他部位,洞室群效应明显,应当加强支护。

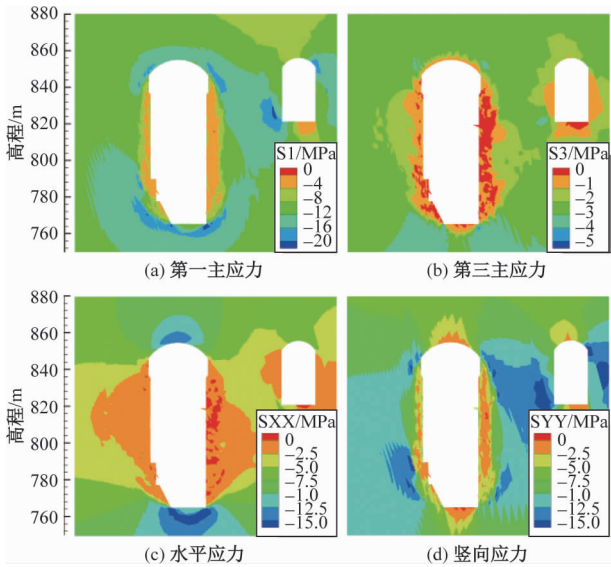


图 9 地下厂房开挖后应力场分布
Fig.9 Stress field of the right bank underground
powerhouse after excavation

图 10 给出了 7#机组开挖后的塑性区分布,受大尺寸开挖以及层状节理影响,主厂房塑性区分布具有如下特点:(1)整体上沿主厂房呈环状分布;(2)上游边墙 810~830 m 高程塑性区扩展深度较大,达 30 m 左右;(3)受洞室群效应影响,主厂房与主变洞之间的

岩柱出现了塑性区,应当适当增加对穿锚索,增强围岩承载能力。

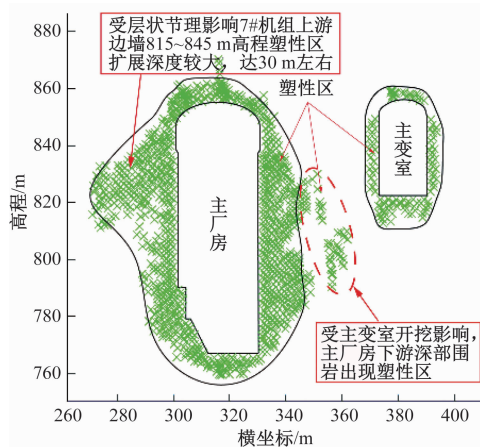


图 10 7#机组塑性区分布

Fig. 10 Plastic zones distribution of the underground powerhouse along the section of unit #7

图 11 给出了位移矢量图,箭头越长表示位移越大,黑色方框内数字表示该处的位移。经过与上一节位移监测结果的对比得知,数值计算得到的关键位置处位移符合实际情况。上游边墙变形大于下游边墙,与塑性区、应力分布一致。竖直方向,边墙中部位移较大,高边墙效应明显。上游边墙 780~790 m 高程由于开挖作用使得岩体凸出,变形远大于其他部位,需加强支护。780~840 m 高程围岩在开挖卸荷作用下,变形方向主要沿水平方向指向临空面,略偏向层状节理面。

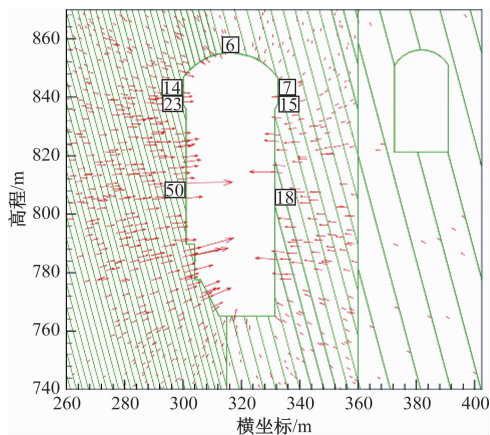


图 11 右岸地下厂房位移矢量图

Fig. 11 Displacement vector of the right bank underground powerhouse

数值模拟结果表明:受层状节理密度差异性 & 高边墙效应影响,在开挖卸荷作用下,白鹤滩水电站右岸地下厂房最大变形出现在上游边墙中部,与现场监测

结果对应良好。在开挖过程中应当优化支护参数并及时跟进支护。

4 微震监测与数值模拟对比分析

综合现场监测与数值模拟结果,给地下厂房变形提供一个全面的认识。图 12 是右岸地下厂房现场监测与数值模拟对比。图 12(a)、(b)为微震事件俯视图及正视图,云图越亮,表示微震事件越密集。从图 12(a)、(b)可以看出,7#及8#机组上游边墙 810~840 m 高程距离临空面 30 m 位置微震事件比较密集。图 12(c)为数值计算得出的位移场分布,7#机组上游边墙 810~830 m 高程位移明显大于其他位置,现场勘探发现 2015 年 7 月中旬 7#机组上游补气洞出现了与层状节理走向一致的环向裂缝(图 12(d)),与微震事件集中区域及数值模拟结果匹配良好。综合现场监测和数值模拟结果,地下厂房围岩变形基本趋于稳定,整体处于稳定状态。7#及8#机组中上游腰部陡倾角层状节理边墙围岩在开挖作用下,裂隙张开,诱发大量微震事件,变形较大。在地下厂房的开挖过程中,应当密切关注该区域微变形及微震事件的收敛及异常情况。

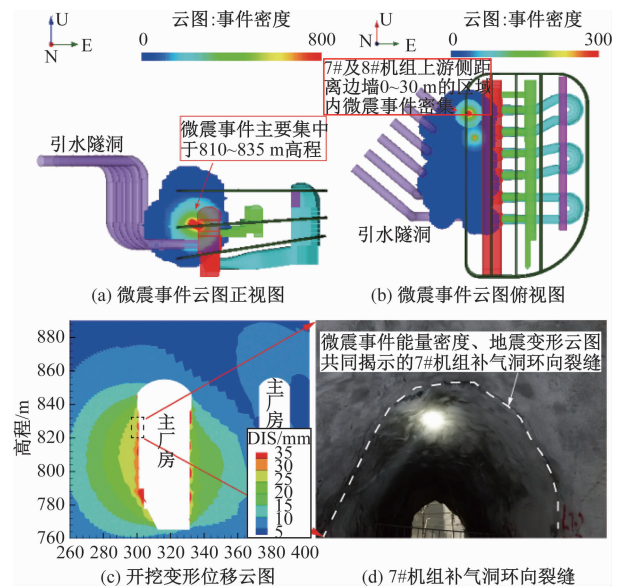


图 12 右岸地下厂房现场监测与数值模拟对比

Fig. 12 Results comparison between field monitoring and numerical simulation for the right bank underground powerhouse

5 结论

本文通过微震监测结果并结合数值模拟对白鹤滩水电站右岸地下厂房围岩变形进行综合分析,探讨了

右地下厂房层状节理岩体在开挖卸荷作用下的围岩变形特征及机理,建立了基于微震监测资料与数值模拟结果结合的岩体变形综合分析方法。主要结论如下:

(1)围岩变形速率、微震事件活动频率与施工强度成正相关。围岩变形是岩石内部破坏的外在显现;围岩微破裂是围岩变形的内在机理。在施工扰动下,围岩应力平衡受到破坏,应力集中。当应力超过围岩承受能力时,围岩发生破裂行为,微震事件频率上升,围岩变形速率增大。位移变形与损伤扩展速率均与施工强度及位置具有紧密关系,第V、VI层开挖时,边墙由于形成了高边墙效应,位移陡增。

(2)相对下游上游变形更大。上游陡倾层状节理岩体节理比下游密集是导致上游变形比下游大的主要原因。

(3)开挖作用下,主厂房腰部卸荷最为严重,以水平卸荷为主,岩石发生微破裂,裂隙萌生、扩展,最终表现为围岩腰部变形大于其他位置,以水平位移为主。

通过数值模拟结果,可以初步定量揭示变形分布特征与演化过程,为类似工程的围岩损伤研究提供参考价值。

参考文献:

- [1] 彭琦,王倬凯,邓建辉,等. 地下厂房围岩变形特征分析[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(12): 2583-2587.
PENG Qi, WANG Dikai, DENG Jianhui, et al. Analysis of surrounding rock deformation characteristics in underground powerhouse [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007,26(12):2583-2587.
- [2] 黄秋香,邓建辉,苏鹏云,等. 瀑布沟水电站地下厂房洞室群施工期围岩位移特征分析[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(S1):3032-3042.
HUANG Qiuxiang, DENG Jianhui, SU Pengyun, et al. Analysis of surrounding rock displacement character during construction in Pubugou hydropower station underground powerhouse chambers [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011,30(S1):3032-3042.
- [3] 晏长根,刘彤,伍法权. 复杂条件下大型地下洞室群的变形稳定性分析[J]. 工程地质学报,2008,16(1):84-88.
YAN Changgen, LIU Tong, WU Faquan. Deformation and stability analysis of largescale underground cavern group under complicated geological conditions [J].

- Journal of Engineering Geology, 2008, 16(1): 84-88.
- [4] 江权,冯夏庭,陈国庆,等. 高地应力条件下大型地下洞室群稳定性综合研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(S2):3768-3777.
JIANG Quan, FENG Xiating, CHEN Guoqing, et al. Stability study of large underground caverns under high geostress [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008,27(S2):3768-3777.
- [5] Zhao J, Zhu W. Stability analysis and modelling of underground excavations in fractured rocks [M]. Elsevier, 2003.
- [6] Zhu W S, Sui B, Li X J, et al. A methodology for studying the high wall displacement of large scale underground cavern complexes and it's applications [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2008,23(6):651-664.
- [7] Zhu W S, Zhang Q B, Zhu H H, et al. Large-scale geomechanical model testing of an underground cavern group in a true three-dimensional (3-D) stress state [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2010,47(9): 935-946.
- [8] Chen W Z, Zhu W S, Shao J F. Damage coupled time-dependent model of a jointed rock mass and application to large underground cavern excavation [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2004,41(4): 669-677.
- [9] 孙红月,尚岳全,张春生. 大型地下洞室围岩稳定性数值模拟分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004,38(1):70-74.
SUN Hongyue, SHANG Yuequan, ZHANG Chunsheng. Numerical modeling analysis for surrounding rockmass stability of large underground cavities [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2004,38(1):70-74.
- [10] Bhasin R, Pabst T. Finite element and distinct element analysis of the stability of a large underground hydropower machine hall in the Himalayas [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2015,19(3):725-732.
- [11] 于崇,李国文,夏祥,等. 基于离散单元法的节理岩体支护分析[J]. 岩石力学与工程学报,2013,32(S2):3245-3257.
YU Chong, LI Guowen, XIA Xiang, et al. Supporting analysis of jointed rock based on discrete element method [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013,32(S2):3245-3257.
- [12] 张存慧,刘会波,张玲丽,等. 金沙江白鹤滩水电站

- 地下厂房洞室群围岩稳定评价及支护设计优化专题报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究院, 2015:57-61.
- ZHANG Cunhui, LIU Huibo, ZHANG Lingli, et al. Stability evaluation and supports design optimization for surrounding rock mass in underground powerhouse caverns at Baihetan hydropower station along Jinsha River[R]. Wuhan: Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, 2015:57-61.
- [13] 韩晓玉,艾凯,周春华. 金沙江白鹤滩水电站可行性研究阶段地应力测试总结报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究院,2015:2-3.
- HAN Xiaoyu, AI Kai, ZHOU Chunhua. Test report of stress for surrounding rock mass in underground powerhouse caverns at Baihetan hydropower station along Jinsha River[R]. Wuhan: Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, 2015:2-3.
- [14] 向家波,熊诗湖,汪斌,等. 金沙江白鹤滩水电站可行性研究阶段坝址区岩体质量分级及参数选取专题研究报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究院,2015:73-74.
- XIANG Jiabo, XIONG Shihu, WANG Bin, et al. Research report of rock mass quality classification and parameter selection of the dam area at Baihetan hydropower station along Jinsha River in the feasibility research stages[R]. Wuhan: Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, 2015:73-74.

敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要,扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》及《中文科技期刊数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部

关于为《中国地质灾害与防治学报》征集照片的启事

为了使本刊论文内容更加形象、生动,便于读者清晰地识别地质灾害的各种地质作用及现象,反映治理措施及治后效果,本刊每期另附彩版照片。凡为彩版或封面提供照片者,每版应附 100~500 字说明,每张照片也应有相应说明。为保证出版效果,请提供原照片;若用数码相机拍摄,请采用 200 万像素以上的模式拍照。照片的分辨率应在 $1\ 600 \times 1\ 200$ dpi 以上(Fine 或 High 模式);如照片文件为扫描版,请采用 600 dpi 以上的设置扫描。如用电子邮件发送,请提供照片的原电子文档 JPG 格式(勿自行用 Photoshop 或 ACDsee 等软件处理),以保证照片的清晰度。另请提供 1 份 Word 文档,但其仅供排版时参考,不能作为印刷、排版的原始稿件。提供的照片采用刊登后,付稿酬。欢迎各地、各界同仁踊跃选送各种典型照片(含国外照片)。

感谢您的支持与合作!

本刊网址: www.zgdzzhyfzxb.com

电子信箱: nitx@mail.cigem.gov.cn zhaoh@mail.cigem.gov.cn

《中国地质灾害与防治学报》编辑部