

文章编号:1002-5634(2012)01-0104-04

动态开挖模拟技术在水电站地下厂房的应用

赵 瑜, 宋志超, 张建伟

(华北水利水电学院, 河南 郑州 450011)

摘 要: 利用 ANSYS 单元生死的模拟功能, 实现了对某水电站地下厂房的动态施工开挖模拟, 取得了一些合理的数值分析结果. 模拟过程中着重分析了在自重作用下围岩产生的地层构造应力, 以及在地层应力作用下围岩的位移状况. 开挖完毕后, 计算得出地下厂房围岩在外荷载作用下理论最大变形量达到 12.5 mm, 位于山顶处, 在母线洞附近的平均变形为 11.1 mm. 分析结果可为地下厂房的设计施工以及运行提供有效的指导.

关键词: 地下厂房; 数值模拟; 动态施工; 生死单元

动态模拟技术广泛应用于对各种过程系统的行为分析、预测与决策, 研究过程系统参数随时间的变化规律, 可得到有关过程的正确设计方案或操作步骤^[1]. 过程系统的动态特性并非完全可以从静态特性或者根据经验推断得出, 而且这类推断不全面, 有时甚至是错误的. 而认识判断的失误往往是导致事故发生的根源, 因而对于重要的过程, 采用动态数值模拟技术深入研究与分析其动态特性十分必要.

地下厂房的开挖工程具有不确定性, 动态施工模拟技术可为该类隐蔽工程的设计施工提供有效的指导. 在地下厂房开挖模拟计算中, 边界问题、构造应力、岩体自重以及施工工艺等因素对地下厂房围岩的应力、应变影响较为明显, 各种因素交叉影响, 均应引起注意并整体考虑. 笔者以某水电站地下厂房开挖工程为例, 应用动态施工模拟技术对该工程进行了动态数值模拟分析.

1 动态数值模拟的实现过程

在模拟地下厂房围岩开挖的全过程中, 考虑地下厂房将一直受到围岩重力重分布的影响. ①利用 ANSYS 中关于单元的“杀死”与“激活”功能^[2]. “激活”所有的岩体单元, “杀死”开挖后模拟临空面支护的杆件单元(对其刚度矩阵乘以一个很小的系数, 在 ANSYS 中的默认值是 $1E-6$), 初步计算地应

力的分布状况. ②后处理地应力的分布状况, 提取将要开挖部分岩体的数值计算结果, 即构成该部分岩体单元节点的数值结果, 得到“等效释放荷载”的大小. ③处理“等效释放荷载”: 由于所有的荷载在施加过程中是一次性施加完毕, 未考虑时效性, 而实际的荷载重分布过程与时间有关, 人为施加的“等效释放荷载 f ”应结合实际工程经验, 乘以一个相关的折减系数来模拟荷载释放过程中的延时效性, 常取原始地应力 f 作用下荷载大小的 0.6~0.7 倍^[3]. ④按照“等效释放荷载”的施加原则对岩体进行加载(“等效释放荷载”施加方法如图 1 所示). ⑤“杀死”将要开挖岩体部分的单元, 同时“激活”开挖后形成临空面的支护杆件单元, 模拟开挖支护的过程. ⑥重复②—④的操作方法对下一部分单元进行开挖直至开挖完毕, 并注意每开挖一次进行一次数据保存. ⑦后处理所有计算结果.

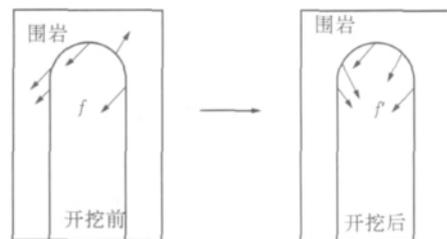


图 1 构造应力的施加方式

收稿日期:2011-11-20

基金项目:郑州市科技攻关项目(112PPTGY222-7).

作者简介:赵瑜(1964—),男,河南淅川人,教授,博士,主要从事工程结构理论分析和试验方面的研究.

利用 ANSYS 软件中的单元生死功能来模拟围岩开挖过程的主要思想是: 后一次计算的前提是基于前一次的计算结果。

2 应用实例

2.1 工程概况

某水电站位于山东省某市,是我国最早建成的几个抽水蓄能的水电站之一^[4]。该抽水蓄能水电站主要的枢纽工程由上下水库、输水系统、地下厂房和开关站等建筑物组成^[5]。地下厂房部分的主要工程枢纽有厂房洞室、主变洞、母线洞、尾水闸门以及尾水调压井洞室组成,其埋深均大于 205 m,其中厂房洞室、主变洞、母线洞和尾水闸门的洞室轴线走向为北偏西 40°。主厂房尺寸 180.0 m × 24.5 m × 52.3 m (长 × 宽 × 高),该洞室群主要置于横岭的南坡方向,地面岩体起伏不平,其高程最大达 380 m。在东

北方向有该山脉发育的冲沟,冲沟深度 15 ~ 50 m。由片麻状一块状构造的混合花岗岩组成太古界泰山群的横岭山梁,其风化程度为:全风化层厚度 < 1.5 m; 10 m < 强风化层厚度 < 20 m; 30 m < 弱风化层厚度 < 50 m。地下厂房枢纽部分处于微风化的新鲜花岗岩岩体中,以 II 类围岩为主,岩石坚硬,整体较为完整,该部分岩体的饱和单轴抗压强度大于 160 MPa。

2.2 建立有限元模型

在 CAD 中建立几何模型,设置中间传输文件然后导入 ANSYS 中,利用 ANSYS 软件强大的前处理功能,得到几何模型。结合该水电站地下厂房的开挖顺序及基本地质情况,建立有限元模型,水电站地下厂房整体模型如图 2 所示,开挖完毕后典型断面模型如图 3 所示。

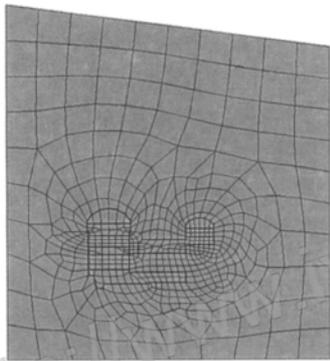


图 2 水电站地下厂房整体模型

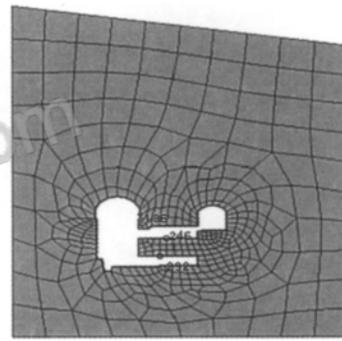


图 3 开挖完毕的典型断面模型(含节点)

地下厂房整体模型有限元单元数共计 704 个,节点数 573 个。模型左、右边界高程分别为 250 m 和 230 m。同时左右边界各延伸 50 m。在有限元模型中利用杆件单元来模拟开挖后的厂房表层岩石体所受的内力,杆件单元直接和临空面岩体的节点顺次相连接,实现同自由度。杆件单元的材料属性以钢筋的材料属性为准,作为岩体受力状况模拟的载体。每一个杆件的两端与临空面的节点以铰接的形式连接,保证二者同自由度,然后计算。验算杆件单元模拟的精确度。结果表明:该方法所得出的杆件内力在二维模拟下比较符合实际情况;而在三维模拟下,计算结果偏小,二维模拟中网格划分得横平竖直才可得到更为精确的结果。

2.3 动态数值模拟

2.3.1 围岩初始地应力场分析

应用 ANSYS 的自适应划分岩体的网格,对于重点分析的开挖部分细化网格,只考虑岩体在自重作用下原始岩体的变形及应力大小分布。计算结果表明,在该地质状况下,岩体理论上的最大位移值为

8 mm,但笔者认为在初始地应力场的作用下没有位移,岩体在自重作用下经过多年的沉积,变形已经完成,而只有构造应力分布,如图 4 所示。此处初步计算的位移值将在第一次生死单元的模拟过程中减掉,即在后面的计算之前将位移归零,而应力值的大小一直保存并参与计算。

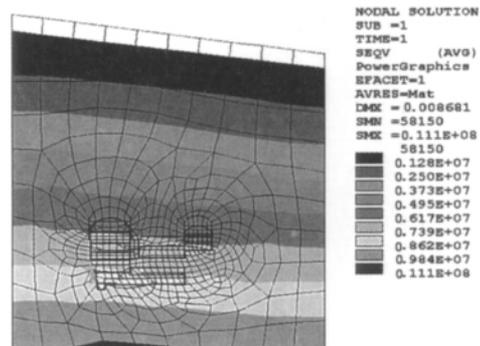


图 4 自重作用下的应力云图

在计算初始应力场分布之前,“杀死”杆件单元,使其在重力加速度的作用下不影响模拟结果。在二维模拟过程中,可以考虑岩体的节理裂隙对重力

作用下应力分布的影响.但在二维情况下,该部分的模拟过程只在质量大小上略有区别,对应力的分布基本没有影响,故直接将山体的材料属性赋予整个计算断面.由图4可知,山体的原始地应力分布和静水压力的分布基本一致,这与工程中估算山体围岩

压力大小的分布一致.

2.3.2 动态开挖位移模拟及分析

通过对该地下厂房开挖过程的模拟^[7],围岩产生的位移变化趋势如图5所示.

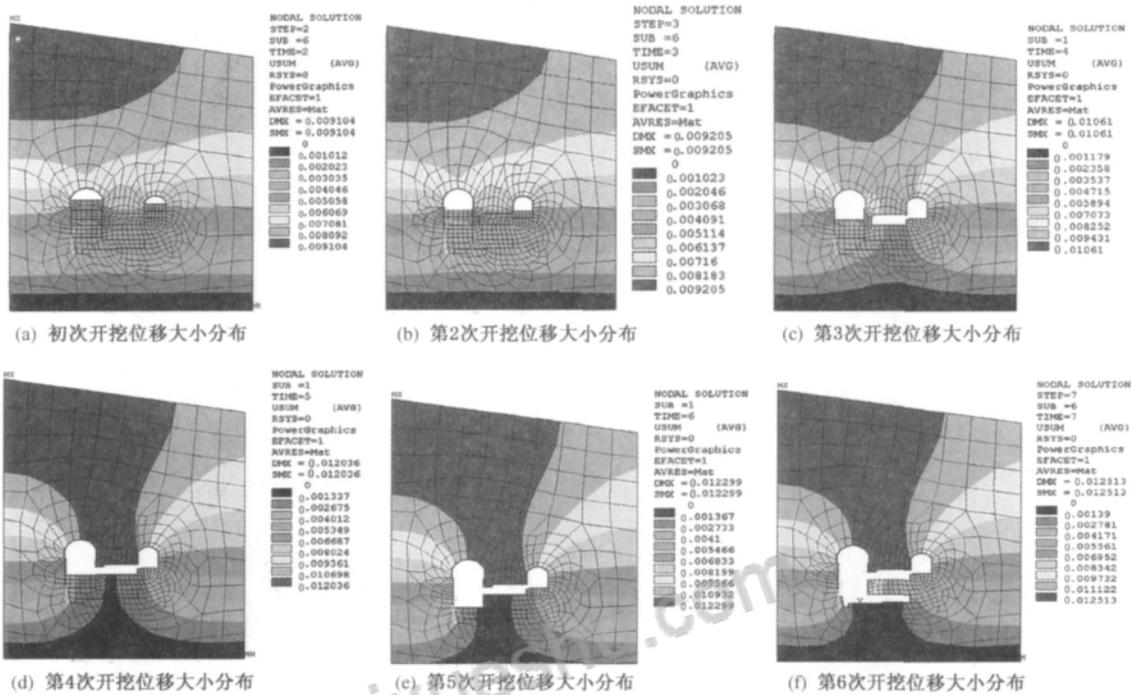


图5 开挖综合位移云图

该地下厂房的典型断面经过初次开挖,原始地应力场被破坏,山峰顶端处位移变化最大(约10 mm).由图5可知,初次开挖后,开挖部分的岩体周围形成了临空面,洞室上部区域位移值开始发生变化,已经下移.第2次开挖完毕,由于母线洞还未开挖,实际上第2次开挖后的位移分布和第1次开挖后围岩的变形一致.第3次开挖完毕,母线洞已经贯通,由围岩产生的变形整体向母线洞中心位置移动.待第4次开挖完毕,围岩产生的变形达到最大,并且延伸至母线洞的顶端部分,此时围岩必须及时支护,保证开挖的顺利进行.直至整个地下厂房围岩开挖完毕,围岩的变形量已经基本趋于平缓,分布区域基本定型.第5次和最后一次开挖,围岩的变形主要发生在尾水管和母线洞之间的实体单元.由于母线洞已经开挖完毕,此时尾水管和母线洞之间的围岩变形不会受到上层围岩的影响.在数值大小方面,每次开挖前后围岩的变形都是在毫米级别内,表明在该地质条件下围岩的抗变形能力较强.

为表明上述观点,现取吊车梁附近的代表性节点136、母线洞处代表性节点246和尾水管顶端处的代表性节点292(图3),它们的相对位移随开挖

顺序的变化如图6所示.由图6可知,位于吊车梁处的相对位移随开挖的进行,其值的变化是增函数关系,应该跟踪监测其最终位移变化及其变化速率.而位于母线洞和尾水管处的位移则有振荡的现象,由于岩石是一种脆性材料,应该避免这样的现象发生,在施工工序上要特别注意.

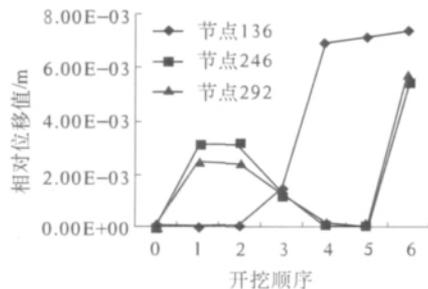


图6 关键节点随开挖顺序的相对位移

2.3.3 开挖完毕后围岩位移分析

水电站地下厂房开挖完毕,经过对临空面的岩体进行加固、防氧化等处理之后,再进行安装机组等工序,实现其真正的功能.正常运行期间,模拟了主要的静荷载:①机组的重量200 kN/m(节点295, 296, 300—306);②对母线洞和尾水管之间的部分,

在其上边缘施加线性均布的静荷载 5 kN/m , 下边缘直接固定其自由度; ③主变洞内仪器线性均布的静荷载 20 kN/m , 方向均垂直于结构线. 上述静荷载最终将直接或间接作用在围岩上. 数值模拟未考虑其时效性, 荷载也是一次性施加完毕. 通过施加上述荷载, 可以较为合理地模拟地下厂房围岩从开挖完毕到正常运行后的一系列受力情况.

重新启动 ANSYS 中生死单元的模拟功能, 在以上分析的基础上对开挖后的模型进行施加外荷载再分析. 围岩的位移分布情况如图 7 所示.

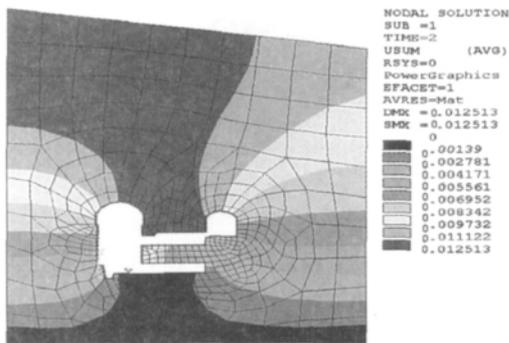


图 7 正常运行时地下厂房的等效位移云图

通过对水电站正常运行后围岩位移状况的初步模拟, 再通过比较第 6 次开挖位移云图(图 5(f))与正常运行位移云图(图 7)可知: 虽然机组等荷载的施加造成了局部围岩的应力有所增加, 但是正常运行后围岩整体的位移值并没有发生很大变化. 因此正常运行后围岩整体位移变化已趋于稳定.

3 结 语

通过 ANSYS 单元生死的模拟功能, 建立有限元模型, 对初次开挖后以及在开挖过程中各个时期围岩的位移进行分析. 结果表明, 初始地应力场下围岩

的平均应力值^[8]为 6.5 MPa , 开挖完毕, 理论最大变形量达到 12.5 mm 且位于山顶处, 在母线洞附近的平均变形量为 11.1 mm , 所以开挖后的围岩临空面必须及时处理. 该水电站地下厂房在正常运行情况下, 围岩最大变形量与开挖完毕后基本一致, 只是局部区域的位移值增大, 表明在该地质条件下该区域的围岩稳定性较好.

通过动态模拟地下厂房开挖过程, 可以简单直观地了解施工及运行时的位移变化, 准确地分析地下厂房在开挖过程中各阶段及运行中的稳定性, 为工程实践提供可靠的理论依据.

参 考 文 献

- [1] 李晓峰, 刘玉存. 数值模拟技术的工程应用与发展趋势[J]. 机械管理与开发, 2008, 24(2): 54-55.
- [2] 谭雪松. ANSYS8.0 工程中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] 沈明荣, 陈建峰. 岩石力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2006.
- [4] 陈祖煜. 水工结构工程[M]. 北京: 水利水电出版社, 2004.
- [5] 王克忠, 李仲奎, 包中坚. 水电站地下厂房层状围岩现场监测及稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 2148-2152.
- [6] 冯文文. 大跨度地下厂房开挖过程的有限元数值模拟[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [7] 李攀峰. 金沙江溪洛渡水电站坝区地应力场及地下洞室群围岩稳定性数值模拟[D]. 成都: 成都理工学院, 2001.
- [8] 赵跃堂, 范斌, 梁晖, 等. 大型深埋隧道初始地应力状态的确定[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(1): 147-151.

Application of the Dynamic Excavation Simulation Technology to the Underground Powerhouse of Hydropower Station

ZHAO Yu, SONG Zhi-chao, ZHANG Jian-wei

(North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Using simulation capabilities of ANSYS element birth and death, the dynamic excavation simulation of the underground powerhouse of a hydropower station was made and achieved some reasonable numerical results. The tectonic stress of surrounding rocks under its own weight was analyzed, as well as the displacement situation of the surrounding rock under formation stresses. After the excavation was completed, the calculated maximum deformation of the surrounding rock of underground powerhouse reached 12.5 mm on the top of the mountain under external loads, and the average deformation near the bus tunnel reached 11.1 mm . The results could provide an effective guidance for the design, construction and operation of the underground powerhouse.

Key words: underground powerhouse; numerical simulation; dynamic construction; birth-death element

(责任编辑: 乔翠平)



知网查重限时 **7折** 最高可优惠 **120元**

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重: <http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载: <http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重: http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载: <http://ppt.ixueshu.com>
