

基于 3DEC 软件的地下洞库围岩稳定性研究

王立强 郭广献 季惠彬 (北京东方新星勘察设计有限公司, 北京 100071)

摘要: 本文以某地下水封洞库工程为依托, 基于 3DEC 离散元数值模拟平台, 构建三维工程地质模型, 对不同围岩级别下洞库围岩的稳定性进行模拟。通过模拟计算, 结果显示, 围岩以 I、II 和 III 级围岩分布为主时, 围岩开挖过程和开挖后稳定性较好; 当开挖过程中遇到 III 级以下围岩时应及时支护, 边墙容易发生失稳。研究成果可为该地下水封储油洞库工程施工方案优化和支护设计提供数据支撑, 为后续类似工程项目的设计与施工提供参考依据。

关键词: 地下水封洞库; 3DEC 软件; 围岩级别; 围岩稳定性

石油是一种重要的战略物资和化工原料, 同时也是目前应用最为广泛, 储存和运输较为方便的一种能源, 素有“工业血液”之称。依据相关数据, 近些年来国内石油产量逐年下降, 但是石油表观消费量与日俱增, 致使原油对外依存度持续升高。石油战略储备对于稳定供需关系、保障国家经济安全发展具有非常重要意义, 因此加快发展和建设国家石油储备设施具有必要性和迫切性。

目前石油储备形式有地上储备库(钢罐储存)和地下储备库(地下水封洞库)两种方式。地下水封洞库较钢罐储存具有占地面积小、污染小、安全性能较高、投资成本低等优势; 对应国家二期石油战略储备计划, 地下石油储备洞库的建设无疑是最好的选择; 目前地下水封洞库从勘察设计到后期的工程施工, 都出现了很多棘手的问题, 其中洞库围岩的稳定性直接影响着洞库的开挖施工以及洞库建成后稳定运行。

本文以某地下水封储油洞库工程为依托。根据 Q 系统与 GSI、H-B 强度准则关系确定等效围岩力学参数^[1], 依据 Q 系统和经验法确立岩体结构面力学参数^[2]; 基于 3DEC 离散元数值模拟平台, 对不同围岩级别的稳定性进行评价。

1 工程概况

某地下水封洞库工程包括地下工程和地面辅助设施两部分, 设计库容 $500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

地下工程主要包括 3 条施工巷道、10 个主洞室、10 个竖井及 8 条水幕巷道。

10 条主洞室, 每 2 个主洞室组成一个洞罐, 共分为 5 个洞罐。主洞室设计长度为 923m, 设计洞跨 20m, 洞高 30m, 截面形状为直墙圆拱形。主洞室壁与相邻施工巷道壁之间设计净间距为 30m, 两个相邻主洞室之间设计净间距为 40m。洞室岩体主

要以黑云二长花岗岩。主洞室的截面形状为直墙圆拱, 拱部为两个半径 3.442m 圆弧和半径 13m 圆弧组成的三心圆拱, 边墙及底板组成高 23.508m、宽 20m 的矩形。见图 1。

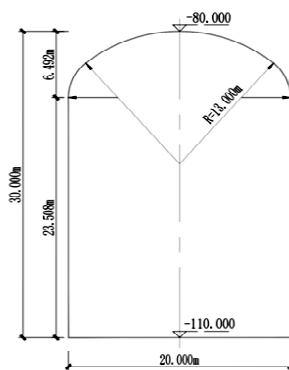


图 1 主洞室截面计算模型形状及尺寸

2 二维连续介质模型下工况模拟

在前述洞室相关参数前提下, 基于三维离散元数值计算原理, 利用 3DEC 软件进行了详细、大量的模拟, 选定围岩塑性区体积、位移、应力重分布状况作为评价指标, 最终对洞室开挖后围岩稳定性做出评价^[3-4]。

利用 3DEC 软件在不考虑结构面时, 建立模型, 为消除边界效应对模拟过程的影响, 使模型边界距主洞室模型为两倍洞跨, x 轴长度为 120m; y 轴(轴向)长度为 3m; z 轴为竖直方向, 底面高程 -170m, 顶面高程 -20m, 长度为 150m。考虑最危险工况, 一次性全断面开挖^[5]。

根据钻孔岩体质量分级, 结合洞库场地的断裂带、岩脉分布及片麻理分布情况, 统计出洞库范围内岩体所占百分比, 见表 1。

表 1 洞库影响深度范围内不同标高段各级岩体所占百分比表

岩体级别	I	II	III	IV	V
百分比 (%)	48.1	30.6	17.3	2.7	1.3

由上表可知, 库区围岩以 I、II、III 级围岩为

主, IV、V级围岩只占极少比例, 因此本文分析具有代表性的 I、II、III和IV级围岩^[2]。

2.1 I ~ II级围岩稳定性分析

由上文可知, I、II级围岩参数取值一致(从危险角度出发), 故将 I、II级围岩用同一个模型进行分析。

2.1.1 计算模型

数值模拟计算模型及网格剖分见图2。

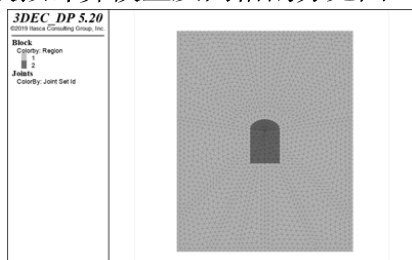


图2 计算模型及网格剖分

2.1.2 洞室开挖后围岩稳定性分析

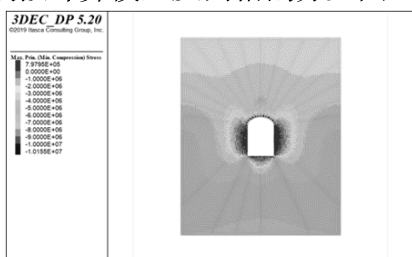
开挖后的应力场、位移场及洞室周围塑性区的分布情况如图3。

由图3可知: 最小主应力分量中, 最大压应力值为 33.49MPa, 出现在边墙与底板交界处, 考虑是应力集中形成, 最小压应力 3.50MPa; 最大主应力分量中, 最大压应力为 10.16MPa, 最大拉应力 0.80MPa; 在洞室开挖后呈现洞顶下沉、洞底回弹、边墙变形现象, 但变形量均较小, 洞顶下沉量为 15.0~20mm、洞底回弹量为 5~7.5mm、边墙变形量为 17.5~27.0mm, 最大位移值在两侧边墙处; 周围塑性区总体积为 128.3m³。

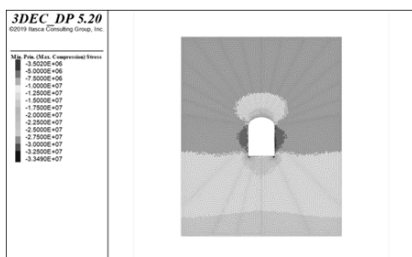
2.2 III级围岩稳定性分析

2.2.1 计算模型

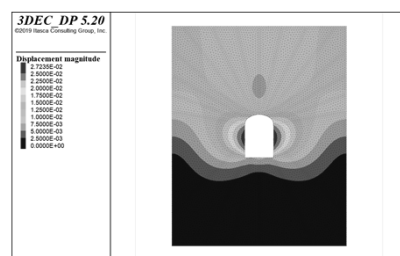
数值模拟计算模型及网格剖分见图4。



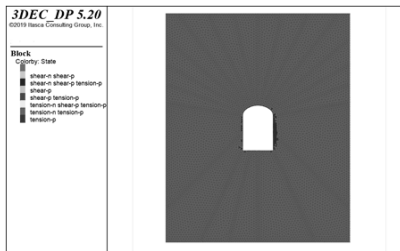
(a) 最大主应力



(b) 最小主应力



(c) 位移场分布



(d) 塑性区分布

图3 洞室开挖后的应力场、位移场及塑性区分布图

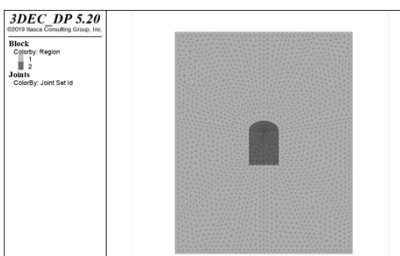
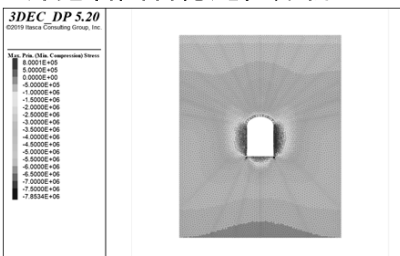
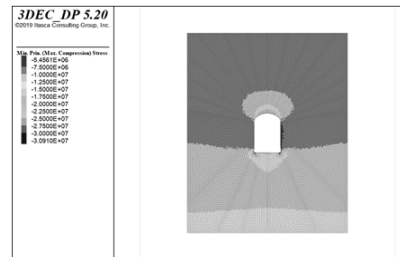


图4 计算模型及网格剖分

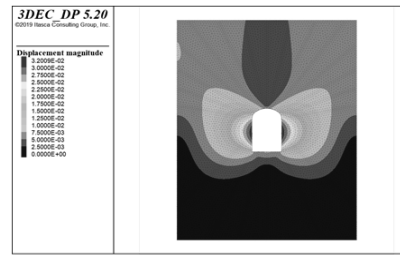
2.2.2 洞室开挖后围岩稳定性分析



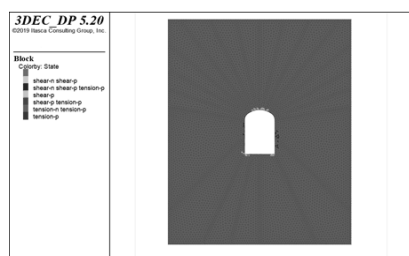
(a) 最大主应力



(b) 最小主应力



(c) 位移场分布



(d) 塑性区分布

图5 洞室开挖后的应力场、位移场及塑性区分布图

洞室开挖后的应力场、位移场及巷道周围塑性区的分布情况如图5。

由图5可知:最小主应力分量中,最大压应力值为18.46MPa,最小压应力为0.51MPa;最大主应力分量中,最大压应力为7.85MPa,最大拉应力0.80MPa,拉应力存在于两侧边墙处,拱部为压应力;在洞室开挖后呈现洞顶下沉、洞底回弹、边墙变形现象,但变形均较小,洞顶下沉量为7.5~17.5mm、洞底回弹量为7.5~10mm、边墙变形量为20~32mm,最大位移值在两侧边墙处;巷道周围塑性区总体积为58.7m³。

2.3 IV级围岩稳定性分析

2.3.1 计算模型

数值模拟计算模型及网格剖分见图6。

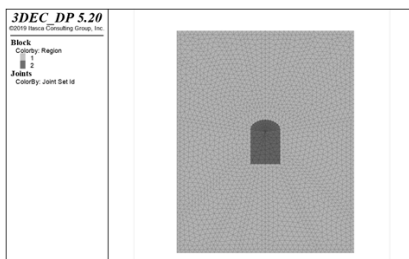


图6 计算模型及网格剖分

2.3.2 洞室开挖后围岩稳定性分析

由于IV级围岩岩石性质太差,在模拟计算过程中,模型的应力-位移计算达不到平衡状态,即位移会无限增大,对应实际工况就是围岩会产生破坏。根据模拟结果来看,主要是边墙拉裂破坏,拱部与底板位移较小,没有明显变化。如图7所示。

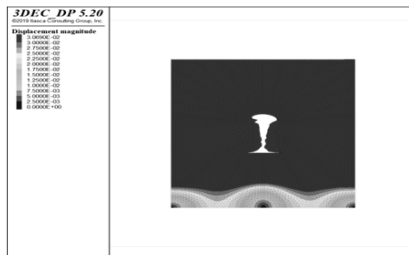


图7 围岩位移(计算未达到平衡)

3 结论

二维连续介质模型围岩稳定性分析:

① I ~ II级围岩工况下:模型开挖后最小主应力分量中,最大压应力值为33.49MPa,出现在边墙与底板交界处,考虑是应力集中形成,最小压应力3.50MPa;最大主应力分量中,最大压应力为10.16MPa,最大拉应力0.80MPa,出现在两侧边墙;在洞室开挖后呈现洞顶下沉、洞底回弹、边墙变形现象,但变形均较小,洞顶下沉量为15.0~20mm、洞底回弹量为5~7.5mm、边墙变形量为17.5~27.0mm,最大位移值在两侧边墙处与应力分布较为一致;巷道周围塑性区总体积为128.3m³;②在III级围岩工况下:模型开挖后最小主应力分量中,最大压应力值为18.46MPa,最小压应力为0.51MPa;最大主应力分量中,最大压应力为7.85MPa,最大拉应力0.80MPa,拉应力存在于两侧边墙处,拱部为压应力;在洞室开挖后呈现洞顶下沉、洞底回弹、边墙变形现象,但变形均较小,洞顶下沉量为7.5~17.5mm、洞底回弹量为7.5~10mm、边墙变形量为20~32mm,最大位移值在两侧边墙处与应力分布较为一致;巷道周围塑性区总体积为58.7m³;③在IV级围岩工况下:模型开挖后应力-形变不能达到平衡,主要表现在边墙围岩位移不断增加,拱部底板位移较小,以此可以推断出,在洞室开挖过程中围岩破坏失稳最可能发生在两侧边墙处,拉应力过大是主要原因。

根据洞库区围岩以I、II和III级围岩分布为主来看,总体上,围岩开挖过程和开挖后稳定性较好;当开挖过程中遇到III级以下围岩时应及时支护,预防边墙失稳。

参考文献:

- [1] Evert Hoek and Paul Marinos. A brief history of the development of the Hoek-Brown failure criterion: Soils and Rocks No.2, 2007:1-13.
- [2] 李宁, 张承客, 刘乃飞. 围岩稳定性评判方法适用范围探讨[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(2): 382-389.
- [3] 张奇华, 鄢爱清, 石根华. 关键块体理论在百色水利枢纽地下厂房岩体稳定性分析中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2609-2609.
- [4] 陈帅宇, 周维垣, 杨强, 等. 三维快速拉格朗日法进行水布垭地下厂房的稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003.
- [5] 张奇华, 鄢爱清, 石根华. 关键块体理论在百色水利枢纽地下厂房岩体稳定性分析中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 023(015): 2609-2614.