

# Research on stability of underground high-pressure lining gas storage based on three-dimensional numerical simulation

Zidong He

Sinochem Energy Logistics Co., Ltd. Beijing Branch, Beijing, 100031, China

## Abstract

Underground high-pressure lining gas storage has many advantages such as good sealing, high proportion of working gas, large volume compression rate, rapid capacity, flexible injection and production, no need to purify the produced gas, high gas production capacity, flexible location, flexible construction and so on. In this paper, by means of numerical simulation, three-dimensional solid model is established to study the stress and deformation of surrounding rock structure and lining structure. The results show that the main deformation of the surrounding rock and lining structure layer is located in the middle of the tank, and the strain of the lining layer is greater than the strain value of the surrounding rock, indicating that the lining layer bears the gas storage pressure and transfers the storage pressure. At the same time, the stress concentration phenomenon occurs in the intersection area between the straight wall and the disc curved wall, which is as high as 25MPa. At the same time, the stress unit of each structural layer mainly bears the combined stress. The research results can provide theoretical guidance for the construction and operation of underground high-pressure lining gas storage.

## Keywords

underground high-pressure lining gas storage; Surrounding rock; Lining structure layer; Three-dimensional numerical simulation

## 基于三维数值模拟的地下高压衬砌储气库稳定性研究

贺紫东

中化能源物流有限公司北京分公司, 中国·北京 100031

## 摘要

地下高压衬砌储气库具有密封性好、工作气比例高、体积压缩率大、达容迅速、注采灵活、采出气无需净化、采气能力高、选址灵活、建设灵活等诸多优点。本文通过数值模拟的手段,建立三维实体模型研究围岩结构层、衬砌结构层的应力变形情况。结果表明:①对于洞罐式储气库,围岩以及衬砌结构层主要变形位于罐体中部,衬砌层应变大于围岩应变值,说明衬砌层承受储气压力并传递储压,同时在罐体直墙与碟型曲墙交岔区域出现应力集中现象,高达25MPa,同时各个结构层应力单元主要承受压压组合应力;②对于巷道式储气库,围岩主要变形区域位于拱腰处,由于储气洞室断面为圆形,储气分布均匀,并无出现应力集中现象。研究成果可为地下高压衬砌储气库的建设运营提供理论指导。

## 关键词

地下高压衬砌储气库; 围岩; 衬砌结构层; 三维数值模拟

## 1 引言

随着我国经济的快速发展,环保要求的不断提高,“气化中国”战略的提出以及“煤改气”的持续强力推进,我国天然气消费逐年持续增长。2017年5月,国家发改委、国家能源局印发的《中长期油气管网规划》提出“2020年实现地下储气库工作气量148亿方,2025年实现地下储气库工作气量超过300亿方”。2018年4月,国家发改委、国家能源局印发《关于加快储气设施建设和完善储气调峰辅助服务市场机制的意见》(以下简称《意见》),要求“供

气企业要拥有不低于其合同年销售量10%的储气能力,城镇燃气企业要形成不低于其年用气量5%的储气能力,县级以上地方人民政府至少形成不低于保障本行政区域日均3天需求量的储气能力”。我国储气规模存在巨大缺口,即使建设规模达到国家规划及政策要求,其与国际平均水平相比也仍然存在较大差距。地下储气库作为储气调峰体系的主要手段,其建设对于实现国家规划及政策目标、提升国家储备水平十分必要。我国储气库建设缺口极大,已经迎来储气库建设的黄金期。但储气库建设受选址因素限制,推动缓慢<sup>[1-8]</sup>。

地面储气库主要采用高压球罐,地面高压球罐单罐容积小、占地面积大、安全风险高,不适合大规模建设储存。地下高压衬砌储气库只需要选择坚硬完整的岩体,其选址适宜性优点突出。本文通过数值模拟的手段,建立地下高压衬

【作者简介】贺紫东(1982-),男,中国北京人,硕士,助理工程师,从事石油化工研究。

砌储气库三维实体模型研究围岩结构层、衬砌结构层的应力、变形情况，为地下高压衬砌储气库罐体结构设计提供支撑。

## 2 洞罐式储气库稳定性分析

运营期，储气库开始规律性注采循环，储气洞室内各结构层稳定性受注采储气压力影响，以极限储压为主要荷载，分析在不考虑注采循环等温度因素单一应力场的模拟工况，选取埋深 275m、洞径 38m、高径比 2.3 作为研究对象，在 ABAQUS 中建立三维实体模型，储压最高值为 15MPa，围岩主要为典型硬岩，衬砌层采用 C35 混凝土，厚度 500mm，为简化计算时间，建立 1/4 模型如图 1 所示：

图 2、图 3 分别给出了围岩结构层、衬砌结构层数值模拟应力、变形云图。由洞罐三维模型数值模拟结果可知：当储压达到 15MPa 时，围岩以及衬砌结构层主要变形位于罐

体中部，衬砌层应变大于围岩应变值，说明衬砌层承受储气压力并传递储压，同时在罐体直墙与碟型曲墙交岔区域出现应力集中现象，高达 25MPa，同时在各个结构层应力单元主要承受压缩组合应力。

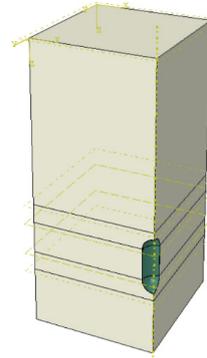


图 1 地下高压衬砌储气库三维模型

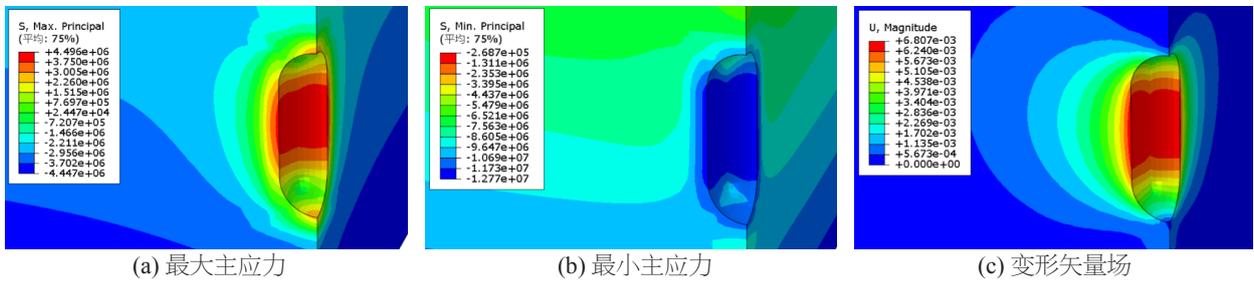


图 2 围岩结构层三维数值模拟结果

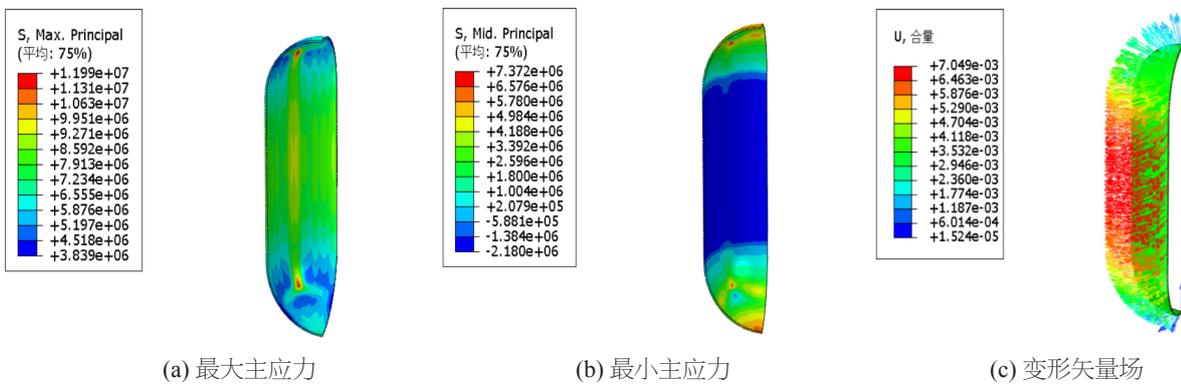


图 3 衬砌结构层三维数值模拟结果

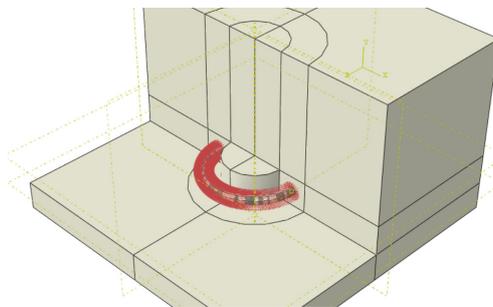


图 4 巷道式储气库三维模型

### 3 巷道式储气库稳定性分析

选取埋深 150m、洞径 10m 作为研究对象，建立三维实体模型，储压最高值为 15MPa，围岩主要为典型硬岩，衬砌层采用 C35 混凝土，厚度 500mm，储气洞室为环向闭合储气库，为简化计算时间，建立模型如下：

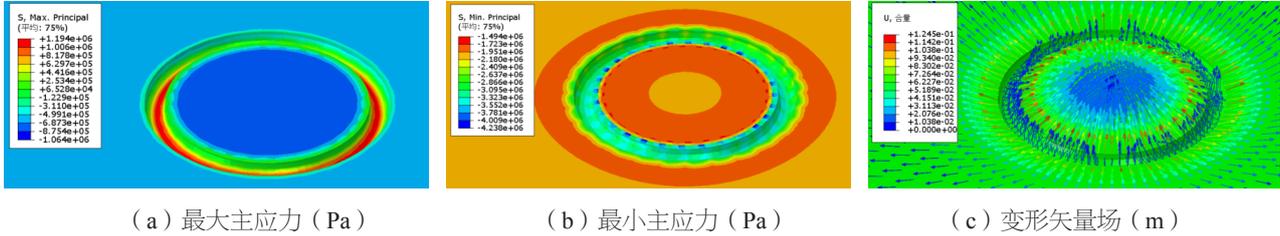


图 5 围岩结构层三维数值模拟结果

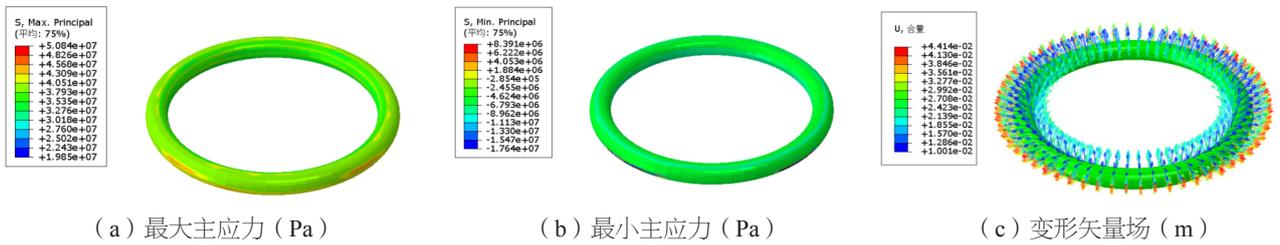


图 6 衬砌结构层三维数值模拟结果

### 4 结论

本文采用 ABAQUS 软件构建了地下高压衬砌储气库三维模型，对围岩结构层、衬砌结构层进行了三维数值模拟分析，得到的主要结论如下：①对于洞罐式储气库，在给定洞室储压值 15MPa、埋深 275m、洞径 38m、高径比 2.3 工况下，进行三维实体模拟分析，围岩以及衬砌结构层主要变形位于罐体中部，衬砌层应变大于围岩应变值，说明衬砌层承受储气压力并传递储压，同时在罐体直墙与碟型曲墙交岔区域出现应力集中现象，高达 25MPa，同时在各个结构层应力单元主要承受压缩组合应力。②对于巷道式储气库，在给定洞室储压值 15MPa、埋深 150m、洞径 10m 工况下，进行三维实体模拟分析，围岩主要变形区域位于拱腰处，由于储气洞室断面为圆形，储气分布均匀，并无出现应力集中现象。

#### 参考文献

[1] 丁国生, 魏欢. 中国地下储气库建设20年回顾与展望[J]. 油气

储运, 2020, 39 (1) : 25-31.

[2] 丁国生, 李春, 王皆明, 等. 中国地下储气库现状及技术发展方向[J]. 天然气工业, 2015, 35 (11) : 107-112.

[3] 马新华. 中国天然气地下储气库[M]. 北京: 石油工业出版社, 2018.

[4] 马新华, 郑得文, 魏国齐, 等. 中国天然气地下储气库重大科学理论技术发展方向[J]. 天然气工业, 2022, 42 (5) : 93-99.

[5] 曾大乾, 张广权, 张俊法, 等. 中石化地下储气库建设成就与发展展望[J]. 天然气工业, 2021, 41 (9) : 125-134.

[6] 张福强, 曾平, 周立坚, 等. 国内外地下储气库研究现状与应用展望[J]. 中国煤炭地质, 2021, 33 (10) : 39-42.

[7] 张刚雄, 陈建军, 郑得文, 等. 中国储气库建设与发展策略思考[J]. 国际石油经济, 2016, 24 (12) : 28-33.

[8] 丁国生, 丁一宸, 李洋, 等. 碳中和战略下的中国地下储气库发展前景[J]. 油气储运, 2022, 41 (1) : 1-9.