

文章编号:1000-582X(2003)02-0039-03

# 岩盐溶腔围岩应力分布规律的有限元分析

刘新荣<sup>1,2</sup>, 姜德义<sup>2</sup>, 许江<sup>2</sup>, 鲜学福<sup>2</sup>

(1. 重庆大学土木工程学院, 重庆 400045; 2. 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:**在有限元数值计算的基础上,分析了岩盐溶腔围岩地应力等值线图以及主应力随深度和水平方向的变化规律,探讨了溶腔顶板跨度、溶腔水压力以及岩盐层埋深等因素对岩盐溶腔围岩地应力分布的影响。研究认为,主应力一般将随深度的增大而增大;离岩盐溶腔的趋近,岩盐溶腔对其周围地应力分布的影响程度也随之增大。随着顶板跨度的增加,在岩盐溶腔边界的地应力集中愈明显,且波及的范围愈大;随着溶腔内水压力的逐渐增大,岩盐溶腔围岩内的地应力集中逐渐削弱;随着岩盐层埋深的增大,岩盐溶腔围岩内地应力集中现象愈加明显,且其围岩内的地应力绝对值也将明显增大。

**关键词:**溶腔围岩; 地应力; 分布规律; 影响因素

**中图分类号:**TD325

**文献标识码:**A

岩盐溶腔稳定性是岩盐溶腔采盐中影响卤井安全生产期的关键问题之一<sup>[1]</sup>,研究表明,岩盐溶腔围岩地应力是影响岩盐溶腔稳定性的主要因素之一<sup>[2-4]</sup>,笔者在文献[5]对计算力学模型、数值分析方法、岩性特征参数、单元划分等的分析研究和文献[6]岩盐力学性质研究的基础上,通过对不同溶腔顶板跨度、不同溶腔水压力、不同岩盐层倾角以及岩盐层在不同埋深、不同厚度等各种因素影响下岩盐溶腔围岩地应力进行有限元分析,深入地分析和探讨了在各种不同因素影响下的岩盐溶腔围岩的地应力场的分布特征、变化规律及其主要影响因素,这对进一步研究岩盐溶腔稳定性规律、提高岩盐溶腔开采安全生产期等具有重要的意义。

## 1 岩盐溶腔围岩地应力分布的基本规律

为探索岩盐矿井水溶开采岩盐溶腔围岩地应力分布规律,从岩盐溶腔围岩地应力各主应力等值线图、主应力沿深度方向和沿水平方向上的变化规律等几个方面进行了分析。

### 1.1 应力等值线图

图1为顶板跨度 $L$ 为100 m,溶腔水压力 $P$ 为15 Mpa,岩盐层埋深 $H$ 为1 000 m、倾角 $\alpha$ 为 $0^\circ$ 条件下单溶腔模型的主应力 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 和最大剪应力 $\tau_{\max}$ 等值线图。分析可以发现,岩盐溶腔围岩地应力分布具有如下特点:

下特点:

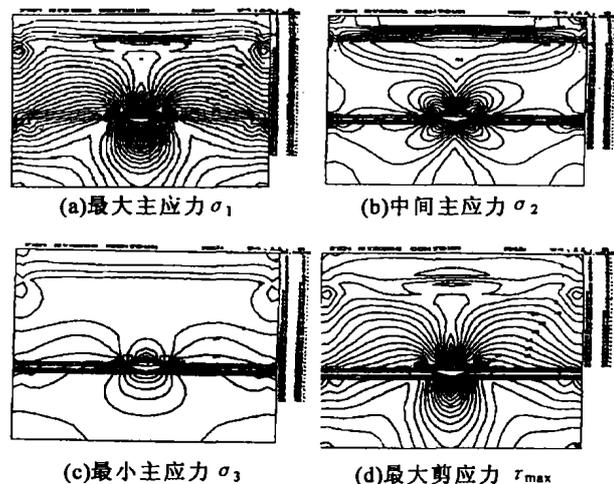


图1 主应力等值线图

1) 最大主应力 $\sigma_1$ 一般将随深度的增大而增大,但在岩盐溶腔顶、底板略小于顶板跨度 $L$ 的区域内存在一明显的应力松弛带,在岩盐溶腔的边缘区域则存在一较为强烈的应力集中区,并夹有一应力降低带;

2) 中间主应力 $\sigma_2$ 随深度的增加而增大的幅度不太明显,但在岩盐层中有较为强烈的应力集中现象。此外,在岩盐溶腔周围也存在与 $\sigma_1$ 相似的变化规律,只是其变化幅度相对较小一些而已,并可能出现拉应

• 收稿日期:2002-10-25

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(50104013)

作者简介:刘新荣(1969-),男,浙江开化人,副教授,博士后,主要从事岩土和隧道工程的教学与研究工作。

力现象;

3) 最小主应力  $\sigma_3$  的变化规律与  $\sigma_2$  类似,但产生拉应力的区域及其大小将会更大;

4) 最大剪应力  $\tau_{max}$  的变化规律与  $\sigma_1$  相似,但岩盐溶腔对其围岩内应力分布的影响将更为明显,且其影响范围也相对较大一些。

### 1.2 主应力沿深度方向的变化规律

图2为在横坐标  $y$  分别取 0、150 m 和 300 m 时主应力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  沿铅垂方向上的变化曲线。显然,岩盐溶腔对其周围地应力分布有很大的影响,随着距离岩盐溶腔的移近,其影响程度也随之而增大,在岩盐溶腔边缘达到极大值,而在岩盐溶腔顶板则有一个相对降低区。

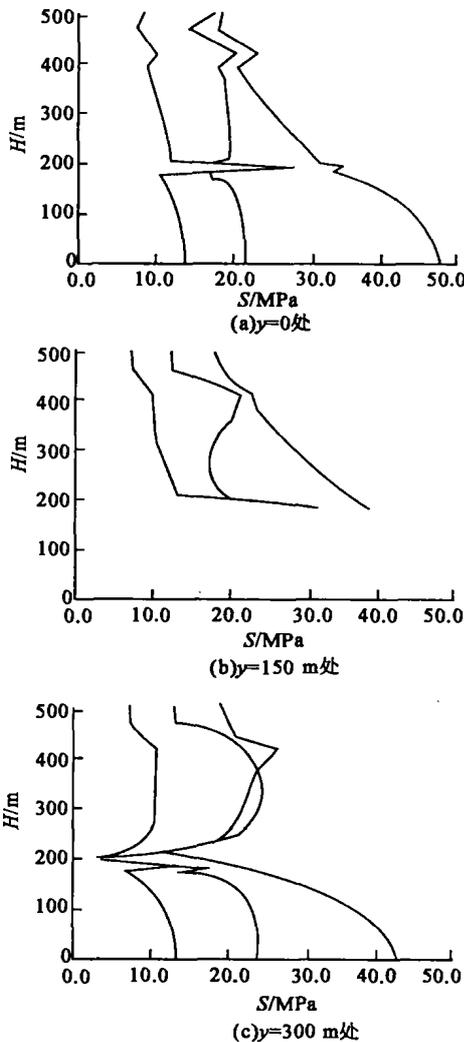


图2 主应力沿深度的分布

### 1.3 主应力沿水平方向的变化规律

图3为在岩盐层顶、底板的主应力沿水平方向的变化规律图。分析可以看出,在岩盐层底板,在岩盐溶腔下部有一明显的应力降低现象,在其溶腔边缘区域

主应力有一应力峰值现象;在岩盐层顶板,其主应力在岩盐溶腔边缘区域出现明显的双峰现象,而在其溶腔下部区域则为应力降低区;随着距离岩盐溶腔顶板的远去其主应力沿水平方向的变化渐趋平缓。

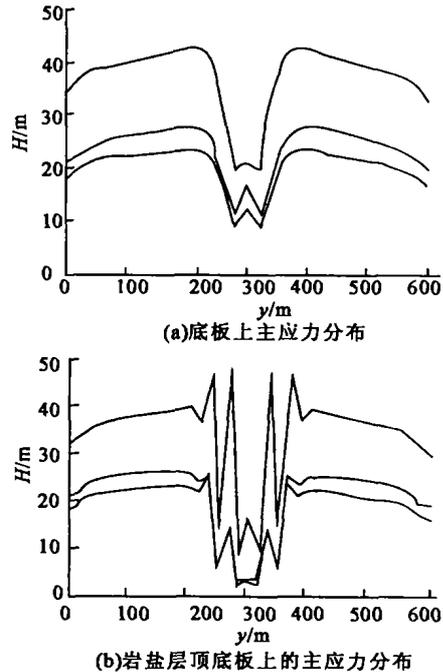


图3 岩盐层顶底板上的主应力分布

## 2 影响岩盐溶腔围岩地应力分布的主要因素讨论

### 2.1 给定边界约束条件模式

1) 在模型上部边界采用了均布应力约束边界,以模拟该地质体上部边界至地表范围内的地质体部分的岩体自重作用;

2) 在模型左右边界对称地采用了线分布应力约束边界,以模拟该地质体所承受的来自水平方向的构造应力和自重应力;

3) 在模型的下部边界则采用了相应法线方向上的零位移约束。此外,考虑到整个体系的静定问题,在下部边界中点还约束了其沿切线方向的移动。

### 2.2 岩盐溶腔顶板跨度对围岩地应力分布的影响

图4给出了在岩盐溶腔水压力  $P$  为 15 MPa、岩盐层埋深  $H$  为 1 000 m、岩盐层倾角  $\alpha$  为  $0^\circ$  的由给定边界约束条件下岩盐溶腔顶板跨度  $L$  分别为 0 m、100 m、和 200 m 时最大主应力  $\sigma_1$  的等值线分布图。显然,随着顶板跨度的不断增加,在岩盐溶腔边界的地应力集中愈明显,且地应力集中所波及的范围愈大。

### 2.3 岩盐溶腔内水压力对围岩地应力分布的影响

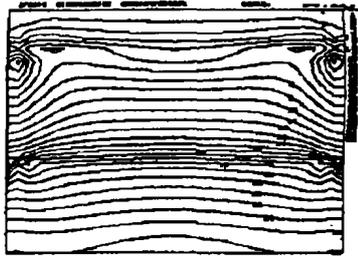
图5给出了在  $\alpha$  为  $0^\circ$ 、 $H$  为 1 000 m、 $L$  为 100 m 的由给定边界条件下  $P$  为 0 MPa、10 MPa 和 20 MPa 时

$\sigma_1$  的等值线分布图。显然,随着溶腔内水压力的逐渐增大,岩盐溶腔围岩内的地应力集中逐渐削弱,溶腔围岩内的地应力分布将逐渐趋于平缓。

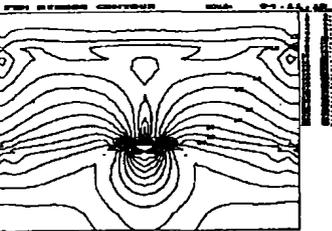
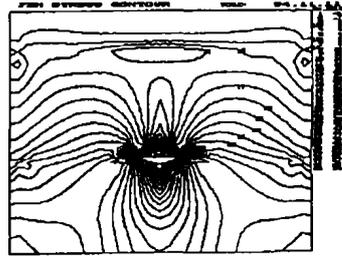
### 2.4 岩盐层埋深对溶腔围岩地应力分布的影响

图 6 给出了在  $\alpha$  为  $0^\circ$ 、 $L$  为 100 m、 $P$  为 15 MPa 的

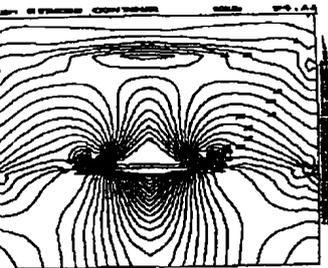
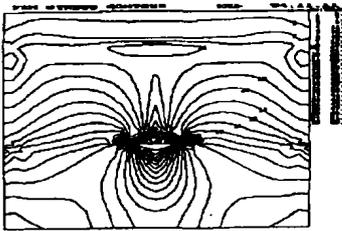
由给定边界条件下  $H$  为 300 m、1 000 m 和 2 000 m 时  $\sigma_1$  的等值线分布图。显然,随着岩盐层埋深的增大,岩盐溶腔围岩内地应力集中现象愈加明显,且其围岩内的地应力绝对值也将明显增大。



(a)没有溶腔时

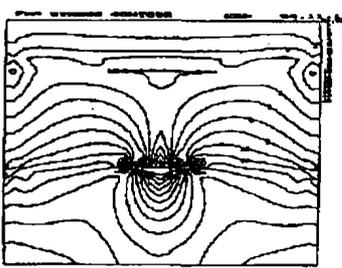


(b)溶腔顶板跨度为100 m时

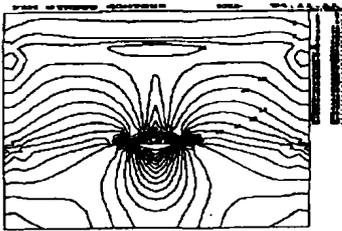


(c)溶腔顶板跨度为200 m时

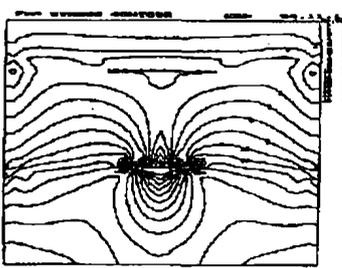
图 4  $\sigma_1$  的等值线分布图  
(随顶板跨度而变化)



(a)溶腔水压力为0时

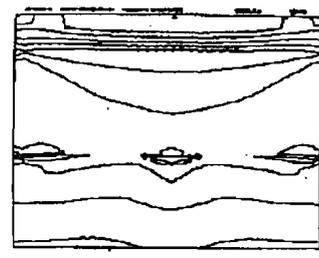


(b)溶腔水压力为10 Mpa时

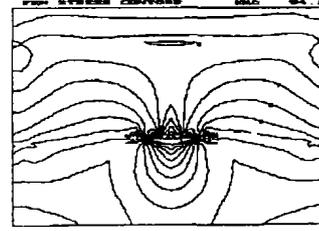


(c)溶腔水压力为20 Mpa时

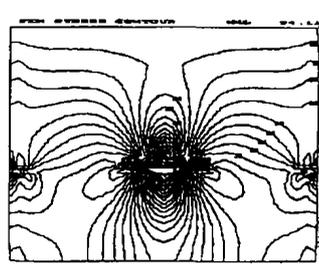
图 5  $\sigma_1$  的等值线分布图  
(随水压力而变化)



(a)岩盐埋深为300 m时



(b)岩盐埋深为1000 m时



(c)岩盐埋深为2000 m时

图 6  $\sigma_1$  的等值线分布图  
(随岩盐埋深而变化)

### 3 结 语

运用有限元分析方法,研究了岩盐溶腔围岩的应力等值线分布规律、主应力沿深度方向的分布规律以及主应力沿水平方向的分布规律等,同时也探讨了岩盐溶腔顶板跨度、溶腔内水压力、岩盐层埋深等因素对岩盐溶腔围岩地应力分布的影响程度。从理论上认识了岩盐溶腔围岩地应力分布规律,对岩盐水溶开采溶腔稳定性的研究等具有参考价值。

#### 参考文献:

[1] 林元雄. 盐类水溶采矿技术[M]. 成都:四川人民出版社,

1990.

[2] 于学馥. 地下工程围岩稳定性分析[M]. 北京:煤炭工业出版社,1983.

[3] 刘新荣. 岩盐溶腔覆岩沉降和变形规律的研究[J]. 化工矿物与加工,1999,28(7):21-25.

[4] 余海龙,鲜学福,刘新荣. 大采深岩盐溶腔稳定性的简化模型试验研究[A]. 中国青年学者岩土工程力学及应用讨论会论文集[C]. 北京:科学出版社,1994.

[5] 刘新荣. 岩盐溶腔围岩地应力场有限元分析——计算模型与分析方法[J]. 化工矿物与加工,2000,29(1):11-14.

[6] 刘新荣. 岩盐变形特性的试验研究[J]. 矿冶工程,1999,19(4):12-15.

(下转第 46 页)

- 程学报, 1997, 34(4): 35 - 42.
- [16] SHIH T S. Effect of Freezing Cycles on Bond Strength of Concrete[J]. Journal of Struct. Engng, ASCE, 1988, 114(3): 719 - 725.
- [17] 蔡昊. 混凝土抗冻耐久性预测模型[D]. 北京: 清华大学土木系, 1998.
- [18] 慕儒. 氯化钠、硫酸钠溶液对混凝土抗冻性的影响及其机理[J]. 硅酸盐学报, 2001, 29(6): 523 - 529.
- [19] 魏广和, 慕儒. 氯盐溶液与快速冻融共同作用下混凝土的性能[J]. 建筑技术, 2001, 32(10): 658 - 660.
- [20] 全明研. 老化和损伤的钢筋混凝土构件的性能[J]. 工业建筑, 1990, 20(2): 15 - 19.
- [21] 慕儒. 荷载作用下高强混凝土的硫酸盐侵蚀[J]. 工业建筑, 1999, 29(8): 52 - 55.

## Effect of Reinforced-Concrete Deterioration on Structures

CHEN Zhao-hui, HUANG He

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstracts:** It is proposed that the research of the structural durability is necessary considering the structural damages under the effect of deterioration of reinforced concrete. The most common reasons, which cause the deterioration of structures in China, are reinforcement corrosion and freeze-thaw cycles of concrete. Based on the summarizing of research works of the effect of reinforced concrete deterioration on structures, it is indicated that the structural durability research should be carried out either in view of material science or that of structural science, and should be also considered the interaction of several factors with uncertain nature instead of the determined individual factor analysis. The structural durability of serviceable should be paid much more attention while researching the durability of structural capacity. The effect of reinforced concrete deterioration on structural capacity, rigidity and durability should be researched henceforth.

**Key words:** structural durability; concrete deterioration; reinforcement corrosion; freeze-thaw cycles

(责任编辑 姚 飞)

(上接第 41 页)

## FEM Analysis of Stress Distribution Law in the Rocksalt Cavity's Surrounding Rock

LIU Xin-rong, JIANG De-yi, XU Jiang, XIAN Xue-fu

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. Key Laboratory For the Exploitation of South - West Resources and Environmental Disaster Engineering of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Basic on the FEM numerical analysis, the contour maps stress of rocksalt cavity's surrounding rock and the major principal stress's law changed with the depth and horizontal direction are analyzed. The influencing factors to the distribution of the stress surrounding rocksalt cavity, such as cavity's span, water pressure and the depth of rocksalt layer is also studied. The results show that major principal stress becomes big with the increase of rocksalt's depth. The cavity's influence to the stress's distribution will be clearer with the nearer to the cavity. The stress's centralization will be weaker with the accretion of water pressure in rocksalt's cavity. But the stress's centralization will be stronger, and the stress's value increases.

**Key words:** cavity's surrounding rock; crustal stress; distribution; affect factor

(责任编辑 姚 飞)