

# 基于有限元模拟的盘县盆地煤层气分布研究

任中俊<sup>1,2</sup>, 王俊<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 页岩气资源利用湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

2. 河南理工大学 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室, 河南 焦作 454000)

**摘要:**对黔西地区盘县盆地的构造应力场进行了有限元计算,探讨了该地区的煤层气富集区域。有限元计算结果表明,盘县盆地最大主应力集中的区域主要出现在土城向斜、照子河向斜的东南部以及旧普安向斜的东部,Mises 应力集中的区域与最大主应力集中的区域基本重合。最大主应力集中的区域通常是煤层气富集较集中的区域,建议在盘县盆地的煤层气开发中重点对这几个区域进行地质勘探。

**关键词:**构造应力场;煤层气;有限元模拟;最大主应力

**中图分类号:**TD845

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-9102(2016)02-0046-04

## Investigation of distribution of tectonic stress field and coal seam gas in Panxian Basin based on finite element simulation

REN Zhongjun<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Shale Gas Resource Utilization, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. State Key Laboratory Cultivation Base for Gas Geology and Gas Control, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Based on the finite element simulation of tectonic stress field, the distribution of coal gas in Panxian Basin is investigated in this paper. The finite element results show that the areas with larger maximum principal stress in Panxian Basin are mainly distributed at the area of Tucheng skew, the southeast area of Zhaozihe skew, and the east area of Jiupuan skew. The areas with larger Mises stress are similar of those with larger maximum principal stress. Since the areas with larger maximum principal stress are usually enriched of coal seam gas, it is suggested these areas should be geologically explored.

**Key words:** tectonic stress field; coal seam gas; finite element simulation; maximum principal stress

煤层气是指以吸附或游离态储存于煤层中的非常规天然气,煤层气的主要成分为甲烷,所以也叫煤层甲烷<sup>[1]</sup>。我国的煤层气资源非常丰富,有关数据表明我国埋藏深度在2 000 m以内的可供开采的煤层气资源大约有 $10 \times 10^{12} \sim 15 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,为常规天然气资源的3~5倍,因此煤层气开发对我国的能源建设有非常重要的作用。

在煤层气的勘探开发中,需要首先调查煤层气富集的分布情况。构造应力场是油气资源运移的主要动力,它控制着地下油气的生成、运移、富集和贮存,一般认为煤层气容易富集在地层的高应力区<sup>[2,3]</sup>。因此,可以利用对构造应力场的定量研究,来实现对煤层气资源分布情况的初步评估<sup>[4]</sup>。比如,张泓等<sup>[5]</sup>探讨了古构造应力场与煤层渗透性之间的关系,陈刚等分析了大宁-吉县地区地应力场对煤层高渗区的控制特征<sup>[6]</sup>,孙晓庆<sup>[7]</sup>探讨了构造应力场对油气储积的影响因素,张晓丽<sup>[8]</sup>分析了阜新盆地构造应力场对煤层

收稿日期:2015-07-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51204067);河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室开放基金资助项目(WS2012A05)

通信作者:任中俊(1981-),男,四川渠县人,博士,讲师,研究方向:岩石本构关系、损伤断裂等。E-mail: sea1800@sina.com

气赋存及运移的影响. 本文以黔西地区盘县盆地为例,对盘县盆地的构造应力场进行了有限元模拟,利用有限元结果对盘县盆地的煤层气分布情况进行了初步分析.

## 1 地质概况

黔西滇东地区是我国重要的盆地煤层气分布区,该地区可供开采的煤层气资源约占全国可开采煤层气资源的10%,其含煤面积大于200 km<sup>3</sup>的煤层气盆地多达20余个<sup>[9]</sup>. 盘县盆地是黔西滇东地区的一个主要的煤层气聚集区,盆地面积共1 227 km<sup>2</sup>,其地质图如图1所示. 盘县盆地包含有4个向斜:照子河向斜、旧普安向斜、盘关向斜和土城向斜,并分别处于2个构造带和黔西南旋扭构造带之中,即“一盆两地”的复式向斜<sup>[9,10]</sup>. 照子河向斜为2个构造单元的“过渡带”,旧普安向斜形成一个箕状断陷,与在照子河向斜接合部位构造线有向东拉引现象,即构造线向东弯曲. 照子河向斜的南边沿盘关向斜和东南方向的旧普安向斜相连,北边接着土城向斜,形成一个北西转东西向的长条形. 从地质图可以看出,在照子河向斜的中部以及东部有2个凹部和2个隆起部分,其西部是一个凹陷. 旧普安向斜的北部是以照子河向斜的中部隆起地带作为边界,其南边相接的是老地层,西边界是一断层. 由于受到南北向应力场的作用,产生了一系列的南北向至北东向的小型断裂带.



图1 盘县盆地地质构造示意图

## 2 有限元模型

盘县盆地裂隙众多、地质情况复杂,在有限元模拟中难以建立三维模型,因此本文在有限元建模时采用了二维模型. 由于煤层气开发的有利深度一般为300~1 200 m之间,并且盘县盆地向斜两翼煤层的埋深低于1 km,考虑到地下600 m深处可以兼顾这2个特征,而本文能获取到该深度处的地质数据,因此本文对该地区地下600 m深度的地层构造应力场<sup>[9,10]</sup>进行了有限元模拟,所建立的有限元几何模型如图2所示. 图2中实线为地质区块界限,粗线为地层断裂带. 在有限元计算中采用隐式算法,其边界条件设置:上下边界(南北向)施加28 MPa的均布压力,左右边界(东西向)施加26 MPa的均布压力. 为满足有限元积分的收敛性要求,将模型右下角的一个节点在水平和铅垂2个方向的位移进行约束,并将模型右上角的1个节点在水平方向的位移进行约束. 将几何模型划分为16 379个三角形单元和15 825个四边形单元,并且所有材料单元都设置为减缩积分的平面应变单元.

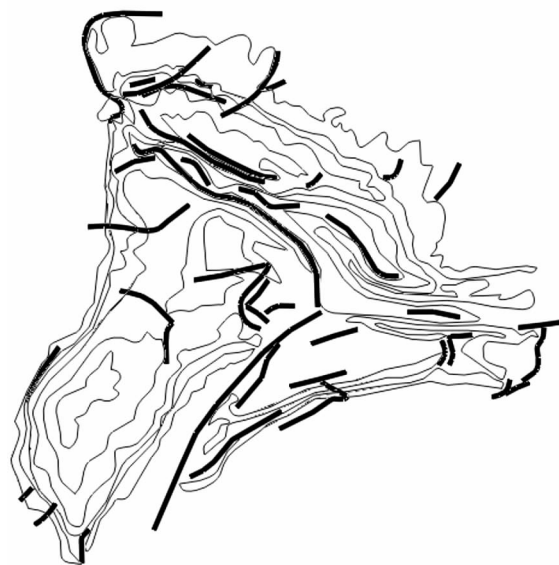


图2 有限元几何模型

为了计算方便,在进行浅层地质体的应力计算时一般都假设为线弹性材料,本文的有限元计算也采用

相同的处理方法,对所有的岩层区块都采用线弹性模型.盘县盆地地层跨 5 个地质年代,分别是峨眉山玄武岩组、龙潭组至汪家寨组、飞仙关组、永宁镇组、关岭组,每组地层具有不同的材料特性.根据相关资料,采用了如表 1 所示的材料常数.几何模型中的断裂带都处理为裂纹,在有限元计算中采用面面接触,裂纹面的接触定义为摩擦滑移,其摩擦系数取为 0.32.

### 3 有限元分析

为了便于分析盘县盆地的构造应力场,本文给出了有限元计算得到的该地区的最大主应力分布云图和 Mises 应力分布云图.图 3 为最大主应力分布云图,图中的深色区域为最大主应力集中的区域,浅色区域的最大主应力较小.从图 3 可以看出,最大主应力集中的区域为图中的西北部靠北的区域、东北部靠近盆地正中的区域以及东部靠近盆地正中的区域.

将图 3 所示的最大主应力云图与图 2 所示的地质构造图进行对比,可以知道盘县盆地最大主应力集中的区域主要出现在土城向斜、照子河向斜的东南部以及旧普安向斜的东部.由于最大主应力较大的区域常常是煤层气富集较好的区域,因此在盘县盆地的煤层气勘探开发中,应重点关注这几个区域(图 4 中的矩形标识区).文献[10]中指出,盘县盆地土城向斜和照子河向斜的煤层渗流性高于盘关向斜和旧普安向斜,由于煤层高渗区即意味着较高的煤层气富集,因此本文基于有限元分析的煤层气富集区与该文献中的结果基本保持一致.值得注意的是,本文的高应力区主要位于 3 个向斜的部分地区,因此本文结果也大致符合向斜富气论<sup>[11]</sup>的学说.

作为最大主应力的补充,图 5 给出了 Mises 应力分布云图,其中 Mises 应力表示为

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \quad (1)$$

图 4 中深色区域为 Mises 应力集中的区域,浅色区域的 Mises 应力集中程度较小.图 5 的 Mises 应力集中的区域与图 3 的最大主应力集中的区域大致相同,不同的是图 5 出现了几个条带状的区域,这是由于这些条带区域刚好位于地质断裂带上,由于几何突变出现了较大的 Mises 应力,但是其相邻区域的 Mises 应力则迅速减小,因此该区域并不考虑为煤层气富集区.

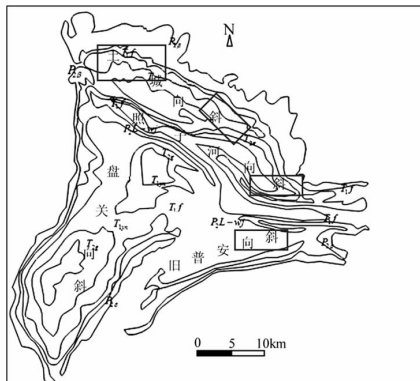


图 4 盘县盆地煤层气富集区

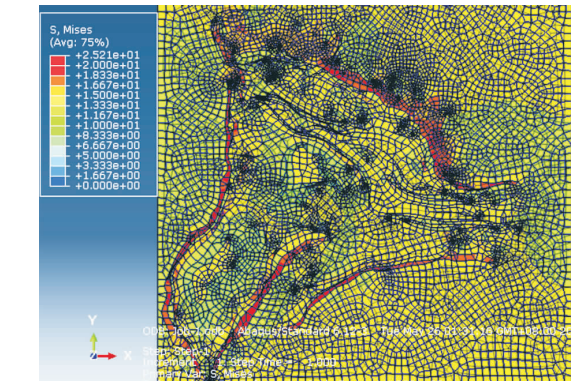


图 5 Mises 应力分布云图(单位:MPa)

表 1 材料常数

地层	地质层编号	弹性模量/GPa	泊松比
峨眉山玄武岩组	P <sub>2b</sub>	62.5	0.25
龙潭组至汪家寨组	P <sub>2</sub> L~wj	34.5	0.25
飞仙关组	T <sub>1f</sub>	52.5	0.30
永宁镇组	T <sub>1yn</sub>	25.8	0.30
关岭组	T <sub>2g</sub>	45.5	0.25

## 4 结论

1)有限元计算结果表明,盘县盆地的最大主应力集中的区域为土城向斜、照子河向斜的东北部以及旧普安向斜的东部.最大主应力集中的区域通常是煤层气富集较高的区域,建议在盘县盆地的煤层气开发中重点对几个区域进行地质勘探.

2)基于有限元分析得到的煤层气富集区与文献中的煤层高渗区基本一致,结果符合向斜富气论的学说.

3)Mises 应力集中的区域与最大主应力集中的区域基本相同,但是在地质断裂带上出现了几个 Mises 应力集中的条带状区域,由于其相邻区域的 Mises 应力迅速减小,该部分带状区域并不考虑为煤层气富集区.

### 参考文献:

- [1] 赵庆波.世界煤层气工业发展现状[M].北京:地质出版社,1998.
- [2] 李明潮,梁生正,赵克镜.煤层气及其勘探开发[M].北京:地质出版社,1996.
- [3] 赵庆波,李五中,孙粉锦.中国煤层气分布特性及高产富集因素[J].石油学报,1997,18(4):52-55.
- [4] 操成杰.川西北地区构造应力场分析与应用[D].北京:中国地质科学院,2005.
- [5] 陈刚,赵庆波,李五忠,等.大宁-吉县地区地应力场对高渗区的控制[J].中国煤层气,2009,6(3):15-20.
- [6] 张泓,王绳祖,郑玉柱,等.古构造应力场与低渗煤储存的相对高渗区预测[J].煤炭学报,2004,29(6):708-711.
- [7] 孙晓庆.古构造应力场有限元数值模拟的应用及展望[J].断块油气田,2008,15(3):31-33.
- [8] 张晓丽,何金先.构造应力对阜新盆地煤层气成藏的影响[J].中国煤层气,2010,7(2):6-12.
- [9] 桂宝林.黔西滇东煤层气地质与勘探[M].昆明:云南科技出版社,1998.
- [10] 窦新钊,姜波,秦勇,等.黔西盘县地区煤层气成藏的构造控制[J].高校地质学报,2012,18(3):447-452.
- [11] 李贵中,王红岩,吴立新,等.煤层气向斜控气论[J].天然气工业,2005,25(1):26-28.