

库车坳陷克拉 2 气藏异常高地层压力成因力学分析

张明利¹, 谭成轩², 汤良杰³, 孙炜锋²

1. 中国石油化工集团公司石油勘探开发科学研究院, 北京 100083

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

3. 石油大学盆地中心, 北京昌平 102249

摘要: 在已有的众多超压机制中, 构造应力作用是人们普遍认为有效的少数几种增压机制之一。为此, 进行了克拉 2 气藏剖面三维构造应力场数值模拟。研究结果表明在克拉 2 储集层构造部位有 10 MPa 左右的应力集中, 克拉 2 气藏异常高地层压力中约 50 MPa 由构造应力作用引起, 剩余部分由其他增压机制引起。该研究对于准确评价气藏的储量、指导气藏开发等有一定的意义。

关键词: 库车坳陷; 克拉 2 气藏; 异常高地层压力。

中图分类号: P618.130.2

文章编号: 1000-2383(2004)01-0093-03

收稿日期: 2003-03-05

An Analysis on Mechanical Genesis of Overpressure at Kala 2 Gas Pool in Kuqa Down-Warping Region

ZHANG Ming-li¹, TAN Cheng-xuan², TANG Liang-jie³, SUN Wei-feng²

1. Institute of Hydrocarbon Exploration and Development, China Petroleum & Chemical Cooperation, Beijing 100083, China

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China

3. Basin Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract: Tectonic stress action is one of the few effective over-pressuring mechanisms in many existing over-pressuring mechanisms. Therefore, a vertical three-dimensional tectonic stress section passing Kala 2 gas pool is simulated. The results show that there is about 10 MPa stress concentration at Kala 2 reservoir structural part, and that there is about 50 MPa that is caused by tectonic stress action in the overpressure of Kala 2 gas pool, and the rest by other over-pressuring mechanisms. This research has significance for reasonably assessing and developing gas pool.

Key words: Kuqa down-warping region; Kala 2 gas pool; overpressure.

0 引言

克拉 2 气藏位于库车坳陷北部克拉苏构造带, 是西气东输工程的主要气源基地之一(图 1)。关于其下第三系和白垩系异常高地层压力的成因, 除深部三叠、侏罗系的高压烃源岩因天然气生成、向上运移而使浅部圈闭地层压力增加的解释外, 有必要从构造方面对其进行力学分析。因为在已有的众多超压机制中, 构造应力作用是人们普遍认为有效的少

数几种增压机制之一 (Prabhakara, 1987; Luo and Vasseur, 1992; Yassir and Rogers, 1993; Bredehoeft *et al.*, 1994; Grauls and Baleix, 1994; Finkbeiner *et al.*, 2001; Tan *et al.*, 2001)。

1 克拉 2 气藏特征

克拉 2 气藏由 3 个简单的背斜气藏组成, 即下第三系白云岩、下第三系底砂岩—白垩系巴什基奇

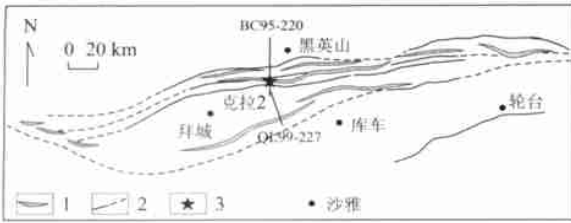


图 1 克拉 2 气藏构造简图

Fig. 1 Structural sketch map of Kala 2 gas pool

1. 褶皱; 2. 断裂; 3. 克拉 2 气藏

克组 I、II 岩性段和白垩系巴什基奇克组第 III 岩性段, 现分述如下:

下第三系白云岩背斜气藏: 背斜顶部埋深 3 530.5 m, 储层厚 9 m; 在埋深 3 495.7 m 处, 地层压力 75.94 MPa, 压力系数 2.22, 地层温度 108 °C; 气藏盖层为巨厚下第三系膏泥岩。

下第三系底砂岩—白垩系巴什基奇克组 I、II 岩性段背斜气藏: 背斜顶部埋深 3 560 m, 储层厚 305 m; 在埋深 3 587.68 ~ 3 843.13 m 之间, 地层压力 73.63 ~ 74.595 MPa, 压力系数 2.02 ~ 2.11, 地层温度 97 ~ 102 °C; 气藏盖层为下第三系 20 m 厚的膏泥岩。

白垩系巴什基奇克组第 II 岩性段背斜气藏: 背斜顶部埋深 3 888 m, 储层厚 81 m, 地层压力 73.16 MPa, 压力系数 1.89 ~ 1.94, 地层温度 107 ~ 110 °C; 气藏盖层为 3 871.2 ~ 3 876.3 m 之间厚 5.1 m 和 3 884 ~ 3 887.8 m 之间厚 3.8 m 的膏泥岩。

综上所述, 克拉 2 气藏具有低温、高压特征。关于克拉 2 气藏异常高地层压力的成因, 已有解释认为, 坳陷深部三叠系和侏罗系烃源岩因天然气生成而使地层压力增加, 高压烃源岩中的高压流体向上运移到浅部储层中聚集, 并仍保持一定的原始压力,

最终导致储层中异常高地层压力。并且, 储层中流体包裹体均一化温度支持克拉苏构造带储层中有深部高温热液供给。无疑这一成因解释有其合理性, 但属于一种定性的分析, 对天然气的生成总量、运移和聚集过程, 是否能够在储层中达到如此高的地层压力, 异常高地层压力中构造应力作用所占比例等都有待进一步研究。下面将从构造应力作用方面定量探讨其对储层中异常高地层压力的贡献。

2 克拉 2 气藏力学分析

本文将采用三维有限元方法对克拉 2 气藏进行构造应力场数值模拟, 分析克拉 2 气藏储层附近平均应力变化规律, 探讨构造应力对储层中异常高地层压力的影响。

2.1 力学模型建立

依据 QL99-227 & BC95-220 地震剖面解译成果, 建立如图 2 所示的力学模型。模型中断层按断裂带考虑, 分别划分单元, 并给予相应的物理力学参数。剖面考虑一定厚度, 按三维实体等参元进行模拟。

2.2 物理力学参数和边界条件确定

模型物理力学参数依据研究区实测数据进行选取(表 1), 并且表中自上而下的顺序和图 2 自上而下的层序相对应。位移边界条件采用模型底部 Y 方向约束、前后 Z 方向约束、两侧采用应力边界条件、顶面自由, 应力边界条件按梯形载荷加载, 依据实测数据其回归方程为: $\sigma_{max} = 0.02841 H + 18.7895$ (H 为深度, 单位为 m), 并且应力作用方向与剖面方向近于平行。

2.3 模拟计算

运用美国 Algor 公司的有限元程序 SuperSAP

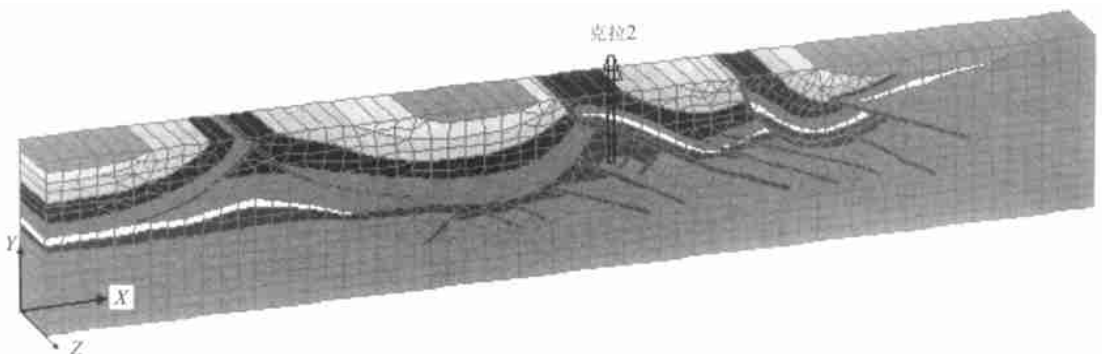


图 2 三维构造应力场模拟有限元模型

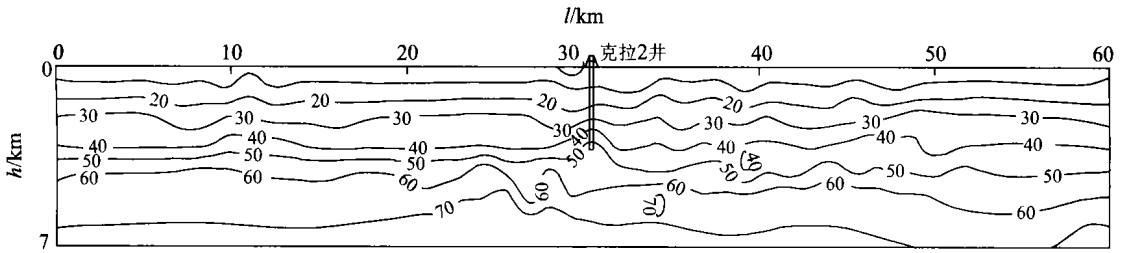


图 3 平均有效应力等值线(单位: MPa)

Fig. 3 Mean effective stress contour

表 1 物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters

岩性时代	$\rho_g / (\text{MPa} \cdot \text{km}^{-1})$	E / MPa	ν
第四系 (Q_{3-4})	20	8 000	0.32
西域组 (Q_{1x})	20	12 000	0.28
库车组 (N_2k)	21	15 000	0.26
康村组 (N_1k)	22	20 000	0.25
吉迪克组 (N_1j)	21.6	5 000	0.42
苏维依组 (E_{2-3s})	22.1	10 000	0.30
库木格列木组 (E_{1-2km})	20.1	6 000	0.35
前第三系 (Pre R)	23.1	35 000	0.23
断裂带	20	8 000	0.32

ρ_g : 容重; E : 弹性模量; ν : 泊松比.

3 结论

通过对克拉 2 气藏异常高地层压力构造成因分析, 发现在克拉 2 气藏构造部位存在约 10 MPa 的构造应力集中, 在该气藏异常高地层压力中约 50 MPa 由构造应力作用引起, 这对于准确评价气藏的储量、指导气藏开发等有一定的意义.

异常高地层压力的成因分析是一项复杂工作, 多数增压机制不能从量化的角度去解释, 本文也仅仅是一种初步探索, 难免存在一些问题, 恳请有关专家提出宝贵意见, 以便进一步完善此项研究.

References

Bredehoeft, J. D., Wesley, J. B., Fouch, T. D., 1994. Simulation of the origin of fluid pressure, fracture generation, and the movement of fluids in the Uinta basin, Utah. *AAPG Bulletin*, 78(11): 1729–1747.

Finkbeiner, T., Zoback, M., Flemings, P., et al., 2001. Stress, pore pressure, and dynamically constrained hydrocarbon columns in the South Eugene Island 330 field, northern Gulf of Mexico. *AAPG Bulletin*, 85(6): 1007–1031.

Grauls, D. J., Baleix, J. M., 1994. Role of overpressure and in situ stresses in fault-controlled hydrocarbon migration: A case study. *Marine and Petroleum Geology*, 11(6): 734–742.

Li, M. C., 1994. Oil and gas migration. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

Luo, X. R., Vasseur, G., 1992. Contributions of compaction and aquathermal pressuring to geopressure and the influence of environmental conditions. *AAPG Bulletin*, 76(9): 1550–1559.

Prabhakara, R. P., 1987. Overburden stress gradient and stress ratio (S & K factors) of East Geodavari sub-basin (on-shore) and its information pressure and fracture

的SSAPOH执行程序进行计算. 对于八节点三维实体等参元, 可用最大主压应力(σ_{max}), 最小主压应力(σ_{min}), 中间主压应力(σ_{int})等应力参数讨论应力大小变化规律. 需要说明的是这里考虑的是由构造作用引起的应力, 未考虑地层压力作用. 下面主要讨论由 σ_{max} 、 σ_{min} 和 σ_{int} 应力参数计算出的平均有效应力 σ_o ($\sigma_o = (\sigma_{max} + \sigma_{min} + \sigma_{int}) / 3$) 在剖面上的变化规律.

2.4 结果分析

图 3 为平均有效应力 σ_o 在剖面上的变化规律. 从图 3 可以看出克拉 2 气藏储集层的平均有效应力较附近同等深度高 10 MPa 左右, 说明在该构造部位有一定的应力集中. 已有研究表明储集层的孔隙多为流体饱和(李明诚, 1994), 对于像克拉 2 这样的异常高地层压力, 储集层早已达到饱和状态. 对于饱和储集层, 由构造作用引起的平均有效应力全部由孔隙中流体所承受, 即平均有效应力全部转化为孔隙流体压力(王连捷等, 1996; Tan et al., 2001). 克拉 2 气藏的地层压力为 73 ~ 76 MPa, 其中约 50 MPa 由构造应力作用引起, 剩余部分由其他增压机制引起.

(下转 102 页)

好的嫩江、第二松花江、拉林河中、上游段河水,大规模开展地下水的人工回灌试验,通过“抽旧补新”的方法,改造原生劣质地下水体。(5)健全和完善地下水动态监测网,建立盆地地下水水质的预报、预警系统,把地下水水质保护和污染治理作为盆地地下水资源可持续开发利用的基本策略。

致谢:本文编写时,参考了吉林省和黑龙江省水文水资源勘测局和环境地质监测总站大量地下水动态观测资料,作者表示衷心的感谢。

References

Lin, X. Y., Chen, M. X., Wang, Z. X., et al., 2000. Study on groundwater resources and sustainable development in Songnen basin. Earthquake Press, Beijing, 68—81 (in Chinese).

Mu, S. Q., Chen, Y. L., 1992. Dynamics and analysis on groundwater in ten years in Changchun city, Jilin

Province. Science Press, Beijing, 30—40 (in Chinese).

State Supervision of Technology, 1994. State criteria of the People's Republic of China, groundwater quality criteria. The State Criteria Press, Beijing (in Chinese).

Zhou, F. J., Shan, R. Q., Zhang, Z. Y., et al., 1994. Study on groundwater chemistry in the middle of Songnen plain. Jilin University Press, Changchun, China, 105—110 (in Chinese).

附中文参考文献

林学钰,陈梦熊,王兆馨,等,2000. 松嫩盆地地下水资源及其可持续发展研究. 北京:地震出版社,68—81.

牟淑琴,陈延龙,1992. 吉林省长春市十年地下水动态及其分析. 北京:科学出版社,30—40.

国家技术监督局,1994. 中华人民共和国国家标准《地下水质量标准》. 北京:国家标准出版社.

周福俊,单润起,张中庸,等,1994. 松嫩平原中部地区地下水水化学研究. 长春:吉林大学出版社,105—110.

(上接 95 页)

gradient estimates. *Bulletin of the Oil and Natural Gas Commission*, 24(2): 133—153.

Tan, C. X., Jin, Z. J., Zhang, M. L., et al., 2001. An approach to the present-day three-dimensional (3-D) stress field and its application to hydrocarbon migration and accumulation in the Zhangqiang depression, Liaohe field, China. *Marine and Petroleum Geology*, 18(9): 983—994.

Wang, L. J., Zhang, L. R., Yuan, J. Y., et al., 1996. Crustal stress and oil-gas migration. *Journal of Geomechanics*, 2(2): 3—10 (in Chinese with English abstract).

Yassir, N. A., Rogers, A. L., 1993. Overpressures, fluid flow and stress regimes in the Jeanne d'Arc basin, Canada. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 30(7): 1209—1213.

附中文参考文献

李明诚,1994. 石油与天然气运移. 北京:石油工业出版社.

王连捷,张利容,袁嘉音,等,1996. 地应力与油气运移. 地质力学学报,2(2): 3—10.