

阳霞凹陷超压成因及与油气成藏关系

石万忠¹, 陈红汉¹, 张希明², 陈惠超²

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中石化西北石油局研究院, 新疆乌鲁木齐 830011

摘要: 地层超压的形成和分布不仅与油气的运聚成藏有关, 而且还直接影响油气钻井工程。因此, 超压的研究和预测成为当今含油气盆地研究中的重要内容。阳霞凹陷属于库车坳陷的一个次级构造单元, 钻井揭示凹陷内有超压发育。笔者应用测井资料、测试资料和地震资料分析了阳霞凹陷内超压的成因以及超压与油气成藏的关系, 得出以下认识: (1) 在阳霞凹陷内, 上第三系吉迪克组膏泥岩中的超压是以欠压实成因为主控因素, 下第三系和白垩系中的超压是以构造成因为主控因素, 形成了上下两套成因机制并不完全相同的超压系统。 (2) 从构造演化时间上来看, 巴西盖组与巴什基奇克组的超压形成时间最晚在上新世的库车组时期, 早于油气大规模运移时期(库车晚期—第四纪西域期)。由于缺少断层的疏导, 积聚的超压无法通过断层释放, 阻挡了后期油气在巴西盖组与巴什基奇克组中聚集成藏, 使得库1井所钻遇的圈闭成藏规模不足。

关键词: 超压; 超压成因; 油气成藏; 阳霞凹陷; 库车坳陷。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2005)02-0221-07

收稿日期: 2004-07-23

Origin of Overpressure and Relation with Oil & Gas Pool-Forming in Yangxia Sag

SHI Wan-zhong¹, CHEN Hong-han¹, ZHANG Xi-ming², CHEN Hui-chao²

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Academy of Design & Research, Northwest Bureau of Petroleum, SINOPEC, Urumchi 830011, China

Abstract: The origin and distribution of formation overpressure has an effect not only on hydrocarbon migration and accumulation, but also on drilling well technique. The study and prediction of overpressure is very important in basin study. Yangxia sag is a sub-tectonic unit in Kuqa depression. Drilling shows overpressure is very common in Yangxia sag. Using logs, test materials and seismic data, this paper analyzes the origin of overpressure and its influence on oil and gas pool-forming. Results show that: (1) Overpressure in Jidike Formation is mainly developed by deposition, and overpressure in Cretaceous by tectonic stress. These two overpressure systems are completely different in origin. (2) The overpressure in the Baxigai and Bashijiqike formations formed in the Pliocene when the Kuqa Formation was deposited, that is earlier than the Kuqa-Xiyu period when oil and gas migrated on a large scale. The overpressure cannot be released by the faults because there are faults around the Kul well area, which resisted oil and gas entering the reservoir and influenced pool-forming.

Key words: overpressure; origin of overpressure; pool-forming; Yangxia sag; Kuqa depression.

0 引言

阳霞凹陷属于库车坳陷的一个次级构造单元, 呈东西向狭长条带夹持于克—依逆冲构造带、秋立

塔克背斜带、南部平缓背斜带和轮台区块之间(图1)。库车坳陷是在南天山海西褶皱带基础上从晚二叠世开始发育起来的中、新生代前陆盆地。盆地基底主要为中、晚元古界的中、浅变质岩及震旦系—

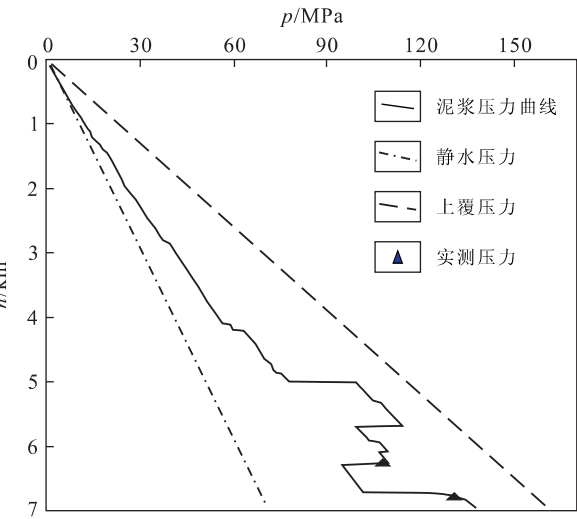


图 2 阳霞凹陷库 1 井地层压力剖面图

Fig2 Geopressure chart of Ku1 well in Yangxia sag

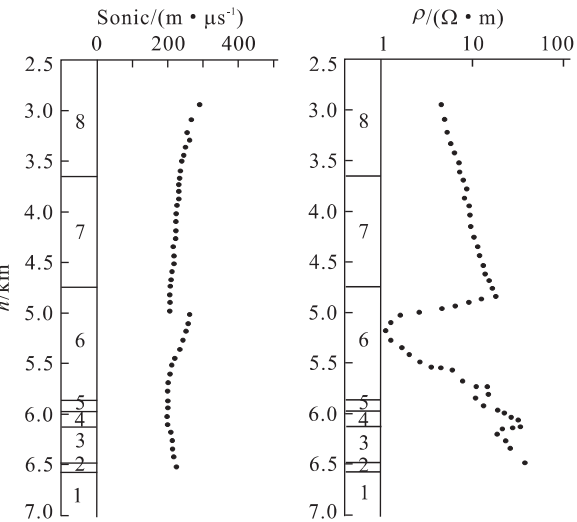


图 3 库 1 井泥岩声波与泥岩电阻率变化

Fig. 3 Log of mudstone sonic and RI/LD in Yangxia sag, Kuqa depression

1. 舒善河组(K_{1s}); 2. 巴西盖组(K_{1b}); 3. 巴什基奇克组(K_{1bs}); 4. 库姆格列木群(E_{1-2km}); 5. 苏维依组(E_{3s}); 6. 吉迪克组(N_{1j}); 7. 康村组(N_{1k}); 8. 库车组(N_{2k})

趋势,但泥岩电阻率在增大。

5 000~5 700 m 恰好是吉迪克组(N_{1j})的膏泥岩段。在膏泥岩段中,泥岩声波值增大,电阻率降低,为典型欠压实形成的超压段(欧阳健,1999;李军等,2001)。这是由于在膏泥岩段中,膏岩与泥岩互层,由于上第三系的快速构造沉降(图 4),受膏岩的封闭,泥岩段中孔隙水的排泄受阻,形成超压。这与邻区的迪那 2 气藏、阳 1 井、克拉 2 气藏膏泥岩段中的超压形成机制是一样的(欧阳健,1999;李军等,2001)。

5 700 m~6 535 m 泥岩声波时差变和泥岩电阻率曲线的变化特征说明:该段超压与上部超压(5 000~5 700 m)成因并不相同,不属于欠压实为主要成因超压;由于库 1 井无天然气产出,也不属于生烃作用形成超压。笔者认为属构造挤压为主产生的超压模式。构造挤压产生超压的本质是通过围压的增大而造成岩石体积发生变化,造成岩石孔隙体系缩小,从而引起孔隙流体增压,因此构造挤压产生超压有 2 个前提(赵靖舟,2003):一是受挤压的岩层内要有大量的流体存在,它可以是构造挤压前存在的,也可以是构造挤压抬升的过程中注入的;二是流体在挤压过程中,或者在挤压的一定阶段,已处于封闭或半封闭状态,即流体不能自由向外流动,否则难以形成超压。构造产生超压的证据如下:

(1)5 700 m 以下地层属下第三系和白垩系,从图 4 可以看出,该时期地层沉积速率远小于上第三系地层沉积速率,而且沉积地层岩性偏粗,巴什基奇克组和巴西盖组是主要的储层段,经统计,巴什基奇克组砾岩总厚 288.5 m,占组厚的 85.5%,除泥岩夹层和底部厚 35.5 m 的胶结致密的砾岩外,都可作为很好的储层。该储层在其沉积埋藏早期,很难形成三维封隔体,不容易形成欠压实作用。巴什基奇克组、巴西盖组、舒善河组中没有像邻区迪那 2 气藏那样形成大型气藏,所以充气增压的可能性不大。

(2)从构造区划上来看,克—依构造带是区域挤压强烈的褶皱带,是应力集中的地区,阳霞凹陷、拜城凹陷紧邻克—依构造带,也受构造挤压影响较大,雅克拉—轮台地区处于构造挤压的外围,几乎不受构造挤压的影响。据用平衡剖面法计算,在克拉苏地区中、新生界压缩 16.7 km,缩短系数为 0.75,依奇

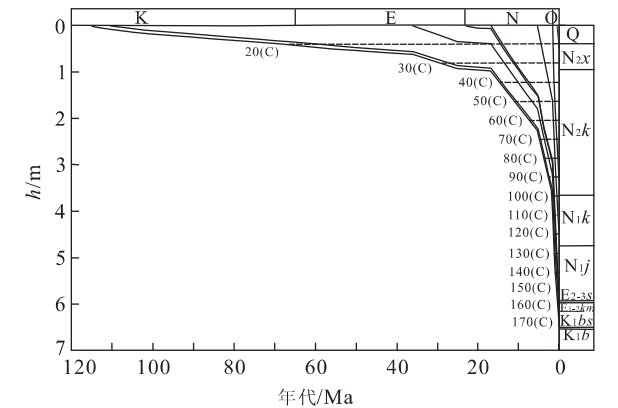


图 4 库 1 井埋藏史

Fig. 4 Burial history of Ku1 well in Kuqa depression

克里克压缩 12.8 km,大宛齐压缩 9.4 km,秋里塔克构造带压缩 10~20 km(周兴熙,2001). 在这样强的挤压作用下,吉迪克组膏泥岩段下的封闭一半封闭体系中形成地层超压,向南远离天山方向,挤压作用减弱,异常压力也相应减小,至雅克拉—轮台区块,吉迪克组膏泥岩段下的地层呈正常压力. 图 5,6 是利用库车坳陷部分钻井实测压力与所对应深度静水压力计算的剩余压力图,图中显示北部的克—依构造带、阳霞凹陷、拜城凹陷在已有的钻井中,剩余压力基本都在 20 MPa 以上,属超压. 在雅克拉—轮台地区,除部分膏泥岩段中发育低超压以外(剩余压力小于 10 MPa),基本属常压. 这说明了构造对超压的形成具有重要的控制作用.

(3)从构造演化上来说,上新世末时从南到北,亚肯构造带、阳霞凹陷、秋立塔克构造带一直到南天山,受到了强烈的构造挤压,形成了一系列的从北向南逆冲断层,使得中新世地层重复叠置. 一方面使得正常地层额外增加了负载,另一方面,由于逆冲的作用,造成岩石体积的变化,这两方面的作用必然会引起孔隙流体压力的增大,形成超压. 这种构造挤压在库 1 井井区表现相当强烈,如图 7 所示,白垩系地层在工区的北部向南逆冲,这样为阳霞凹陷超压的形成提供了动力来源.

(4)在中新世末,沉积了一套巨厚的膏泥岩段,厚度 300~2 500 m,最厚可达 3 000 m,库 1 井为 900

多 m,这套膏泥岩段对下部地层来说是一套非常好的区域盖层. 在其沉积之前,白垩系地层埋藏较浅,压实和成岩程度较弱,其上覆盖这套膏泥岩地层后,白垩系地层中的孔隙流体被封闭,孔隙中的流体被

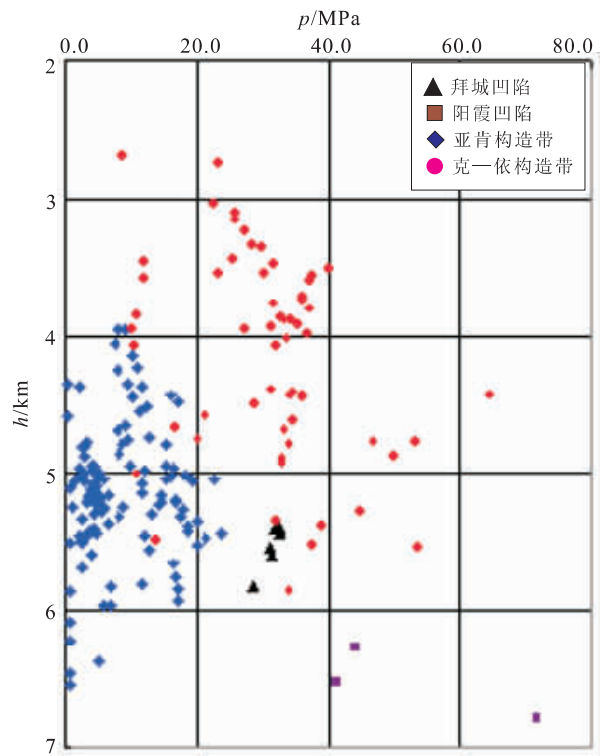


图 5 库车坳陷构造带剩余压力对比
Fig. 5 Residual pressure in tectonic belts, Kuqa depression

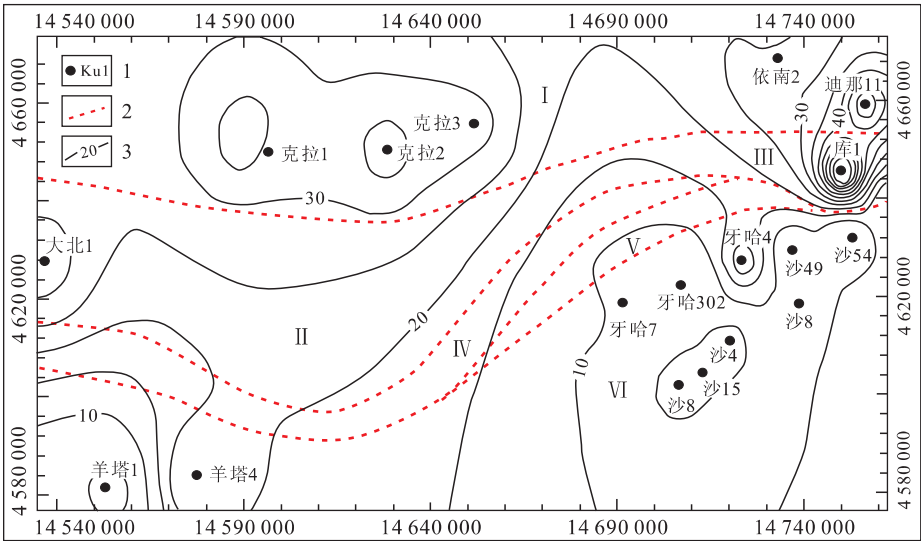


图 6 库车凹陷白垩系实测最高剩余压力平面图
Fig. 6 Maximum residual pressure map of Cretaceous in Kuqa depression
1. 钻井; 2. 构造单元边界; 3. 剩余压力(单位 MPa); I. 克—依构造带; II. 拜城凹陷; III. 阳霞凹陷; IV. 秋立塔克背斜带; V. 南部平缓背斜带; VI. 雅克拉—轮台区块

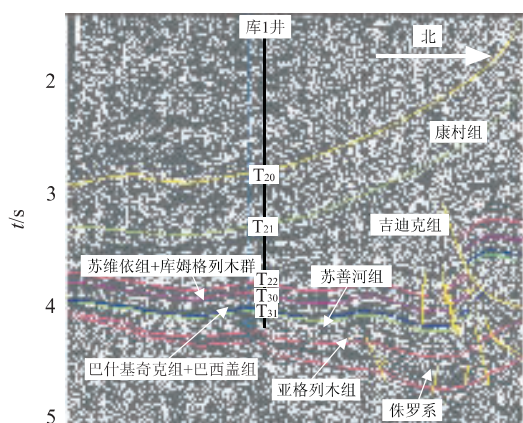


图7 亚肯构造三维地震测线 Line917 地震解释剖面图

Fig. 7 Seismic interpretation profile of Line917 in Yaken tectonic belts, Kuqa depression

封存在白垩系地层中,随着后期的构造挤压,岩石体积的变化,正常孔隙压力变为超压。

(5)赵靖舟(2003)通过岩心和薄片观察发现:依南地区阿合组和阳霞组储层几乎无原生粒间孔保留,但裂缝非常发育,另外据铸体薄片鉴定发现,迪那202井吉迪克组(N_{1j})底砂岩段——下第三系裂缝也较发育。这些裂缝的发育,表明白垩系地层受到了挤压和体变,在膏泥岩段区域盖层的封闭下,使得孔隙流体压力增大,产生超压。

2 超压与油气成藏关系探讨

超压作为油气成藏动力学中一个重要参数,它对油气的生、排、运、聚乃至油气的成藏有重要的影响。阳霞凹陷上部超压体系的存在增强了吉迪克组膏泥岩段的封盖能力(周兴熙,2000;付广等,2001)。对于相同岩性和厚度的盖层来说,超压盖层比常压盖层优越,封堵能力强。在克拉2、迪那2超压大气藏以及库1井,都存在膏泥岩段中泥岩层欠压实成因的超压,该超压层的存在有力地增强了膏泥岩段的封堵能力,使得克拉2、迪那2气藏压力系数超过了自然破裂的1.96也能够正常成藏。下面主要讨论下部超压体系与油气聚集成藏的关系。

2.1 阳霞凹陷有利成藏条件

库1井钻在构造圈闭上(图7),目的层段为白垩系巴什基奇克组和巴西盖组,岩性主要以砂层为主。巴什基奇克组测井解释孔隙度为7%~18%,一般为10%~14%,舒善河组测井解释孔隙度约8%~12%。库1井区储层整体属为低孔、特低渗储

层,但不会影响天然气的聚集成藏。天然气对盖层封盖能力要求很高,但阳霞凹陷内上第三系吉迪克组膏泥岩发育(库1井揭示有900多m),其中超压的存在进一步增强了盖层的封堵能力(周兴熙,2000;付广等,2001),对油气的封盖能力是不容置疑的。侏罗系顶面以及前中生界区域不整合面、砂岩疏导层以及挤压破碎带、裂缝系统,特别是中新世以来强烈的侧向水平挤压推覆所产生的断裂、破碎带及裂缝系统都构成了油气侧向运移通道。

以上这些为天然气的运聚成藏提供了很好的条件,但没成藏,其原因令人十分费解。

2.2 超压对油气成藏的影响

阳霞凹陷富含油气资源,库1井与克一依构造带上的迪那2气藏距离很近,成藏条件也很相似,成藏动力学分析也认为是有利的油气聚集带,但测试只有少量的油气显示,出现这样的结果,笔者认为超压在其中起了重要的影响作用。库车凹陷主要的储集层是下白垩统巴西盖组、巴什基奇克组,从构造演化时间上来看,巴西盖组与巴什基奇克组的超压形成时间最晚在上新世的库车组时期,早于油气大规模运移时期(库车晚期—第四纪西域期)(赵靖舟,2003;赵靖舟和戴金星,2002)。由于缺少断层的疏导,积聚的超压无法通过断层释放,阻挡了后期油气在巴西盖组与巴什基奇克组中聚集成藏,使得库1井所钻遇的圈闭成藏规模不足。其依据有如下3点:

(1)从库1井产出的少量陆相成熟度较高的天然气、凝析油来说,库1井在康村晚期—库车早中期(10~3 Ma)、库车晚期—第四纪西域期(3~1 Ma)都有过油气小规模积聚,但没有形成大油气藏,而恰在库车晚期—第四纪西域期(3~1 Ma),在克一依构造带有大规模的天然气运聚,形成了克拉2、克拉3、大北1、依南2、吐孜1等大气藏。这说明曾经有过油气运移进入库1井钻遇的圈闭,但由于运移通道的堵塞,没有形成大油气藏。究竟是何原因阻挡了油气的注入,笔者认为逐渐演化的超压。

徐士林等(2002)通过声发射法对克拉3井的岩石样品进行了古应力测定。据克拉3井岩石样品的古应力测定,燕山晚期的最大(挤压)应力为69.2 MPa,喜山早期的最大(挤压)应力为77.9 MPa,喜山晚期的最大(挤压)应力为87.2 MPa(徐士林等,2002)。从古应力恢复结果可以看出,自白垩纪以来库车坳陷经历了一个逐渐加压的过程。在一浪高过一浪的挤压应力作用下,地层的孔隙度也在逐渐减小,孔隙压

力在逐渐增大. 倘若在构造挤压的前期, 油气能够由高压环境进入低压圈闭, 但在后期, 由于目的层段孔隙压力的增大, 运移来的油气很难进入高压圈闭中, 最后导致油气充注的死亡, 无法形成大油气藏.

(2)从图 7 可以看出, 库 1 井钻遇的构造圈闭无断层发育, 形成的流体超压无法通过断层和有效的通道排出, 使得压力积聚, 阻挡后期油气的聚集成藏. 从克拉 2 大气藏和迪那 2 大气藏的成藏特征来看, 它们的油气运移通道主要是逆冲断层, 其储集层也是下白垩统的巴西盖组与巴什基奇克组, 但逆冲断层发育, 伴随逆冲断层周期性的活动, 积聚的超压容易释放, 形成低超压, 后期的油气能够通过断层进入聚集成藏, 形成大气田.

克拉 2 气藏和迪那 2 气藏虽然现在压力测试也显示超高压, 但其超压形成机制主要是由天然气冲注增压和构造挤压形成的(赵靖舟, 2003), 与库 1 井揭示的超压成因机制不同. 也就是说, 克拉 2 气藏和迪那 2 气藏可能经历了这样一个过程: 首先在逆冲断层形成前, 随着构造挤压的加强、应力的积聚, 孔隙压力也在增大, 当逆冲断层活动时, 孔隙超压通过断层释放, 形成低超压或常压, 后期随着天然气的充注, 又形成了超压.

(3)从整个库车坳陷流体势宏观分布特征看(图 8), 库车坳陷白垩纪地层流体势与地层压力南低北高相反, 呈南高北低分布特征. 依据流体从高势能区向低势能区运移的原理, 库车坳陷白垩纪地层流体由北向南运移, 库 1 井井区处于流体运移路径上, 也就是说, 油气可以到达库 1 井井区, 这与库 1 井产出的少量油气结果相一致, 也与现今库车坳陷油气勘探结果一致, 北部克一依构造带已发现多个大油气田, 如克拉 2 大气田、迪那 2 大气田、依深气

田等, 而南部至今没有发现大油气田. 但为何库 1 井白垩纪构造圈闭未充填形成大油气田, 相对于本区的储层、盖层特征来说, 构造圈闭中的超压阻挡了后期油气的充注是一个合理的解释.

3 结语

超压作为盆地能量场中的重要参数, 其成因和分布对油气成藏有重要的影响. 阳霞凹陷中的超压分布广泛, 识别出两套不同成因的压力系统, 上部上第三系吉迪克组膏泥岩中的超压是以欠压实成因为主控因素, 下部地层中的超压是以构造成因为主控因素, 形成了上下两套成因机制并不完全相同的超压系统. 上部超压系统的形成加强了盖层的封盖能力, 下部超压系统形成时间早于阳霞凹陷油气大规模运移时间, 由于缺少断层的疏导, 积聚的超压无法通过断层释放, 阻挡了后期油气在巴西盖组与巴什基奇克组中聚集成藏, 使得库 1 井所钻遇的圈闭成藏规模不足.

References

Fan, T. Z., Gu, J. Y., 2002. Origin of overpressure and formation of big oil & gas fields in Kuqa depression, Tarim basin, China. 21 century international symposium of oil & gas exploration in China (in Chinese).

Fu, G., Wang, P. Y., Fu, X. F., 2001. Seal characteristics of Eugene mudstone caprock in Kuqa depression and its importance in controlling accumulation of oil and gas. *Geological Journal of China Universities*, 7(4): 475—482 (in Chinese with English abstract).

Hao, F., Zou, H. Y., Jiang, J. Q., 2000. Dynamics of petroleum accumulation and its advances. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 11—21 (in Chinese with English abstract).

Li, J., Wang, G. W., Ouyang, J., 2001. Using logging data to quantitatively study terrestrial stress in Kuqa depression, China. *Petroleum Exploration and Development*, 28(5): 93—95 (in Chinese with English abstract).

Luo, X. R., 2000. The application of numerical basin modeling in geological studies. *Petroleum Exploration and Development*, 27(2): 6—10 (in Chinese with English abstract).

Osborne, M. J., Swarbrick, R. E., 1997. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins: A reevaluation. *AAPG Bulletin*, 81(2): 1013—1041.

Ouyang, J., 1999. Analysis of ground stress with logging da-

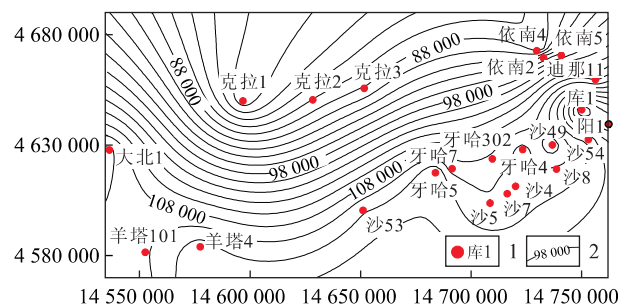


图 8 库车坳陷流体势分布特征

Fig. 8 Fluid potential energy characteristics in Kuqa depression

1. 钻井; 2. 流体势能线(单位: m^2/s^2)

ta—An example from well KL2 gas reservoir in Kuqa depression, China. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(3):214—217 (in Chinese with English abstract).

Swarbrick, R. E., 1999. AADE forum: Pressure regimes in sedimentary basins and their prediction. *Marine and Petroleum Geology*, 16(3):473—492.

Xu, S. L., Lü, X. X., Pi, X. J., et al., 2002. Abnormally high pressure and its effect on reservoir formation of Kelasu tectonic zone in Kuqa depression in Xinjiang. *Geoscience*, 16(3):282—287 (in Chinese with English abstract).

Zhao, J. Z., 2003. Theory and application of gas pool-forming in foreland basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 4 (in Chinese).

Zhao, J. Z., Dai, J. X., 2002. Timing and filling history of natural gas reservoirs in Kuqa foreland thrust belts, Tarim basin. *Acta Petrolei Sinica*, 23(2):6—10 (in Chinese with English abstract).

Zhou, X. X., 2000. The features of Tertiary halite-gypsum caprocks and their control on forming of oil and gas pools in Kuqa depression, China. *Journal of Palaeogeography*, 2(4):51—57 (in Chinese with English abstract).

Zhou, X. X., 2001. The Mesozoic-Cenozoic fluid pressure structure and reservoir-forming machine process in the Kuqa petroleum system in the Tarim basin. *Earth Science Frontiers*, 8(4):351—361 (in Chinese with English abstract).

Zhou, X. X., 2003a. Discussion on origin of overpressure in main reservoir of the Mesozoic and Cenozoic in north zone of Kuqa petroleum system. *Journal of Palaeogeography*, 5(1):110—119 (in Chinese with English abstract).

Zhou, X. X., 2003b. Recognition on reservoir-forming mechanism of Kela 2 gas field in Tarim basin. *Natural Gas*

Geoscience, 14(5):354—360 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

范士芝, 顾家裕, 2002. 中国塔里木盆地库车凹陷超高压成因与大油气田形成. 21 世纪中国油气勘探国际研讨会论文集.

付广, 王朋岩, 付晓飞, 2001. 库车坳陷下第三系盖层封闭特征及其对油气成藏的控制作用. 高校地质学报, 7(4):475—482.

郝芳, 邹华耀, 姜建群, 2000. 油气成藏动力学及其研究进展. 地学前缘, 7(3):11—21.

李军, 王贵文, 欧阳健, 2001. 利用测井信息定量研究库车坳陷山前地区地应力. 石油勘探与开发, 28(5):93—95.

罗晓容, 2000. 数值盆地模拟方法在地质研究中的应用. 石油勘探与开发, 27(2):6—10.

欧阳健, 1999. 测井地应力分析——以库车坳陷克拉 2 井气藏解释为例. 新疆石油地质, 20(3):213—217.

徐士林, 吕修祥, 皮学军, 等, 2002. 新疆库车坳陷克拉苏构造带异常高压及其成藏效应. 现代地质, 16(3):282—287.

赵靖舟, 2003. 前陆盆地天然气成藏理论及应用. 北京: 石油工业出版社, 4.

赵靖舟, 戴金星, 2002. 库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史. 石油学报, 23(2):6—10.

周兴熙, 2000. 库车坳陷第三系盐膏质盖层特征及其对油气成藏的控制作用. 古地理学报, 2(4):51—57.

周兴熙, 2001. 塔里木盆地库车油气系统中、新生界的流体压力结构和油气成藏机制. 地学前缘, 8(4):351—361.

周兴熙, 2003a. 库车油气系统北带中、新生界主要储层孔隙流体超压成因探讨. 古地理学报, 5(1):110—119.

周兴熙, 2003b. 塔里木盆地克拉 2 气田成藏机制再认识. 天然气地球科学, 14(5):354—360.