

文章编号: 0253-9985(2005)06-0786-06

库车冲断带巴什基奇克组砂岩自生高岭石成因与油气成藏

邹华耀¹, 郝芳¹, 柳广弟¹, 隋成²

(1. 中国石油大学资源与信息学院, 北京昌平 102249; 2. 长庆石油分公司研究院, 陕西西安 710021)

摘要: 克拉 2 构造是该区最大的气田, 白垩系储层自生高岭石也最为发育, 平均相对含量大于 20%, 以书页状和蠕虫状分布于骨架颗粒间。克拉 3、克拉 1 和吐北 1 等勘探失利的圈闭, 高岭石均不发育。克拉 2 构造自生高岭石是长石颗粒在地层酸性介质中溶解的沉淀产物, 同时伴随次生孔隙的形成。其成岩环境处于开放或半开放流体系统。这一成岩环境既能保证来源于下伏源岩层系酸性流体的注入, 又要允许长石等溶解物质的排出。自生高岭石与次生孔隙的形成过程与天然气的充注, 为两个机理上紧密联系的共生过程。贯通-贯穿型断裂向下贯通烃源岩、向上又断穿膏盐岩盖层, 构成超压流体运移的主通道。有贯通-贯穿型断裂发育的地区, 不仅具备了自生高岭石与次生孔隙的形成条件, 而且有利于天然气成藏。断裂输导通道的类型对比表明, 克拉苏构造带比秋里塔克构造带更有利于天然气的成藏。

关键词: 自生高岭石; 次生孔隙; 贯通-贯穿断裂组合; 天然气成藏; 库车冲断带

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A

Genesis of authigenic kaolinite and gas accumulation in Bashijike Fm sandstone in Kuqa thrust belt

Zou Huayao¹, Hao Fang¹, Liu Guangdi¹, Sui Cheng²

(1. China University of Petroleum, Beijing; 2. Petroleum Exploration and Development Research Institute of Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi)

Abstract Kela 2 structure is the largest gas pool in Kuqa thrust belt and authigenic kaolinites are best developed in Cretaceous reservoir with an average relative content of over 20%, and occur as book and vermicular kaolinites between the skeletal grains. While authigenic kaolinites are underdeveloped in Kela 3, Kela 1 and Tubei 1 traps where exploration failed. In Kela 2 structure, authigenic kaolinites have been precipitated from the dissolution of feldspar in the stratal acidic media, which have been associated with the formation of secondary pores. The diagenetic environment was in an open or half-open flow system, which allowed both the charge of acidic fluid from the underlying source rocks and the discharge of dissolved feldspar and other materials. The formation of authigenic kaolinite and secondary pores and charging of natural gas are two associated processes with closely related mechanisms. Through-going and linking-up faults pierced downward through source rock and broke upward through gypsum and halite cap rocks and constituted the major migration pathway of overpressured fluid. Areas with through-going faults had not only been provided with conditions for formation of authigenic kaolinite and secondary pores, but were also favorable for gas accumulation. Comparison of fault carrier types shows that Kela 2 structural zone is more favorable for gas accumulation than Qilike structural zone.

Key words authigenic kaolinite; secondary pore; through-going and linking-up fault combination; gas accumulation; Kuqa thrust belt

基金项目: 国家基础研究发展规划 (973) 项目 (2001CB209103); 中国石油中青年科技创新基金项目 (04E7020)

第一作者简介: 邹华耀, 男, 42 岁, 副教授 (博士), 油气成藏机理

收稿日期: 2005-07-27

库车坳陷具有丰富的天然气资源, 是目前天然气勘探的重点战场之一。在该坳陷冲断带相继发现了多个大中型气田, 显示了该区巨大的勘探潜力。但是, 全球逆冲带油气勘探普遍存在地震品质差与构造多解性的特点, 导致逆冲带油气成藏与分布预测的不确定性, 如油气主运移通道及其汇聚区域 (drainage area) 难以确定等^[1]。这些因素限制了库车冲断带油气勘探的进展。本文通过已有的钻井储层岩石学分析测试资料, 应用水-岩相互作用机理, 基于自生高岭石成因与分布及其与天然气生成、运移与聚集过程的关系, 分析该区油气成藏的控制因素, 为该区勘探与研究提供科学依据。

1 地质概况

库车冲断带的背斜带主要包括中部北侧的克拉苏构造带和南部的秋里塔克构造带 (图 1)。这两个背斜构造带由若干背斜构造组成^[2]。在这些背斜圈闭的钻探中, 发现了克拉 2、迪那 2 和大北 1-大宛 1 大中型油气田, 但其他多个构造均钻探失利。气田主要集中在克拉苏构造带, 其他构造至今还没有大的突破。该区烃源岩为侏罗系—三叠系的湖相泥岩及煤系, 具有较大的生烃潜力^[3]。勘探目的层主要是古近系库姆格列木群砂砾岩段—下白垩统巴什基奇克组砂岩段。古近系膏泥-盐岩具有很强的封闭能力。膏泥-盐岩盖层以下为超压系统, 压力系数为 $1.8 \sim 2.0$ ^[4]。

2 高岭石分布

高岭石是一种常见的二八面体层状硅酸盐粘土矿物, 结晶较好的高岭石在扫描电镜下为全自形六方板状晶体。集合体形态为蠕虫状、书本状

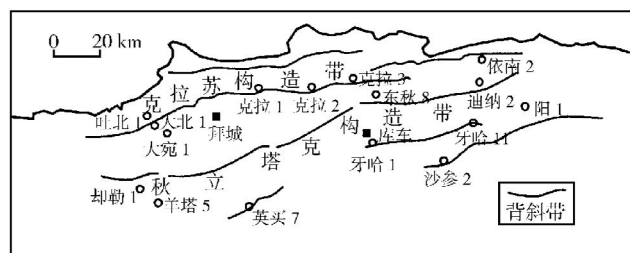


图 1 库车冲断带构造纲要与井位图

Fig. 1 Structure outline and well location map in Kuqa thrust belt

和杂乱分布状, 在砂岩中大多分布在颗粒间, 可形成颗粒间胶结物, 也可分布在颗粒的表面^[5]。在库车冲断带已钻探的构造中, 克拉 2 构造下白垩统巴什基奇克组砂岩储层自生高岭石最为发育 (图 2), 克拉 2 井和克拉 201 井高岭石的相对含量平均大于 20%。纵向上, 克拉 2 井和克拉 201 井自生高岭石的分布特征相同。在古近系 (E) 底砂岩中就有发育, 但含量小于 10%; 巴什基奇克组 (K_1b) 自生高岭石最为发育, 但深度超过 3 900 m 时, 自生高岭石的含量逐渐降低, 伊利石和绿泥石含量逐渐增加, 高岭石向伊利石和绿泥石转化。扫描电镜分析表明, 克拉 2 构造巴什基奇克组砂岩长石溶蚀作用比较普遍 (图 3A, B), 高岭石为片状和蠕虫状, 主要分布在颗粒间 (图 3), 少部分沿岩石的裂隙分布。

库车冲断带从北至南发育一系列的背斜带, 在这些背斜带上针对下白垩统巴什基奇克组砂岩储层打了许多探井 (图 1)。砂岩岩心样品的 X 衍射粘土矿物分析表明, 除克拉苏构造各井外, 大北 1 井、迪那 2 井与东秋 8 井巴什基奇克组砂岩也含有自生高岭石; 而吐北 1 井、克拉 1 井和克拉 3 井不含高岭石。值得重视的是, 库车冲断带巴什基奇克组砂岩储层含有自生高岭石的井 (或构造)

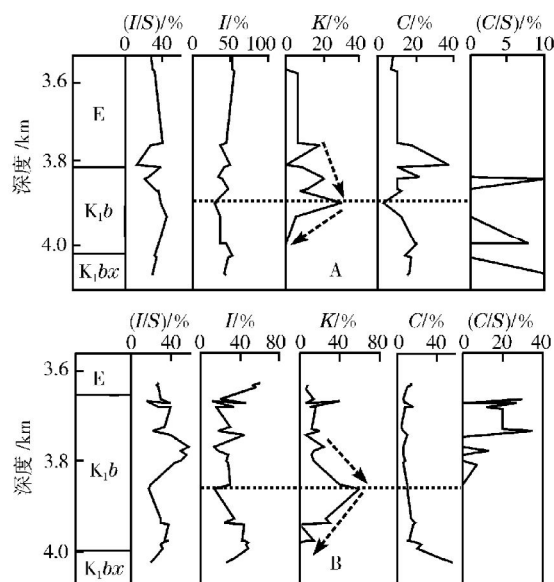


图 2 克拉 2 构造下白垩统巴什基奇克组砂岩储层克拉 2 井 (A) 与克拉 201 井 (B) 粘土矿物组成剖面图

Fig. 2 Profiles showing clay mineral composition in Lower Cretaceous Bashijiqike sandstone reservoirs in Kela 2 well (A) and Kela 201 well (B) in Kela 2 structure
I/S—伊蒙混层含量, I—伊利石含量, K—高岭石含量,
C—绿泥石, C/S—绿蒙混层含量

4 成岩环境

在晚期成岩阶段, 形成自生高岭石的成岩环境应具备两个基本条件: 一是烃源岩层系有机质生成的有机酸与 CO_2 进入砂岩储层; 二是溶解物质 (尤其是 K^+) 可以排放出来, 如果 K^+ 的排出不畅通, 那么长石与岩屑的溶解将受到抑制^[11 12]。另外, 长石溶解所需溶剂应当具备盐度低、pH 值低、温压下降的条件, 而且也需要有流体排出的成岩环境^[13], 说明砂岩自生高岭石的成岩环境, 需要一个开放或半开放的流体系统。

库车坳陷冲断带盐下流体系统为分隔型超压系统 (图 5)。主要储集层巴什基奇克组与下伏源岩之间发育多套厚层泥岩隔层 (下白垩统舒善河组厚层泥岩与中上侏罗统齐古组和恰克马克组泥岩)。储层的异常高压主要来源于构造挤压^[14]。储层被多条断层分隔。因此该系统满足形成自生高岭石的开放或半开放流体系统的条件, 即: 1) 储层与下伏源岩有断裂贯通, 作为烃源岩层系酸性流体向上运移的通道; 2) 盐下分隔型超压系统需要贯穿盐岩的断裂, 超压流体沿该穿盐断裂的排放导致的流体势下降, 促使下伏烃源岩层系酸性流体的注入, 另一方面流体的排放将导致溶解物质的排出、盐度降低, 促进溶解作用、自生高岭石和次生孔隙的形成。实际上, 贯通与贯穿运移是两个互馈互动的过程。

克拉 2 构造自生高岭石的发育说明下伏烃源岩层系酸性流体沿相关断裂进入了该储层, 即相关断层具有与烃源岩贯通的输导流体能力。另一方面, 克拉 2 构造盐上诸多浅层钻井强烈的油气显示, 也说明相关穿盐断裂具有较强的流体排放能力^[14]。

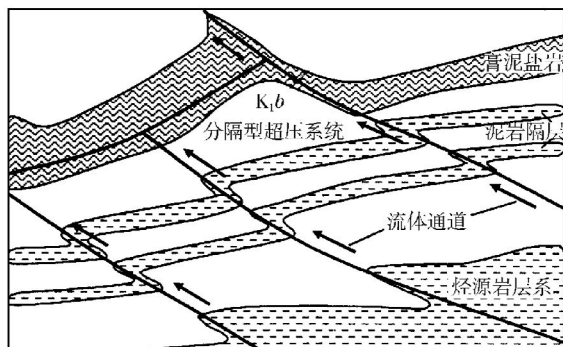


图 5 库车逆冲带盐下分隔型超压流体系统示意图

Fig. 5 Sketch map showing isolated and overpressured fluid system below the halite in Kuqa thrust belt

同样, 克拉 2 构造巴什基奇克组砂岩储层次生孔隙形成与储层渗透性改善也进一步说明该构造开放与半开放的成岩环境。克拉 2 与克拉 3 为克拉苏构造带上的两个相邻背斜构造, 巴什基奇克组砂岩形成于相同的沉积环境, 具有相同岩石类型与沉积构造特征, 现今的埋藏深度基本一致 (图 6), 意味着这两个构造砂岩储层机械压实程度和原生残留孔隙相当。但是, 以克拉 201 井和克拉 3 井为例, 实测孔隙度与渗透率出现较大的差异 (图 6)。克拉 3 井孔隙度为 1.27% ~ 17.16%, 绝大部分小于 15%, 而克拉 201 井孔隙度为 1.22% ~ 22.39%, 大部分大于 15%, 个别的大于 20%。渗透率差异更加明显, 克拉 3 井为 $0.003 \times 10^{-3} \sim 213 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 基本上小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 少数为 $10 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 而克拉 201 井为 $0.014 \times 10^{-3} \sim 790 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 大部分为 $10 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占有较大的比例。表明克拉 2 构造次生孔隙较为发育, 渗透率得到了明显的改善。

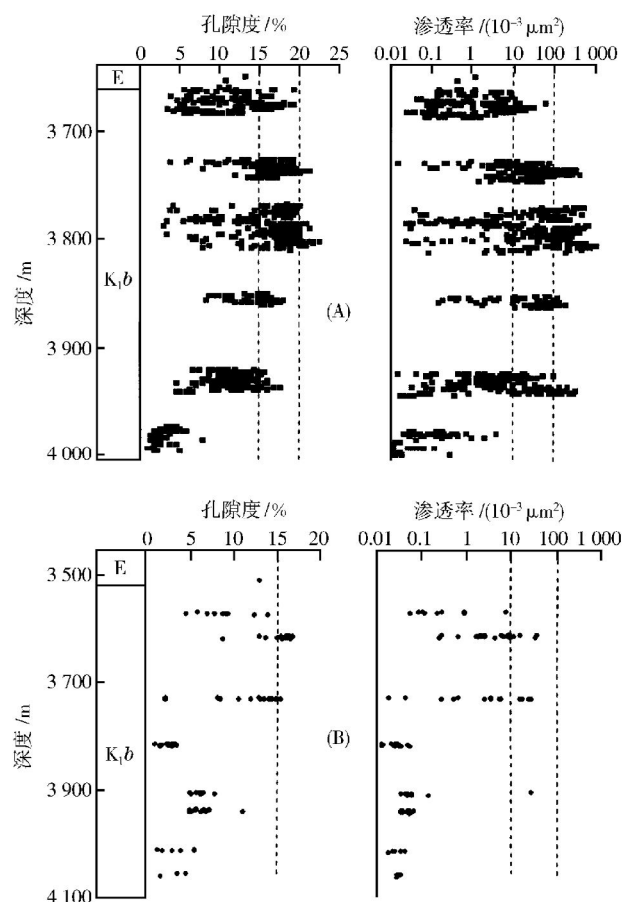


图 6 克拉 201 井 (A) 与克拉 3 井 (B) 巴什基奇克组砂岩储层实测孔隙度与渗透率剖面

Fig. 6 Measured porosity and permeability profiles of Bashijike sandstone reservoirs in Kela 201 well (A) and Kela 3 well (B)

克拉 2 构造巴什基奇克组砂岩主要为岩屑砂岩,长石以钾长石较多,含量约为 3%~23%,斜长石约占 1%~5%,溶蚀孔隙较为发育^[15]。前人研究表明,钠长石溶解反应前后净减少的固体体积为 4.3%,其余溶蚀部分被析出的高岭石和石英所充填^[16];而且由于孔隙被高岭石和石英分隔成为微孔隙,砂岩储层的渗透性有变差的可能^[17]。自生粘土矿物的沉淀需要铝的参与,只有在长石溶解过程中,铝被迁移走,不形成或少形成诸如高岭石等矿物相,才能形成有意义的次生孔隙。克拉 2 构造巴什基奇克组砂岩储层自生孔隙形成,尤其是储层渗透性的改善指示了含溶解物质的超压流体沿穿盐断裂的排放。这种超压流体排放通道控制砂岩次生孔隙的现象在英国北海 Fulmar 组砂岩储层尤为突出,次生溶蚀孔隙度大于 10%^[18]。

5 意义

库车冲断带巴什基奇克组砂岩自生高岭石形成于晚成岩阶段,是长石颗粒被有机酸性流体溶蚀的产物,并伴随次生孔隙的形成。因此,确定地层水中有机酸性流体来源和地层水的开放条件对于研究克拉苏构造带天然气的聚集有重要的意义。库车冲断带巴什基奇克组砂岩储层有机酸与 CO₂ 来源于下伏侏罗系煤系烃源岩,由于该砂岩储层总体处于分隔型超压系统,因此贯通-贯穿型断裂输导通道是白垩系储层自生高岭石形成的关键。

库车冲断带发现的几个天然气藏,克拉 2、大北 1 和迪那 2 都位于克拉苏构造带的背斜带,东秋 8 含气构造位于冲断带南部的秋里塔克构造带。这几个构造在巴什基奇克砂岩储层都发育自

生高岭石,表明这几个构造具有贯通-贯穿型输导系统控制的开放或半开放的成岩环境。现今的构造解释也表明,这几个构造具有贯通-贯穿型断裂组合样式^[19,20]。

更有意义的是,烃源岩中有机酸与 CO₂ 的大量生成与天然气的大量生成同期^[10,21],在自生高岭石、次生孔隙形成伴随的流体注入和排放的同时,下伏侏罗系煤系烃源岩处于大量生烃(主要是气)与排烃期,即烃源岩中生成的大量天然气与有机酸和 CO₂ 将同时注入上部巴什基奇克组砂岩储层。换言之,贯通-贯穿型断裂及其导致的超压流体的注入与排放,同样控制了天然气的成藏。时间与空间上,自生高岭石(及其伴生的次生孔隙)的形成与天然气的充注是成因机理上密切联系的两个过程,很大程度上,自生高岭石标志了天然气充注过程的发生。

纵观库车冲断带的构造形态(图 7)^[22],克拉苏构造具有贯通-贯穿型断裂组合形式。盐下叠瓦冲断带或双重构造贯通了烃源岩至上覆储层的运移通道,穿盐断裂构成了超压流体运移(或排放)的通道,后者形成的压力降有利于烃源岩层系含烃(含酸)流体的不断排放。即贯通-贯穿型输导系统形成的超压流体主运移通道,不仅有利于天然气的充注,同时也有利于储层自生高岭石与次生孔隙的形成,这也是现今库车冲断带天然气藏主要发现在克拉苏构造带的主要原因。比较而言,秋里塔克构造带,逆冲断层主要沿盐岩层滑动,没有贯通烃源岩层系,属于贯穿-未贯通型断裂组合形式,不利于烃类的向上运移,这很可能是东秋 8 井,以及该构造带其他探井失利的主要原因。

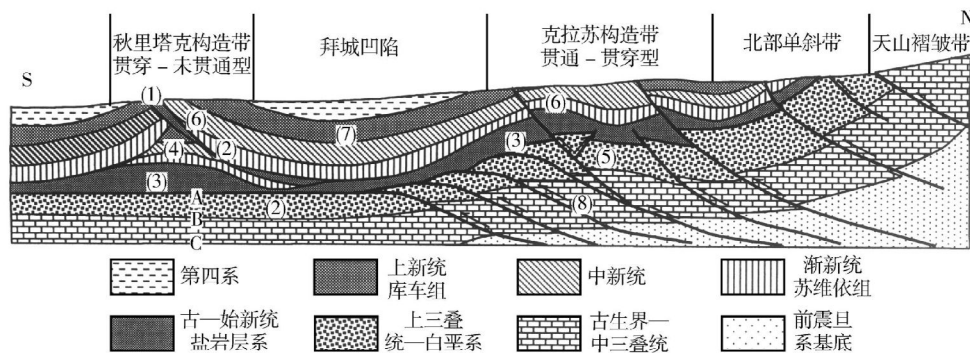


图 7 库车前陆冲断带构造样式与断裂运移通道组合形式^[19]

Fig. 7 Combination of structural pattern and fault migration pathway in Kuqa foreland thrust belt

1—盐推覆构造; 2—盐焊结; 3—盐枕; 4—三角带; 5—背冲断块; 6—断层相关褶; 7—盐成凹陷;
8—叠瓦冲断带或双重构造; A—盐岩滑脱层; B—煤系滑脱层; C—基底滑脱层

值得一提的是, 由于克拉苏构造带相关断裂在东西向(走向)上的变化, 将导致局部构造断裂组合形式为贯通-未贯穿型, 例如克拉 3 与吐北 1 很可能就是这种断裂组合形式^{*, [26]}, 不利于天然气的充注或形成大中型气藏。这两个构造上的巴什基奇克组砂岩未见自生高岭石也证明这两个圈闭不处于主运移通道上(图 4)。同样, 在秋里塔克构造带, 由于断层东西向的变化, 局部可不同程度形成贯通-贯穿型断裂组合, 东秋 8 构造不仅含有天然气(未形成商业性气藏), 而且自生高岭石发育, 说明断裂贯通了烃源岩与上覆储层, 只是贯通的程度有限。因此, 总体上克拉苏构造带优于秋里塔克构造带, 但局部构造的成藏条件应具体分析。

参 考 文 献

- Meneses-Rocha J, Yurewicz D A. Petroleum exploration and production in fold and thrust belts: ideas from a Hedberg Research Symposium [J]. AAPG Bull 1999, 83(6): 889-897
- 刘志宏, 卢华复, 李西建, 等. 库车再生前陆盆地的构造演化 [J]. 地质科学, 2000, 35(4): 482-492
Liu Zhong, Lu Huafu, Li Xijian, et al. Tectonic evolution of Kuqa rejuvenated foreland basin [J]. Scientia Geologica Sinica 2000, 35(4): 482-492
- 赵孟军, 张宝民. 库车前陆坳陷形成大气区的烃源岩条件 [J]. 地质科学, 2002, 37(S0): 35-44
Zhao Mengjun, Zhang Baomin. Source rocks for a giant gas-accumulating area in the Kuqa foreland depression [J]. Scientia Geologica Sinica 2002, 37(S0): 35-44
- 张明利, 谭成轩, 汤良杰, 等. 库车坳陷克拉 2 气藏异常高层压力成因力学分析 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(1): 93-10
Zhang Mingli, Tan Chengxuan, Tang Liangjie, et al. An analysis on mechanical genesis of overpressure at Kala 2 gas pool in Kuqa downwarping region [J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences 2004, 29(1): 93-10
- Worden R H, Morad S. Clay minerals in sandstones: controls on formation, distribution and evolution [A]. In: Worden R H, Morad S. Clay mineral cements in sandstones: international association of sedimentologists special publication 34 [C]. Oxford Blackwell Publishing 2003, 3-41
- Bjorlykke L S, Brendsa E. Diagenesis of Brent sandstone in the Statfjord field [A]. In: Gautier D L. Role of organic matter in sediment diagenesis [C]. SEPM Special Publication, 1986, 38: 157-167
- Bath A H, Milkowski A E, Strong G E. Fluid flow and diagenesis in the east Midlands Triassic sandstone aquifer [A]. In: Goff J C, Williams B P. Fluid flow in sedimentary basins and aquifers [C]. Geological Society Special Publication 1987, 34: 127-140
- Jiao Z S, Surdam R C. Stratigraphic/diagenetic pressure seal in muddy sandstone, Powder River basin, Wyoming [A]. In: Ortóleva P J. Basin compartment and seals [C]. AAPG Memoir 1994, 61: 297-312
- 郑浚茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989, 128-129
Zheng Junmao, Pang Ming. Study of diagenesis of clastic reservoirs [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989, 128-129
- Surdam R C, Crossey L J, Hagen E S, et al. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis [J]. AAPG Bull 1989, 73(1): 1-23
- Saigal G C, Bjorlykke K, Larter S. The effect of oil emplacement on diagenetic processes: examples from the Fuhar reservoir sandstones, Central North Sea [J]. AAPG Bull 1992, 76(7): 1024-1033
- Giles M R, de Boer R B. Origin and significance of redistributional secondary porosity [J]. Marine and Petroleum Geology 1990, 7(3): 378-397
- 赖兴运, 于炳松, 陈军元, 等. 碎屑岩骨架颗粒溶解的热力学条件及其在克拉 2 气田的应用 [J]. 中国科学 (D), 2004, 34(1): 45-53
Lai Xingyun, Yu Bingsong, Chen Junyuan, et al. Thermodynamic conditions of dissolving detrital grains: application to Kela 2 gas field [J]. Science in China (Series D), 2004, 34(1): 45-53
- 邹华耀, 郝芳, 张柏桥, 等. 库车山前逆冲带超压流体主排放通道对油气成藏的控制 [J]. 石油学报, 2005, 26(2): 11-14
Zou Huayao, Hao Fang, Zhang Boqiao, et al. Control of main expelling pathway for overpressure fluid on gas migration and accumulation in Kela 2 thrust belt of Kuqa depression [J]. Acta Petrolei Sinica 2005, 26(2): 11-14
- 胡涛, 张柏桥, 舒志国, 等. 库车坳陷白垩系巴什基奇克组露头储层特征 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 171-179
Hu Tao, Zhang Baiqiao, Shu Zhiguo, et al. Reservoir characteristics in Cretaceous Bashijike Formation outcrop in Kuqa depression [J]. Oil & Gas Geology 2003, 24(2): 171-179
- Siebert R M, Moncure G K, Lahann R W. A theory of framework grain dissolution in sandstones [A]. In: MacDonald D A, Surdam R C. Clastic diagenesis [C]. AAPG Memoir 1984, 37: 163-175
- 赵澄林, 陈丽华, 涂强, 等. 中国天然气储层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999, 74-88
Zhao Chenglin, Chen Lihua, Tu Qiang, et al. Gas reservoir in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press 1999, 74-88

(下转第 799 页)

* 卢华复, 刘志宏, 汪新, 等. 库车坳陷克拉苏复杂构造带解释攻关研究. 南京大学石油天然气研究中心, 1998

参 考 文 献

- 1 李克明. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代的深盆地气藏 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 190~193
Li Ken ming Deep basin gas reservoirs of Late Paleozoic in northern Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 190~193
- 2 李良, 袁志祥, 惠宽洋, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 268~272
Li Liang Yuan Zhixiang Hui Kuanyang et al Accumulation regularity of Upper Paleozoic gas in northern Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 268~272
- 3 闵琪, 杨华, 付金华. 鄂尔多斯盆地的深盆地气 [J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 11~15
Min Qi Yang Hua Fu Jinhua Deep basin gas in Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6): 11~15
- 4 Masters J A. Deep basin gas traps western Canada [J]. AAPG Bull, 1979, 63(2): 152~181
- 5 魏红红, 彭惠群, 李静群, 等. 鄂尔多斯盆地石炭—二叠系沉积特征与储集条件 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 136~141
Wei Honghong Peng Huiqun Li Jingqun et al Sedimentary and reservoir characters of Permian-Carboniferous in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(2): 136~141
- 6 李熙哲, 冉启贵, 杨玉凤. 鄂尔多斯盆地上古生界盒 8 段—山西组深盆地气压力特征 [J]. 天然气工业, 2003, 23(1): 126~127
Li Xizhe Ran Qigui Yang Yufeng Pressure feature of deep basin gas traps of He 8 section-Shanxi Group of Upper Paleozoic in Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(1): 126~127
- 7 袁政文, 许化政, 王百顺, 等. 阿尔伯达深盆地气研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
Yuan Zhengwen Xu Huazheng Wang Baishun et al The study of deep basin gas in Alberta basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1996
- 8 柳广弟, 李剑, 李景明, 等. 天然气成藏过程有效性的主控因素与评价方法 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 1~6
Liu Guangdi Li Jian Li Jingming et al The controls and the assessment method for the effectiveness of natural gas migration and accumulation process [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(1): 1~6
- 9 张玉民. 热学 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
Zhang Yumin Heat science [M]. Beijing Science Press, 2000
- 10 张同伟, 王先彬, 申岐祥, 等. 克拉通盆地内油气垂向微渗漏的烃类地球化学——以鄂尔多斯盆地城川 1 井为例 [J]. 地球化学, 1996, 25(1): 19~28
Zhang Tongwei Wang Xianbin Shen Qixiang et al Geochemistry of hydrocarbon for oil gas microleakage in inner of craton basin taking Chengchuan No. 1 well of Ordos basin as an example [J]. Geochimica, 1996, 25(1): 19~28
- 11 刘文彬, 罗大恒, 伏万军. 陕甘宁盆地上古生界天然气泥质岩直接盖层的扩散系数研究 [J]. 天然气地球科学, 1996, 7(1): 30~33
Liu Wenbin Luo Daheng Fu Wan jun The study of the diffusion coefficient of direct caprock mudstone for natural gas of Upper Paleozoic in Shan-Gan-Ning basin [J]. Natural Gas Geoscience, 1996, 7(1): 30~33

(编辑 高 岩)

(上接第 791 页)

- 18 Wilkinson M, Darby D R, Haszeldine S, et al. Secondary porosity generation during deep burial associated with overpressure leak-off Fulmar Formation, United Kingdom Central Graben [J]. AAPG Bull, 1997, 81(5): 803~813
- 19 汤良杰, 贾承造, 金之钧, 等. 塔里木盆地库车前陆褶皱带中段盐相关构造特征与油气聚集 [J]. 地质论评, 2003, 49(5): 501~506
Tang Liangjie Jia Chengzao Jin Zhijun et al Salt-related structural characteristics and hydrocarbon accumulation in the middle segment of the Kuqa foreland fold belt in the northern Tarim basin [J]. Geological Review, 2003, 49(5): 501~506
- 20 刘志宏, 卢华复, 贾承造, 等. 库车再生前陆盆地的构造与油气 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 297~303
Liu Zhihong Lu Hufu Jia Chengzao et al Structures and hydrocarbon accumulation in Kuqa rejuvenated foreland basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 297~303
- 21 裴泽楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 210~217
Qiu Yinan Xue Shuhao Ying Fengxiang Continental reservoirs in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 210~217
- 22 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式 [M]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33(1): 38~46
Tang Liangjie Jia Chengzao Pi Xuejun et al Salt-related structural styles in the Kuqa foreland fold belt [M]. Science in China (Series D), 2003, 33(1): 38~46
- 23 胡剑风, 刘玉魁, 杨明慧, 等. 塔里木盆地库车坳陷盐构造特征及其与油气的关系 [J]. 地质科学, 2004, 39(4): 580~588
Hu Jianfeng Liu Yukei Yang Minghui et al Salt structure characteristics and its relation to hydrocarbon accumulation in the Kuqa depression, Tarim basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(4): 580~588

(编辑 高 岩)