

文章编号: 0253-9985(2005)06-0703-08

库车坳陷天然气高效成藏过程分析

赵文智¹, 王红军¹, 单家增², 王兆云¹, 赵长毅¹, 汪泽成¹

(1 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083 2 中国科学院地质与地球物理所, 北京 100029)

摘要: 塔里木盆地库车坳陷具备大中型天然气藏形成的基本地质条件。其中, 三叠—侏罗系烃源岩不仅累积生气强度大, 而且新近纪以来的快速生、排气过程, 形成了一类高效气源灶, 为形成克拉 2 型的高效天然气藏起到了关键作用。其次, 新近纪以来, 库车坳陷山前冲断带受挤压作用发生了强烈的构造变形, 盐下白垩系—侏罗系发生垂向叠复使地层出现体积增容。在优质盖层保护下, 地层增容产生构造抽吸作用, 是克拉 2 型高效天然气藏形成的重要途径。通过生烃动力学及构造物理模拟实验, 证实了这些新的认识, 并进一步揭示了库车坳陷侏罗系烃源岩的有效生气及天然气的有效运移聚集成藏的过程。

关键词: 高效气源灶; 构造抽吸; 优质盖层; 高效成藏; 库车坳陷

中图分类号: TE112.3 **文献标识码:** A

Analysis of highly efficient gas reservoiring process in Kuqa depression

Zhao Wenzhi¹, Wang Hongjun¹, Shan Jiazeng², Wang Zhaoyun¹, Zhao Changyi¹, Wang Zecheng¹

(1 Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing;

2 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing)

Abstract Kuqa depression in Tarim basin has the basic geologic conditions to form medium and large gas pools. The Triassic-Jurassic source rocks not only have very large cumulative gas generating intensity, but also have experienced a very rapid gas generating and discharging process since Neogene, thus they have become highly efficient gas kitchens and played a key role in the formation of Kela 2 type high efficient gas pools. The piedmont thrust zone in Kuqa depression has been strongly deformed due to the compression since Neogene. Vertical superimposition of Cretaceous-Jurassic strata below the halite resulted in increment of rock volume. Being sealed by good caprock, the rock volume enlargement would lead to structural swabbing, an important process for the formation of Kela 2 type high efficient gas pools. Simulation experiments of hydrocarbon-generating kinetics and tectophysics have proved these new understandings and further revealed the effective gas generation of Jurassic source rocks and effective gas migration and accumulation process in Kuqa depression.

Key words high efficient gas kitchen; structural swabbing; quality caprock; high efficient reservoiring; Kuqa depression

库车坳陷新近纪以来的强烈沉降与构造挤压是天然气成藏的两个主导因素, 由此导致侏罗系烃源岩的生烃成熟以及天然气的运聚成藏过程具有鲜明的特征。在前人研究^[1~4]的基础上, 本文以生烃动力学实验、构造物理模拟实验、物理与数值模拟为手段, 以期揭示库车坳陷侏罗系烃源岩的有效生气及天然气的有效运移聚集成藏的过程。

1 地质背景

库车坳陷自北而南划分为 7 个二级构造单元,

即北单斜带、克拉苏—依奇克里克山前冲断背斜带、秋立塔格前缘冲断背斜带、南部斜坡带以及乌什、拜城、阳霞 3 个凹陷。含油气范围西起乌参 1, 东至吐孜 1, 东西长度超过 250 km, 南北宽 5~10 km, 含气范围大于 2 000 km², 其中主要的大气田发现于山前冲断背斜带和前缘冲断背斜带 (图 1)。

1.1 沉积充填

库车坳陷中、新生代沉积包括三叠系—第四系完整的沉积层序 (图 2)。其中, 中上三叠统一

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2001CB209100)

第一作者简介: 赵文智, 男, 47 岁, 教授级高级工程师 (博士生导师), 储层评价及油气成藏机理

收稿日期: 2005-09-27

中下侏罗统为潮湿气候下的湖沼相煤系,是库车坳陷已经证实的有效气源岩。白垩系是在相对闭塞和干旱环境下形成的以水上洪积-河流相为主

体的沉积组合,是一套以发育储集岩为主的层系。古近系与新近系则是干旱气候下形成的闭塞咸化泻湖相沉积组合。其中发育巨厚的膏盐岩层,在

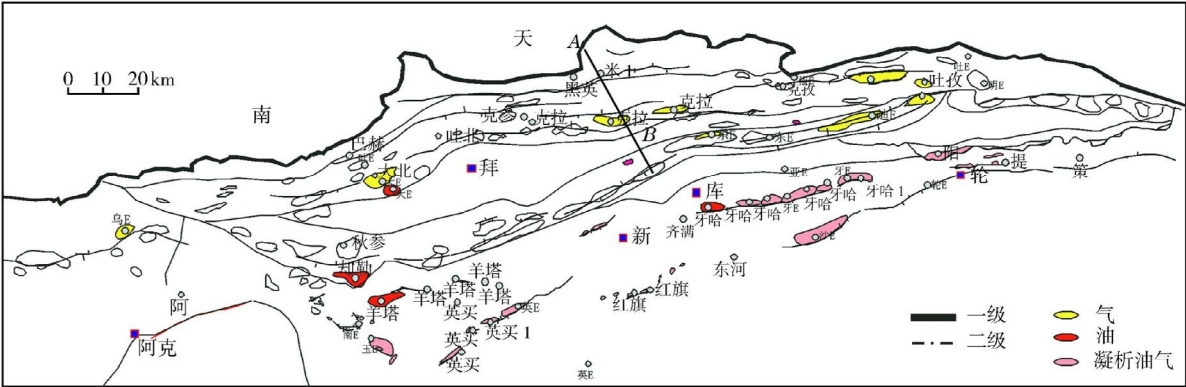


图 1 库车坳陷构造单元划分及油气藏分布
Fig. 1 Division of structural units and distribution of oil and gas reservoirs in Kuqa Depression
(图中 AB 示图 4 位置)

地 层			厚度 /m	岩性剖面	岩性描述	组 合			油 气 层
系	统	组				生	储	盖	
第四系	更新统	西域组	0~100		砂岩、粉砂质泥岩、砾岩				
新近系	上新统	库车组	200~2 300		砂岩、粉砂质泥岩、泥岩				
	中新统	康村组	200~1 300		砂岩、粉砂质泥岩、泥岩				
		古迪克组	200~1 800		膏岩、粉砂质泥岩、砾岩				
古近系	渐新统	苏维依组	200~3 000		膏泥岩、砂泥岩、泥岩				
	始新统-古新统	库姆格列木组	20~100		砂岩、泥质砂岩、云岩				
白垩系	下统	巴什基奇克组	50~500		粉砂岩、细砂岩、砾岩				
		巴西盖组	100~250		粉砂岩、泥岩、砂岩				
		舒善河组	200~450		泥岩、粉砂岩、砾岩				
		亚格列木组	40~130		泥岩、粉砂岩、砾岩				
	上统	齐古组	200~260		泥岩、泥质粉砂岩				
侏罗系	中统	恰克马克组	80~200		泥岩、碳质泥岩、泥质灰岩				
		克孜勒努尔组	600~850		砂砾岩、泥岩、泥质粉砂岩				
	下统	阳霞组	300~400						
		阿合组	260~450						
三叠系	上统	塔里奇克组	200~500						
		黄山街组	170~460						
	中下统	克拉玛依组	280~770						
		俄霍布拉克组	350~500						
石炭系或二叠系			0~500						

图 2 库车坳陷综合柱状图
Fig. 2 Composite stratigraphic column in Kuqa depression

后期构造变形中发生塑性流动, 对浅层构造变形有重要控制作用。

晚期快速沉降是库车坳陷新近纪以来地层充填的一个典型特征。古近纪末, 受印度板块向北与青藏板块碰撞的影响, 塔里木盆地北部向天山造山带发生陆内俯冲, 天山迅速隆升, 在其山前形成库车坳陷, 接受了近 6 000 m 厚的陆相红色沉积建造 (图 2 3)。坳陷中心中、新生界厚度大于 11 000 m; 新近系厚度最大可达 4 500 m, 其中, 上新统库车组沉积厚度超过 2 000 m, 沉积速率最高可达 1 300 m/Ma 中生代各时期沉积速率都较低, 一般在 20~40 m/Ma (表 1)^[4]。

1.2 构造变形

库车坳陷的构造变形属前陆盆地典型的薄皮构造样式。平面上自北向南可以划分出前陆冲断背斜陡带、前陆向斜带、前锋断褶带与前陆斜坡等基本构造单元 (图 4)。垂向上, 按构造变形样式与储盖组合特点可划分出 3 套变形层序^[5], 上部变形层序以古近系盐底为界, 受挤压与盐岩塑性流动的影响, 深、浅层构造高点变化较大; 中部构造层从古近系盐底至三叠—侏罗系滑脱层, 以生、储油层系共同卷入变形为特点, 并以一系列叠瓦冲断形式, 使侏罗系—白垩系发生规模较大的垂向堆叠; 下部构造层以煤系滑脱层为顶界, 构造变形强度和构造演化历史与其他变形层序不同, 具有很大差异。

2 烃源岩的高效生气过程

2.1 优质气源灶特征

库车坳陷三叠—侏罗系发育一套湖沼相煤系

泥岩、碳质泥岩和煤岩烃源岩, 自下而上包括上三叠统黄山街组、塔里奇克组、下侏罗统阳霞组、中侏罗统克孜勒努尔组、恰克马克组 5 个层段 (表 2), 分布面积 12 000~14 000 km², 累积厚度大, 约为 1 000 m。侏罗系和三叠系烃源岩有机显微组分相似, 主要为镜质组 (多大于 60%), 其次为惰质组 (10%~25%), 类脂组含量较低 (多小于 10%), 类脂组中主要为壳质组, 腐泥组很少。干

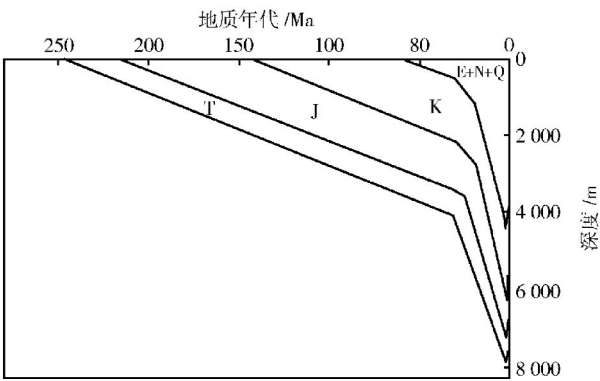


图 3 库车坳陷沉积埋藏史曲线

Fig. 3 Curves showing depositional and burial histories of Kuqa depression

表 1 库车坳陷沉积速率

Table 1 List of deposition rates in Kuqa depression

地质时代		地层厚度 /m	经历时间 /M a	沉积速率 / (m · M a ^{- 1})
新生代	新近世	4 500	19(24~ 5)	240
	古近世	750	41 (65~ 24)	18
中生代	早白垩世	1 340	39(135~ 96)	34
	侏罗纪	2 500	73(208~ 135)	34
	三叠纪	3 300	42(250~ 208)	78

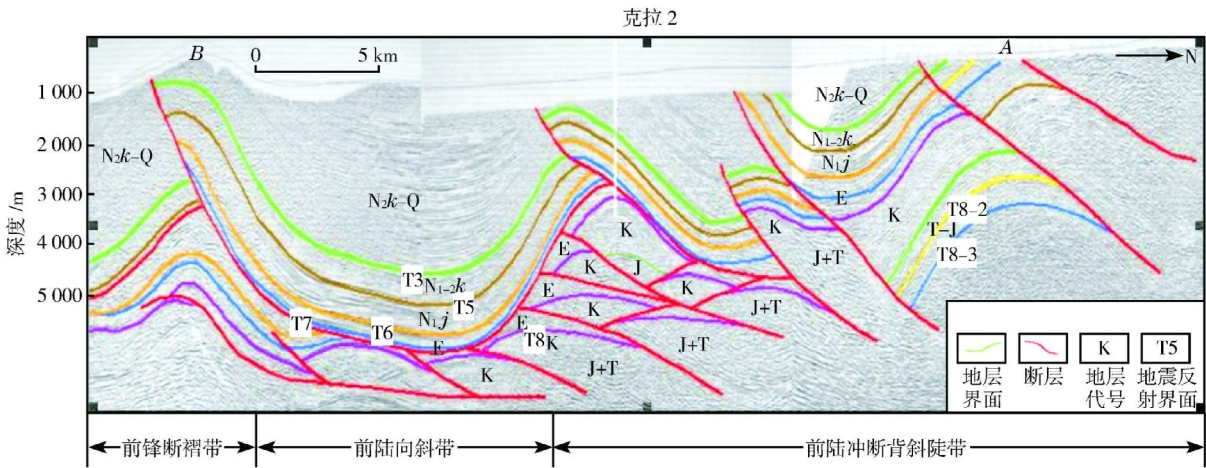


图 4 库车坳陷构造样式 (剖面位置 AB 见图 1)

Fig. 4 Structural patterns in Kuqa depression (see Fig 1 for section location)

表 2 库车坳陷主要烃源层泥岩有机质丰度汇总*

Table 2 Collective list of abundance of organic matter in mudstone source rock in Kuqa depression

烃源岩层组	源岩厚度 /m	有机碳含量 /%	热解潜量 / (mg·g ⁻¹)	氢指数 / (mg·g ⁻¹)	T _{max} /℃	氯仿沥青 “A”含量 /%	总烃含 量 /%
恰克马克组 (J ₂ q)	0~ 155	1.54(44)* *	3.09	109	449	0.115 1(10)	0.042 0
克孜勒努尔组 (J ₂ k)	32~ 320	2.15(195)	2.67	82	447	0.040 1(22)	0.017 2
阳霞组 (J ₁)	37~ 238	2.58(171)	3.20	90	462	0.055 0(23)	0.022 1
塔里奇克组 (T ₃ t)	6~ 210	2.35(67)	1.57	47	484	0.014 8(4)	0.006 3
黄山街组 (T ₃ h)	38~ 444	1.03(246)	0.58	29	510	0.014 9(21)	0.004 5

* 表中以有机碳含量大于 0.4% 的样品统计, 各项参数数据为平均值。
* * 括号中为样品数, 有机碳、热解样品数相同, 沥青 A 和总烃样品数相同。

酪根类型以Ⅱ型为主^[6 7],是一套以生气为主的烃源岩。坳陷主体部位三叠系与侏罗系烃源岩生气强度均在 $2\,000\times 10^6\text{ m}^3/\text{km}^2$ 以上,在坳陷的腹部生气强度可达 $4\,000\times 10^6\text{ m}^3/\text{km}^2$,形成一个优质气源灶。目前发现的克拉 2、迪那 2 等大气田均分布在该优质气源灶的高生气强度中心范围^[8 9]。

2.2 高效气源灶的形成

库车坳陷三叠系与侏罗系累积生气强度、生气总量大,具备了形成大中型气田的物质保障。从气源岩生气过程来看,库车坳陷还有一个显著的特征,即烃源岩主要是受晚期快速埋藏的影响,完成大量生气的时间很短,不仅生气量大,而且供气效率高,是克拉 2 型高丰度大气田形成的关键。

库车坳陷的地温梯度随时间的推移呈降低变化,中生代地温梯度为每百米 3.1℃,自古近纪以来,地温梯度从每百米 2.8℃降至现今的每百米 2.5℃。由于坳陷中中生界总厚度较小(图 3),埋深较浅,在新近纪以前,三叠—侏罗系气源岩 R_o 小于 0.6%,处于未熟阶段(图 5)。新近纪(23 Ma)以来,库车坳陷强烈沉降快速堆积了厚度大于 5 000 m 的

地层,尤其是上新世(5 Ma)以来堆积的厚度超过 3 500 m,加速了三叠—侏罗系气源岩快速生气的过程(图 5)。从拜城凹陷中央人工点模拟的下侏罗统顶部烃源岩成熟度演化曲线看,侏罗系气源岩最迟在距今 15 Ma 以前就进入生油门限(R_o 为 0.6%),5 Ma 时进入生油高峰(R_o 为 1.0%),现今 R_o 达 2.1%。在短短的 5 Ma 期间,白垩系底 R_o 值从 1.0% 增至 2.1%,5 Ma 以来的快速生气过程十分有利于库车坳陷高效气田的形成和保存。

利用 5 Ma 时间内侏罗系 R_o (%) 增加量 (ΔR_o %) 可以用来表征烃源岩的熟化程度与速率,能够反映侏罗系烃源岩进入生烃门限后在主生气期(R_o 为 0.8% ~ 2.0%)内的产气速率。在具备相当大的生气总量的基础上,库车坳陷侏罗系烃源岩具有在短时间内快速成熟而生气的过程,可以称之为高效气源灶,从而保证了气源灶具有很高的供气效率,有利于在其控制范围内形成高效天然气藏。图 6(a) 为库车坳陷 5 Ma 以来气源岩熟化速率 ($\Delta R_o/t$ %/Ma) 等值线图。其中,气源岩熟化速率大于 0.05% Ma 范围为高效气源灶分布范围;图 6(b) 为库车坳陷烃源岩累积生气强度等值线图,其中,累积生气强度大于 $20\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ 圈定的范围为高效气源灶分布范围。目前,在高效气源灶内已发现克拉 2 高效天然气藏。可见优质气源岩的快速埋藏对高效气源灶和高效气藏的形成是十分重要的。

3 “构造抽吸”高效运聚成藏过程

3.1 地质证据

对取自克拉 2 井的 13 块白垩系砂岩样品(3 831~ 3 924 m),通过流体包裹体显微测温,包裹体成分以及包裹体中甲烷含量的定量分析,运用 PVTsim 软件计算出克拉 2 气藏成藏期古压力。

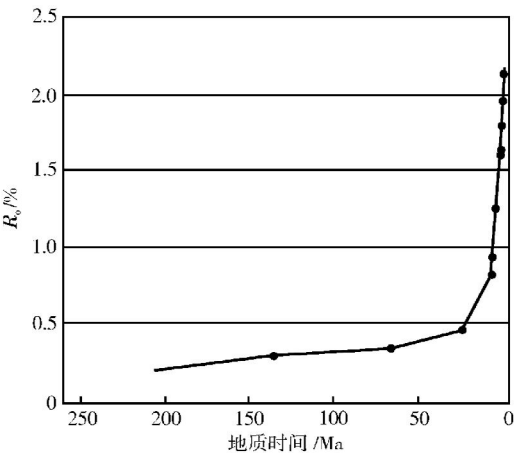


图 5 库车坳陷拜城凹陷下侏罗统顶部演化史
Fig. 5 Map showing evolution history of the top of Lower Jurassic in Baicheng sag Kuqa depression

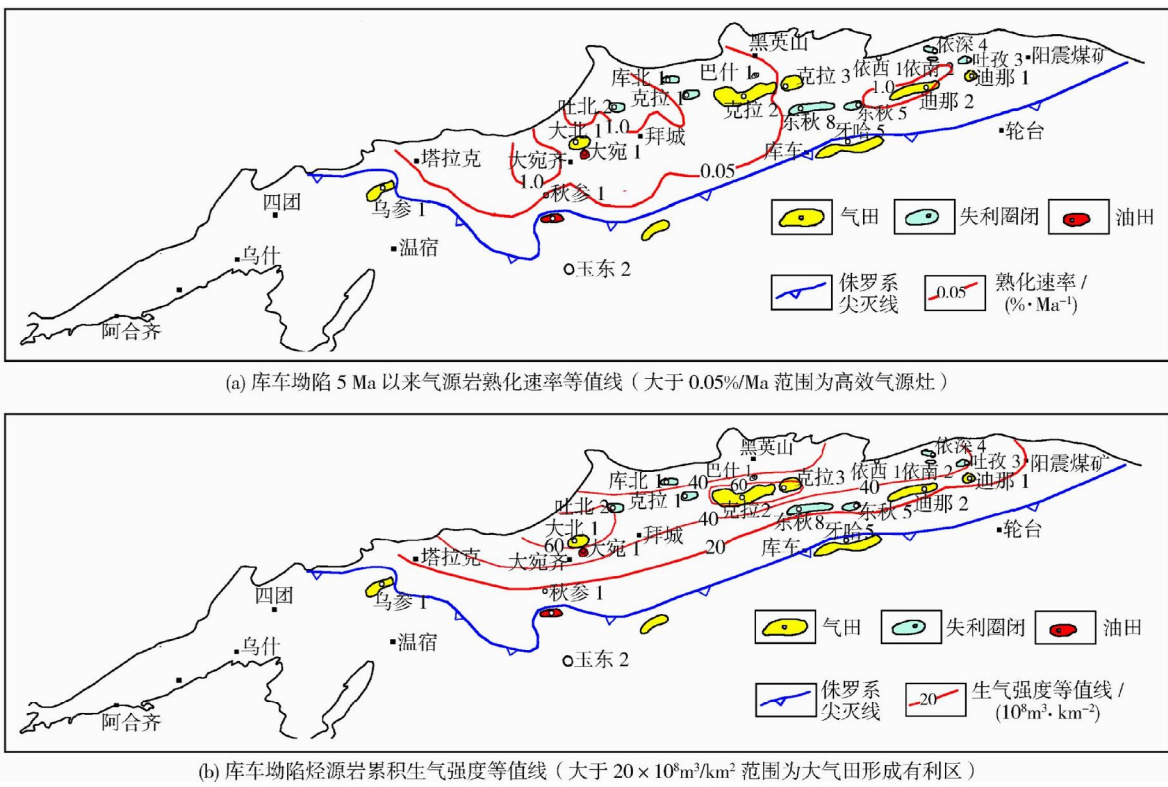


图 6 库车坳陷不同参数表示的气源灶范围

Fig. 6 Gas kitchen areas defined by different parameters in Kuqa Depression

结果是, 流体包裹体均一温度主要分布在 $120 \sim 180^\circ\text{C}$, 对应天然气运移充注期最大埋深为 $5\,800 \sim 6\,200 \text{ m}$, 当时地层的静水压力为 $58 \sim 62 \text{ MPa}$, 而包裹体记录的地层古压力为 $40 \sim 58 \text{ MPa}$ (图 7)。说明当时克拉 2 气藏处于负压状态。流体包裹体分析结果证实克拉 2 气藏形成的圈闭内部处于负压环境, 而且负压出现的时期与天然气大规模充注期是对应的。由此证实抽吸运聚机制的存在。

库车坳陷新近纪以来中、新生界在来自北侧挤压力的作用下, 发生了较大规模的垂向堆叠 (图 4)。其中侏罗系和白垩系是发生垂向堆叠的主体。在垂向堆叠的过程中地层内部出现脱空和体积扩容。同时, 古近系 - 新近系连续稳定分布的膏盐层又将盐下各层系密闭起来。因此, 在无外部流体补给情况下, 就会在脱空产生的腔体与围岩之间出现负压差, 形成指向腔体内部的抽吸力, 此作用称为构造抽吸作用。抽吸力可以成为天然气运移的动力, 加速烃源岩中的天然气向储集空间的运移, 并促使气藏周围源岩中的天然气向圈闭的高效运聚, 因而使克拉 2 气藏可以在短短的 5 M 时间内快速形成大规模天然气的聚集。

为此, 作者以克拉 2 气藏为地质模型进行了物理模拟实验, 目的是展示在挤压环境中发生的构造脱空及其促使流体运聚的作用。模拟实验的设计遵循两项基本原则: 一是实验材料与实际地层岩石在物理性质和力学性质上的相似性; 二是模拟的结果与实际变形过程、变形特征的近似性。此外, 为了了解流体随地层内部应力变化而发生的流动行为, 在模拟材料中加入了一种新型添加剂, 以达到对构造变形过程中流体运动过程的直接观察。

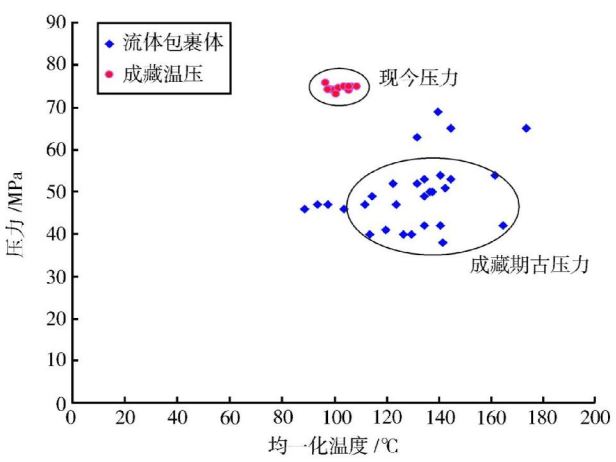


图 7 克拉 2 井白垩系储层包裹体测温及压力计算结果

Fig. 7 Inclusion thermometric data and calculated pressures of Cretaceous reservoir encountered in Kela 2 well

3.2 模拟实验

3.2.1 地质模型

克拉 2 气藏位于塔里木盆地库车坳陷北翼第二排逆冲断裂背斜带上 (图 1)。圈闭面积 48.1 km², 闭合高度 455 m, 为一长轴背斜。已探明天然气地质储量 2 840 × 10⁸ m³, 储量丰度大于 53.2 × 10⁸ m³ / km², 气柱高度达 448 m, 圈闭完全充满, 是中国陆上已发现气田中储量丰度最高的大气田。克拉 2 气藏圈闭形成期很晚, 而天然气运聚系数高达 7.35%, 远远超过一般大中型天然气藏 0.5% ~ 1.0% 的运聚系数, 说明克拉 2 气藏在成藏过程中存在特殊的成藏机制, 具有天然气快速、高效成藏的过程。

克拉 2 号构造是发育在逆冲带底板冲断层与顶板冲断层之间的断背斜 (图 8), 其顶板冲断层为沿构造南翼古近系膏泥岩向北反冲的断层, 构造北翼又有同样沿古近系膏泥岩向南逆冲的断层。白垩系之上逆冲断层的对挤, 使得圈闭两侧的断层得以封闭, 并造成构造顶部膏盐层的加厚, 致使克拉 2 构造具有良好的油气封闭性。在克拉 2 构造内部, 没有断裂与上部静水压力系统连通, 沟通烃源岩与储层的几条较大断裂没有切穿膏盐岩盖层。克拉 2 构造盐下变形的一个显著特征是地层发生了多层垂向叠置, 白垩系在发生弯曲变形的同时, 多发生脆性破裂。膏盐层良好的封闭性以及地层垂向的多重叠覆可以保证构造抽吸作用的发生。

3.2.2 实验模型

实验模型中选取细-中粒的天然石英砂代替

实际地层中的砂岩, 使用粒度较大的粗砂代替砂砾岩, 它们在力学性质上均表现为脆性; 用天然砂混合适量泥代替砂泥岩互层, 以增加地层的塑性; 用石膏粉代替膏盐地层, 二者在成分上相同, 都表现为强塑性和密闭性特征; 用凡士林与石蜡混合物代替煤系地层, 并通过改变石蜡的比例来实现岩层的软硬度。在实验温度 20℃ ± 2℃ 范围内, 按比例调配的凡士林和石蜡混合物具有较好的塑性, 是泥岩和煤系良好的替代物。用羧甲基纤维素 (CMC) 加有机膨胀物作为油气替代物, 添加到模型的烃源岩替代层中。该材料的粘度 (η) 与原油相近, 在受到外力挤压时, 可以膨胀从地层中析出并发生流动, 同时可以挥发出气体。以上实验材料的选取, 参考了目前国内外构造物理模拟实验通用的选材方案^[11~13]。表 3 给出了本次模拟

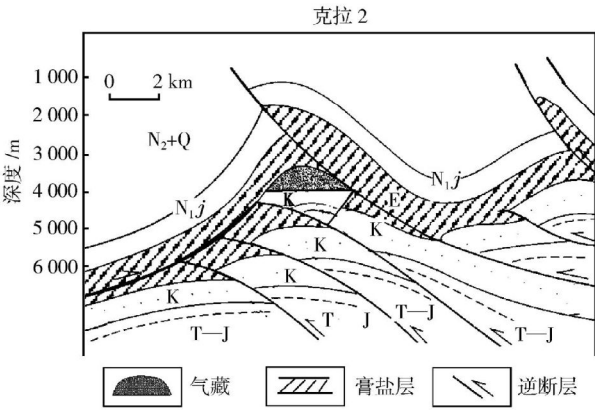


图 8 克拉 2 气藏地质模型示意图
Fig. 8 Schematic section showing geological model of Kela 2 gas reservoir

表 3 模拟实验材料的名称、颜色、主要力学性质及所替代地层的相关物理参数
Table 3 Names, colors and the main mechanical properties of materials used for simulation experiment and the relevant physical parameters of the represented strata

序号	地层名称	特征岩性	实验材料名称	颜色	力学性质, 主要作用
	第四系西域组	砂砾岩	染色的粗砂	黄色	脆性, 作为砂砾岩的替代材料
④	新近系库车组, 康村组	砂泥岩	染色的砂-泥混合物	蓝色	脆-韧性, 作为砂泥岩的替代材料
④	新近系吉迪克组	膏盐层	石膏粉	白色	韧性, 低渗透率, 作为膏盐层的替代材料
	古近系苏维依组, 库姆格列木组	膏泥岩层	石膏粉 + 染色泥	绿色	韧-脆性, 作为膏泥岩的替代材料
	白垩系巴什基其克组	砂岩	染色的天然石英砂	桔黄色	具有与砂岩相类似的力学性质, 作为砂岩的替代材料
	侏罗系齐古组	泥岩, 泥质粉砂岩	凡士林与石蜡混合物	黑色	韧性, 是泥岩和泥灰岩的良好替代材料
⑧	侏罗系恰克马克组, 克孜勒努尔组	泥岩, 碳质泥岩	凡士林与石蜡混合物, 羧甲基纤维素 (CMC) + 有机膨胀物	红色	韧性, 是泥岩和煤层的良好替代材料, 挤压时可释放液体与气体
⑦	侏罗系阳霞组	泥岩, 泥质粉砂岩含煤线	凡士林与石蜡混合物	黑色	韧性, 是泥岩和煤层的良好替代材料

实验所使用的实验材料名称、颜色、主要的力学性质以及所替代地层的相关物理参数。

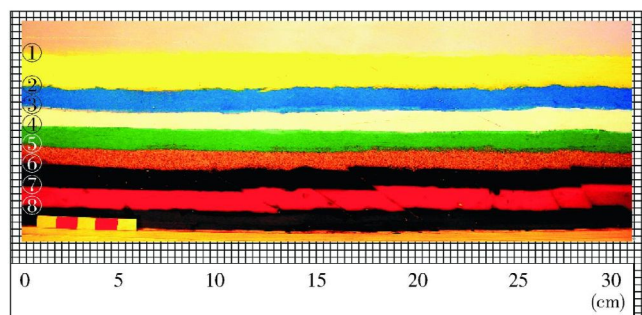
克拉 2 号构造早期以低角度断裂活动为主, 晚期以强烈隆升变形为主。实验初始模型设计为: 在侏罗系中存在早期断裂, 以保证推挤作用后初始破裂和位移的发生。断裂的水平倾角为 $30^{\circ} \sim 55^{\circ}$, 靠近作用力一端的断裂倾角略大, 与库车坳陷新近纪以来的断裂特征相似。实验初始模型按比例设计, 1 cm 长度相应于实际剖面中的 1 km 长度, 1 cm 的厚度相当于实际剖面中 1 000 m 的地层厚度, 时间因子是实验中的 1 个小时相应于实际构造演化史中的 1 Ma。

库车坳陷主要变形期发生于新近纪末, 又以近 5 Ma 以来的变形最强烈。为满足变形历史恢复的要求, 将侏罗系以上至第四系各沉积层系一次填入, 之后再加载推挤外力。在实验中设定了来自模型右侧的单向挤压应力为主动应力, 应力值大约为 1 200~1 600 Pa 左侧为被动受力。这种受力方式与新近纪以来库车坳陷构造变形强烈期的受力方式相同, 主要是天山的推挤和隆升而产生由北向南的挤压力, 形成了克拉 2 号构造。

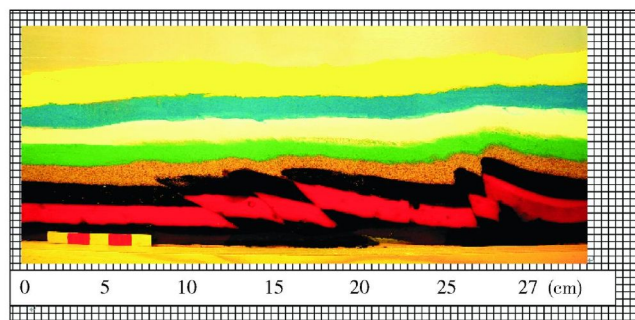
在保证上述相似性的前提下, 经过反复实验, 最终模拟得到的构造样式与克拉 2 号现今构造形态近似, 模型在变形过程中的缩短率为 36%, 与实际克拉 2 构造平衡后的缩短率 35% 相当。因此, 模拟实验得到的变形过程能够反映克拉 2 号构造的形成历史。

3.3 模拟结果

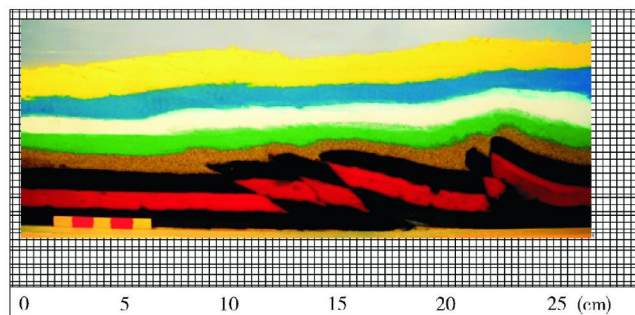
图 9 中 a—e 的 6 幅照片反映了模拟实验的全过程。a 为变形初始状态, 模拟实验条件设定已如前述, 代表着距今 5 Ma 以前库车坳陷地层展布情况。b、c 反映在单向推挤力作用下, 断层向上覆层传播发展的过程, 并显示在挤压环境下, 当地层受到围限时, 最易出现的变形是在垂向上发生叠覆。



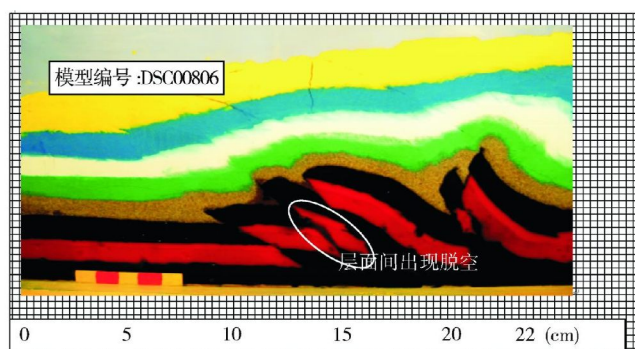
a 初始状态, 二组平行断裂, 倾角为 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$
(数字代表的地层与表 3 对应)



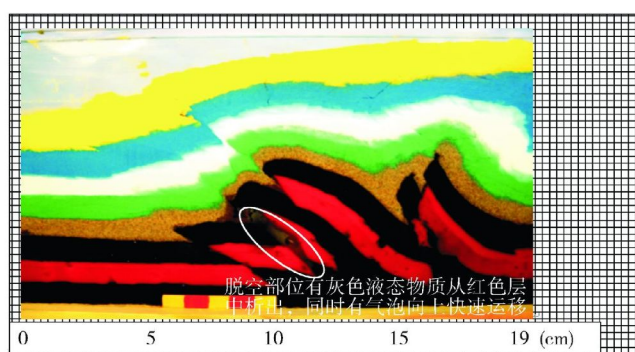
b 在挤压应力作用下, 断层不断向上覆地层扩展



c 叠瓦状构造开始形成, 地层发生水平缩短与重向堆叠



d 在续行推挤作用下, 地层的重向堆叠和拉伸可以出现构造脱空



e 构造脱空对围岩中的流体起到抽吸作用

图 9 塔里木盆地库车坳陷克拉 2 号构造油气运聚机理模拟实验结果

Fig. 9 Results of simulation experiment for mechanism of hydrocarbon migration and accumulation in Kela 2 structure in Kuqa depression, Tarim basin

d e较清晰地展示了在持续推挤作用下,地层的垂向堆叠和伴生的拉伸作用可以诱导出构造脱空现象,并在脱空形成的腔体与围岩之间产生负压差,驱使流体向腔体中运移(如图 9e中显示灰色部分是从地层中析出的液体,并可观察到其中有圆形气泡快速向上运动)。负压差的产生是由于地层总体积增加且与外部环境隔绝。这一实验证明了克拉 2 号构造形成过程中的构造脱空现象和构造抽吸过程,以及其在天然气成藏中的作用。

4 结论

1) 库车坳陷侏罗系烃源岩不仅累积生气强度大,而且新近纪(5 Ma)以来完成了快速、大量生气的过程,形成一类高效气源灶,对于形成克拉 2 型的高效天然气藏起到了关键作用。在高效气源灶及其周缘可以提高发现高效天然气藏机率。

2) 新近纪以来,库车坳陷山前冲断带受挤压作用发生了强烈的构造变形。盐下白垩系—侏罗系发生垂向叠复使地层出现体积增容。在优质盖层保护下,地层增容产生构造抽吸作用,直接参与了克拉 2 气藏的形成,对天然气的高效聚集是个有利条件。库车坳陷克拉苏与秋里塔格构造区带中发育多种类型的背斜圈闭,其中有类似于克拉 2 气田的对冲型背斜圈闭,具备发生构造抽吸成藏过程的条件。因此,应该在高效气源灶范围内,认真分析构造变形特征,选择目标,以提高对高效天然气藏发现的成功率。

参 考 文 献

- 赵靖舟,戴金星.库车油气系统油气成藏期与成藏史[J].沉积学报,2002,20(2):314~319
Zhao Jingzhou, Dai Jinxing. Accumulation timing and history of Kuiche petroleum system[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 314~319
- 皮学军.库车前陆盆地勘探难点与对策[A].见:贾承造.中国中西部前陆盆地冲断带油气勘探文集[C].北京:石油工业出版社,2002:141~151
Pi Xuejun. The exploration difficulty and countermeasure in Kuqa foreland basin[A]. In: Jia Chengzao. ed. Collected papers of petroleum exploration on foreland thrust fault belts in western China [C]. Beijing Petroleum Industry Press, 2002: 141~151
- 高瑞祺,赵政璋.中国油气新区勘探(卷一):塔里木盆地库车坳陷大气田勘探[M].北京:石油工业出版社,2002:134~144
Gao Ruiqi, Zhao Zhengzhang. The frontier petroleum exploration in China(Vol 1): exploration of the large gas fields in Kuqa depression of Tarim basin[M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2002: 134~144
- 周兴熙,张光亚,李洪辉,等.塔里木盆地库车油气系统的成藏作用[M].北京:石油工业出版社,2002:8~9
Zhou Xingxi, Zhang Guangya, Li Honghui et al. The reservoir formation in Kuqa petroleum system, Tarim basin[M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2002: 8~9
- 赵文智,许大丰,张朝军.库车坳陷构造变形层序划分及其在油气勘探中的意义[J].石油学报,1998,19(3):1~5
Zhao Wenzhi, Xu Dafeng, Zhang Chaojun. Division of structural deformed sequence in Kuqa depression and significance for oil-gas exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(3): 1~5
- 李梅,包建平,汪海,等.库车前陆盆地烃源岩和烃类成熟度及其地质意义[J].天然气地球科学,2004,15(4):367~378
Li Mei, Bao Jianping, Wang Hai et al. The analysis on the maturity parameters of source rock and hydrocarbons in Kuiche foreland basin of Tarim basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4): 367~378
- 孙金山,刘国宏,孙明安,等.库车坳陷侏罗系煤系烃源岩评价[J].西南石油学院学报,2003,25(6):1~4
Sun Jinshan, Liu Guohong, Sun Ming'an et al. The coal source rock appraisal of Jurassic in Kuqa depression[J]. Journal of South West Petroleum Institute, 2003, 25(6): 1~4
- 戴金星.加强天然气地质研究,勘探更多大气田[J].天然气地球科学,2003,14(1):1~14
Dai Jinxing. Enhance the studies on natural gas geology and find more large gas fields in China[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(1): 1~14
- 戴金星,夏新宇,洪峰.天然气地质研究促进了中国天然气储量的大幅度增长[J].新疆石油地质,2002,23(5):357~365
Dai Jinxing, Xia Xinyu, Hong Feng. Natural gas geology accelerated the growth of natural gas reserves in large scale in China [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(5): 357~365
- 单加增.构造模拟实验在石油地质学中的应用[M].北京:石油工业出版社,1996:39~120
Shan Jiazeng. Application of structure physical simulation on petroleum geology[M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1996: 39~120
- 李贤庆,肖贤明, Tang Y, 等.库车坳陷煤成甲烷碳同位素动力学研究[J].石油与天然气地质,2004,25(1):21~25
Li Xianqing, Xiao Xianming, Tang Y, et al. Kinetic study of carbon isotope in humic gas methane in Kuqa depression[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 21~25
- 刘志宏,卢华夏,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 Huaxia, Jia Chengzao et al. Structures and hydrocarbon accumulation in Kuqa rejuvenated foreland basin[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 297~303
- 曾联波.库车前陆盆地喜马拉雅运动特征及其油气地质意义[J].石油与天然气地质,2004,25(2):175~179
Zeng Lianbo. Characteristics and petroleum geological significance of Himalayan orogeny in Kuqa foreland basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 175~179

(编辑 李树森)