

# 塔里木盆地库车坳陷油气成藏的若干特征

秦胜飞<sup>1</sup> 贾承造<sup>2</sup> 陶士振<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083 2. 中国石油天然气股份有限公司, 北京 100724)

**摘要:**库车坳陷发育2大类6套烃源岩,生气强度大,为库车坳陷天然气成藏提供了充足的气源,构造运动派生出的一系列断裂,沟通了深部的气源岩,为天然气往储集层运移提供了有力的通道;受多种因素的影响,库车坳陷油气相态的分布很不均一;库车坳陷发生过多期成藏,但最重要的是最后一期成藏,气藏的形成均比较晚;库车坳陷以生气为主,部分油藏或油气藏是残余油藏或油气藏,是天然气大量散失的结果;库车坳陷和吐哈盆地保存条件的差别导致吐哈盆地倾油,库车坳陷倾气。

**关键词:**库车坳陷;油气;成藏;塔里木盆地

中图分类号:P618.130.2 文献标识码:A 文章编号:1000-3657(2002)01-0103-06

库车坳陷位于塔里木盆地北部,天然气资源量丰富,是“西气东输”工程的主力供气区,是塔里木盆地煤成气勘探前景最佳地区,是塔里木盆地近期寻找天然气大场面最现实地区。该坳陷处于中亚煤成气聚集域东部,煤系分布广泛、厚度大、埋藏深,煤系有机质都已成熟,部分地区已处于高煤级烟煤阶段甚至无烟煤阶段。煤系以其高有机质丰度、高生气量为特点,因而库车坳陷具有重要的研究和勘探价值。然而库车坳陷油气成藏特征比较复杂,给勘探带来较大困难。本文将对库车坳陷油气成藏特征进行初步讨论。

## 1 区域地质简介

库车坳陷毗邻天山褶皱系,北缘是天山山前断裂带,南面是塔北隆起,坳陷走向呈北东东向展布,东西长250 km,南北宽20~60 km,由西向东逐渐变窄,面积 $2.117 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。坳陷内地势总体上北高南低,地表条件十分复杂,北部为高山深谷,多呈东西向展布;中部为丘陵,亦呈东西向展布;南部为山间盆地、戈壁及少量绿洲,区内发育多条近南北向河流。

库车坳陷的构造特征为一强烈变形的山前逆

冲带,中生代地层中广泛发育线状褶皱、逆冲断层和推覆构造,地层倾角较大。库车坳陷经历了多期的构造运动,但主要受两期构造运动的影响:第一期为白垩纪的燕山运动,使北部天山抬升,向南形成较大的水平挤压力,形成一系列北倾逆断层,是坳陷内断裂和构造的重要发育期;第二期为第三纪的喜山运动,北部天山继续抬升,燕山期断裂继续活动,形成了天山山前大型逆冲褶皱带及一系列逆冲断层,其运动结果使得库车坳陷形成了四带三凹的现今构造格局,即北部单斜带、克依构造带、秋立塔克背斜带,南部平缓背斜带及拜城凹陷、阳霞凹陷、乌什凹陷(图1)。

库车坳陷是一个以中、新生界沉积为主的陆源碎屑沉积,厚度达8 000 m以上,分布较完整。其中侏罗系、三叠系是本区主力烃源岩,地层厚度较大。从上到下发育有第四系、新第三系、老第三系、白垩系、侏罗系、三叠系。区域上存在两大不整合接触关系,即第三系与中生界、第四系与第三系呈角度不整合接触。中生代地层沉积特点是北厚南薄。三叠纪末期,塔北是个古隆起,分隔了库车坳陷与满加尔坳陷,所以中生代地层向北沉积加厚,向南超覆尖灭。新生代地层沉积特点为由北向南沉积加厚。

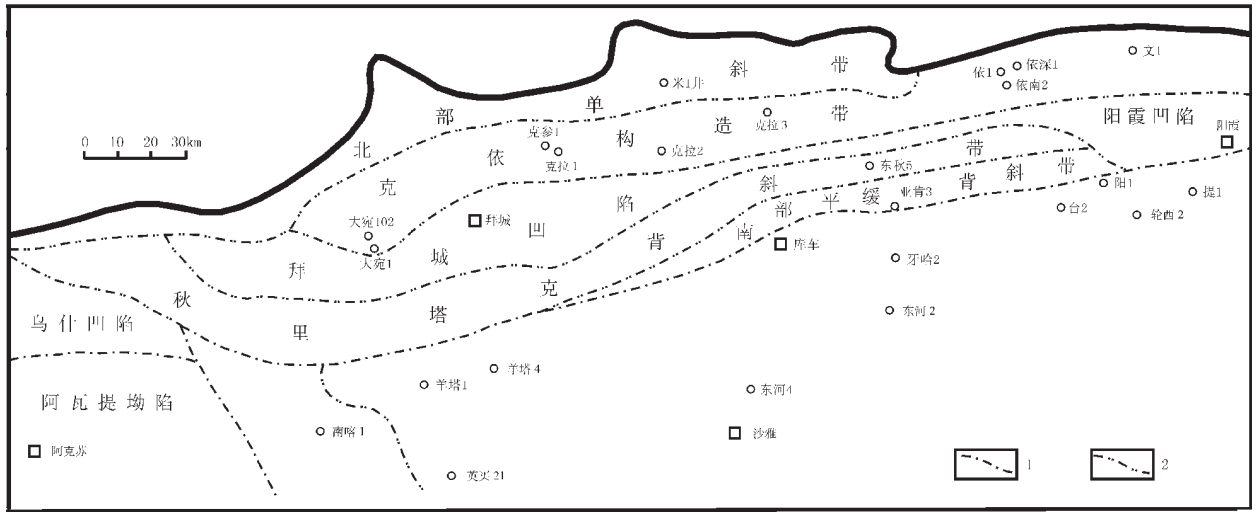


图1 库车拗陷二级构造单元分布图

Fig. 1 Distribution of second-order tectonic units in the Kuqa depression

1—库车拗陷界限 2—二级构造单元界限

## 2 拗陷油气成藏若干特征

(1) 库车拗陷发育2大类、6套烃源岩,气源条件优越。2大类烃源岩为煤系和湖相泥岩,其沉积环境分别为沼泽相和湖相两类。6套烃源岩分别是侏罗系恰克马克组、克孜勒努而组和阳霞组,三叠系塔里奇克组、黄山街组和克拉玛依组。其中,克孜勒努而组、阳霞组、塔里奇克组主要是煤系源岩,恰克马克组、黄山街组和克拉玛依组为湖相烃源岩。烃源岩总厚度较大,多数地区厚度可达1 000 m。

库车拗陷煤系源岩有机显微组分组成以镜质组、半镜质组和半惰性组为主,最显著特点是过渡显微组分含量较高,属于倾气型烃源岩。在三叠—侏罗纪各组段沉积时期,基底总沉降速率以晚三叠世和中侏罗世(以及早侏罗世阳霞期)较高,这些时期在相对较深水环境下发育湖沼相烃源岩,这些烃源岩主要分布于拜城凹陷,分布面积远小于煤系煤岩和泥岩。因此从成烃母质的组成和分布看,库车拗陷以成气为主,成油为辅。

从烃源岩演化程度来看,不同地区差别很大。总体上 $R_0$ 大约在0.6%~2.5%之间。凹陷中心演化程度大大高于凹陷边缘。阳霞凹陷中心烃源岩 $R_0$ 达1.4%,拜城凹陷则更高,达2.2%以上(图2)。

巨厚的烃源岩都已达到或超过了成熟阶段,生气强度最高可达 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,气源条件相当优

越,为天然气的成藏提供丰富的物质基础。

(2) 油气相态多样,油气分布不均。首先,库车拗陷不同地区油气含量比例差别很大(表1)。塔北隆起北斜坡带上的玉东2、英买7、红旗、牙哈、提尔根、羊塔克等气田气/油当量比在3.17~5.15之间,而拗陷中部的依南2气田、克拉2气田主要是气,油的含量很少或微量;大宛齐气/油当量比很小,以油为主。其次,库车拗陷不同地区天然气干燥系数( $C_1/C_{1+n}$ )差别较大(图3)。克拉2气田干燥系数最大,接近于1,平均为0.996,是库车拗陷唯一的干气藏。再次是依南2气田,尽管干燥系数也比较大,为0.93,因小于0.95,属湿气;大宛齐油气田天然气干燥系数也较高,平均0.91。塔北隆起北斜坡上的气田干燥系数都比较低,处于0.8~0.9之间,为湿气。

造成上述气/油当量比和干燥系数差别的原因有多种,与烃源岩成熟度、成烃母质、油气运移过程中的分异、油气储集层的物性以及油气保存条件等因素有关。

(3) 构造产生的断裂在油气成藏过程中起沟通气源的作用。本文所说的断裂指对烃源岩和储集层有密切关系的基底断裂、断层和裂缝。断裂在库车前陆盆地油气成藏过程中起重要作用,主要表现为,作为运移通道以及形成断裂圈闭等。

库车拗陷经多期的构造运动,形成一系列北倾逆断层,也形成了大宛齐、克拉玛依、依奇克里克、羊塔

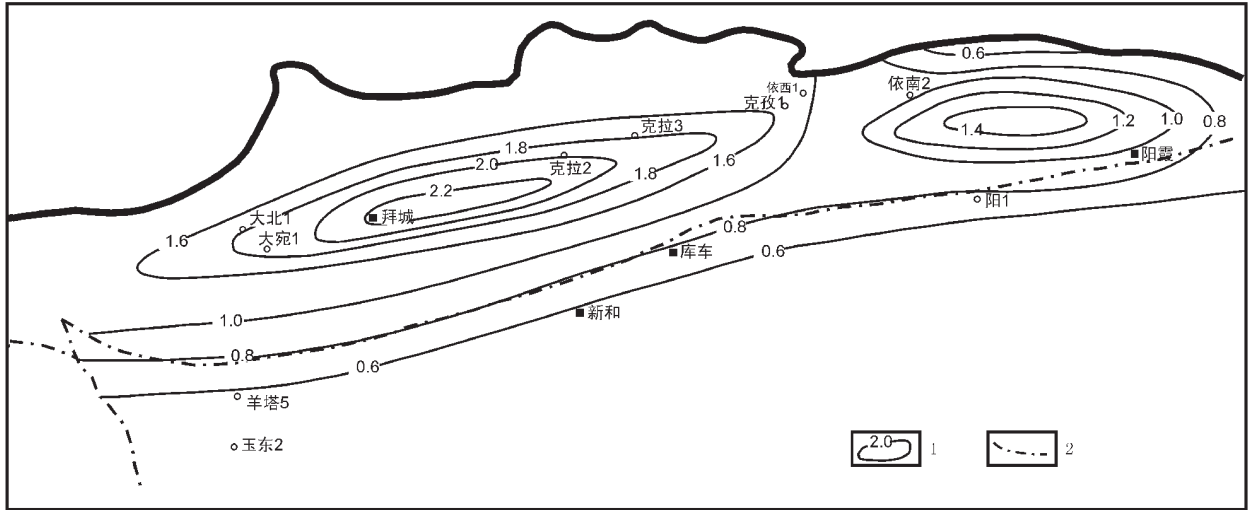


图2 库车坳陷烃源岩成熟度分布图(等值线为侏罗系阳霞组顶 $R_0$ 值, %)

Fig. 2 Distribution of the maturity of hydrocarbon source rocks in the Kuqa depression (the contour lines represent the  $R_0$  value (%) of the top of the Jurassic Yangxia Formation)

1— $R_0$ 等值线 2—库车坳陷分界线

表 1 库车坳陷不同气田油、气分布情况

Table 1 Distribution of oil and gas contents in different gas fields of the Kuqa depression

油气田	层位	气 ( $10^8\text{m}^3$ )	油 ( $10^4\text{t}$ )	气/油比 (油气当量)	孔隙度 (%)	渗透率 ( $10^{-3}\mu\text{m}^2$ )	盖层特征
玉东 2	K	73.32	142.5	5.15	17.44	71	泥岩、膏泥岩、膏岩及盐岩，膏质含量高
英买 7	E	412.36	1050.3	3.93	19.22	1049.7	膏泥岩为主
红旗	$N_{1j}$ 、E	19.6	35	5.60	19.32	717	泥岩、膏泥岩
牙哈	E	771.16	2435.8	3.17	12.57	130.93	厚层膏泥岩、泥岩
提尔根	$N_{1j}$ 、K	33.2	68.87	4.82	11.913	20.422	膏泥岩
依南 2	J	1770 <sup>①</sup>	少量		4.38	0.779	膏泥岩
克拉 2	E—K	2506.1	微量		11	0.875	膏泥岩为主
羊塔克	E—K	274.28	567.5	4.83	18.33	377.69	泥岩、膏盐岩为主
大宛齐	Q— $N_{1-2}$ 、k	3.86	613	0.063	22.09	479.717	泥岩

注：表中①为预测储量。

克、英买7、红旗、牙哈潜山、雅克拉、提尔根、轮台等断裂构造带。除依奇克里克断裂构造带外，其他各构造带油气储集层主要是第三系及白垩系，断裂便成了沟通侏罗系、三叠系源岩与上覆储集层的重要通道。特别是克拉2等气田，源岩埋藏深(约10 000 m)，源岩与储集层之间的距离大(大于5 000 m)，唯靠天然气的渗透和扩散很难形成气藏(图4)。所以断层作为油气运移通道在库车坳陷具有重要意义。在塔北隆起北斜坡，断层断距控制着构造幅度、气柱高度和油气藏层位，断层断到的层位才有油气，煤成气通过断裂向上运移至新第三系、老第三系和上白垩统，沿

断裂形成众多凝析气田。

在库车坳陷，背斜构造虽受断裂的破坏，但由于第三系多层膏岩和泥岩封堵，更有利于形成断裂圈闭。

(4)库车坳陷曾发生过多期成藏，但以晚期的最后一期成藏为主。

根据样品中成岩自生矿物及流体包裹体出现的期次，多数分析井至少发生2次或3次油气运移。以克拉2气田和依南2气田为例。克拉2井发现有3期流体包裹体，反映在上白垩统地层中至少发生有3次油气充注和运移，第I期有机包裹体为浅黄、亮黄色，以

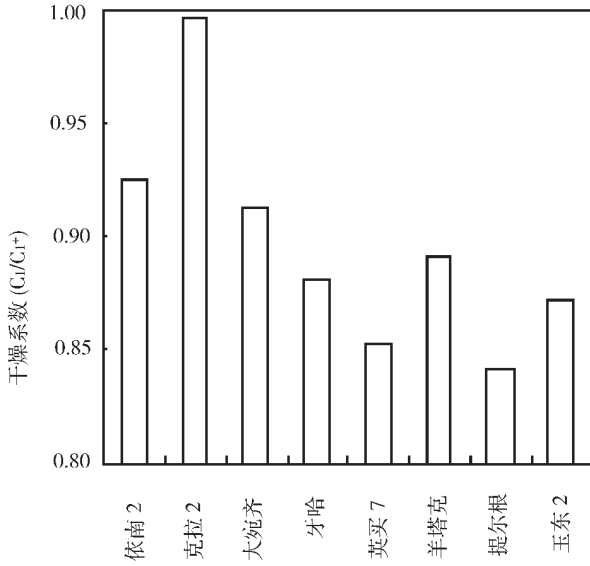


图3 库车坳陷主要油气田天然气干燥系数对比图

Fig. 3 Comparison of dryness coefficients of different oil and gas fields in the Kuqa depression

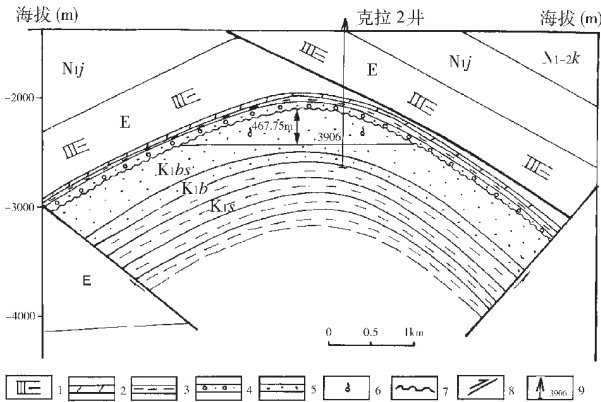


图4 克拉2气田剖面图

Fig. 4 Section of the Kela 2 gas field

- 1—膏盐 2—白云岩 3—泥岩 4—砂砾岩 5—砂岩 6—气藏；
- 7—不整合线 8—断层 9—钻孔及标高；
- K<sub>1s</sub>—舒善河组 K<sub>1b</sub>—巴西盖组 K<sub>1bs</sub>—巴什基基克组；
- E—老第三系 N<sub>1j</sub>—吉迪克组 N<sub>1-2k</sub>—康村组

液态烃包裹体为主,古地温105~110℃,处于石油生成和运移阶段,第Ⅱ期有机包裹体为黄绿色、暗褐色,液态烃包裹体与气态烃包裹体并存,以气态烃包裹体居多,古地温130~136℃,处于凝析油-湿气阶段,并开始运移。第Ⅲ期有机包裹体为灰黑色、褐黑色,以气态烃包裹体为主,且有较多的固体沥青包裹体,古地温163~169℃,最高达181℃。激光拉曼光谱特征也显示后后期次生裂隙中的气态烃包裹体

主要成分为甲烷,表明处于干气阶段,气态烃包裹体广泛分布,已大规模运移。

油气充注、成藏与构造演化息息相关,构造活动(包括断裂、圈闭的形成等)控制着油气的演化、成藏和保存条件。有机包裹体是油气运移和充注的遗迹和直接证据。根据包裹体的均一温度换算出油气运移和充注深度,结合本区的沉积埋藏史,进而得出油气充注的时间。而油气成藏是与油气充注同时或稍晚发生。断裂构造的发育、油气大规模充注和圈闭的形成是油气成藏同时并存的必要条件,所以有利的构造格局、有机包裹体的大量形成和油气的充注成藏在时空上是匹配的。本文根据包裹体研究结果结合沉积埋藏史得出,库车坳陷总体上发生3期油气形成和充注,大约分别形成于吉迪克期、康村期和库车期。

依南2井侏罗系主要出现较晚的两期包裹体,其中第Ⅱ期有机包裹体为黄、褐黄、棕黄色,以液态烃包裹体为主(60%~80%),部分为气态烃(20%~30%),还有少量的沥青(5%~10%)。说明石油已经形成并已大量运移,第Ⅲ期主要是次生裂隙中的包裹体,呈黑灰、深灰、褐黑色,液态烃与气态烃包裹体共存,以气态烃为主,反映出油气处于凝析气运移的主要时期。

克拉201井属于克拉2气田的评价井,流体包裹体类型特征及古地温与克拉2井相近,反映出其油气演化程度及油气运移与克拉2井相近。

库车坳陷最后一期成藏对现今天然气藏来说至关重要。天然气由于其分子小、密度小、分子结构简单,在地层中易于散失而不易成藏。对于天然气藏盖层而言,尽管其封盖能力很强,但也避免不了天然气的自然散失。研究表明,天然气在地质历史时期散失量是相当大的。如鄂尔多斯盆地刘家庄气田,在50 Ma中扩散散失天然气量相当该气田目前储量的266倍<sup>[1]</sup>。又如崖13-1气田目前散失率约为282.0×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/Ma<sup>[2]</sup>,每百万年散失量相当于一个大中型气田储量。所以,成藏期早的气田一般难以保存其所聚集的大量天然气,从而难以形成大中型气田(藏)。

需要强调的是,此处所指的成藏期系指最后一次成藏。成藏期晚,特别是成藏期晚的大中型圈闭,因天然气散失时间短,散失量不大,因而易于发育大中型气田(藏)。

中国煤成大中型气田成藏期最晚的是柴达木盆地三湖地区发现的3个煤成大中型气田,其成藏期为

Q。气田盖层封盖能力在全国煤成大中型气田中最差,泥岩盖层平均空隙度在26%以上,渗透率一般在 $(0.1\sim 0.2)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,如此差的封盖条件,气源岩并非处于生气高峰期,之所以能形成大中型气田归功于其成藏期晚。

库车坳陷油气生成的高峰期与圈闭的形成期都很晚,主要为E—N,属晚、近期成藏,有利于大中型气田的形成。

(5)与吐哈盆地相比,优质的膏泥岩盖层,使得库车相对富气,吐哈相对富油。存在3种可能因素制约库车坳陷与吐哈盆地油气成藏特征不同。第一,成熟度因素。库车坳陷煤系烃源岩成熟度较高( $R_0$ 处于0.6%~2.5%),多数地区达高熟或过熟阶段;而吐哈盆地较低( $R_0$ 主要为0.6%~0.8%),正处于凝析油气阶段,生油相对较多。第二,库车坳陷第三系发育了巨厚的膏盐或膏泥岩盖层,对天然气保存极为有利;而吐哈盆地则没有这层优质盖层,天然气容易大量散失,并加速油气运移,油气可以分异形成残余油藏。第三,煤岩显微组成吐哈盆地富氢组分略高于库车坳陷,理论上更有利液态烃的生成。

分析上述原因,烃源岩成熟度不是主要因素,因为尽管吐哈盆地煤系源岩成熟度较低,处于凝析油气阶段,但煤系源岩的性质决定了在该阶段应该还是以生气为主,生油为辅,只是该阶段生成的油比其他阶段略偏多,不足以造成吐哈盆地主要是油、库车坳陷主要是气的这种差别。况且,库车坳陷靠近塔北隆起的斜坡带,侏罗系烃源岩成熟度亦处于凝析气阶段,只不过产生的天然气干燥程度偏低,有较多的凝析油,但仍以产气为主。

有机显微组分虽对生气还是生油有一定的影响,但吐哈盆地和库车坳陷煤岩显微组分组成差别并不是很大,前者壳质组含量只比后者高出约5%左右,这样的差别也不足以造成吐哈盆地和库车坳陷的前者富油后者富气的差别。

所以,根本原因是保存条件的差别。库车坳陷优质的膏盐或膏泥岩盖层普遍发育,天然气不易散失,或散失相对较慢,因而保留下了较多的天然气;而吐哈盆地区域盖层主要是一套湖相沉积,岩性为湖相泥岩、夹砂泥岩和砂岩,泥岩分布比较稳定,构成了较好的盖层,但相比而言,封盖能力远不及库车坳陷的巨厚和膏盐或膏泥岩。封盖能力相对较差,天然气容易大量散失,油散失的相对较慢,保存下来的油相

对较多,造成油气分异形成残余油藏。库车坳陷也存在这种类型的油藏或油气藏。

6)库车坳陷油藏的形成是天然气大量散失所至,是残余油藏。库车坳陷是以Ⅲ型干酪根为主要烃源岩的前陆盆地,以勘探天然气为主,但大量油苗的发现,如康村油苗、基里什油苗、吐格尔明油苗、米斯布拉克油苗、塔克拉克油苗等,说明库车坳陷发生过大规模的油气运移和聚集,且在适当的条件下,亦可形成一定规模的油藏。目前在库车坳陷只发现一个依奇克里克油田和一个大宛齐油气田(气/油当量比为0.063)。

依奇克里克油田在克依构造带的东边,处于逆冲断层的上升盘(图5)。该油田亦属浅层油田,产层的深度只有数百米左右。该油田所在的区块经过两次构造运动,特别是喜山运动大面积抬升,上覆地层遭受剥蚀减薄,侏罗系煤系源岩埋藏深度变浅,停止演化。这时煤系源岩的成熟度 $R_0$ 为0.65%~1.00%之间,正处于凝析油气阶段。地层抬升,打破了原有的平衡,油气在地层中重新分配,运向构造高处。由于构造高处的上覆地层被剥蚀的厚度较大,留下的盖层较薄,封盖能力变差。油气运移至浅层,压力释放,导致油气分异。天然气透过盖层不断散失,原油散失

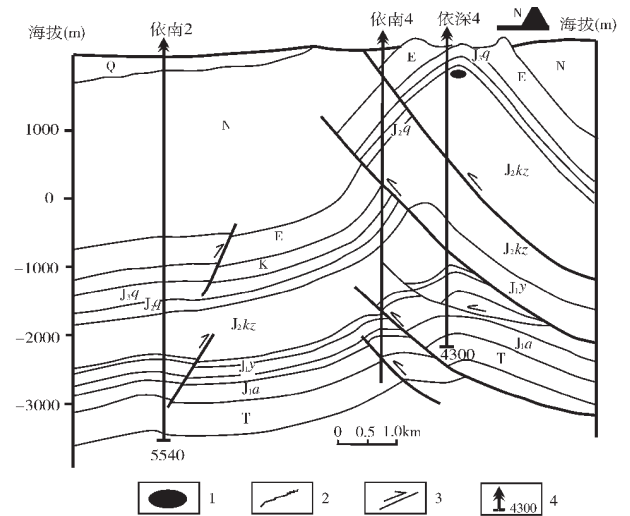


图5 依南2井—依深4井剖面图

(据依奇克里克项目组,1999)

Fig. 5 Section from well Yinan-2 to well Yishen-4  
1—油藏; 2—地层界限; 3—断层及运动方向; 4—钻孔及标高;  
N—新第三系; E—老第三系; K—白垩系;  $J_2q$ —齐古组;  
 $J_2kz$ —恰克马克组;  $J_2kz$ —克孜勒努尔组;  $J_1y$ —阳霞组;  
 $J_1a$ —阿合组; T—三叠系

较慢,得以保留。油气不断供给,原油不断积累,形成依奇克里克油田。

大宛齐为浅层油田,产层为新第三系康村组和第四系,油气来源于下覆深部的煤系源岩,沟通源岩

的断层是油气运移的通道(图6)。大宛齐构造位于克依构造带西部,吐孜玛扎背斜以南。喜山运动末期,在南天山的挤压应力作用下,老第三系苏维依组膏盐层塑性上拱形成穹隆形盐拱背斜,背斜顶部发育若干拉张正断层,将背斜构造分割为多个断快,所以大宛齐又为断块油藏。由于大宛齐油田第三系至第四系储层之上缺乏膏泥岩,盖层的封盖能力较差,天然气和轻烃组分大量散失,只有分子量较大的重质组分相对富集保留形成残余油藏。

根据库车坳陷资源特性、区域地质背景和区域构造特征,库车坳陷的原油勘探目标应该是天然气大量散失地区形成的残余油藏。在盖层封闭性稍差地区、有断裂破坏地区,或在喜山期后整体抬升的局部隆起区,这些地区是油气运移的指向区,油气可呈不同的相态大规模运向该区,大量天然气散失,原油得以富集保留,形成残余油藏。库车坳陷内的大宛齐和依奇克里克油田就属于这种油藏。

参考文献:

- [1] 戴金星,宋岩,张厚福.中国大中型气田形成的主要控制因素[J] 中国科学(D辑),1996,26(6):481~487.
- [2] 郝石生,等.天然气的运移机理及成藏机制[A]见:中国大中型天然气田形成条件与分布规律[C]北京:地质出版社,1997. 47~57.
- [3] 顾树松.柴达木盆地东部第四系气田形成条件及勘探实践[M] 北京:石油工业出版社,1993.

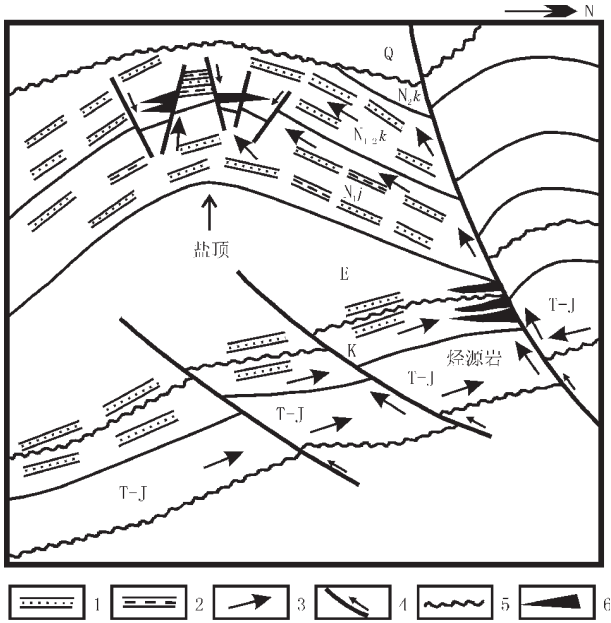


图6 大宛齐浅层油气藏剖面图

Fig. 6 Section of shallow oil and gas deposits in Dawanqi

- 1—砂岩 2—泥岩 3—油气运移方向 4—断层及运动方向;
- 5—不整合面 6—油气藏 Q—第四系 N<sub>2</sub>k—库车组;
- N<sub>1-2</sub>k—康村组 N<sub>j</sub>—吉迪克组 E—老第三系;
- K—白垩系 T—J—三叠系—侏罗系

### Some characteristics of oil and gas accumulation in the Kuqa depression, Tarim basin

QIN Sheng-fei<sup>1</sup>, JIA Cheng-zao<sup>2</sup>, TAO Shi-zhen<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. PetroChina, Beijing 100724, China)

**Abstract:** There exist 6 sets of hydrocarbon source rocks with a great gas generation potential in the Kuqa depression, which provide plenty of gas for gas accumulation in the depression. Tectonic movements generated a series of fractures, which get the deep gas source rocks connected and provide good conduits for the migration of natural gas from deep source rocks to reservoirs. Due to the influence of many factors, the phase states of oil and gas in the Kuqa depression are of very uneven distribution. Multiple phases of petroleum accumulation occurred in the Kuqa depression but the last phase was the most important. Gas accumulation occurred relatively late in the Kuqa depression. The Kuqa depression mainly yields gas; however, a part of oil deposits or oil and gas deposits are residual ones, which is the result of diffusion of large amounts of gas. Because of the difference in preservation conditions between the Kuqa depression and the Turpan-Hami basin, the Kuqa depression is gas-prone while the Turpan-Hami basin is oil-prone.

**Key words:** Kuqa depression; oil and gas; oil and gas accumulation; Tarim basin