

文章编号: 1001-6112(2007)06-0589-04

塔河油田主体区奥陶系缝洞系统与油气分布

饶丹¹, 马绪杰², 贾存善¹, 蒋小琼¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151;

2. 中国石油化工股份有限公司 西北分公司 勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过宏观构造演化与微观流体地球化学性质的研究,认为塔河油田油气分布受控于海西早、晚期构造运动叠加形成的构造格架。古构造叠加的结果控制了古地貌和裂缝发育强度,古地貌和裂缝发育强度控制了古水系的流动方向及溶蚀深度,它们是岩溶作用发育的主控因素。特别是海西晚期形成的古构造与阿克库勒凸起轴部的叠合部位,是岩溶、裂缝最发育的地区,普遍存在的高角度裂缝在三维空间上将各类岩溶孔洞连通为大规模储集体,从而造成主油区大型缝洞系统横向上的分区性。通过对塔河油田奥陶系主体区油藏流体非均质性及宏观构造演化的分析,划分出 2 个大型缝洞系统和 1 个中小型缝洞系统。

关键词:流体性质;缝洞系统;奥陶系;塔河油田;塔里木盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

FRACTURE-CAVE SYSTEM AND PETROLEUM DISTRIBUTION IN ORDOVICIAN IN MAIN REGION OF TAHE OIL FIELD

Rao Dan¹, Ma Xujie², Jia Cunshan¹, Jiang Xiaoqiong¹

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production,

SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Production,

Northwest Branch Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Macroscopic tectonic evolution and microscopic fluid geochemistry studies have proved that, petroleum distribution in the Tahe Oil Field is controlled by tectonic framework formed by combination of early and late Hercynian movements. Superposition of ancient structures controls generation of palaeo-geomorphology and fracture. Generation of palaeo-geomorphology and fracture controls ancestral rive orientation and erosion depth. They are the main controlling factors of karst effect. Especially in the superposition of ancient structure formed during late Hercynian and axle of the Akekule Uplift, karst and fracture generate in large scale. Commonly-found large angle fractures connect caves into large reserve, resulting in horizontal division of large fracture-cave system in main region of the field. Based on fluid heterogeneity and macroscopic tectonic evolution analysis in Ordovician in main region of the Tahe Oil Field, 2 large and 1 middle-small fracture-cave systems are divided.

Key words: fracture-cave system; fluid character; Ordovician; the Tahe Oil Field; the Tarim Basin

塔河油田奥陶系油藏是罕见的极其复杂的岩溶—缝洞型碳酸盐岩油藏,表现在储集空间复杂多样,非均质性强;纵向上具有多个缝洞发育带;平面上、纵向上油水分布复杂,无统一油水边界;单元之间能量差异大;流体非均质性强等方面。本文从宏观到微观分析其流体非均质性的原因,研究范围是塔河油田 4,6,7 号油区,该区块是目前塔河油田奥陶系的主力油藏,位于塔河油田主体部位。

1 流体区域分布特征

1.1 天然气区域分布特征

塔河油田主体区奥陶系天然气均为以腐泥型为母质的湿气,甲烷含量 68.93%~81.11%,重烃含量(C₂₊)12.36%~25.99%,属成熟油田气。从东向西甲烷含量逐渐减少,重烃含量逐渐增加,整体表现为东干西湿,东部成熟度高于西部。

收稿日期: 2007-03-08; 修订日期: 2007-09-30。

作者简介: 饶丹(1966—),女(汉族),四川乐至人,高级工程师,主要从事石油地质地球化学研究。

天然气甲烷碳同位素分布于 -38.41‰ ~ -43.36‰ 之间,乙烷碳同位素分布于 -38.11‰ ~ -40.34‰ 之间,总体属海相油型热解气。东部区块甲烷碳同位素偏重,西部区块乙烷碳同位素偏重,中部区块处于两者之间的过渡区,反映天然气成熟度由东向西逐渐降低(图 1)。

1.2 原油区域分布特征

塔河油田主体区下奥陶统原油多为以腐泥型为母质的重质油,仅南部 S75 井附近存在一个小范围的正常原油分布区,密度介于 0.96 ~ 0.99 g/cm³,从东南向西北原油密度及含硫量逐渐增加。原油均不同程度地遭受过生物降解,降解程度最严重的是西北部,相对较轻的是中、西部区块的南部,即往西北方向原油降解程度增加,往西南方向原油降解程度降低,其余地区降解程度中等。原油物性分布上的差异决定了原油化学性质上的必然差异。

总体为成熟—高成熟原油,原油成熟度在平面上呈现出由北东南西、由北向南增加的趋势(图 2);属于高萘、高菲、高硫芴系列化合物的原油^[1],三芴系列化合物含量反映原油生源沉积环境为强还原环境;从原油芳烃中萘、菲系列化合物含量变化来看,东区北部相对富集萘系列,而南部相对富集菲系列,这种南北差异现象与原油运移分异有关。

1.3 地层水区域分布特征

塔河主体区奥陶系油田水为 CaCl₂ 型,矿化度多在 200 g/L 以上,总体向西北方向有不断降低的趋势。水中微量元素 Sr, Rb, Li, Ba 等含量均具有从北向南、从东向西有降低的趋势;水中稀土元素 Eu, La, Lu, Yb, Ce 等含量变化也存在由东向西不断降低的趋势。

塔河油田主体区流体(油、气、水)性质平面上呈现出东区、中区、西区 3 大块差异性,究其原因,受构造演化控制的缝洞系统的发育控制了塔河油田主体区大型油气聚集系统的形成与分布。

2 构造演化对缝洞系统形成的控制作用

塔河油田主体区流体区域性质分布特征表明,东部、中部及西部区块油、气、水物理、化学性质上均存在一定差异,这是受构造演化(不同期次构造运动强度,断裂发育性质、强度、方向)、古大气水流方向、缝洞系统连通性、油气多期充注(充注范围、方向)、多期成藏(早期遭受破坏、晚期定型)等多种地质因素综合作用的结果^[2~4]。

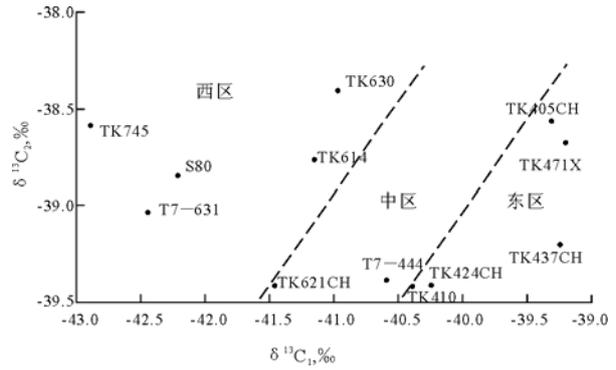


图 1 塔河油田主体区不整合面下 0~120 m 天然气 C₁-C₂ 碳同位素关系

Fig. 1 Relation of C₁-C₂ isotope in natural gas 0-120 m below unconformity in main region of the Tahe Oil Field

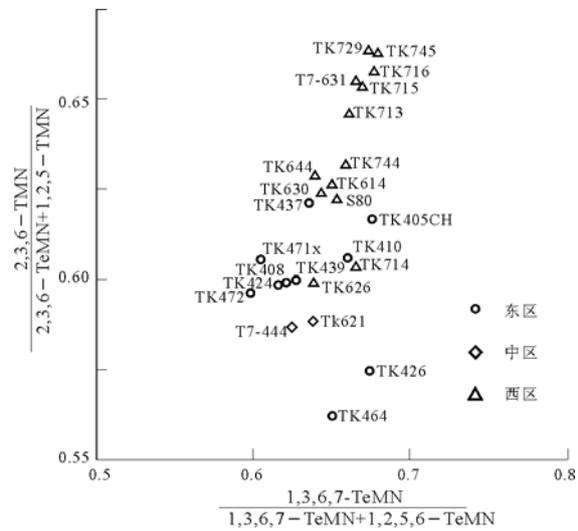


图 2 塔河油田主体区原油烷基萘成熟度 TMN, 三甲基萘; TeMN, 四甲基萘

Fig. 2 Maturity of alkyl naphthalene in crude oil from main region of the Tahe Oil Field

2.1 特殊构造格架与缝洞系统分布

塔河油田 4, 6, 7 区位于阿克库勒凸起南部斜坡带,在海西早期和晚期构造运动叠加下形成了特殊的构造格架。

在加里东期运动形成阿克库勒古鼻凸锥形的基础上,海西早期运动形成向西南倾没的北东向展布的大型鼻凸复背斜,其东南侧呈缓斜坡,北西侧较陡,同时在宽缓的东南斜坡还发育一系列北东向次级褶皱及沿褶皱带发育的断裂系统。该期主压应力方向为北西—南东向,形成相应的古构造方向为北东—南西向。同时,轴向北东的褶皱作用主要形成一系列北西向纵张断裂和裂缝。

海西早期是塔河奥陶系古岩溶发育的主要时期。在地层不断抬升过程中,志留系、泥盆系及中上

奥陶统剥蚀殆尽,中、下奥陶统围压不断下降,在构造应力集中的部位就容易发育裂缝和断裂,这些部位包括凸起轴部及两翼的次级褶皱。中下奥陶统长期暴露在地表,大气水就可以直接通过凸起轴部的断裂和裂缝渗入地表溶蚀碳酸盐岩而形成大型缝洞系统。北东向褶皱由于应力比较集中,也是构造断裂和裂缝发育的部位,为岩溶发育创造了空间条件,因而是大型溶蚀孔、洞、缝系统集中发育的地区。

海西晚期运动是一次重要的构造运动,主压应力方向由海西早期的北西向改变为近南北向,形成了一系列近东西向的褶皱和断裂系统,导致褶皱轴向变化,断裂裂缝发育程度及方向也因此发生变化。

海西晚期运动的特征最大特征是东西向断裂活动加剧,东西向断裂和裂缝发育扩大了海西早期发育的岩溶缝洞系统的横向延伸范围,并使岩溶缝洞系统东西方向上的连通性大大增强。由于海西晚期变形是叠加在早期变形的基础之上的,不仅使叠加变形区裂缝发育程度增高,而且除继承前期构造外,还形成了切割前期北东向褶皱的近南北向以及北北东向低幅度褶皱,这是本区大型缝洞系统发育的根本原因之一,也是大型缝洞系统分布的基础。

2.2 古大气水对缝洞系统发育的控制作用

塔河油田奥陶系油藏所产的地层水为古大气降水和原生沉积水的混合水^[5],证明中、下奥陶统碳酸盐岩缝洞型储层发育的原动力来自于古大气水对碳酸盐岩的溶蚀作用。海西早期构造运动导致阿克库勒凸起再次抬升,奥陶系长期暴露地表,大气水在重力作用下通过构造运动形成的断裂和裂缝等渗入地表溶蚀、深切碳酸盐岩而形成溶蚀孔、洞、缝等复杂缝洞系统^[6]。

根据塔河奥陶系地层水能够反映水流动方向的 HCO_3^- 碳同位素、锶同位素值的平面变化规律,可以判断出阿克库勒凸起上大气水的优势流动方向为:从东北构造高地向鼻凸倾伏的西南方向流动,并且在流动过程中从构造轴部向两翼分流^[7]。海西早期大气降水主要由阿克库勒凸起轴部沿断裂注入地表,在地形高差引起的重力驱动下,形成由构造轴部沿 T_7^4 不整合面向两翼和倾伏端(低处)流动的水动力场。

3 缝洞系统划分

塔河油田4,6,7区大型缝洞系统明显受海西早期古岩溶地貌残丘和海西晚期构造运动挤压叠合作用控制,中、下奥陶统顶面(T_7^4 不整合面)除具鼻凸构造特征外,在构造轴部及斜坡部位发育有一

系列大大小小的潜山头,在潜山头集中的部位就形成一些规模较大的局部构造。

大量勘探实践表明,若把这些小潜山头作为构造圈闭来开展油气勘探,就会发现目前的油气富集程度远大于圈闭封闭的油气充满度,因此塔河油田奥陶系油气分布并不受构造圈闭控制,而受碳酸盐岩岩溶缝洞系统发育及其展布控制。目前的油气开发井产量分布动态资料表明,塔河4,6,7区油气产量高的井全部集中于潜山头集中区,说明该区是岩溶缝洞系统比较发育的部位,这是由海西早期和晚期构造运动叠加效应形成的特殊构造格架决定的。

塔河4,6,7区范围内东西两侧各发育2个由多个大小不一的潜山头构成的局部构造系统或潜山头集中区,它们是在海西早期发育的北东向褶皱受岩溶作用改造的残留面貌基础上,叠加了海西晚期近南北向以及北北东向低幅度褶皱,从而使海西早期褶皱受到晚期近南北向以及北北东向低幅度褶皱的切割。海西早期的北东向褶皱本身就是构造断裂和裂缝发育区,因而也是岩溶缝洞发育区。海西晚期在南北向构造主应力的挤压作用下,发育东西向的断裂和裂缝,同时还叠加了近南北向以及北北东向低幅度褶皱,这些叠加效应的共同作用,使这2个局部构造系统成为大型岩溶缝洞系统发育的部位,因而已成为油气高产区。因此,2期构造应力集中叠加区是岩溶缝洞连通性较好的地区,也是大型缝洞系统发育区。由此推断塔河油田大型缝洞系统应主要分布于阿克库勒鼻凸的构造轴部及局部构造高部位。

因此,把塔河4,6,7区东西两侧潜山头集中发育区划分为2个大型缝洞系统:东区(艾协克2号构造)和西区(牧场北构造)(图3),东区和西区之间为过渡区中区。东区北部呈南北向展布,南部呈近东西向展布,其中的潜山头伸展方向变大;而西区则是总体呈北北东向展布的小潜山头构造。

东区和西区岩溶缝洞系统比较发育,溶洞及裂缝横向展布范围大,岩溶发育深度大,从而流体在这些相互连通的缝洞系统中流动,使邻近的开发井之间相互沟通,成为统一的开发系统。大量开发井油气开发动态资料分析表明,目前所划分的相互连通的开发缝洞系统都集中于东区和西区。但由于岩溶作用形成碳酸盐岩缝洞系统的复杂性,造成储层非均质性很强,因而分布于这2个区内的开发井并不能大规模连片连通^[8]。中区为过渡区,为地貌相对较低的部位,属于岩溶洼地,潜山头分布较少,开发井之间的连通性相对较差。在这2个区之外,

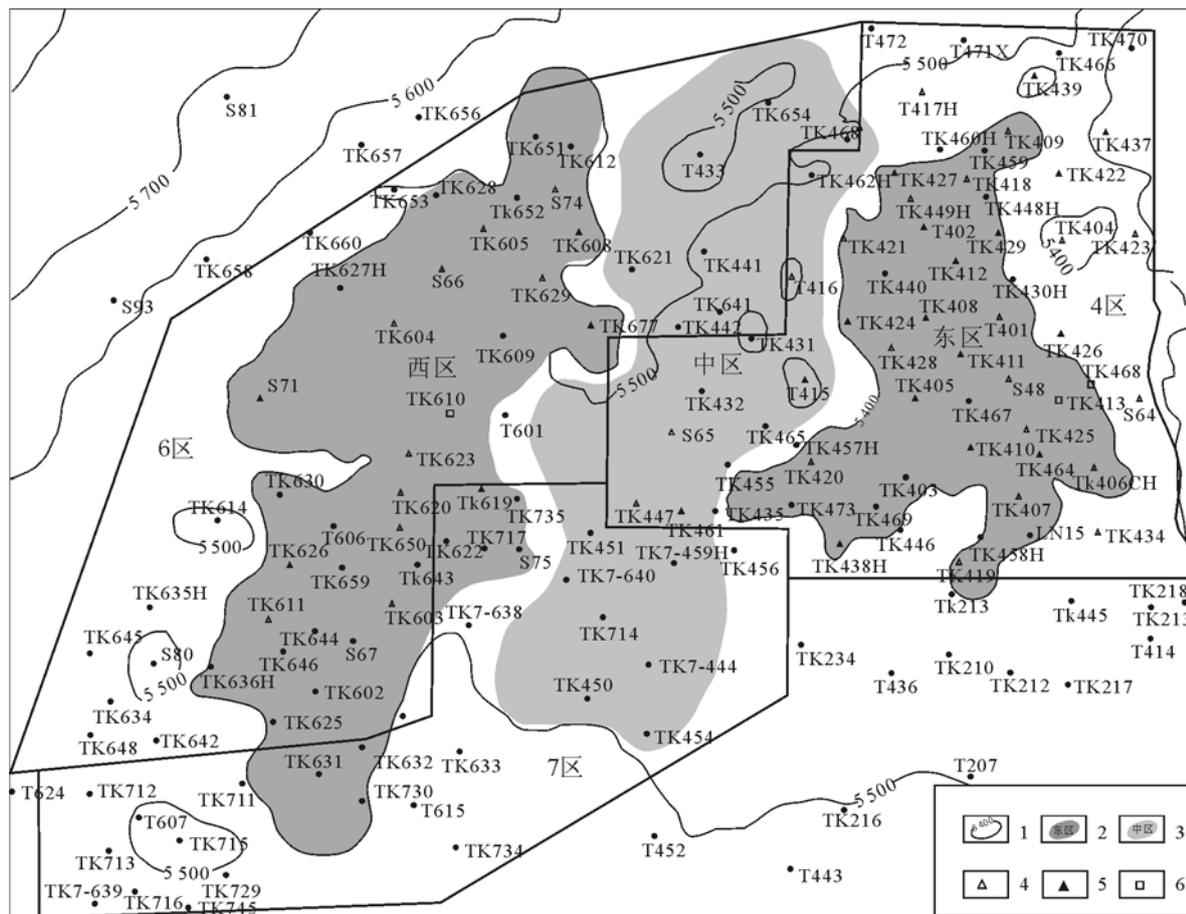


图3 塔河油田主体区大型缝洞系统划分

- 1. T₂¹ 面等深线(中下奥陶统顶)/m; 2. 潜山头集中区; 3. 过渡区;
 - 4. T₂¹ 构造面下 0~60 m 溶洞; 5. T₂¹ 构造面下 0~120 m 溶洞; 6. T₂¹ 构造面下 0~180 m 溶洞
- Fig. 3 Large fracture-cave system division in main region of the Tahe Oil Field

潜山头分布更加零散,大多数开发井为定容系统,油气产量衰减较快,含水率上升快,为高勘探风险区。

4 结论

塔河油田大型缝洞系统的分布从根本上受控于构造演化。早、晚 2 期海西运动构造演化及形变形成的古构造控制古地貌特征,控制古大气水流方向,最终控制塔河油田大型缝洞系统的分布,决定塔河油田主体区东、西 2 个大型油气聚集系统的形成、分布及主力油气开发系统的划分。

海西早期和晚期古大气水的主要流动方向是从阿克库勒凸起高部位向倾伏端流动,并在重力驱动下由轴部向两翼流动。大气水流动方向以及断裂和裂缝走向对岩溶发育方向具有控制作用,塔河奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞系统的发育方向与大气水流动方向以及断裂和裂缝的走向大致平行。

塔河油田主体区流体(油、气、水)性质平面上呈现出的非均质性,追根溯源受控于构造演化,受

控于由构造演化控制的缝洞系统,而所有的流体地球化学特征均归因于这三大缝洞系统或区块上。

参考文献:

- 1 王振平,曲佳燕,卢双舫. 原油中萘菲系列化合物的分布与油藏聚集途径[J]. 大庆石油学院学报,2002,26(3):5~8
- 2 顾 忆,罗 宏,邵志兵等. 塔里木盆地北部油气成因与保存[M]. 北京:地质出版社,1998
- 3 顾 忆,黄继文,邵志兵. 塔河油田奥陶系油气地球化学特征与油气运移[J]. 石油实验地质,2003,25(6):746~750
- 4 俞仁连. 塔里木盆地塔河油田加里东期古岩溶特征及其意义[J]. 石油实验地质,2005,27(5):468~472
- 5 蔡立国,钱一雄,刘光祥等. 塔河油田及邻区地层水成因探讨[J]. 石油实验地质,2002,24(1):57~60
- 6 钱一雄,蔡立国,顾 忆. 塔里木盆地塔河油田水离子组合及参数的平面分布与油气运移[J]. 石油实验地质,2005,27(5):502~507
- 7 贾存善,马绪杰,饶 丹等. 塔河油田奥陶系油田水同位素特征及地质意义[J]. 石油实验地质,2007,29(3):292~297
- 8 杨 敏. 塔河油田 4 区岩溶缝洞型碳酸盐岩储层井间连通性研究[J]. 新疆地质,2004,22(2):196~199