

塔河油田碳酸盐岩油藏缝洞分隔性研究

荣元帅^{1,2}, 胡文革², 蒲万芬¹, 巫波², 刘遥², 鲁新便², 李新华²

(1. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610500; 2. 中国石化 西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 针对塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏主体区剩余缝洞水淹程度高、油水关系复杂、加密部署风险大的问题, 结合油藏生产实际, 提出了碳酸盐岩缝洞型油藏分隔缝洞体的概念, 形成了基于油藏地质背景的缝洞分隔性研究的技术思路和方法, 总结出“三大类七亚类”的缝洞分隔模式: 河道(管道)分隔型(支流河道分隔型、充填分隔型、U 型管分隔型)、断裂分隔型(内幕断裂分隔型、交错断裂分隔型、平行断裂分隔型)和岩溶沟谷分隔型。以基于油藏地质背景的缝洞分隔性研究为基础的老区加密部署效果良好, 投产新井产能明显提高, 突破了井位部署大于 500 m 井距的限制, 较大程度上增加了可开发缝洞体潜力, 降低了加密调整水淹风险。

关键词: 缝洞分隔性; 分隔模式; 加密部署; 缝洞型油藏; 塔河油田

中图分类号: TE344

文献标志码: A

Separation of fractures and cavities in carbonate reservoirs in the Tahe Oil Field

Rong Yuanshuai^{1,2}, Hu Wenge², Pu Wangfen¹, Wu Bo², Liu Yao², Lu Xinbian², Li Xinhua²

(1. State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China; 2. SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Most of the fractures and cavities that remain in carbonate reservoirs are water flooded in the Tahe Oil Field. This complex distribution of oil and water makes successful exploration and production more difficult. A new concept and some methods for separating fractures and cavities in carbonate reservoirs are proposed based on petroleum geology concepts. Separation models were classified into three types and seven sub-types as follows: separation by river channels or pipes (separation by branch channels, fillings, or U pipes), separation by faults (separation by internal faults, intersecting faults or parallel faults), and separation by karst channels. This method was applied to some old oil fields, and was proved effective in deploying a denser coverage of new wells. The traditional well spacing limit of at least 500 m was broken. The potential of fracture and cavity reservoirs is proposed, and the risk of water flooding in the dense deployment of new wells was reduced.

Key words: separation of fracture and cavity; separation model; dense deployment; fracture and cavity reservoir; Tahe Oil Field

塔河油田奥陶系油藏是经过多期构造运动和古岩溶共同作用形成的碳酸盐岩缝洞型油藏, 油藏储集体以构造变形产生的构造裂缝与岩溶作用形成的孔、洞、缝为主, 其中大型洞穴是最主要的储集空间, 裂缝既是主要的储集空间, 也是主要的连通道^[1-4]。碳酸盐岩基质基本不具有储渗意义, 储集空间形态多样, 大小悬殊, 分布不均, 且具有很强的非均质性^[5-8]。塔河油田于 1997 年投入开发, 目前中东部主体区已相继进入了开发的中后期, 油藏综合含水达 65%, 高含水后的低产低效及关停井占 80%。前期经过多年探索、实践, 逐渐形成了以地震反射特征分析和振幅变化率技术为主的地震综合

识别和预测缝洞技术方法^[9-11], 且形成了一套“以洞布井、逐洞开发、动态调整、逐步完善”为主的滚动布井思路和方法技术, 高效指导了前期低缝洞动用程度下的开发井位部署。前期井位部署主要围绕高产油井滚动部署, 对油藏地质背景和未动用缝洞与已动用的缝洞之间的关系考虑较少, 且为防止部署新井影响连通老井的产能, 部署直井井距一般要大于 500 m。但随着塔河主体区缝洞动用程度不断提高, 井距较大的剩余缝洞体逐渐减少, 且由于缝洞内部结构不清导致剩余缝洞水淹状况认识难度大, 以前期的井位部署思路和方法开展井位部署^[12]水淹风险较大。因此, 如何在水淹程度高、油

收稿日期: 2014-08-14; 修订日期: 2015-08-06。

作者简介: 荣元帅 (1978—), 男, 在读博士, 高级工程师, 从事碳酸盐岩缝洞型油藏开发研究。E-mail: rongmarshal@163.com。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2011CB201005) 和国家科技重大专项 (2011ZX05049) 资助。

水关系复杂的缝洞型油藏老区进行高效加密部署,进一步提高储量动用程度,是一项重大的技术难题。

本文结合油藏生产实际,提出了碳酸盐岩缝洞型油藏分隔缝洞体的概念,并加强了基于油藏地质背景的缝洞分隔性研究,明确了各缝洞体基于油藏地质背景的油藏控因及分隔关系,以此为基础在老区开展加密部署,转变了前期单一的滚动部署思路,突破了井距的限制,较大程度上增加了可开发缝洞体潜力,降低了水淹风险,为该类油藏老区二次开发提供了新的思路和方法。

1 缝洞分隔性研究的提出

2013年初在以常规振幅变化率为缝洞预测主导技术(图1a,强振幅变化率为缝洞)的塔河油田2区TK222井区的井位部署中,前期直井(TK222)和第一次侧钻井(TK222CH)分别为未建产水井和高含水低产井,在第二次向北部侧钻后投产的TK222CH2井获得较好产能,初期日产37t,不含水。再对井区前期部署井进行整体分析发现,前期累产 6.5×10^4 t的TK227井和累产 7.9×10^4 t的TK226CH井高含水后侧钻都再次获得了较好的产能。此开发实践说明,在同一井区不同缝洞体水淹状况存在较大的差异,认识油水关系的主控因素是做好加密部署的关键。

针对如TK222井区井位部署中的问题,为了寻找各缝洞体之间油水关系的控因,进一步开展了油藏精细刻画,即利用“蚂蚁体”和能量体^[13]技术进行缝洞预测。如图1b所示,深红色为预测溶洞的强能量体,黑色为预测断裂的“蚂蚁体”。从图1b可以分析出:井区北部发育多条近南北向的断裂,这些部位溶洞发育,岩溶作用强,累产高的井都位于这些断裂上,因而这些部位油气充注程度高,

油柱高度大;而产能较低的TK222、TK222CH井位于南部断裂发育程度低的相对孤立部位,因而这些部位油气充注程度低,油柱高度小。同时后期侧钻的TK227CH、TK226CH2、TK222CH2井的靶点和前期高含水原直井不在同一条断裂上,而位于其他没有井动用的断裂上,这些未动用断裂与已动用断裂不直接连通,原油呈原始状态,新投产井将获得较高产能。分析表明,断裂是井区岩溶发育及油气充注成藏形成北油南水的主控因素,不同断裂具有相对独立的油水系统,不同断裂上的缝洞体具有明显的分隔性。

基于以上的认识,本文提出了分隔缝洞体的概念,即在同一缝洞集合体内部,由于缝洞结构的差异性造成横向不直接连通或油水关系相对独立的缝洞体。在此基础上,研究形成了基于油藏地质背景的缝洞分隔性研究技术思路和方法,以寻找老区水淹程度较低的分隔缝洞体。

2 缝洞分隔性研究

2.1 缝洞分隔性研究技术思路和方法

缝洞分隔性研究主要是寻找分隔缝洞体,进而识别有利的分隔缝洞的类型及模式。本文提出了基于油藏地质背景的缝洞分隔性研究的技术思路和方法,总体上以静态识别和动态验证的原则,以能量体、蚂蚁体、瞬时频率^[14]、TO地貌等地球物理属性预测缝洞发育特征,结合实钻井静态资料,刻画断裂、河道、构造等油藏地质背景为主控因素下的静态连通缝洞体及分隔缝洞体,初步明确各缝洞之间内在联系及连通通道;在此基础上,通过利用动态资料开展连通状况及水淹规律研究,验证或重新认识各缝洞体连通性及分隔性。动态验证中,需结合注水、示踪剂及井间干扰资料,识别各已控

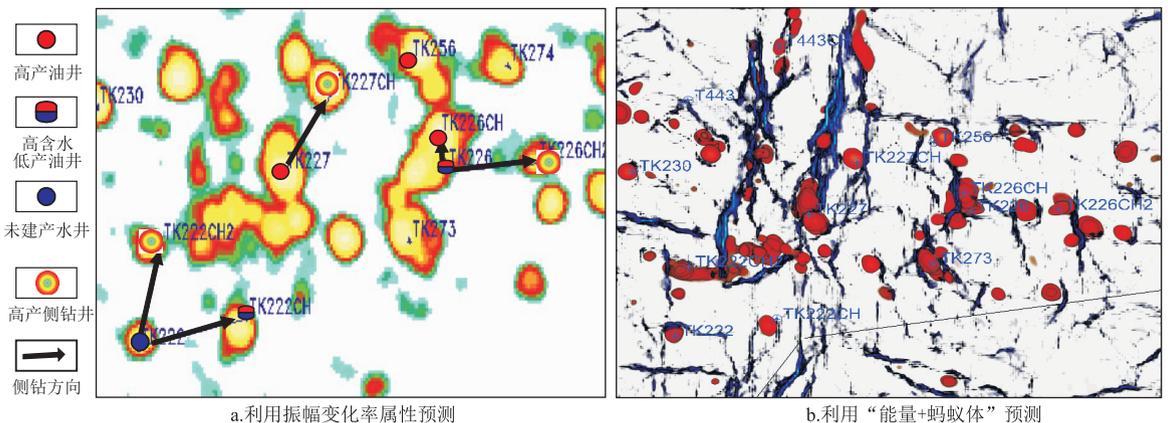


图1 塔河油田TK222井区缝洞储集体预测

Fig.1 Prediction of fracture and cavity reservoirs in the TK222 well area in the Tahe Oil Field

制缝洞体的动态连通关系(具体方法见文献[15])及连通通道,并以油井见水时间、见水深度、含水变化关系、见水平面分布及水淹方式研究水淹规律,识别各缝洞水淹路径及差异性水淹状况。通过以上动静结合,最终确立已被油井控制的连通缝洞体及未被控制低水淹分隔缝洞体,并结合油藏地质背景的主控因素,确立分隔缝洞体的分隔模式(图2)。

2.2 缝洞分隔模式

以塔河油田主体区油气富集的井区为基础,结合大量实钻及生产动态资料,研究了基于不同油藏地质背景的缝洞体分隔性,初步提出了3大类7亚类缝洞分隔模式(图3)。

2.2.1 河道(管道)分隔型

该类型(图3-I)是指岩溶河道或管道上横向

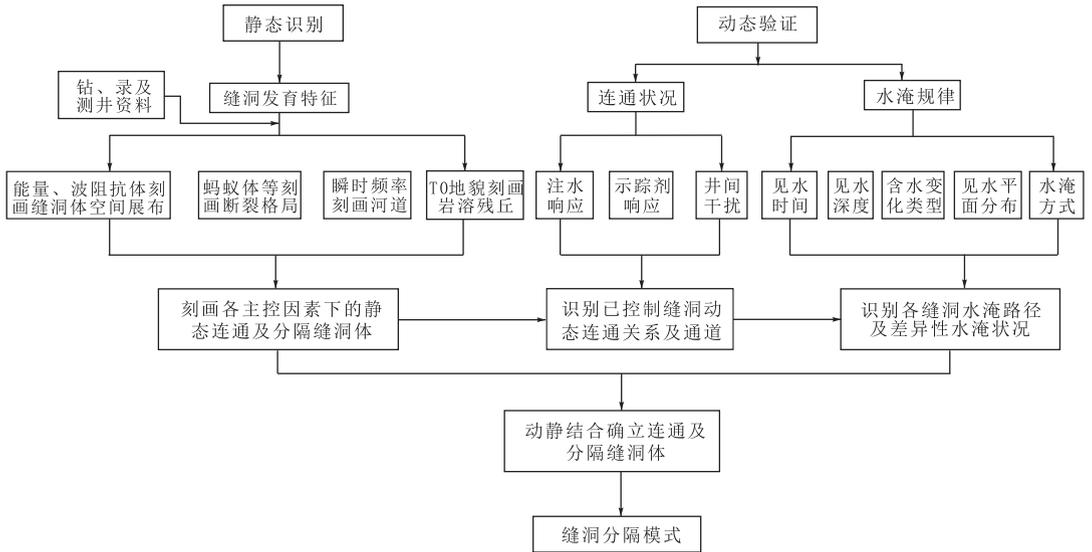


图2 缝洞分隔性研究技术思路及方法

Fig.2 Concepts and methods for the separation of fractures and cavities

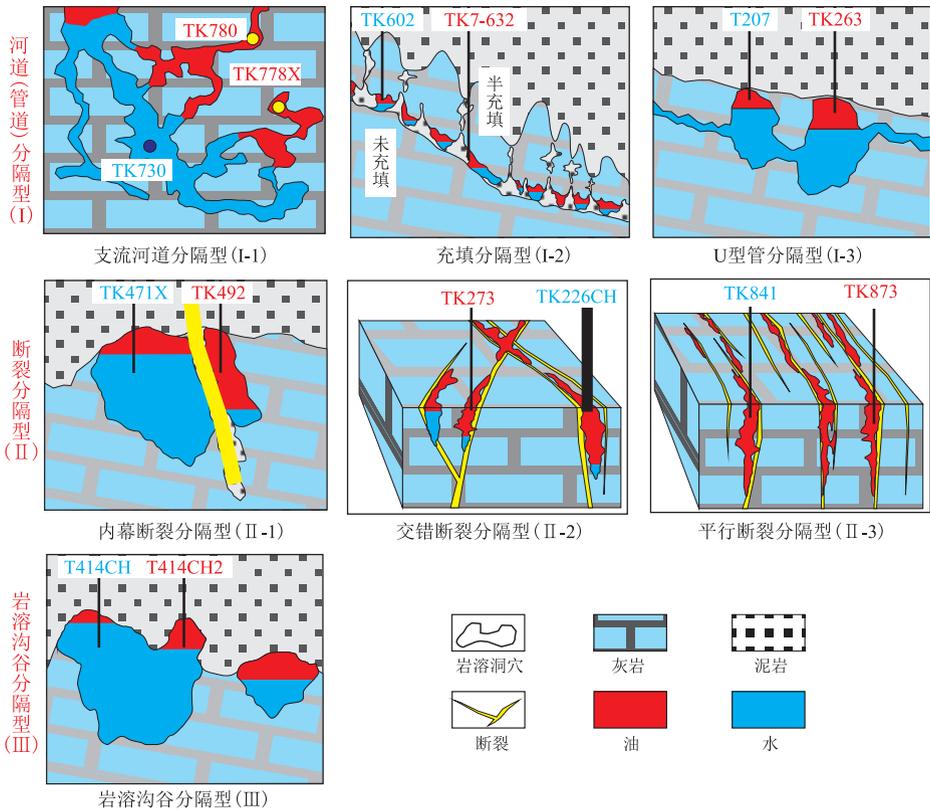


图3 塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏缝洞分隔模式

Fig.3 Separation of fractures and cavities in carbonate reservoirs in the Tahe Oil Field

不直接连通或油水关系相对独立缝洞体的分隔模式。主要包括三类:

一类是支流河道分隔型(图 3-I-1),即位于不同支流河道上的缝洞体横向不直接连通而相互分隔的模式。开发实践表明,塔河上奥陶统剥蚀区油藏地下暗河系统发育,河道系统呈树枝和网状分布,主要分干流河道和支流河道,这些河道是油气聚集的重要空间。在开发的中前期,油井主要部署在干流河道上和规模相对较大的支流河道上,但储集体规模相对较小的支流河道未部署新井。由于干流河道是汇水区,支流河道上游一般较干流河道高。当干流河道油井生产后,随着干流河道和支流河道低部位原油不断采出,油水界面不断抬升,当油水界面抬升至干流河道与支流河道相交上部溢出点后,支流河道内油水界面不再抬升,油水界面以上的剩余油将无法采出。因此,在油气富集的未井控的支流河道型的分隔型缝洞上部署井位,可获得较好产能。如在塔河 6 区 T7-615 井区,利用瞬时频率属性可相对清晰地预测出井区干流河道和支流河道的分布(图 4,绿色的为河道),干流河道上 TK730 等井高采出后高含水关井,而后期在支流河道上部部署的 TK778X 和 TK780 井单井能力都达到了 20 t/d 以上。

二类是充填分隔型(图 3-I-2),即由于充填^[7,16-17]的原因造成同一河道或岩溶管道上的各缝洞体横向不连通、油水关系相对独立的分隔模式。如在塔河 7 区 T7-615 井区,缝洞充填相对严重(图 4),同一条暗河上油井产能、能量及含水存大较大的差异,各缝洞存在明显的分隔性。该井区

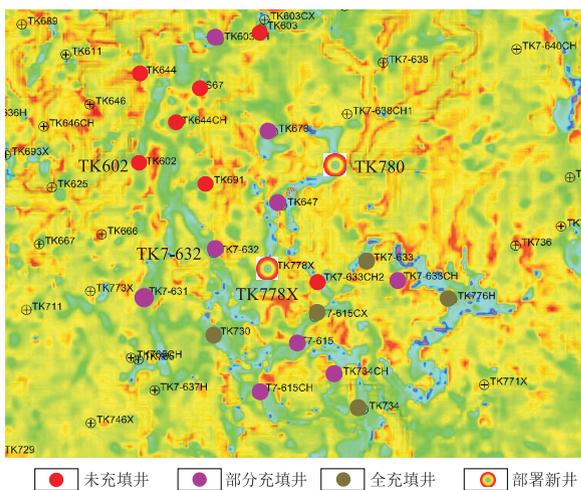


图 4 塔河油田 T7-615 井区瞬时频率预测河道及溶洞充填情况分布

Fig.4 Channels and filled caves predicted by instantaneous frequency in the T7-615 well area in the Tahe Oil Field

干流河道北部高部位的 TK602 井和南部低部位的 TK730 井都高含水关井,但 2 井中间的 TK7-632 井仍 22 t/d 无水生产,累产达 4.7×10^4 t(图 4)。生产动态分析表明,该河道上各井由于充填原因不直接连通,相对分隔,河道上存在的未井控的缝洞体是下步部署的潜力缝洞体。

三类是 U 型管分隔型(图 3-I-3),即位于同一深部暗河或管道上部,呈“U”型连通的缝洞体中“U”型管溢出点以上油水横向不流动的分隔模式。该模式下已动用“U”型管一侧缝洞体中油水界面可能已经抬升较高,而另一侧未动用缝洞体中溢出点即为油水界面,油水界面之上的剩余油无法采出,如果缝洞规模大且剩余油相对比较,可考虑利用部署侧钻或直井的方式进行挖潜。如塔河 2 区 T207 井区,TK225、T207 井在一条岩溶管道上,2 井已高含水分别累产 7.5×10^4 t 和 12.4×10^4 t 后,对河道上“U”管分隔缝洞体部署 TK263 井(图 5)后,投产后日产高达 36 t,不含水,部署效果良好。

2.2.2 断裂分隔型

该类型(图 3-II)是指由于位于不同的断裂上或内部被封闭断裂的封挡造成各缝洞体横向不连通、油水关系相对独立的分隔模式。主要包括三类:

一类是内幕断裂分隔型(图 3-II-1),即由于被上覆地层砂泥质充填,使位于缝洞集合体内 T₇⁴内幕断裂封闭^[18-19],从而使缝洞集合体内断裂两侧的缝洞不连通、油水关系相对独立的分隔模式。典型井为 TK492 井,从地震剖面分析看出(图 6),该井与能量充足、高累产但高含水的 TK471X 井位于同一个大缝洞集合体内,2 井之间存在一条内幕断裂,该井自然投产后日产 20 t 且无水生产,但地

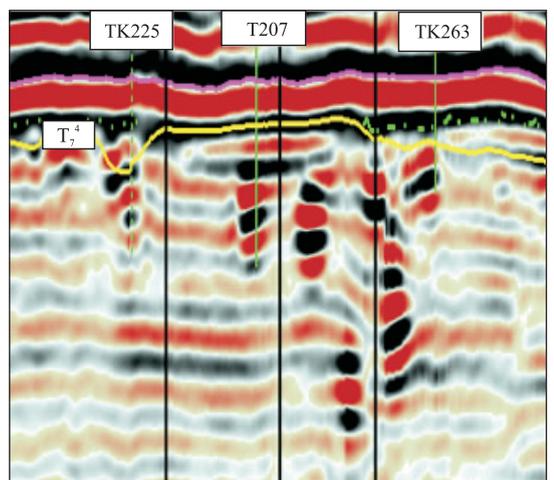


图 5 塔河油田 TK225-T207-TK263 分隔地震剖面

Fig.5 Seismic profile crossing profiles in wells TK225, T207 and TK263 in the Tahe Oil Field

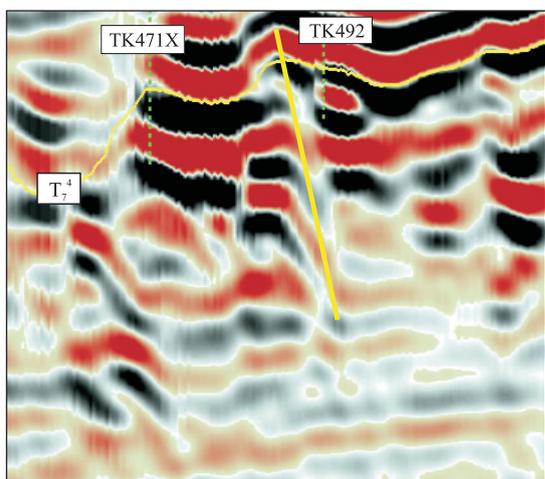


图 6 塔河油田 TK492 与 TK471X 井内幕断裂分隔地震剖面

Fig.6 Seismic profile crossing profiles in wells TK492 and TK471 showing internal faults in the Tahe Oil Field

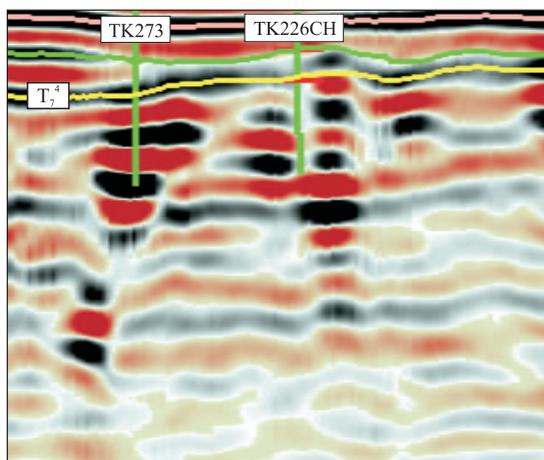


图 7 塔河油田 TK273 与 TK226CH 井交错断裂分隔地震剖面

Fig.7 Seismic profile crossing profiles in wells TK273 and TK226CH showing intersected faults in the Tahe Oil Field

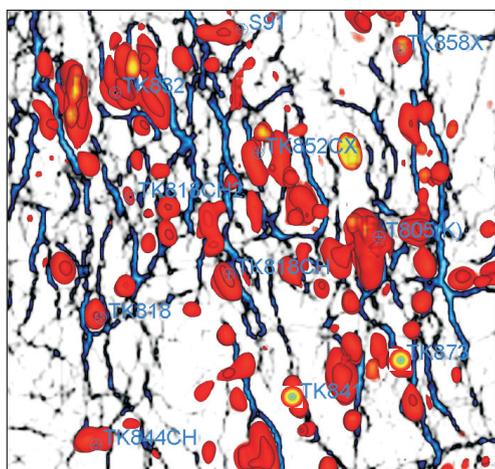
层能量相对不足,原油密度较 TK471X 井低。分析主要原因应是 TK492 井所在缝洞体与 TK471X 井所在缝洞体被内幕断裂所分隔。

二和三类分别是交错断裂分隔型(图 3-II-2)和平行断裂分隔型(图 3-II-3),即位于 2 条交错断裂(可通过交错点连通)或平行断裂上的缝洞体横向上不直接连通(“Y”字型断裂下部可能连通)的分隔模式。交错断裂分隔型的典型井如图 1a 示 TK222 井区的 TK273 井(剖面图为图 7),在分析发现断裂是井区油藏控因及各断裂之间分隔性后,2013 年下半年在该井区部署了 TK273 井,该井与高含水侧钻的 TK226 及 TK226CH 井形成交错断裂分隔模式,投产后该井日产达到了 48 t,不含水。平行断裂分隔型的典型井位于 8 区 T805(K)井区(图 8a),该井区的缝洞主要位于平行断裂上。前

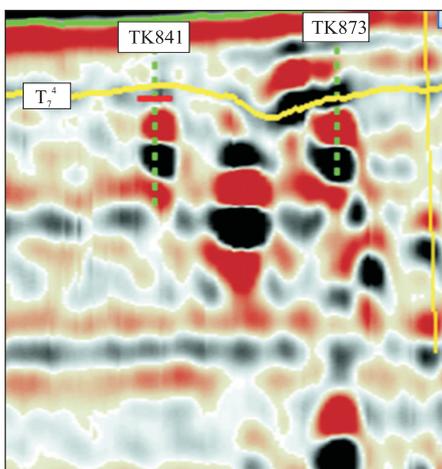
期生产动态表明,各平行断裂上已投产井在生产动态上表现无明显干扰及连通现象,已累产 22.4×10^4 t 的 TK841 井日产仍稳定在 40 t,2013 年 7 月在其东部的平行断裂上部署的 TK873 井,投产后日产达 30 t,生产动态数据表明 2 井存在明显的分隔性(图 8b)。

2.2.3 岩溶沟谷分隔型

该类型(图 3-III)是指位于岩溶沟谷两侧岩溶残丘上的缝洞体上部流体横向上不直接流动、油水关系相对独立的分隔模式。在该模式下已动用残丘上的缝洞体油水界面可能已经抬升较高,而沟谷另一侧未井控残丘上缝洞体在溢出点以上的剩余油无法采出,如果残丘规模相对较大及剩余油丰富,可考虑部署直井或侧钻井的方式进行挖潜。塔河主体老区初期以该类型剩余的分隔缝洞体加密



a.能量+蚂蚁体缝洞预测平面图



b.TK873与TK841分隔地震剖面

图 8 塔河油田 T805(K)井区平行断裂分隔缝洞分布

Fig.8 Fractures and cavities separated by parallel faults in the T805(K) well area in the Tahe Oil Field

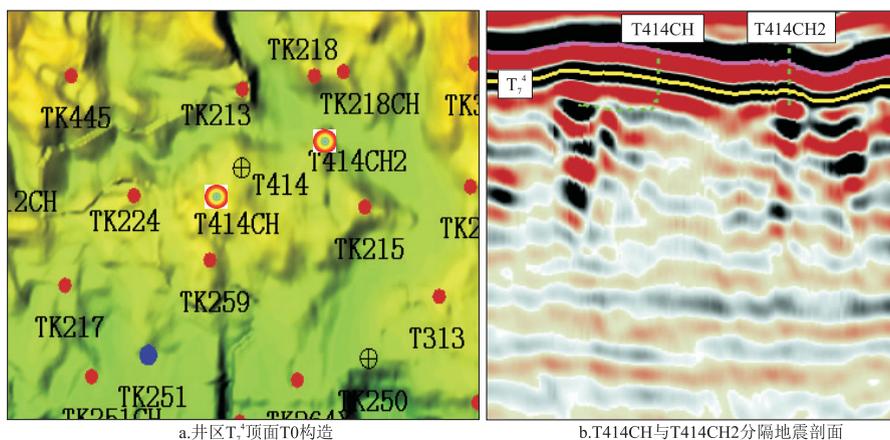


图 9 塔河油田 T414 井区沟谷分隔缝洞分布

Fig.9 Fractures and cavities separated by karst channels in the T414 well area in the Tahe Oil Field

表 1 塔河油田主体老区分隔缝洞体投产效果统计

Table 1 Production from separation of fractures and cavities in the Tahe Oil Field

类型	投产井/口	年均单井能力/ (t·d ⁻¹)	平均单井 累产油/10 ⁴ t	不同产能对应井数/口				未建产 井数/口
				≥30 t/d	20~30 t/d	10~20 t/d	<10 t/d	
断裂分隔型	14	22.4	0.24	3	3	5	2	1
河道分隔型	2	16.8	0.25		1	1		
低幅残丘型	2	17.9	0.64		1	1		
合计	18	21.2	0.29	3	5	7	2	1

为主,特别是优选一些低幅的残丘进行部署。如图 9 所示,已经累产 8.6×10^4 t、含水 90% 以上的 T414CH 井,向沟谷分隔型的低幅残丘侧钻 T414CH2 井日产达 17 t,不含水。

3 应用效果

2013 年开始在塔河油田中东部主体区(2-8 区)加强了基于油藏地质背景的缝洞分隔性研究,明确了油气富集井区油藏控因和未动用分隔缝洞体的剩余油富集状况,在此基础上开展加密部署,取得良好效果。2013 年部署分隔缝洞体的井投产 18 口(表 1),占投产井数 40 口的 45%,建产 17 口,建产率 97.4%,平均单井能力 21.2 t/d,较未分隔缝洞体及其他未动用储量区投产井高 10.4 t/d。其中,断裂分隔型的井部署最多且效果最好,平均单井能力高达 22.4 t/d。由于对分隔缝洞体的加密部署不受井距限制,有 5 口井井距在 360~500 m 之间,平均单井能力达到了 21.6 t/d。

4 结论及建议

4.1 结论

(1)提出了碳酸盐岩缝洞型油藏缝洞分隔体的概念,开展了基于油藏地质背景的缝洞分隔性研

究,以此为基础的加密部署的思路和技术方法,突破了井位部署中大于 500 m 井距的限制,较大程度上增加了可开发缝洞潜力,降低了水淹风险,为老区二次开发提供了新的思路和方法。

(2)缝洞分隔性研究的技术思路是先以地球物理方法,识别各地质背景主控因素下静态连通缝洞体和分隔缝洞体,然后利用各类动态资料,研究动态连通状况和差异性水淹规律,动静结合,验证缝洞分隔性,最终确立分隔缝洞体的分隔模式。

(3)以大量矿场实钻井资料分析为基础,总结提出了基于油地质背景的“三大类七亚类”缝洞分隔模式,即河道(管道)分隔型(支流河道分隔型、充填分隔型、U 型管分隔型)、断裂分隔型(内幕断裂分隔型、交错断裂分隔型、平行断裂分隔型)和岩溶沟谷分隔型。

4.2 建议

由于塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏的超深特点及缝洞发育的极不规则性,缝洞准确刻画难度大,建议进一步加强缝洞储集体精细刻画技术方法攻关研究,以更好地指导缝洞分隔性研究和加密部署及剩余油挖潜工作。

参考文献:

[1] 鲁新便,何成江,邓光校,等.塔河油田奥陶系油藏喀斯特古河道

- 发育特征描述[J].石油实验地质,2014,36(3):268-274.
- Lu Xinbian, He Chengjiang, Deng Guangxiao, et al. Development features of karst ancient river system in Ordovician reservoirs, Tahe Oil Field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3):268-274.
- [2] 胡向阳, 权莲顺, 齐得山, 等.塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏溶洞充填特征[J].特种油气藏,2014,21(1):18-21.
- Hu Xiangyang, Quan Lianshun, Qi Deshan, et al. Features of cavern filling in fractured/vuggy carbonate oil reservoirs, Tahe oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(1):18-21.
- [3] 饶丹, 秦建中, 许锦, 等.塔河油田奥陶系油藏成藏期次研究[J].石油实验地质,2014,36(1):83-88.
- Rao Dan, Qin Jianzhong, Xu Jin, et al. Accumulation periods of Ordovician reservoirs in Tahe Oil Field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1):83-88.
- [4] 李红凯, 袁向春, 康志江.塔河油田六七区碳酸盐岩储层类型及分布规律研究[J].特种油气藏,2013,20(6):20-24.
- Li Hongkai, Yuan Xiangchun, Kang Zhijiang. Types and Distribution of Carbonate Reservoirs in Block 6-7 of Tahe Oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(6):20-24.
- [5] 张希明, 杨坚, 杨秋来, 等.塔河缝洞型碳酸盐岩油藏描述及储量评估技术[J].石油学报,2004,25(1):13-18.
- Zhang Ximing, Yang Jian, Yang Qiulai, et al. Reservoir description and reserves estimation technique for fracture-cave type carbonate reservoir in Tahe Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1):13-18.
- [6] 鲁新便.岩溶缝洞型碳酸盐岩储集层的非均质性[J].新疆石油地质,2003,24(4):360-362.
- Lu Xinbian. Heterogeneity of karst-vuggy carbonate reservoir rocks[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(4):360-362.
- [7] 鲁新便.塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏开发地质研究中的若干问题[J].石油实验地质,2003,25(5):508-512.
- Lu Xinbian. Several problems in study of development programme of Ordovician carbonate reservoirs in Tahe Oilfield, Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(5):508-512.
- [8] 林忠民.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J].石油学报,2002,23(3):23-26.
- Lin Zhongmin. Carbonate rock reservoir features and oil-gas accumulating conditions in the Ordovician of Tahe oilfield in northern Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(3):23-26.
- [9] 王士敏, 鲁新便.塔河油田碳酸盐岩储层预测技术[J].石油物探,2004,43(2):153-158.
- Wang Shimin, Lu Xinbian. Prediction techniques for deep carbonate reservoirs in Tahe Oilfield[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(2):153-158.
- [10] 王者顺, 王尚旭, 唐文榜.塔河碳酸盐岩溶洞油藏的地震响应及频率差异分析[J].石油与天然气地质,2004,25(1):93-96.
- Wang Zheshun, Wang Shangxu, Tang Wenbang. Seismic response and frequency difference analysis of cavern-type reservoirs in carbonates in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1):93-96.
- [11] 刘春园, 魏修成, 徐胜峰, 等.地球物理方法在碳酸盐岩储层预测中的应用综述[J].地球物理学进展,2007,22(6):1815-1821.
- Liu Chunyuan, Wei Xiucheng, Xu Shengfeng, et al. The overview of geophysical techniques in prediction of carbonate rock reservoir[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(6):1815-1821.
- [12] 孟伟.碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏勘探开发关键技术:以塔河油田为例[J].海相油气地质,2006,11(4):48-53.
- Meng Wei. The key technologies for exploration and development of fractured/caverned karst reservoirs: A case of Tahe Oil Field, Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(4):48-53.
- [13] 鲍祥生, 张金淼, 尹成, 等.时移地震平均能量属性差异与储层速度变化的关系[J].石油物探,2008,47(1):24-29.
- Bao Xiangsheng, Zhang Jinmiao, Yin Cheng, et al. Relationship between the difference in average energy of time-lapse and the change of reservoir velocity [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008, 47(1):24-29.
- [14] 王玲, 孙廷彬, 白静波, 等.瞬时频率属性在沉积相研究中的应用:以白音查干凹陷西部腾格尔组为例[J].矿物岩石,2012,32(2):81-85.
- Wang Ling, Sun Tingbin, Bai Jingbo, et al. Application of instantaneous frequency to study of sedimentary facies of Tenggeer formation in Xilinhalai area, Baiyinchagan sag [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2012, 32(2):81-85.
- [15] 易斌, 崔文彬, 鲁新便, 等.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏储集体动态连通性分析[J].新疆石油地质,2011,32(5):469-472.
- Yi Bin, Cui Wenbin, Lu Xinbian, et al. Analysis of dynamic connectivity on carbonate reservoir with fracture and cave in Tahe Field, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(5):469-472.
- [16] 鲁新便, 蔡忠贤.缝洞型碳酸盐岩油藏古溶洞系统与油气开发:以塔河碳酸盐岩溶洞型油藏为例[J].石油与天然气地质,2010,31(1):22-27.
- Lu Xinbian, Cai Zhongxian. A study of the paleo-cavern system in fractured-vuggy carbonate reservoirs and oil/gas development: taking the reservoirs in Tahe oilfield as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1):22-27.
- [17] 张文博, 金强, 徐守余, 等.塔北奥陶系露头古溶洞充填特征及其油气储层意义[J].特种油气藏,2012,19(3):50-54.
- Zhang Wenbo, Jin Qiang, Xu Shouyu, et al. Paleo-cavern filling characteristics and hydrocarbon reservoir implication in the Ordovician outcrops in northern Tarim Basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2012, 19(3):50-54.
- [18] 付晓飞, 方德庆, 吕延防, 等.从断裂带内部结构出发评价断层垂向封闭性的方法[J].地球科学——中国地质大学学报,2005,30(3):328-335.
- Fu Xiaofei, Fang Deqing, Lü Yanfang, et al. Method of evaluating vertical sealing of faults in terms of the internal structure of fault zones [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2005, 30(3):328-335.
- [19] 周庆华.从断裂带内部结构探讨断层封闭性[J].大庆石油地质与开发,2005,24(6):1-3.
- Zhou Qinghua. Study on fault closure based on interior structure of fracture belt [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(6):1-3.