

塔河油田 12 区中下奥陶统储层特征及发育控制因素

海 涛, 姚俊波, 李柏颀, 丁 磊, 张世亮, 刘洪光

(中国石化 西北油田分公司 采油二厂, 新疆 轮台 841604)

摘要:塔河油田 12 区主要开发层系为中—下奥陶统碳酸盐岩, 多期构造运动和岩溶作用的叠加使得该区中下奥陶统岩溶缝洞发育程度高, 同时也造成储层发育分布更为复杂。综合利用地震、取心、薄片、测井、测试等资料, 重点探讨塔河油田 12 区中下奥陶统缝洞型油藏储层发育特征及发育主控因素。结果表明, 12 区中下奥陶统主要发育 3 类储层类型: 溶洞型、裂缝—孔洞型和裂缝型。原生孔隙占储集空间比例小, 岩溶洞穴是主要的储集空间, 次生裂缝—孔洞为次要储集空间, 溶蚀扩大缝可作为有利连通通道。对断裂控储特征、沿断裂储层发育差异性以及沿古河道多种控储模式等研究认为, 暗河管道和地表河边部残丘是储层发育最有利区, 溶蚀断裂面是利部位。

关键词:中下奥陶统; 缝洞型储层; 储层特征; 控制因素; 塔河油田

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Characteristics and controlling factors of the Middle and Lower Ordovician carbonates in the 12th district of the Tahe Oil Field

Hai Tao, Yao Junbo, Li Bojie, Ding Lei, Zhang Shiliang, Liu Hongguang

(No.2 Oil Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841604, China)

Abstract: The Middle–Lower Ordovician reservoir is considered the main developing interval in the 12th district of the Tahe Oil Field. Multi-phase orogenesis and karstifications are the main cause for the highly matured dissolved fissures and caves within the Middle–Lower Ordovician, which may also result in complex reservoir heterogeneity. This paper comprehensively utilizes data of seismic survey, coring, thin section, logging and laboratory test to clarify the fissure–cave reservoir characteristics within the Middle–Lower Ordovician in the 12th district of the Tahe Oil Field, and further discusses its dominating factor. The results indicate that, three reservoir types exist in the study area: cave type, fissure–cave type and fissure type. Primary pores take up only a tiny proportion in the accumulating spaces. Kart caves type occupies the majority, with the secondary fissure–cave type ranking behind. Dissolved fissure may undertake a favorable connecting conduit. Moreover, the reservoir dominating by fissure–fracture system, developing dissimilarly along the fissure–fracture system, may be controlled by multiple developing model along the paleochannel. Those findings may imply that underground-river conduit and monadnock existing in the lateral side of surface river are supreme zones for reservoir developing, while the dissolved fracture surface follows.

Key words: Middle–Lower Ordovician; fissure–cave type reservoir; reservoir characteristics; controlling factors; Tahe Oil Field

近十年来,全球海相油气勘探进入快速发展时期,深层碳酸盐岩油气开发建产步伐加快,油气产量处于上升期。据统计,碳酸盐岩油气探明储量占全球油气探明总储量的一半^[1]。塔河油田作为中国西北重要的碳酸盐岩油气产区之一,经过十多年的攻关研究,已形成一定认识。塔河油田碳酸盐岩储层的发育受沉积、成岩作用、岩性、构造运动、古地貌、古气候、古水文、古岩溶等多种作用影响^[2];

储层类型包括裂缝型、裂缝—孔洞型、裂缝溶洞型、基质孔隙型等;储层在纵、横向发育上具有很强的非均质性,并初步查明了油气藏的空间分布特征^[3],建立了以地震勘探技术为主的储层预测方法系统。在现有认识的基础上,通过对大量基础资料的分析,对塔河 12 区中下奥陶统储层特征及发育控制因素提出了新的认识,为油田进一步勘探开发提供参考。

1 储层岩性及发育特征

岩心、薄片及分析测试资料表明,塔河 12 区中下奥陶统碳酸盐岩包括泥微晶灰岩、颗粒灰岩、生物灰岩、云灰岩、白云岩及岩溶岩等。泥微晶灰岩类、颗粒灰岩类为主要的岩石类型,含云质灰岩类、白云岩类主要分布于鹰山组。

薄片资料、扫描电镜、X 衍射等资料综合分析认为,12 区中下奥陶统碳酸盐岩经历了多种成岩作用,其中溶蚀作用、白云石化作用、破裂作用起建设性作用,胶结作用、充填作用起主要破坏性作用。

1.1 储层分类

对钻井、岩心、测井等资料进行分析,按储集体规模将 12 区中下奥陶统碳酸盐岩储层分为裂缝型、裂缝—孔洞型和溶洞型 3 类。

1.1.1 溶洞型储层

溶洞(图 1)是岩溶的产物,也是塔河奥陶系碳酸盐岩油田的主要储集空间,具备以下特征:(1)在钻井过程中发生大段的放空、漏失;(2)测井显示三孔隙度曲线异常明显;(3)钻遇保存较好溶洞的井测试多供液充足。

1.1.2 裂缝—孔洞型储层

溶蚀孔洞(图 2)的发育主要与古岩溶作用有关。平面上分布不均,纵向上一间房组较为发育,常与裂缝一起构成连通范围较大的储层。发育尺度较小的孔隙(粒间溶孔、粒内溶孔及晶间溶孔)多见于岩石薄片和铸体薄片,对储量的贡献较小。

1.1.3 裂缝型储层

裂缝型储层表现为孔隙度小但渗透率较大,常规物性分析资料统计结果表明碳酸盐岩基质部分孔渗性很差,对储层贡献甚小。而裂缝系统的发

育,使孔隙度小的储集岩具有一定产能,因此构造断裂的发育程度是裂缝型储层主控因素。开发中所指的裂缝型储层主要指经过溶蚀扩大的构造裂缝,裂缝型储层储量规模小,裂缝的发育程度直接影响到油井与溶洞和孔洞的连通程度,是影响泄油面积大小的重要条件。

1.2 岩石孔渗特征

12 区碳酸盐岩基质孔渗对储集性能的贡献很小,储集空间主要为溶蚀孔洞和裂缝,由于大尺度溶蚀孔洞的发育,全直径样品物性数据更能反映储层特征^[4]。

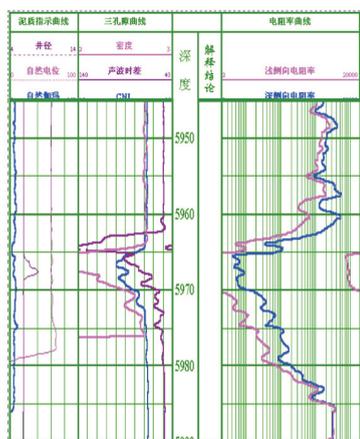
岩心全直径样品统计表明(表 1),一间房组孔隙度主要为 1%~2.5%,大于 2%的占 36.54%;65%样品的渗透率为 $0.12 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,大于 $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 9%。鹰山组孔隙度主要为 1%~2.5%,大于 2%的占 42.86%;渗透率主要为 $0.6 \times 10^{-3} \sim 15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,大于 $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 30.76%。

上述数据表明,12 区中下奥陶统碳酸盐岩基质孔渗性总体较差,储油性差,录井及测试资料反映高产井多钻遇漏失或放空,说明裂缝和溶蚀孔洞是决定储层储集性能的关键。

1.3 储层纵向发育特征

对 12 区 50 口投产井(直井)进行统计,日产大于 30 t 的油井产层底界主要分布在 T_7^4 面下 140 m 以内,并且以 100 m 内最为富集,而日产 50~100 t 和大于 100 t 的油井产层底界均主要在 T_7^4 面下 100 m 内。

测井数据统计表明,Ⅰ类、Ⅱ类储层主要发育在 T_7^4 面以下 0~180 m,其中 0~120 m 储层建产率在 84.6% 以上。对 27 口直井放空、漏失及充填情况进行统计,17 口井 35 个井段出现放空、漏失和充填现象,充填井段顶部距 T_7^4 面距离主要在 80 m 以内,放空、漏失井段则主要在 90 m 内。



溶洞(常规测井)



溶洞(露头)

图 1 溶洞型储层示意

Fig.1 Sketch map of karst cave reservoir

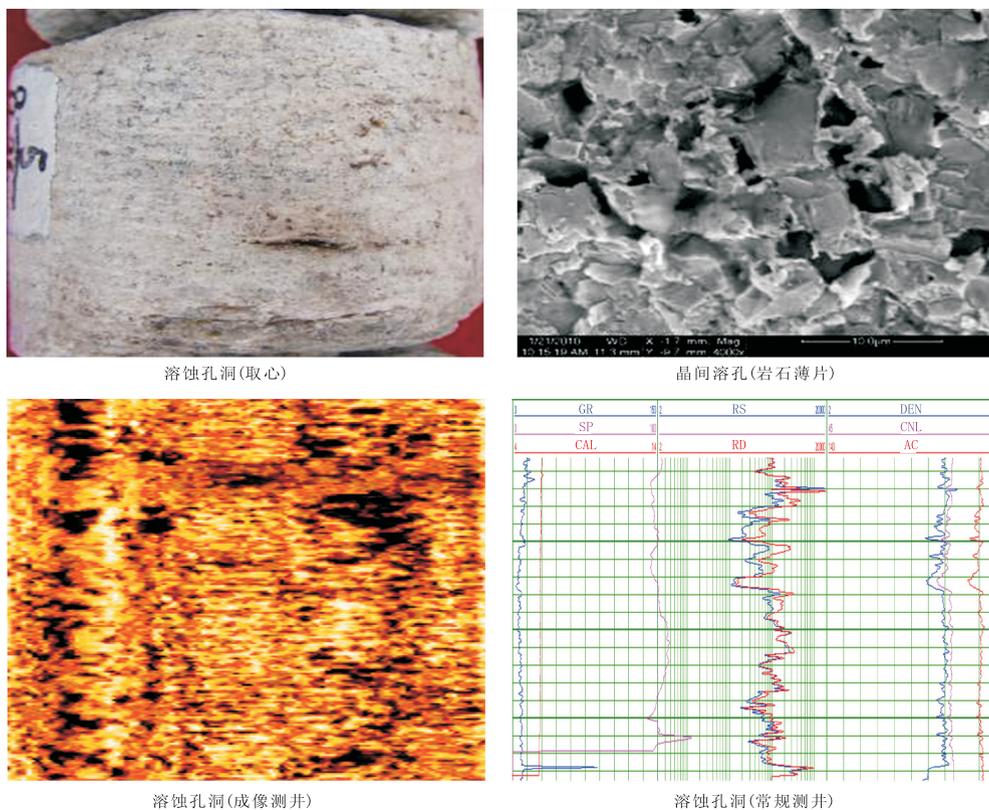


图 2 裂缝—孔洞型储层识别

Fig.2 Sketch map of fracture-cave reservoir

表 1 塔河油田 12 区岩心全直径样品孔渗数据统计

Table 1 Statistics of porosity and permeability of core diameter samples from the 12th district of the Tahe Oil Field

地层	样品数/ 件	孔隙度/%			不同级别所占比例/%			
		最小值	最大值	平均值	<1.0	1.0~2.0	2.0~4.0	>4.0
一间房组	104	0.14	8.00	2.02	16.34	47.12	30.77	5.77
鹰山组	56	0.31	8.70	2.26	23.21	33.93	30.36	12.50

地层	样品数/ 件	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)			不同级别所占比例/%				
		最小值	最大值	平均值	<0.12	0.12~0.6	0.6~3.0	3.0~75	>75
一间房组	100	0.02	56.20	1.13	26.00	35.00	30.00	9.00	0
鹰山组	52	0.04	158.91	7.31	9.62	25.00	34.62	28.84	1.92

由此可见,12 区 T₇⁴ 面下 90 m 以内是主要的储层发育段。

2 储层发育主控因素

2.1 断裂既是岩溶通道也是有利储层

碳酸盐岩开发早期阶段,认为断裂对油藏的影响主要是作为油气运移的高速通道^[5]。随着开发的深入,大量的实钻资料表明经过溶蚀改造的断裂面也是有利的岩溶储集空间(断溶体),沿断裂储层发育特征主要在表现以下几个方面。

2.1.1 溶蚀改造的深大断裂具有较大横向延伸长度和纵向发育的储集空间

精细相干刻画结果表明,12 区断裂以东北、北

西向共轭断裂为主,断裂性质为走滑断裂,其中区域性深断裂平面延伸长度多大于 10 km,纵向上多从 T₉⁰ 断至 T₇⁴,呈多期继承性活动特征,断裂倾角多大于 75°,低角度断裂欠发育。顺断裂走向地震剖面显示储层连通范围多大于 100 m,垂直断裂地震剖面显示纵向溶蚀深度大(岩溶范围在距离 T₇⁴ 风化壳面 0~300 m)。

2.1.2 沿断裂走向储层发育具有明显的分段性

虽然走滑断裂平面延伸连续性较好,但沿断裂走向储层发育程度仍表现出很强的分段差异性。沿同条断裂的井,缝洞发育程度和油井产能都存在较大的差异。目前对断裂分段性的认识主要有 2 种观点:第一种观点认为特殊的地质构造在断面形

成障碍,在经历多次地震和构造变动后形成较致密段;第二种观点认为断裂的分段性是活动断层被其他方向断裂截断所致。对 12 区断裂研究表明,断裂分段性与构造和断裂交汇均存在密切关系。

2.1.3 垂直断裂方向储层发育具有分带性

沿断裂储层发育的另外一点特征是垂直断裂走向储层发育具有分带性,滑动破碎带是断裂的核部,储层发育程度最高;诱导裂缝带位于破碎带边部,储层发育程度变差,投产井多表现为供液不足;围岩段裂缝欠发育,地层致密。前期受地震资料品质和地质认识的影响,位于诱导裂缝带和致密围岩段的井,测试多供液不足或干层,高精度三维采集后,对这部分井垂直破碎带进行侧钻,大部分井在进入滑动破碎带后钻遇放空、漏失,测试获得较高产能,一方面证明垂直断裂储层分段性明显,另一方面也说明断裂面是有效的储集空间。

2.2 “次级断裂+暗河管道”与“深切地表河+岸边残丘”是储层发育有利部位

岩溶水系是指具有一定汇水范围的、由主干和各级支流构成的岩溶河道。按成因,可将古河道分为地表水系和地下暗河;按发育级别,可分为干流河道和分支河道。地表水系的发育受地貌和断裂复合控制,展布方向具有较强的自主性,古地貌所显示的地表溶蚀沟谷即指地表水系。地下暗河展布受断裂和区域性岩溶基准面控制,方向性较强,目前主要通过地震属性(振幅变化率、波阻抗)来刻画古暗河系统。目前在塔河 12 区东部强剥蚀岩溶区内识别出多组地表河系统和地下暗河管网,通过对比古河道投产井储层钻遇情况,逐步总结出以下几种古河道控储模式。

2.2.1 深切地表河岸边残丘部位是储层发育有利部位

地貌刻画结果显示塔河 12 区东部地表水系发育,地震剖面显示地表河谷呈 V 字型深切峡谷状,其两侧发育规模较大的残丘。从目前钻井揭示情况看,明河边部储层主要分布在两种构造位置,即一种发育在残丘内部,另一种发育在残丘边部(脚洞)。地表河为残丘内部岩溶水循环提供了较好的排泄环境,使得目前沿河两侧钻遇井之中,充填比例较低。

2.2.2 暗河管道为岩溶发育优势通道

暗河也称伏流河、穿山河,指地面以下的河流,

是地下岩溶地貌的一种,是由地下水汇集,或地表水沿裂缝下渗,经过溶蚀及水搬运而形成的地下河道。暗河管道自身即是良好的储集空间,但是经过暗河沉积充填、垮塌等作用,暗河管道遭到较大的破坏。暗河出口水动力变化部位及暗河管道低部位泥砂易堆积,充填程度高;沿暗河高部位、与断裂匹配较好部位,具有有利的岩溶水排泄条件,溶洞保存条件较好。目前,除了根据构造形态来判断暗河充填几率外,开发实践中,主要是利用沿暗河振幅变化特征、波阻抗变化特征来判断暗河充填可能性。

综合分析认为,塔河油田东部上奥陶统剥蚀区岩溶程度高,发育多组古水系,其中“次级断裂+暗河管道”与“深切地表河+岸边残丘”是储层发育有利部位。

3 结论

(1)塔河 12 区中下奥陶统碳酸盐岩经历了多种成岩作用,溶解(溶蚀)作用、白云石化作用、破裂作用起建设性作用,胶结作用、充填作用对储层具有破坏性。

(2)塔河 12 区中下奥陶统碳酸盐岩储层可分为三类。其中溶洞是最主要储集空间;裂缝-孔洞是次级储集空间,主要发育在风化壳顶部;裂缝对储集空间贡献小,主要起改善连通性的作用。

(3)塔河 12 区位于阿克库勒凸起西翼斜坡区,岩溶纵向深度较凸起轴部变小,储层主要发育在距 T_7^4 风化壳面 0~80 m 处。

(4)古河道是主要的控储因素,暗河管道和地表河边部残丘是储层发育有利部位。

(5)经过溶蚀改造的断裂面既是油气运移通道,也是重要的储集体。

参考文献:

- [1] 陈发景,汪新文,张光亚,等.新疆塔里木盆地北部构造演化与油气关系[M].北京:地质出版社,1996.
- [2] 丁勇,晏银华,顾忆,等.塔里木盆地塔河油田成藏史与成藏机制[J].新疆石油地质,2001,22(6):478-479.
- [3] 何登发,李德生.塔里木盆地构造演化与油气聚集[M].北京:地质出版社,1996.
- [4] 刘宝珺.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1980.
- [5] 刘存革,李国蓉,吴勇.新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩储层成因类型与评价[J].沉积与特提斯地质,2004,24(1):91-96.