

文章编号: 1009-3850(2004)01-0091-06

新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩储层成因类型与评价

刘存革¹, 李国蓉¹, 吴勇²

(1. 成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059; 2. 西北石油局 规划设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 塔河油田油气主要产自下奥陶统碳酸盐岩地层中, 储渗空间和储层类型研究对油田的勘探开发有重要意义。笔者通过岩芯及铸体薄片的详细观察, 结合钻井资料和测井曲线, 对下奥陶统碳酸盐岩的储渗空间特征进行了成因类型划分, 并在储渗空间发育分布状况、物性和油气测试资料分析的基础上, 对各成因类型储层的储集性进行了评价。研究表明, 大型洞穴发育比较普遍, 相应的洞穴型储层是区内下奥陶统最主要的储层类型, 是储集性能好、油气高产的首要目标, 其次是构造裂隙型储层。

关键词: 塔河油田; 下奥陶统; 碳酸盐岩; 储层; 新疆

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地层中蕴藏着丰富的油气资源, 并且在塔北开发了我国古生界海相碳酸盐岩最大的油田——塔河油田。塔河油田油气主要产自下奥陶统碳酸盐岩岩溶缝、孔洞缝中。国内许多学者从不同角度进行了研究, 但已有的研究落实到具体井剖面储层的划分中存在着缝洞不分、岩溶风化裂缝和构造裂缝不分的问题, 储层类型研究不够深入, 这给全面准确地认识和把握储层或岩溶储层的发育分布规律带来困难。由此, 笔者在前人研究的基础上, 依据岩芯、铸体薄片、测井、物性、油气测试资料的综合分析, 对区内下奥陶统碳酸盐岩的储渗空间类型特征, 并依据储渗空间成因, 从有利于识别和有利于勘探开发角度进行了储层成因类型划分, 评价了各成因类型储层的储集性和含油性。

1 岩石学特征

寒武纪—早奥陶世, 塔里木碳酸盐岩台地具有大型陆表海控制的孤立台地性质, 陆源碎屑(如石

英、长石、岩屑等)难以混入台地碳酸盐岩中。下奥陶统为一套岩性非常纯、矿物和化学组成简单的致密碳酸盐岩地层, 岩芯及薄片观察表明其主要岩石类型为颗粒灰岩、微晶灰岩、(含)云灰岩、灰云岩、藻粘结灰岩、生物丘或礁灰岩、岩溶岩等6类。据57口井4321个样品的统计, 颗粒灰岩类、微晶灰岩类的出现频率最高, 分别为32.9%、49.9%, 构成区内下奥陶统灰岩的主要岩石类型; (含)云灰岩类、岩溶岩类的出现频率相当, 分别为7.1%、7.25%, 是区内下奥陶统的次要岩石类型; 藻粘结灰岩类相对欠发育, 出现频率仅2.3%; 灰云岩类、生物丘或礁灰岩类极少见, 出现频率分别为0.5%、0.05%。

2 储渗空间类型

根据对岩芯、铸体薄片观察和对钻井、测井资料的分析, 下奥陶统碳酸盐岩中发育的储渗空间按大小、形态、成因可分为溶蚀孔隙、溶蚀孔洞、大型洞穴、风化裂隙、构造裂隙等5类。

(1)溶蚀孔隙。溶蚀孔隙的孔径界定于0.01~2mm范围内。它在区内发育分布较局限,在56口井下奥陶统岩芯中,仅有17处;涉及岩心长度30.41m,约占已观察岩芯的1.5%。其发育具有明显的岩石组构选择性,主要表现为3种情况:①在地表残积带钙屑砂砾岩中密集发育分布或呈斑状发育分布;②在油田南缘一间房组滩相颗粒灰岩中以粒间溶孔、粒内溶孔形式密集发育分布或斑状发育分布;③在不整合面下附近灰岩中沿风化裂隙或裂隙稀疏分布。

此外,铸体薄片观察揭示,部分花斑状灰岩白云石化斑块或重结晶斑块中发育的少量晶间孔、晶间溶孔和缝合线孔隙亦归属到溶蚀孔隙类。

(2)溶蚀孔洞。溶蚀孔洞的大小界定于可在岩芯上完整识别。已观察的56口岩芯井中,有17口井20处岩芯上识别出此类储渗空间。溶蚀孔洞的发育没有组构选择性,各类灰岩甚至硅化结核内部和边缘均可见到,但发育分布孤立、稀疏,有沿缝合线和风化裂隙分布的特点;孔洞的大小在5~100mm范围内变化,孔洞内或为方解石部分充填,或为粉砂—泥级碳酸盐岩碎屑部分充填,或为方解石及粉砂—泥级碳酸盐岩碎屑部分充填。

(3)大型洞穴。大型洞穴系指洞穴直径大于100mm的溶洞。它在岩芯上不能完整地观察,但可通过洞穴角砾岩、地下暗河沉积物、钻井放空、大漏等标志揭示出来。56口取芯井中,有18口井22处岩芯上见到大型洞穴层。岩芯上洞穴角砾岩和暗河沉积物厚度达49.23m,约占已观察岩芯厚度的2.5%。有多口井在钻井过程中出现放空和井漏现象。由此可见,大型洞穴是区内奥陶系碳酸盐岩中极为重要的一类储渗空间。

此外,大型洞穴内地下暗河沉积或崩塌堆积的角砾岩,角砾间孔洞可为粒状亮晶方解石、砂—泥级碳酸盐岩碎屑、陆源粉砂泥质部分充填,残存大量有效空间,本文仍将它归入大型洞穴内考虑。

(4)风化裂隙。在56口取芯井中,有16口井25处岩芯见风化裂隙,涉及岩芯长度41.78m,约占已观察岩芯的2.1%。其具体可分为两个亚类:①垂直或高角度斜交层面的构造—风化裂隙,它是海西早期构造裂隙经风化改造而成;以发育密度稀、延伸深度大、缝壁较平直、裂缝宽度较大为特征,裂缝内往往为粒状亮晶方解石、碳酸盐岩角砾、砂—泥填积或

部分填积。②不规则密集发育的网状风化裂隙系统,以裂隙密集发育,裂隙弯曲,缝壁不平直,裂隙细微为特征,裂隙可为方解石部分充填或未充填。

(5)构造裂隙。构造裂隙发育段涉及岩芯长度254.71m,约占已观察岩芯长度的12.7%。构造裂隙型储渗空间在塔河油田具有普遍重要的意义。塔河油田奥陶系碳酸盐岩中有效的构造裂隙分为两种:①方解石部分充填或半充填的构造裂隙,表现为高角度斜交层面或垂直层面,裂缝宽度相对较大,裂隙内为粒状亮晶方解石(自形方解石)部分充填或半充填或仅有极少量方解石晶体生长于裂隙壁,剩余空间或能连续成缝,或为小孔隙串珠状分布,具原油进入和渗出现象。②未充填构造裂隙,其以裂隙垂直层面(立缝或竖缝)或高角度斜交层面、平行或平行羽状排列展布,裂隙平直、宽度窄小,以未见成岩矿物充填或为原油占据为特征。

3 储层成因类型划分

从有利于油气开发和易于识别角度考虑,依据构成储集体的主要储渗空间类型和储集岩石特征将奥陶系碳酸盐岩储层分为5种成因类型。

(1)滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层。该类储层岩性主要为一间房组滩相亮晶砾砂屑灰岩、亮晶(海百合)生物碎屑灰岩和亮晶鲕粒灰岩。储渗空间主要为粒间和粒内溶孔,以及构造裂隙、高角度风化裂隙和溶蚀孔洞。储层储渗空间的形成可能主要与同生期滩相碳酸盐岩沉积物暴露出水面遭受大气水溶蚀作用和晚期深埋藏溶蚀作用有关,此外还可受到加里东期或海西早期大气水岩溶作用和各期构造破裂作用的叠加改造。

(2)风化裂隙型储层。该类储层岩性为下奥陶统发育的各类碳酸盐岩,储渗空间主要为不规则密集发育的网状风化裂隙系统或不规则分枝状风化裂隙系统,此外有沿裂隙发育的溶蚀孔洞和构造裂隙的作用。其发育往往与岩溶作用的地表溶蚀带和渗流溶蚀带相联系。

(3)洞穴型储层。该类储层岩性为下奥陶统发育的各类碳酸盐岩,储渗空间主要为未充填或部分充填的大型洞穴系统、洞穴沉积物内的砾间孔洞和孔隙。此外有风化裂隙、灰岩中稀疏发育的溶蚀孔洞、构造裂隙等其它储渗空间的参与作用。它通常发育在岩溶作用的潜流溶蚀带。

(4)地表残积带裂隙-孔隙(孔洞)型储层。该类储层岩性为地表残积带的钙屑砾砂岩, 储渗空间有溶蚀孔隙、溶蚀孔洞(晶洞)、半充填和未充填构造裂隙等。溶蚀孔隙主要与钙屑砂岩相联系, 溶蚀孔洞主要见于钙屑砾岩中。它主要形成于古风化壳上, 岩溶高地的风化产物搬运到地势较低处堆积下来, 再经大气水的溶蚀改造而形成。

(5)构造裂隙型储层。储层岩性为下奥陶统发育的各类碳酸盐岩, 储渗空间基本上为垂直或高角度部分充填裂隙和未充填构造裂隙, 少有高角度斜交层面风化裂隙和溶蚀孔洞的加盟作用。储层储渗空间的形成受控于构造应力作用下的岩石破裂作用。

4 储层储集性评价

由于碳酸盐岩地层中孔洞缝系统的复杂性, 对碳酸盐岩储层的评价一直是一个难题。以下主要从储层的储集性和发育分布两个方面进行评价。

1. 滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层

该型储层相对均质, 储层质量评价主要通过物性分析资料进行。从图 1 可见其孔隙度多在4%以上, 渗透率主要集中于 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 与基质的孔渗条件相比, 应属于储集性较好的碳酸盐岩储层。

岩芯和铸体薄片观察表明, 此类储层的分布具有较强的非均质性, 表现在宏观上并非同层位的滩相颗粒灰岩都发展为储层, 微观上孔隙的发育可在岩芯上密集或呈斑状分布。此类储层主要发育在下奥陶统顶部一间房组, 分布范围比较局限。

2. 风化裂隙型储层

该型储层段可通过岩芯上风化裂隙发育程度的描述来评价, 孔隙度、渗透率可在一定程度上反映此类储层的储集性。依据风化裂隙的发育程度可分为两种情况: ①不规则网络状风化裂隙系统密集发育的储层孔渗条件较好(图 2), 其孔隙度在0~6%范围内变化(平均值为2.05%); 而渗透率在 $(0.01 \sim$

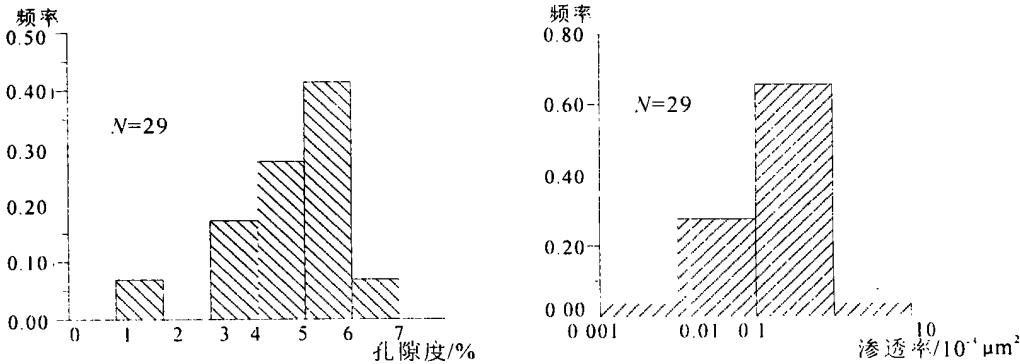


图 1 滩相颗粒灰岩孔隙度、渗透率分布直方图

Fig. 1 Histograms showing the distribution of porosity and permeability of the shoal grainstones in the S76 well

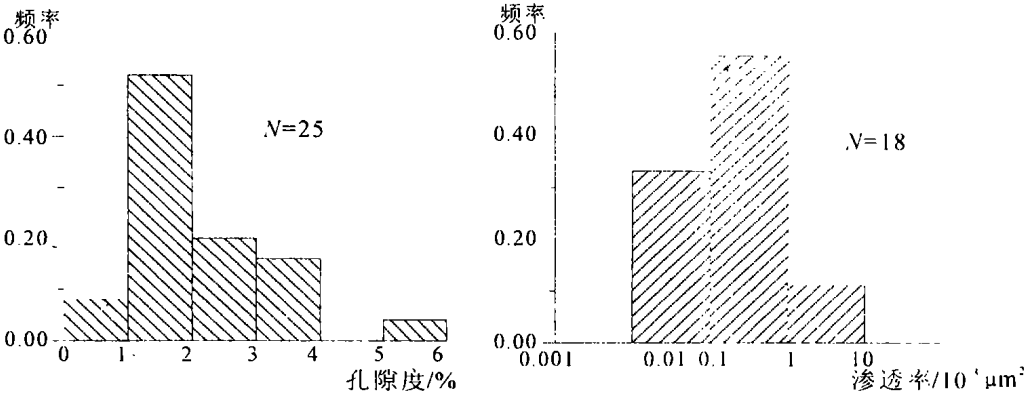


图 2 风化裂隙型储层孔隙度、渗透率分布直方图

Fig. 2 Histograms showing the distribution of porosity and permeability of the weathered fissure-type carbonate reservoirs in the T402 well

$10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围内变化, 55.6% 的样品渗透率为 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 显示出相对较好的储集性。
② 不规则分枝状风化裂隙较为发育的储层的孔隙度分布特征与裂隙欠发育段相似, 显低孔或极低孔隙度特征, 但渗透率较裂隙欠发育段有一定程度改善。这主要表现为岩芯上风化裂隙发育密度相对较低, 尚未形成网络状系统, 或者局部有网络状风化裂隙系统发育。钻井岩芯上识别出的风化裂隙型储层大多数属于此类。

风化裂隙型储层可发育于海西早期不整合面下和洞穴层上下, 紧邻洞穴层之上或之下风化裂隙型储层的发育具有一定的普遍性。

3. 洞穴型储层

该型储层难以获得孔隙度、渗透率、毛管压力资料, 储层储集性评价的重点是洞穴的充填和保存状况, 如何通过岩芯、钻井资料、测井曲线确定洞穴的充填状况是关键。根据洞穴层的充填状况, 区内下奥陶统碳酸盐岩中发育的洞穴型储层可分为两种情况: ① 未充填或机械沉积物部分充填的洞穴型储层拥有最好的储集性, 往往在钻井过程中出现放空、钻时极低和严重井漏现象。未充填洞穴型储层在测井曲线上主要表现为“三低两高”(自然伽玛低、密度低、电阻率低和井径高、声波高) 的特点, 而机械沉积物部分充填的洞穴型储层表现为“两低三高”(密度低、电阻率低和自然伽玛高、井径高、声波高) 的特点。② 机械沉积物填积的洞穴型储层在岩芯上可以识别, 以岩溶洞穴角砾岩、地下暗河沉积物、伸入洞穴的海岸沉积为特征, 测井曲线上主要表现为“两低两高”(电阻率低、密度低和自然伽玛高、声波高) 的

特点。该类储层的储集性相对于未充填或部分充填的洞穴型储层较差, 但由于洞壁的支撑作用, 洞穴内的机械沉积物受压实作用改造较弱, 洞穴沉积物仍可有较好的储集性, 并可通过物性分析结果来评价。从图 3 可见洞穴型储层的孔隙度主要分布在 15% 以上, 渗透率多大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 显示出良好的储集性。

洞穴型储层的发育具有普遍性, 以岩芯、放空井漏和测井曲线的洞穴标志, 在百余口井中约有 70 口井识别出洞穴层, 其中约有 30 口井识别出两套洞穴型储层, 个别井剖面上同时见 3 套洞穴层。从下奥陶统岩芯上及钻井过程中显示的洞穴层发育状况来看, 此类储层在塔河油田奥陶系具有重要意义。

4. 地表残积带裂隙-孔隙(孔洞)型储层

地表残积带储层储集性评价可通过岩芯和铸体薄片观察、测井曲线和物性资料进行。在众多有地表残积带岩芯的钻井中, 仅在 13 口井岩芯见到地表残积物内有孔隙、孔洞或构造裂隙型储渗空间发育, 显示出储渗空间及储层发育具有零星分布的特征。这些井的物性资料表明: 孔隙度分布在 0~11% 之间, 但 0~1% 的样品占了 59%; 渗透率分布在 $(0.001 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 而 $(0.001 \sim 0.01) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占了 68%。由此可见, 地表残积带的储集性较差。

地表残积带的发育分布与岩溶古地貌关系密切, 艾北岩溶高地区、艾协克-牧场北周缘岩溶平台区地表残积带欠发育, 而艾协克-牧场北溶丘地貌区和艾北峰谷地貌区地表残积带的发育分布具有普遍性。

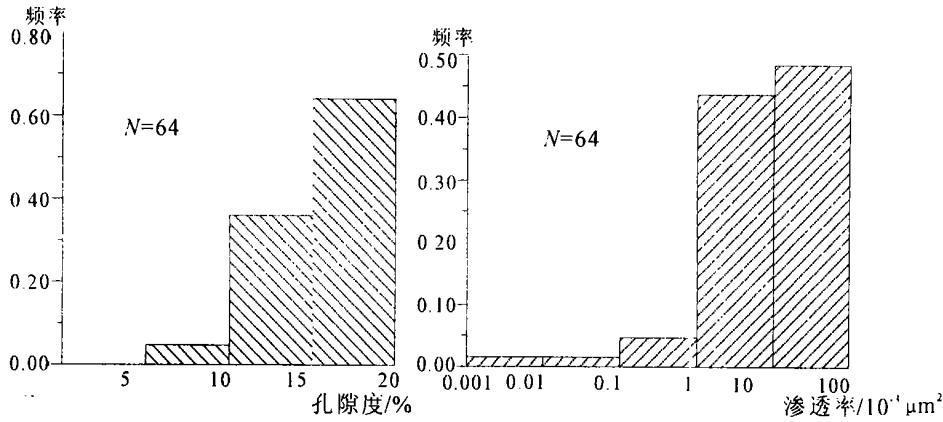


图 3 洞穴型储层孔隙度、渗透率分布直方图

Fig. 3 Histograms showing the distribution of porosity and permeability of the cavity-type carbonate reservoirs in the T615 well

5. 构造裂隙型储层

对构造裂隙型储层储集性的评价仍应从岩芯上裂隙发育程度的描述、测井曲线上裂隙层及裂隙孔隙度的解释的综合角度进行。小岩芯柱子的孔隙度和渗透率在一定程度上可反映构造裂隙型储层的储集性。

通过对岩芯上构造裂隙发育段的物性资料分析(图4),发现孔隙度主要分布在1%~2%之间,渗透率分布在 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,比构造裂隙不发育段的孔渗条件(图5)提高了一个数量级。

构造裂隙型储层的发育分布具有普遍性,但在发育程度上也具有非均质性,海西早期洞穴层发育的井位构造裂隙性储层发育相对较差。

5 储层油气产能评价

将油气产能与储层发育状况结合起来是证实和认识储层的重要途径,本次研究通过46口井的油气测试情况与各种类型储层的发育状况对比分析,可得出以下结论。

(1)靠海西早期不整合面附近,未充填或半充填洞穴型储层或者风化裂隙密集发育的风化裂隙型储层,不需酸压处理就能获得较高或高的油气产能,且能稳产。

(2)靠海西早期不整合面附近,机械沉积物填积的洞穴型储层或风化裂隙较为发育的风化裂隙型储层,在酸压处理前,往往没有油气产能或仅有很低的油气产能,但酸压处理后,可获得较高的或高的油气产能。

(3)滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层,未经酸压处理就有油气产能,但油气产能较低。

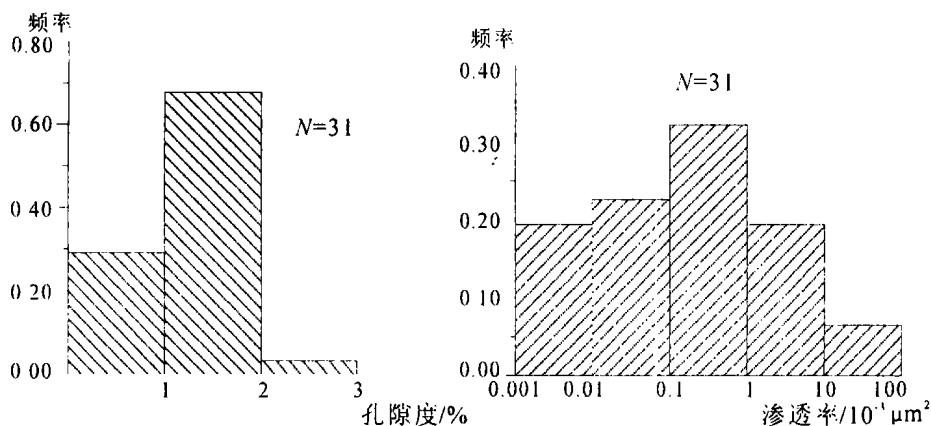


图4 构造裂隙发育段孔隙度、渗透率分布直方图

Fig. 4 Histograms showing the distribution of porosity and permeability of the carbonate reservoirs with well developed structural fissures in the T415 well

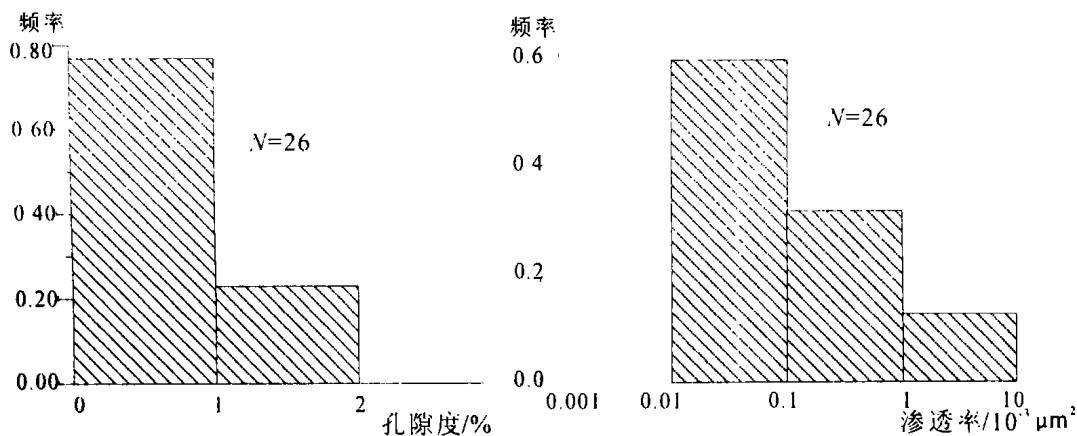


图5 构造裂隙欠发育段孔隙度、渗透率分布直方图

Fig. 5 Histogram showing the distribution of porosity and permeability of the carbonate reservoirs with less developed structural fissures in the T415 well

(4)构造裂隙型储层与油气产能的关系比较复杂,部分构造裂隙型储层发育段未经酸压处理,就有较高的油气产能;相当部分的构造裂隙型储层发育段经酸压处理后可以获得高产工业油气流;但部分井剖面缺乏油气产能,即使经过酸压处理,亦不具油气生产能力。

6 结 论

(1)下奥陶统碳酸盐岩中发育的储渗空间按大小、形态、成因可分为溶蚀孔隙、溶蚀孔洞、大型洞穴、风化裂隙、构造裂隙等5类,其中以大型洞穴、构造裂隙、风化裂隙储渗空间最为重要。

(2)下奥陶统碳酸盐岩中发育的储层可划分为5种成因储层类型,即滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型,风化裂隙型、洞穴型、地表带积物裂隙-孔洞(孔隙)型和构造裂隙型储层。

(3)通过储层发育分布和储集性评价以及与油气测试的对比分析,洞穴型储层具有最好的储集性,是油气高产稳产的首要目标,其次是构造裂隙型和

风化裂隙型储层,塔河油田南缘一间房组滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层亦是重要的油气勘探开发目标。

参考文献:

- [1] 叶德胜,张希明,等.新疆塔里木盆地北部储层沉积、成岩特征及储层评价[M].成都:成都科技大学出版社,1995.
- [2] 马永生,梅冥相,陈小兵,等.碳酸盐岩储层沉积学[M].北京:地质出版社,1999.
- [3] 蒋炳南,康玉柱.新疆塔里木盆地油气分布规律及勘探靶区评价研究[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2001.
- [4] 成都地质学院沉积地质矿产研究所,长庆石油勘探局勘探开发研究院译编.古岩溶与油气储层[M].成都:成都科技大学出版社,1991.
- [5] 李翎,魏斌,贺铎华.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层的测井解释[J].石油与天然气地质,2002,23(1):49-54.
- [6] 谭承军,周英杰,杜月山等.塔河油田4区奥陶系储集层非均质性[J].新疆石油地质,2001,22(6):509-510.
- [7] 罗蛰潭,王允诚.油气储集层的孔隙结构[M].北京:科学出版社,1986.

The genetic classification and evaluation of the Lower Ordovician carbonate reservoirs in the Tahe Oil Field, Xinjiang

LIU Cun-ge¹, LI Guo-rong¹, WU Yong²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Northwest China Bureau of Petroleum, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: The oil and gas in the Tahe Oil Field, Xinjiang mostly occur in the Lower Ordovician carbonate reservoirs. The study of the storage spaces and reservoir types is believed to be significant for the exploration and development of the oil field. The present paper deals with the genetic classification of the Lower Ordovician carbonate reservoirs in the Tahe Oil Field on the basis of the examination of boreholes, cast thin sections and well logs, and the evaluation of the reservoir quality has been made on the basis of the development of storage spaces, porosity and permeability, and other analytical data of the carbonate reservoirs. The results of research have disclosed that: (1) five types of storage spaces are recognized, i.e. solution pores, solution spaces, caves, weathered fissures and structural fissures; (2) five genetic types consist of shoal grainstone solution pores-type reservoirs, weathered fissure-type reservoirs, cavity-type reservoirs, surficial fissure- and pore space (pore)-type reservoirs and structural fissure-type reservoirs, and (3) the cavity-type reservoirs are interpreted as the main target due to their high quality and high production. In addition, the structural fissure-type and weathered fissure-type reservoirs have been found to be very significant in the Lower Ordovician carbonate reservoirs in the study area.

Key words: Tahe Oil Field; Lower Ordovician; carbonate rock; reservoir; Xinjiang