

一种新型圈闭:断控缝洞型圈闭

云露,朱秀香

(中国石化西北油田分公司,新疆乌鲁木齐830011)

摘要:近年来,中国石化西北油田分公司在塔里木盆地顺托果勒低隆起超深层碳酸盐岩中发现了 10×10^8 t级油气田——顺北油气田。顺北油气田的圈闭为新发现的断控缝洞型圈闭。在走滑断裂作用下,顺北地区中-下奥陶统碳酸盐岩地层因构造破裂产生了大量裂缝、孔洞与洞穴,形成了沿走滑断裂带展布的碳酸盐岩缝洞型储集体。这些储集体在上覆泥质岩区域盖层和致密碳酸盐岩局部盖层封挡条件下,形成了断控缝洞型圈闭。根据走滑断裂构造样式、破碎程度和内部储层分布特征等控制因素分析,将断控缝洞型圈闭划分为压扭型、平移型、张扭型及复合型等4个亚类。断控缝洞型圈闭的发现进一步丰富了海相碳酸盐岩油气成藏理论,为深层-超深层碳酸盐岩领域油气勘探开发提供了科学依据。

关键词:断控缝洞型;油气圈闭;碳酸盐岩;奥陶系;顺北油气田;塔里木盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

A new trap type: Fault-controlled fracture-vuggy trap

Yun Lu, Zhu Xiuxiang

(Northwest Oilfield Company, Sinopec, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Sinopec Northwest Oilfield Company recently struck a billion ton-scale oil/gas discovery—the Shunbei oil and gas field—in the deep carbonates of Shuntuoguole low-uplift, Tarim Basin. A new trap type—fault-controlled fracture-vuggy trap—is found to be the major container for oil and gas in the field. Analyses show that the traps take the fracture-vuggy layers along strike-slip fault zone as reservoirs and the overlying mudstone and local tight carbonates as caprocks. The reservoirs are probably the result of a tectonic disruption of the Middle–Lower Ordovician carbonates under strike-slip faulting that induced the formation of a large number of fractures, vugs and caverns. Based on the style and fragmentation of strike-slip faults as well as the distribution of internal reservoirs in the field, this study classifies the traps into four sub-types: transpression type, translation type, transtension type and composite type. This new type of trap further enriches the theory of marine carbonate reservoirs for oil and gas and provides a scientific basis for future exploration and development in deep and ultra-deep carbonates.

Key words: fault-controlled fracture-vuggy type, hydrocarbon trap, carbonate, Ordovician, Shunbei oil/gas field, Tarim Basin

引用格式:云露,朱秀香. 一种新型圈闭:断控缝洞型圈闭[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(1): 34-42. DOI: 10.11743/ogg20220103.

Yun Lu, Zhu Xiuxiang. A new trap type: Fault-controlled fracture-vuggy trap[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 34-42. DOI: 10.11743/ogg20220103.

中国海相碳酸盐岩油气资源丰富。近年来工程技术水平不断提高,超深层碳酸盐岩成为油气战略接替的现实领域^[1]。塔里木盆地油气资源以深层-超深层为主,古生界超深层碳酸盐岩油气成藏条件与富集规律复杂,不同地区油气成藏与富集规律差异大。

中国石化、中国石油在台盆区下古生界碳酸盐岩古隆起、古斜坡相继发现了塔河、塔中等以岩溶缝洞型圈闭为主的一批油气田^[2-3]。但是,构造低洼部位长期未获油气突破,尤其是加里东晚期以来长期处于构造低部位的顺托果勒低隆起区,面积大,构造稳定,目的

收稿日期:2021-09-13;修订日期:2021-12-14。

第一作者简介:云露(1972—),男,博士、教授级高级工程师,塔里木盆地勘探综合研究与评价工作。E-mail: yunl.xbsj@sinopec.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(U19B6003-02);中国石油化工股份有限公司科技部项目(P21033-3)。

层长期稳定沉降,埋深大,碳酸盐岩岩溶缝洞型圈闭与礁滩缝洞型圈闭欠发育。顺托果勒低隆起区圈闭类型不明,油气成藏富集规律不清,制约了勘探评价与突破,长期以来被视作勘探的“禁区”。

2013年以来,立足顺托果勒低隆起区,中国石化西北油田分公司组织开展多轮次联合攻关,加快构造低部位超深层碳酸盐岩油气成藏研究和勘探关键技术研发,发现了新类型的断控缝洞型圈闭。断控缝洞型圈闭可归属为构造圈闭大类中的裂缝性圈闭。裂缝性圈闭的储集空间主要为碳酸盐岩、致密砂岩、粉砂岩与泥岩等致密地层在构造作用及非构造作用下形成的裂缝^[4-6],往往与褶皱及断裂联系在一起,但断裂对裂缝甜点区控制作用研究较少。断控缝洞型圈闭的发现及发育特征研究成果有效指导了顺北油气田的发现与扩大^[7]。

1 区域地质概况

顺北油气田主体位于塔里木盆地顺托果勒低隆起,该低隆起南北分别与卡塔隆起及沙雅隆起相连、东西分别与满加尔坳陷及阿瓦提坳陷相接^[2]。顺托果勒低隆起位于塔里木盆地中央,受盆地边缘造山活动的影响较弱,是塔里木盆地构造活动相对稳定的一级

构造单元^[8]。顺托果勒低隆起主要经历了4期构造运动:加里东早期克拉通内弱伸展构造运动;加里东中、晚期—海西早期整体挤压运动、低隆起形成演化及克拉通内走滑活动;海西晚期—印支期塔北隆起持续抬升与挤压活动;燕山期—喜马拉雅期古隆起与断裂调整定型。

顺北油气田主要目的层为中奥陶统一间房组和中-下奥陶统鹰山组碳酸盐岩层系。目的层之下,自上而下为下奥陶统蓬莱坝组、寒武系(中部发育膏盐岩、底部发育玉尔吐斯组优质烃源岩)、震旦系及更古老地层。目的层之上,自下而上为上奥陶统泥岩(局部层段夹泥灰岩)、志留系—泥盆系碎屑岩、石炭系碳酸盐岩与碎屑岩、二叠系火成岩与碎屑岩及三叠系、白垩系、新生界碎屑岩。除部分层系存在不同程度缺失,地层发育整体较齐全^[9]。

顺北地区油气藏沿走滑断裂带展布^[10]。该区发育一套板内走滑断裂体系,主干走滑断裂带主要走向为北东向、北西向和近南北向(图1)。走滑断裂带普遍具有纵向分层变形、平面构造分段的发育特征^[11-12]。纵向上主要分4个构造层差异变形:中-下寒武统走滑断裂弱连续线性展布,上寒武统一中奥陶统走滑断裂线性展布,中奥陶统一志留系发育规模较大的雁列断层,石炭系—二叠系发育规模较小雁列断层。平面上,

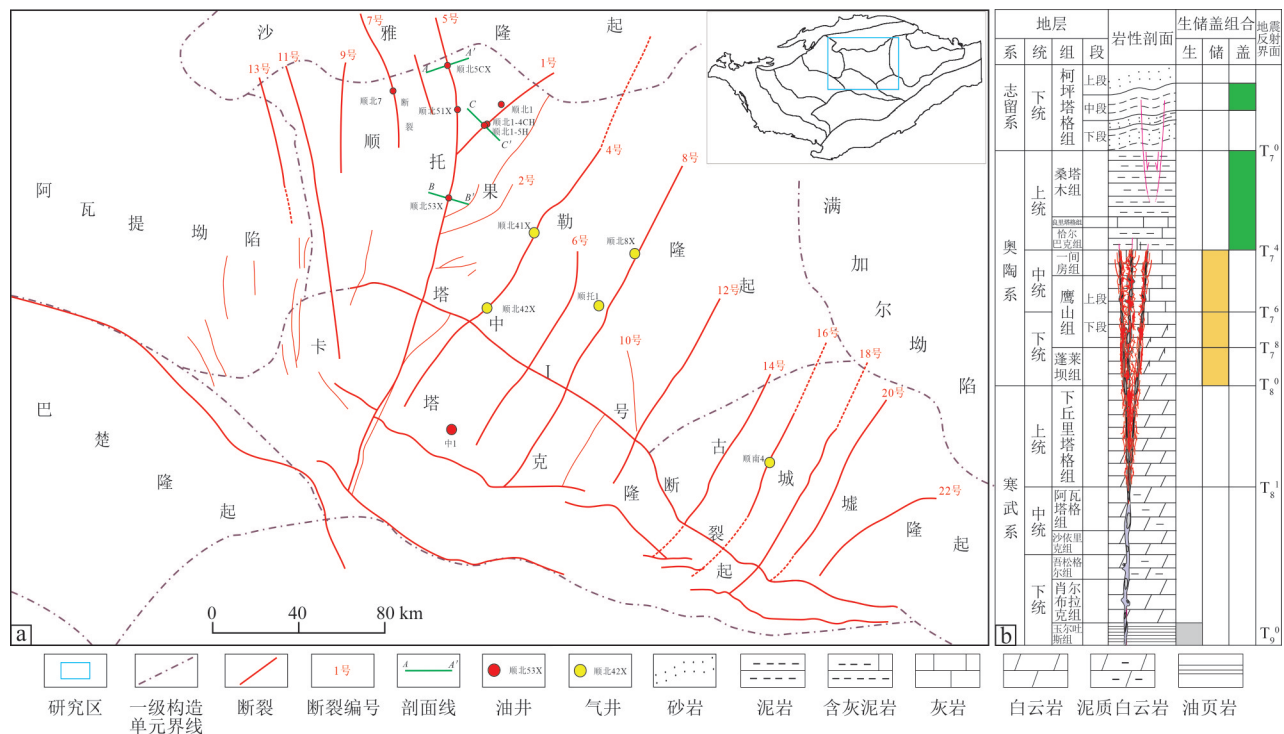


图1 塔里木盆地顺北地区中奥陶统一间房组顶面断裂分布(a)和地层及岩性发育特征(b)

Fig. 1 Fault distribution on top of the Middle Ordovician Yijianfang Formation in Shunbei area of Tarim Basin (a) and stratigraphic/lithological characteristics (b) of the area

走滑断裂分段性强,下古生界碳酸盐岩目的层见叠接拉分段、叠接压隆段和平移段3类构造样式^[11-13](图2)。顺北地区奥陶系发育完整,中-下奥陶统碳酸盐岩表生岩溶作用欠发育,主要发育受走滑断裂多期活动控制的断控缝洞型储层^[14](图2)。

2 断控缝洞型碳酸盐岩圈闭形成条件

1934年,McCollough提出圈闭的概念,就是能阻止油气继续运移并在其中聚集的空间。一个地质体具备储集层、盖层和遮挡物这3个基本条件,就构成了一个圈闭^[15-16]。本文将具有圈闭条件的断控碳酸盐岩缝洞带称为断控缝洞型碳酸盐岩圈闭,其定义为:受断裂带控制、构造破裂作用产生的沿走滑断裂带展布的碳酸盐岩缝洞型储集体,在上覆泥质岩区域盖层和致密碳酸盐岩局部盖层封挡下形成的特殊裂缝性圈闭。

2.1 储集体类型

顺北地区多期构造运动形成了以构造破裂作用为主、多种成因叠加改造的裂缝-洞穴型储集体,储集体

沿走滑断裂带呈条带状分布,纵向发育深度大,断裂活动强度控制储集体发育规模^[17-18]。顺北地区奥陶系断控缝洞型圈闭的储集空间主要由洞、孔和缝共同构成。该类储集体内部结构复杂,储层在纵向上具有极强的非均质性,主要表现在洞穴、孔洞及裂缝发育的多少、大小和洞缝空间组合类型的不同,从而造成储渗性能差异大。储集体内部结构主要受走滑断裂构造样式、活动强度及运动学特征的影响。钻井揭示的储集体类型主要有洞穴型、裂缝-孔洞型和裂缝型3种。

1) 洞穴型储层

洞穴型储层以大型洞穴为主要的储集空间,裂缝起主要连通作用。该类储集体是区内最优质的储层,在钻井上往往表现为放空及规模漏失等现象。受钻井方式、钻井深度及该类储层岩心破碎的影响,目前仍未取到该类储层典型的岩心样品,因而缺乏实测物性数据。洞穴型储层的地震反射特征主要表现为断裂+“串珠”相,少数为断裂+“杂乱”相。在常规测井曲线上多显示为双侧向快速降低,声波时差、中子孔隙度值明显增大、密度值异常减小、井径扩径。在FMI成像图中显示为深色模式,与上下地层明显不同或呈不规则

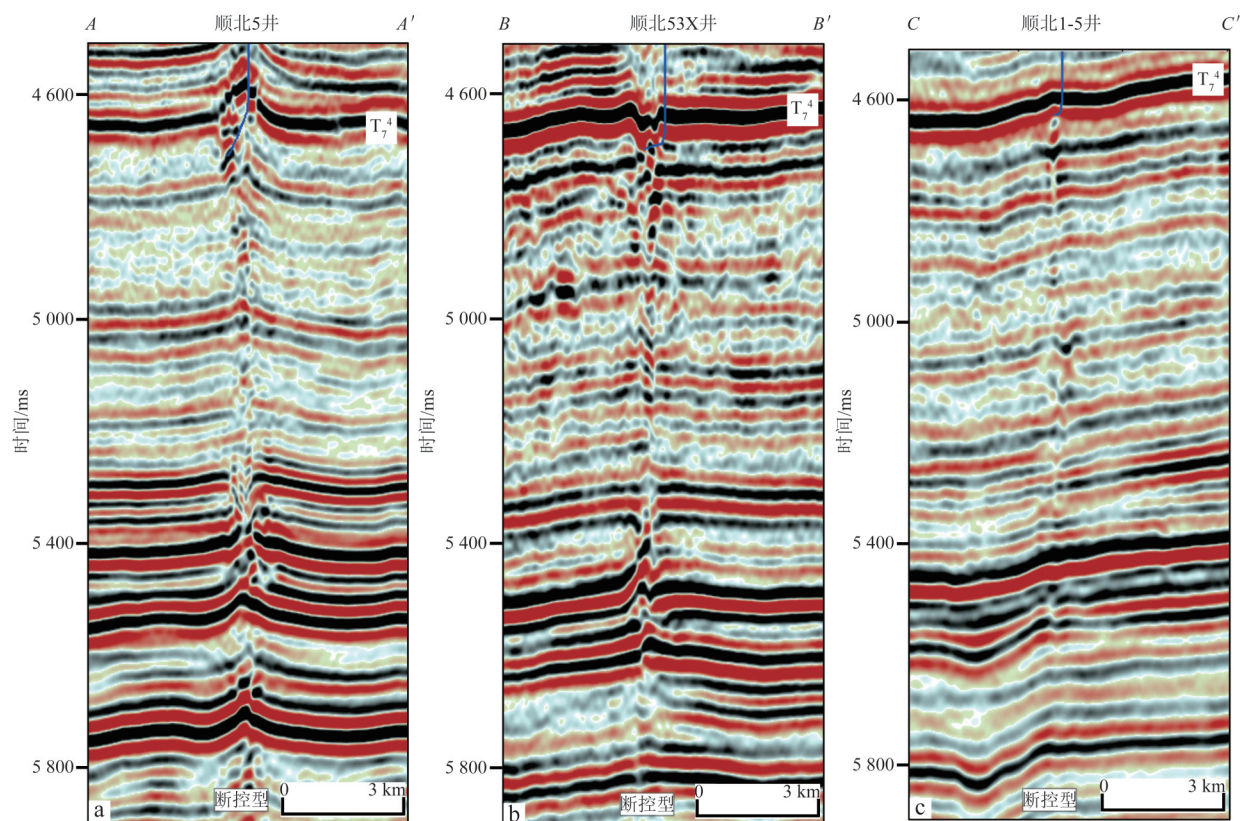


图2 顺北地区典型断控缝洞型储集体地震剖面特征(剖面位置见图1)

Fig. 2 Seismic profiles of typical fault-controlled fracture-vuggy traps in the Shunbei area, Tarim Basin (see Fig. 1 for profile location)

a. 过顺北5井轨迹地震剖面;b. 过顺北53X井轨迹地震剖面;c. 过顺北1-5井轨迹地震剖面

T₇⁴. 中奥陶统一间房组顶面地震反射界面

块状、长条状到近等轴状暗色高导斑块或斑点显示。压恢试井曲线多表现为单个或多个“下凹箱型”,压力导数曲线明显下降、持续时间长,包含面积大,储层规模大。该类储层单井产能高,累产普遍大于 5×10^4 t,如顺北1-5H井。

2) 裂缝-孔洞型储层

裂缝-孔洞型储层以孔洞为主要储集空间,裂缝主要起连通作用。钻井中多表现为地层微漏失或不漏失的特征;地震反射特征主要表现为断裂+“杂乱”相,其次为断裂+“串珠”相;常规测井上多表现为双侧向电阻率明显降低,自然伽马无明显变化,声波时差、中子孔隙度值有一定增大。在FMI成像图中形状呈不规则、近等轴暗色高导或斑点显示。压恢试井曲线多表现为“倒S型”,内区压力导数曲线相比洞穴型下降幅度小,通过裂缝沟通远端孔洞型储层。该类储层单井产能中等,累产一般介于 $(2 \sim 5) \times 10^4$ t,如顺北5-10H井。

3) 裂缝型储层

裂缝型储层是本区分布最广泛的储层。裂缝型储层钻井特征多表现为钻井液微漏失或不漏失;地震反射特征多表现为断裂+“弱反射”相。在常规测井曲线上多表现为深、浅侧向电阻率呈中-较高值(一般 $200 \Omega \cdot m < Rt < 2000 \Omega \cdot m$),且深浅侧向电阻率值存在明显幅度差,幅度差随裂缝发育角度而变化,高角度裂缝为正差异,低角度为无差异或负差异;自然伽马曲线特征与致密灰岩段相近,三条孔隙度测井曲线与致密灰岩差异不大。在FMI和XRFMI图像中裂缝型储层特征较为明显,常见的裂缝有直劈缝(高角度缝),在FMI图像上表现为近垂直的深色(黑色)线条或条带。压恢试井曲线中压力曲线与压力导数曲线基本平行,内区压力导数曲线有一定下降幅度,但远端基本无有效储层沟通。该类储层的规模一般较小,单井产能低,累产量一般小于 2×10^4 t,如顺北5-11H井。

2.2 盖层与遮挡条件

由于盖层及遮挡物的封盖遮挡,油气才能聚集形成油气藏。盖层封闭性能主要受岩性、厚度、侧向连续性、埋深、裂隙发育程度等因素影响,它们分别受沉积、成岩及构造背景的控制。顺北地区上奥陶统为一套巨厚的泥岩、灰质泥岩,区域上分布稳定,厚度大,上奥陶统厚度分布在700~2000 m,为一套极好的区域性盖层^[19]。致密灰岩可作为良好的局部盖层及遮挡条件。顺北地区奥陶系一间房组及鹰山组上段主要为致密泥晶灰岩,对区内212件全直径岩心样品分析发现,基岩孔隙度为0.02%~4.70%,平均为1.30%;渗透率为

$(0.002 \sim 3.000) \times 10^{-3} \mu m^2$,平均值 $0.630 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。通过对顺北地区孔隙度与含油气级别的对应关系和生产测井标定研究,认为碳酸盐岩有效孔隙度的下限为2.0%,泥晶灰岩基岩物性极差,基本不具备储、渗能力。塔里木盆地致密灰岩排替压力也有学者进行了研究,认为致密灰岩对饱和标准盐水排替压力较高,对油气可以形成很好的封盖性能^[20]。走滑断裂带具有平面向段性,分段处内部储层不发育,可构成沿断裂带方向侧向隔挡。上覆区域性泥质岩及致密泥晶灰岩可构成油气垂向散失与侧向运移或调整的封盖与遮挡条件。

3 断控缝洞型圈闭成因类型

顺北油气田勘探开发成果表明,奥陶系油气藏主要富集在通源的主干走滑断裂带内部及与之连通的分支断裂带上,沿断裂带呈“窄、长”的条带状分布^[19]。走滑断裂形成机制、构造样式与断裂平面展布特征决定了断控缝洞型圈闭形态,根据走滑断裂的运动学特征、几何形态等将断控缝洞型圈闭划分为压扭型圈闭、张扭型圈闭、平移型圈闭和复合型圈闭4大亚类(图3)。

3.1 压扭型断控缝洞型圈闭

压扭型断控缝洞型圈闭主要发育于走滑断裂的叠接压扭段。断裂带深层断裂面高陡、直立、狭窄,往浅层受局部正压应力场控制发生正向错断、形成多条高角度逆断层,呈现撒开状的背冲构造,叠接区域的边界断层是主滑移断层,区域内碳酸盐岩破碎程度高,为缝洞系统构成的破碎带。该类圈闭规模较大,内部储层结构受变形强度影响呈现差异性,变形强度弱时以裂缝-孔洞型为主,随着变形强度的变大,洞穴型储层占比会逐渐增大,向断裂带两侧则逐渐过渡为裂缝带,再向外则过渡为致密基岩。顺北地区中-下奥陶统压扭型断控缝洞型储层在上奥陶统巨厚区域性泥岩、泥灰岩盖层和两侧基岩侧向遮挡下形成压扭型断控缝洞型圈闭。该类圈闭在地震剖面上主要表现为中浅层为杂乱强反射,深层为杂乱弱-中强反射。断裂带内部储集体横向、纵向连通性弱。勘探开发实践证实,该类圈闭的单井初始产能高、递减快、中后期递减慢、稳产能量增强、累积产量较高。

3.2 张扭型断控缝洞型圈闭

张扭型断控缝洞型圈闭主要发育于走滑断裂带的叠接张扭段。断裂带浅层受局部张扭应力场控制斜向错断形成局部断陷下掉断块,深层向下收敛、合并至主

类型	亚类	圈闭形态			受控断裂			储集特征	代表钻井
		平面	立体	地震剖面	断裂性质	断裂界面	构造样式		
断控缝洞型圈闭	压扭型圈闭				走滑断裂	$T_6^0-T_9^0$ 或 $T_7^0-T_9^0$ 或 $T_5^0-T_9^0$	压扭	圈闭内储层结构受变形强度影响呈现差异性, 变形强度弱时以裂缝-孔洞型为主, 随着变形强度的变大, 洞穴型储层占比逐渐增大, 断裂带内部储集体横向、纵向连通性弱	顺北5井区
	张扭型圈闭					$T_6^0-T_9^0$ 或 $T_7^0-T_9^0$ 或 $T_5^0-T_9^0$	张扭	储层主要沿断裂面分布, 形成贯通的横向、纵向连通性较好的大型缝洞单元, 以洞穴型储层为主	顺北1-4H井区
	平移型圈闭					$T_6^0-T_9^0$ 或 $T_7^0-T_9^0$ 或 $T_5^0-T_9^0$	平移	左行左阶或右行右阶张扭型走滑断裂平移段圈闭内多发育洞穴型储集体, 左行右阶或右行左阶压扭型走滑断裂平移段圈闭内多发育裂缝-孔洞型储集体	顺北1-6H井区
	复合型圈闭					主干 $T_6^0-T_9^0$ 或 $T_7^0-T_9^0$ 或 $T_5^0-T_9^0$ 分支 $T_4^0-T_8^0$ 或 $T_7^0-T_8^0$	主干断裂为压扭、张扭或平移; 分支断裂多为平移	主干断裂储集特征与上述3种圈闭特征类似; 分支断裂活动强度一般较小, 其内部储集体主要为裂缝-孔洞型或裂缝型	顺北501— 顺北5-5H井区

图3 顺北地区断控缝洞型圈闭(油气藏)成因类型及特征

Fig. 3 Genetic types and characteristics of fault-controlled fracture-vuggy traps (oil and gas reservoirs) in the Shunbei area, Tarim Basin

干断裂。当拉分强度较大时, 会形成沿断裂带的小型拉分“盆地”。张扭型走滑断裂边界断层为主滑移断层, 以弱伸展性质的断裂活动为主, 断层的弱伸展性质有利于形成和保持低-无内聚力的断裂破碎带, 沿断裂面形成贯通的横向、纵向连通性较好的大型缝洞单元; 边界断层内部因未发生明显变形, 仅分散分布诱导裂缝, 地层渗透性差, 不发育规模断控储层; 向断裂带两侧逐渐过渡为裂缝带, 再向外则过渡为致密基岩。顺北地区中-下奥陶统张扭型断控缝洞型储层在上奥陶统巨厚区域性泥岩、泥灰岩盖层和两侧基岩侧向遮挡下形成张扭型断控缝洞型圈闭。该类圈闭在地震剖面上主要表现为浅层和深层均为杂乱强或串珠状反射。断裂带内部储集体横向、纵向连通性好。勘探开发实践证明, 该类圈闭的单井产能高、递减慢、累积产量高。

3.3 平移型断控缝洞型圈闭

平移型断控缝洞型圈闭主要发育于走滑断裂带平移段。断裂带受控于区域主干断裂带基底的走滑错断, 断裂面高陡、狭窄, 剖面上为近直立单支状, 平面上呈孤立的条带状。储集体沿走滑断裂呈条带状展布, 其内部储层类型受走滑断裂运动学特征控制; 左行左阶或右行右阶张扭型走滑断裂带平移段圈闭内多发育洞穴型储集体, 在地震剖面上表现为杂乱强反射; 左行

右阶或右行左阶压扭型走滑断裂平移段圈闭内多发育裂缝-孔洞型储集体, 地震剖面上表现为杂乱中强反射。沿走滑段受差异活动作用影响, 内部储层常分段发育或不均匀发育, 分段间或储层不发育部位则存在基岩隔挡, 其在上覆地层和侧向基岩的遮挡下形成平移型圈闭。勘探开发实践证明, 该类圈闭断裂带内部储集体横向、纵向连通性差异大; 连通性好的圈闭其单井产能高、递减慢、累积产量高, 连通性差的圈闭则单井产能低、递减快、累积产量低。

3.4 复合型断控缝洞型圈闭

在盆地边界多期次、多方向挤压-伸展应力背景下, 顺北地区发育18条主干走滑断裂带及多条与主干断裂伴生的分支断裂^[11], 其在平面上多呈平行状分布在主干走滑断裂带两侧, 并与主干走滑断裂交切, 构成统一成藏单元。分支断裂纵向上向下一般断至下奥陶统蓬莱坝组顶面或寒武系顶面, 向上断穿层位少, 一般断至中奥陶统顶面, 剖面上常呈单支近直立状, 平面上由主干断裂往外延伸较短。储集体沿分支断裂分布, 因分支断裂活动强度一般较小, 其内部储集体主要为裂缝-孔洞型或裂缝型。分支断裂一般不直接通源, 且形成机制与主干断裂密切相关, 因此圈闭刻画时一般将分支断裂及与其交切的主干断裂作为一个整体刻画圈闭, 定义为复合型圈闭, 其中主干断裂可能是压扭

段或张扭段或平移段。该类圈闭分支断裂在地震剖面上多表现为浅层强反射、深层为基岩弱反射的特征,主干断裂表现特征上已述及。勘探开发实践证明,该类圈闭分支断裂的单井产能较一般、累积产量一般,单井产能一般。

4 典型断控缝洞型圈闭实例分析

碳酸盐岩断控缝洞型圈闭的发现不仅丰富了超深层碳酸盐岩油气圈闭理论,更为碳酸盐岩圈闭的勘探开发提供可靠的地质依据。笔者对上述4大亚类断控缝洞型圈闭开展了典型实例分析。

4.1 压扭型断控缝洞型圈闭

顺北5CX井区所在圈闭位于顺北5号主干走滑断裂带北段挤压段(图4)。中奥陶统一间房组顶面 T_7^4 界面的精细相干切片与 T_7^4 界面之下50 ms— T_7^6 界面振幅属性显示,挤压段内发育多条断裂,以挤压段边界断层为界构成了断裂破碎带(图4)。过顺北5CX井的地震剖面上,深层主干断裂切至基底,浅层发育多条分支断层呈分叉撒开,在中奥陶统一间房组顶面形成正花状地垒式结构(图4)。顺北5CX井区的圈

闭是顺北地区典型的压扭型圈闭,中浅层地震反射表现为杂乱强反射,深层为杂乱弱—中强反射,内部缝洞型储集体发育。顺北5CX井在断裂带内部钻遇两次放空、漏失:第一次7 386.35 m,放空0.77 m,漏失泥浆648.41 m³;第二次7 945.09 m,放空2.92 m,漏失泥浆453.95 m³,该井酸化测试获高产工业油气流,投产初期日产油86.6 t,不含水,目前日产油为89.5 t,无水自喷生产,已自喷生产超过1 417 d,累积产油量达 9.8×10^4 t。

4.2 张扭型断控缝洞型圈闭

顺北1-4H井区所在圈闭位于顺北1号主干走滑断裂带中部拉分段(图5)。中奥陶统一间房组顶面 T_7^4 界面的精细相干切片与 T_7^4 界面之下50 ms— T_7^6 界面振幅属性显示,圈闭内发育两条主干断裂,以主干断裂面为主构成了断裂破碎带(图5a)。横切张扭型圈闭的地震剖面上,浅层为两条下掉的高角度正断层,向下收敛合并于主干高陡断裂(图5b)。顺北1-4H井所处的圈闭是顺北地区典型的张扭型圈闭,储层主要分布在两条下掉的正断层上,深层与浅层均表现为串珠状反射特征。勘探开发实践证明,该类圈闭断裂面内部缝洞型储集体发育,纵向连通性好,顺北1-4H和顺北1-

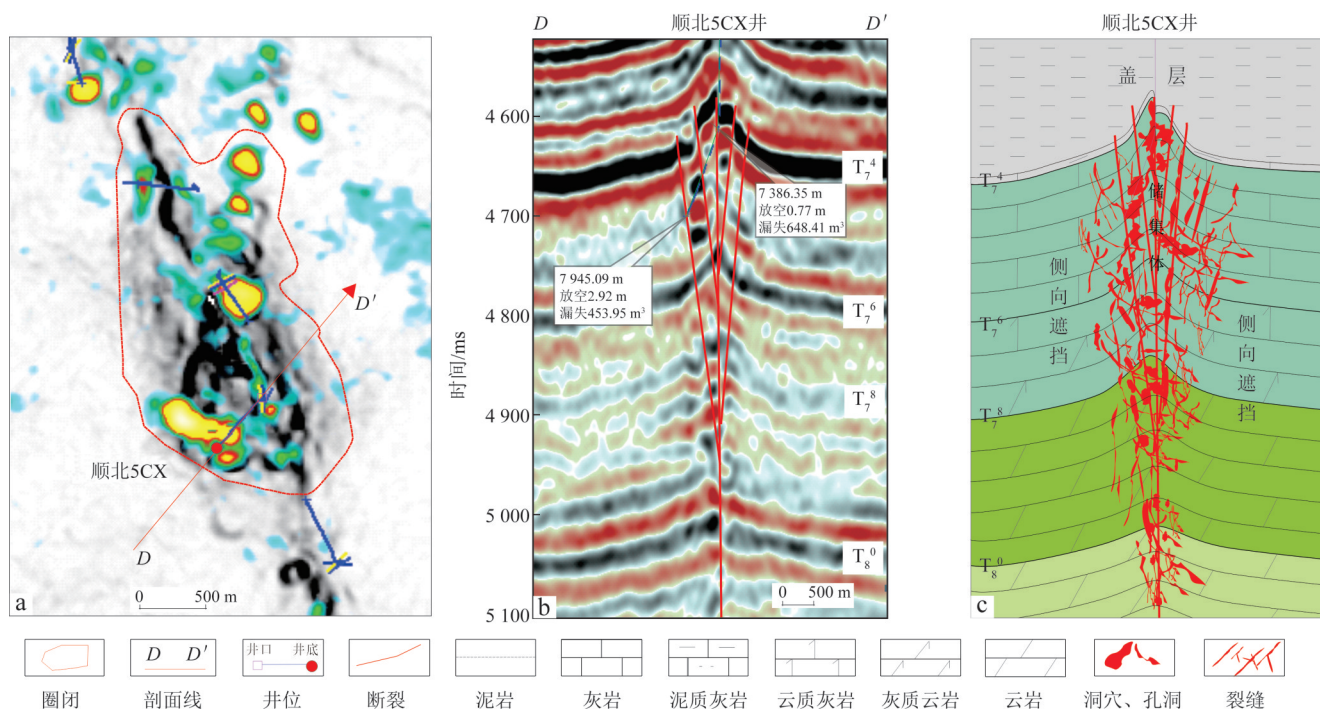


图4 顺北地区典型压扭型断控缝洞型圈闭平面形态及剖面结构

Fig. 4 Plane shape and section structure of typical transpressional fault-controlled fracture-vuggy traps in the Shunbei area, Tarim Basin

a. 顺北5井区 T_7^4 界面相干属性叠合 T_7^4 界面下50 ms— T_7^6 振幅属性;b. 过顺北5CX井轨迹地震剖面;c. 顺北5CX井油藏模式示意图
 T_7^4 . 中奥陶统一间房组顶面地震反射界面; T_7^6 . 中-下奥陶统鹰山组顶面地震反射界面; T_8^0 . 寒武系顶面地震反射界面

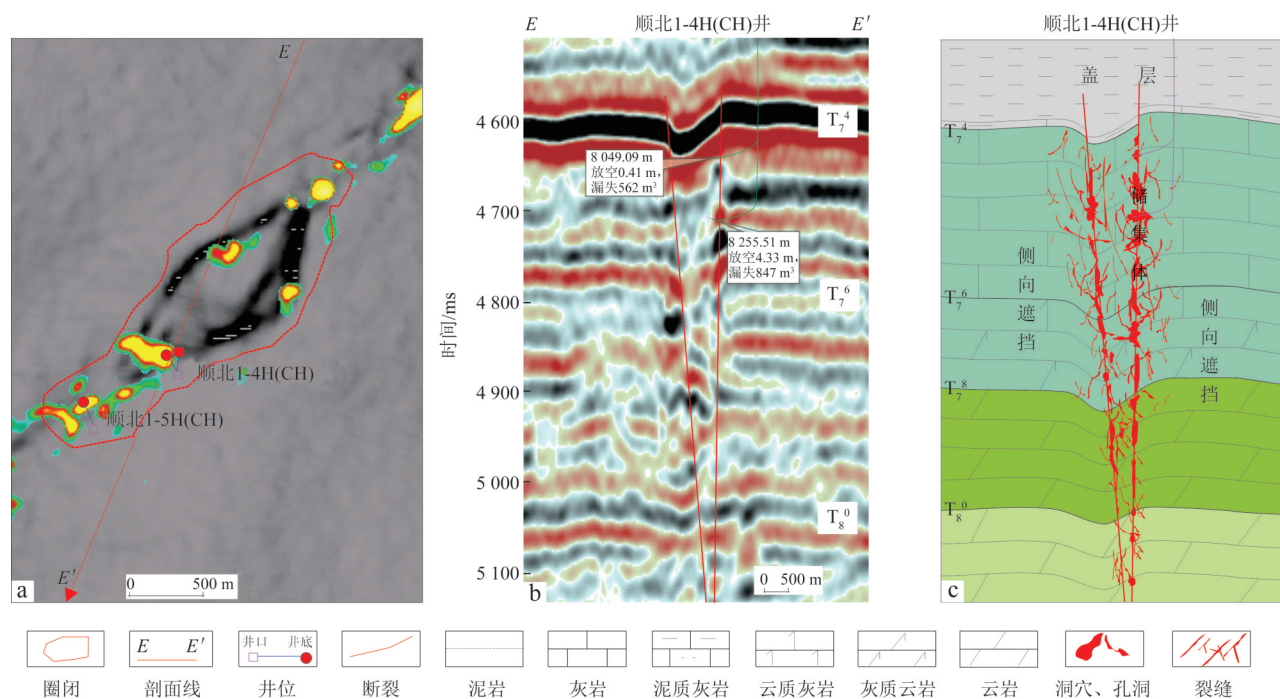


图5 顺北地区典型张扭型断控缝洞型圈闭平面形态及剖面结构

Fig. 5 Plane shape and section structure of typical transensional fault-controlled fracture-vuggy traps in the Shunbei area, Tarim Basin

a. 顺北1-4H(CH)井区 T_7^4 界面相干属性叠合 T_7^4 界面下50 ms— T_7^6 振幅属性;b. 过顺北1-4H(CH)井轨迹地震剖面;
c. 顺北1-4H(CH)井油藏模式示意图

T_7^4 : 中奥陶统一间房组顶面地震反射界面; T_7^6 : 中-下奥陶统鹰山组顶面地震反射界面; T_8^0 : 寒武系顶面地震反射界面

4HCH井为一井多靶井型,侧钻该圈闭同一边界断层深层和浅层。顺北1-4H井在浅层钻遇断裂面时放空0.41 m、漏失泥浆562 m³,测试获高产油气流,试采后因沥青堵塞地层通道而实施原井眼深层侧钻顺北1-4HCH井,该井为沿相同的井轨迹加深侧钻同一边界断层,侧钻后在同一断裂面深层放空4.33 m、漏失泥浆847 m³,测试获高产油气流,油气性质与顺北1-4H井产层一致,初始油藏压力与顺北1-4H井沥青堵塞前的油藏压力一致,表明张扭型断层面内部储层垂向连通性好。顺北1-4H投产初期日产油53 t,不含水,目前累积产油量6.04×10⁴ t。

4.3 复合型断控缝洞型圈闭

顺北5号断裂带中段发育典型复合型圈闭,以顺北501井区为例。中奥陶统一间房组顶面 T_7^4 界面的精细相干切片与 T_7^4 界面之下50 ms— T_7^6 界面振幅属性显示,破碎带内主干走滑断裂带为走滑断裂平移段,两侧发育3条近平行展布的分支断裂(图6a,b),主干断裂为单根直立,断至寒武系底界以下,分支断裂平面上延伸长度与纵向上的切割深度均低于主干断裂带(图6b)。分支断裂活动强度相比主干断裂弱,以裂缝型、裂缝-孔洞型储集体为主,主干断裂以裂缝-孔洞型或

裂缝-孔洞型储集体为主。在分支断裂部署的顺北501井在钻至断裂面时漏失泥浆30.04 m³,成像测井显示为裂缝型储层,酸化测试获高产工业油气流,投产初期日产油67.6 t,不含水,后期产量下降快,自喷累积产油1.2×10⁴ t;在主干断裂部署的顺北5-10井,在钻至断裂面时漏失泥浆25.45 m³,常规测井解释和压恢试井显示以孔洞型储层为主,投产初期日产油87.3 t,不含水,目前日产油11.2 t,不含水,自喷累积产油2.7×10⁴ t。

5 断控缝洞型圈闭发现的意义

在超深的构造低部位、不发育碳酸盐岩岩溶缝洞型圈闭及礁滩缝洞型圈闭地区,中国石化西北油田分公司探索发现并定义了一种新的断控缝洞型圈闭(油气藏)。塔里木盆地超深碳酸盐岩面积大,资源量巨大,但岩溶缝洞型圈闭与礁滩缝洞型圈闭欠发育,传统海相碳酸盐岩油气地质理论在此应用受阻。断控缝洞型圈闭的发现极大地拓展了勘探领域,对于碳酸盐岩地层,走滑断裂多期活动形成的纵向深度大的缝洞系统,不仅是油气运移与高效输导的通道,也是油气的储集空间,油气可在此聚集成藏。在平缓构造背

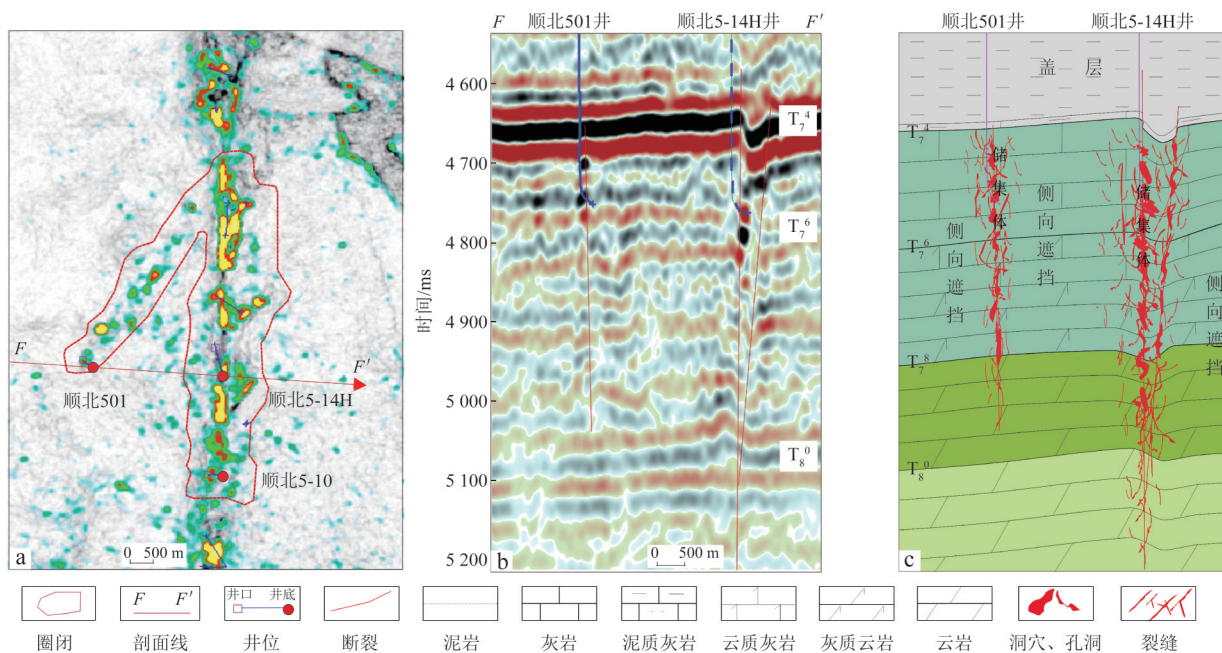


图6 顺北地区典型复合型断控缝洞型圈闭平面形态及剖面结构

Fig. 6 Plane shape and section structure of typical composite fault-controlled fracture-vuggy traps in the Shunbei area, Tarim Basin

a. 顺北1-4H(CH)井区 T_7^4 界面相干属性叠合 T_7^4 界面下50 ms— T_7^6 振幅属性;b. 过顺北1-4H(CH)井轨迹地震剖面;
c. 顺北1-4H(CH)井油藏模式示意图

T_7^4 : 中奥陶统一间房组顶面地震反射界面; T_7^6 : 中-下奥陶统鹰山组顶面地震反射界面; T_8^0 : 寒武系顶面地震反射界面

景下,油气垂向运移充注至断控缝洞型圈闭,形成沿走滑断裂带分布、纵向穿层、油气柱高度大、横向分割性强、无统一油水界面的特殊裂缝性油气藏——断控缝洞型油气藏。断控缝洞型圈闭的分析为顺托果勒低隆起及周边岩溶欠发育的辽阔的超深碳酸盐岩地区指出了勘探新方向,指导了顺北及富满油田的油气发现及快速建产。

断控缝洞型圈闭拓展了油气圈闭理论。传统圈闭以含孔隙的岩体或暴露溶蚀的岩体作为储集体,受沉积或构造抬升控制,而顺北地区新发现的断控缝洞型圈闭以断裂破碎带作为储集体,受走滑断裂活动控制。走滑断裂既形成了断控缝洞型圈闭,也是油气运移通道。断控缝洞型圈闭位于油气充注的最有利部位,成藏条件非常有利。顺北地区断控缝洞型圈闭的发现丰富了油气地质理论,为其他地区走滑断裂及其他类型断裂控圈作用研究提供新思路,推进中国油气勘探与开发。

6 结论

1)定义了断控缝洞型圈闭为受断裂带控制、构造破裂作用为主,经流体改造形成的碳酸盐岩缝洞型储集体,在上覆泥质岩区域盖层和致密碳酸盐岩局部盖

层封挡下形成的特殊裂缝性圈闭。

2)定义了断控缝洞型油气藏为在平缓构造背景下,油气垂向运移充注至断控缝洞型圈闭,形成沿走滑断裂带分布、纵向穿层、油气柱高度大、横向分割性强、无统一油水界面的特殊裂缝性油气藏。

3)断控缝洞型圈闭的形态受控于走滑断裂形成机制、构造样式与断裂平面展布特征,根据走滑断裂的运动学特征、几何形态等将其分为压扭型圈闭、张扭型圈闭、平移型圈闭和复合型等4大亚类。

参 考 文 献

- [1] 马永生,黎茂稳,蔡勋育,等.中国海相深层油气富集机理与勘探开发:研究现状、关键技术瓶颈与基础科学问题[J].石油与天然气地质,2020,41(4):655-672,683.
Ma Yongsheng. Mechanisms and exploitation of deep marine petroleum accumulations in China: Advances, technological bottlenecks and basic scientific problems. Oil & Gas Geology [J], 2020, 41(4): 655-672.
- [2] 漆立新,云露,曹自成,等.顺北油气田地质储量评估与油气勘探方向[J].新疆石油地质,2021,42(2):127-135.
Qi Lixin, Yun Lu, Cao Zicheng, et al. Geological reserves assessment and petroleum exploration targets in Shunbei Oil & Gas Field [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(2): 127-135.
- [3] 焦方正.塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景[J].石油与天然气地质,2018,39(2):207-216.

- Jiao Fangzheng. Discovery significance and prospect analysis of deep fault-karst carbonate hydrocarbon reservoirs in Shunbei area Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(2):207-216.
- [4] 段俊骅. 构造-裂缝油气藏的成因类型及其分布规律[J]. *石油学报*, 1995, 16(2):42-45.
- Duan Junhu. Origin, type and distribution regularity of structural-fractured reservoir[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1995, 16(2):42-45.
- [5] 张金功, 袁政文. 泥质岩裂缝油气藏的成藏条件及资源潜力[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(4):336-338, 347.
- Zhang Jingong, Yuan Zhengwen. Formation and potential of fractured mudstone reservoirs[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(4):336-338, 347.
- [6] 何雨丹, 魏春光. 裂缝型油气藏勘探评价面临的挑战及发展方向[J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(2):537-543.
- He Yudan, Wei Chunguang. The present situation and research direction of evaluation methods in fracture type reservoir[J]. *Progress in Geophysics*, 2007, 22(2):537-543.
- [7] 云露. 顺北东部北东向走滑断裂体系控储控藏作用与突破意义[J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(3):41-52.
- Yun Lu. Controlling effect of NE strike-slip fault system on reservoir development and hydrocarbon accumulation in the eastern Shunbei area and its geological significance, Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(3):41-52.
- [8] 金仙梅, 曹自成, 陈建华, 等. 塔里木盆地古城墟隆起构造演化及其勘探方向[J]. *新疆石油地质*, 2013, 34(4):418-420.
- Jin Xianmei, Cao Zicheng, Chen Jianhua, et al. Structural evolution and exploration direction of Guchengxu Uplift of Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2013, 34(4):418-420.
- [9] 蔡习尧, 李慧莉, 马玉春, 等. 塔里木盆地古城墟隆起奥陶系沉积相特征[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2006, 37(1):155-161.
- Cai Xiyao, Li Huili, Ma Yuchun, et al. Characteristic of sedimentary facies of Guchengxu Uplift Ordovician at Tarim Basin[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2006, 37(1):155-161.
- [10] 云露. 顺北地区奥陶系超深断溶体油气成藏条件[J]. *新疆石油地质*, 2021, 42(2):127-135.
- Yun Lu. Hydrocarbon accumulation of ultra-deep ordovician fault-karst reservoirs in Shunbei Area[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2021, 42(2):136-142.
- [11] 邓尚, 李慧莉, 张仲培, 等. 塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(5):878-888.
- Deng Shang, Li Huili, Zhang Zhongpei, et al. Characteristics of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(5):878-888.
- [12] 邓尚, 刘雨晴, 刘军, 等. 克拉通盆地内部走滑断裂发育、演化特征及其石油地质意义:以塔里木盆地顺北地区为例[J]. *大地构造与成矿学*, 2020, 45:1-16.
- Deng Shang, Liu Yuqing, Liu Jun, et al. Structural styles and evolution models of intracratonic strike-slip faults and the implications for reservoir exploration and appraisal: A case study of the Shunbei Area, Tarim Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2020, 45:1-16.
- [13] 邓尚, 李慧莉, 韩俊, 等. 塔里木盆地顺北5号走滑断裂中段活动特征及其地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(5):990-998.
- Deng Shang, Li Huili, Han Jun, et al. Characteristics of the central segment of Shunbei 5 strike-slip fault zone in Tarim Basin and its geological significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(5):990-998.
- [14] 赵锐, 赵腾, 李慧莉, 等. 塔里木盆地顺北油气田断控缝洞型储层特征与主控因素[J]. *特种油气藏*, 2019, 26(5):8-13.
- Zhao Rui, Zhao Teng, Li Huili, et al. Fault-controlled fracture-cavity reservoir characterization and main-controlling factors in the Shunbei hydrocarbon field of Tarim Basin[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2019, 26(5):8-13.
- [15] 伍友佳, 蔡正旗. 油藏地质学[M]. 北京:石油工业出版社, 2000:69-72.
- Wu Youjia, Cai Zhengqi. *Reservoir geology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000:69-72.
- [16] 罗群, 黄捍东, 庞雄奇, 等. 自然界可能存在的断层体圈闭[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(3):148-150.
- Luo Qun, Huang Handong, Pang Xiongqi, et al. A kind of possible natural fault petroleum trap[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(3):148-150.
- [17] 曹自成, 路清华, 顾忆, 等. 塔里木盆地顺北油气田1号和5号断裂带奥陶系油气藏特征[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(5):975-984.
- Cao Zicheng, Lu Qinghua, Gu Yi, et al. Characteristics of Ordovician reservoirs in Shunbei 1 and 5 fault zones, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(5):975-984.
- [18] 刘宝增. 塔里木盆地顺北地区油气差异聚集主控因素分析——以顺北1号、顺北5号走滑断裂带为例[J]. *中国石油勘探*, 2020, 25(3):83-95.
- Liu Baozeng. Analysis of main controlling factors of oil and gas differential accumulation in Shunbei area, Tarim Basin-taking Shunbei No. 1 and No. 5 strike slip fault zones as examples[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(3):83-95.
- [19] 漆立新. 塔里木盆地顺北超深断溶体油藏特征与启示[J]. *中国石油勘探*, 2020, 25(1):102-111.
- Qi Lixin. The characteristics and enlightenment of ultra-deep carbonate reservoir controlled by fault-zone-architecture related dissolution in Shunbei Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(1):102-111.
- [20] 吕修祥, 陈佩佩, 陈坤, 等. 深层碳酸盐岩差异成岩作用对油气分层聚集的影响——以塔里木盆地塔中隆起北斜坡鹰山组为例[J]. *石油与天然气地质*, 2019(5):957-971.
- Lu Xiuxiang, Chen Peipei, Chen Kun, et al. Influence of differential diagenesis of deep carbonate rocks on oil and gas stratification and Accumulation-Taking Yingshan formation on the north slope of Tazhong Uplift in Tarim Basin as an example[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019(5):957-971.