

# 塔里木盆地富满油田超深断裂破碎体油藏地质特征与启示

邓兴梁<sup>1,2,3</sup>, 常少英<sup>4</sup>, 陈方方<sup>1,2,3</sup>, 陈赟俊<sup>4</sup>, 王彭<sup>1,2,3</sup>, 曹鹏<sup>5</sup>,  
王孟修<sup>4</sup>, 姚倩颖<sup>4</sup>, 赵龙飞<sup>1,2,3</sup>, 叶婷玉<sup>6</sup>

1 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院; 2 中国石油超深油气勘探开发技术研发中心;  
3 新疆维吾尔自治区超深层复杂油气藏勘探开发工程研究中心; 4 中国石油杭州地质研究院;  
5 中国石油迪拜研究院; 6 长江大学

**摘要** 走滑断裂带是塔里木盆地超深层碳酸盐岩领域重要的油气聚集带,近几年发现一种新型油藏——断裂破碎体油藏。断裂破碎体油藏天然能量不足,油藏产量递减快,亟需深化该类油藏的地质认识,探索新的开发方式,探究提高采收率的对策。以塔里木盆地富满油田12号、17号断裂带为解剖对象,通过露头、钻井、地震、岩心薄片、生产动态和试井等资料的综合研究,对断裂破碎体油藏的储集空间类型、内部结构特征及成藏特征进行精细表征,提出适用的提高采收率的对策。研究结果表明:①断裂破碎体油藏属于立式板状油藏,储层发育在断裂的核部及破碎带,其储集空间类型为由破碎作用形成的角砾间孔、空腔和构造缝;②超深断裂破碎体储集体原岩为致密岩相,特低孔渗的先存地层的原始地层水含量较低,后期无大气淡水溶蚀,使断裂破碎体油藏具有高油柱(可达上千米)、不含水或少含水的特征;③在地质认识、油藏精细描述和开发方式上,形成3个方面的转变:断控岩溶储层转变为破碎体储层;断溶体油藏描述转变为断裂破碎体油藏描述;注水开发转变为注气开发。

**关键词** 超深层; 断裂破碎体; 核带结构; 油藏特征; 富满油田; 塔里木盆地

**中图分类号**: TE122.3 **文献标识码**: A

**引用**: 邓兴梁,常少英,陈方方,等. 塔里木盆地富满油田超深断裂破碎体油藏地质特征与启示[J]. 海相油气地质, 2025, 30(3): 228-238.  
DENG Xingliang, CHANG Shaoying, CHEN Fangfang, et al. Geological characteristics and implications of ultra-deep fractured breccia reservoirs in the Fuman Oilfield, Tarim Basin [J]. Marine origin petroleum geology, 2025, 30(3): 228-238.

## 0 前言

断控缝洞型油气藏是我国克拉通盆地超深层碳酸盐岩领域的一个重要的油气藏类型,以沿塔里木盆地走滑断裂带发育的该类油气藏为典型代表。塔里木盆地针对缝洞型碳酸盐岩储层的勘探开发经历了以下几个重要阶段<sup>[1]</sup>:①潜山岩溶储层阶段。塔里木盆地北部和中部的潜山岩溶区主要位于隆起构造高位,以塔河油田、轮古油田为典型代表。②礁滩岩溶储层阶段,以塔中良里塔格组礁滩型油气藏为代表。③层间岩溶储层阶段,以哈拉哈塘油田为代表。④断溶体储层阶段,以富满油田北部跃满、齐古等区块的断溶体油藏为典型代表。随着勘

探开发的深入,在富满油田南部发现了以F<sub>1</sub>17号断裂为代表的一种新型油藏——断裂破碎体油藏<sup>[2]</sup>。这种新型油藏是在致密石灰岩地层中,受走滑断裂活动控制而形成储集空间,后期被油气充注并保存下来的油藏,已累计产油385×10<sup>4</sup> t,是塔里木油田超深层重要的优质原油生产基地。

断裂破碎体油藏具有强烈的非均质性,勘探开发过程中普遍面临油藏内部结构刻画难、产量递减快及提高采收率对策少等巨大挑战。前人对于阿满过渡带上的富满油田、顺北油田与走滑断裂相关的油藏特征已开展过较多的研究:阐述了塔里木盆地超深层走滑断裂控制大油气田的油气地质特征及勘探开发前景<sup>[3-5]</sup>;建立了“寒武纪多期供烃、深埋

收稿日期: 2024-12-23; 改回日期: 2025-03-05; 网络出版日期: 2025-05-29

本文受中国石油天然气集团有限公司碳酸盐岩专项课题“海相碳酸盐岩油气规模增储上产与勘探开发技术研究”(编号: 2023ZZ16YJ02)、“碳酸盐岩油气富集规律及有利区带研究”(编号: 2023ZZ16-01)和中国石油天然气集团有限公司基础性前瞻性重大科技专项“叠合盆地中下组合油气成藏与保持机制研究”(编号: 2023ZZ02)联合资助

**第一作者**: 邓兴梁,教授级高级工程师,主要从事塔里木盆地碳酸盐岩油气开发地质研究与评价、产建部署工作。通信地址: 841000 新疆库尔勒市石化大道26号塔里木油田研究院; E-mail: dengxl-tlm@petrochina.com.cn

**通信作者**: 常少英,高级工程师,主要从事油藏地质-地球物理综合研究工作。通信地址: 310023 浙江省杭州市西溪路920号中国石油杭州地质研究院; E-mail: changsy\_hz@petrochina.com.cn

断溶成储、原地垂向输导、晚期成藏为主、走滑断裂控富”的成藏模式<sup>[6]</sup>；提出了塔里木盆地北部“层控”与“断控”型油藏特征的差别，深化了断控油藏的认识<sup>[7-10]</sup>；提出了走滑断裂控制碳酸盐岩油气藏的特征与井位部署思路<sup>[11]</sup>；深化了碳酸盐岩断溶体内部结构的认识及其识别技术<sup>[12]</sup>。当前，富满油田综合递减率达30%以上，仅仅依靠不断投入新区块、寻找新储量、不断打新井来稳产的常规做法难以为继。前人的研究更多地强调超深层的断控作用，没有将断控岩溶及断控破裂两种控储成藏特征区分出来，导致了后期开发方案缺少针对性措施，影响了超深层断控碳酸盐岩油藏采收率的提高。

本文以富满油田12号(F<sub>12</sub>)、17号(F<sub>17</sub>)断裂为解剖实例，通过露头、钻井、地震、岩心薄片、生产动态和试井等资料的综合研究，深化超深层断控碳酸盐岩断裂破碎体油藏特征的认识，配套注气重力混相驱提高采收率技术系列，以期对已开发区块采收率的提高及新区块开发方案的编制起到指导作用，

为富满油田的断裂破碎体油藏下一步的大规模注气重力混相驱、完善立体井网构建，进而为提高采收率提供理论依据和技术支撑。

1 地质概况

塔里木盆地发育数十条大型走滑断裂带(图1a)，对奥陶系具有明显的控储控藏作用，形成了十亿吨级的大油气田。富满油田主体处在阿瓦提凹陷与满加尔凹陷中间的“低梁部位”(即阿满过渡带)，西临阿瓦提凹陷，东接满加尔凹陷，北依塔北隆起，向南过渡到中央隆起，是一个近南北走向的“马鞍形”构造带(图1红框内)；地处新疆维吾尔自治区沙雅县境内，地表以沙丘、戈壁为主。富满油田为典型的断裂破碎体油气藏(油藏为主)，其埋深为6 500~9 000 m，平均约为7 500 m，属于超深层油气藏，有利勘探面积达1.13×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>，已证实该油田断控缝洞型储层具有较大的资源潜力，是目前塔里木油田优质储量发现的主要区域之一。

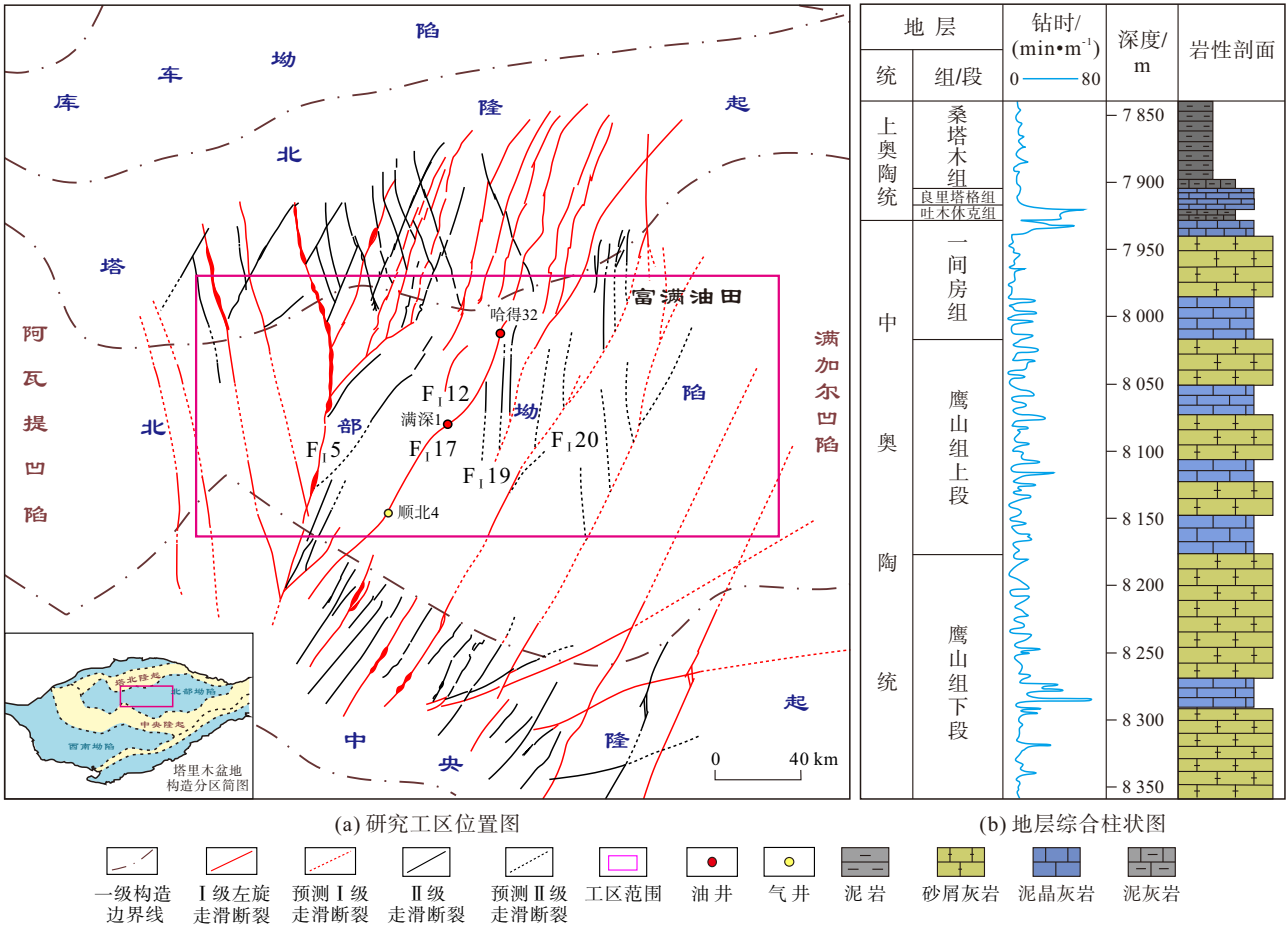


图1 研究工区位置图及地层柱状图(厚度参考满深1井和果勒1井)

Fig. 1 Location map and comprehensive stratigraphic column of the study area (formation thickness refers to the data from Well Manshen 1 and Well Guole 1)

研究区钻遇地层从上到下包括第四系、新近系、古近系、白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系、泥盆系、志留系和奥陶系。奥陶系自上而下为桑塔木组、良里塔格组、吐木休克组、一间房组和鹰山组,主要目的层为中奥陶统一间房组—鹰山组上段(图1b)。一间房组的岩性以浅灰色亮晶砂屑灰岩、亮晶藻屑砂屑灰岩为主;鹰山组钻揭33~415 m(未钻穿),岩性为灰色生物碎屑、砂屑灰岩夹泥晶灰岩,与上覆一间房组无明显分界面。研究区纵向上发育了多套储盖组合,其中桑塔木组巨厚泥岩为奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层提供了优质的区域盖层。下寒武统玉尔吐斯组是研究区奥陶系碳酸盐岩油气藏的主要供烃源岩层。富满油田奥陶系序列完整,沉积相带类型单一,岩性整体致密,呈现了高排替压力特征,形成有效的侧向封挡。地层饱和压力为35.08~44.25 MPa,地层饱和压差大(45.85~55.04 MPa),单次脱气气油比为430~567 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,地层条件下的原油密度为0.439 3~0.551 9 g/cm<sup>3</sup>,属未饱和和挥发性油藏。

塔里木盆地台盆区的走滑断裂系统的构造演化经历了4个阶段<sup>[13-14]</sup>:①加里东早期(寒武纪—中奥陶世)。塔中—阿满—塔北地区为一相对稳定的大型海相碳酸盐台地,发育多套碳酸盐岩地层旋回。奥陶纪早期塔里木盆地处于东西向弱伸展的构造环境。②加里东中期(晚奥陶世)。加里东中期Ⅰ—Ⅲ幕的构造活动强烈,受斜向挤压作用发生压扭性断裂活动,表现为塔北古隆起持续隆升,古隆起南缘的斜坡特征进一步加强。整个阿满过渡带的中、下奥陶统迅速沉降,碳酸盐岩地层进一步发育形成。这一时期挤压—调节构造活动形成了若干走滑断裂带,但此时的北北东向断裂带不活跃且规模及位移量较小。③加里东晚期—海西早期(志留纪—泥盆纪)。受造山运动的影响,表现为深层挤压—剪切活动、浅层走滑拉张活动。走滑断裂局部区域的一间房组—鹰山组被上覆雁列式正断层断穿,致使早期正花状断裂发生了构造反转,以及系列张性断裂活动。④晚古生代以来为改造定型期。南天山洋板块呈现出“剪刀式”的闭合趋势,阿满过渡带的奥陶系构造相对稳定。只有在二叠纪,由于大规模的火山喷发,触发了部分早期走滑断裂的复活。需要说明的是,这4期构造运动的强度是不同的,在富满油田主要以加里东中期、加里东晚

期—海西早期这两期构造运动为主,这两期构造运动对富满油田断控储集体的形成及油气充注具有重要的控制作用。

## 2 油藏地质特征

### 2.1 储集岩特征

富满油田的大量实钻资料表明:研究区奥陶系沉积期间经历了鹰山期开阔台地→一间房期潮下带→吐木休克期淹没台地—斜坡→良里塔格期斜坡→桑塔木期混积陆棚的演化,反映了海水变深的一个海侵过程。富满油田F<sub>1</sub>17号断裂带奥陶系鹰山组上段—一间房组主体为潮下带沉积,岩性以细粒的暗色泥晶灰岩主(图2a),一间房组顶部伴有粉砂级的颗粒,颗粒较为均匀细腻,以微晶方解石或泥晶方解石为主,可见有生物碎屑(如有孔虫壳体)及鲕粒、内碎屑等颗粒,反映了较为平静低能的水动力条件。中奥陶统顶面岩溶作用不发育,不具备发育类似断溶体等表生岩溶缝洞型储层的地质条件。富满油田的鹰山组—一间房组储层的基质物性极差(图2b,2c)。在超深层碳酸盐台地石灰岩发育区,由于超深层压实作用,钻井岩心测试孔隙度大多小于2%,即使是颗粒滩相的孔隙度也小于3%,渗透率一般小于1×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,为特低孔低渗差储层,上述特征决定了原始地层水发育的程度。整体而言,富满油田F<sub>1</sub>17号断溶体油藏的目的层沉积相为致密泥晶灰岩,原生孔隙不发育,原始地层水赋存空间有限,叠加超深地层压力作用,原始地层水较少。

### 2.2 储集空间类型与特征

依据野外露头勘测、18口井的岩心观察、成像测井及试井资料分析,塔里木盆地富满油田南部,特别是F<sub>1</sub>12、F<sub>1</sub>17、F<sub>1</sub>19、F<sub>1</sub>20等断裂带的储集体主要发育角砾间孔隙、断裂空腔及构造裂缝(隙)等3类储集空间(图2,表1),这有别于富满油田北部哈拉哈塘油田的储集空间类型。

**角砾间孔隙** 在构造应力作用下,断层的两盘发生相对位移时,两盘间的脆性岩石反复被揉合,破碎成角砾状,不规则角砾间相互支撑形成角砾间孔隙(图2a,2d,表1)。角砾间孔隙提供了良好的储集空间,具有较大孔隙和连通性较好的通道,使得油气易于流动;同时由于角砾大小不一,分布不均匀,因此储



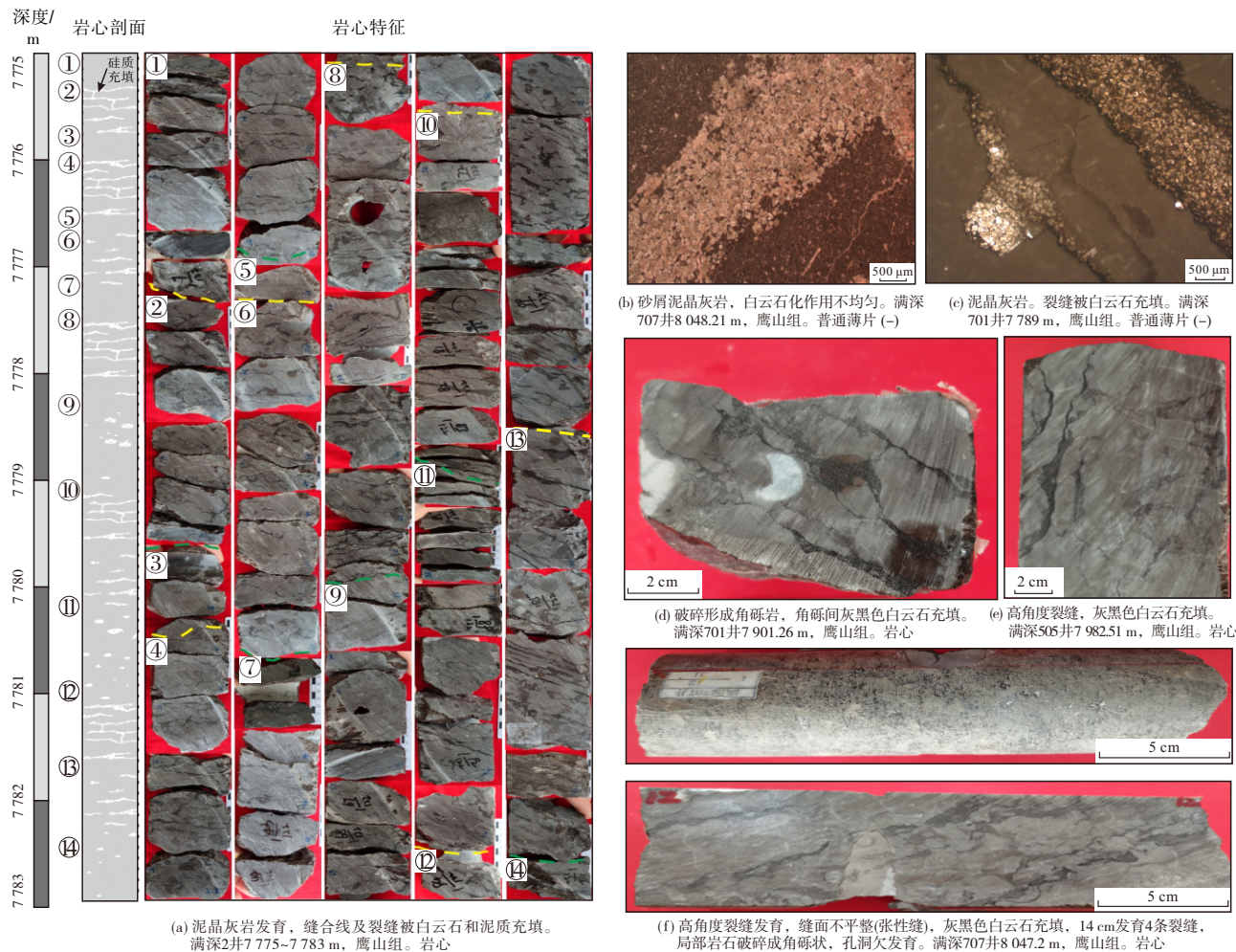


图2 塔里木盆地富满油田奥陶系鹰山组—一间房组岩相特征

Fig. 2 Lithofacies characteristics of the Ordovician Yingshan Formation-Yijianfang Formation in Fuman Oilfield, Tarim Basin

表1 塔里木盆地富满油田断裂破碎体储集空间特征

Table 1 Characteristics of reservoir spaces in fractured breccia reservoir of the Fuman Oilfield, Tarim Basin

储集空间类型	成因特征	露头特征	钻井、成像特征	地质模型
角砾间孔隙	在构造应力活动（断层或褶皱）作用变形过程中，断层的两个断盘移动时，上、下两盘之间的岩石不断的被揉合，原岩破碎成角砾状，这些角砾之间形成角砾间孔隙型储层			
断裂空腔	多期走滑构造破裂作用（往往与张性及剪切断层相关），断裂带内物质体积调整形成的“空腔”型洞穴储层			
构造裂缝（隙）	在挤压应力、拉伸应力、剪切应力作用下，岩石发生破裂并形成断层，断层面两侧的岩石产生位移，形成裂缝，常常伴随着较大的裂缝网络			

层的非均质性较强。哈得27井、满深7井、跃满22井和哈得32井等12口井发育角砾间孔隙型储集体。以哈得32井为例,角砾间孔洞发育,泥浆漏失严重,成像测井上显示团块状、斑点状深色图像,测井曲线显示存在扩径现象,自然伽马值大于5 API,深浅侧向电阻率具有一定的正差异;缝网发育,多见角砾化,裂缝密度为0.5条/m。

**断裂空腔** 经过走滑断裂构造破裂作用,走滑断裂带呈现“丝带效应”,断裂带内物质体积发生调整,从而形成了空腔型洞穴(表1)<sup>[15]</sup>。如满深4井多层段放空、岩体崩落,呈现断裂空腔型储集体特征;成像测井上可见多个10 m级的暗褐色块状图像;地震剖面上显示典型的强异常反射。另外,在野外露头发现多组断裂的交会处,断裂交会处是空腔型洞穴发育的有利部位。

**构造裂缝(隙)** 在挤压应力、拉伸应力及剪切应力作用下,岩石发生破裂并形成断层,断层面两侧的岩石产生位移,形成裂缝,而且常常伴随着较大规模的裂缝网络(图2e, 2f, 表1)。储层的分布和储集性质具有较强的非均质性,裂缝的宽度、长度、密度和连通性会影响储层的孔隙度及渗透率。哈得301井发育构造裂缝孔隙型储集体,泥浆漏失严重,高角度构造缝、缝网较发育;井径曲线显示不扩径或轻微扩径,成像测井可见明显带状或圆孔状深色图像,斯通利波测井显示较强的衰减,产生“V”字形波形,反映地层渗流能力较好,指示裂缝发育。试井压力恢复曲线存在狭长的裂缝流动段,测试末期曲线出现喇叭口形态;测井上表现为多簇尖峰特征,指示储层有效厚度小,较分散<sup>[16-17]</sup>。

## 2.3 储层结构特征

富满油田走滑断裂带为克拉通盆地内的走滑断裂带,滑移距小,多在千米尺度,其发育位置远离板块边界,由先存断裂/破裂在板内应力集中下再活动而形成。

走滑断裂带在空间结构样式上具有“纵向分层变形、垂向多期叠加”的特征<sup>[14]</sup>,纵向分为上覆雁列正断层(雁列层)与下伏陡直走滑段(主滑移层)。上覆雁列正断层主要发育在上奥陶统一—中下泥盆统构造层、石炭系—二叠系构造层、中—新生界构造层,分别对应走滑断裂带下伏主滑移层在加里东晚期—海西早期、海西中晚期及喜马拉雅期的继承

性滑移活动;下伏陡直走滑段主要发育在基底面至中下奥陶统顶面范围内。富满油田F<sub>1</sub>12、F<sub>1</sub>17、F<sub>1</sub>19和F<sub>1</sub>20断裂带多期断裂控储,形成角砾间孔隙、断裂空腔及构造裂缝(隙)等多种类型储集空间。储集空间组合则形成了油藏内部的断层核及破碎带,即核带结构<sup>[18]</sup>。

研究区近期投产的30多口井中,断裂带内发育一个或多个非连续的角砾间孔隙带,呈栅状分布特征。断层核部主要发育断裂空腔及角砾间孔,断裂破碎带主要发育构造裂缝(隙)。根据测井资料,可有效判别断裂破碎体中的裂缝带、角砾带和断裂空腔,特别是横穿断裂带的钻井在对这些破碎结构的识别上更有优势。断裂破碎体内部结构在测井上具体表现为:断层核部,常规测井声波时差AC值增大,电阻率 $R_d$ 、 $R_s$ 值大幅度降低,测井解释为I类储层且测井解释孔隙度介于6%~17%;钻井上表现为放空、泥浆漏失失返、漏速大(>10 m<sup>3</sup>/h)、低钻压、快钻时等特征;成像测井图像表现为暗色团块。断裂破碎带,以发育裂缝型储层为主,常规测井AC曲线小幅度锯齿状变化, $R_d$ 、 $R_s$ 曲线小幅度降低,测井解释为II—III类储层且测井解释孔隙度介于0.6%~2.4%;成像测井表现为0.2 m左右的间距不等的多组裂缝或暗色条带。如满深4井在7 620 m处气测开始上升并呈齿状低阻,进入破碎带后钻井液漏失3段,井口失返;进入断层核部7 620~7 695 m、7 760~7 860 m、7 925~8 065 m深度段,放空3段,气测随之陡然升高,成像测井呈现暗黑色团块(图3)。

断裂破碎体储层和断溶体储层是2种不同的油气储层类型,它们在成因、特征和分布上有一些显著的区别<sup>[19-20]</sup>。储层成因上,断裂破碎体储层主要由构造应力引起,可能伴有少量的物理风化作用;断溶体储层是在构造应力形成断裂的基础上,进一步通过溶解作用形成溶洞和孔隙。储集特征上,断裂破碎体储层表现为核带结构,裂缝提供储集空间和渗透通道,其孔隙度和渗透率受裂缝密度和连通性的影响,变化较大,孔隙度通常小于20%;断溶体储层不仅有裂缝,还有大量的溶洞和孔隙,其孔隙度和渗透率通常较高且更稳定。储层分布上,断裂破碎体储层为竖立板状缝洞,平面上呈条带状分布;断溶体储层呈“V”形或倒“V”形,平面上的单一岩溶为环状,岩溶组合沿断裂直线状分布。



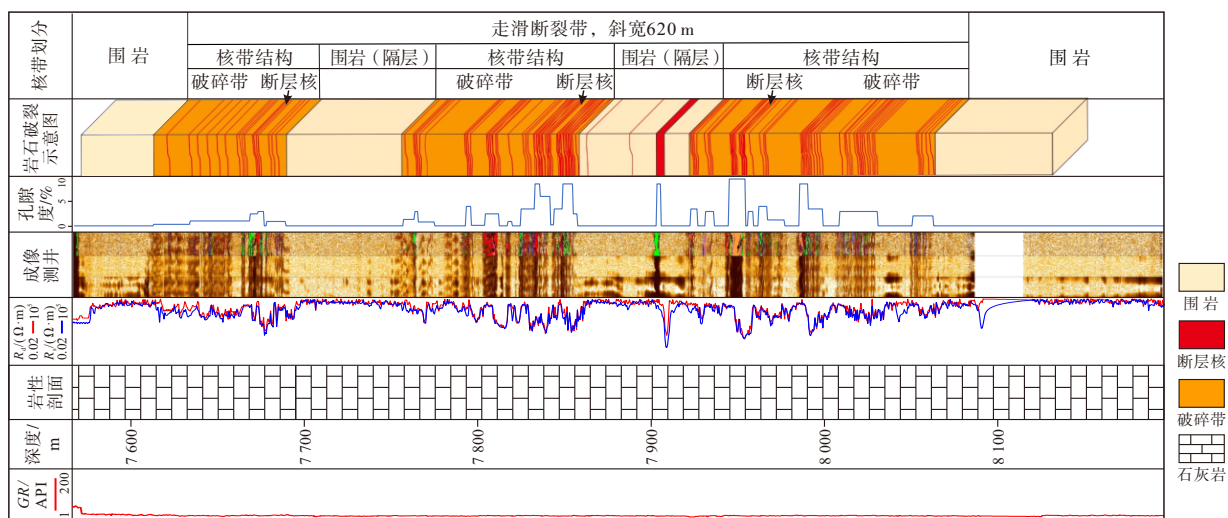


图3 塔里木盆地富满油田满深4井断裂带核带结构识别划分

Fig. 3 Identification and classification of the core-zone structure in Well Manshen-4 fault zone of Fuman Oilfield, Tarim Basin

### 3 油气成藏过程

富满油田奥陶系一间房组—鹰山组油气成藏过程复杂,油气充注期与构造活动期具有较好的耦合性<sup>[21]</sup>。基于碳酸盐胶结物原生烃类包裹体和碳酸盐脉体的微区 U-Pb 同位素定年结果,确定了富满油田的储层发育3期缝洞型脉体充填,主要存在3期原油充注和1期天然气充注。第1期原油充注发生在加里东中期(473.3~447.4 Ma),第2期原油充注发生在海西中—晚期(348.2~273.9 Ma),第3期原油充注发生在印支期—燕山早期(217.6~205.2 Ma);天然气大规模充注发生在燕山晚期—喜马拉雅期(90~20 Ma)。

受控于不同区域寒武系玉尔吐斯组烃源岩的热演化程度,富满油田南部与北部不同区域充注的

原油的成熟度和类型不同。寒武系烃源岩的热演化过程和台盆区构造活动时间与油气充注过程具有较好时空匹配关系。富满油田超深层奥陶系油藏主要受加里东中期、加里东晚期—海西早期这两期构造运动的影响较大(图4)。

富满油田的鹰山组——一间房组为潮下带沉积,原生沉积地层物性极差(图4b);在奥陶系沉积末期以来发生加里东中期和加里东晚期—海西早期构造运动,破裂成储,该时期也是烃源岩成熟期,通源断裂发育,油气垂直充注成藏(图4a)。良好的“构造-沉积-油气充注”时空演化耦合关系造就了该类油藏具有显著的成藏优势——具有不含水或少量含水、油柱高的特征。而塔北隆起区为早期成岩成储(岩溶),储层内含水,后期油充注排驱部分水,油藏含水。

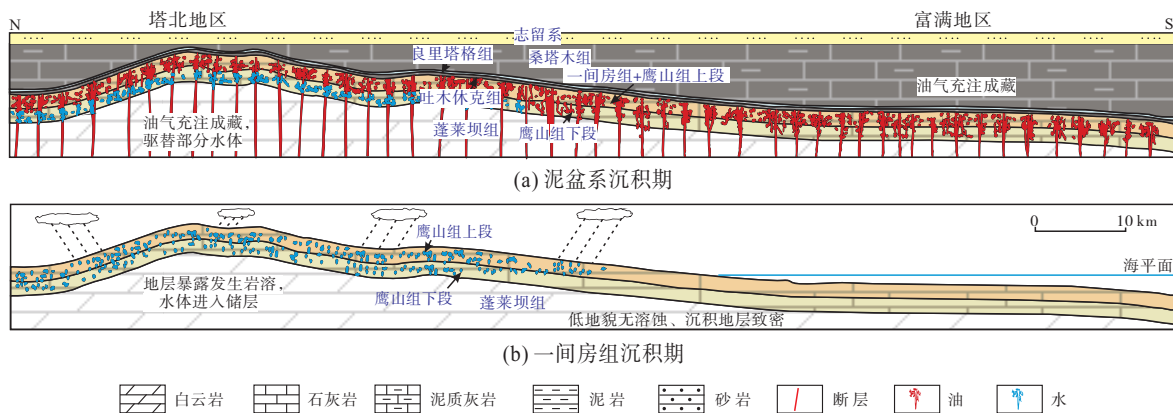


图4 塔里木盆地塔北—富满地区成藏演化模式图

Fig. 4 Oil accumulation-evolution model in Tabei-Fuman areas, Tarim Basin

4 新类型油气藏的地质内涵

富满油田南部的中奥陶统走滑断裂带储集体主要受走滑断裂机械破碎作用控制,有别于北部的在断裂的基础上叠加大气淡水溶蚀作用形成的断溶体储集体<sup>[22-23]</sup>。储层成因不同造成油藏特征差异较大。为了在成因上区分富满油田北部的断溶体油藏,提出“断裂破碎体油藏”的概念。

“断裂破碎体油藏”概念具有3个方面的内涵:

(1)断裂破碎体发育的背景主要为超深致密石灰岩地层,储集空间的主控因素是构造应力的机械破碎作用。断裂破碎体油藏的储集空间主要靠后期断裂破碎作用形成的角砾间孔隙、断裂空腔及构造缝。富满油田的奥陶系鹰山组上段——一间房组不具备发育类似断溶体等表生岩溶缝洞型储层的地质条件,且原岩基质物性极差。根据144块样品全直径岩心分析,实测孔隙度主要分布在1.02%~3.20%之间,平均孔隙度为1.45%,其中孔隙度低于2%的样品占总样品的56.76%;渗透率主要分布在(0.01~5.52)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>之间,其中71.83%的样品实测渗透率小于1×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>。原岩基质不具备有效储集空间。

(2)断裂破碎体内部具有强非均质性。其孔隙结构相当复杂,断裂、裂隙、角砾间孔、空腔和微裂隙的普遍存在,导致储层连续性差,且在空间分布上表现出高度的非均质性,这种不规则的储集空间显著影响着流体的流动和储存,可能存在局部富集区或死油区,这对开发策略制定提出了挑战。断裂

破碎体的变形特征(包括裂缝的发育程度、方向和规模)及连通性直接关系到储层的产能和开发效果,断裂作用使断裂带内部结构(断层岩系)变得复杂多变,局部区域可能出现高强度的压实或弱化,影响着储层的稳定性和开采过程中的地层响应。断裂破碎体油藏内部呈核带结构特征:走滑断裂不同段具有不同类型的核带结构模式;断裂破碎体往往发育多个核带结构、呈栅栏状分布,单个核带结构宽度介于40.4~114.8 m,不同断裂或同一断裂发育不同成熟阶段的核带结构模式;核带结构存在明显的不对称性,主动盘破碎程度较大,储集体较发育。

(3)断裂破碎体油藏的通源性、油气运移的输导性比较有利。断裂带既是储层又是油气输导通道。断裂破碎体油藏油气来自于原地下寒武统玉尔吐斯组烃源岩,沿主干通源断裂垂向运移,经历多期生排烃,以晚期成藏为主。走滑断裂破碎带即是储层又是油藏,油气藏整体沿走滑断裂带分布,具有平面规模大、宽度小、纵向油气柱高度大、低含水等特点,无统一油水界面,油藏高度可达1 000 m,是超深层致密灰岩储层油气聚集的极为有利部位。主干断裂控制的油藏平面宽度范围集中在0.4~2 km之间,延伸方向与断裂带一致。该断裂破碎体油藏上覆奥陶统巨厚泥质岩盖层,侧向由致密石灰岩形成有效封堵条件。

“断裂破碎体油藏”概念的提出,使对富满油田南部储集体的成因认识由“断控岩溶型储层”转变为“断裂破碎体储层”,成藏特征也有所不同(表2)。

表2 断裂破碎体与断溶体油藏特征对比(据文献[2])  
Table 2 Differences in characteristics between fractured breccia and fault-related dissolution bodies(cited from reference [2])

油藏特征	断裂破碎体	断溶体
溶蚀流体	流体作用微弱,可忽略	主要为大气淡水
发育层位	沿断裂纵向延伸至寒武系	鹰山组上部、一间房组,也发育于良里塔格组三段
平面分布	北部坳陷—富满油田主体	哈拉哈塘主体区和扩展区大面积分布
发育时期	以加里东末期为主,多期叠合	加里东期
距不整合面距离	超过800 m	200 m以内
洞穴野外形态	竖立板状缝洞	“V”或倒“V”形
平面形态	几十、几百公里呈条带状分布,见“丝带效应”	单一岩溶为环状,岩溶组合沿断裂直线状分布
油藏规模	横向连续性好,规模大	单一油藏规模小;组合油藏沿断裂分布,规模大
储集空间	角砾间孔隙、断裂空腔和构造缝	溶蚀洞穴、溶蚀孔缝
地震响应	中—强振幅,同相轴错断,内部见有串珠状反射	极强振幅,表现为串珠状反射
充填物	垮塌角砾岩	砂泥沉积物、埋藏方解石、热液矿物胶结
钻井及取心	放空、漏失率较高;取心收获率较高	放空、漏失频繁;取心收获率低
油气生产	多高产、稳产井	特征复杂,产量变化大、递减快

## 5 勘探开发意义

富满油田沿走滑断裂带的油气藏,尤其是南部断裂带上的油气藏,是近年来塔里木盆地海相碳酸盐岩勘探获得的重大油气发现,揭示了一种有别于哈拉哈塘油田岩溶缝洞型、轮古潜山型油气藏的新油气藏类型——超深断裂破碎体油气藏,在地质认识、油藏精细描述和开发方式上,形成“3个方面的认识转变”。

转变一:断控岩溶储层转变为断裂破碎体储层。台盆区北部为古地貌高,溶蚀强烈,岩溶叠加断裂改造,呈现大洞大缝的断溶体特征;南部为古地貌低,溶蚀弱,机械破碎构造缝发育,呈现缝多洞少的破碎体特征<sup>[24-25]</sup>。塔北隆起区,在早期成岩成储(岩溶),储层内含水,后期充注排驱部分水,油藏含水;而富满油田位于凹陷区,奥陶系先成岩,后破碎成储,再充注成藏,油藏几乎无水。断控破碎体储层缝多洞少的特征,是注水纵向置换效果差,注入水易沿平面高渗通道(断面)舌进导致快速水窜的根本原因。

转变二:断溶体油藏描述转变为断裂破碎体油藏描述。创新形成断裂破碎体油藏“五分”描述方法:分段、分力学特征、分油藏单元、分核带结构、分主被动盘。基于断裂几何、应力分段,结合动态连通和量化雕刻,通过实钻标定储层特征,精细厘定油藏单元平面边界,完成单元平面描述。综合断裂活动、沉积层序、应力分布及分层雕刻等因素,结合进山深度、井底流温、流体检测和受效特征,考虑3套储盖组合,明确了鹰山组——一间房组在纵向上连通性好<sup>[26-27]</sup>。如ManS3-H6JS井为F<sub>1</sub>17断裂带满深3单元内构建注气重力驱立体井网的一口加深采油井,该井进山垂深856 m,较原井眼深743 m,钻至8 408 m发生放空漏失,累计放空2.44 m、漏失钻井液697 m<sup>3</sup>,环空液面1 493 m,地层压力系数为0.9,证实深浅层是连通的。核带结构的非对称性是断裂的一种基本属性,非对称性与断裂的主、被动盘密切相关;主动盘、被动盘的划分有助于预测断控储集体内优势储集空间的分布,从而有助于在立体井网构建中指导钻井轨迹的设计。依据主、被动盘储层差异,浅井轨迹设计建议从主动盘打到被动盘,主要目的是预防储

集体规模小、连通范围有限;深井从被动盘打到主动盘,防止提前放空漏失无法打到深层。

转变三:注水开发转变为注气开发。从力学机理上看,在高角度裂缝发育的断控碳酸盐岩油藏中,在水或气注入地下相同体积的前提下,注气启动裂缝尺度更小,波及范围较注水更大。最小混相压力测试结果显示:在目前地层压力下,F<sub>1</sub>17断裂带挥发性油藏注入氮气能够实现混相,F<sub>1</sub>12断裂带黑油油藏注入氮气后也出现混相。已编制富源210单元混合气驱、满深4单元氮气驱、哈得32-H1单元减氧空气驱方案,目前均已进入实施阶段,预期最终采收率可以由12%~15%提升至30%,有效指导了富满断控碳酸盐岩油藏的下一步开发对策<sup>[28]</sup>。

## 6 结 论

(1)断裂破碎体油藏具有不含水或含水率较低的特点,其地质原因如下:①原始沉积地层较为致密,原生孔隙度低,原始地层水含量低;②油藏所在的圈闭(如背斜、岩性地层、断层封闭等)具有良好的封闭性,阻止了后期地层水的侵入;③寒武系烃源岩本身含水量低,烃类物质排出效率高,可以减少油气中的水分含量;④油气从源岩向储层运移的过程中,经过的岩层渗透性好且不含水或含水层较少;⑤油气充注充分,对储层中的水进行了有效的驱替。

(2)在深化地质认识、油藏精细描述和开发方式转变上,从“新认识、新方法、新理念”三个维度提出并形成“三大转变”:断控岩溶型储层转变为破碎体储层(储层内部结构新认识)、断溶体油藏描述转变为断裂破碎体油藏描述(核带结构定量描述新方法)、衰竭后注水开发转变为衰竭后先注气(新类型油气藏提高采收率新理念),指导富满油田断控碳酸盐岩油藏的下一步开发对策。

(3)断裂破碎体新类型油藏的启示:提高采收率要实时跟踪,控制节奏,做到边实施、边跟踪、边认识、边优化;对地质目标、轨迹设计、储层改造上要加大评价力度,迭代提升弱反射区更优化的储量动用方式;加大探明储量区断裂核部之外的储产评价,拓展、落实稳产接替储量。



## 参考文献

- [1] 杨海军, 张银涛, 关宝珠, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘奥陶系缝洞型碳酸盐岩油田的勘探发现与评价探明[J]. 海相油气地质, 2023, 28(2): 113-122.  
YANG Haijun, ZHANG Yintao, GUAN Baozhu, et al. Exploration and development of the Ordovician carbonate oil field in Halahatang, Tarim Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2023, 28(2): 113-122.
- [2] 邓兴梁, 常少英, 刘志良, 等. 超深层“断裂破碎体”概念和地质模式及其地震表征方法[J]. 石油地球物理勘探, 2024, 59(5): 1099-1110.  
DENG Xingliang, CHANG Shaoying, LIU Zhiliang, et al. Concept, geological model and seismic characterization of ultra-deep fault-fracture bodies [J]. Oil geophysical prospecting, 2024, 59(5): 1099-1110.
- [3] 王清华, 杨海军, 汪如军, 等. 塔里木盆地超深层走滑断裂断控大油气田的勘探发现与技术创新[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(4): 58-71.  
WANG Qinghua, YANG Haijun, WANG Rujun, et al. Discovery and exploration technology of fault-controlled large oil and gas fields of ultra-deep formation in strike slip fault zone in Tarim Basin [J]. China petroleum exploration, 2021, 26(4): 58-71.
- [4] 贾承造, 魏国齐, 姚惠君, 等. 塔里木盆地构造演化与区域构造地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.  
JIA Chengzao, WEI Guoqi, YAO Huijun, et al. Structural evolution and tectonic geology characteristics of Tarim Basin, China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [5] 宋兴国, 陈石, 杨明慧, 等. 塔里木盆地富满油田F I 16断裂发育特征及其对油气分布的影响[J]. 岩性油气藏, 2023, 35(3): 99-109.  
SONG Xingguo, CHEN Shi, YANG Minghui, et al. Development characteristics of F I 16 fault in Fuman Oilfield of Tarim Basin and its influence on oil and gas distribution[J]. Lithologic reservoirs, 2023, 35(3): 99-109.
- [6] 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. Characteristics and inspiration of ultra-deep fault-karst reservoir in the Shunbei area of the Tarim Basin[J]. China petroleum exploration, 2020, 25(1): 102-111.
- [7] 鲁新便, 杨敏, 汪彦, 等. 塔里木盆地北部“层控”与“断控”型油藏特征: 以塔河油田奥陶系油藏为例[J]. 石油实验地质, 2018, 40(4): 461-469.  
LU Xinbian, YANG Min, WANG Yan, et al. Geological characteristics of "strata-bound" and "fault-controlled" reservoirs in the northern Tarim Basin: taking the Ordovician reservoirs in the Tahe oil field as an example[J]. Petroleum geology and experiment, 2018, 40(4): 461-469.
- [8] 蔡忠贤, 张恒, 漆立新, 等. 塔里木盆地中—下奥陶统岩溶水文地貌结构类型及特征[J]. 石油学报, 2020, 41(1): 43-58.  
CAI Zhongxian, ZHANG Heng, QI Lixin, et al. Types and characteristics of karst hydrogeomorphologic architecture in the Middle-Lower Ordovician, Tarim Basin[J]. Acta petrolei sinica, 2020, 41(1): 43-58.
- [9] 丁志文, 汪如军, 陈方方, 等. 断溶体油气藏成因、成藏及油气富集规律: 以塔里木盆地哈拉哈塘油田塔河南岸地区奥陶系为例[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(2): 286-296.  
DING Zhiwen, WANG Rujun, CHEN Fangfang, et al. Origin, hydrocarbon accumulation and oil-gas enrichment of fault-karst carbonate reservoirs: a case study of Ordovician carbonate reservoirs in south Tahe area of Halahatang Oilfield, Tarim Basin [J]. Petroleum exploration and development, 2020, 47(2): 286-296.
- [10] 吕艳萍, 吕晶, 徐想东, 等. 塔里木盆地塔河油田中下奥陶统鹰山组内幕储层成因机理[J]. 石油实验地质, 2021, 43(6): 1031-1037.  
LÜ Yanping, LÜ Jing, XU Xiangdong, et al. Genetic mechanism of inner reservoirs of Yingshan Formation of Middle-Lower Ordovician in Tahe oil field, Tarim Basin [J]. Petroleum geology and experiment, 2021, 43(6): 1031-1037.
- [11] 邓兴梁, 闫婷, 张银涛, 等. 走滑断裂断控碳酸盐岩油气藏的特征与井位部署思路: 以塔里木盆地为例[J]. 天然气工业, 2021, 41(3): 21-29.  
DENG Xingliang, YAN Ting, ZHANG Yintao, et al. Characteristics and well location deployment ideas of strike-slip fault controlled carbonate oil and gas reservoirs: a case study of the Tarim Basin [J]. Natural gas industry, 2021, 41(3): 21-29.
- [12] 常少英, 曾溅辉, 徐旭辉, 等. 碳酸盐岩断溶体内部结构识别技术及应用[J]. 石油地球物理勘探, 2022, 57(2): 414-422.  
CHANG Shaoying, ZENG Jianhui, XU Xuhui, et al. Identification technology for internal structures of carbonate fault-karst and its application [J]. Oil geophysical prospecting, 2022, 57(2): 414-422.
- [13] 云露, 邓尚. 塔里木盆地深层走滑断裂差异变形与控储控藏特征: 以顺北油气田为例[J]. 石油学报, 2022, 43(6): 770-787.  
YUN Lu, DENG Shang. Structural styles of deep strike-slip faults in Tarim Basin and the characteristics of their control on reservoir formation and hydrocarbon accumulation: a case study of Shunbei oil and gas field [J]. Acta petrolei sinica, 2022, 43(6): 770-787.
- [14] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气形成与富集规律[J].

- 中国科学(地球科学), 2011, 41(7): 910-926.
- JIN Zhijun. Formation and accumulation of oil and gas in marine carbonate strata in Chinese sedimentary basins [J]. *Scientia sinica(terrae)*, 2011, 41(7): 910-926.
- [15] 韩剑发, 王彭, 朱光有, 等. 塔里木盆地超深层千吨井油气地质与高效区分布规律[J]. *天然气地球科学*, 2023, 34(5): 735-748.
- HAN Jianfa, WANG Peng, ZHU Guangyou, et al. Petroleum geology and distribution law of high efficiency areas in ultra-deep kiloton wells in Tarim Basin [J]. *Natural gas geoscience*, 2023, 34(5): 735-748.
- [16] 张庆莲, 侯贵廷, 潘文庆, 等. 新疆巴楚地区走滑断裂对碳酸盐岩构造裂缝发育的控制[J]. *地质通报*, 2010, 29(8): 1160-1167.
- ZHANG Qinglian, HOU Guiting, PAN Wenqing, et al. Development of fractures in carbonate rocks under the influence of strike-slip faults in Bachu area, Xinjiang, China [J]. *Geological bulletin of China*, 2010, 29(8): 1160-1167.
- [17] 曾联波, 吕鹏, 屈雪峰, 等. 致密低渗透储层多尺度裂缝及其形成地质条件[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(3): 449-454.
- ZENG Lianbo, LÜ Peng, QU Xuefeng, et al. Multi-scale fractures in tight sandstone reservoirs with low permeability and geological conditions of their development [J]. *Oil & gas geology*, 2020, 41(3): 449-454.
- [18] 屈泰来, 邹光辉, 刘加良, 等. 碳酸盐岩断裂相分类特征: 以新疆塔里木盆地柯坪露头为例[J]. *地球学报*, 2011, 32(5): 541-548.
- QU Tailai, WU Guanghui, LIU Jialiang, et al. The classification and characteristics of carbonate fault facies: a case study of the outcrop of Kalpin area, Tarim Basin in Xinjiang [J]. *Acta geoscientia sinica*, 2011, 32(5): 541-548.
- [19] 常少英, 庄锡进, 邓兴梁, 等. 断溶体油藏高效井预测方法与应用效果: 以HLHT油田奥陶系潜山区为例[J]. *石油地球物理勘探*, 2017, 52(增刊1): 199-206.
- CHANG Shaoying, ZHUANG Xijin, DENG Xingliang, et al. Fault-karst carbonate reservoir prediction: a case study in Ordovician buried hills, HLHT Oilfield [J]. *Oil geophysical prospecting*, 2017, 52(S1): 199-206.
- [20] 张文彪, 段太忠, 赵华伟, 等. 断控岩溶体系空间结构差异性与三维建模: 以顺北1号断裂带为例[J]. *科学技术与工程*, 2021, 21(28): 12094-12108.
- ZHANG Wenbiao, DUAN Taizhong, ZHAO Huawei, et al. Hierarchical characteristics and 3D modeling of fault-controlled paleokarst systems: a case study of Shunbei-1 strike-slip fault zone [J]. *Science technology and engineering*, 2021, 21(28): 12094-12108.
- [21] 夏惠芬, 王慎铭, 张雁, 等. 大庆F区块挥发性油藏流体特征及影响因素分析[J]. *石油化工高等学校学报*, 2015, 28(1): 51-54, 84.
- XIA Huifen, WANG Shenming, ZHANG Yan, et al. Volatile oil reservoir fluid characteristics in F block, Daqing Oilfield and affecting factors analysis [J]. *Journal of Petrochemical Universities*, 2015, 28(1): 51-54, 84.
- [22] 常少英, 崔仕提, 曹鹏, 等. 碳酸盐岩断溶体构型地震表征关键技术及应用[J]. *海相油气地质*, 2022, 27(2): 192-200.
- CHANG Shaoying, CUI Shiti, CAO Peng, et al. Key techniques and applications of seismic characterization of carbonate fault-karst configuration [J]. *Marine origin petroleum geology*, 2022, 27(2): 192-200.
- [23] 李凤磊, 林承焰, 张国印, 等. 塔北地区多期走滑断裂地球物理响应特征及精细识别[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2024, 48(3): 1-14.
- LI Fenglei, LIN Chengyan, ZHANG Guoyin, et al. Characteristics of geophysical response and fine identification of multi-stage strike-slip fault in Tabei area [J]. *Journal of China University of Petroleum (edition of natural science)*, 2024, 48(3): 1-14.
- [24] 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 & gas reservoirs*, 2019, 26(5): 8-13.
- [25] 马永生, 蔡勋育, 李慧莉, 等. 深层—超深层碳酸盐岩储层发育机理新认识与特深层油气勘探方向[J]. *地学前缘*, 2023, 30(6): 1-13.
- MA Yongsheng, CAI Xunyu, LI Huili, et al. New insights into the formation mechanism of deep-ultra-deep carbonate reservoirs and the direction of oil and gas exploration in extra-deep strata [J]. *Earth science frontiers*, 2023, 30(6): 1-13.
- [26] 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. Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei area, Tarim Basin [J]. *Oil & gas geology*, 2018, 39(2): 207-216.
- [27] 祝渭平, 孙东, 姚清洲, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩油气富集规律[J]. *特种油气藏*, 2021, 28(2): 41-48.
- ZHU Weiping, SUN Dong, YAO Qingzhou, et al. The law of hydrocarbon accumulation in carbonate reservoirs in Halahatang area, Tarim Basin [J]. *Special oil & gas reservoirs*, 2021, 28(2): 41-48.
- [28] 贺刚, 张丽华, 郎兆新, 等. 挥发油油藏生产特征及影响采



收率的因素[J]. 断块油气田, 1996,3(2): 23–26, 67.

HE Gang, ZHANG Lihua, LANG Zhaoxin, et al. The volatile type oil reservoir's production characteristics and the factors

of affecting recovery [J]. Fault-block oil & gas field, 1996,3 (2): 23–26, 67.

编辑:黄革萍

## Geological characteristics and implications of ultra-deep fractured breccia reservoirs in Fuman Oilfield, Tarim Basin

DENG Xingliang<sup>1,2,3</sup>, CHANG Shaoying<sup>4</sup>, CHEN Fangfang<sup>1,2,3</sup>, CHEN Jiajun<sup>4</sup>,  
WANG Peng<sup>1,2,3</sup>, CAO Peng<sup>5</sup>, WANG Mengxiu<sup>4</sup>, YAO Qianying<sup>4</sup>,  
ZHAO Longfei<sup>1,2,3</sup>, YE Tingyu<sup>6</sup>

1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Tarim Oilfield Company;

2. Technology Research and Development Center for Ultra-Deep Oil and Gas Exploration and Development, PetroChina;

3. Engineering Research Center for Ultra-Deep Complex Oil and Gas Reservoirs Exploration and Development in Xinjiang Uygur Autonomous Region; 4. PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology; 5. CNPC R&D (DIFC) Company Limited; 6. Yangtze University

**Abstract:** The cratonic strike-slip fault zone is an important hydrocarbon accumulation zone in the ultra-deep carbonate rock field of Tarim Basin. At present, the natural energy of the oil reservoirs in the strike-slip fault zone is insufficient, and the decline rate of the oil reserves is fast. It is urgent to deepen the understanding of the geological characteristics of such oil reservoirs, explore new development methods, and investigate countermeasures for enhancing recovery rate. Based on the detailed study of the 12th and 17th fault zones in Fuman Oilfield through comprehensive analysis of outcrops, drilling, seismic surveys, core thin sections, production dynamics, well tests and other data, the types of reservoir space, internal structural characteristics and hydrocarbon accumulation features of the fractured breccia reservoirs are precisely characterized. Appropriate countermeasures for enhancing recovery rate are proposed. The research results indicate: (1) The fractured breccia reservoirs belong to vertical plate-shaped oil reservoirs. The reservoirs develop in the fault core and fracture zone, their reservoir space types are breccia interstitial pores, cavities and structural fractures formed by cataclasis. (2) The ultra-deep fractured breccia reservoirs are initially deposited as tight lithofacies, with very low pre-existing formation porosity and permeability, preserving a low amount of original formation water. There was no significant dissolution of atmospheric water in the later stage, which led to the fractured reservoir bodies having the characteristics of high oil column (up to one thousand meters) and being water-free or having little water content. (3) In terms of geological understanding, detailed description of reservoirs and development methods, three aspects of understanding transformation have been formed: from fault-controlled karst reservoir to fractured breccia reservoir, from description of fault-karst oil reservoir to the internal structure description of fractured breccia oil reservoir, from water injection development to gas injection development.

**Key words:** ultra-deep; fractured breccia reservoir; core-zone structure; reservoir characteristics; Fuman Oilfield; Tarim Basin

**DENG Xingliang**, First author: Professoriate Senior Engineer, mainly engaged in research on development geology and evaluation of carbonate rock oil and gas in Tarim Basin. Add: No. 26, Shihua Avenue, Korla, Xinjiang 841000, China. E-mail: dengxl-tlm@petrochina.com.cn

**CHANG Shaoying**, Corresponding author: PhD, Senior Engineer, mainly engaged in comprehensive research of reservoir geology and geophysics. Add: No. 920 Xixi Rd., Xihu District, Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: changsy\_hz@petrochina.com.cn