

塔河油田四区奥陶系储层裂缝特征及其意义

高玉飞¹, 钟建华^{2,3}

(1. 中海石油研究总院, 北京 100027; 2. 中国石油大学, 山东 东营 257061;

3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘 要: 塔河油田四区奥陶系以缝洞型油藏为主, 裂缝是该区主要的油气疏导体系和储集空间。通过对 20 余口井的岩心、薄片观察, 结合成像测井等各种分析化验资料, 研究了裂缝的倾角、走向、长度、充填等特征参数, 在此基础上, 将裂缝划分为 4 个期次; 采用岩心与露头相对比的方法研究了裂缝特征对岩溶的影响作用以及裂缝对储集性能的影响。

关键词: 塔河; 奥陶系储层; 裂缝特征

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2013)01-0186-09

The Characters of Fractures and Its Significance of the Reservoir in Ordovician in the Forth Block of Tahe Oil Field

GAO Yu-fei¹, ZHONG Jian-hua^{2,3}

(1. CNOOC Research institute, Beijing 100027; 2. China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

3. College of Geo-Resources and Information, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The fractured — vuggy petroleum reservoir is the dominant Ordovician reservoir in Block 4 of Tahe Oilfield. The fracture is the major petroleum migration system and accumulating space. Through an observation on the core and thin section of more than 20 wells, combined with image logging and other analysis and test data, this paper studied some characteristic parameters of reservoir fracture, such as dip angle trend, length, and backfilling feature. On this basis, the formation of fracture is divide into four periods. The approach of core and outcrop comparison is adopted to study the effect of fracture features to karst and the effect of fracture to reservoir properties.

Key words: Key words: Tahe; Ordovician reservoir, fracture feature

塔河油田是塔里木盆地最大的油田, 位于塔里木盆地北部轮台县城南偏西约 50 km 处 (图 1), 属沙雅隆起中段, 在阿克库勒凸起的西南端, 西临哈拉哈塘凹陷, 东靠草湖凹陷, 南接满加尔凹陷及顺托果勒隆起, 于加里东中—晚期形成凸起雏形, 华力西早期受区域性挤压抬升, 形成向西南倾伏的北东向展布的大型鼻凸, 在长期的抬升、暴露、风

化剥蚀过程中, 下奥陶统碳酸盐岩地层也遭受了不同程度的剥蚀。经过勘探开发, 塔河油田是一种缝洞型碳酸盐岩油气藏, 多期构造运动的叠加使得该区裂缝异常发育, 它们与溶洞一起构成了塔河油田复杂的缝洞型油藏 (张抗, 1999; 陈清华, 2002; 鲁新便, 2003)。到目前为止, 大多数的研究主要集中在对裂缝的预测方面, 对裂缝的石油地质意义

收稿日期: 2012-11-10; **修回日期:** 2013-01-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2006CB202401)

作者简介: 高玉飞 (1983-), 男, 2009 年于中国石油大学 (华东) 获硕士学位, 研究方向为构造地质学与沉积学。

E-mail: 215954707@qq.com

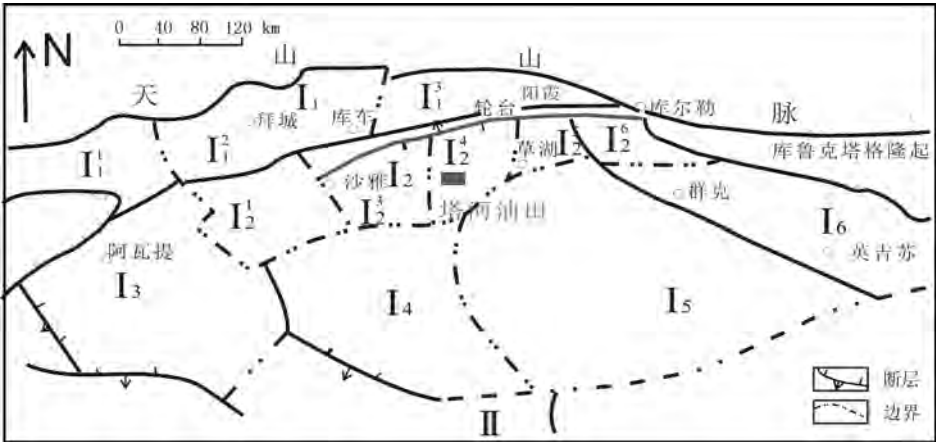


图 1 新疆塔里木盆地塔河油田奥陶系油藏构造位置图

Fig. 1 The map of Ordovician reservoir structure location in Tahe oilfield, Tarim Basin, Xinjiang

I₁. 库车凹陷; I₂. 乌什坳陷; I₃. 拜城凹陷; I₄. 阳霞凹陷; I₅. 沙雅隆起; I₆. 沙西凸起;
I₇. 雅克拉断凸; I₈. 哈拉哈塘凹陷; I₉. 阿克库勒凸起; I₁₀. 草湖凹陷; I₁₁. 库车鼻凸;
I₁₂. 阿瓦提断陷; I₁₃. 顺托果勒隆起; I₁₄. 满加尔凹陷; I₁₅. 孔雀河斜坡; II. 中央隆起区

的研究尤其是对于裂缝与岩溶关系的研究较少，对缝洞系统的综合研究不足，因而严重影响了塔河油田的勘探开发。本次研究从裂缝的基本特征入手，采用岩心与露头相对比的方法重点探讨裂缝特征对其石油地质意义的影响。需要说明的是，本次讨论的是构造成因的裂缝。

1 裂缝的发育特征

通过对 17 口井岩心的观察描述，以及对井下测井成像资料的直接观测，认为研究区奥陶系裂缝

及微裂缝密集发育，多组系交错切割。常用来描述裂缝发育状况的参数包括裂缝倾角、走向、长度、体积密度、充填特征和裂缝期次等。这些裂缝特征参数是定量描述裂缝特征和裂缝发育状况的指标。在岩心观察、成像测井识别裂缝的过程中，可对这些参数进行详细描述。

1.1 裂缝的倾角

通过对岩心观察，将裂缝倾角划分为 3 个区间，0°~30°为低角度裂缝；30°~70°为中角度裂缝；70°~90°为高角度裂缝。塔河油田裂缝主要以高角度裂缝为主（图 2）。

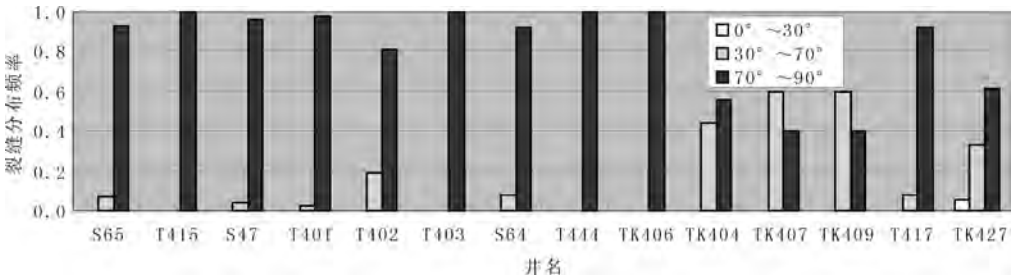


图 2 各井裂缝倾角变化频率柱状图

Fig. 2 The frequency histogram on changing of the crack angles in wells

1.2 裂缝的走向

裂缝的走向在确定裂缝的发育机制及发育期次方面具有非常重要的意义。目前，在没有定向取心井的情况下，成像测井成为确定裂缝走向的一个主

要手段。

成像测井资料显示，本区裂缝走向主要发育有 4 组：北东东向、北东向、北西向、近南北向。图 3 中 TK426、TK458 井以北东东向为主，TK458 井次发

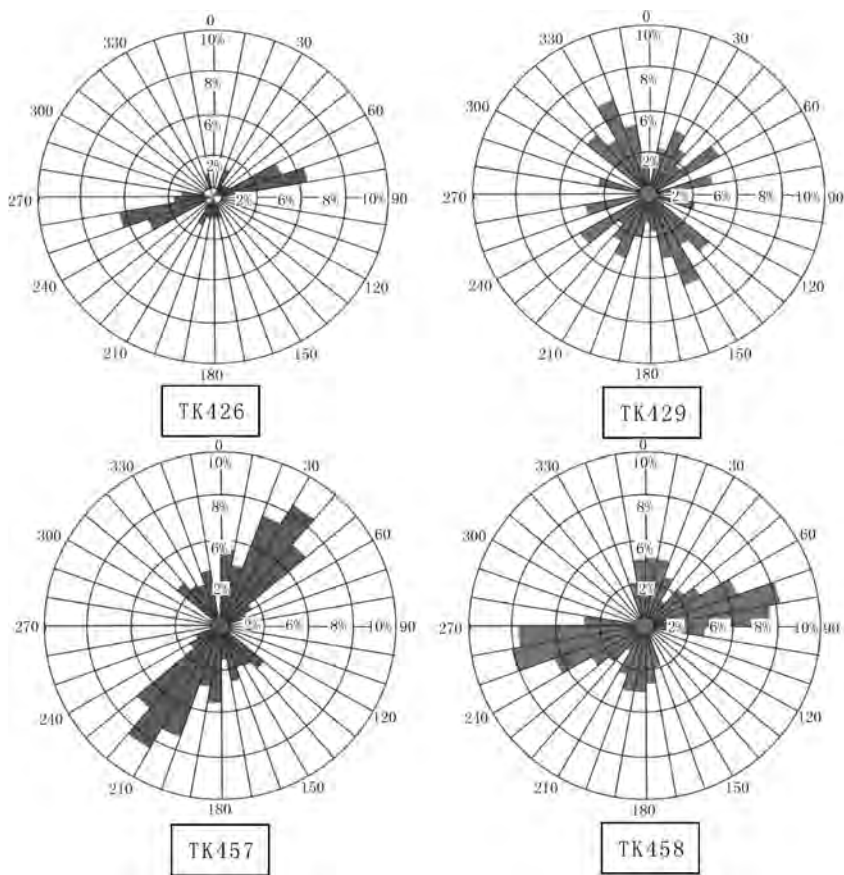


图 3 不同井裂缝走向图

Fig. 3 The strike of different wells

育南北向；TK429 井以北西向为主，次发育北东、北东东向；TK457 井以北东向为主（图 3）。

1.3 裂缝的长度

裂缝的纵向延伸长度也是表征裂缝的一个重要参数，对油气的纵向运移具有重要的影响作用。在

岩心观察过程中所观测到的裂缝长度具有一定的局限性，但是由于本次观察的裂缝大都以高角度裂缝甚至直立缝为主，所以裂缝的长度也具有比较高的可靠性。根据岩心的观察结果，依据裂缝的纵向延伸长度将裂缝划分为 5 类（表 1）。

表 1 裂缝长度分级表

Tab. 1 The classification of crack length

裂缝级别	长度范围（cm）	裂 缝 特 征	石 油 意 义
小垂缝	$L<1$	往往平行出现，直立，间距 0.8 cm 左右，完全闭合	不具备疏导及储油能力
小裂缝	$1<L\leq 8$	含量较少，各井中一般不超过 20%，只有 TK404 井，含量多一些	开启者具有一定的疏导能力
中裂缝	$8<L<13$	所占比例稍大，大部分井此类裂缝的含量一般在 20%~40%	开启者具有较强的疏导能力
大裂缝	$13\leq L\leq 30$	所占比例最大，60%左右，它们常将缝合线等水平构造连接起来，构成一种网状疏导体系	开启者多，具非常强的疏导及储集能力
超大裂缝	$L>30$	含量较少，不足 10%，只有 T415 井含量占主要地位。此区间较广，从 30 cm 开始，最长可达 165 cm	多充填。开启者具极强疏导及储集能力

1.4 裂缝的充填情况

1.4.1 充填裂缝

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中充填裂缝较发育，根据对 20 余口井岩心的实际观察，这种裂缝的出现频率约占大裂缝的 30％左右。根据充填物的性质，又可以将充填裂缝分为 2 种：一种是由碎屑充填的物理充填裂缝；另一种是由化学物质充填的化学充填裂缝。

物理充填裂缝占整个充填裂缝的 1/5 左右，主要是由灰色钙质、泥质粉沙充填的裂缝，有的混有“围岩”碳酸盐岩的碎片（图 4-a）。物理充填裂缝的宽度一般较大，介于 1 mm～1 cm，同一条裂缝的宽度大多不一，所以裂缝面多凹突不平。以 S47 井、S80 井和 T415 井最为典型。这种裂缝中充填的粉砂岩脉并非完全是从上向下靠重力进入裂缝中的，而是从多个方向进入裂缝中的，是液化后的“粉沙流体”靠自身的压力挤入裂缝中，其中有的甚至把“围岩”碳酸盐岩撕裂而使其成为了“捕虏体”保存在粉沙岩脉中。从“围岩”碳酸盐岩未变形及裂缝面的形态看，裂缝是在碳酸盐岩固结较好的条件下形成的。

化学充填裂缝是一种常见的裂缝，占整个充填

裂缝的 4/5 左右，裂缝充填物宽小于 1 mm 或 2～3 cm。裂缝一般比较平直，偶有分叉（图 4-b）。充填物主要为方解石，方解石的粒度从小于 1 mm 的细晶到 2～3 cm 的巨晶均有。化学充填裂缝一般不含油，如果后期再度受力打开“活化”则有可能含油。

1.4.2 半充填裂缝

半充填裂缝占裂缝总数的 30％左右，也可以分为 2 种：一种是原生半充填裂缝；另一种是次生半充填裂缝。这种裂缝虽然被充填而损失了一定的储集空间，但还是具有一定的储油能力或导油能力。

所谓原生半充填裂缝指的是裂缝的充填物在其形成过程中就未完全“长满”整个裂缝，而是留下了许多空隙（图 4-c）。原生半充填裂缝主要以物理充填为主，充填物多是绿色泥质粉砂，可能是因为地下物理化学环境的突然变化而失去了裂缝充填物形成的条件，而使裂缝充填物的生长“夭折”。

所谓次生半充填裂缝指的是裂缝的充填物原先是充满裂缝的，但后来由于构造运动的影响，充填裂缝再度受力作用而被重新剪裂或张裂打开，地下流体沿新裂缝运移使得裂缝充填物部分被溶解而形

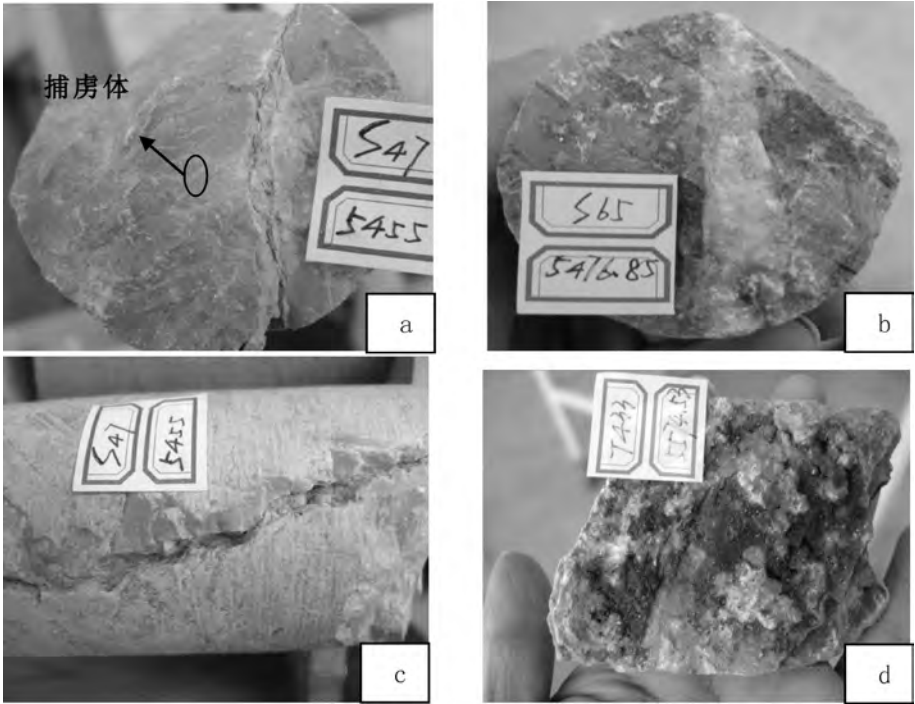


图 4 裂缝充填状况图

Fig. 4 Silting case of the fracture

成了次生半充填裂缝。这种裂缝的特点是裂缝充填物上有一系列的断断续续的孔洞，孔洞多呈次圆形或端点圆化的狭缝状，打开裂缝后可以看到方解石有明显的溶蚀现象，呈圆滑的半球形或团簇状（图 4-d）。由于这种裂缝是在流体的改造下形成的，其联通性较好，往往是石油的良好运移通道和有利储集空间，所以这种裂缝中经常有大量石油。

1.4.3 非充填裂缝

这是一种最常见的裂缝，如果再把那些细小的微裂缝算起来，这种裂缝要占总裂缝的 40% 还多。非充填裂缝也可以分为 2 种：紧闭裂缝、开放裂缝。此种裂缝部分含油。

1.5 裂缝的发育期次

研究区的裂缝均表现出多期成因、多期改造和

多期充填的特点，前人研究认为本区主要经历了 4 期构造运动：加里东期、华力西早期、华力西晚期、印支—燕山期，而油气充注的主要成藏期在华力西晚期和喜山期（康玉柱，2003；张希明，2001；郭了萍，2006）。因此，华力西期形成裂缝是主要含油裂缝，其次是印支—燕山期形成的裂缝。在对普通薄片、铸体薄片和岩心观察基础上，根据裂缝的产状、裂缝充填物、不同矿物充填的裂缝之间的切割关系、充填成分、充填序次，并结合测井资料、区域构造应力场以及该区经历的 4 期主要构造运动，将该区的裂缝划分为具有不同特征的 4 个期次（表 2）。

第 I 期裂缝是被方解石完全充填的微小裂缝，弯曲不规则延伸，走向和倾向也无规律可循，有时

表 2 塔河四区各期次裂缝特征表
Tab.2 The characteristic of fracture in different times of the forth block of Tahe

特征参数	I 期裂缝	II 期裂缝	III 期裂缝	IV 期裂缝
充填物	方解石	方解石	方解石或泥质	无
充填或开启程度	全充填	全充填	全、半或无充填	无
裂缝延伸长度	小于 5 cm	大于 10 cm	大多为 13~20 cm	小于 10 cm
裂缝形态	不规则、细小	平直，规模较大	弯曲、平直皆有，规模大	以平直为主规模一般
裂缝产状	不确定	变化多	北东为主，兼有北西西	似网状或单一
力学性质	收缩缝	剪裂缝	张剪缝	剪裂缝
形成时期	前加里东期	加里东期	华力西期	印支期—燕山期
有效性	无	无	有	有

直立有时水平，裂缝延伸长度不一，约 80% 小于 5 cm，最长的可达 10 cm。充填的方解石呈乳白色，普遍见后期裂缝穿插切割现象（图 6），可能是在前加里东时期的成岩收缩缝。

第 II 期裂缝是被方解石充填的构造裂缝，包括垂直缝、高角度缝和水平缝。其中，以高角度缝为主，具张剪性特征。充填的方解石呈透明-半透明状，颗粒粗大，有时可见 X 型相交（图 5），裂缝延伸长度一般大于 10 cm，有的甚至可达 1 m，有后期持续改造的特征。充填方解石中偶有后期改造的弯曲溶蚀缝，主要是加里东期受构造压力形成的早期平面共轭剪节理受后期构造运动的影响宽度持续增大，充填后又有溶蚀改造的现象。

第 III 期裂缝是被方解石半充填（图 5）、绿色泥质充填或半充填（图 4-c）、无充填的构造裂缝，以高角度裂缝为主，具张剪性，延伸长度长，大部分是大裂缝或者超大裂缝。兼有化学充填和物理充

填的特征。物理充填主要以绿色泥质为主，后期改造现象明显，时有半充填缝出现，无充填裂缝以剪裂缝为主，大多裂开，含油性及疏导性能好。该期裂缝错断了第 II 期裂缝（图 5），由于华力西早期与华力西晚期同属华力西期构造继承性发育。因此，将该期裂缝确定为华力西期裂缝，是加里东运动后，在海西期构造应力持续作用下，隆起前期形成的平面共轭剪节理和隆起形成过程中形成的张节理。这个时期桑塔木组的绿色泥岩在应力作用下挤入裂缝形成物理充填的泥质缝。该期裂缝总体上数量大，有效缝多，基本都赋存原油，或被原油浸染，是本区最重要的一期裂缝。

第 IV 期裂缝为未被固体矿物充填的构造微裂缝。该期裂缝数量不多，规模小，延伸短，具剪性特征，剪切或错断了被方解石充填的前 2 期裂缝，推测为印支—燕山期构造作用的结果。该期裂缝部分赋存原油，或被原油浸染（图 5）。

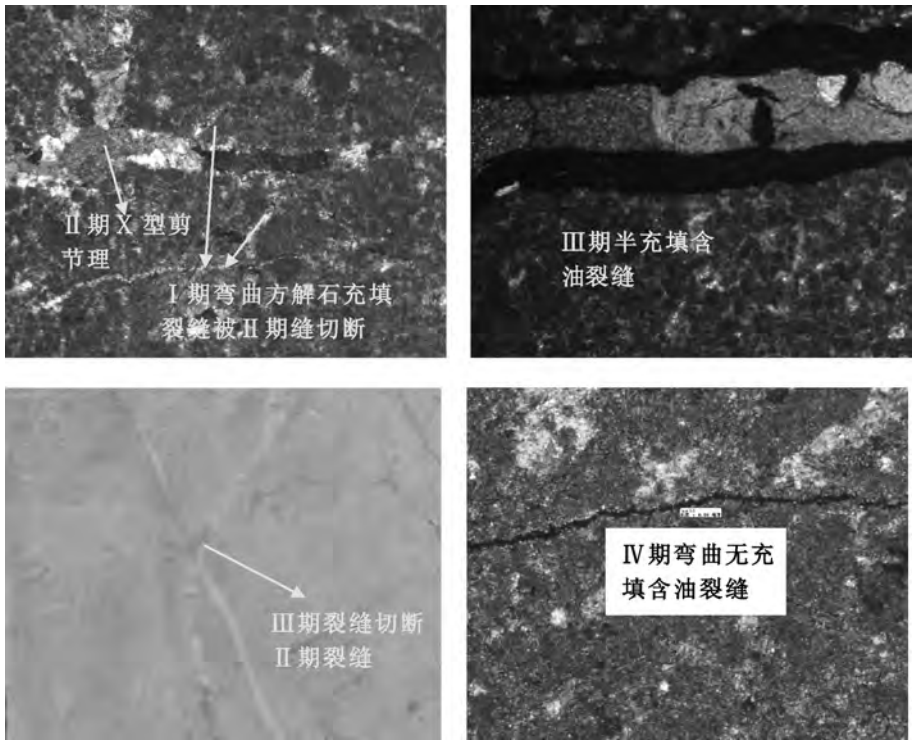


图 5 裂缝的期次图

Fig. 5 Many times of the fracture

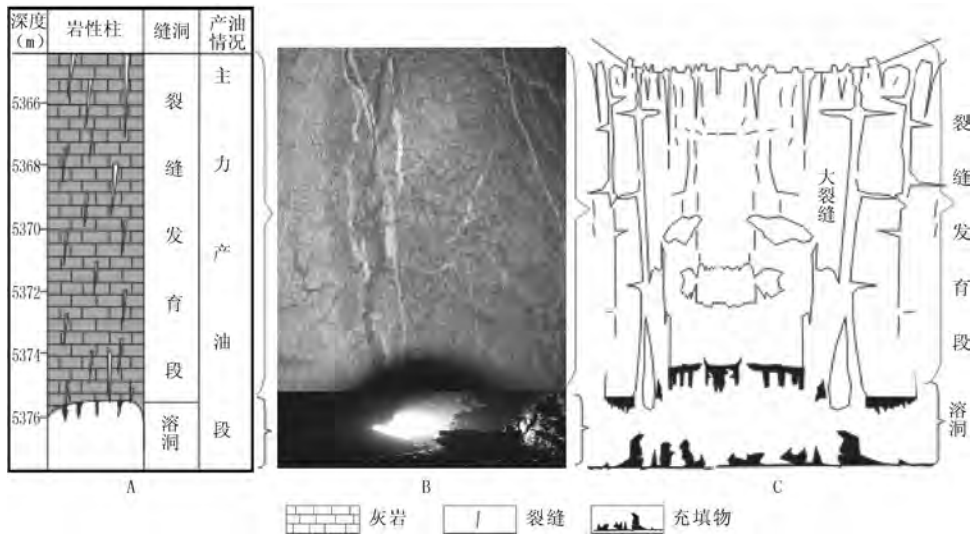


图 6 T402 井缝洞关系与露头缝洞关系对比图

Fig. 6 The comparing map between the relationship of fissures and bore in well T402 and on outcrop

A. T402 井缝洞关系示意图；B. 野外露头缝洞关系示意图；C. 缝洞示意图

2 裂缝与溶蚀孔（洞）的关系

塔河油田以缝洞型油藏为主，大量发育的溶洞为油气提供了巨大的储集空间。结合野外科考和岩

心观察，发现裂缝与溶洞的关系非常密切，裂缝发育区是溶洞形成的有利区域。溶洞形成需有流体渗滤的通道，流体与岩石的不断接触造成了溶蚀作用的产生，最终形成溶洞（James N P, 1985；徐

微, 2005)。

2.1 裂缝倾角对岩溶作用的影响

高角度裂缝具有非常强的纵向疏导能力, 当岩石出露地表时, 高角度裂缝为大气淡水、酸等流体提供了有效的渗滤通道, 这些溶解性的流体进入岩层, 极大的扩展了溶蚀面积, 增加了溶蚀厚度, 经过长时间的积累极有可能形成有利的溶洞, 特别是在构造运动持续改造的条件下, 裂缝逐渐增大形成具有一定宽度的小断裂, 溶蚀作用更加强烈, 往往会形成具有一定规模的大溶洞(图 6-C)。塔河油田四区是高角度裂缝极度发育区, 大部分井高角度裂缝的含量在 60% 以上, 华力西期的构造运动又使整个研究区抬升遭受剥蚀, 出露地表的岩石在高角度裂缝的促生作用下发生了强烈的溶蚀作用, 溶洞非常发育。以 T402 井为例(图 6-A), 从 5 364.57 m 开始裂缝发育, 到 5 372 m 处裂缝极度发育, 溶洞开始出现, 一直到 5 375.68 m, 此时岩心缺失为纯溶洞发育段, 溶洞深度约 2 m。

在埋藏期, 有效的高角度裂缝与低角度裂缝或者水平的非构造裂缝相结合成为地下水流通的通道, 不仅增加了储层的横向宽度, 同时也增加了纵向岩溶的发育, 以及不同期次岩溶的沟通, 增加了储层的连通性, 减小了油气的开采难度。

2.2 裂缝走向对岩溶作用的影响

裂缝走向是控制岩溶发育方向的主要因素。早期形成的断裂为地下水流通提供了通道, 横向上地下水沿着裂缝的发育方向前进, 并且不断的富集, 溶蚀、改造围岩, 形成小规模溶洞。当地下暗河进入裂缝发育区时, 持续的冲刷作用使得溶洞的规

模不断的扩大, 同时将孤立的溶洞连通, 形成具有一定规模的、延伸可达数十千米的大型溶洞。大量的露头资料证明了这一点。例如, 巢湖的紫薇洞、桂林的七星岩溶洞等, 其发育方向大多与早期形成的断裂有关。这种溶洞沿裂缝溶蚀而成, 发育方向与裂缝的走向一致, 而构造裂缝受控于构造运动, 与构造形态关系密切(戴俊生, 2002, 2006)。因此, 根据裂缝的走向和与之相关的构造形态的轴向可以判断溶洞的发育方向, 指导油气勘探。

在塔河油田四区, 裂缝走向主要集中在 3 个方向: 北东向、北西向、北东东向。而本区所处的阿克库勒凸起是一北东向延伸的构造。勘探实践表明, 本区溶洞的发育往往在北东向上形成一定的优势。以 S48 井区为例, 在其北东方向上的 TK467、TK426 井均发育储集性质良好的溶洞, 而北西方向上则只有 TK411 一口井发育溶洞, 北东东方向上基本没有溶洞发育。

2.3 裂缝交汇处促生岩溶

裂缝交叉点往往形成 2 种情况: 一是不同期次的裂缝, 后期裂缝切断前期裂缝或者切断沿层裂缝形成; 一是同期裂缝, 共轭剪节理交切形成。相对来说前者更常见, 也更易形成溶洞。这是因为相交裂缝的切断点处由于前期裂缝的破碎本就存在软弱点(张之一, 1994; 陆克政, 2001; 张厚福, 1999; 陈莉琼, 2009; 陶维祥, 2005; 王冠民, 2001), 受到后期裂缝改造后, 岩石破碎更加强烈, 形成的空间较大。当来自不同方向的流体汇集此处时, 流体与岩石的接触面积相对较大, 小者可以形成孔, 时间长了则会形成洞穴。大量的野外露头资料显示(图 7), 裂缝交汇处溶洞发育。



图 7 裂缝交汇处溶洞发育图

Fig. 7 The cave developed at the cross of fracture

3 裂缝对储集性能的影响分析

在对岩心观察中,发现在砂屑斑片灰岩中斑片的颗粒间的孔隙由于周围泥晶灰岩的包裹常常成为

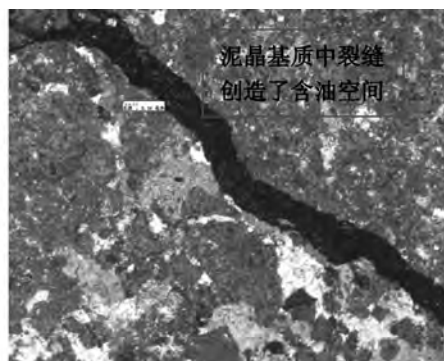
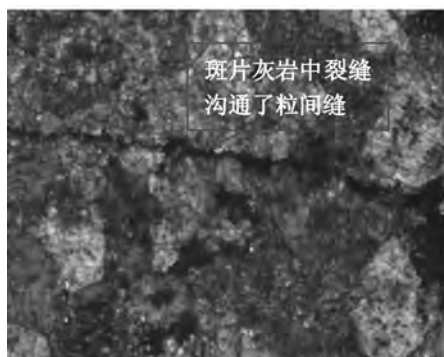


图8 含油裂缝图

Fig. 8 Oily fracture

4 结论

(1) 根据裂缝的发育特征结合各种分析化验资料,得出塔河四区发育4期裂缝:I期前加里东期,方解石充填的弯曲收缩缝;II期加里东期,亮晶方解石充填的构造缝;III期华力西期,亮晶方解石半充填、泥质充填或者半充填的构造缝;IV期印支期—燕山期,无充填的弯曲短裂缝。

(2) 裂缝具有重要的石油地质意义,本身可以作为储集空间,也可以促进岩溶的发生进而形成溶洞。裂缝对岩溶的促进极大的改造了储层的孔隙度,同时裂缝对岩溶的引导作用也为我们在勘探过程中寻找溶洞提供了方向——溶洞往往沿着裂缝的走向发展。

参考文献 (References):

- 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油天然气地质, 1999, 20 (2): 120-124.
- Zhang Kang The discovery of Tahe oilfield and its geologic implication [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20 (2): 120-124 (in Chinese with English abstract).
- 陈清华, 刘池阳, 王书香, 等. 碳酸盐岩缝洞系统研究现

无效的孔隙,而泥晶基质本身并不具备孔隙空间,半充填或无充填裂缝联通了孔隙,在泥晶基质中创造了储集空间(图8)。裂缝的链接作用因为其狭长的延伸面更为突出,由此产生了大量的储集空间,极大的改造了岩层的孔隙度和渗透率,增加了产能。

状与展望[J]. 石油天然气地质, 2002, 23 (2): 196-202.

Chen Qinghua, Liu Chiyang, Wang Shuxiang, et al. Study On Carbonate Fracture-Cavity System——Status And Prospect [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23 (2): 196-202 (in Chinese with English abstract).

鲁新便, 高博禹, 陈姝媚. 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩古岩溶储层研究[J]. 矿物岩石, 2003, 23 (1): 87-92.

Lu Xinbian, Gao Boyu, Chen Shumei. Study On Characteristic Of Paleokarst Reservoir In Lower Ordovician Carbonate Of Tahe Oil Field [J]. Mineral Petrol, 2003, 23 (1): 87-92 (in Chinese with English abstract).

康玉柱. 塔里木盆地塔河大油田形成的地质条件及前景展望[J]. 中国地质, 2003, 30 (03): 315-319.

Kang Yuzhu. Geological characteristics of the formation of the large Tahe oilfield in the Tarim basin and its prospects [J]. Geology of China, 2003, 30 (03): 315-319.

张希明. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28 (05): 17-22.

Zhang Ximing. The characteristics of Lower Ordovician fissure-vug carbonate oil and gas pools in Tahe oil field, Xinjiang [J]. Petroleum Exploration and Development,

- 2001, 28 (05): 17-22.
- 郭了萍, 梁雪原, 刘露, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩的储层特征和成藏规律研究[J]. 中国西部油气地质, 2006, 02 (02): 147-150.
- Guo Liaoping, Liang Xueyuan, Liu Lu, et al. Reservoir Characteristics and Hydrocarbon Accumulation of Ordovician Carbonates in Tahe Oilfield [J]. West China Petroleum Geosciences, 2006, 2 (02): 147-150.
- 徐微, 贾振远, 蔡忠贤. 碳酸盐岩古风化壳储层溶洞特征研究[J]. 石油天然气学报, 2005, 27 (1): 156-158.
- Xu wei, Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian. The study on the characteristic of vug reservoir in carbonate [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, . 27 (1): 209-212.
- 戴俊生, 李理, 油区构造分析[M]. 东营: 石油大学出版社, 2002.
- Dai Junsheng, Li li. Oildom structure analysis [M]. The University of Petroleum Press, Dongying, 2002.
- 戴俊生. 构造地质学及大地构造[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- Dai Junsheng. Structure geology and geotectonics [M]. Petroleum Industry Press, Beijing, 2006.
- 张之一, 李旭. 石油构造分析理论基础[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- Zhang Zhiyi, Li Xu. Petroleum structure analysis theoretic basis [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1994.
- 陆克政, 朱筱敏, 漆家福. 含油气盆地分析[M]. 东营: 石油大学出版社, 2001.
- Lu Kezheng, Zhu Xiaoming, Qi Jiaofu. Oil gas basin analysis [M]. The University Of Petroleum Press, Dongying, 2001.
- 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- Zhang Houfu, Fang Zhaoliang, Gao Xianzhi, et al. Petroleum geology [M]. Petroleum Industry Press, Beijing, 1999.
- 陈莉琼, 李浩, 刘启东, 等. 高邮凹陷吴堡断裂构造带对陈堡油田油气运移的控制作用[J]. 地球学报, 2009, 30 (3): 404-412.
- Chen Liqiong, Li Hao, Liu Qidong, et al. Control of the Wubao Faulted Structure over the Migration of Petroleum in the Chenbao Oilfield of the Gaoyou Depression [J]. Acta Geoscientica Sinic, 2009, 30 (3): 404-414.
- 陶维祥, 赵志刚, 何仕斌, 等. 南海北部深水西区石油地质特征及勘探前景[J]. 地球学报, 2005, 26 (4): 359-364.
- Tao Weixiang, Zhao Zhigang, He Shibin, et al. Petroleum Geological Conditions and Exploration Prospects in Deepwater Area of Northwestern South China Sea [J]. Acta Geoscientica Sinic, 2005, 26 (4): 359-364.
- 王冠民. 西藏措勤盆地郎山组沉积特征及其石油地质条件[J]. 地球学报, 2001, 22 (1): 39-42.
- Wang Guanmin. Depositional Features and Petroleum Geological Conditions of Langshan Formation in Coqen Basin, Tibet [J]. Acta Geoscientica Sinic, 2001, 22 (1): 39-42.
- James N P, Choquette P W. 1985. Paleokarst [M]. Springer-verlag, 1985.