塔河油田四区奥陶系裂缝特征及其成因机制研究

高玉飞[1] 钟建华[2,3] 艾合买提江[2] 黄 磊[4] 侯 峰[5] 李 旭[6] 王明鹏[7]

(1. 中海石油研究中心,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;4.新疆油田有限责任公司准东采油厂,克拉玛依 新疆 834000;5.新疆油田公司陆梁油田作业区,新疆 克拉玛依 834000;6.中石化胜利油田胜利采油厂,山东 东营 257061;
7.中石化胜利油田孤岛采油厂,山东 东营 257061)

提要:塔河油田四区以缝洞型油藏为主,裂缝是该区主要的油气疏导体系和储集空间,通过 20 余口井的岩心、薄片观察,结合 FMI 等各种分析化验资料,研究了裂缝的倾角、走向、长度、体积密度等几何参数,分析了裂缝的充填情况。在此基础上分析了控制裂缝形成的主要因素,包括构造作用、岩性、先期断裂、岩层结构等;探讨了裂缝形成的期次,将裂缝划分为四期:I.前加里东期,II.加里东期、III.海西早期、IV.海西晚期—喜山期;进一步分析了裂缝形成的动力学过程。

关 键 词:塔河四区;裂缝特征;体积密度;主控因素

中图分类号:P618.130.2 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2009)06-1257-11

塔河油田目前是塔里木盆地最大的油田,2007 年产油 560 万 t。塔河油田位于塔里木盆地北部轮台县城南偏西约 50 km(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, 海西早期受区域性挤压抬升,形成向西南倾伏的 NE 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。勘探开发实践表明,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[1-3]。

裂缝不仅是重要的储集空间, 也是流体流动的重要通道,其对储层的重要性不言而喻。塔河油田及相关部门针对裂缝开展了大量的研究,如:何发歧[4]利用高分辨率多方位 VSP 方法在塔河油田 S81 井区建立了含缝洞碳酸盐岩储层的地震反射特征和裂缝发育储层的地震识别方法;赵舒[5]用微电阻率成像测井资料利用统计方法建立了塔河油田裂缝参数的定量估算关系;吴春[6]以测井资料和地应力分析相结合分析了塔河油田裂缝发育分布规律;韩革华[7]针对塔河油田奥陶系储层的特点, 建立了以叠前时间偏移和目标精细处理技术为核心的碳酸盐岩缝洞型储层精细成像技术, 为储层预测提供了扎实的基础资料;俞仁连[8]研究了构造运动对缝洞型储层裂缝的影响, 认为海西期构造运动对该区裂缝的形成有重要作用。以上这些研究主要集中在对裂缝的预测方面,而对裂缝成因的研究涉及较少。因此,从裂缝的基本特征入手,探讨裂缝的成因机制,总结研究区裂缝的主控因素和发育期次。需要说明的是,本文所讨论的均为构造成因的裂缝。

1 裂缝的发育特征

塔河油田奥陶系断裂发育(图 2),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,研究区奥陶系裂缝及微裂缝密集发育,多组

收稿日期:2009-03-26;**改回日期**:2009-08-06

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

作者简介:高玉飞,男,1983 年生,从事沉积学及构造地质学研究;E-mail:215954707@qq.com。

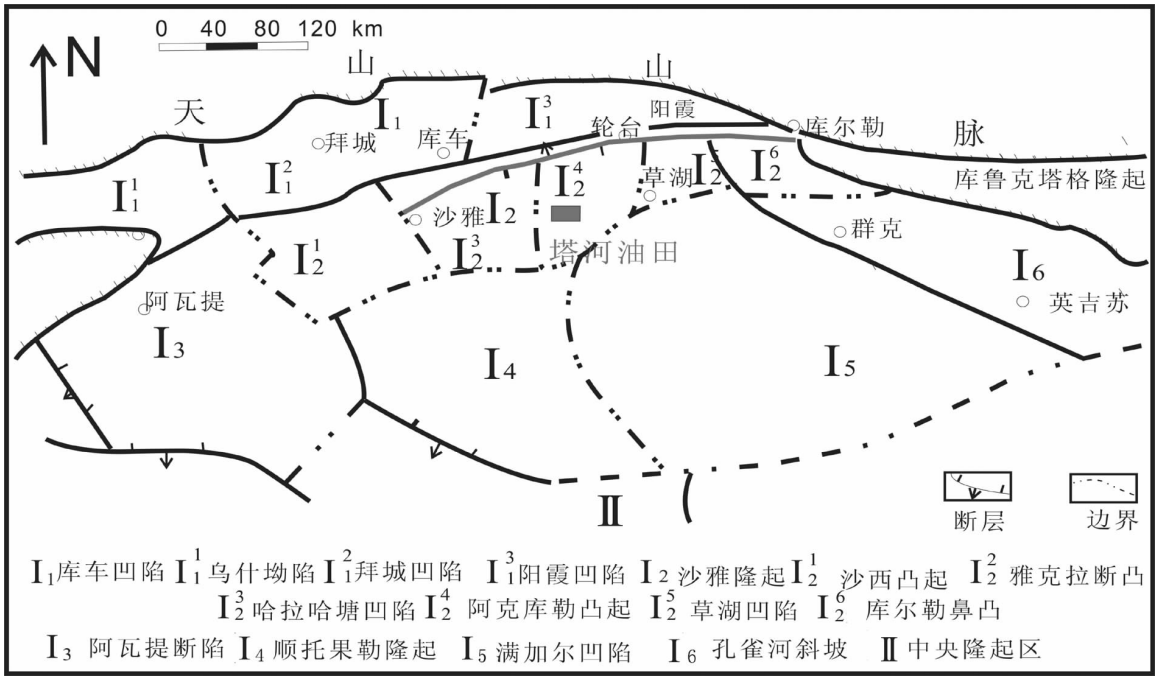


图 1 新疆塔里木盆地塔河油田奥陶系油藏构造位置

Fig.1 Structural location of Ordovician reservoir in the Tahe Oilfield, Tarim Basin, Xinjiang

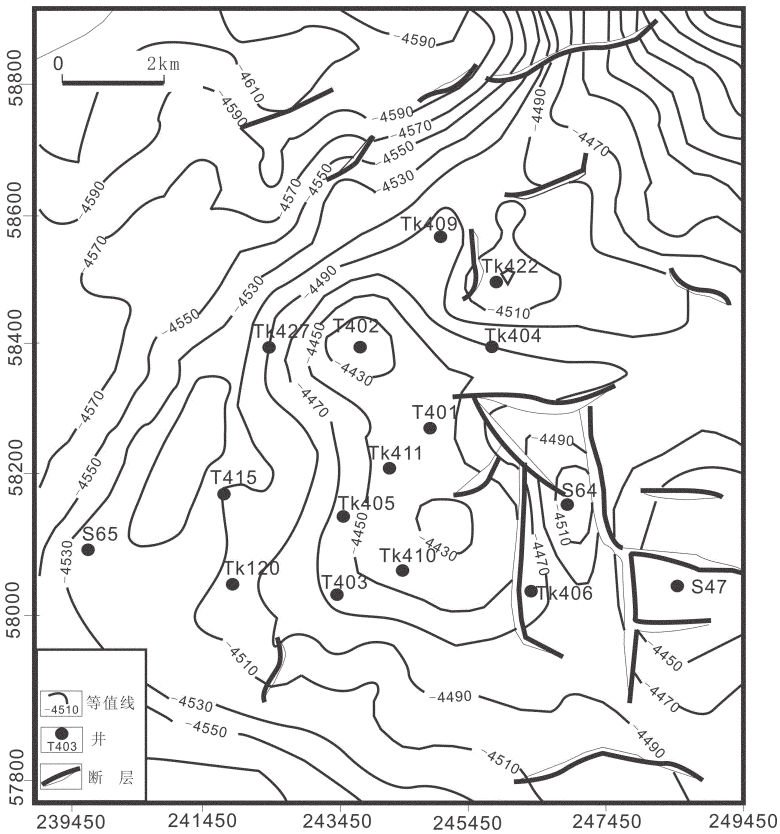


图 2 塔河四区奥陶系构造图

Fig.2 Ordovician structural map of No. 4 block of Tahe

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 3)。

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 4 组: 北东东向、北东向、北西向、近南北向。其中 TK426、TK458 井以北东东向为主,TK458 井次发育南北向;TK429 井以北西向为主,北东、北东东向次之;TK457 井以北东向为主(图 4)。

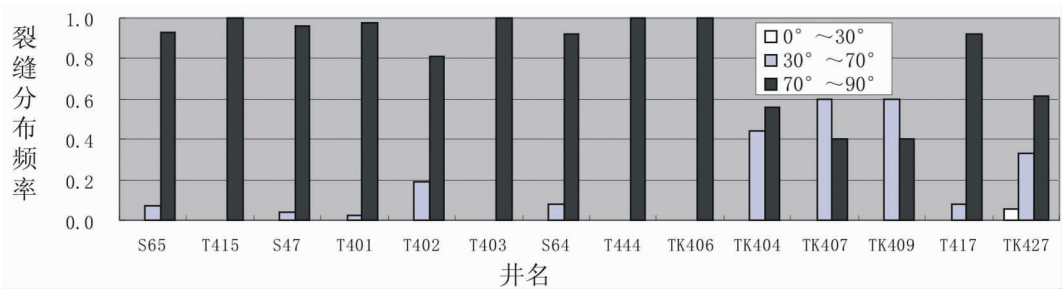


图 3 各井裂缝倾角变化频率柱状图

Fig.3 Frequency histogram showing variation of fissure dip angles in wells

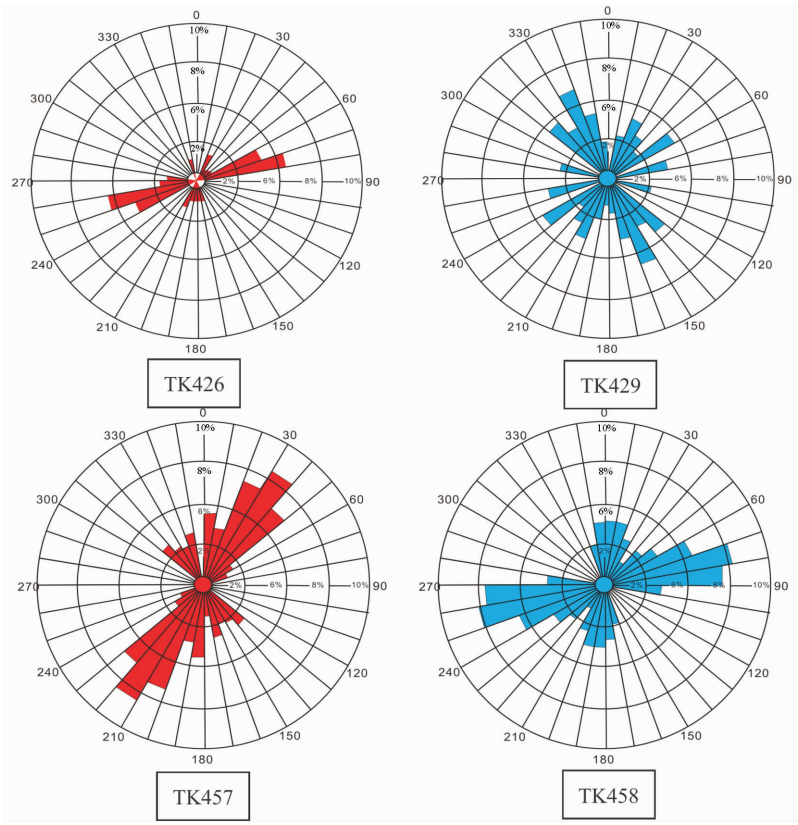


图 4 不同井裂缝走向

Fig.4 Strikes of fissures in different wells

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。在岩心中所观测到的裂缝长度具有一定的局限性，但是本文观察的裂缝大都以高角度裂缝甚至直立缝为主,因此,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)。

1.4 裂缝体积密度

裂缝体积密度是指单位长度体积的岩心上,所有裂缝的面积之和[9]。其公式为：

$$Dvf=\sum_{i=1}^{n} S_i/V$$

其中,Dvf为某段岩心的裂缝体积密度,m^2/m^3;

S_i为第i条裂缝的面积,m^2;

V为岩心柱单元的总体积,m^3;

n为岩心柱单元上裂缝条数。

$$S_i=\begin{cases} D^2/4\left(\dfrac{\pi/180}{\cos\theta_i}\times\alpha i-\dfrac{\sin 2\alpha_i}{2\cos\theta i}\right) & 0\leqslant\theta i<90° \\ l_i c_i & \theta i=90° \end{cases}$$

$$\alpha i=\arccos(1-2l_i\cos\theta_i/D)$$

其中，l_i——沿岩心裂缝倾斜方向上的长度；

c_i——沿岩心裂缝走向方向的裂缝长度（最大值为岩心直径)；

D——单元岩心柱直径。

根据以上计算模型,对塔河油田17口井进行了体积密度的计算(图5)。

从图中可以看出：体积密度的分布有由构造高部位到低部位逐渐变小的趋势，也就是说体积密度大小的分布与海西早期的构造地形密切相关。

1.5 裂缝的充填情况

1.5.1 充填裂缝

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中充填裂缝较发育,通过对20余口井岩心的实际观察,发现这种裂缝的

表1 裂缝长度分级

Table 1 Classification of fissure lengths

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0.8cm左右，完全闭合	不具备疏导及储油能力
小裂缝	1<L≤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，大部分井此类裂缝占20%～40%	开启者具有较强的疏导能力
大裂缝	13≤L≤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

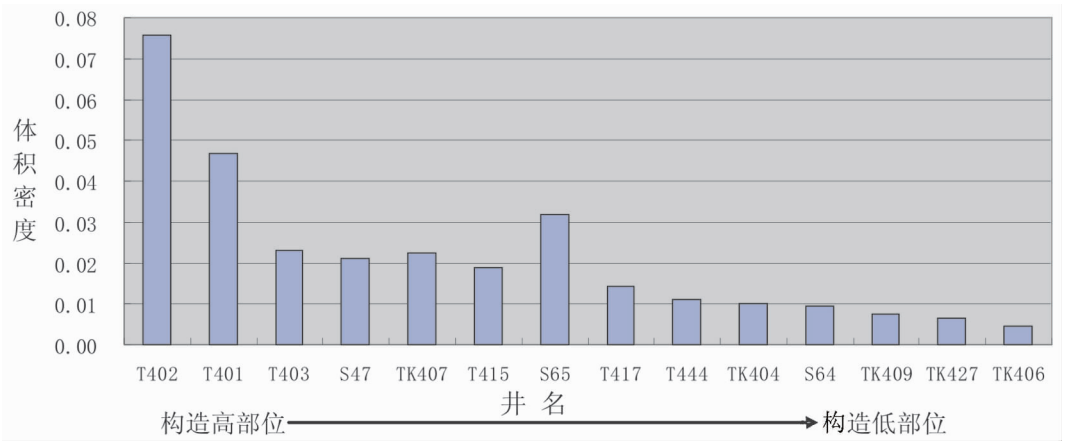


图5 各井体积密度对比图(井位从左到右由构造高部位到低部位)

Fig.5 Comparison of bulk densities in different wells (from the high structural position to the low position in accordance with the well positions from left to right)

出现频率约占大裂缝的 30%。根据充填物的性质,又可以将其分为两种:由碎屑充填的物理充填裂缝,和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、泥质粉砂充填的裂缝,有的混有“围岩”碳酸盐岩的碎片(图 6-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,所以裂缝面多凹凸不平。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“粉砂流体”,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“捕虏体”,保存在粉砂岩脉中。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,裂逢充填物宽 1 mm 以下到 2~3 cm;裂缝一般比较平直,偶有分叉(图 6-b)。充填物主要为方解石,其粒度从不足 1mm 的细晶到 2~3cm 的巨晶均有。化学充填裂缝一般不含油,如后期再度受力打开“活化”则有可能含油。

1.5.2 半充填裂缝

半充填裂缝占裂缝总数的 30%左右,也可以分为两种: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 6-c)。其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”。

而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 6—



图 6　裂缝充填情况

Fig.6　Filling situation of the fissures

d)。由于这种裂缝是在流体的改造下形成的,其连通性较好,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。

1.5.3 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两种:紧闭裂缝和开放裂缝。此种裂缝部分含油。

2 裂缝主控因素研究

裂缝发育的影响因素很多,不同的地区主导因素往往不同。岩心观察发现,塔河油田四区以块状地层为主,少见薄层,地层内部发育大量的构造裂缝,根据塔河地区的地质情况及裂缝特征,本区裂缝发育的主导因素包括以下几个方面:

2.1 裂缝体积密度与构造作用的关系

构造运动与构造裂缝的形成密不可分,塔河油田四区位于沙雅隆起中段南翼的阿克库勒凸起的南部,经历了加里东、海西、印支、燕山、喜山等多期构造运动,特别是古生代两期构造作用尤为明显。加里东中—晚期形成凸起雏形,海西早期受区域性挤压抬升,形成向西南倾伏的 NE 向展布的大型鼻凸。构造运动的频繁发育造成了背斜构造的产生同时也造成了裂缝的大量发育。研究发现岩心裂缝体积密度的分布(图 5)与区域古地貌的形态(图 7)具有非常密切的关系:在构造高点的 T402 井、T401 井裂缝体积密度较大,向东南方向沿着大型鼻凸的缓坡缓慢降低,向北沿着鼻凸的陡坡急剧降低,s64 井处于构造低谷其体积密度也相应较低。由裂缝与鼻凸的匹配关系上,笔者推断主要裂缝的形成时期应该是鼻凸构造的主要形成时期,即:海西早期。随着鼻凸的缓慢形成在构造高部位受局部应力的影响形成大量的晚期平面共轭剪节理和纵张节理,在构造的低部位则形成平面共轭剪节理和横张节理,这些节理大部分属于高角度的,这与统计结果吻合,岩心裂缝显示裂缝性质为剪节理、张节理。

2.2 裂缝发育程度与岩性的关系

本次岩心观察的井,岩性比较单一,主要以泥晶灰岩和白云岩屑斑片灰岩为主。在泥晶灰岩中由于岩性比较单一,发育的裂缝多比较均匀,破裂延伸较远,发育裂缝的密度稍大。白云岩屑斑片灰岩由于白云岩屑的大量存在,使白云岩屑与泥晶结合的部分往往在应力释放时分散了作用在岩体上的应力,裂缝发育较少,而缝合线却异常发育,这与应力作用在

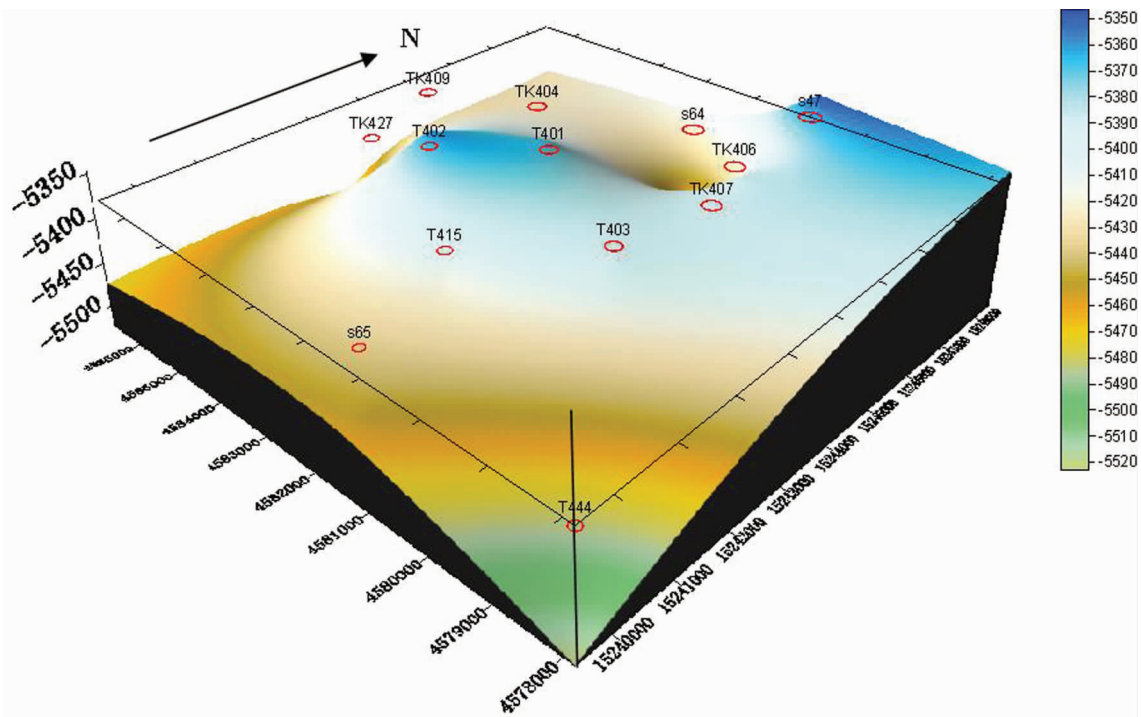


图 7 塔河四区海西期古地貌图

Fig.7 Paleotopographic map of No. 4 block of Tahe

结合边界时的压溶作用有关(图 8)。

2.3 裂缝走向与断裂的关系

构造裂缝与断层的关系主要表现为裂缝的力学性质和相邻断层的力学性质相似，它们形成于同一应力场。在邻近断层发育的裂缝中总有一组裂缝的走向与断层方向一致(图 9)。分析裂缝方向与断裂分布特征,可以发现,断裂越发育的区域,裂缝发育的组系越多、数量也越大。在野外岩溶缝洞考察中也



图 8 不同岩性裂缝发育情况

a—泥晶灰岩,裂缝发育; b—斑块灰岩,裂缝不发育缝合线发育

Fig.8 Development of fissures in different rocks

a–Mudstone limestone, with well–developed fissures; b–Phyric limestone, with poorly–developed fissures and well–developed suture lines

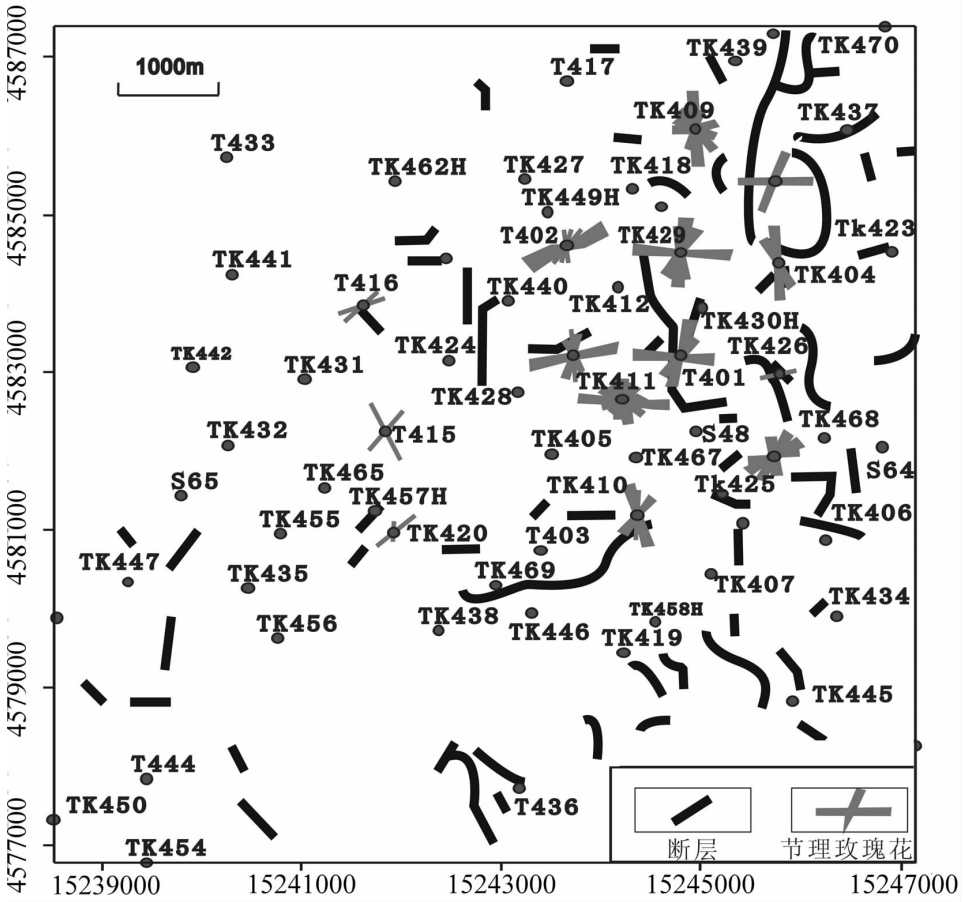


图 9 裂缝走向与断裂系统分布关系

Fig.9 The relationship between the strike of the fissure and the distribution of the fault system

发现了这一现象，即岩石破碎和裂缝发育的程度从断裂向两侧地区不断减小。这一现象充分说明了断裂对裂缝的控制作用。

2.4 裂缝长度与岩层结构的关系

在其他条件相同的情况下，裂缝长度与岩层结构具有非常密切的关系。研究区岩性以致密泥晶灰岩为主，伴有白云岩屑斑片灰岩，岩性刚纯，以块状岩层为主，基本没有薄夹层。当外界压力超过岩层的变形极限时，岩层开始弯曲隆起，由于岩石非常致密，刚性强，变形层中性面较深，裂缝的张开度比较大，切层深，因此形成的裂缝多以大裂缝为主。前文已述，本区裂缝，长度在 13 cm 以上的大裂缝、超大裂缝占总裂缝的 60%左右，它们构成了塔河地区油气疏导的“主动脉”。

3 裂缝的成因分析

3.1 裂缝的分期配套

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。在对普通薄片、铸体薄片和岩心观察的基础上，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，研究区及周边构造演化史资料，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，充填方解石呈乳白色，普遍见后期裂缝穿插切割现象(图 10)，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，充填方解石呈透明—半透明状，颗粒粗大，有时可见 X 型相交(图 10)，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 10)、绿色泥质充填或半充填(图 6-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 10)，确定其为海西期裂缝，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两期裂缝，推测为印支—喜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 10)。

3.2 裂缝的成因分析

本区裂缝主要以剪裂缝为主，张裂缝较少，在构造高部位的 T402、T401 井中张裂缝相对较多一些，高角度的大裂缝多是本区的主要特点。

表 2 塔河四区各期次裂缝特征

Table 2 Characteristics of fissures of various stages in No. 4 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 5cm	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	海西早期	海西晚期—燕山期
有效性	无	无	有	有

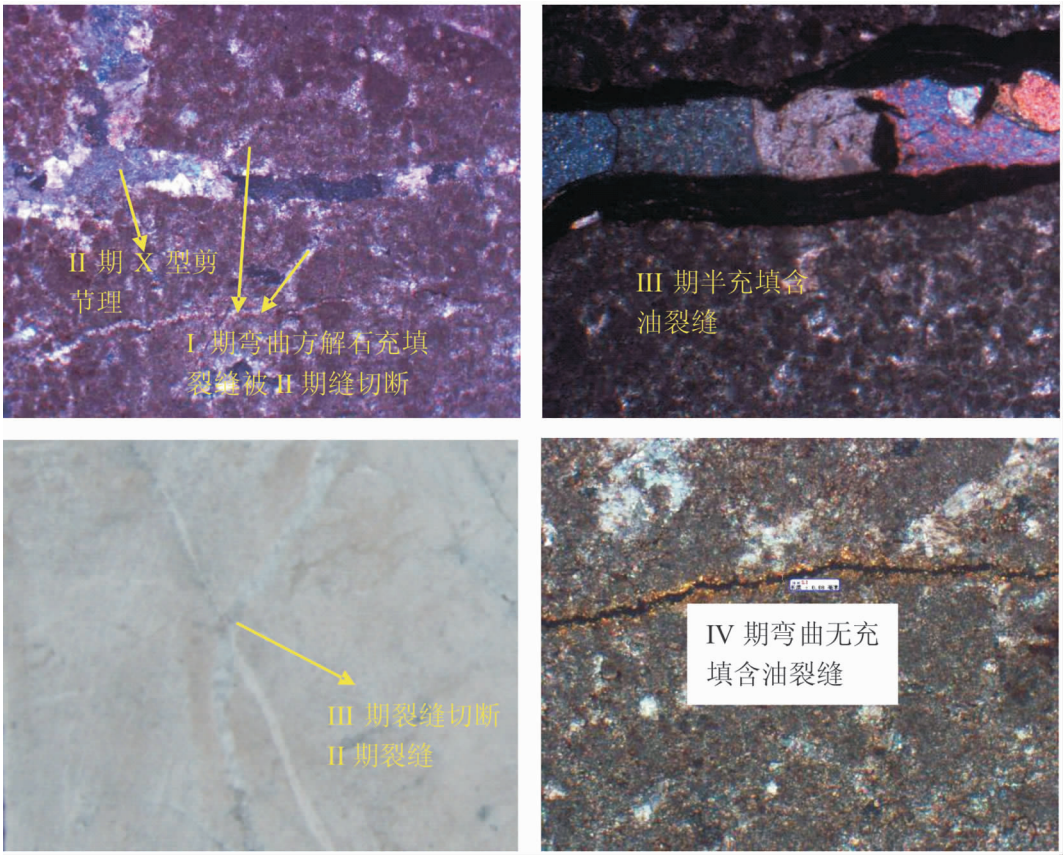


图 10　裂缝的期次性

Fig.10　Stages of the fissures

大量的研究资料证明加里东期以前本区处于相对稳定时期,还未隆起,沉积成岩后会形成大量的成岩收缩缝，直到加里东期本区在北西—南东作用力下,在原本平静的地块上形成大量平面共轭剪节理,这些节理在后期的作用力下不断地被改造、充填,这就是本区的 II 期裂缝。直到本期运动结束,研究区地块仍然没有隆起。

裂缝体积密度的分布显示裂缝的发育与海西早期构造地形密切相关，前人的研究也认为海西早期是本区构造运动非常重要的一个时期，是本区主要构造的形成期[8,10]。这个时期研究区所处的阿克库勒凸起经过了加里东运动以后逐渐形成，继承了加里东期北西—南东方向的挤压,进一步开裂并隆起,这个过程中形成了大量与地面垂直的北东、北东东向的早期共轭剪裂缝,由于隆起的幅度不大,这些原本倾角达 90°的剪裂缝虽然倾角有所变化但是仍然以高角度为主;伴随着隆起的形成,构造高部位在岩层拱弯产生的局部张应力的作用下产生了大量的北西到南北向的张裂缝，张裂缝走向与构造长轴方向一致，倾角也多是高角度的。这些基本构成了本区的 III 期裂缝。III 期裂缝是本区最重要、最有效的一期裂缝,它们也受到后期作用力的不断改造、充填,成为溶蚀缝或者半充填缝，特别的本期构造应力造成了桑塔木组的风化剥蚀，使得桑塔木组的绿色泥岩灌入裂缝形成了绿色泥质半充填的裂缝。

其后本区历经海西晚期、印支期、燕山期、喜山期多期构造作用使得凸起上下古生界顶面由早期的鼻凸转变为大型宽缓的背斜,地层倾角相对平缓,而塔河油田 4 区位于此背斜的核心部位，地层倾角变化不大，受其限制相应的裂缝倾角也不会发生大的变化，只是在原有已经存在薄弱点的地方形成新的裂缝或者先期形成的裂缝进一步的扩大、溶蚀。

岩心观察的结果充分验证了这一点，高角度裂缝广泛发育；缓坡地区由于幅度变化小高角度井型发育,而陡坡地区随着隆起幅度的增大,中角度裂缝增多,中高角度井型发育;溶蚀裂缝较发育。

4 结 论

(1)影响塔河油田裂缝发育的主要因素有 4 个:构造作用、岩性、先期断裂以及岩层厚度,构造作用是裂缝走向和体积密度的主导因素; 不同的岩性裂缝发育密度不同, 泥晶灰岩岩性均一比缝合线发育的砂屑斑片灰岩更易发育裂缝; 先期断裂发育的地方裂缝的发育组系增多,密度也增大;在其他条件相同的情况下岩层厚度则是裂缝发育长度的主要影响因素。

(2)根据裂缝的发育特征结合各种分析化验资料, 研究得出塔河四区发育 4 期裂缝:I. 前加里东期,方解石充填的弯曲收缩缝;II.加里东期,亮晶方解石充填的构造缝;III.海西早期,亮晶方解石半充填、泥质充填或者半充填的构造缝;IV.海西晚期—喜山期,无充填的弯曲短裂缝。

(3)海西早期构造运动是影响本区裂缝的最重要的构造运动, 本期构造运动形成的早期共轭剪裂缝以及伴随隆起产生的大量的张裂缝, 是本区最重要、最有效的裂缝——III 期裂缝。

致谢: 本文写作过程中在资料收集方面得到了塔河油田的大力支持,在此一并致谢。

参考文献(References):

[1] 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).

[2] 陈清华, 刘池阳, 王书香, 等. 碳酸盐岩缝洞系统研究现状与展望[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).

[3] 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).

[4] 何发歧, 刘清林. 高分辨率多方位 VSP 方法在塔河油田奥陶系裂缝性储层研究中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(4):386−389.
He Faqi, Liu Qinglin. Application of high resolution multiazimuthal walkaway VSP data to fractured reservoir prediction in Tahe oilfiled [J]. Journal of Jilin University (earth science edition), 2002, 32(4):386−389(in Chinese with English abstract).

[5] 赵舒. 微电阻率成像测井资料在塔河油田缝洞储层综合评价中的应用[J]. 石油物探, 2005, 44(5):519−527.
Zhao Shu. The application of microresistivity imaging log in evaluation of carbonate fracture−vug reservoir in Tahe oilfield [J]. GPP, 2005, 44(5):509−516(in Chinese with English abstract).

[6] 吴春, 孔祥荣. 塔河油田奥陶系储层地应力分布及裂缝发育规律研究[J]. 新疆地质, 2005, 23(3):314−315.
Wu Chun, Kong Xiangrong. Study on Stress distribution and fracture development of the law in Ordovician carbonate of Tahe oilfield [J]. Xinjiang Geology, 2005, 23 (3):314−315 (in Chinese with English abstract).

[7] 韩革华, 漆立新, 李宗杰. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层预测技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6):860−871.
Han Gehua, Qi Lixin, Li Zongjie. Prediction of the Ordovician fractured−vuggy carbonate reservoirs in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6):860−871(in Chinese with English abstract).

[8] 俞仁连, 傅恒. 构造运动对塔河油田奥陶系碳酸盐岩的影响[J]. 天然气勘探与开发, 2006, 29(2):1−6.
Yu Renlian, Fu Heng. Influence of technology movement on Ordovician carbonates of Tahe oil field [J]. Nature Gas Exploration and Development, 2006, 29 (2):1 −6 (in Chinese with English abstract).

[9] 宋惠珍, 贾承造, 欧阳健. 裂缝性储集层研究理论与方法 [M]. 北京:石油工业出版社, 2001:78−82.
Song Huizhen, Jia Chenzao, Ou Yangjian. Theory and Method of Fractured Reservoir Study [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2001:78−82(in Chinese with English abstract).

[10] 李江龙, 黄孝特, 张丽萍. 塔河油田 4 区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策[J]. 石油天然气地质, 2005, 26(5):630−634.
Li Jianglong, Huang Xiaote, Zhang Liping. Reservoir characteristics and development strategy of Ordovician fractured−vuggy reservoirs in block 4 of Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5):630−634(in Chinese with English abstract).

Characteristics and formation mechanism of fissures in Ordovician strata of No. 4 block, the Tahe Oilfield

GAO Yu-fei[1], ZHONG Jian-hua[2,3], AHMATJAN[1],
HUANG Lei[4], HOU Feng[5], LI Xu[6], WANG Ming-peng[7]

(1. *CNOOC Research Center, Beijing* 100027, *China;* 2. *College of Geo-Resources and Information; China University of Petroleum, Dongying* 257061, *Shandong, China;* 3. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510640, *Guangdong, China;* 4. *Zhundong Oil Production Plant of CNPC Xinjiang Petroleum Co. Ltd., Karamay* 834000, *Xinjiang, China;* 5. *Working area of Luliang Oilfield, CNPC Xinjiang Petroleum Co. Ltd., Karamay* 834000, *Xinjiang, China;* 6. *Shengli Oil Production Plant, Shengli Oilfield Co., Ltd., Dongying* 257061, *Shandong, China;* 7. *Gudao Oil Production Plant, Shengli Oilfield Co., Ltd., Dongying* 257061, *Shandong, China*)

Abstract: The fissure-pore carbonate reservoirs constitute the dominant Ordovician reservoirs in No. 4 block of the Tahe Oilfield. The fissures make up the main connection channels and accumulating space. Based on core and thin section observations for more than 20 wells in combination with FMI and analysis of a variety of test data, this paper studied a certain characteristic parameters of reservoir fissures, such as the ranges, strikes, lengths and bulk densities of the fissures, and analyzed their filling situation. On such a basis, the controlling factors were analyzed, which included structure, lithology, former faulting, rock structure and the stages for the formation of the fissures. The fissures are assigned to four stage: I - Pre-Caledonian period, II - Caledonian period, III - Early Hercynian period, IV - Late Hercynian - Himalayan period. The genetic mechanism of the fissures are also discussed.

Key words: No. 4 block of Tahe; characteristics of fissures; bulk density; controlling factors

---

About the first author: GAO Yu-fei, male, born in 1983, engages in the study of sedimentology and structural geology; E-mail: 215954707@qq.com.