

塔河油田四区奥陶系碳酸盐岩油藏 中的缝合线研究

钟建华^{1,2)}, 孔凡亮¹⁾, 李阳³⁾, 袁向春³⁾, 高玉飞²⁾, 梁刚²⁾,
艾合买提江·阿不都热和曼²⁾, 陈鑫²⁾, 牛永斌²⁾, 王培俊²⁾

1) 中国科学院广州地球化学研究所, 广州, 510640;

2) 中国石油大学(华东)资信学院, 山东东营, 257061; 3) 中国石化集团公司, 北京, 100825

内容提要: 塔里木盆地是我国的重要油气勘探区和产区, 但是到目前为止, 对塔河油田碳酸盐岩缝洞系统还认识不足, 因而严重地影响了塔河油田的勘探开发。通过研究发现, 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏中的裂缝系统非常复杂, 主要有两类裂缝: 一种是构造裂缝; 另一种是缝合线。前人认为前者重要, 而忽略后者; 而笔者等认为后者比前者更加重要。塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏中的缝合线非常发育, 其频度是与石油成藏有一定关系的非构造裂缝所能及。根据缝合线与层面的关系, 可以将塔河油田的奥陶系碳酸盐岩油藏中的缝合线分为三种: 顺层缝合线、倾斜缝合线和竖直缝合线。这三种缝合线彼此交织成复杂的网络系统, 构成了储层内部油气运移的最初级良好通道, 同时与裂缝一起构成了有效的油气运移通道和压裂的弱结构面, 为油气成藏和后期的开发创造了良好的条件。

关键词: 缝合线; 油气; 奥陶系; 塔里木盆地

缝合线是碳酸盐岩中的一种常见构造, 但是到目前为止, 对其的成因尚不明了。我国学者在这一领域也做了大量工作, 取得了很多成果(刘德汉等, 1994; 张博全等, 1995; 李国蓉 1997; 高岗等, 2000; 高岗, 2007; 吕洪波, 2009), 国外学者也从石油地质学的角度探讨了缝合线(Finkel et al., 1990; Von Bergen et al., 1990; Primio et al., 1994; Leythaeuser et al., 1995)。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线非常发育, 类型多样, 特征明显。本次研究的对象是塔河油田四区奥陶系碳酸盐岩储层, 具体位置见图 1。该区目前是塔里木盆地的大油田之一; 2007 年产油 560 万吨, 2009 年已突破年产 650 万吨。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, 但是到目前为止, 对塔河油田缝洞系统还认识不足, 因而严重的影响了塔河油田的勘探开发。

目前认为塔河油田的裂缝主要是构造裂缝, 而对非构造成因的缝合线的地质特点及油气意义认识不足。笔者等认为, 无论是从分布的广泛性, 还是与油气成藏的关系均不能小视缝合线的意义。本次研

究的层段主要为下奥陶统的鹰山组, 其次为下奥陶统的一间房组, 具体层位见图 2。这两个层段为塔河油田的主要产油段。

1 缝合线的特征

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线非常发育, 类型多样, 特征明显, 以下简述:

1.1 产状与分布

根据缝合线与层面的关系, 塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线有三种产状: 一是平行或近于平行层面(与层面的夹角小于 15°)的, 将其称为“顺层缝合线”, 这是一种主要的缝合线, 占整个缝合线的 75% 以上, 以 T415 井最为典型; 二是与层面夹角介于 $15^\circ \sim 75^\circ$ 之间的“倾斜缝合线”, 这是一种次要的缝合线, 占整个裂缝的 20% 以上, 以 S80 为代表; 三是与层面夹角大于 75° 的“竖直缝合线”, 这种缝合线最不发育, 不超过 5%, 以 S47 井为代表。上述说的不同缝合线的占有率是一个总的分布规律, 不同井有差异。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线的发育与

注: 本文为 973 计划项目“碳酸盐岩缝洞系统发育规律的研究”(课题编号 2006CB202401) 的成果。

收稿日期: 2010-01-06; 改回日期: 2010-09-17; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 钟建华, 1957 年生。现为石油大学(华东) 地球资源与信息学院教授。主要从事构造与沉积学的教学和研究。Email: zhongjh@hdpu.edu.cn; 957576033@qq.com。

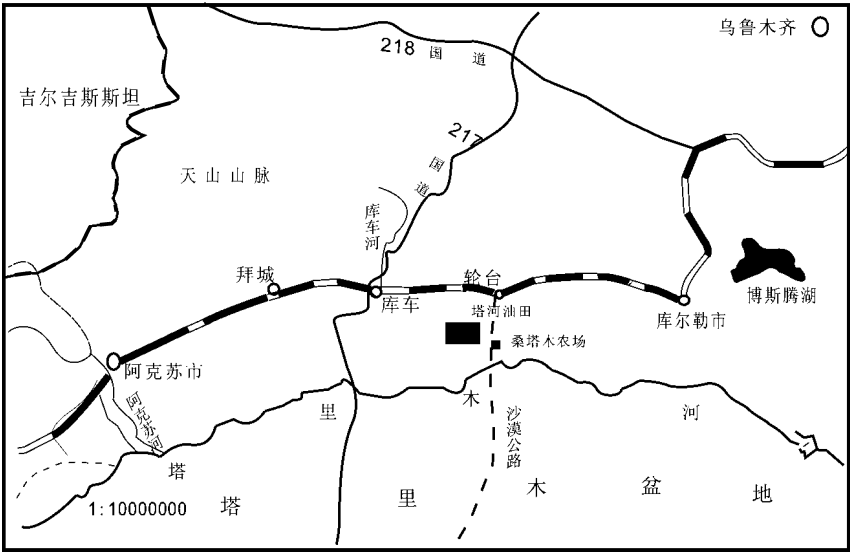


图 1 塔里木盆地塔河油田四区地理位置图

Fig. 1 Location of the Block 4, Tahe oil field, Tarim Basin

岩性还有一定的关系:纯净的泥晶灰岩不大容易发育缝合线,而含有含油白云石砂屑团块的泥晶灰岩利于发育缝合线。

1.2 类型与几何学特征

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线非常发育,类型多样,特征明显。从几何学特征角度出发,可以将它们分为简单型和复杂型两种。简单型缝合

线的几何学特征就是简单,概括起来有如下几点:一是缝合线呈直线状或略曲,弦高/弦宽 $\leq 1/5$ 。缝合线的锯齿也简单,锯齿个体呈三角形或不对称齿状,大小近相同(图版 I-1~6);另外,少数简单型缝合线呈宽缓正弦波状(图版 I-3~5);二是缝合线只有一级或二级,但不同级别上的锯齿形态和大小都相同;三是一般不分叉或合并(图版 I-3、4),彼此一般不相交(图版 I-4)或偶然相交;四是一般顺层分布,多受岩性界面(含油白云石砂屑团块与泥晶灰岩的接触边界)影响和控制。复杂型缝合线的几何学特征就是复杂,概括起来有如下几点:一是缝合线呈直线状或曲线状,锯齿的大小和形态相似性较差,有的锯齿个体大小可差上十倍;二是锯齿和单条缝合线产状或形态都极不稳定;三是可以分叉、合并;四是常交织成复杂网状(图版 I-7;图版 II-3~5)(后文还有相关叙述);从锯齿的特点上来说,塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线的锯齿又可以分为细密小齿型和稀疏大齿型两种。前者为主,特点是锯齿小,细而密,锯齿的高度与宽度接近,

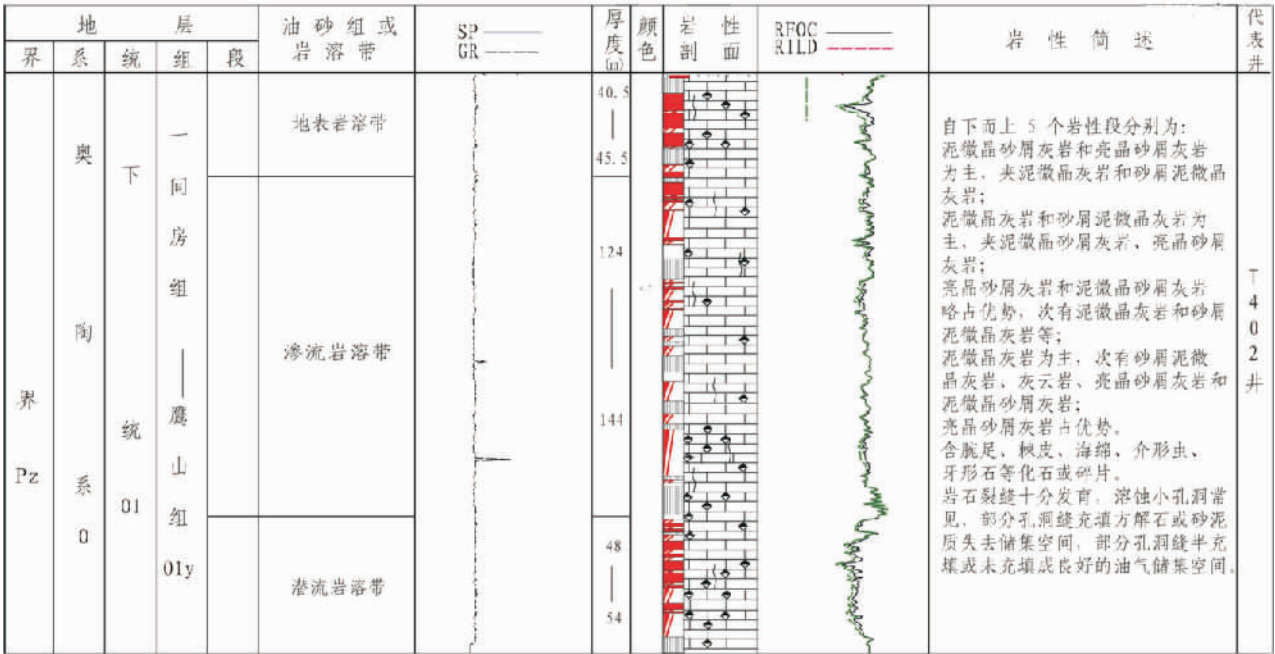


图 2 塔河油田四区地层柱状及主要含油层位图

Fig. 2 Geological histogram and the main oil-bearing strata in the Block 4, Tahe oil field, Tarim Basin

多在1mm以内。锯齿的形态有几种类型:一种是对称三角型的;第二种是一侧陡、另一侧缓的非对称三角形的;第三种是不规则型的;这种细密小齿型的缝合线竖直面上多呈直线状,平面上呈平面状;后者的特点是锯齿大而稀疏,形态多不规则:有的尖矗如峰,有的浑圆如豆,有的宽缓如波,有的尖如犬齿,有的复杂得无法描述(图版I-7;图版II-3、4、5)。锯齿的高度和宽度多在1mm到数毫米,偶见巨大者,锯齿高度可超过1cm(但在另一个区块的中2井中则常见高度可超过1cm的大齿)。在竖直面上多呈曲线状,在平面上多呈曲面状。根据形态和结构的成熟性又可以将缝合线分为成熟和不成熟两种,成熟缝合线的形态和结构完全呈锯齿状(图版I;图版II-1),而不成熟缝合线的形态和结构则锯齿状特征不明显(图版II-2~5中的部分缝合线)。根据锯齿的产状又可以分为直立锯齿和斜歪锯齿两种。从缝合线的综合特点、尤其是其力学成因和油气勘探开发的角度,缝合线与层面的关系分为顺层缝合线(图版I-1~4)、倾斜缝合线(图版I-6、7;图版II-3、4、5中的部分缝合线)和竖直缝合线(图版I-8)的分类更具有可描述性,因此将这三种缝合线的特点总结在表1中。

1.3 缝合线组合及其与层面的相对关系

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线的组合分为下列几种:①单一型。单条缝合线,缝合线的间距超过缝合线齿高或波高的十倍(图版I-1);②平行型。由多条彼此平行的缝合线组成,缝合线的几何特征一般比较简单,一般为顺层缝合线,缝合线的间距小于缝合线齿高或波高的十倍(图版I-3~5);③重合型。多条缝合线彼此重叠组成,多为顺层缝合线。这种缝合线又可以分为两种:完全重合型和部分重合型;前者是在岩芯尺度上,多条缝合线完全叠合在一起,图版II-3;而后者是部分叠合在一起,图版II-3;④网状型。多条缝合线彼此相交成网状(图版I-7;图版II-3~5),有的相对简单,网眼相对较大,网眼的直径是缝合线齿高的十倍以上;有的相对复杂,网眼形状极不规则,网眼相对较大,网眼的直径是缝合线齿高的十倍以下;⑤辫状型。多条缝合线彼此相交成辫,也多为顺层缝合线;⑥复杂型。多条缝合线彼此相交成非网非辫系统。缝合线以顺层分布为主,所以缝合线多与垂直裂缝和倾斜裂缝相交,组合成复杂的网状系统,是油气的有利储集空间和对油气运移的有利通道。观察表明,当裂缝与缝合线相交频繁时,裂缝的含油性就较好,反之较差。

为了便于认识和理解不同缝合线的特点,笔者等按缝合线与层面的关系三种不同类型的缝合线的特点总结在表1中。虽有重复,但很有必要。

2 成因分析

到目前为止,缝合线的成因还没有定论。但从笔者等对塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线的观察结果来看,其成因有以下几种:一是压实。大量的顺层缝合线就属于这种成因。塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线以顺层为主,占有缝合线的75%以上。为什么这种缝合线会非常发育呢?主要原因有如下几点:①泥晶灰岩团块的长轴顺层面的优选排列形成了水平方向的“缝隙”,在压实过程中有利于顺层缝合线的发育。所以,许多缝合线是沿着泥晶灰岩块之间的水平边界或泥晶灰岩团块与白云石砂屑团块的结合边界发育的。②塔河油田奥陶系碳酸盐岩油层的埋藏深度较大,多在5000~6000多米,因此上覆岩层的静压力非常之大,所以易于在最大主应力平面上使被作用的岩层中的矿物或其他物质产生调整,形成定向排列,从而为形成缝合线奠定基础。这种缝合线一般规模较大或不规则,锯齿细密或粗大稀疏,缝合线平坦或曲折,稳定性相对较差,有些缝合线会转变为倾斜缝合线或竖直缝合线;常数条交织成辫状或网状,少数完全重叠成一条复合缝合线(图版I-7;图版II-3、4、5);二是压裂。这是一种纯粹的受力破碎,实际上是一种受压剪形成的纯物理破裂,没有丝毫化学溶蚀。一般发育在纯的泥晶灰岩团块内部,锯齿多为细密尖锐(锯齿夹角小于 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$)锯齿状或三角(锯齿夹角约 90°)锯齿状(图版II-1);形成这种缝合线可能是泥晶灰岩团块周围的物质提前屈服,使泥晶灰岩团块受到了周围应力的集中作用,出现应力在泥晶灰岩团块集中,而导致泥晶灰岩团块受到垂向单轴压缩被“压断”,形成压裂缝合线。这种缝合线的含油和过油性较差;三是溶蚀。塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线的成因可能很难有纯粹的“压溶”。塔河油田奥陶系碳酸盐岩、尤其是含油的“白云石砂屑团块”泥晶碳酸岩在有机质成熟和生排烃过程中形成的酸性可溶性流体的活动有利于促进缝合线的发育。不排除有的溶蚀缝合线是在压实缝合线和压裂缝合线基础上改造形成的。这种方式形成的缝合线几何特征从简单到复杂均有,总的说来,缝合线的锯齿齿尖不大尖锐,而比较浑圆。

对20余口井的岩芯观察发现,塔河油田四区

表 1 塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩中的缝合线特征
Table 1 Features of the stylolite in Ordovician carbonate in the Tahe oilfield, Tarim Basin

特征	顺层缝合线	倾斜缝合线	直立缝合线
产状	水平,顺层面,或与层面交角小于 15°	倾斜,斜交层面,与层面交角介于 15°到 75°之间	与层面夹角 75°到 90 °
规模	小到大	中等到大	中等到大
长度	一般贯穿岩芯,长度大于 65mm	贯穿岩芯或被顺层缝合线或垂直缝合线切断、限制	贯穿岩芯或被顺层、倾斜缝合线切断、限制
缝合线面的宽度	0.1~0.5mm	0.1~0.5mm	≤0.5mm
缝合线锯齿间的宽度(高度)	1mm 以内到 5mm,偶见 1cm 者	1~3mm	1~3mm
密度	发育不均衡,有时每 10cm 发育 3~5 条	发育不均衡,时有时无	发育不均衡,时有时无
频度	较大到极大	较小到较大	较小
几何学特征	均匀稀疏或紧密锯齿状,和谐对称或不对称;有的呈正弦曲线状;有的呈菊石缝合线状;有的某段平直无齿,某段又突然有大齿(高于一般缝合线锯齿一倍到数倍);大齿对称或偏态。缝合线面平直或略曲、很曲(大部分弦高/弦宽=0~0.5,少数弦高/弦宽=1,偶见弦高/弦宽≥3者)	有的某段平直无齿,某段又突然有大齿(高于一般缝合线锯齿一倍到数倍);大齿对称或偏态。缝合线面大多数略曲到较曲(弦高/弦宽≥0.2~0.5)	和谐性和对称性较差,锯齿较疏,单个锯齿较大;缝合线面大多数略曲或极曲(弦高/弦宽≥0.5~1
是否穿过泥晶灰岩团块	不穿过或穿过	绕过泥晶灰岩颗粒或穿过泥晶灰岩团块	大部分穿过泥晶灰岩团块
充填性	一般未被充填,偶见被充填,充填物为灰绿色钙质泥	未被充填	未被充填
稳定性	稳定性极好到较好	较差到很差,彼此有时交织成网络状	较差到很差,彼此有时交织成网络状
剥裂性	易于剥裂或较易于剥裂	较易于剥裂	较难剥裂
组合特点	有 4 种:一种是彼此平行;另一种缓角度相交,有的交织成复杂的发散辫状;第三种彼此或与倾斜缝合线和直立缝合线交织成相交成网状。一般不分叉,偶见分叉或合并。第四种是多条缝合线重合,形成一条稍宽的“丝带”,这时反而失去缝合线的齿状特征	大部分彼此相交成网状,或与顺层缝合线和直立缝合线交织成网状;少部分单独斜切岩芯	大部分孤立出现竖切岩芯。或与顺层缝合线和倾斜缝合线交织成网状
与裂缝的连通性	好到较好	网状缝合线与裂缝的连通性很好,孤立者好到较差	较差
易发育的岩性	含白云石砂屑团块的泥晶灰岩	均质泥晶灰岩或含白云石砂屑团块的泥晶灰岩	均质泥晶灰岩或含白云石砂屑团块泥晶灰岩
力学成因	上覆地层的重量形成的垂直静压力	上覆地层的重量形成的垂直静压力与水平或倾斜构造应力叠加形成的合力	水平或倾斜构造应力
含油性	一般含油或有沥青痕迹,但在泥晶灰岩团块内发育的纯压裂缝缝合线有的不含油或沥青	大部分含油或有沥青痕迹,但在泥晶灰岩团块内发育的纯压裂缝缝合线有的不含油或沥青	有时含油,有时不含油
油气开发意义	意义最大,因为其密度最大(占总缝合线的 75%以上),常常是含油的白云石砂屑团块的边界或切穿白云石砂屑团块,且易于与最为发育的倾斜裂缝和垂直裂缝相交,形成油气运移的初级网络	意义中等,因为其密度中等(占总缝合线的 20%),较易于与最为发育的倾斜裂缝和垂直裂缝相交,形成油气运移初级网络	意义最小,因为其密度最小(仅占总缝合线的 5%),且不易于与最为发育的垂直裂缝相交,难以形成油气运移网络

奥陶系碳酸盐岩中的缝合线的锯齿几乎均是直立的,充分表明塔河油田奥陶系碳酸盐岩总体上仅受到了来自于地层自身重力形成的垂直应力的作用,而由地壳构造运动形成的侧向挤压作用则相对较弱。而在其它区的中 2 井,奥陶系碳酸盐岩中的缝合线的锯齿均是斜歪的,其最小倾角可以小于 45°,充分表明其在形成过程中叠加了强烈的侧向应

力作用,进而表明受到了水平构造应力的作用。此外,再从裂缝的特点看,大多数为垂直或高角度剪切裂缝,且裂缝上的阶步多呈水平状,也表明了最大主应力以垂直地层为主,可能有点侧向偏移,稍微叠加了部分水平挤压。从岩芯缝合线的几何特点和组合关系上看,顺层缝合线和倾斜缝合线是贯穿在整个成岩过程中的,而直立缝合线则形成于后期的构造

变动,所以它们一般都切断顺层缝合线和倾斜缝合线(图版 I-8)。

3 石油地质意义

笔者等认为缝合线的石油地质意义有两点:一是缝合线分布广泛、是与油气基本储集单元——含油白云石砂屑团块(图版 II-1~7)连通性很好的油气运移通道;二是缝合线是压裂改造激活的优势破裂面(图版 II-8)。在塔河油田奥陶系碳酸盐岩中,作为油气储集空间和油气运移通道,缝合线有其得天独厚的优势,从目前已观察的 20 余口井的岩芯来看,可见的大量的石油储存于一种团块状泥晶灰岩中的(钙质、泥质)白云石砂屑团块(形态极不规则,平面上看上去如无定型的云团,暂将其称为“白云石砂屑团块”(图版 I-2 和图版 II-3~5)。图版 I-2 和图版 II-13~35)。上述图片中,黑色部分即为含油的白云石砂屑团块,砂屑颗粒的主要矿物成份为碳酸盐岩,大部份为晶形完好的白云石,粒度在 0.2~0.4 mm 之间(图版 II-1、2;6、7),部分具有典型的“雾心白边”结构。砂屑颗粒之间的孔隙或碳酸盐矿物之间的接触缝隙是良好的储集空间,这些储集空间非常细小,但可以被铸胶充填,表明了它们是一种有效储集空间。泥晶灰岩团块本身大部不含油(但好象含大量有机质,是一种很特殊的有机碳酸盐微粒,很可能是生油岩),除非发育了缝合线或裂缝。从岩芯上的白云石砂屑团块面积来看,有的占整个岩石的 50% 以上,且经常被石油充满(图版 II-3~5;图 3),所以,塔河油田奥陶系碳酸盐岩的原生储层本质上类似砂岩储层(除了缝洞以外,裂缝、溶洞

型油藏是一种次生油藏,是二次或三次运移的结果),而非碳酸盐岩储层。为什么渗透性实验这种储层又不象不像砂岩呢?关键是白云石砂屑团块的体积多在 1cm 见方,所以一般被致密的泥晶灰岩包围而难以显示出砂岩的渗透性特点,如果我们能把做渗透性实验的样品切割的充分小(小于一个白云石砂屑团块的直径),那么我们得到的结果将会截然不同。塔北下奥陶统露头也发育了这种白云石砂屑团块灰岩,打开新鲜面也有浓烈的油味,而其他纯灰岩则没有丝毫油味!从另外一个角度表明了白云石砂屑团块灰岩可能是塔河油田奥陶系油藏的原生基本储层。

观察表明,缝合线大多数是沿着泥晶灰岩团块与白云石砂屑团块的结合面发育的,白云石砂屑团块中的石油很容易沿着缝合线充注而被储集下来或运移出去(图版 II-1、2、7),但由于外部通道不畅,有的白云石砂屑团块中的石油便被保存下来了,成为了一种看似碳酸盐岩油藏,而实以砂屑为储集空间的特殊油藏(这种油藏的物性相当于混凝土:泥晶灰岩团块相当于混凝土中的砾石;而白云石砂屑团块相当于混凝土中的水泥和沙子混合物)。这种油藏的储集本质是颗粒间的孔隙,因此类似于碎屑岩油藏,但又与碎屑岩油藏不同,它们的石油储集在白云石砂屑团块中,但又被渗透性极差的泥晶灰岩团块分隔,而成为一种“死油”。所以,不能用碎屑岩油藏的采油工艺来开采这种油藏。只有当这些“死油”被压裂酸化造缝激活后才会被有效释放,成为一种类似碎屑岩油藏的可开采油藏。而压裂酸化的有效对象不是致密之极的泥晶灰岩团块,而是原先就已存

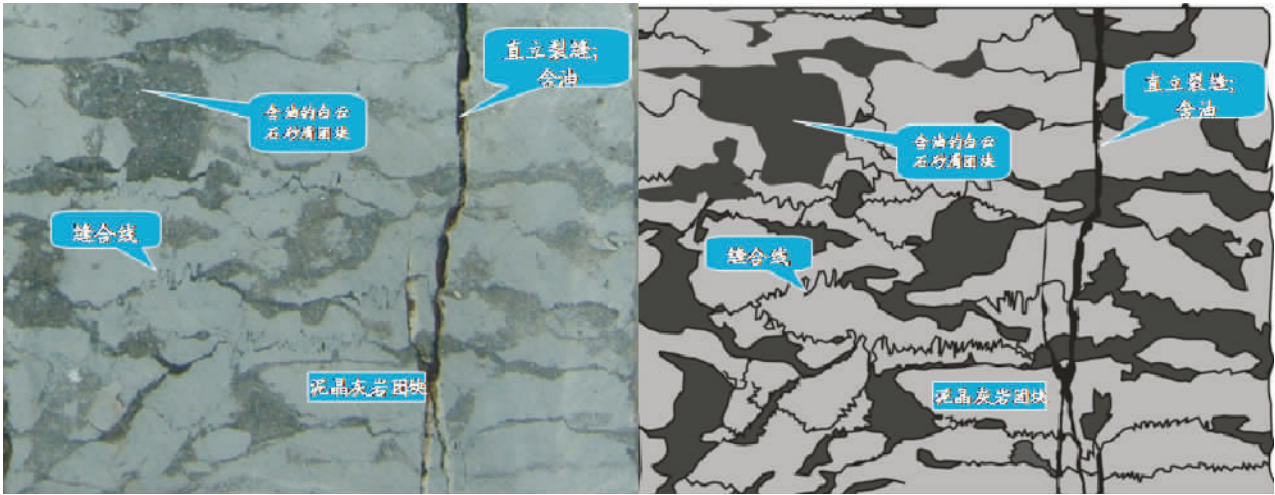


图 3 缝合线、裂缝与含油白云石砂屑团块的关系示意图(图中标尺 2cm)

Fig. 3 Sketch for the relationship of stylolite, fissions and oil-bearing dolomitic arenaceous gobbets(2 cm for the figure)

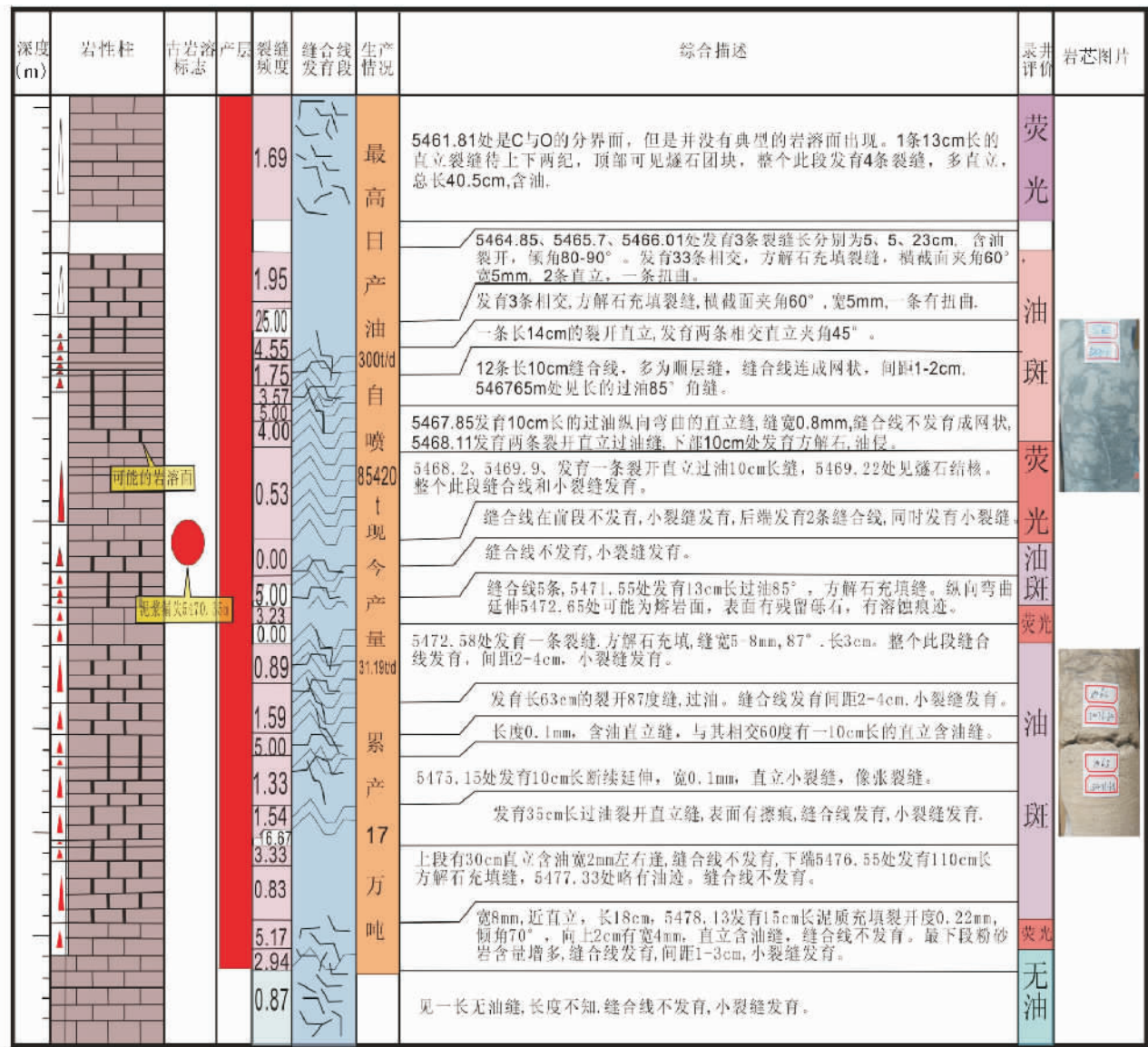


图 4 塔河油田 S65 井缝合线发育及其与石油关系图

Fig. 4 Sketch for the development of stylolite and its relationship with the oil in S65 well, Tahe oilfield

在、但被沥青化而堵死的缝合线(还有储油的白云石砂屑团块与泥晶灰岩团块的结合边界)。由于缝合线是一种原先就已存在的破裂面，所以是一个弱结构面，受力后极易沿此面剥开，在岩芯观察中发现极易沿缝合线(面)裂开。在压裂过程中，缝合线(面)极易被压开，成为输导油气的主要通道，可以大大改善碳酸盐岩储层的渗透性，以提高油气的采收率。在有的岩芯中可以看到有的缝合线(面)被压开，并被酸液腐蚀成一个光滑的溶蚀面，有点象岩溶面，充分表明了缝合线(面)确实是一种被易于剥裂的界面。所以，当缝合线被压裂酸化激活后，便成为了释放白云石砂屑团块中的石油的良好通道；再者，缝合

线与倾斜和垂直裂缝往往相切，织成了连通性很好的网状系统。所以，缝合线是油气的良好储集空间和运移通道。我们用图 3 帮助说明这一问题。

塔河油田的缝合线是一个复杂的系统，从其几何特点和组合关系看，多期多动力系统是其形成演化特点。

虽然以上涉及了一些缝合线与含油的白云石砂屑团块的讨论，但目前还难以解决的一个重要问题是：缝合线与含油的白云石砂屑团块之间究竟是什么关系，是因果关系(是先有白云石砂屑团块、还是先有缝合线?)、还是并存关系？解决这个问题不仅是缝合线研究的深化，更是白云石砂屑团块的成因

认识的深化,甚至还是油藏成藏机理认识的深化。所以,在将来一个紧迫的工作就是探讨缝合线的成因、尤其是它们与含油的白云石砂屑团块之间的成因关系。

综上所述,缝合线的油气意义与裂缝相比可能要大得多,主要表现在以下几个方面:一是缝合线与油层的关联性高于裂缝,也就是说含油的层位缝合线的发育程度高于裂缝,图 4;二是缝合线几乎均是“黑色”的,是一种沥青充填物,表明其曾过油(石油曾沿缝合线运移过),只因为轻烃组分已“蒸发”而留下了沥青残渣。而裂缝则大多数“干干净净”,表明其不含油,甚至从未有石油通过这些裂缝。三是缝合线与裂缝相比更加细密,而且网络化程度高于裂缝,也就是说缝合线的三维连通性好于裂缝,因此更易于成为石油的运移通道。为了便于说明问题,我们做一个以下比喻:白云石砂屑团块犹如动物的细胞,缝合线则如毛细血管,(大)裂缝相当大动脉,而溶洞则是“心脏”,这样一个四级存储单元构成了塔河油田复杂的储集系统(见图 3,但仅表示了前三级储集空间),非以往任何油田有先例! 所以从开发的角度很难选择一个现成的方案来做有效地工作。所以,今后应当重视塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝合线的研究。

最后需要着重说明的是,目前在地表条件下岩芯中的缝合线的物理化学性质不能代表其在地下 5500~6500m 深时的真实属性,所以无法根据地表

岩芯中缝合线的性状来推断其地下的真实行为——务必注意这一点!

致谢:中石化西北石油分公司提供了观察岩芯的方便,在此深表感谢!

参 考 文 献 / References

高岗. 2007. 缝合线对碳酸盐岩油气生排运聚的作用. 西安石油学院学报(自然科学版),15(4):32~34.
高岗,郝石生,王晖. 2000. 碳酸盐岩基质与缝合线的生烃和排烃特征. 中国科学(D辑),30(2):175~179.
李国蓉. 1997. 碳酸盐岩中缝合线的形成机制及其储集意义讨论. 矿物岩石,17(2):49~54.
刘德汉,史继阳. 1994. 高演化碳酸盐岩非常规评价方法探讨. 石油勘探与开发,21(3):113~115.
吕洪波. 2009. 鲁西古生代碳酸盐岩中的垂直缝合线及其在华北板块构造演化中的意义. 地质论评,55(4):473~483. 张博全,关振良,潘琳. 1995. 鄂尔多斯盆地碳酸盐岩的压实作用. 地球科学,20(3):299~305.
Finkel E A, Wilkinson B H. 1990. Stylolitization as Source of Cement in Mississippian Salem Limestone, West—Central Indiana. AAPG, 74 (2) : 174~186.
Leythaeuser D, Borromeo O, Mosca F, Primio R D, Schaefer M R G. 1995. Pressure solution in carbonate source rock s and its control on petroleum generation and migration. Marine and Petroleum Geology, 12 (7) : 717~733.
Primio R D, Leythaeuser D. 1994. Quantification of the effect of carbonate redistribution by pressure solution in organic-rich carbonates. Marine and Petroleum Geology, 12 (7) : 735~739.
Von Bergen D and Carozzi A V. 1990. Experimentally-simulated Stylolitic Porosity in Carbonate Rocks. AAPG, 74 (2) : 174~186.

Research of Stylolites in Ordovician Carbonate Reservoirs of the 4th Block, Tahe Oilfield ilfield, Tarim Basin

ZHONG Jianhua^{1,2)}, KONG Fanliang¹⁾, LI Yang³⁾, YUAN Xiangchun³⁾, GAO Yufei²⁾, LIANG Gang²⁾, Ahmatjan ABDURAHMAN²⁾, CHEN Xin²⁾, NIU Yongbin²⁾, WANG Peijun²⁾

1) Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640;

2) Earth Science and Information College, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061;

3) Institute of Exploration and Development, Sinopec, Beijing, 100825

Abstract: Tarim Basin is an important district in China’s oil and gas exploration and production, but so far, there is inadequate understanding of the carbonate fissure system of the Tahe oilfield, which has seriously impaired exploration and development of this oilfield. As we have stduied, the fissure system of the Tahe oilfield in its Ordovician carbonate reservoir is very complex. Basically there are two types; tectonic fissures, and stylolites. Many predecessors considered that the former is vital and often ignore the latter, whereas we think the latter is more important than the former. Stylolites are widely developed within the Ordovician carbonate reservoirs of the Tahe oilfield, and tectonic fissures can not be matched with the stylolites in terms of frequency or their relationship with oil. According to the relationship

between stylolites and bedding, stylolites in the Ordovician carbonate reservoirs of the Tahe oilfield can be divided into three kinds: bed-parallel stylolites, tilted stylolites, and vertical stylolites. These three kinds are associated and form complex network systems which constitute the primary internal hydrocarbon migration passages within the reservoir. At the same time, together with the fissures, they construct an effective hydrocarbon migration channel and a weak structural plane that can create favorable conditions for both hydrocarbon accumulation and subsequent development.

Key words: stylolite; hydrocarbon; Ordovician; Tahe Oil Field, Tarim Basin

图 版 说 明 / Explanation of Plates

图 版 I / Plate I

1. 水平缝合线。复式齿。岩芯直径约 65mm,此后相同。
 2. 水平缝合线。简单齿和复式齿。顺层分布。
 3. 水平缝合线。简单齿和复式齿。最上部的那条呈正弦曲线状;最下部的那条呈复式状。顺层分布。
 4. 水平缝合线。简单齿和复式齿。最上部的那条锯齿形态和规模有变化,显得比较复杂;中间的那条比较简单;而最下部的那条呈复式正弦曲线状。顺层分布。
 5. 水平缝合线。复式齿,中部的缝合线呈复式正弦曲线状。与高角度裂缝相交,构成了一个局部的、最简单的水平—垂直疏导系统。顺层分布。
 6. 倾斜缝合线。含饱和油。
 7. 复杂的缝合线组合。靠上部的简单缝合线和复杂缝合线组合成一个局部复杂的网络系统。
 8. 竖直缝合线与顺层缝合线和倾斜缝合线组成了一个复杂的局部缝合线网络系统。是油气的储集和运输的有利元素。
1. Horizontal stylolite. Complex teeth. The core diameter is about 65 mm, all the following are the same.
 2. Horizontal stylolite. Simple teeth and complex teeth. Distributed parallel to beddings.
 3. Horizontal stylolites. Simple teeth and complex teeth. The upmost one is sine-curve shaped; the bottom one is compound sine-curve shaped. Distributed parallel to beddings.
 4. Horizontal stylolites. Simple teeth and complex teeth. The upmost one is more complex, both the form and scale of the teeth are variational; the middle one is simple; the bottom one is complex sine-curve shaped. Distributed parallel to beddings.
 5. Horizontal stylolite. Complex teeth. The central stylolite was complex sine-curve shaped. Intersects with high-angle fissure, constituting a partial, the simplest level—vertical drainage system. Distributed parallel to beddings.
 6. Inclined stylolite. Saturated oils.
 7. Complex stylolite combinations. The simple and complex stylolites combine a partial complex network system.
 8. Vertical stylolites, horizontal stylolites, Inclined stylolites formed a complex partial network system, which is a favorable element for oil and gas reservoir and transport.

图 版 II / Plate II

1. 成熟的缝合线。复式。位于泥晶灰岩基质与白云石砂屑团块之间的结合面上,其中充填了沥青,是液态烃的残留物。白云石砂屑团块的微孔中含油,泥晶灰岩基质含大量有机质。透射光,×50 倍。
 2. 不成熟的缝合线。复式。粗细不均,连续性不好,位于泥晶灰岩基质与白云石砂屑团块之间的结合面上。白云石砂屑团块的微孔中含油。透射光,×50 倍。
 - 3~5. 含油白云石砂屑团块和不成熟的缝合线与成熟的缝合线。缝合线多发育于泥晶灰岩基质与白云石砂屑团块之间的结合面上。白云石砂屑团块含油,所以呈黑色。
 6. 开始发生白云石化的泥晶灰岩,在与未发生白云石化的泥晶灰岩之间形成了一条很好的缝合线,充填满了沥青,显示了缝合线是很好的储集空间。透射光,×50 倍。
 7. 白云石团块与泥晶灰岩团块。可见部分缝合线沿两者的接触边界发生,但直接进入到泥晶灰岩团块中,且被沥青充填,表明了缝合线是良好的储集空间。透射光,×50 倍。
 8. 沿缝合线压裂后形成的裂面。
1. Mature stylolite, complex, located between mudstone matrix and dolomitic arene gobbet, is filled with bitumen, which is residues of liquid hydrocarbon. The porous of dolomitic arene gobbets are filled with oil; mudstone matrix contains a lot of organic matter. Transmitted light, ×50-fold.
 2. Premature stylolite, complex, whose thickness is uneven, continuity is not good, located between mudstone matrix and dolomitic arene gobbet. The porous of dolomitic arene gobbets are filled with oil. Transmitted light, ×50-fold.
 - 3~5. Oil-bearing dolomitic arene gobbets, immature and mature stylolites. Most stylolites developed between mudstone matrix and dolomitic arene gobbet. Dolomitic arene gobbets are filled with oil, are black.
 6. A stylolite developed well between mudstones beginning dolomitization and non dolomitization, filled full of bitumen, showing the stylolite is a very good reservoir space. Transmitted light, ×50-fold.
 7. Some stylolitse developed between dolomitic arene gobbets and mudstone gobbets, and cut into mudstone gobbet, been filled with bitumen, which suggests that the stylolites are good reservoir space, ×50-fold.
 8. The ruptured surface along stylolite.

钟建华等:塔河油田四区奥陶系碳酸盐岩油藏中的缝合线的研究

图版 I



