

## 沉积环境对塔河油田六区奥陶系 碳酸盐岩储集空间的影响

毛 磊<sup>1</sup>, 钟建华<sup>1,2</sup>, 李 阳<sup>3</sup>, 袁向春<sup>4</sup>, 王有智<sup>5</sup>, 牛永斌<sup>6</sup>, 黄知娟<sup>7</sup>

(1 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院; 2 中国科学院广州地球化学研究所)

(3 中国石油化工股份有限公司; 4 中国石油化工股份有限公司勘探开发研究院)

(5 中国石油大庆油田勘探开发研究院; 6 河南理工大学资源环境学院; 7 中国石化西北油田分公司)

**摘 要** 依据岩性、岩石结构、沉积构造、剖面结构、古生物组合等标志分析认为,塔河油田六区奥陶系主要为碳酸盐岩台地相沉积环境,发育连续性较好的灰岩。溶蚀作用沿节理裂隙进行,形成的规模较大的岩溶管道是有利的储集空间。储层中均发育斑状白云石砂屑灰岩,白云石砂屑团块普遍含油。储层中白云石化作用是由所处的台地边缘的潮坪潟湖环境所决定,白云石化作用优化了碳酸盐岩储集性能,在方解石转化为白云石的过程中体积减小,形成大量的次生孔隙。储层中的裂缝和缝合线主要发育在均质泥微晶灰岩中,这种泥微晶灰岩主要形成在碳酸盐开阔台地低洼处的低能环境。均质泥微晶灰岩厚度大且裂缝发育,有利于发生岩溶作用。高角度的断层及裂缝的发育使得塔河油田奥陶系发育大量竖直溶洞,低角度裂缝及潜水面的变化使厚层泥微晶灰岩发生顺层溶蚀。发育的多套顺层大型溶洞成为塔河油田最重要的储集空间。

**关键词** 塔河油田; 奥陶系; 碳酸盐岩储层; 储集空间; 沉积环境; 白云石化作用

**中图分类号**: TE112.23

**文献标识码**: A

塔河油田是由三叠系、石炭系、奥陶系等多套不同性质的含油层系组成的油气田,主体是奥陶系碳酸盐岩缝洞型油气藏,主要的储集空间是不同期次、不同规模、不同方向的岩溶洞、缝、孔<sup>[1]</sup>。在以往的勘探开发中,对塔河油田缝洞型储层的认识多侧重在对岩溶作用形成的裂缝和溶洞上<sup>[2-4]</sup>,而对原生的岩性和沉积环境所造成的影响认识不足,因而难以从根本上客观地认定塔河油田奥陶系储集体的时空分布规律,进而影响了油田的深度勘探开发。为了塔河油田的增量上产,有必要查明奥陶系的沉积环境以及相关的问题。沉积环境决定了奥陶系碳酸盐岩储集体的岩石物性,进而影响和控制储集体内的原生孔隙和次生孔隙缝洞系统的发育,同时也控制了后期成岩过程中流体的活动对储层物性的改造。

本文以塔河油田六区为例,结合油田的钻采和地震资料,利用岩心及薄片观察、成像测井解释及数理统计等手段,对研究区沉积环境与岩性对碳酸盐

岩储集空间的影响进行探讨。

### 1 区域地质概况

塔河油田位于新疆维吾尔自治区库车县和轮台县境内,东北方向距轮台县城约 50 km,西北方向距库车县城约 70 km(图 1)。构造位置东靠草湖凹陷,西邻哈拉哈塘凹陷,南接顺托果勒隆起,北依阿克库勒凸起。奥陶系经历了加里东期、海西期、印支—燕山期及喜马拉雅期等多次构造运动的改造,其中以加里东中期和海西早期两次构造运动最为重要。加里东中期构造运动使塔里木盆地的性质改变,结束了塔河油田早古生代碳酸盐岩台地的发育。海西早期因构造抬升,深大断裂活动极强,对奥陶系碳酸盐岩的岩溶作用影响巨大。

油田钻井揭示,奥陶系发育下奥陶统蓬莱坝组,中—下奥陶统鹰山组,中奥陶统一间房组和上奥陶统恰尔巴克组、良里塔格组、桑塔木组。其中,下奥陶

收稿日期: 2013-07-16; 改回日期: 2013-08-15

本文受国家重点基础研究发展计划项目“碳酸盐岩缝洞型油藏缝洞单元形成机制及模式研究”(编号:2011CB101001;2006CB202400)、国家科技重大专项“溶洞型储集体内部结构模式及分布规律研究”(编号:2011ZX05014-002-002)和中国石油大学(华东)优秀博士学位论文培育计划项目资助

毛磊:女,1984年生,博士研究生。主要从事储层地质学研究。通讯地址:266580 山东省青岛市中国石油大学(华东)地球科学与技术学院

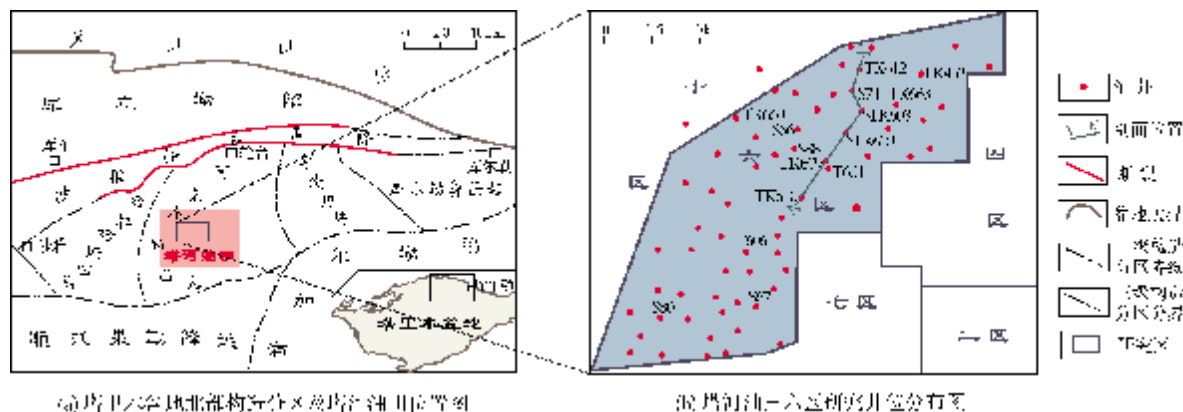


图 1 塔里木盆地塔河油田及研究区位置图

统在阿克库勒凸起上均有分布,但中—上奥陶统仅残留分布于凸起的边缘。研究区奥陶系油藏的产层主要为下奥陶统的鹰山组。发育的岩石类型主要有:砾屑灰岩、斑状白云石砂屑灰岩、生物碎屑灰岩、泥微晶灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩及岩溶岩(图 2)。

## 2 沉积环境对储集空间的影响

塔里木盆地奥陶系的沉积相类型,前人已作了较深入的研究<sup>[5-11]</sup>。本文针对塔河油田奥陶系的沉积特征对储层发育的影响,进行了较为细致的研究。众所周知,有利的沉积相带是优质储层发育的基础。从研究区的实际情况看,奥陶系碳酸盐岩的储集空间主要有孔隙、溶洞和裂缝三种基本类型。孔、洞、缝按不同的方式及规模组合成 8 种储集体类型:裂缝型、溶洞型、孔隙型、大型洞穴充填物孔隙型、孔隙-裂缝型、裂缝-溶洞型、孔隙-溶洞型、孔隙-裂缝-溶洞型。通常由单一储集空间构成的储集体很少出现,大多是复合储集空间组成的复杂储集体,其中以裂缝-溶洞型和孔隙-裂缝型储集体最为典型。下面从三个方面讨论沉积环境对储集空间的影响。

### 2.1 沉积环境对溶洞发育的影响

碳酸盐岩在地表沉积和埋藏过程中形成的洞穴、裂缝和溶蚀次生孔隙是重要的油气储集空间,同时也是优质碳酸盐岩储层的重要表征之一<sup>[12]</sup>。沉积环境控制岩性,而岩性是岩溶作用的物质基础,在控制与影响岩溶发育的各种因素中,可溶性岩石的矿物成分和结构是首要因素。前人大量的溶蚀模拟实

验<sup>[12-21]</sup>表明,碳酸盐岩不同的岩性特征对岩溶的发育强度具有较明显的影响。一般来说,岩性单一、质纯、性脆、裂缝发育的灰岩有利于岩溶的发育。

#### 2.1.1 岩石的矿物成分与岩溶作用关系

在裸露环境下,石灰岩岩溶化强度一般高于白云岩;这样,在石灰岩与白云岩互层发育的岩层中,由于石灰岩溶解速度快,地下水流及溶蚀作用越来越集中于石灰岩层中。这造成了两类岩石的差异性溶蚀越来越明显,在石灰岩层中常形成一系列层状溶洞,而在白云岩层中则难以形成大型层状溶洞。

不纯的碳酸盐岩中,难溶组分含量越高,岩溶也越不发育。泥质含量对溶蚀能力的影响规律表现为:当泥质含量小于 10% 时,对岩溶作用没有明显影响;但当泥质含量大于 10% 以后,随着泥质含量的增加,岩溶作用将逐渐减弱。总的来说,不同类型碳酸盐岩的比溶蚀度由大至小依次为:石灰岩>白云质灰岩>含泥质白云质灰岩>泥质灰岩>含灰质白云岩>含泥质灰质白云岩>白云岩>泥质白云岩<sup>[13]</sup>。

#### 2.1.2 岩石结构与岩溶作用关系

岩石的结构对岩溶发育的影响,主要取决于岩石矿物晶体的粗细及其结构类型。一般而言,矿物结晶颗粒愈粗,岩溶愈发育。这是因为不同结构的碳酸盐岩具有不同的孔隙度和粒间结合力,矿物的晶体越粗,相间组合的孔隙度就大,粒间的结合力就愈弱,有利于水-岩作用的空间形成,岩溶化程度也就愈高。

不同结构类型的岩石,溶蚀能力具有一定差异。理论上,矿物颗粒愈细,其总的孔隙度和溶蚀表面愈

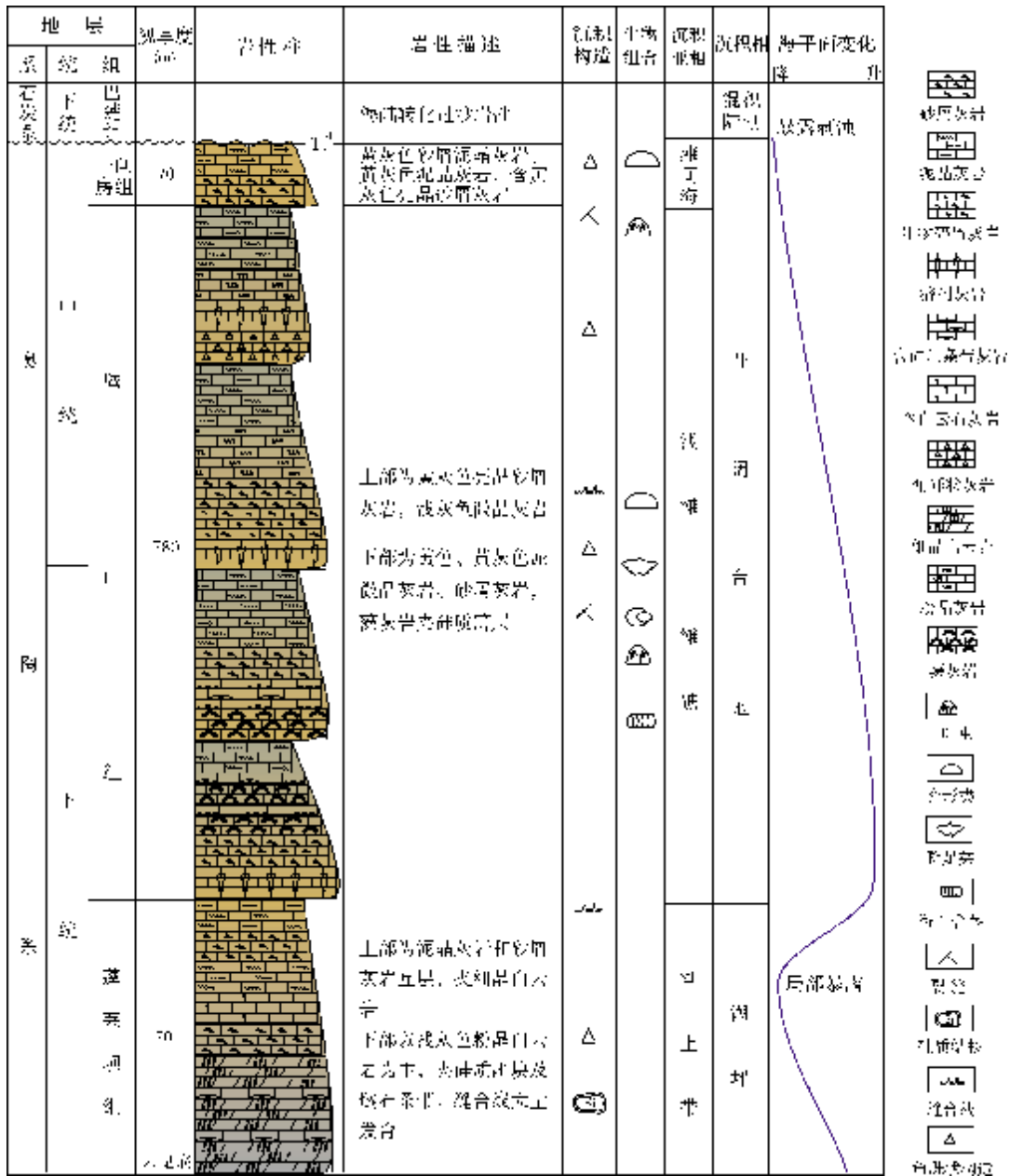


图2 塔河油田六区奥陶系地层综合柱状图

大,溶蚀能力越强。但矿物颗粒越细,总的孔隙度和岩石总溶蚀量虽大,却分散于大量微孔隙中,不利于岩溶集中发育;而粗粒的岩石总孔隙度虽小,却有利于岩溶集中发育。当岩石中白云石呈斑状分布时,会造成不均匀溶蚀。当方解石基质溶解时,斑块会产生机械破坏,加快岩体的整体溶蚀破坏。

白云岩的相对溶蚀速度小,但机械破坏量较大;相反,石灰岩的相对溶蚀速度大,机械破坏量却较小。

在相同的水溶液性质和温度条件下,影响化学溶解量的主要因素是岩石成分,影响物理破坏量的主要因素是岩石结构。

2.1.3 岩石可溶性差异直接影响岩溶发育

不同类型的岩石是不同沉积环境的产物,而岩石可溶性的好坏是决定其岩溶作用发生程度极为重要的内因之一。从目前对塔里木盆地奥陶系碳酸盐



岩研究来看,塔河地区在 $T_4$ 界面下发育有一间房组的石灰岩,其暴露岩溶的对象主要是石灰岩。而塔中地区缺失一间房组, $T_4$ 界面下发育的是鹰山组的白云质灰岩或灰质白云岩。这些以白云岩为主的岩石,在暴露条件下的溶解能力明显低于石灰岩,从而使得在塔河的奥陶系岩溶发育明显好于塔中地区。再者,从实际观察到的情况看,塔河油田的溶洞也主要发育在碳酸盐台地低能环境中富含有机质的泥晶灰岩中。这种灰岩的可溶性非常好,且纵横向上非常稳定,有利于溶洞在垂向和水平方向上发育。

在塔北奥陶系柯坪—巴楚露头区,可以明显见到古溶洞和裂缝更易在均质的中厚层灰岩中发育,如目前发现的最大单体溶洞——硫磺沟溶洞,就是发育在一套浅灰色的中厚层灰岩中的,此外在五道班三号溶洞也是如此。

## 2.2 沉积环境对碳酸盐岩裂缝发育的影响

### 2.2.1 沉积环境控制岩性的发育,而岩性又控制裂缝的发育

国外学者对沉积相与裂缝的关系做过深入研究,发现裂缝的发育与沉积相密切相关。在意大利的 Umbria - Marche Apennines 碳酸盐岩储层中,从潮下带到潮上带,裂缝发育程度逐渐变弱<sup>[22]</sup>。通过对塔河六区取心井的岩心观察发现,裂缝发育受岩性控制明显。一般来说,在同一个构造单元、同一个构造应力场,均质的有机泥晶灰岩有利于裂缝的发育,而非均质的白云石砂屑团块灰岩不利于构造裂缝的发育,但有利于缝合线发育。

图3 FMI图像显示为S74井(5 475~5 490 m井段)发育一套块状地层,为开阔台地相,岩性主要为泥微晶灰岩,裂缝发育。在研究区鹰山组(5 463~5 750 m),

上段均质的泥微晶灰岩最为发育,大部分为致密的含有机质的泥晶,少部分为直径在细砂级的球粒,被亮晶强烈胶结,岩石同样非常致密。

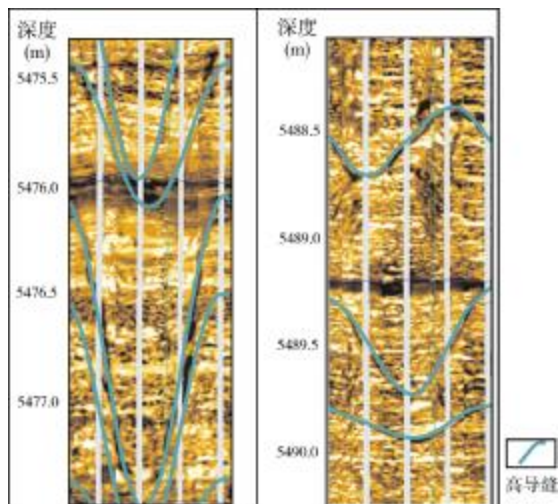


图3 塔河油田六区S74井鹰山组地层成像测井裂缝解释图

泥球粒的微岩石学特点与致密的泥晶灰岩基本一样,主要发育于开阔台地相内部的高能的(浪基面)环境。在显微镜下观察,泥晶灰岩表现为内部呈均匀的褐色斑片或褐色团片或泥球粒,其间混夹少量方解石微粒或亮晶(图4a)。

以 S74 井为例,对其鹰山组碳酸盐岩地层中的裂缝发育情况进行了定量统计,结果发现,在厚度为71 m的致密泥晶灰岩段(5 475~5 546 m)中,发育斜交缝约 39 条;在厚度 72 m 的白云石砂屑灰岩段(5 546~5 618 m),发育斜交缝约 12 条。这一事实有力地说明构造裂缝的发育与岩性密切相关:均质的泥晶灰岩中,裂缝发育;白云石砂屑灰岩中,裂缝不发育,但缝合线发育(图 4b、4c)。

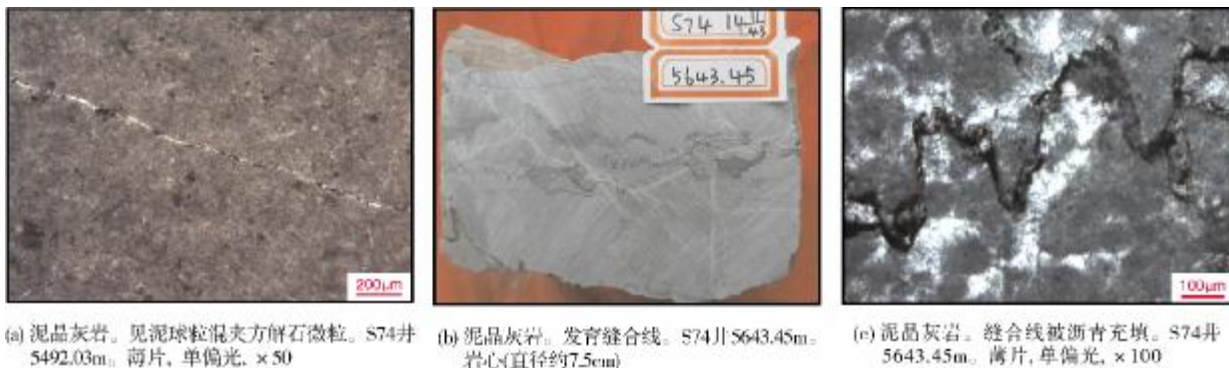


图4 塔河油田六区S74井鹰山组岩心及其显微镜下特征

2.2.2 裂缝数量和产状影响溶洞的规模和形态

裂缝,不只是油气运移和聚集的重要通道和储集空间,而且还是岩溶或溶洞发育的有利场所<sup>[23]</sup>。虽然构造格局的形成控制了后期岩溶地貌的分区,但构造断裂及其派生的次级断层乃至一些微裂缝的发育,都对岩溶或溶洞的发育有重要的控制作用。

岩溶的发育与裂缝有很好的相关性。在下奥陶统T<sub>4</sub>不整合面下,裂缝与溶孔具伴生发育的特点,裂缝发育强度越大,岩溶发育越好,且高角度裂缝较发育的地区,溶蚀孔洞也较发育。这充分说明了裂缝发育产状对于溶蚀孔洞的发育具有明显的控制作用。其形成机理,主要是由于在不整合面形成时期,碳酸盐岩发生暴露,接受大气淡水淋滤和风化作用,导致其下伏地层中发生岩溶作用。

高角度裂缝的存在,为大气淡水的垂直下渗提供了通道,从而扩大了垂直渗流溶蚀孔洞发育带的厚度,同时也增强了岩溶发育的强度。因此在不整合面下,高角度裂缝较发育的地区往往易形成较好的竖直溶洞(落水洞或天坑),如在塔河油田的地震剖面上可以见到大量的竖直“串珠”,这些“串珠”可能就是由大量高角度裂缝(或者高角度、垂直的断层)控制形成的竖直溶洞(图5)。图5对比了地震反射的“串珠”状构造与生产井累计产油量的关系,显示TK629井在地震剖面上没有明显的“串珠”构造,产油量也相对较低。这说明溶洞和裂缝对塔河油田的产量有重要影响。

通过对塔河地区大量钻井地层中裂缝发育情况的统计,发现奥陶系的裂缝复杂多样。裂缝的产状、性质、充填情况、开启程度,在不同的井与不同的层段均有差异。统计数据表明:高角度裂缝(倾角在50°~90°)、垂直裂缝(倾角近似90°)的数量较多,可高达75%以上,低角度裂缝的数量在20%左右。由于水平-低角度裂缝具有数量少、规模小的特点,因此长期以来并未引起足够的重视。

但是,低角度裂缝的发育对于储层内部水平溶洞的发育同样具有影响和控制,尤其是对下奥陶统以白云岩为主的内幕型储层而言,影响更为重要。中—深埋藏条件下,储层内部流体沿低角度裂缝的流动,扩大了储层的横向溶蚀范围,因此,加强碳酸盐岩低角度裂缝发育情况的精细解释,对于寻找埋藏岩溶型内幕储层也具有重要的现实意义。

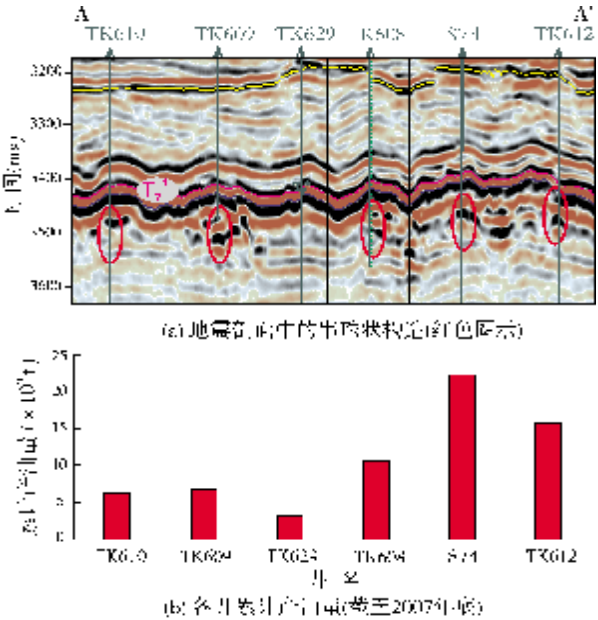


图5 塔河油田六区地震剖面中的串珠状构造与各井累计产油量关系图  
A—A'剖面位置见图1

2.3 沉积环境对碳酸盐岩储层孔隙发育的影响

沉积环境对碳酸盐岩储层孔隙发育的影响,主要表现为沉积环境对白云石化作用的影响。在国际上,沉积环境对碳酸盐岩储层物性的影响一直受到重视<sup>[24]</sup>。国外的碳酸盐岩储层的物性相对很好,如阿曼的碳酸盐岩储层,其孔隙度在12%~35%,渗透率最好可达数百毫达西<sup>[25]</sup>。从国外的碳酸盐岩油藏来看,70%以上的油气来自于浅海高能环境<sup>[26]</sup>。塔河油田奥陶系碳酸盐岩的原生、次生孔隙型储层,也多发育在浅海高能沉积环境(颗粒滩、鲕粒滩坝、生物礁等)以及易于发生白云石化作用的沉积环境(潮上带、蒸发潟湖)。高能环境下形成的颗粒灰岩,表面冲刷比较干净,基质含量低,在压实过程中比泥质灰岩更难于被压实,有利于原生孔隙的发育。

塔河二区的颗粒滩相生物灰岩及颗粒灰岩较发育,而在塔河六区主要发育碳酸盐岩台地相的泥微晶灰岩、浅滩的砂屑灰岩及潮坪相白云石砂屑灰岩。泥微晶灰岩的储集物性很差,原生孔隙及次生孔隙均不发育(图4a、4b),而白云石砂屑灰岩,颗粒粒级相当于细砂,次生溶蚀孔隙非常发育,并且含油,说明它是非常有价值的储集空间。



对塔河六区进行岩心观察发现,S66、S67、S74、S80、S88、T433、T601、T606等几乎全取心的井,其岩心中都含有黄灰色斑状砂屑泥晶灰岩,并且见大量的石油储存于斑状砂屑团块中(图6a)。这种砂屑团块在中一下奥陶统鹰山组广泛分布,厚度巨大,最厚可达200m。岩心上表现为不规则斑状或绸带状分布,

砂屑面积占岩心总表面积的30%左右,且贴近砂屑团块周围缝合线极为发育(图6b)。在对岩心薄片鉴定后认为,砂屑主要矿物为白云石,显微镜下白云石为四方菱形,有微弱的“雾心白边”结构,可见大量的晶间孔和晶内孔。白云石砂屑团块直径在1~2cm,白云石晶形非常好,面孔率估计在5%~10%(图6c)。

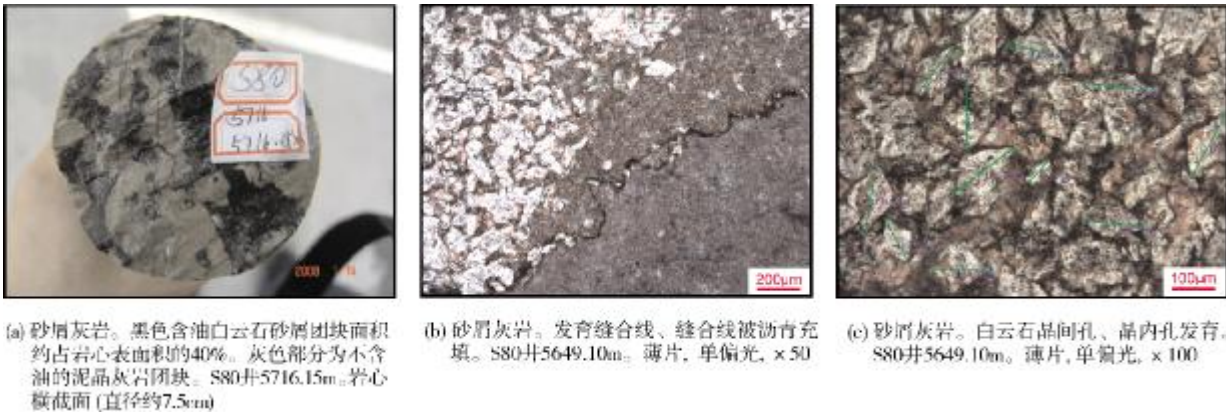


图 6 塔河油田六区斑状白云石砂屑灰岩岩心及其显微镜下特征

对S80井白云石砂屑团块进行了细致的微观研究,测得的434个数据点的白云石颗粒对角线长度,最小值为140μm,最大值为570μm,主要集中在250~400μm区间内,相当于细砂级(图7)。从白云石的菱形最大对角线看,其分布没有优选性。对S80井白云石内部的溶蚀孔直径进行了统计分析,测得970个数据点,发现白云石砂屑晶间、晶内孔隙长度:最小值5.46μm,最大值67.81μm,主要集中在10~30μm区间内(图8),是石油的最末端储集空间(图6)。塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层中的相当一部分石油就是储集在这种微孔中的,这一特点在今后应当引起重视。

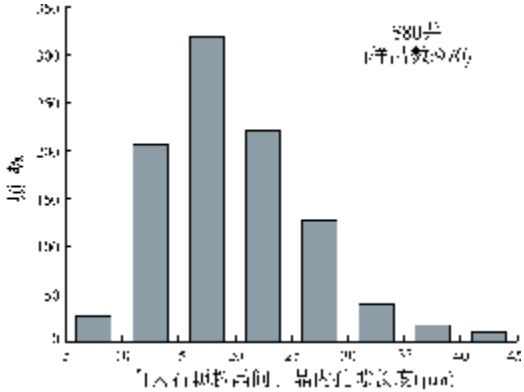


图8 塔河油田六区S80井白云石砂屑团块中的晶内微孔与晶间微孔统计

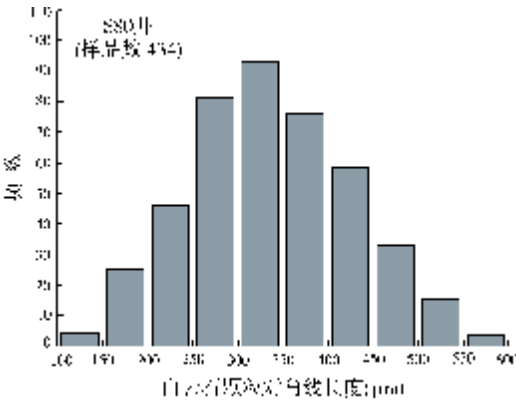


图7 塔河油田六区S80井白云石砂屑团块中的白云石晶体粒径分布统计

岩心观察表明,纯净的泥晶灰岩不含油,只有白云石团块与泥晶灰岩团块的“混合岩”才含油(图4a, 4b)。在新西兰的Taranaki盆地第三系碳酸盐岩油藏中也有这种类型的“混合岩”<sup>[27]</sup>。所以白云石化作用在塔河油田奥陶纪碳酸盐岩油藏中的作用不能低估。

白云石化实质上是Mg<sup>2+</sup>取代Ca<sup>2+</sup>的结果。由于Mg<sup>2+</sup>半径(0.066 nm)小于Ca<sup>2+</sup>的半径(0.099 nm),因而可使岩石体积缩小和孔隙度增加。理论计算表明<sup>[28]</sup>,如果方解石全部被白云石交代,可使岩石总孔隙度增加6%~13%。所以白云石砂屑团块储集空间的成因与白云石化密切相关,实际上与白云石伴生的缝

合线或其它微缝的成因也可能与白云石化有关。

塔河油田白云石化作用的原始沉积相带为下奥陶统发育的台缘潮坪潟湖,泥晶灰岩快速堆积使台地不断向盆地加积,同时海平面的升降变化,形成多个旋回。高水位期暴露易于遭受大气淡水的溶蚀而形成孔洞,暴露期在蒸发环境中发生准同生白云石化作用,同时砂屑灰岩受大气淡水和海水共同作用易发生混合白云石化作用。海平面上升时期,可继续发生泥晶再沉积,使厚度加大。因此,海平面的频繁升降,一方面为白云石化作用提供动力,同时也为巨厚的石灰岩沉积提供了条件<sup>[29]</sup>。

塔河油田斑状白云石砂屑灰岩的薄片在偏光显微镜下可观察到白云石晶体的形成(图6d),有从泥晶方解石到部分被白云石交代的方解石,以及方解石被完全交代的白云石。造成这种特殊现象的成因也复杂多样。针对研究区白云石砂屑灰岩这种特殊的岩石类型,我们探讨其成因认为,主要为多阶段形成,受沉积环境和溶蚀作用两个影响因素控制:早期白云石化作用,即早期的准同生白云石化作用或混合白云石化作用;晚期白云石化作用,为埋藏白云石化作用或热液白云石化作用。早期形成的白云岩是后期白云石化的基础,早期的产物在埋藏过程中经过再调整和重结晶作用,白云石化不断加强,逐渐形成有序度较高的埋藏白云岩。斑状构造的成因也分为两个阶段:第一阶段,出现白云石交代方解石的差异交代现象;第二阶段,埋藏溶蚀作用或岩浆热液溶蚀作用形成晶内和晶间溶孔。

总之,无论是沉积过程中还是(深埋)成岩过程中形成的白云岩,其成因根本上还是与沉积环境有关,因为沉积环境决定了白云石化作用所需要的 $Mg^{2+}$ 的数量,只有在相对特殊的蒸发和半蒸发环境才有可能导致 $Mg^{2+}$ 的浓缩富集,当然也不能排除生物富集和岩浆岩侵入时携带 $Mg^{2+}$ 所造成的影响。但总的来说,沉积环境对白云石化起到至关重要的作用。

### 3 结论

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层是一个非常复杂的复合型储层,以缝洞型的储集空间为主,但是微观孔隙型的也具有重要价值。沉积环境和岩性对储层储集性能的影响和控制不可低估,但由于埋藏深度大和后期改造强烈,给我们揭示储集空间的原生影响带来了困难,而这并不意味着我们可以放弃。

(1)研究区奥陶系碳酸盐岩的储集空间多以孔缝洞为主,是一种以后生改造为主的储层。但是,沉积环境以及岩性对储集物性也具有重要影响和控制。

(2)有利的沉积相带是优质储层发育的基础。研究区的优质碳酸盐岩孔隙型储层,多发育在高能浅海沉积环境的浅滩及易于发生白云石化的潮坪潟湖环境。

(3)研究区溶洞与裂缝有很好的相关性。碳酸盐台地低能环境下形成的有机泥晶灰岩又是裂缝发育的有利岩石,这种岩石厚度较大、岩性均一,相对易于溶解,所以也是溶洞型或缝洞型储集空间发育的良好“母”岩。高角度断层及裂缝的发育导致了塔河油田大量竖直溶洞的发育,成为有利的石油聚集溶洞,是油气勘探的有利对象。不甚发育的低角度缝,对于寻找内幕型的埋藏岩溶储层同样具有重要的现实意义。

(4)白云石砂屑灰岩是微观孔隙型储集体,白云石砂屑团块形态复杂,成因受多种因素影响,蒸发环境控制早期的准同生和混合白云石化,成岩埋藏阶段又受后期白云石交代和次生溶蚀的影响。其中大量发育了溶蚀型微孔,包括晶间孔和晶内孔,其大小在数十微米,多被石油或沥青充填,是塔河油田今后应予以重视的储集体。

致谢:国家科技部提供了资助,中国石化西北油田分公司勘探开发研究院提供了观察岩心和查阅资料的方便,在此一并致谢!

#### 参考文献

- [1] 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120-132.
- [2] 漆立新, 云露. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2010, 21(1): 1-12.
- [3] 张希明, 朱建国, 李宗宇, 等. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油气藏的特征及缝洞单元划分[J]. 海相油气地质, 2007, 12(1): 21-24.
- [4] 康玉柱. 中国海相油气田勘探实例之四: 塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 31-38.
- [5] 刘文, 李永宏, 张涛, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐沉积相及地层学研究[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 104-109.
- [6] 高志前, 王慧民, 樊太亮, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系沉积相沉积体系及其组合序列[J]. 新疆石油天然气, 2005, 1(1): 30-36.
- [7] 马明侠, 陈新军, 张学恒. 塔里木盆地塔中地区寒武—奥陶系沉积特征及构造控制[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 549-553.

- [8] 张月巧,贾进斗,靳久强,等.塔东地区寒武—奥陶系沉积相与沉积演化模式[J].天然气地球科学,2007,18(2):229-234.
- [9] 邓小江,李国蓉,徐国强,等.塔河油田南部中奥陶统一间房组沉积相精细划分[J].石油学报,2008,29(1):35-40.
- [10] 胡九珍,冉启贵,刘树根,等.塔里木盆地东部地区寒武系—奥陶系沉积相分析[J].岩性油气藏,2009,21(2):70-75.
- [11] 刘嘉庆,李忠,黄君凑,等.塔里木盆地良里塔格组沉积环境差异及其对碳酸盐储层发育的制约[J].中国科学:地球科学,2012,42(12):1802-1816.
- [12] 余敏,朱吟,沈安江,等.塔中北斜坡鹰山组碳酸盐岩溶蚀的模拟实验研究[J].中国岩溶,2012,31(3):234-236.
- [13] 何宇彬,金玉璋,李康.碳酸盐岩溶蚀机理研究[J].中国岩溶,1984,(2):12-16.
- [14] 杨俊杰,黄思静,张文正,等.表生和埋藏成岩作用的温压条件下不同组成碳酸盐岩溶蚀成岩过程的实验模拟[J].沉积学报,1995,13(4):49-54.
- [15] 杨俊杰,张文正,黄思静,等.埋藏成岩作用的温压条件下,白云岩溶解过程的实验模拟研究[J].沉积学报,1995,13(3):83-88.
- [16] 崔振昂,鲍征宇,张天付,等.埋藏条件下碳酸盐岩溶解动力学实验研究[J].石油天然气学报,2007,29(3):204-207.
- [17] 蒋小琼,王恕一,范明,等.埋藏成岩环境碳酸盐岩溶蚀作用模拟实验研究[J].石油实验地质,2008,30(6):643-646.
- [18] 刘琦,卢耀如,张凤峨,等.动水压力作用下碳酸盐岩溶蚀作用模拟实验研究[J].岩土力学,2010,31(1):96-101.
- [19] 邵冬梅.不同水流速度下温度对奥陶系碳酸盐岩溶蚀速度的影响[J].煤田地质与勘探,2012,40(3):62-65.
- [20] 夏日元,唐健生,罗伟权,等.油气田古岩溶与深岩溶研究新进展[J].中国岩溶,2001,(1):75-77.
- [21] 唐健生,夏日元,邹胜章,等.塔里木盆地西北缘野外溶蚀实验研究[J].中国岩溶,2004,23(3):234-237.
- [22] Naccio D D,Boncio P, Cirilli S,et al. Role of mechanical stratigraphy on fracture development in carbonate reservoirs: Insights from outcropping shallow water carbonates in the Umbria-Marche Apennines, Italy[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2005, 148(1/2):98-115.
- [23] Taghavi A A, Mørk A, Emadi M A. Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality of carbonate reservoir from southwest Iran [J]. Petroleum Geoscience, 2006, 12(2): 115-126.
- [24] Borkhataria R T A, Pipping K J C P. An unusual, muddy, epeiric carbonate reservoir: The Lower Muschelkalk (Middle Triassic) of the Netherlands[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(1): 61-89.
- [25] Borgomano J, Masse J P, Maskiry S A, et al. The lower Aptian Shuaiba carbonate outcrops in Jebel Akhdar, northern Oman: Impact on static modeling for Shuaiba petroleum reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(9): 1513-1529.
- [26] 赵雪凤,朱光有,刘钦甫,等.深部海相碳酸盐岩储层孔隙发育的主控因素研究[J].天然气地球科学,2007,18(4):514-521.
- [27] Steven D H, Nelson C S, Kamp P J J. Burial dolomitization in a non-tropical carbonate petroleum reservoir: The Oligocene Tikorangi Formation, Taranaki Basin, New Zealand[J]. Sedimentary Geology, 2004, 172(1/2):117-138.
- [28] 强子同.碳酸盐岩储层地质学[M].东营:石油大学出版社,1998:18-48.
- [29] 郑和荣,吴茂炳,邬兴威,等.塔里木盆地地下古生界白云岩储层勘探前景[J].石油学报,2007,28(2):1-8.

编辑:赵国宪

## Effect of Sedimentary Environment on Ordovician Carbonate Reservoir Space in Block-6 of Tahe Oil Field, Tarim Basin

Mao Cui, Zhong Jianhua, Li Yang, Yuan Xiangchun,  
Wang Youzhi, Niu Yongbin, Huang Zhijuan

**Abstract:** Based on the analysis of lithology, rock structure, sedimentary structure, profile texture, and paleontological combination data from Block-6 of Tahe Oil Field, it is concluded that the Ordovician reservoirs consist of continuously developing limestone that deposited in the environment of carbonate platform facies. The large scale of karst pipelines that formed by dissolution along the joints or fissures are the favorable reservoir space. Porphyritic dolomitic calcarenite develops in reservoirs and generally contains oil. The dolomitization in the reservoirs is determined by the specific tidal flat-lagoon environment in the platform margin in this located area. The dolomitization improves the reservoir property and produces large amounts of secondary pores due to decreasing rock volume during the transformation from calcite to dolomite. Fractures and stylolites mainly develop in homogeneous micritic and microcrystalline limestones which are generally formed in the low-energetic low-laying lands of carbonate open platform. Thick-bedded homogeneous micritic and microcrystalline limestones with fractures is favorable to karstification. Existence of high angular faults and fractures promoted developing a lot of vertical karst caves while existence of low angular fractures and changing phreatic surfaces affected the migration of underground rivers which made these limestones corrode along the beds and shapes several sets of large-scaled bedding caves. These bedding caves became the most important reservoir space in Tahe Oil Field.

**Key words:** Ordovician; Carbonate reservoir; Sedimentary environment; Dolomitization; Tahe Oil Field; Tarim Basin  
Mao Cui: female, Doctor degree in progress at school of Geosciences, China University of Petroleum. Add: Qindao, Shandong, 266580, China