

# 塔里木盆地沙井子断裂带油气地质条件及勘探潜力

杨连刚<sup>1</sup>, 熊冉<sup>2</sup>, 康婷婷<sup>1</sup>, 罗新生<sup>1</sup>, 张荣虎<sup>2</sup>, 夏伟杰<sup>1</sup>

1 中国石油塔里木油田公司; 2 中国石油杭州地质研究院

**摘要** 通过钻井、地震和野外露头等资料的综合分析,根据构造特征及派生断层的差异性,将塔里木盆地沙井子断裂带划分为东段、西段、中段及阿恰段等4段。沙井子断裂带具有加里东晚期开始发育、海西期—印支期—燕山期多期活动、喜马拉雅期定型的演化特征,发育构造、地层、潜山等多种类型的圈闭,是油气运聚的有利区。研究表明:①下寒武统玉尔吐斯组和中奥陶统萨萨尔干组2套优质烃源岩为研究区油气的主要来源;②寒武系盐下丘滩相白云岩、志留系柯坪塔格组潮坪—滨岸复合沉积相的潮汐水道砂岩及滨岸砂坝、三叠系俄霍布拉克组扇三角洲及克拉玛依组辫状河三角洲砂岩为研究区的3套主要储层;③中寒武统厚层膏盐岩、志留系塔塔埃尔塔组泥岩夹层及依木干他乌组厚层泥岩、三叠系俄霍布拉克组及克拉玛依组泥岩夹层为研究区的3套主要盖层;④油气充注呈现多期性、以晚期为主的特点。建立了志留系、三叠系“构造主控、多期充注、晚期成藏”和寒武系盐下“构造主控、连续充注”2种油气成藏模式,指出沙井子断裂带下盘的志留系和三叠系、上盘阿恰段的寒武系盐下为有利勘探区。

**关键词** 构造演化; 储盖组合; 油气源对比; 成藏模式; 沙井子断裂带; 塔里木盆地

**中图分类号**: TE122.1

**文献标识码**: A

## 0 前言

2019年,部署于沙井子断裂带南部的京能柯探1井在寒武系盐下白云岩层系获得了高产工业气流,引起了人们对沙井子断裂带油气勘探潜力的重视。沙井子断裂带的勘探经历了较长的时期,目前已在多个层系获得了不同程度的勘探发现。例如,2005年位于沙井子断裂北部的沙南1井在三叠系砂砾岩中钻遇可动轻质油<sup>[1]</sup>;2017年位于温宿凸起的新温地1井、新温地2井在新近系吉迪克组均获得高产工业油流<sup>[2]</sup>;2018年位于沙井子断裂中部的新苏地1在志留系柯坪塔格组砂岩中获工业气流<sup>[3]</sup>。多个层系的勘探发现表明沙井子断裂带具备油气成藏的基本地质条件。前人对于沙井子断裂带多层系油气地质条件开展了很多卓有成效的工作,如张惠良等<sup>[4]</sup>、郑剑锋等<sup>[5]</sup>通过柯坪地区露头解剖,明确了志留系柯坪塔格组、寒武系肖尔布拉克组的沉积特征及储层类型;张君峰等<sup>[6]</sup>揭示了沙井子断裂

带志留系发育大型潮控三角洲体系形成的储盖组合,沙井子断裂及伴生断裂有效沟通寒武系—奥陶系烃源岩,以及油气在志留系构造圈闭中有序分布、叠合连片等基本的油气地质条件。

总体而言,前人的研究虽然取得了一定的成效,但是缺乏对沙井子断裂带多层系油气地质条件和勘探潜力的整体评价,相关的文献报道也比较集中于单个层系的研究,这制约了下一步勘探的选区选带及勘探部署。本文基于最新的钻井资料、新采集的地震资料和野外露头资料,开展了沙井子断裂带构造特征及演化分析,志留系、寒武系盐下、三叠系等多层系沉积储层及油气成藏规律等多方面的研究,综合评价断裂带的油气地质条件及勘探潜力,以期对沙井子断裂带的勘探部署提供地质依据。

## 1 区域地质背景

沙井子断裂带位于塔里木盆地温宿凸起东南缘,构成了温宿凸起的东南边界,分隔了阿瓦提凹

收稿日期:2022-09-14; 改回日期:2023-04-05

本文受国家重点研发计划“塔里木盆地盐下超深层油气分布规律及有利勘探区带评价”(编号:2019YFC0605505)、中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术项目“海相碳酸盐岩成藏理论与勘探技术研究”(编号:2021DJ05)联合资助

**第一作者**: 杨连刚, 硕士研究生, 工程师, 现主要从事地震解释及油气地质综合研究工作。通信地址: 841000 新疆维吾尔自治区库尔勒市石化大道26号; E-mail: 171905167@qq.com

**通信作者**: 熊冉, 博士, 高级工程师, 主要从事塔里木盆地碳酸盐岩石油地质综合研究。通信地址: 310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: xiongran2003@163.com

陷与温宿凸起(图1a)。断裂带平面上呈NE—SW走向,东北端抵达喀拉玉尔滚断裂,西南端接柯坪塔格断裂并与阿恰断裂交汇。沙井子断裂带上钻井资料较少,西北部断裂带上盘受复杂构造运动的影响,出露地层以古生界为主,露头资料丰富,而且与盆地内具有较好的可对比性。前人对沙井子断裂带的地质、沉积、构造特征的研究取得了一些认识,初步明确了地层序列、沉积体系及构造演化特征<sup>[6-7]</sup>。断裂带地层发育较全(图1b):前震旦系阿克苏群以变质岩为主;震旦系—奥陶系以碳酸盐台地沉积为主;志

留系—第四系则以碎屑岩沉积为主,多发育三角洲、滨岸沉积体系。沙井子断裂经历了“早期形成、多期活动、晚期定型”的构造演化过程,形成现今复杂的构造面貌。沙井子断裂在塔里木盆地及其隆坳格局的形成演化过程中起着重要作用,属于塔里木盆地的一级断裂。沙井子断裂带由沙井子主断裂及其派生断裂组成:主断裂规模较大,长约180 km;派生断裂则规模相对较小,走向各不相同,仅在局部地区发育。沙井子断裂带多期活动及复杂的断裂样式,造就了该区发育多层系多种类型的圈闭。

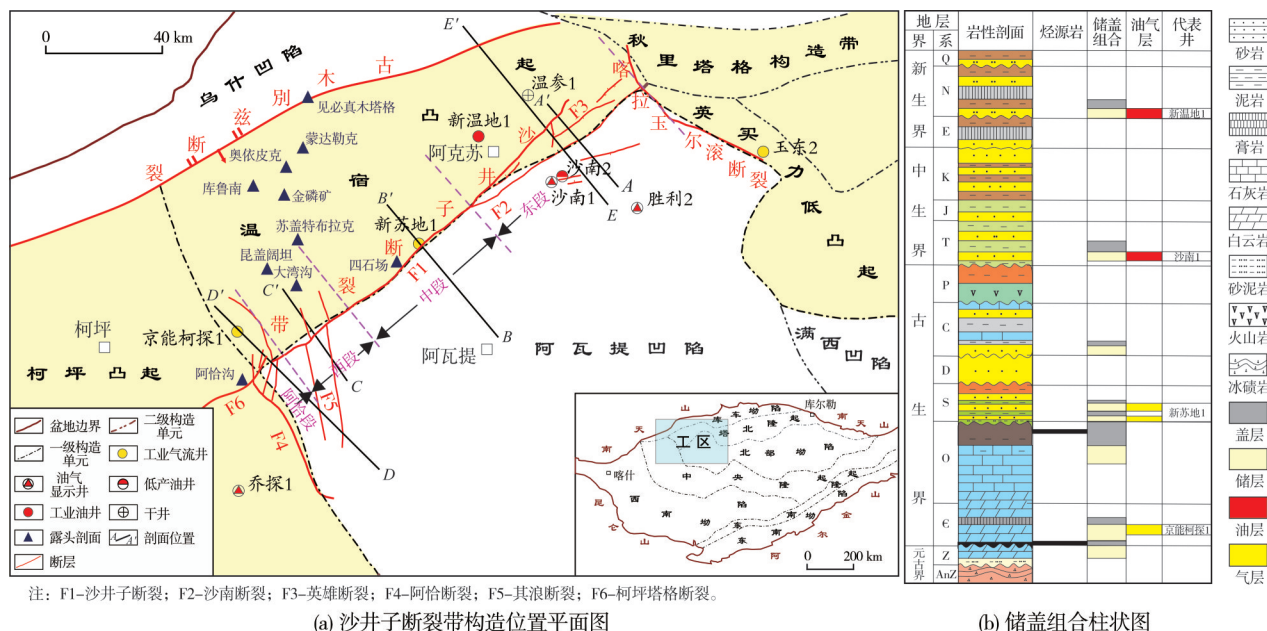


图1 塔里木盆地沙井子断裂带构造位置及储盖组合综合柱状图

Fig. 1 Tectonic location and comprehensive column of Shajingzi fault zone in Tarim Basin

## 2 构造特征及演化

沙井子断裂是一个大型基底卷入型冲断断裂,不同部位的构造特征差异大,根据派生断裂、上盘地层发育情况,可以将其分为东段、中段、西段及阿恰段(图1a)。东段可以看到完整的楔状冲断构造,派生断裂(沙南断裂、英雄断裂等)发育,平面上表现为羽状特征;由于强烈的构造挤压导致地层从阿瓦提凹陷往温宿凸起方向逐渐剥蚀尖灭,志留系在沙井子断裂下盘剥蚀尖灭,在断裂上盘温宿凸起主体区新近系直接披覆在前寒武系之上,发育前寒武系潜山构造;下盘地层受挤压发生褶皱弯曲并形成派生断裂,派生断裂(英雄断裂、沙南断裂)走向与主断裂较相近,向下切穿基底,向上断至古近系,在

三叠系发育局部构造(图2a)。中段为单一的沙井子主断裂,不发育派生断裂,断裂上盘地层同东段基本一致,因构造抬升形成单面山,发育与构造相关的地层圈闭(图2b)。西段发育与沙井子断裂呈“X”形相交的一组断裂(其浪断裂),该组背冲断裂在平面上呈近S—N走向,向下断至基底,向上断至古近系,在沙井子断裂下盘发育断背斜构造,后续由于沙井子断裂的晚期活动被切割;沙井子断裂上盘地层因构造抬升作用比东段弱,地层发育相对齐全(图2c)。阿恰段位于沙井子断裂南端,它与南部另一条断裂(阿恰断裂)在此交汇,两组断裂平面上表现为“T”形;阿恰断裂为近S—N走向的基底卷入型冲断构造,在其上盘发育一系列的寒武系盐下冲断构造(图2d)。



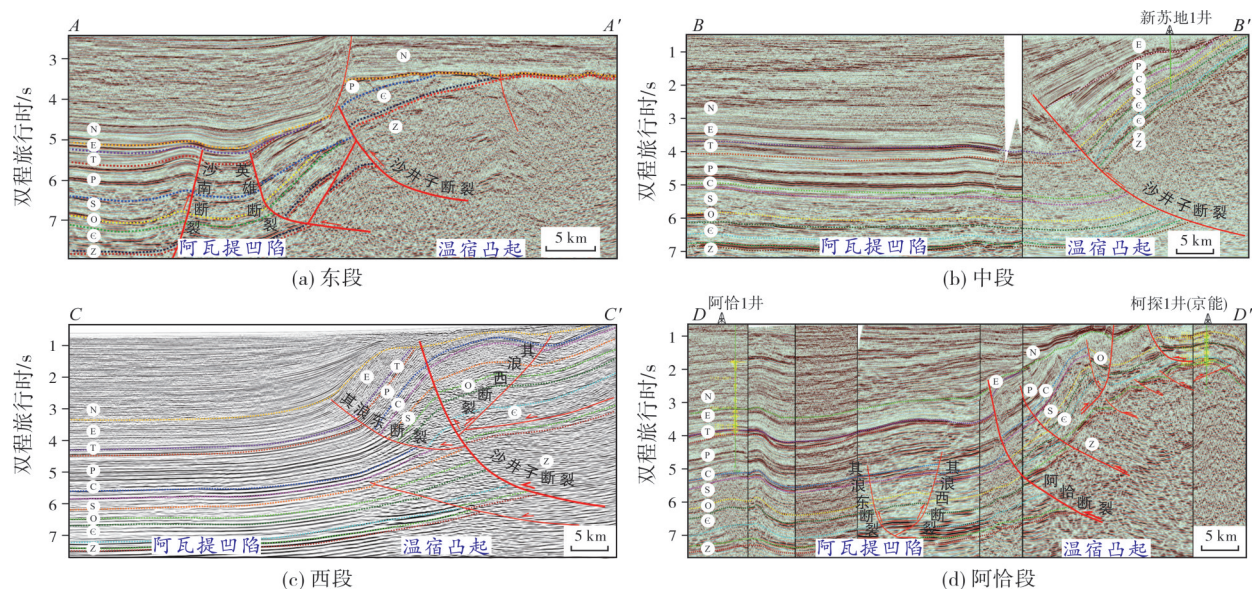


图2 塔里木盆地沙井子断裂带分段特征典型地震剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 Typical seismic sections showing fault segmentation characteristics of Shajingzi fault zone in Tarim Basin (section position is shown in Fig. 1a)

构造演化研究表明沙井子断裂带具有发育早、演化时间长,多期活动、晚期定型的特点(图3)。受塔里木盆地南缘构造挤压作用的影响,沙井子主断裂在加里东晚期开始发育,自西向东冲断,此时断裂上盘的温宿凸起开始隆升(图3a);海西期,沙井子断裂继续活动,冲断作用进一步加剧(图3b);二叠纪—三叠纪初,受南天山碰撞造山作用影响,沙井子断裂向阿瓦提凹陷继续冲断,且派生出沙南断裂、其浪断裂,此时形成断裂上盘温宿凸起的基本形态(图3c);三叠纪—白垩纪,受拉萨地块与古亚洲大陆碰撞造山作用的影响,沙井子断裂和沙南断裂进一步冲断,造成温宿凸起中生界的缺失(图3d);古近纪,沙井子断裂继续活动,进一步导致了温宿凸起核部古近系的抬升与剥蚀,此时阿恰断裂开始形成,发生自西往东大规模的冲断,进一步改造沙井子断裂上盘的地层(图3e);新近纪,受喜马拉雅造山的远程效应作用,沙井子断裂发生第3次较大规模冲断,并基本定型(图3f)。可以看出,沙井子断裂向下断至基底,沟通深部的油气源,从加里东晚期开始发育,一直处于构造斜坡位置,是油气运移长期有利的指向区。

### 3 基本油气地质条件

#### 3.1 烃源岩

沙井子断裂带紧邻阿瓦提生烃凹陷,断裂带上

盘柯坪地区大量的露头剖面可直接观测到寒武系和奥陶系烃源岩。前人对该区的烃源岩做了大量的地球化学特征、沉积环境、演化特征及分布预测等方面的研究工作<sup>[8-11]</sup>,认为阿瓦提凹陷主要发育下寒武统玉尔吐斯组、中奥陶统萨尔干组、上奥陶统印干组3套海相烃源岩。其中,下寒武统玉尔吐斯组黑色泥页岩是塔里木盆地最优质的烃源岩, $TOC$ 平均值为5.5%<sup>[12]</sup>。由于钻遇该套烃源岩的钻井资料较少,熊冉等<sup>[13]</sup>通过建立地震-沉积模型刻画了其分布,认为玉尔吐斯组烃源岩在北部坳陷和柯坪地区广泛分布,厚度为10~55 m。中奥陶统萨尔干组和上奥陶统印干组烃源岩均以黑色泥岩为主,其中萨尔干组烃源岩 $TOC$ 平均值为2.88%,为一套优质烃源岩;而印干组烃源岩 $TOC$ 平均值仅为0.65%,有机质丰度低,为较差烃源岩<sup>[14]</sup>。下寒武统玉尔吐斯组、中奥陶统萨尔干组这2套烃源岩在沙井子断裂及其周缘地区均有分布,因此研究区烃源岩条件优越<sup>[15]</sup>。

#### 3.2 储层

钻探资料证实沙井子断裂带发育3套储层:寒武系盐下白云岩、下志留统柯坪塔格组砂岩、下三叠统俄霍布拉克组与克拉玛依组砂岩。

##### 3.2.1 寒武系盐下白云岩储层

寒武系盐下白云岩储层又可进一步细分为2套:

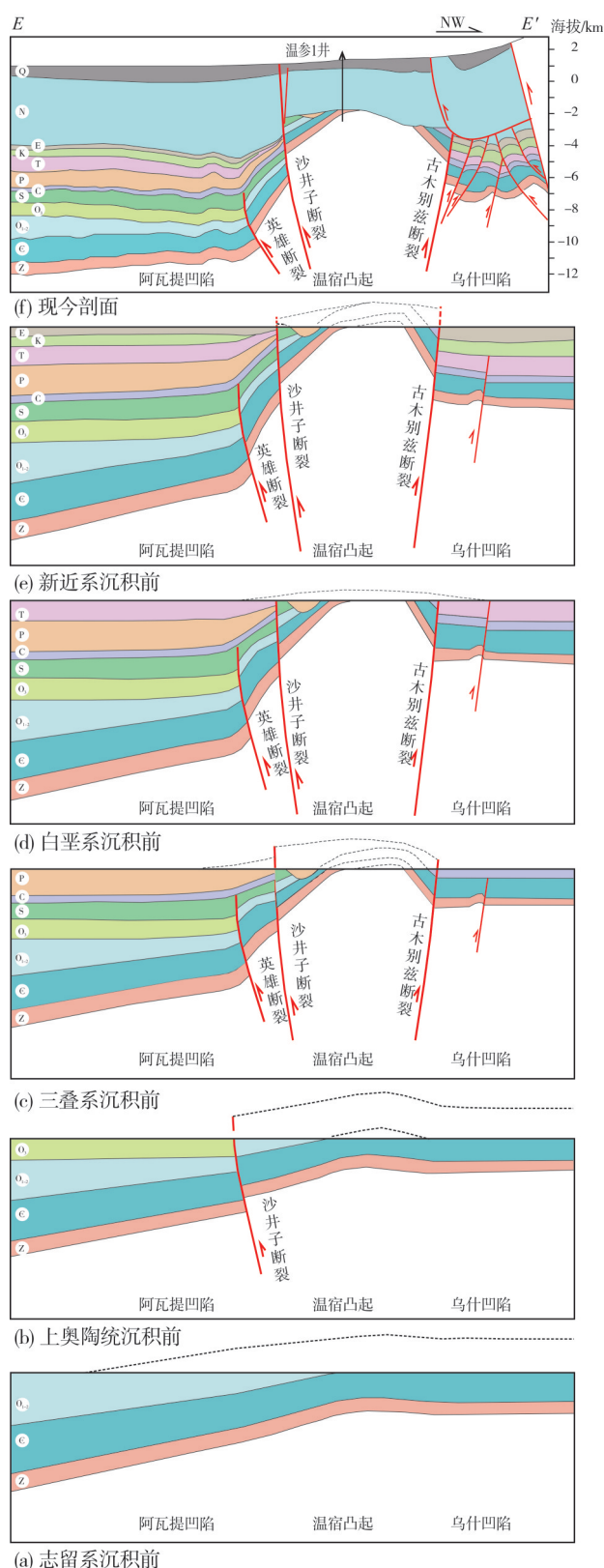


图3 塔里木盆地沙井子断裂带构造演化剖面  
(剖面位置见图1a)

Fig. 3 Structural evolution section of Shajingzi fault zone in Tarim Basin  
(section position is shown in Fig. 1a)

肖尔布拉克组丘滩储层与吾松格尔组台内滩储层。前人的研究表明塔里木盆地塔西台地寒武系肖尔布拉克组主要发育碳酸盐缓坡沉积<sup>[16]</sup>。本文依据野外露头、钻井、地震等资料的综合研究,揭示早寒武世温宿地区发育古陆—水下低隆,如在温宿凸起区奥依皮克露头剖面的肖尔布拉克组底部出现白云质石英岩屑砂岩,指示为近陆沉积环境<sup>[17]</sup>。另外,根据二维地震与三维地震资料综合解释的下寒武统厚度变化,揭示早寒武世温宿—柯坪地区为隆—坳相间的古地理格局,受早寒武世发育的温宿低隆(即现今温宿凸起)的控制,在低隆围斜部位,肖尔布拉克组广泛发育内缓坡丘滩相沉积(图4a),地质地震综合预测丘滩的分布面积可达 $6.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。温宿低隆西侧的大量露头剖面揭示肖尔布拉克组发育内缓坡凝块石、藻砂屑滩、叠层石、核形石、泡沫绵层石等构成的丘滩相沉积,由温宿凸起往阿瓦提凹陷区,内缓坡逐步过渡为中—外缓坡沉积。吾松格尔组则以碳酸盐台地潮坪相沉积为主,在温宿—柯坪地区以云泥坪为主,岩性主要为泥粉晶白云岩,局部地区发育台内滩(图4b)。从野外露头实测来看,吾松格尔组台内滩总体较薄,单层厚度一般为0.5~1.2 m,岩性以颗粒白云岩为主。

露头和钻井资料表明肖尔布拉克组储层的储集空间以溶蚀孔洞为主,厚度为13~64 m,实测孔隙度介于2.2%~8.4%,在柯坪地区广泛分布。吾松格尔组储层的储集空间以晶间微溶孔、粒间溶孔为主,厚度为8~51 m,孔隙度为2.13%~5.15%,仅在柯坪地区局部分布。总体上看,肖尔布拉克组丘滩发育规模更大,形成的储层品质更好,是柯坪地区寒武系盐下的主要储层。

### 3.2.2 下志留统柯坪塔格组砂岩储层

前人的研究表明塔里木盆地中西部地区志留系柯坪塔格组为潮坪、滨岸沉积体系<sup>[17-18]</sup>。本文依据露头地层接触关系、地震资料综合解释成果及构造演化特征分析,认为温宿地区发育的志留系沉积前古隆起控制了柯坪塔格组沉积特征。温宿—塔北西部在柯坪塔格组沉积期发育柯坪西与阿瓦提凹陷两个沉积中心,柯坪塔格组由沉积中心往温宿凸起超覆尖灭,往巴楚地区剥蚀尖灭。环温宿凸起发育潮控三角洲和滨岸复合沉积体系。柯坪地区的露头及钻井资料揭示:柯坪塔格组上段(简称柯上段)以滨岸沉积为主(图5a),大湾沟剖面、新苏



参1井及新苏地1井的柯上段发育低角度冲洗层理细砂岩,为典型的前滨浅滩沉积;柯下段以潮控三角洲沉积为主(图5b),如本次研究新发现阿恰沟露

头剖面的柯下段底部发育含硅质砾石层、具槽状交错层理的中粗砂岩及滞留沉积物,为典型的潮汐水道沉积。

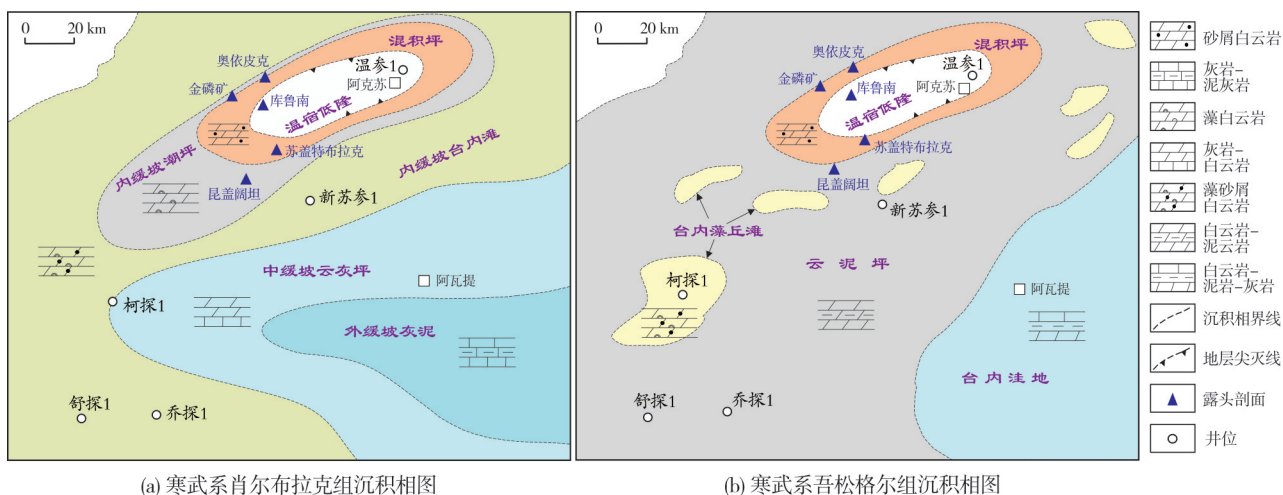


图4 塔里木盆地沙井子断裂带及周缘寒武系肖布拉克组和吾松格尔组沉积相平面图

Fig. 4 Sedimentary facies maps of Cambrian Xiaerbulake Formation and Wusonggeer Formation in Shajingzi fault zone and its periphery, Tarim Basin

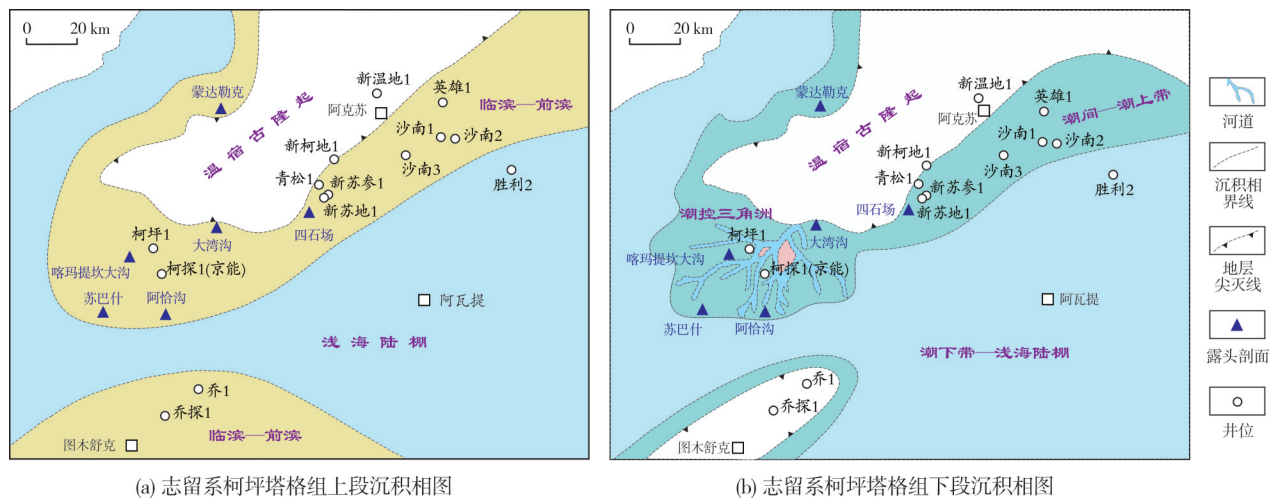


图5 塔里木盆地沙井子断裂带及周缘志留系柯坪塔格组沉积相平面图

Fig. 5 Sedimentary facies maps of the Silurian Kepingtag Formation in Shajingzi fault zone and its periphery, Tarim Basin

整体上看,柯坪塔格组砂体厚度大:柯上段主要发育滨海—前滨砂体,厚度为30~50 m;柯下段主要发育潮汐水道砂体,厚度为50~100 m。岩石学分析表明砂岩储层的成分成熟度高,石英含量相对较高,以岩屑石英砂岩为主,其次为岩屑砂岩;储层物性中等,露头及岩心的实测孔隙度为2%~6%;储集空间类型以粒间孔、粒间溶孔为主,并发育裂缝。储层的发育主要受控于岩相及构造挤压,沙井子断裂上盘的露头及钻井资料揭示强烈的构造挤压导致储层颗粒呈线-凹接触,压实致密,但构造裂缝十

分发育,有利于提高储层的渗透率。通过测井资料计算,位于沙井子断裂上盘的新苏地1井、京能柯探1井等井的最大古应力为85~138 MPa,明显高于塔北地区的最大古应力(如英买2井的为50 MPa)。通过对比分析库车地区和柴达木盆地古应力控储模式<sup>[19-20]</sup>,认为沙井子断裂下盘柯坪塔格组储层受构造挤压作用的影响小,储层相对较好。

### 3.2.3 下三叠统俄霍布拉克组与克拉玛依组砂岩储层

依据钻井资料分析,沙井子断裂带及周缘三叠系

发育俄霍布拉克组和克拉玛依组2套砂岩:俄霍布拉克组以扇三角洲沉积为主(图6a),发育扇三角洲前缘分流河道砂,厚度为70~180 m;克拉玛依组以辫状河三角洲沉积为主(图6b),发育辫状河三角洲前缘分流

河道砂,厚度为50~150 m。储层岩石类型以岩屑砂岩为主,储集空间以粒间孔为主,其次为粒内溶孔,解释的储层物性较好,平均孔隙度为13.3%,平均渗透率为 $40.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,总体为中孔中渗储层。

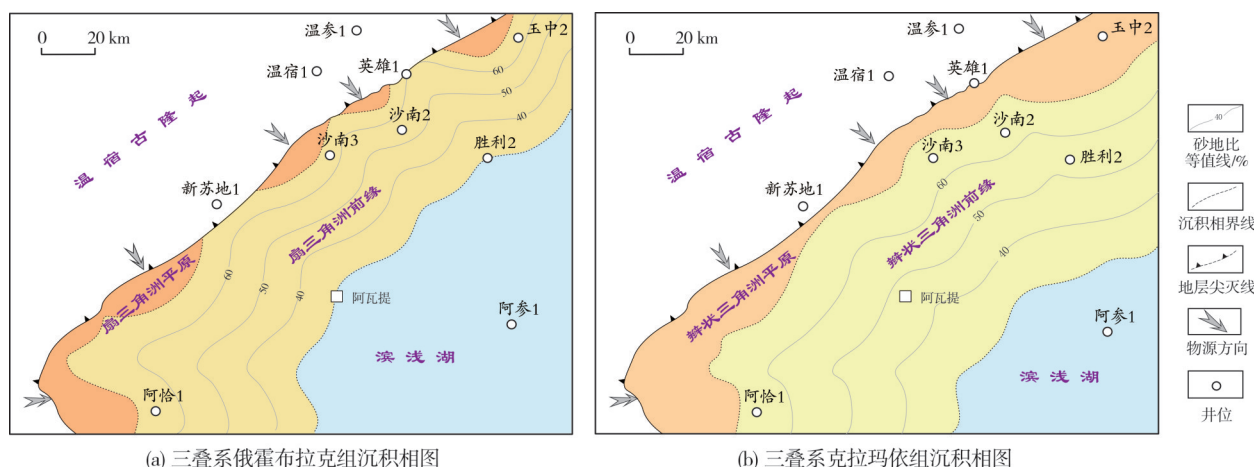


图6 塔里木盆地沙井子断裂带及周缘三叠系俄霍布拉克组和克拉玛依组沉积相平面图

Fig. 6 Sedimentary facies maps of the Triassic Ohuobulake Formation and Karamay Formation in Shajingzi fault zone and its periphery, Tarim Basin

### 3.3 盖层

塔里木盆地塔西台地中寒武统发育大面积的膏盐岩,是一套区域性的优质盖层<sup>[21]</sup>。这套膏盐岩盖层在柯坪地区同样也有分布,据钻井和露头资料统计研究区的膏盐岩厚度可达180~270 m,与寒武系盐下白云岩能形成良好的储盖组合。对于下志留统柯坪塔格组而言,上覆的塔塔埃尔塔组和依木干他乌组均发育厚层泥岩,是柯坪塔格组的有效盖层。据钻井和露头资料统计,沙井子断裂带塔塔埃尔塔组下段泥岩厚度约为50~100 m,柯坪塔格组中段为海泛时期形成的一套厚约60~150 m的泥岩,分别与柯上段、柯下段形成良好的储盖组合。下三叠统俄霍布拉克组和克拉玛依组的水下分流河道间湾形成的泥岩与水下分流河道砂形成内部的砂泥岩储盖组合。总体而言,沙井子断裂带及周缘3套储层均发育与之匹配的有效盖层,形成了良好的含油气储盖组合。

## 4 油气源分析与成藏模式

### 4.1 油气源分析

通过对沙井子断裂带新苏地1井志留系油气,新苏参1井油浸砂岩,沙南1井、沙南2井原油的天然地球化学特征分析及油气源对比分析,明确沙

井子断裂带的油气来自于阿瓦提凹陷深部的下寒武统玉尔吐斯组烃源岩和下奥陶统萨尔干组烃源岩,这2套烃源岩都能供烃并成藏。

新苏地1井下志留统柯坪塔格组的天然气组分以烃类气体为主,含量为93.71%~93.86%。烃类气体中甲烷含量高(91.72%~92.91%),干燥系数( $C_1/\Sigma C_{1-5}$ )为97.84%~99.05%,属于成熟—高成熟干气;非烃类气体以 $N_2$ 和 $CO_2$ 为主,其中 $N_2$ 含量为6.18%~6.24%, $CO_2$ 含量为0.01%~0.11%,具有中含 $N_2$ 、低含 $CO_2$ 、不含 $H_2S$ 的特征。同时,新苏地1井的柯上段也出了少量原油,通过原油的饱和烃质谱对比分析(图7a),原油中的三环萜烷含量明显高于五环三环类化合物,三环萜烷类化合物以 $C_{21}$ 、 $C_{23}$ 三环萜烷为主峰,反映以海相细菌等微生物来源为主,同时 $C_{21}$ 、 $C_{23}$ 三环萜烷峰值较为接近,与寒武系的烃源岩特征相近。

通过建立柯坪地区露头与轮南、塔中、塔东等地区钻井的寒武系和奥陶系烃源岩生物标志物综合判识图版进行油源对比(图8),认为新苏地1井下志留统柯坪塔格组原油的伽马蜡烷含量相对较高, $C_{28}$ 甾烷含量高,与寒武系烃源岩相似,推测为寒武系来源。而新苏参1井志留系油浸砂岩 $C_{21}$ 三环萜烷含量明显低于 $C_{23}$ 三环萜烷,与奥陶系烃源岩特征相近,三环萜烷含量与五环三环类化合物分布正常,甲基菲参数估算原油成熟度 $R_o$ 为0.61%,处于成

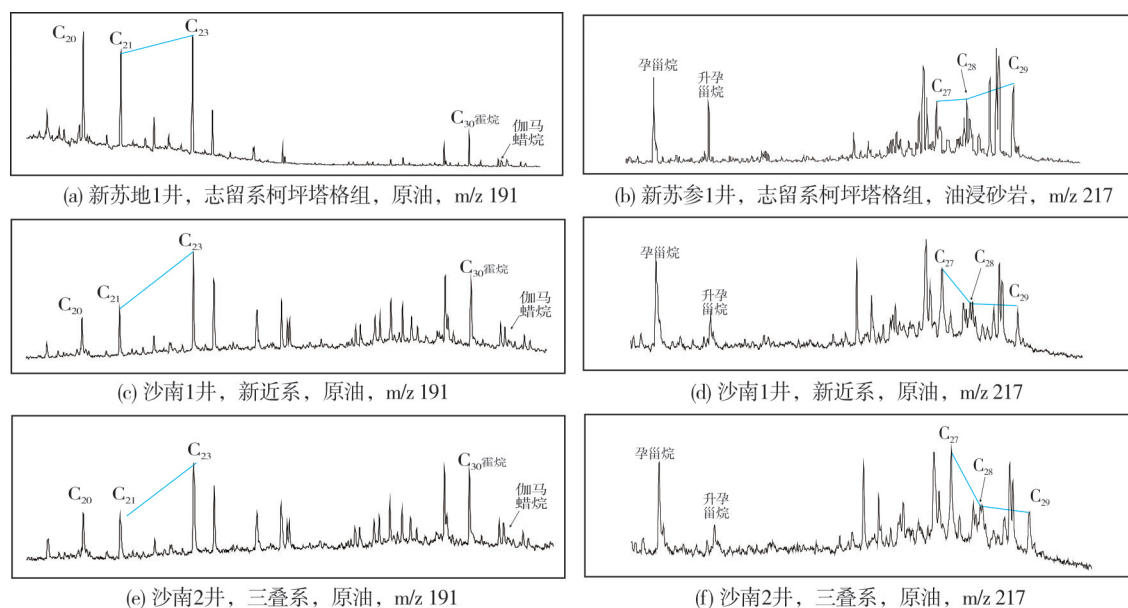
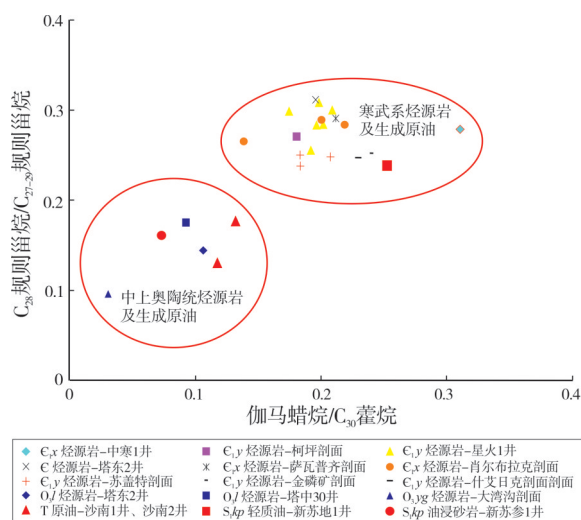


图7 塔里木盆地沙井子断裂带原油饱和烃质谱图

Fig. 7 Mass chromatogram of saturated hydrocarbons in crude oils from Shajingzi fault zone, Tarim Basin

熟阶段;原油中 $C_{28}$ 甾烷含量(图7b)、伽马蜡烷含量相对低,判识与中上奥陶统烃源岩相近,认为属于奥陶系来源(图8)。沙南1井新近系原油(图7c,7d)和沙南2井三叠系原油(图7e,7f)三环萜烷含量与五环三萜类化合物相当,处于正常成熟阶段; $C_{21}$ 三环萜烷含量明显低于 $C_{23}$ 三环萜烷,与奥陶系烃源岩特征相近;原油中 $C_{28}$ 甾烷含量、伽马蜡烷含量相对低, $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$ 甾烷含量呈现反“L”形,综合分析认为以奥陶系来源为主(图8)。



注: C-寒武系; C<sub>x</sub>-下寒武统肖尔布拉克组; C<sub>y</sub>-下寒武统玉尔吐斯组;  
O/-上奥陶统良里塔格组; O<sub>3yg</sub>-上奥陶统印干组; S<sub>kp</sub>-下志留统柯坪塔格组。

图8 塔里木盆地沙井子断裂带及周缘油源判识图版  
Fig. 8 Oil source identification chart of Shajingzi fault zone and its periphery in Tarim Basin

## 4.2 油气成藏期次与成藏模式

前人对塔西北地区下寒武统玉尔吐斯组烃源岩和下奥陶统萨尔干组烃源岩的生烃演化做了大量的工作<sup>[9,12]</sup>,普遍认为玉尔吐斯组烃源岩自奥陶纪开始生烃,晚加里东期一早海西期达到生油高峰,喜马拉雅期达到生气高峰,现今为高一过成熟阶段;萨尔干组烃源岩自早海西期开始生烃,晚海西一早印支期达到生油高峰,现今为成熟—过成熟阶段。对新苏地1井志留系捕获的2期流体包裹体进行分析,第1期黄白色油包裹体均一温度主要分布在75~80℃之间,派生盐水包裹体均一温度主要分布在85~90℃之间,认为第1期(晚海西期)油为正常油;第2期蓝白色油包裹体均一温度主要分布在75~80℃之间,派生盐水包裹体均一温度主要分布在95~100℃之间,认为第2期(印支期)油为轻质油(凝析油),包裹体大量发育(应为主充注期)。捕获的两期油气包裹体与现今气藏及储层中的大量黑褐色沥青不匹配,反映早期充注的轻质油藏曾被破坏形成稠油沥青(燕山期),喜马拉雅期天然气再次充注形成现今的气藏,但由于充注时间晚、温度低,未捕获到气体包裹体。总体上看,沙井子断裂带的油气充注表现为多期充注(晚海西期、印支期、喜马拉雅期)、以晚期(喜马拉雅期)为主的特点。



从圈闭类型来看,沙井子断裂带具有明显的分段性特点,构造特征差异导致在多层系形成多种类型的圈闭,这已被勘探实践所证实。如东段断裂上盘温宿凸起区已发现前寒武系的潜山型圈闭,东段断裂下盘沙南构造上钻探的沙南1井揭示三叠系发育断背斜圈闭;中段钻探的新苏地1井证实志留系发育构造-地层圈闭;阿恰段钻探的京能柯探1井揭示了寒武系盐下发育背斜构造。从构造演化期次来看,沙井子断裂经历了加里东期、海西—印支期、燕山期、喜马拉雅期等多期活动,喜马拉雅期断裂定型停止活动,与断裂相关的圈闭也经历了多期调整并最终在喜马拉雅期定型,圈闭定型期与喜马拉雅期大量的气充注具有较好的时空匹配关系,形成现今以气为主的油气藏。

在上述分析的基础上,建立了沙井子断裂带志留系、三叠系“构造主控、多期充注、晚期为主”的油气成藏模式(图9)及寒武系盐下“构造主控、连续充注”的气藏模式(图10)。沙井子断裂及其派生断裂

的形成演化控制了志留系、三叠系圈闭的形成,同时也是油气运移的有利通道。沙井子断裂多期活动,晚期定型,与沙井子主断裂相关的志留系断块圈闭、地层上倾构造-岩性圈闭也在喜马拉雅期最终定型,接受以下寒武统玉尔吐斯组烃源岩在喜马拉雅期生成的天然气为主的充注;油气沿着断裂和砂体输导,形成气藏,而早期的油充注可能由于断裂活动而遭受破坏。沙井子断裂的派生断裂,如沙南断裂,断裂定型早,与断裂相关的三叠系断背斜、背斜构造圈闭定型也早,可以接受早期的下奥陶统萨尔干组烃源岩的油气充注;油气沿断裂垂向输导(图9),形成油气藏并保存至今。对于寒武系盐下白云岩而言,沙井子断裂上盘被更晚期(喜马拉雅晚期)的阿恰断裂进一步改造,圈闭定型更晚,接受来自于阿瓦提凹陷深部的玉尔吐斯组烃源岩在喜马拉雅期生成的天然气为主的充注;天然气沿断裂往构造高部位连续充注,形成一系列以构造为主的气藏(图10)。

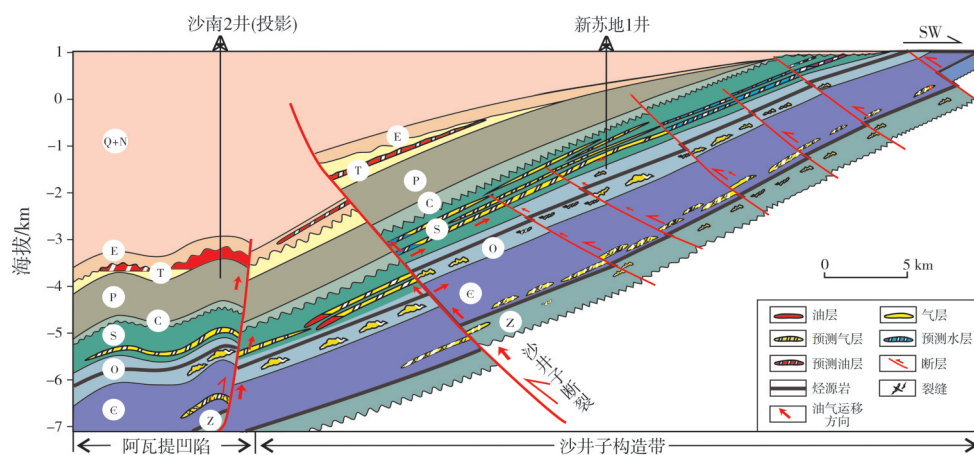


图9 塔里木盆地沙井子断裂带志留系、三叠系油气藏模式图

Fig. 9 Model of Silurian and Triassic oil and gas reservoirs in Shajingzi fault zone, Tarim Basin

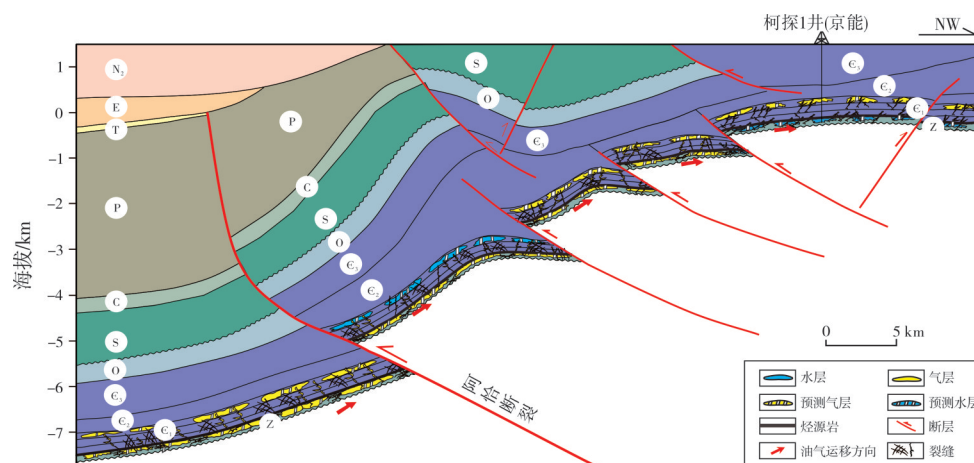


图10 塔里木盆地沙井子断裂带寒武系盐下白云岩油气藏模式图

Fig. 10 Model of Cambrian subsalt dolomite oil and gas reservoirs in Shajingzi fault zone, Tarim Basin



## 5 勘探潜力

沙井子断裂带及周缘发育2套烃源岩、3套含油气储盖组合,基于油气石油地质条件及勘探实践,认为沙井子断裂带及周缘是多层系、多类型、多领域的含油气构造带,具备规模油气成藏条件。

沙井子断裂为大型基底卷入型逆冲断裂,断裂上盘受构造挤压作用比下盘更为强烈,构造的强烈挤压往往会导致砂岩储层更加致密,储层物性变差,因此推测断裂下盘储层物性更好。而且,断裂下盘紧邻阿瓦提寒武系—奥陶系生烃凹陷,油气容易沿断裂垂向输导至目的层。断裂下盘志留系柯坪塔格组发育的潮控三角洲水下分流河道砂及滨岸砂坝,三叠系俄霍布拉克组和克拉玛依组发育的扇/辫状河三角洲水下分流河道砂体是利勘探对象,特别是沙井子断裂的派生断裂,如其浪断裂、沙南断裂形成的一系列断鼻、断背斜圈闭是有利勘探目标。

对于寒武系盐下白云岩,在沙井子断裂上盘丘滩白云岩储层更为发育,与上覆中寒武统膏盐岩形成良好的储盖组合,构造解释结果表明在沙井子断裂上盘的中寒武统膏盐岩以上为沿盐层滑脱型构造,断裂一般断至新生界,保存条件差,而盐下为基底卷入型的冲断构造,断层往往未断穿盐层,保存条件好。同时,以沙井子断裂为输导路径,来自于阿瓦提凹陷下寒武统玉尔吐斯组的烃源岩在喜马拉雅期大量生排烃,往构造高部位连续充注,尤其是阿恰断裂北部,盐下冲断构造发育,是寒武系盐下白云岩勘探的有利区域。

## 6 结论

(1)沙井子断裂是一个大型基底卷入型冲断断裂,加里东晚期开始发育,海西期、印支期、燕山期多期活动,喜马拉雅期定型,自东向西分为东段、中段、西段、阿恰段等4段,断裂的多期活动和分段性控制了沙井子断裂带构造圈闭、地层圈闭、潜山圈闭等多类型圈闭的发育。沙井子断裂带是一个多类型、多层系、多领域的含油气构造区带。

(2)沙井子断裂带及周缘发育2套海相烃源岩:下寒武统玉尔吐斯组烃源岩及下奥陶统萨尔干组烃源岩;发育3套规模含油气储层:寒武系盐下丘滩相白云岩储层在柯坪地区广泛发育,下志留统柯坪

塔格组潮控三角洲水下分流河道、滨岸砂坝,以及三叠系俄霍布拉克组扇三角洲水下分流河道、克拉玛依组辫状河三角洲水下分流河道的砂岩储层沿温宿凸起周缘广泛分布。

(3)沙井子断裂带及周缘已发现的天然气以来自于阿瓦提凹陷下寒武统烃源岩为主,石油则主要来自于下奥陶统萨尔干组烃源岩。油气成藏具有多期充注、以晚期为主的特点,志留系、三叠系为“构造主控、多期充注、晚期为主”的成藏模式,寒武系盐下为“构造主控、连续充注”的成藏模式。

(4)沙井子断裂带下盘是志留系、三叠系的有利勘探区,沙井子断裂带上盘阿恰段是寒武系盐下白云岩的有利勘探区。

### 参考文献

- [1] 周园园,吕修祥,齐英敏,等.阿瓦提凹陷沙井子断裂带特征及控油气作用[J].新疆石油地质,2011,32(6):605-608.  
ZHOU Yuanyuan, LÜ Xiuxiang, QI Yingmin, et al. Shajingzi fault belt and its controlling effect on hydrocarbons in Awati Sag in Tarim Basin [J]. Xinjiang petroleum geology, 2011, 32(6): 605-608.
- [2] 张君峰,高永进,杨有星,等.塔里木盆地温宿凸起油气勘探突破及启示[J].石油勘探与开发,2019,46(1):14-24.  
ZHANG Junfeng, GAO Yongjin, YANG Youxing, et al. Oil exploration breakthrough in the Wensu salient, northwest Tarim Basin and its implications [J]. Petroleum exploration and development, 2019, 46(1): 14-24.
- [3] 高永进,张君峰,张远银,等.塔里木盆地西北部新苏地1井首获志留系工业气流[J].中国地质,2021,48(5):1655-1656.  
GAO Yongjin, ZHANG Junfeng, ZHANG Yuanyin, et al. Silurian commercial gas flow firstly obtained by Well XSD1 in the northwest Tarim Basin [J]. Geology in China, 2021, 48(5): 1655-1656.
- [4] 张惠良,王招明,张荣虎,等.柯坪地区下志留统储层性质及控制因素[J].海相油气地质,2005,10(2):23-30.  
ZHANG Huiliang, WANG Zhaoming, ZHANG Ronghu, et al. Properties and controlling factors of Lower Silurian reservoir in Kalpin area, Tarim Basin [J]. Marine origin petroleum geology, 2005, 10(2): 23-30.
- [5] 郑剑锋,潘文庆,沈安江,等.塔里木盆地柯坪露头区寒武系肖尔布拉克组储集层地质建模及其意义[J].石油勘探与开发,2020,47(3):499-511.  
ZHENG Jianfeng, PAN Wenqing, SHEN Anjiang, et al. Reservoir geological modeling and significance of Cambrian Xiaerblak Formation in Keping outcrop area, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum exploration and development, 2020, 47(3):

- 499–511.
- [6] 张君峰, 张远银, 高永进. 塔里木盆地沙井子构造带志留系油气勘探突破及启示[J]. 石油勘探与开发, 2022, 49(1): 203–214.
- ZHANG Junfeng, ZHANG Yuanyin, GAO Yongjin. Silurian hydrocarbon exploration breakthrough and its implications in the Shajingzi structural belt of Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum exploration and development, 2022, 49(1): 203–214.
- [7] 何磊, 何登发, 孙方源. 塔北隆起西段沙井子断裂带西北缘构造特征解析[J]. 石油地质与工程, 2020, 34(2): 13–18.
- HE Lei, HE Dengfa, SUN Fangyuan. Analysis of tectonic characteristics of northwest margin of Shajingzi fault zone in the west of Tabei Uplift [J]. Petroleum geology & engineering, 2020, 34(2): 13–18.
- [8] 欧阳思琪, 吕修祥, 薛楠, 等. 早中寒武世古环境特征与烃源岩发育模式: 以塔里木盆地柯坪—巴楚地区为例[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(2): 293–310.
- OUYANG Siqi, LÜ Xiuxiang, XUE Nan, et al. Paleoenvironmental characteristics and source rock development model of the Early–Middle Cambrian: a case of the Keping–Bachu area in the Tarim Basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51(2): 293–310.
- [9] 江维, 高志前, 胡宗全, 等. 塔里木盆地玉尔吐斯组高频层序沉积充填演化特征及控烃作用[J]. 现代地质, 2021, 35(2): 349–364.
- JIANG Wei, GAO Zhiqian, HU Zongquan, et al. Sedimentary filling evolution and hydrocarbon control of high frequency sequence in Yurtus Formation, Tarim Basin [J]. Geoscience, 2021, 35(2): 349–364.
- [10] 金值民, 谭秀成, 唐浩, 等. 塔里木盆地西北部寒武系组芬兰统玉尔吐斯组混积岩早成岩期岩溶特征及其地质意义[J]. 古地理学报, 2021, 23(1): 191–206.
- JIN Zhimin, TAN Xiucheng, TANG Hao, et al. Eogenetic karst characteristics and its geological significance of mixed rocks in the Cambrian Terreneuvian Yuertus Formation in northwestern Tarim Basin [J]. Journal of palaeogeography, 2021, 23(1): 191–206.
- [11] 张鹏辉, 陈志勇, 薛路, 等. 塔里木盆地西北缘下寒武统黑色岩系差异性成岩演化及其影响因素[J]. 岩石学报, 2020, 36(11): 3463–3476.
- ZHANG Penghui, CHEN Zhiyong, XUE Lu, et al. The differential diagenetic evolution and its influencing factors of Lower Cambrian black rock series in the northwestern margin of Tarim Basin [J]. Acta petrologica sinica, 2020, 36(11): 3463–3476.
- [12] 朱光有, 陈斐然, 陈志勇, 等. 塔里木盆地寒武系玉尔吐斯组优质烃源岩的发现及其基本特征[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(1): 8–21.
- ZHU Guangyou, CHEN Feiran, CHEN Zhiyong, et al. Discovery and basic characteristics of the high-quality source rocks of the Cambrian Yuertusi Formation in Tarim Basin [J]. Natural gas geoscience, 2016, 27(1): 8–21.
- [13] 熊冉, 周进高, 倪新锋, 等. 塔里木盆地寒武统玉尔吐斯组烃源岩分布预测及油气勘探的意义[J]. 天然气工业, 2015, 35(10): 49–56.
- XIONG Ran, ZHOU Jingao, NI Xinfeng, et al. Distribution prediction of Lower Cambrian Yuertusi Formation source rocks and its significance to oil and gas exploration in the Tarim Basin [J]. Natural gas industry, 2015, 35(10): 49–56.
- [14] 马安来, 李慧莉, 李杰豪, 等. 塔里木盆地柯坪露头剖面上奥陶统烃源岩地球化学特征与海相油源对比[J]. 天然气地球科学, 2020, 31(1): 47–60.
- MA Anlai, LI Huili, LI Jiehao, et al. The geochemical characteristics of Middle–Upper Ordovician source rocks in Keping outcrops profiles and marine oil–source correlation, Tarim Basin, NW China [J]. Natural gas geoscience, 2020, 31(1): 47–60.
- [15] 姚尧, 何治亮, 李慧莉, 等. 塔里木盆地阿瓦提断陷中—上奥陶统萨干组沉积地质模型与烃源岩分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(4): 763–775.
- YAO Yao, HE Zhiliang, LI Huili, et al. Sedimentary geological model and distribution prediction of source rocks in the Saergan Formation (Middle–Upper Ordovician) in Awati fault depression, Tarim Basin [J]. Oil & gas geology, 2020, 41(4): 763–775.
- [16] 朱永进, 沈安江, 刘玲利, 等. 塔里木盆地晚震旦世—中寒武世构造沉积充填过程及油气勘探地位[J]. 沉积学报, 2020, 38(2): 398–410.
- ZHU Yongjin, SHEN Anjiang, LIU Lingli, et al. Tectonic–sedimentary filling history through the Later Sinian to the Mid–Cambrian in Tarim Basin and its explorational potential [J]. Acta sedimentologica sinica, 2020, 38(2): 398–410.
- [17] 谢俊, 张金亮, 梁会珍, 等. 塔里木盆地志留系柯坪塔格组沉积相与沉积模式研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2008, 23(2): 1–5.
- XIE Jun, ZHANG Jinliang, LIANG Huizhen, et al. Study on the sedimentary facies and sedimentary modes of Kepingtage Formation of the Silurian in Tarim Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (natural science), 2008, 23(2): 1–5.
- [18] 胡少华, 王庆果, 李秀珍. 塔里木盆地志留系层序地层划分及沉积体系特征[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(2): 8–11.
- HU Shaohua, WANG Qingguo, LI Xiuzhen. Sequence stratigraphic subdivision and sedimentary system characteristics of Silurian in Tarim Basin [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2007, 31(2): 8–11.
- [19] 张荣虎, 魏国齐, 王珂, 等. 前陆冲断带构造逆冲推覆作用与岩石响应特征: 以库车坳陷东部中—下侏罗统为例[J]. 岩石学报, 2021, 37(7): 2256–2270.
- ZHANG Ronghu, WEI Guoqi, WANG Ke, et al. Tectonic

- thrust nappe activity and sandstone rock response characteristics in foreland thrust belt: a case study of Middle and Lower Jurassic, Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. *Acta petrologica sinica*, 2021, 37(7): 2256–2270.
- [20] 王冰, 刘成林, 李宗星, 等. 柴达木盆地东部中生代以来构造应力场及构造演化[J]. *地球科学与环境学报*, 2017, 39(1): 83–94.
- WANG Bing, LIU Chenglin, LI Zongxing, et al. Tectonic–stress field and tectonic evolution in the Eastern Qaidam Basin since Mesozoic[J]. *Journal of earth sciences and environment*, 2017, 39(1): 83–94.
- [21] 樊奇, 樊太亮, 李清平, 等. 塔里木盆地寒武系膏盐岩沉积特征与发育模式[J]. *石油实验地质*, 2021, 43(2): 217–226.
- FAN Qi, FAN Tailiang, LI Qingping, et al. Sedimentary characteristics and development model of Cambrian gypsum–salt rocks, Tarim Basin[J]. *Petroleum geology and experiment*, 2021, 43(2): 217–226.

编辑:黄革萍

## Oil and gas geological conditions and exploration potential of Shajingzi fault belt in Tarim Basin

YANG Liangang, XIONG Ran, KANG Tingting, LUO Xinsheng, ZHANG Ronghu, XIA Weijie

**Abstract:** Shajingzi fault belt in the northwest of Tarim Basin has achieved exploration breakthrough, showing a good exploration prospect, but the study of oil and gas geological conditions in this area is relatively weak. Based on the comprehensive use of the latest drilling, seismic and field outcrop data of Shajingzi fault belt, the segmented structural characteristics and evolution process of Shajingzi fault belt are described in detail. Combined with the evaluation of oil and gas geological conditions, oil and gas accumulation models of multiple sets of strata are proposed, and favorable exploration directions are pointed out. It is shown that Shajingzi fault belt can be divided into east section, west section, middle section and Aqia section according to the difference of structural features and derived faults. The Shajingzi fault belt has the characteristics of multi–stage activity and late finalization. It has been in the position of structural slope for a long time and has developed many types of traps. It is a favorable area for oil and gas migration and accumulation. At the same time, the source–reservoir–cap is well configured in time and space, and the conditions for oil and gas accumulation are available: (1)Two sets of high–quality source rocks, the Lower Cambrian Yuertus Formation and the Lower Ordovician Sargan Formation, are developed, which have been proven to be the main source of oil and gas in this area. (2)Three sets of reservoirs are developed: dolomite reservoir of the Cambrian subsalt mound–shoal facies, tidal channel sandstone reservoir and shore bar reservoir of tidal flat–shore composite sedimentary facies of the Silurian Kepingtage Formation, fan delta sandstone reservoir of the Triassic Ohoborak Formation and braided river delta sandstone reservoir of the Triassic Karamay Formation. (3)Three sets of caprocks are developed, including the Middle Cambrian thick layer gypsum salt rock, the Silurian Tataelta Formation's mudstone interlayer and Yimugantawu Formation's thick layer mudstone, and the mudstone interlayer of the Triassic Ohoborak Formation and Karamay Formation. (4) The oil and gas filling shows the characteristics of multi–stage filling and late stage dominated. Two oil and gas reservoir models of "structure dominated, multi–stage filling and late stage reservoir formation" in Silurian and Triassic and "structure dominated, continuous filling" under the Cambrian salt are established. It is considered that the Silurian system, Triassic system in the footwall of Shajingzi fault belt and the Cambrian subsalt of Aqia section in the upper wall are favorable exploration areas.

**Key words:** structural evolution; reservoir–cap assemblage; oil–source rock correlation; hydrocarbon accumulation model; Shajingzi fault belt; Tarim Basin

**YANG Liangang**, First author: MSc, Engineer, mainly engaged in seismic interpretation and petroleum geology. Add: No. 26 Shihua Avenue, Korla, Xinjiang 841000, China

**XIONG Ran**, Corresponding author: PhD, Senior Engineer, mainly engaged in comprehensive research on carbonate rocks petroleum geology in Tarim Basin. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Xihu District, Hangzhou, Zhejiang 310023, China