

塔中地区北坡志留系晚期油气充注证据及控制因素

吴悠^{1,2}, 陈红汉³, 赵玉涛⁴, 唐大卿³, 云露⁵, 漆立新⁵

[1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 432100; 2. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 432100;
3. 中国地质大学(武汉) 资源学院, 湖北 武汉 430074; 4. 中国石油 吉林油田分公司 勘探开发研究院, 吉林 松原 138001;
5. 中国石化 西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011]

摘要:塔中北斜坡志留系近几年在油气勘探上取得重大突破,但由于受多期构造运动影响,油气成藏过程复杂。通过对塔中北斜坡志留系23块样品的流体包裹体系统分析以及断裂活动特征研究,识别出研究区存在3期油充注和1期天然气充注,以海西晚期(318~245 Ma)寒武系—下奥陶统油充注和燕山期—喜马拉雅中晚期(124~25 Ma)寒武系—下奥陶统以及中—上奥陶统油气充注为主。研究区志留系在北东向张扭性走滑断裂的控制下,海西晚期虽然油充注活跃但油藏基本遭受破坏形成残留沥青,而燕山期—喜马拉雅中晚期的油气再充注决定了现今油气藏面貌。因此,塔中北斜坡应以寻找燕山期—喜马拉雅中晚期油气藏为主要勘探目标。

关键词:流体包裹体;走滑断裂;油气充注;志留系;塔中隆起;塔里木盆地

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Evidences and controlling factors of hydrocarbon charging in the Late Silurian in the north slope of the Tazhong Uplift, Tarim Basin

Wu You^{1,2}, Chen Honghan³, Zhao Yutao⁴, Tang Daqing³, Yun Lu⁵, Qi Lixin⁵

(1. Faculty of Earth Science, Yangtze University, Wuhan, Hubei 432100, China;

2. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan, Hubei 432100, China;

3. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

4. Research Institute of Exploration and Development, Jilin Oilfield Company, PetroChina, Songyuan, Jilin 138001, China;

5. Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: In recent years, a breakthrough has been achieved in the exploration of the Silurian strata in the north slope of the Tazhong Uplift. However, it also reveals the complexity of the hydrocarbon accumulation process, owing to the multi-stage tectonic movement. In this paper, fluid inclusions analysis is performed on 23 samples of the Silurian strata in the north slope of the Tazhong Uplift, and also faulting activities characteristics were studied. The results indicate that there are four events of oil charging and one event of gas charging. The oil originated from the Cambrian to the Lower Ordovician source rock charged during the Late Hercynian (318–245 Ma), while oil and gas originated from the Cambrian–Lower Ordovician source rock and Middle–Upper Ordovician source rock charged during the Yanshanian to Middle–Late Himalayan (124–25 Ma). Due to the NE extensional strike-slip faulting, the early stage charged accumulations were destroyed and only residual bitumen remains, even though oil charging was active during the Late Hercynian. The oil and gas recharged during the Middle–Late Himalayan determined the hydrocarbon characteristics in the reservoirs. In all, the major targets for hydrocarbon exploration in the north slope of the Tazhong Uplift shall be accumulations formed during the Yanshanian to Middle–Late Hercynian.

Key words: fluid inclusion, strike-slip fault, hydrocarbon charging, Silurian, Tazhong Uplift, Tarim Basin

收稿日期:2015-10-09;修订日期:2016-03-21。

第一作者简介:吴悠(1984—),女,讲师,含烃流体地质与油气成藏。E-mail:wuyou-33@163.com。

基金项目:油气资源与勘探技术教育部重点实验室开放基金资助项目(K2016-12)。

塔里木盆地志留系在海西早期经历了强烈抬升剥蚀,残留地层主体分布于中央拗陷区,向周边隆起区超覆,油气显示主要集中在塔中隆起、塔北、满东以及巴楚隆起等地区^[1-3]。塔中隆起志留系一直以来因大量沥青及可动油气显示而成为塔里木盆地志留系油气勘探的重点研究领域,油气勘探主要集中在塔中1号断裂带上盘的卡塔克隆起之上^[4-5]。随着油气勘探的不断深入,塔中1号断裂带下盘的塔中地区北坡多口井在志留系见到良好的油气显示,顺9井于2011年在下志留统柯坪塔格组下段(S_1k^1)首次获得了低产油流^[6-8],实现了塔中地区北坡志留系油气勘探领域的新突破,也预示了该地区志留系良好的勘探前景。

前人针对塔中地区北坡志留系的研究主要集中在柯坪塔格组下段原油地球化学和储层特征、泥岩盖层以及针对顺9井志留系油气充注历史等方面^[6-11],而对其油气成藏规律及控制因素研究较少。目前,围绕顺9井在塔中地区北坡的多口钻井在志留系均见到一定程度的油气显示,为进一步研究塔中地区北坡志留系油气成藏规律提供了更多有利条件。本文通过对该地区6口重点井精细解析志留系的油气成藏过程,并结合其断裂活动特征,进而探讨其志留系油气成藏特征及控制因素,为该地区进一步拓展油气勘探提供决策依据。

1 地质背景

塔中地区北坡地区位于塔里木盆地中央隆起带卡塔克隆起北部,沿塔中1号断裂北侧呈东南高、西北低的单斜形态,包括顺托果勒低隆起东南段和古城墟隆起西段,东边为满加尔拗陷,西边为和阿瓦提凹陷,南北方向上夹持于塔北隆起与卡塔克隆起之间(图1a)^[7,9-11]。塔中地区北坡区域上缺失侏罗系,受中泥盆世末期早海西构造运动的影响,志留系整体抬升遭受剥蚀,且在南北两侧剥蚀最为强烈,残留的志留系在塔中地区北坡呈现自北而南逐渐减薄。

塔中地区北坡志留系自下而上包括柯坪塔格组(下段砂岩、灰色泥岩、上段砂岩)、塔塔埃尔塔格组(红色泥岩段和上砂岩段)和依木干他乌组(上泥岩段)(图1b)^[7-10]。志留系柯坪塔格组下亚段砂岩和上亚段砂岩为良好的储集层,柯坪塔格组中段暗色泥岩和塔塔埃尔塔格组红色泥岩段为有效盖层,邻近的满加尔拗陷能够提供充足的烃源^[10-13]。因此,塔中地区北坡志留系具备优越的油气成藏条件。

2 流体包裹体系统

本次研究采集了顺9井区6口井共23块志留系

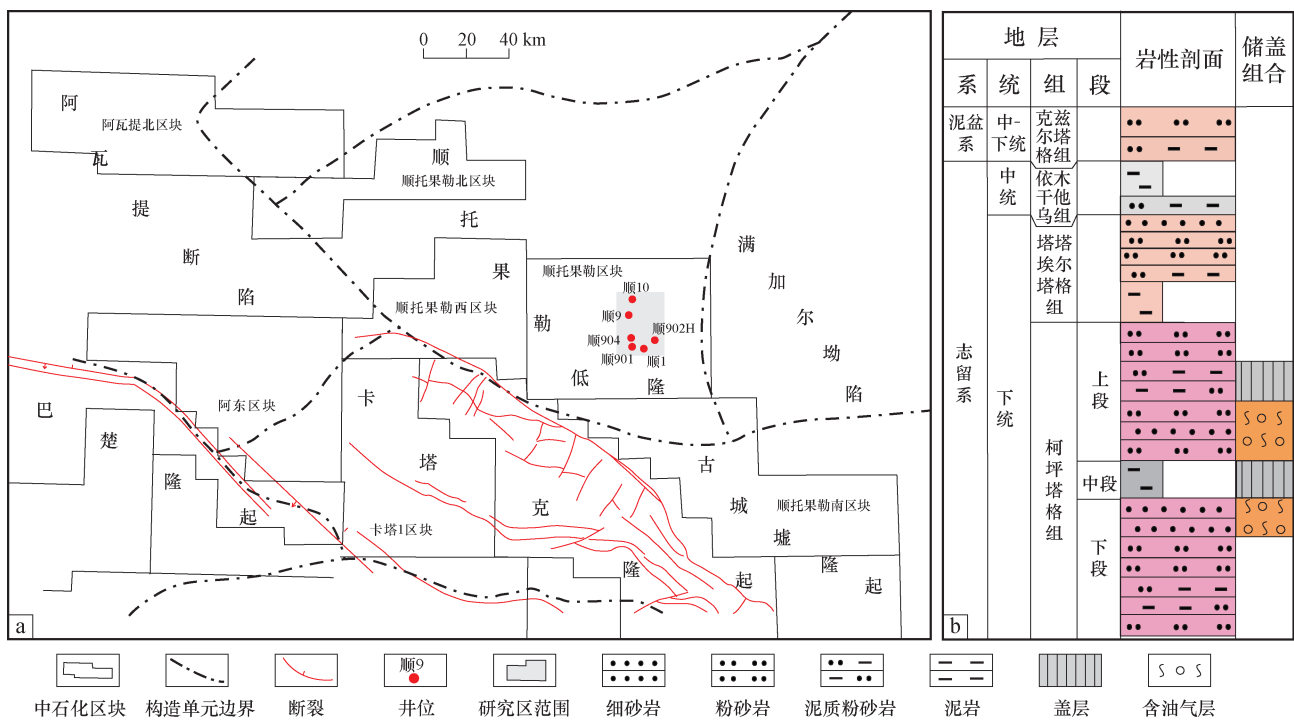


图1 塔里木盆地塔中北斜坡构造位置(a)及志留系综合柱状图(b)(据熊万林等修改)^[10]

Fig.1 Structural location of the north slope of the Tazhong Uplift,Tarim Basin(a) and the Silurian stratigraphic column(b) (modified from Wanlin Xiong,et al)^[10]

样品(图1a)。通过双面抛光薄片制作,首先进行成岩观察(包括薄片矿物鉴定和阴极发光分析)、显微荧光及流体包裹体测试,从微观上获取塔中地区北坡志留系油气充注的微观信息。

2.1 显微荧光观察

原油在紫外光激发下会散发出荧光,且不同性质的原油具有不同的荧光颜色和荧光光谱,通常随着烃类成熟度的增加,其荧光颜色会按照红—橙—黄—绿—蓝的变化规律进行演化,显微荧光光谱参数(主峰波长 $\lambda_{\max}$ 和 Q_{f535})与包裹体油成熟度成反比^[14-16]。因此可以通过荧光颜色和显微荧光光谱参数(主峰波长和 Q_{f535})来判断油的成熟度。本次研究所采用的荧光显微镜为Nikon 80I双通道荧光显微镜,紫外激发光为多色激发,激发波长为330~380 nm,显微荧光光谱仪为Maya 2000 Pro光谱仪,运用Yuanao显微光谱分析软件进行光谱数据处理和成图。

成岩观察和显微荧光观察识别出与油气活动有关的4期流体充注。

1) 石英颗粒内裂纹中捕获的油包裹体

主要沿石英颗粒内裂纹呈条带状分布,以油+气两相包裹体为主,见少量油+气+盐水三相包裹体,发黄绿色及蓝绿色荧光,指示在成岩作用早期存在2幕油充注,油包裹体的成熟度处于成熟—高成熟阶段(图2a—d)。

2) 石英次生加大边中捕获的油包裹体

主要沿石英次生加大边呈环带状分布,以油+气两相包裹体为主,见少量纯油相包裹体,发黄绿色、蓝绿色及蓝白色荧光,指示在成岩作用早期存在3幕油充注,油包裹体的成熟度处于成熟—高成熟阶段,且较石英颗粒内裂纹中捕获的油包裹体成熟度要高(图2c—h)。

3) 方解石胶结物中捕获的油包裹体

主要发育在发桔黄色阴极光的晚期方解石胶结物中,以油+气两相包裹体为主,发黄绿色及蓝绿色荧光,指示在成岩作用晚期存在2幕油充注,油包裹体的成熟度处于成熟—高成熟阶段(图2i—l)。

4) 穿石英颗粒裂纹中捕获的油包裹体

主要沿穿石英颗粒裂纹呈条带状分布,以油+气两相包裹体为主,发橙红色、橙黄色、黄绿色及蓝绿色荧光,指示在成岩作用晚期存在3幕油充注,油包裹体成熟度从低成熟—成熟—高成熟均存在,发橙黄色荧光低成熟油包裹体说明研究区存在处于两个不同成熟阶段烃源岩的油气充注特征(图2m—r)。同时在穿颗粒裂纹中见少量纯天然气单相包裹体,指示存在着一定天然气充注(图2s—t)。

不同产状中单个油包裹体显微荧光光谱主峰波长($\lambda_{\max}$)和 Q_{f535} 相关关系图显示塔中北斜坡志留系油包裹体可分为5类(图3):①橙红色荧光油包裹体, $\lambda_{\max}$ 介于645~648 nm, Q_{f535} 介于3.4~5.9,为低成熟油;②橙黄色荧光油包裹体, $\lambda_{\max}$ 介于577~591 nm, Q_{f535} 介于2.0~3.7,为低成熟油;③黄绿色荧光, $\lambda_{\max}$ 介于531~549 nm, Q_{f535} 值介于1.2~2.2,为成熟油;④蓝绿色荧光, $\lambda_{\max}$ 介于483~518 nm, Q_{f535} 介于0.5~1.4,为高成熟油;⑤蓝白色荧光, $\lambda_{\max}$ 介于461~464 nm, Q_{f535} 介于0.6~1.2,为高成熟油。从油包裹体荧光光谱的分布特征可以看出,存在低成熟、成熟和高成熟油充注,且以成熟油—高成熟油充注为主。

可以看出,塔中北斜坡志留系与油气活动有关的四期流体充注在成岩序次上以及显微荧光特征上具有明显的不同,主要表现在不同产状中捕获的油包裹体相态及荧光颜色的差异。塔中北斜坡志留系在成岩作用早期以成熟—高成熟油充注为主,在成岩作用晚期不仅存在成熟—高成熟油充注,还存在着低成熟油充注以及天然气充注,说明塔中北斜坡志留系存在明显的混源油气充注和晚期油气充注成藏的特征。

2.2 显微测温分析

基于成岩观察和显微荧光观察,对4个期次捕获的流体包裹体进行显微测温分析(表1)。流体包裹体测定是在中国地质大学(武汉)资源学院石油系微观烃类检测实验室完成。显微测温、测盐仪器为英国产Linkam THMS 600G冷热台,测定误差为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。显微测温初始升温速率为 $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,当包裹体临近均一状态时升温速率调整为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

1) 第一期油充注

石英颗粒内裂纹中发黄绿色荧光油包裹体均一温度分布区间为 $64.3\sim 76.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $91.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,发蓝绿色荧光油包裹体均一温度分布区间为 $67.9\sim 79.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $93.3\sim 97.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,同期盐水包裹体均一温度分布区间为 $88.2\sim 99.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $111.3\sim 116.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (表1;图4b),表明该期流体活动存在2幕油充注。

2) 第二期油充注

石英次生加大边中发黄绿色荧光油包裹体均一温度分布区间为 $65.4\sim 79.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,发蓝绿色荧光油包裹体均一温度分布区间为 $63.0\sim 83.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $102.6\sim 123.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,同期盐水包裹体均一温度分布区间为 $91.5\sim 93.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $111.8\sim 121.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (表1;图4c),表明该期流体活动同样存在2幕油充注。

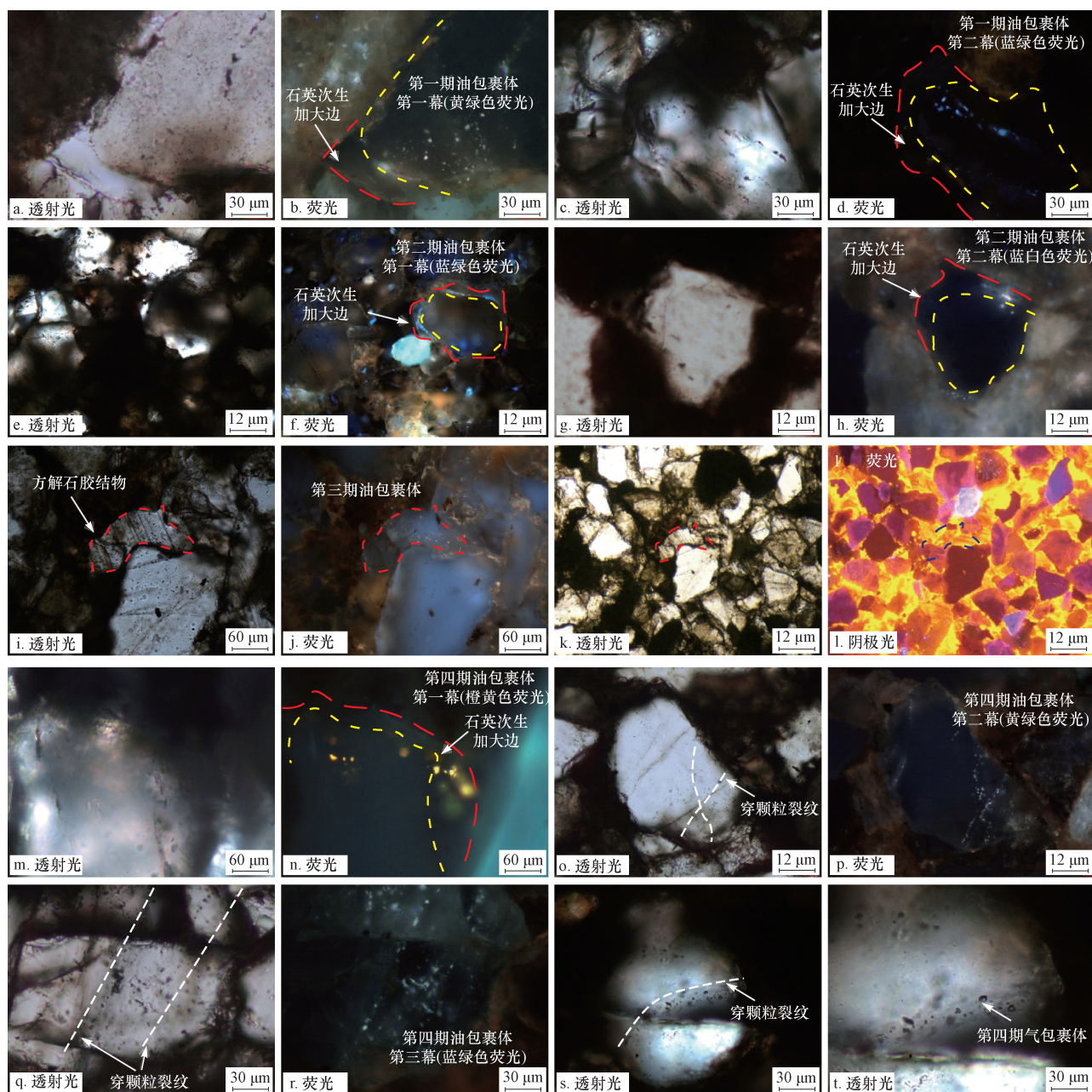


图2 塔中北斜坡志留系典型流体包裹体显微照片

Fig. 2 Typical micrograph showing fluid inclusions in the Silurian in the north slope of Tazhong uplift

a, b. 顺9井, S_1k , 埋深5 583.57 m, 石英颗粒内裂纹中发黄绿色荧光油包裹体; c, d. 顺902H井, S_1k , 埋深5 516.32 m, 石英颗粒内裂纹中发蓝绿色荧光油包裹体; e, f. 顺903H井, S_1k , 埋深5 346.50 m, 石英次生加大边中发蓝绿色荧光油包裹体; g, h. 顺9井, S_1k , 埋深5 586.41 m, 石英次生加大边中发蓝白色荧光油包裹体; i, l. 顺901井, S_1k , 埋深5 298.56 m, 晚期方解石胶结物中见发蓝绿色荧光油包裹体; m, n. 顺901井, S_1k , 埋深5 296.92 m, 穿石英颗粒裂纹中见发橙黄色荧光油包裹体; o, p. 顺902H井, S_1k , 埋深5 517.17 m, 穿石英颗粒裂纹中见发黄绿色荧光油包裹体; q, r. 顺902H井, S_1k , 埋深5 517.17 m, 穿石英颗粒裂纹中见发蓝绿色荧光油包裹体; s, t. 顺903H井, S_1k , 埋深5 219.00 m, 穿石英颗粒裂纹中见单一气相包裹体

3) 第三期油充注

方解石胶结物中发黄绿色及蓝绿色荧光油包裹体均一温度分布区间为 $121.2 \sim 124.1^\circ\text{C}$, 同期盐包裹体均一温度分布区间为 $110.0 \sim 125.0^\circ\text{C}$ (表1; 图4d), 表明该期流体活动存在2幕油充注。

4) 第四期油和天然气充注

穿石英颗粒裂纹中橙黄色-黄绿色油包裹体均一温度分布在 $72.7 \sim 83.6^\circ\text{C}$, 蓝绿色油包裹体均一温度分布区间为 $97.9 \sim 112.5^\circ\text{C}$, $121.3 \sim 133.9^\circ\text{C}$, 蓝白色荧光油包裹体均一温度分布区间为 $70.0 \sim 99.1^\circ\text{C}$, 同

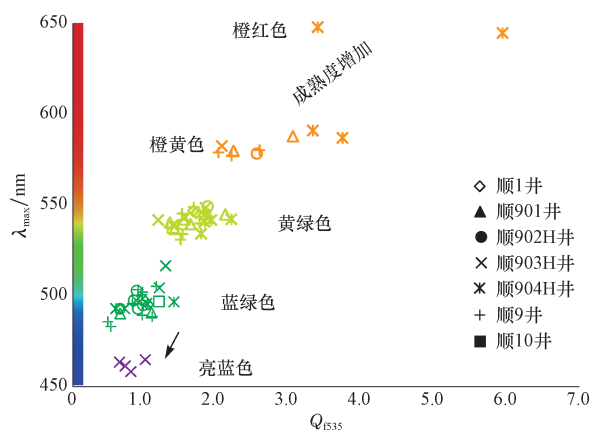


图3 塔中北斜坡志留系油包裹体 $\lambda_{\max}$ 与 Q_{535} 关系

Fig. 3 Relationship between peak wave length ($\lambda_{\max}$) and Q_{535} of micro-beam fluorescent spectrum of single oil inclusions in the Silurian in the north slope of the Tazhong Uplift

期盐水包裹体均一温度分布区间为 103.6 ~ 114.4℃, 121.1 ~ 138.8℃, 与气包裹体同期的盐水包裹体均一温度为 138.7℃ (表 1; 图 4e), 表明该期流体活动不仅存在 2 幕油充注, 还存在 1 幕天然气充注。

油包裹体及同期盐水包裹体均一温度测试结果显示, 塔中北斜坡志留系 4 期流体充注均存在多幕性, 并且随着成岩作用和油气充注的持续进行, 油包裹体及同期盐水包裹体均一温度明显升高。

3 油气成藏期次划分与成藏时期确定

流体包裹体产状在成岩序次上约束了捕获时间的先后时序, 显微荧光观察识别出不同产状中油包裹体的成熟度信息, 显微测温分析确定流体包裹体的捕获

表 1 塔中北斜坡志留系油包裹体及同期盐水包裹体平均均一温度测试数据

Table 1 Homogenization temperatures of oil inclusion and their coeval aqueous inclusions in the Silurian in the north slope of the Tazhong Uplift

样品 编号	深度/m	产状	荧光 颜色	油包裹体平均 均一温度/℃			与油同期盐水包裹体 均一温度/℃			与气同期盐 水包裹体均 一温度/℃
				T_{h1}	T_{h2}	T_{h3}	T_{h1}	T_{h2}	T_{h3}	
顺 9-1	5 579.85	石英颗粒内裂纹	黄绿	66.9	91.3	—	99.2	—	—	—
顺 9-2	5 579.90	石英颗粒内裂纹	黄绿	64.3	—	—	90.6	—	—	—
顺 9-3	5 579.96	石英颗粒内裂纹	蓝绿	69.0	97.6	—	92.8	—	—	—
顺 9-4	5 583.52	石英颗粒内裂纹	蓝绿	67.9	—	—	88.2	—	—	—
顺 9-4	5 583.52	石英次生加大边	黄绿	65.4	—	—	91.5	—	—	—
顺 9-5	5 583.65	穿石英颗粒裂纹	黄绿	82.1	107.0	—	—	103.6	121.1	—
顺 9-6	5 586.41	穿石英颗粒裂纹	蓝白	82.6	99.1	—	—	111.3	—	—
顺 9-7	5 586.46	穿石英颗粒裂纹	黄绿	72.7	—	—	—	114.4	—	—
顺 9-7	5 586.46	穿石英颗粒裂纹	蓝白	70.0	—	—	—	114.4	—	—
顺 901-1	5 294.78	穿石英颗粒裂纹	—	—	—	—	—	—	—	138.7
顺 901-2	5 296.92	穿石英颗粒裂纹	橙黄	83.6	—	—	—	—	122.9	—
顺 901-3	5 297.96	石英颗粒内裂纹	黄绿	76.8	—	—	—	111.5	—	—
顺 901-4	5 496.77	石英颗粒内裂纹	蓝绿	78.3	93.3	—	—	116.2	—	—
顺 901-5	5 509.03	方解石胶结物	蓝绿	—	—	122.6	—	—	123.5	—
顺 901-5	5 509.03	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	—	112.5	—	—	—	128.3	—
顺 901-6	5 513.24	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	—	121.3	—	—	—	138.8	—
顺 902H-1	5 437.10	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	—	110.4	133.9	—	109.5	135.4	—
顺 902H-2	5 516.32	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	—	105.8	—	—	—	126.9	—
顺 902H-3	5 517.17	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	—	99.9	—	—	—	124.6	—
顺 902H-4	5 522.26	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	87.1	101.7	—	—	—	124.7	—
顺 903H-1	5 580.85	石英次生加大边	黄绿	79.2	—	—	—	118.7	—	—
顺 903H-2	5 584.00	石英次生加大边	蓝绿	—	102.6	123.5	—	111.8	121.5	—
顺 903H-3	5 599.55	石英次生加大边	蓝绿	83.8	—	—	—	118.4	—	—
顺 904-1	5 568.48	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	—	97.9	—	—	112.8	—	—
顺 904-2	5 573.87	穿石英颗粒裂纹	蓝绿	—	101.1	—	—	111.5	—	—
顺 904-2	5 573.87	石英次生加大边	蓝绿	63.0	—	—	93.7	—	—	—
顺 10-1	5 691.89	石英颗粒内裂纹	蓝绿	75.3	—	—	—	—	128.7	—
顺 10-2	5 692.90	石英颗粒内裂纹	蓝绿	—	—	124.0	—	—	136.0	—
顺 10-3	5 694.87	石英颗粒内裂纹	蓝绿	79.8	—	—	—	111.3	—	—

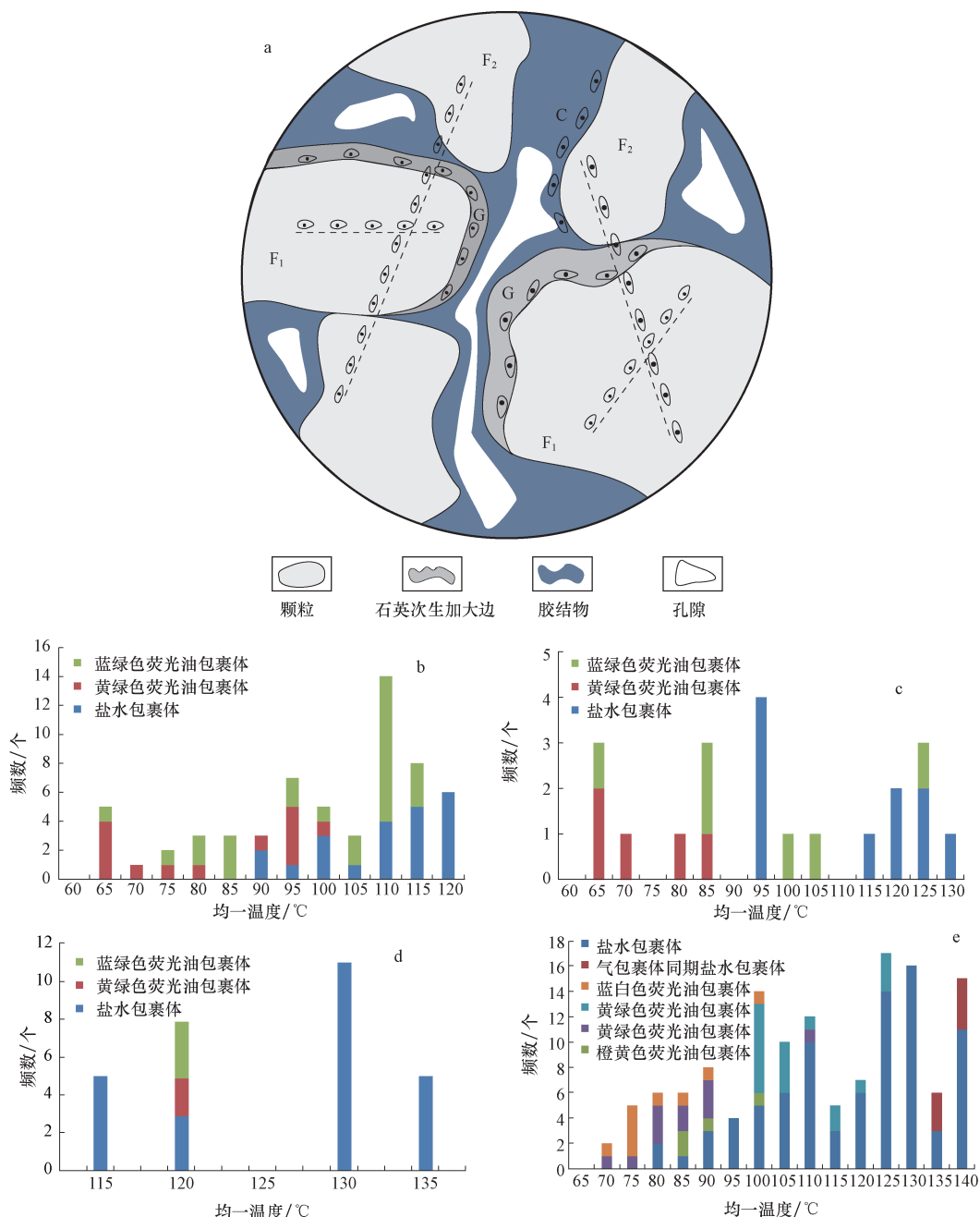


图4 塔中北斜坡志留系成岩关系序次及均一温度分布直方图

Fig. 4 Diagenetic sequence in the Silurian and histogram of homogenization temperatures of fluid inclusions in the north slope of the Tazhong Uplift

a. 成岩关系序次; b. F₁ 产状: 石英颗粒内裂纹; c. G 产状: 石英次生加大边; d. C 产状: 方解石胶结物; e. F₂ 产状: 穿石英颗粒裂纹

温度,结合塔中北斜坡原油物性及地化特征、烃源岩生烃演化史,以及储层流体包裹体的成岩观察、显微荧光观察和显微测温分析,利用埋藏史投影法进一步准确确定油气充注期次和成藏时间^[17-18](图5)。

研究区志留系油砂及原油均存在生物降解作用,但正构烷烃系列均较完整,说明在遭受生物降解作用之后,还有未遭受生物降解的原油注入,反映多期油气充注的特点。前人对志留系油气来源进行了大量地球

化学分析。由于沥青质中缺乏有效的生标,仅依据规则甾烷和¹³C 相对丰度,认为沥青砂中的原油可能来自于下古生界海相还原环境的烃源岩^[19];而大多数生标与中-上奥陶统烃源岩相似,但烷烃同位素组成和油包裹体化学成分指示中-上奥陶统和寒武系一下奥陶统烃源混合成因^[20]。油源对比表明,沥青砂岩包裹体中捕获的烃与中-下寒武统烃源岩有关,而孔隙游离烃则与中-上奥陶统烃源岩有关^[21]。

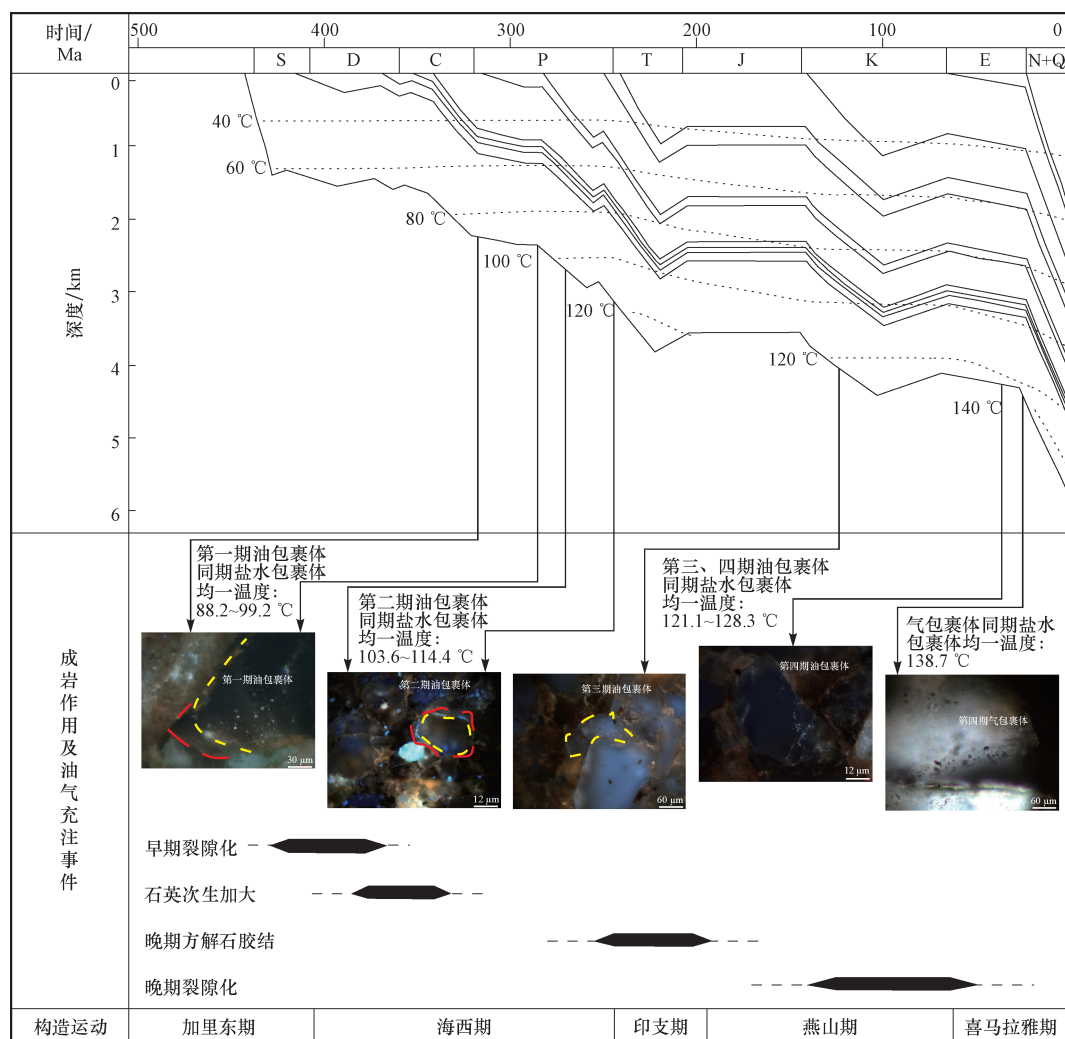


图5 塔中北斜坡志留系油气充注时间确定

Fig. 5 Timing of the oil and gas charging in the Silurian in the north slope of the Tazhong Uplift

依据流体包裹体埋藏史投影法确定塔中北斜坡志留系3期油充注时间分别为:318~285,271~245,124~36 Ma,1期天然气充注时间为25~0 Ma。从油气充注历史看,以海西晚期油充注为主,存在燕山期—喜马拉雅中晚期油和天然气充注。加里东晚期寒武系—下奥陶统烃源岩达到成熟阶段,大规模排烃,形成大规模油藏,但由于海西早期构造运动使地层抬升,原油藏发生水洗、氧化和生物降解作用形成现今大面积分布的沥青砂岩^[19-21]。海西晚期寒武系—下奥陶统烃源岩生成的成熟—高成熟油,原油充注到志留系储层中,微观显示表现为石英颗粒内裂纹以及石英次生加大边中发黄绿、蓝绿及蓝白色荧光油包裹体(图5)。燕山期—喜马拉雅中晚期油充注既有来源于寒武系—下奥陶统烃源岩生成的成熟—高成熟油,微观显示表现为方解石胶结物以及穿石英颗粒裂纹中发黄绿色、蓝绿色及蓝白色多种荧光颜色油包裹体,也存在上奥陶统烃源岩生成的低成熟—成熟油,微观显示表现

为穿石英颗粒裂纹中穿石英颗粒裂纹中发橙红色、橙黄色荧光油包裹体,并且有来自于寒武系—下奥陶统高成熟烃源岩生成的天然气充注,微观显示表现为穿颗粒裂纹中的天然气包裹体(图5)。

4 断裂对油气成藏的控制作用

近年来已有不少学者对塔中北斜坡断裂特征开展研究,认为断裂对油气成藏具有一定的控制作用^[7-8,22]。本次研究通过宏观上的断裂特征及微观上的油气显示,证实了断裂在油气成藏中的控制作用。

塔中北斜坡志留系断裂体系的发育受加里东中期I,II幕(中奥陶世末和奥陶纪末)和加里东晚期(志留纪—中泥盆世末)多期构造运动影响^[8]。塔中隆起在中奥陶世开始遭受挤压抬升剥蚀,晚奥陶世大规模挤压冲断,塔中I号、塔中II号和塔中5井等断裂在早期的正断裂的基础上反转逆冲,形成3组NW和

近 EW 向展布逆冲断裂^[8,22-24]。加里东晚期,受南天山洋由东向西逐渐闭合,以及库地-阿尔金洋的闭合,塔中地区受强烈挤压应力影响,形成受 NW 向断裂控制的断隆构造带,构造应力逐渐开始由挤压应力向扭应力过渡,发育 NE 向走滑断裂^[8,22-24]。

顺9工区断裂解释平面图及剖面图显示(图6),志留系发育一系列雁列、且延伸不远的 NE 向左旋走滑断裂,该组断裂纵向上延伸至 T_7^4 界面以下,对于沟通 T_7^4 界面以下的烃源灶或油气藏中油气具有重要的意义。在油气运移过程中,NE 向走滑断裂的“拉分断陷(pull-apart sag)”和“应力释放带(releasing-bends)”成为油气垂向运移的“高速公路”,并且与志留系渗透性砂岩层构成一种复合输导体系。

塔中北斜坡 NE 向张扭性走滑断裂在海西早期处于活动期,此时中-上奥陶统烃源岩处于生油高峰,深入基底的断裂在早期油气运移过程中具有一定的控制作用,但由于海西早期构造运动使得志留系油藏受到氧化、水洗和生物降解的破坏作用,从而形成了普遍存

在的干沥青。海西晚期,塔中地区北坡少量 NE 向张扭走滑断裂继承性活动,中-上奥陶统持续大量排烃生成的油气沿断裂进入志留系储层,发生较为活跃的油气充注,在微观上表现为穿颗粒裂纹中大量的油包裹体。喜马拉雅期,塔中地区北坡 NE 向走滑断裂虽处于静止时期,但是由于其走向与区域应力场方向一致,利于裂缝的开启,对中-上奥陶统烃源岩排出的原油和古油藏大量裂解的天然气起到了良好的输导作用,晚期所见到的大量油包裹体以及天然气包裹体证实了该时期油气充注的活跃性,并对塔中北斜坡是否存在工业性油气流起到决定性作用。NE 向走滑断裂明显对油气的运移起到了决定性作用(图6),对于离 NE 向走滑断裂较近的井(如顺1井、顺9井、顺901井、顺902H井、顺903H井、顺904H井),根据前文的流体包裹体系统分析,均存在喜马拉雅期油和天然气的充注,而对于离 NE 向走滑断裂较远的井(如顺10井),未检测到晚期油包裹体,缺乏喜马拉雅期原油和天然气的充注。

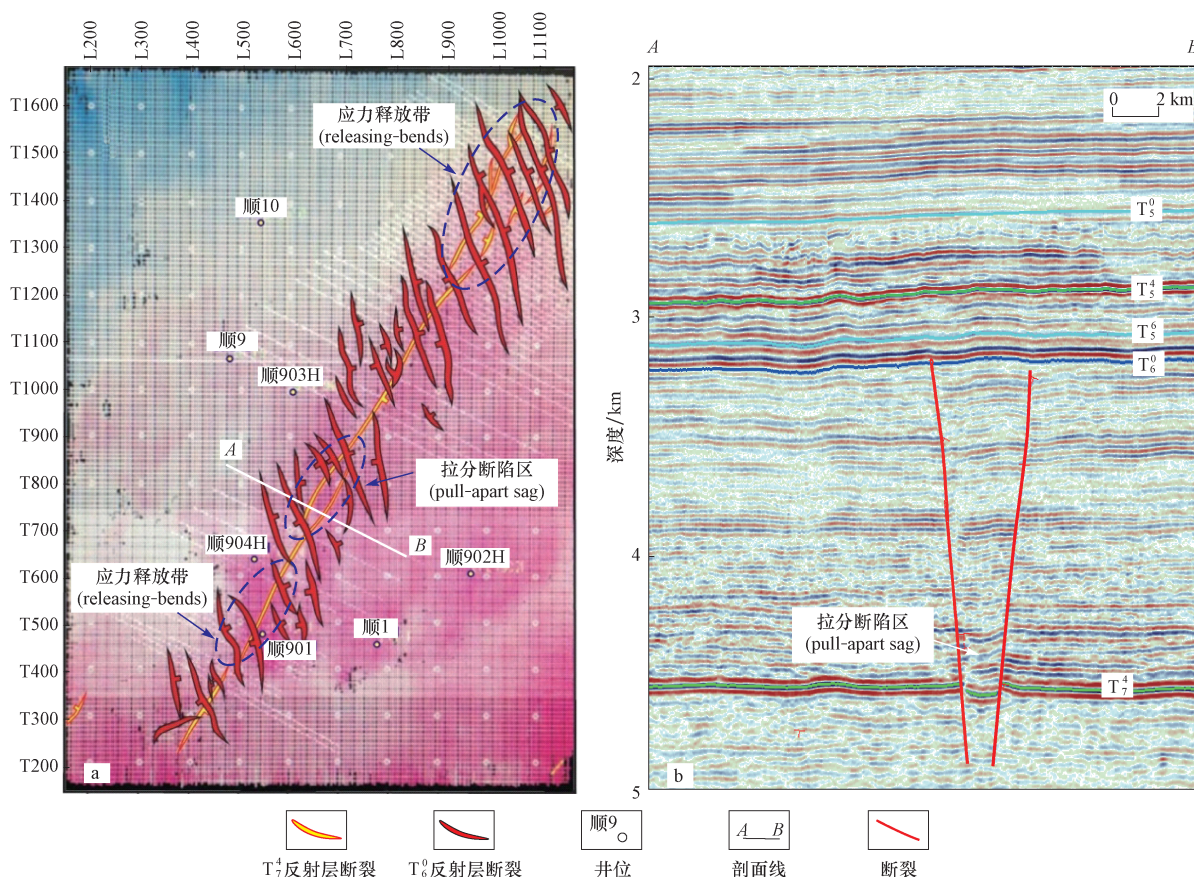


图6 塔中北斜坡顺9工区断裂解释平面图及剖面图

Fig. 6 Faults interpretation in Block shun-9 in the north slope of the Tazhong Uplift

a. 顺9工区 T_6^0, T_7^4 反射层断裂体系叠合图; b. 顺9工区走滑断裂带中南段拉分区地震解释剖面

5 结论

1) 该地区志留系与油气充注相关的流体活动存在四期,每期油气充注都存在多幕的特征:第一期以成熟-高成熟油充注为主,宿主于颗粒内裂纹中;第二期以成熟-高成熟油充注为主,宿主于石英次生加大边中;第三期以成熟-高成熟油充注为主,宿主于晚期方解石胶结物中;第四期存在低成熟、成熟、高成熟油充注以及天然气充注,宿主于穿颗粒裂纹中。

2) 第一期及第二期油充注主要发生在海西晚期(318~245 Ma),油源可能来自于寒武系一下奥陶统烃源岩,而第三期及第四期油气充注主要发生在燕山期一喜马拉雅中晚期(124~25 Ma),油源可能来自于寒武系一下奥陶统烃源岩以及中-上奥陶统烃源岩,由此说明塔中北斜坡志留系存在明显的晚期油气充注。

3) 塔中北斜坡 NE 向左旋走滑断裂拉分区和应力释放区对油气充注存在明显的控制作用,海西早期构造运动使油气藏遭受破坏形成残留沥青,海西晚期构造运动油气充注较为活跃,而燕山期一喜马拉雅期构造运动及油气充注决定了现今油气藏面貌。因此,塔中北斜坡志留系应以寻找晚期油气再充注较为活跃的地区作为油气勘探目标。

参 考 文 献

- [1] 宋建国,吴震权. 关于塔里木盆地志留系油气勘探的几点思考[J]. 石油勘探与开发,2001,31(5):127-129.
Song Jianguo, Wu Zhenquan. Some considerations on the Silurian petroleum exploration in the Tarim Basin-taking Tazhong region as an example[J]. Petroleum Exploration and Development,2001,31(5):127-129.
- [2] 陈元壮,王毅,张达景,等. 塔里木盆地塔河地区南部志留系油气成藏特征[J]. 石油实验地质,2008,30(1):32-37.
Chen Yuanzhuang, Wang Yi, Zhang Dajing, et al. Characteristics of the Silurian hydrocarbon accumulation in the southern Tahe region, the Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(1):32-37.
- [3] 吕修祥,白忠凯,赵风云. 塔里木盆地塔中隆起志留系油气成藏及分布特点[J]. 地学前缘(中国地质大学(北京);北京大学),2008,15(2):156-166.
Lyu Xiuxiang, Bai Zhongkai, Zhao Fengyun. Hydrocarbon accumulation and distributional characteristics of the Silurian reservoirs in the Tazhong uplift of the Tarim Basin[J]. Earth Science Frontiers,2008,15(2):156-166.
- [4] Lu Xiuxiang, Fan Qiuhai, Zhao Fengyun, et al. The Silurian play in the Tazhong Uplift, Tarim Basin, northwestern China [J]. Marine and Petroleum Geology,2007,24:189-198.
- [5] 张俊,庞雄奇,刘洛夫,等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的分布特征与石油地质意义[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2004,34(增刊 I):169-176.
- Zhang Jun, Pang Xiongqi, Liu Luofu, et al. Distribution characteristics and petroleum geological significance of the Silurian asphaltic sandstones in Tarim Basin [J]. Science in China (Ser. D); Earth Sciences,2004,47 Supp. II 199-208.
- [6] 孙乃泉,云露,蒲仁海,等. 塔里木盆地顺9井区柯坪塔格组下段沉积微相与储层展布[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2013,43(6):1716-1725.
Sun Naiquan, Yun Lu, Pu Renhai, et al. The microfacies and reservoir distribution of the lower member of Kepingtage formation in Shun 9 well area in Tarim Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2013,43(6):1716-1725.
- [7] 黄太柱. 塔里木盆地塔中北斜坡构造解析与油气勘探放心[J]. 石油实验地质,2014,36(3):257-268.
Huang Taizhu. Structural interpretation and petroleum exploration targets in northern slope of middle Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2014,36(3):257-268.
- [8] 杨圣彬,刘军,李慧莉,等. 塔中北围斜区北东向走滑断裂特征及其控油作用[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):797-803.
Yang Shengbin, Liu Jun, Li Huili, et al. Characteristics of the NE-trending strike-slip fault system and its control on oil accumulation in north peri-cline area of the Tazhong paleouplift [J]. Oil & Gas Geology,2013,34(6):797-803.
- [9] 杨素举,沈杰. 塔中北坡志留系柯坪塔格组下段储层特征研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2014,36(6):11-15.
Yang Suju, Shen Jie. Reservoir characteristics in the lower segment of Silurian Kepingtage formation in the north slope of Tazhong area [J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute),2014,36(6):11-15.
- [10] 熊万林,陈红汉,云露,等. 塔中隆起北坡顺托果勒区块志留系储层油气充注历史——以顺9井流体包裹体分析为例[J]. 石油学报,2013,34(2):239-246.
Xiong Wanlin, Chen Honghan, Yun Lu, et al. Hydrocarbon charging history for Silurian reservoirs of Shuntuoguole block in the north slope of Tazhong uplift, Tarim Basin: constraints from fluid inclusion of Well Shun 9 [J]. Acta Petrolei Sinica,2013,34(2):239-246.
- [11] 杨海军,邬光辉,孙丽霞,等. 塔中北斜坡志留系岩性油藏形成条件与勘探方向[J]. 新疆石油地质,2007,28(3):286-288.
Yang Haijun, Wu Guanghui, Sun Lixia, et al. Condition and explorative direction of lithologic reservoir of Silurian in northern slope of Tazhong uplift [J]. Xinjiang Petroleum Geology,2007,28(3):286-288.
- [12] Yang Haijun, Li Sumei, Pang Xiongqi, et al. Origin of Silurian crude oil and reservoir formation characteristics in the Tazhong Uplift [J]. Acta Geologica Sinica,2010,84(5):1128-1140.
- [13] 李素梅,庞雄奇,杨海军,等. 塔中隆起原油特征与成因类型[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2008,33(5):635-642.
Li Sumei, Pang Xiongqi, Yang Haijun, et al. Characteristics and genetic type of the oils in the Tazhong uplift [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences,2008,33(5):635-642.
- [14] Pradier B, Largeau C, Martinez L, et al. Chemical basis of fluorescence alteration of crude oils and kerogens-I. Microfluorimetry of an oil and its isolated fractions; relationships with chemical structure [J]. Organic Geochemistry,1990,16(1-3):451-460.
- [15] 李纯泉,陈红汉,刘惠民. 利用油包裹体微束荧光光谱判识油气充注期次[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2010,35(4):

657 – 662.

Li Chunquan, Chen Honghan, Liu Huimin. Identification of hydrocarbon charging events by using micro-beam fluorescence spectra of petroleum inclusions[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2010, 35(4) : 657 – 662.

[16] 赵艳军, 陈红汉. 油包裹体荧光颜色及其成熟度关系[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2008, 33(1) : 91 – 96.

Zhao Yanjun, Chen Honghan. The relationship between fluorescence colors of oil inclusions and their maturities[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2008, 33(1) : 91 – 96.

[17] 陈红汉, 吴悠, 丰勇等. 塔河油田奥陶系油气成藏期次及年代学[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6) : 806 – 820.

Chen Honghan, Wu You, Feng Yong, et al. Timing and chronology of hydrocarbon charging in the Ordovician of Tahe oilfield, Tarim Basin, NW China[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6) : 806 – 820.

[18] Munz I A. Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematics, analytical methods and applications [J]. Lithos, 2001, 1-4 (55) : 195 – 212.

[19] JiaWanglu, Zhongyao Xiao, Chiling Yu, et al. Molecular and isotopic compositions of bitumens in Silurian tar sands from the Tarim Basin, NW China: Characterizing biodegradation and hydrocarbon charging in an old composite basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27: 13 – 25.

[20] Yang Haijun, Li Sumei, Pang Xiongqi, et al. Origin of Silurian crude oil and reservoir formation characteristics in the Tazhong Uplift[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(5) : 1128 – 1140.

[21] 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄, 等. 塔中地区志留系砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃对比研究及油源分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1) : 25 – 34.

Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wenxuan, et al. Comparative study of free hydrocarbons in pores with inclusion hydrocarbons and oil-source rock correlation for Silurian sandstone in Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1) : 25 – 34.

[22] Tang Liangjie, Huang Taizhu, Qiu Haijun, et al. Fault systems and their mechanisms of the formation and distribution of the Tarim Basin, NW China[J]. Journal of Earth Science, 2014, 25: 169 – 182.

[23] 张小兵, 赵锡奎. 塔里木盆地塔中隆起构造演化与油气关系[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(2) : 70 – 75.

Zhang Xiaobing, Zhao Xikui. Tectonic evolution and its bearings to the oil and gas with in the central Tarim uplift of the Tarim Basin, Xinjiang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(2) : 70 – 75.

[24] 宁飞, 汤良杰, 张钰, 等. 塔中隆起早古生代反转构造及其石油地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1) : 57 – 62.

Ning Fei, Tang Liangjie, Zhang Yu, et al. Eopaleozoic inversion structures in the Tazhong uplift and their significance to petroleum geology [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1) : 57 – 62.

(编辑 张玉银)

美国主要页岩油气区带重要参数对比

页岩油区带	巴肯	伊格尔福特	奈厄布拉勒	尤提卡	沃夫坎
面积/Mi ²	200 000	1 100	14 000	170 000	98 000
深度/Ft	8 500 ~ 10 000	4 000 ~ 12 000	6 000 ~ 8 000	2 000 ~ 14 000	5 500 ~ 11 000
厚度/Ft	8 ~ 14	300 ~ 475	150 ~ 300	70 ~ 750	1 500 ~ 2 600
初始产量/MMcfd	200 ~ 1 800	250 ~ 1 500	400 ~ 500	4 5 ~ 17 MMcfd 200 ~ 1 500 Bepd	1 050
单井 EUR/MBO	700	600	250 ~ 450	3. 6 ~ 5. 4 Bcf 500 ~ 900	650 ~ 750
平均水平井段长度/Ft	8 700 ~ 10 000	6 000 ~ 7 000	4 050 ~ 5 100	4 700 ~ 6 200	4 550 ~ 6 700
井距/Acres	160	40 ~ 80	160 (D/S 40)	160	80
技术可采资源量/BBO	4. 5 (20)	7 ~ 10	1. 5	3. 0 (5. 5)	30 (Ind. est.)
单井钻井成本/ \$ MM	8. 5 ~ 9. 0 +	6. 0 ~ 9. 0	3. 5 ~ 5. 5	6. 0 ~ 8. 0	7. 0 ~ 8. 0

页岩气区带	巴奈特	费耶特维尔	伍德福德	伊格尔福特	海因斯维尔	马塞勒斯
面积/Mi ²	4 075	9 000	3 700	1 100	9 000	95 000
深度/Ft	6 500 ~ 8 500	1 000 ~ 7 000	5 000 ~ 9 500	10 500 ~ 11 300	10 500 ~ 13 500	4 000 ~ 8 500
厚度/Ft	100 ~ 600	20 ~ 200	150 ~ 250	180 ~ 375	200 ~ 300	50 ~ 200
初始产量/MMcfd	2. 5	2. 8	3. 6	50 ~ 200 7. 0 + Cond	14 +	3. 5
单井 EUR/Bcf	1. 6	2. 1	3. 0	5. 0	6. 5	3. 5
平均水平井段长度/Ft	3 950 ~ 4 350	4 700 ~ 5 500	3 000 ~ 5 000	5 000 ~ 5 300	4 400 ~ 4 700	4 200 ~ 4 900
井距/Acres	116	80	160	160	80	80
技术可采资源量/Tcf	43	32	22	21	75	410
单井钻井成本/ \$ MM	2. 8	3. 0	5 ~ 6	6 ~ 9	7. 5	3. 7

资源来源: Usman Ahmed and D. Nathan Meehan,《Unconventional Oil and Gas Resources Exploration and Development》, 2016。

(供稿 周庆凡)