

塔里木盆地顺托果勒地区志留系成藏特征与勘探启示

李慧莉¹,李婧婧¹,杨素举²,马中远²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:塔里木盆地顺托果勒低隆起区顺9井在志留系柯坪塔格组中-下段储盖组合中发现轻质油藏,与柯坪塔格组上段(柯上段)油气性质存在较大差异。为进一步明确研究区志留系油气成藏特征,利用顺9井区钻井获得的原油和含油砂岩开展柯上段与下段可动烃地化特征、储层沥青和流体包裹体特征的对比研究。柯下段原油样品和含油砂岩抽提物均具有较高的饱和烃含量和较低的沥青质含量,而柯上段不同样品间存在差异。柯上段与柯下段具有相似的正构烷烃和甾、萜烷分布特征以及碳同位素组成。25-降藿烷系列化合物仅在柯上段样品中有检出。两个含油层段均可见储层沥青,但赋存及光性特征存在差异。两个含油层段储层流体包裹体特征相似,油包裹体宿主矿物、荧光特征及均一温度分布具有一致性。结合构造演化史和钻井实际情况分析认为,研究区柯上段与柯下段主要经历了一致的一期油气成藏过程,保存条件不同造成油藏差异改造破坏,形成了两个含油层段现今油气性质的差异。柯下段保存条件优于上段,顺9井柯下段轻质油藏可能是加里东晚期-海西早期形成的古老原生油气藏。寻找保存条件好的原生油藏仍然是研究区志留系勘探的重点方向。

关键词:古老原生油气藏;油气成藏;柯坪塔格组;志留系;顺托果勒地区;塔里木盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Hydrocarbon accumulation characteristics of the Silurian reservoirs in Shuntuoguole region of Tarim Basin and their exploration significance

Li Huili¹, Li Jingjing¹, Yang Suju², Ma Zhongyuan²

(1. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: A light oil reservoir was discovered in a reservoir-cap assemblage at the middle-to-lower members of the Silurian Kepingtage Formation in Well SH 9 drilled in the low uplifting area of Shuntuoguole region in Tarim Basin. Its properties were found to be quite different from those of the heavy oil reservoirs in the upper members of the Kepingtage Formation. A comparative study of the reservoirs in the upper and lower members was then conducted to better understand their accumulation process through geochemical analyses as well as characterization of reservoir bitumen and fluid inclusions in crude oil and oil-bearing sandstone extracts gathered during the drilling of Well SH 9. The results show that the samples from the lower member all have higher content of saturated hydrocarbon and lower content of asphaltene, but those from the upper member vary greatly from one to another. The two members share the similar distribution of normal alkanes, steranes and terpenes as well as carbon isotopic compositions. However, the 25-norhopanoids compounds are identified only in samples from the upper member. Both members contain reservoir bitumen but with different occurrence and optical properties. Oil inclusions in both members are similar in host mineral, fluorescence characteristics, and homogeneous temperature distributions. Combined with tectonic evolution and drilling activities, the study suggests that both members have experienced the same first stage of hydrocarbon accumulation and formed two petroliferous intervals with different hydrocarbon properties due to different preserving conditions. The lower member has better preservation conditions than the upper member. The light oil reservoir discovered in the lower member is very likely to be an old primary reservoir formed during the Late Caledonian to Early Hercynian, hence the primary oil reservoirs in the Silurian

收稿日期:2020-04-27;修订日期:2020-05-28。

第一作者简介:李慧莉(1972—),女,博士、高级工程师,石油地质。E-mail:lihl.syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(201705005-002);中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA14010406)。

are still the focus of exploration in Shuntuoguole region.

Key words: old primary reservoir, hydrocarbon accumulation, Kepingtage Formation, Silurian, Shuntuoguole region, Tarim Basin

志留系是塔里木盆地台盆区下古生界重要的含油气层系之一。该层系历经近30年的艰难探索,在塔中古隆起区、塔北古隆起区、孔雀河斜坡和顺托果勒低隆起区先后发现油气藏。在塔中古隆起发现的油藏主要集中在柯坪塔格组上段(上亚段和下亚段),主要为重质油藏,储层致密,具有大面积低丰度的特征^[1]。在塔北古隆起,志留系柯坪塔格组上段(柯上段)也揭示了丰富的油气显示,沥青砂岩分布广泛^[2]。对塔中和塔北两大古隆起志留系油气成藏开展过大量的研究工作,也取得了很多有勘探指导意义的研究认识^[3-14]。早期的研究认为,古隆起区已发现的油藏具有寒武系和中-上奥陶统两类烃源供烃^[3-5]、多期成藏改造的特征^[6-13];志留系塔塔埃尔组红色泥岩段和柯坪塔格组上段中泥岩亚段是重要的区域盖层,对油气分布有控制作用^[14]。

顺9井在顺托果勒地区钻揭不同于塔中古隆起区的志留系柯坪塔格组中下段储盖组合,并且首次在柯坪塔格组下段(柯下段)中发现轻质油藏。钻井在柯上段也揭示了丰富的油气显示和沥青砂岩,顺1井曾试获稠油,油气性质与柯下段存在显著差异。前期对该区志留系油气成藏特征开展过一定程度的研究工作,主要涉及柯下段油气来源和油气成藏史^[15-19]。马中远等(2013)基于对原油和油砂抽提物的地化研究认为,柯下段中-轻质黑油主要来自于中-上奥陶统烃源岩^[15]。熊万林等(2013)基于对顺9井储层流体包裹体的研究认为,柯坪塔格组经历加里东晚期、海西晚期和喜马拉雅期3期成藏,其中海西晚期是最主要的成藏期,推测油源来自于寒武系-下奥陶统烃源灶和上奥陶统烃源灶^[16]。吴悠等(2017)主要基于顺9井区储层流体包裹体的研究认为,该区存在3期油充注和1期天然气充注,以海西晚期寒武系-下奥陶统油充注和燕山期-喜马拉雅期寒武系-下奥陶统以及中-上奥陶统油气充注为主,提出海西晚期油藏基本遭受破坏形成残留沥青,燕山期-喜马拉雅期的油气再充注决定了油气藏的面貌^[17]。王倩茹等(2018)对比研究了顺9井区和顺10井柯下段的成藏特征,认为喜马拉雅期油气充注控制了该区的工业油气流^[18]。此外,云金表等(2017)基于物理模拟实验的结果,提出顺托果勒地区志留系柯下段储层具有志留纪-泥盆

纪与二叠纪-三叠纪两期叠加成藏富集条件,存在早期大规模成藏聚集的可能性^[19]。

前期的研究虽然取得了不少有启发意义的研究认识,但顺托果勒地区可动油的主要成藏期仍存在较大争议;柯上段与柯下段油气性质的差异也并未展开详细的研究,制约着勘探评价的进一步开展。本文利用研究区7口钻井(图1,图2)所取得的地质资料和有关分析测试资料开展柯上段和柯下段油气成藏特征对比研究,希望能够为进一步明确志留系下步勘探方向提供新的启示。

1 研究区志留系油气地质特征

顺托果勒地区(图1)地处塔北和塔中两大古隆起、满加尔坳陷和阿瓦提断陷构造“鞍部”,构造变形弱,发育多期活动的北东向走滑断裂^[20-24]。该区志留系沉积厚度大,向塔中和塔北两大古隆起残余地层厚度减薄,具有底超顶削的特征。志留系柯坪塔格组在研究区主要为滨岸和潮坪相砂泥岩沉积,具备岩性圈闭的发育条件^[25-26]。钻井揭示的志留系含油气储盖组合主要有两套(图2),分别为柯中段泥岩与柯下段砂岩组成的储盖组合和柯上段中亚段泥岩与柯上段下亚段砂岩组成的储盖组合。柯下段砂岩储盖组合在塔中古隆起区沉积缺失。柯上段中亚段泥岩与柯上段下亚段砂岩组成的储盖组合在塔中古隆起区广泛发育,是塔中古隆起区志留系主要含油气层段。

钻井在顺托果勒地区柯上段与柯下段均普遍见油气显示,但含油气性差异显著(图2)。柯下段录井含油气级别较高,主要集中在顶部砂岩段,多口井见油浸级别的油气显示;向下虽也有砂岩发育,但油气显示差。柯上段油气显示主要集中在下亚段,整体显示级别较柯下段低,但显示段长,并且不同钻井间有较大差异。研究区3口钻井在柯下段顶部砂岩段测试取得油样,其中顺9井与顺901井原油密度接近,约为 0.87 g/cm^3 左右,属于轻质油;顺902井原油密度为 0.925 g/cm^3 ,属于中质油。顺1井在柯上段测试中见少量重质油(无法做常规油样分析)。邻区塔中31井,曾在柯上段测试获得重质油(密度为 0.9986 g/cm^3)。

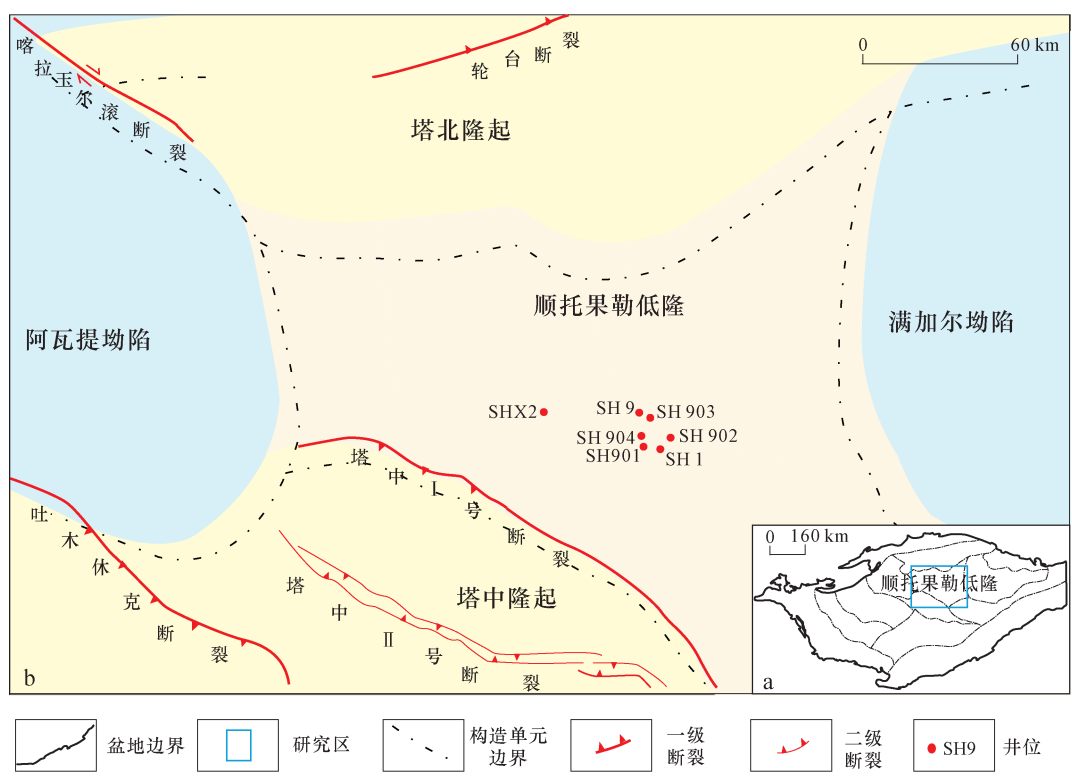


图 1 塔里木盆地顺托果勒地区构造位置(a)及钻井位置(b)
Fig.1 Structural location of Shuotuguole region in the Tarim Basin(a) and locations of wells(b)

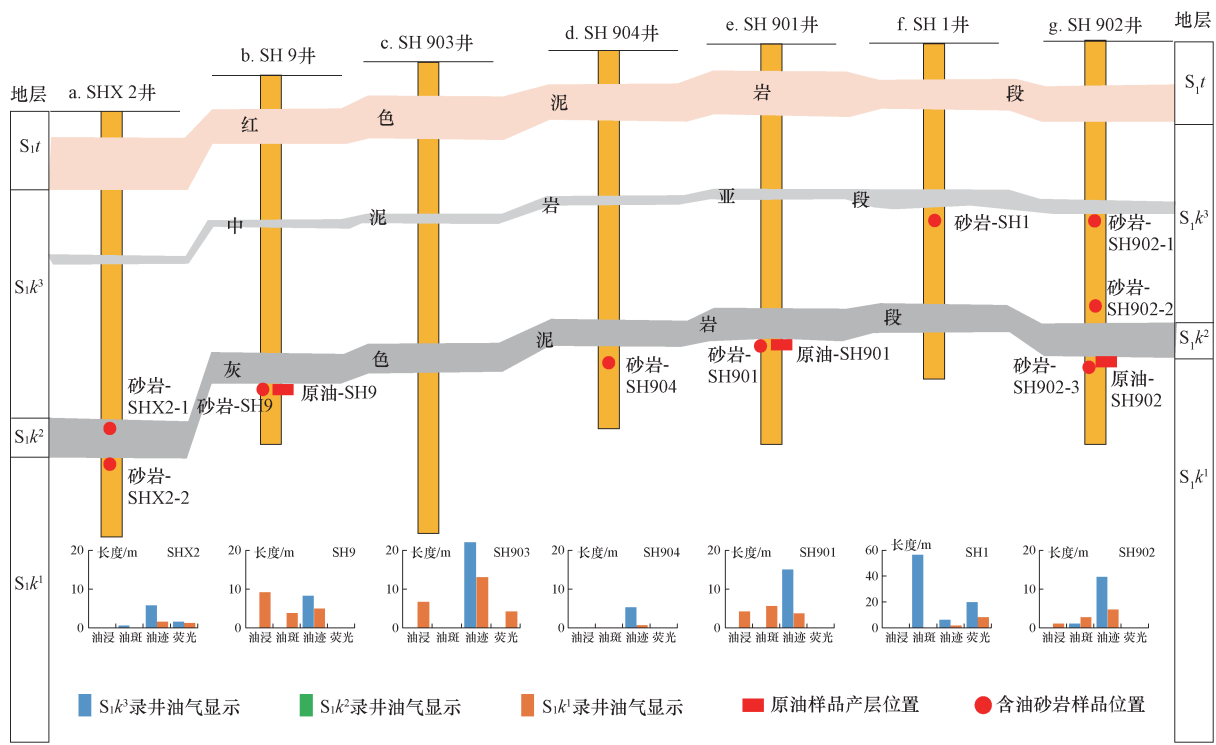


图 2 顺托果勒地区柯坪塔格组储-盖组合及油气显示连井对比与钻井原油及含油砂岩样品位置示意图
Fig.2 Schematic diagram showing the correlation of reservoir-cap assemblages to oil shows and sampling locations in the Kepingtage Formation of Shuotuguole region
 S_{1t} . 塔塔尔塔格组; S_{1k^3} . 柯坪塔格组上段; S_{1k^2} . 柯坪塔格组中段; S_{1k^1} . 柯坪塔格组下段

2 柯上段与柯下段原油和含油砂岩抽提物地球化学特征对比

选取研究区柯下段3个不同密度原油样品与对应层位的含油砂岩,以及柯上段不同油气显示段的含油砂岩(图2)开展原油及含油砂岩抽提物地球化学特征对比研究。原油与含油砂岩抽提物地球化学分析测试在中国石油大学(北京)地球科学学院石油地质实验室完成。

2.1 原油与含油砂岩抽提物族组成

图3为柯上段与柯下段原油和含油砂岩抽提物的族组分对比。从图中可以看到,柯下段原油与含油砂岩抽提物族组成均具有较高的饱和烃含量(54.8%~63.4%),较低的沥青质(16.4%~22.2%),饱芳比较高(2.2~3.8)。柯上段含油砂岩抽提物族组成差异较大,饱和烃含量为28.6%~61.2%,沥青质含量为6.8%~45.7%。值得注意的是,顺902井中3个含油砂岩抽提物,柯下段样品并不具有最高的饱和烃含量和最低的沥青质含量。该井柯下段含油砂岩抽提物族组成饱和烃为57.4%,沥青质为22.2%;柯上段两个样品,饱和烃含量分别为31.8%和61.2%,沥青质分别为6.8%和45.7%。此外,顺9井与顺901井测试产层段原油和含油砂岩抽提物族组成有所差异。原油族组成具有较高的总烃和饱和烃含量和较低的沥青质含量。顺9井原油与产层段含油砂岩抽提物族组成总烃分别为92.2%和80.1%,饱和烃分别为76.3%和63.4%,沥青质分别为7.8%和19.9%。顺西2井距顺9井区稍远,柯中段(泥岩顶部)与柯下段含油砂岩抽提物族组成饱和烃分别为38.6%和44.3%,沥青质分别为41.3%和36.8%。与顺9井区相比,顺西2井柯下段具有较低的饱和烃含量和较高的沥青质含量。以上含油砂岩抽提物族组成特征指示柯下段“可动”烃含量较高,而柯上段“可动”烃含量在钻井间以及不同层段间存在一定的差异。原油与含油砂岩抽提物之间族组成的差异可能是含油砂岩样品中轻质组分散失和产层“地质色层吸附滞留效应”造成的。

2.2 原油与含油砂岩抽提物正构烷烃分布特征

图4为研究区3个原油样品及典型含油砂岩抽提物样品饱和烃色谱图的对比。3个原油样品均呈前峰型单峰特征,主峰碳 nC_{13} 和 nC_{15} ,见不同程度的基线“鼓包”(UCM峰)。顺9井基线“鼓包”最为微弱。顺9井、顺901井产层段含油砂岩抽提物以及顺902井3

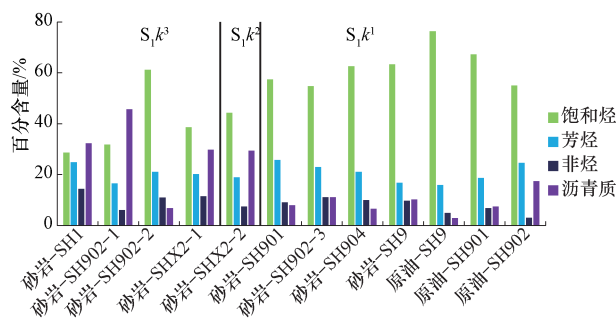


图3 顺托果勒地区柯上段(S_1k^3)与柯中段(S_1k^2)、

柯下段(S_1k^1)原油、含油砂岩抽提物族组分对比

Fig. 3 Comparison of the family compositions of crude oil and oil-bearing sandstone extracts from the upper(S_1k^3), middle(S_1k^2), and lower (S_1k^1) members of the Kepingtage Formation in Shuntuoguole region

个层段含油砂岩抽提物,也呈前峰型单峰特征,主峰碳 nC_{16} 和 nC_{20} ,均见不同程度的“UCM”峰。其中顺902井柯上段下亚段顶部样品(砂岩SH902-1)正构烷烃损失严重。原油与含油砂岩抽提物Pr/Ph在0.84~0.98,基本一致。原油与含油砂岩正构烷烃分布特征指示柯上段与柯下段油藏均遭受过生物降解作用。顺9井区柯下段整体具有较低的生物降解程度,但井间有差异,顺9井生物降解程度最为微弱。柯上段生物降解程度不同钻井之间,同一钻井不同砂岩段之间存在差异。顺902井柯上段下亚段顶部样品(砂岩SH902-1)生物降解程度最高。原油与含油砂岩抽提物正构烷烃的分布特征与族组成有良好的相关关系。

2.3 原油与含油砂岩抽提物甾烷、萜烷分布特征

图5与图6为研究区3个原油样品和典型含油砂岩抽提物样品 m/z 191和 m/z 217质量色谱图的对比。从图中可以看到,原油与含油砂岩抽提物具有非常相似的甾烷和萜烷分布特征,柯上段与柯下段特征基本一致。原油与含油砂岩抽提物样品 C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 甾烷均呈“V”型分布, C_{28} 甾烷丰度均小于25%; C_{23} 三环萜烷优势, C_{21} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷 <1 。甾烷、萜烷分布特征指示研究区柯上段与柯下段油气具有同源性。前期有研究人员提出,顺9井区可能为“双源”供烃^[16-17]。从上述甾烷分布特征看,即便存在“双源”供烃,“双源”贡献在柯上段和柯下段也并无差别。

2.4 原油与含油砂岩抽提物25-降藿烷系列

图7为3个原油样品与典型含油砂岩抽提物样品 m/z 177质量色谱图的对比。顺9井、顺901井和顺

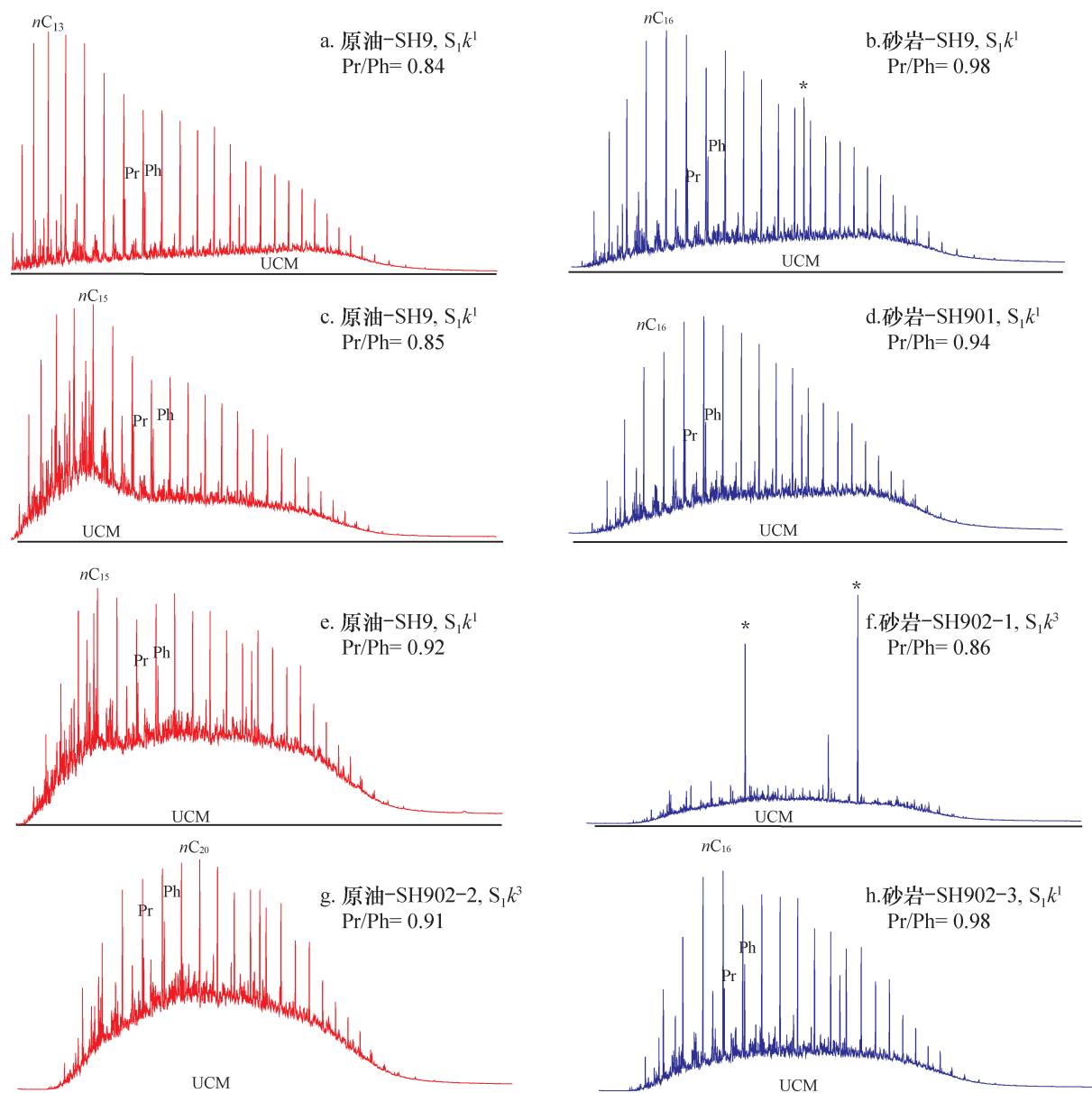


图4 顺托果勒地区柯上段(S_1k^3)与柯下段(S_1k^1)原油、含油砂岩抽提物饱和烃气相色谱对比

Fig. 4 Gas Saturated chromatograms of saturated hydrocarbons in crude oil and oil-bearing sandstone extracts from the lower (S_1k^1) and upper (S_1k^3) members of the Kepingtage Formation in Shuntuoguole region

UCM. 未分辨有机化合物; nC. 主峰碳数; Pr. 姥鲛烷; Ph. 植烷; Pr/Ph. 姥植比

902井3个原油样品均未检出25-降藿烷系列。顺9井、顺901井以及顺902井柯下段与柯上段底部含油砂岩抽提物也未检出25-降藿烷系列。顺902井柯上段下亚段顶部含油砂岩抽提物样品(Sand-SH901-1)检出高丰度 C_{29} 25-降藿烷, C_{29} 25-降藿烷/ C_{30} 藿烷值大于0.30。该样品气相色谱图见“UCM”峰,正构烷烃损失严重(图4)。25-降藿烷系列是判断油藏遭受严重生物降解的重要指标。顺902井柯上段下亚段顶部含油砂岩抽提物中 C_{29} 25-降藿烷的检出,表明其遭受过较为严重的生物降解。柯下段3个原油样品和其他

含油砂岩抽提物样品未检出25-降藿烷,表明柯下段生物降解程度较低。饱和烃气相色谱图“UCM”峰和较为完整的单峰型正构烷烃分布还表明研究区主要经历一期成藏,原生油藏均遭受过生物降解改造过程。生物降解程度在不同钻井之间以及不同层段之间有差异。值得注意的是,顺902井3个层段样品(砂岩Sh902-1,砂岩Sh902-2和砂岩Sh902-3)生物降解程度差异较大。该井在柯下段测试获得密度为0.925的原油,但柯下段含油砂岩抽提物并未检出25-降藿烷系列化合物。

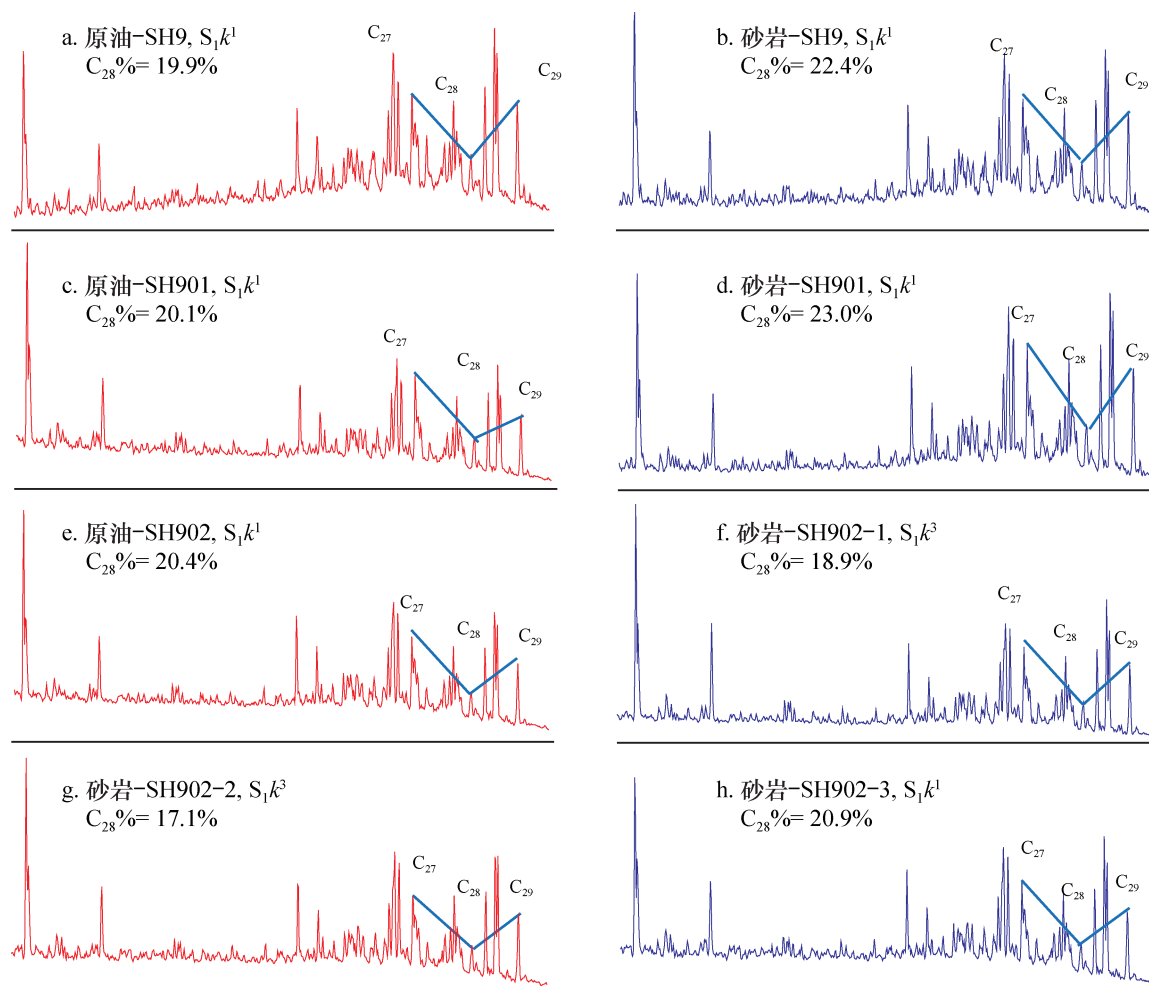


图5 顺托果勒地区柯上段(S_1k^1)与柯下段(S_1k^3)原油、含油砂岩抽提物质量色谱(m/z 217)对比

Fig. 5 Mass chromatogram (m/z 217) of crude oil and oil-bearing sandstone extracts from the lower(S_1k^3) and upper (S_1k^1) members of the Kepingtage Formation in Shuntuoguole region

C_{27} · C_{27} 甾烷; C_{28} · C_{28} 甾烷; C_{29} · C_{29} 甾烷; $C_{28}\%$ · C_{28} 甾烷在 C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 甾烷总和中的百分含量

2.5 原油与含油砂岩抽提物碳同位素特征

表1为研究区3个原油样品及顺9井、顺901井、顺902井含油砂岩抽提物的全油碳同位素和族组分碳同位素对比。从表中可以看到,柯上段与柯下段原油及含油砂岩抽提物碳同位素组成特征基本一致; $\delta^{13}C$ 值在 -32% 左右,全油及族组分碳同位素在不同样品间相差1%之内。碳同位素值和分布特征的一致性进一步指示了研究区柯上段与柯下段可动液态烃的同源性。

3 储层沥青与储层流体包裹体特征对比

3.1 储层沥青特征

储层沥青在研究区柯上段与柯下段均有发育,但赋存特征与沥青光性存在差异。宏观上,柯上段储层沥青非常常见。多口井岩心观察,肉眼均可见柯上段

沥青顺层或呈斑块状分布,与塔中古隆起上该层段沥青分布具有相似的特征。柯下段岩心观察,肉眼所见储层沥青少,井间有差异。柯下段所见储层沥青呈分散的斑点状。对顺9井薄片镜下观察可见柯上段储层沥青与柯下段沥青产状并无显著差异,均见于颗粒边缘、残余粒间孔、粒间溶孔、裂缝中。沥青光性特征存在差异。图8为顺9井柯上段与柯下段两个典型样品储层沥青赋存及光性的镜下对比。顺9井柯上段样品薄片镜下观察,沥青呈灰色或浅灰色,沥青反射率约为0.8%左右,柯下段样品薄片镜下观察,沥青呈暗灰或者灰黑色,反射率低率约为0.2%。前人对志留系储层沥青进行过较为详细的研究,认为近地表氧化和生物降解是其主要成因^[9-12]。顺9井两个储层沥青样品深度相差不足300 m,又为连续沉积;热演化很难形成沥青反射率这样的差异,因此推断这主要是因为原油藏改造破坏程度不同而造成。

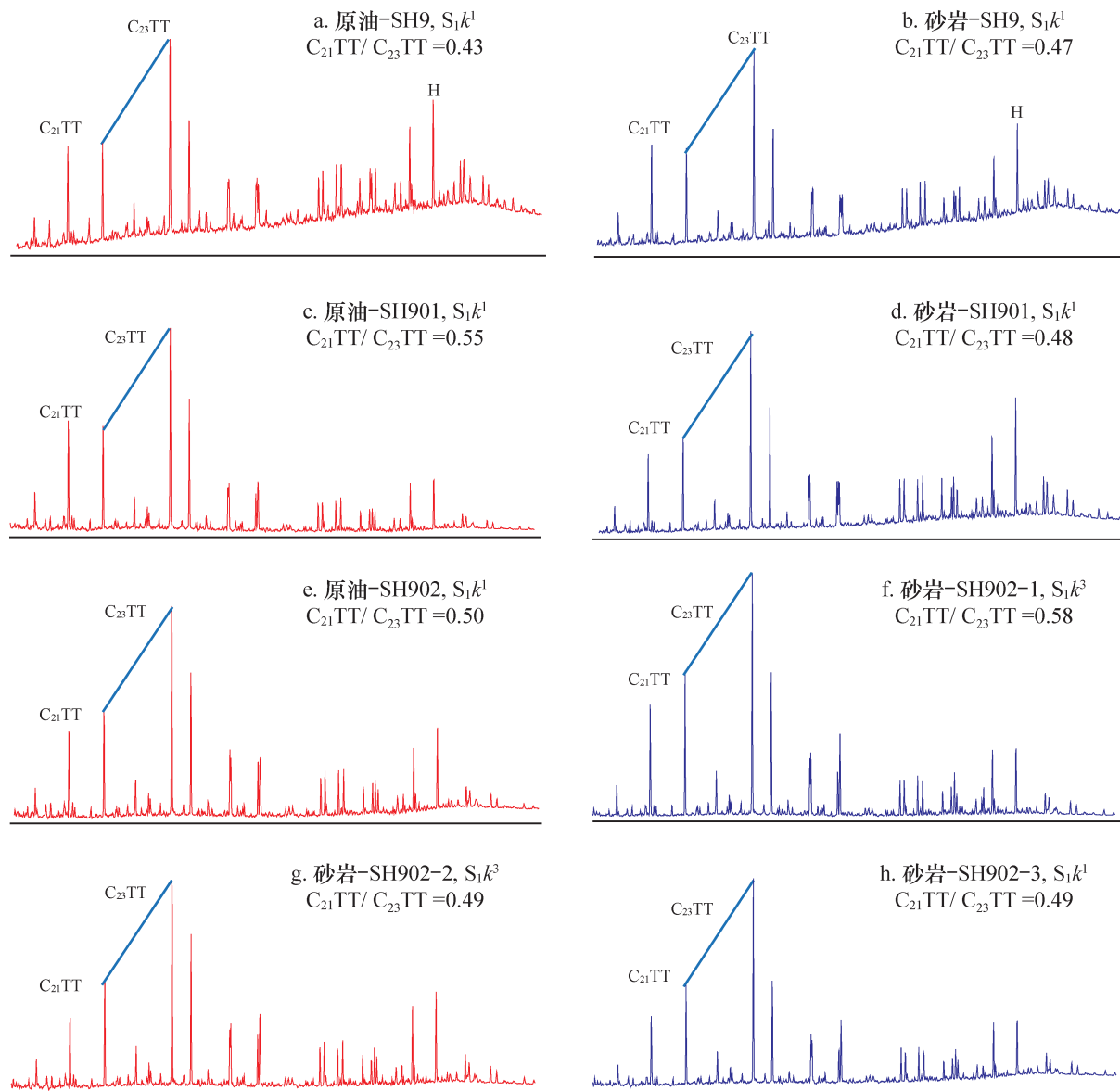


图6 顺托果勒地区柯上段(S_1k^3)与柯下段(S_1k^1)原油、含油砂岩抽提物质量色谱(m/z 191)对比

Fig.6 Mass chromatogram (m/z 191) of crude oil and oil-bearing sandstone extracts from the lower(S_1k^3) and upper (S_1k^1) members of the Kepingtage Formation in Shuntuoguole region

TT. 三环萜烷; $C_{21}TT/C_{23}TT$. C_{21} 三环萜烷与 C_{23} 三环萜烷含量的比值

3.2 储层流体包裹体特征

对顺9井柯上段与柯下段取心段进行了1~2 m间隔的密集采样和详细的包裹体分析测试。包裹体分析测试在武汉地质大学“构造与油气资源”重点实验室完成。

在顺9井柯上段与柯下段见大量的油包裹体,还可见沥青包裹体和气包裹体(图9)。该井柯下段试获轻质原油,因此重点对比研究油包裹体赋存特征。柯上段与柯下段油包裹体产状一致,均主要赋存于切穿石英颗粒的裂缝、石英颗粒内裂缝中,石英颗粒次生加

大边中也有分布。柯上段与柯下段油包裹体的荧光特征基本一致,主要发蓝绿色荧光和黄色荧光。两种荧光颜色的油包裹体在柯上段和柯下段丰度没有明显差别,产状一致。对柯上段和柯下段不同类型的流体包裹体均一测温数据分别进行统计(图10),可以看到,柯上段与柯下段油包裹体、含烃盐水包裹体和盐水包裹体均一温度分布基本特征一致。两种不同荧光颜色的油包裹体均一温度都主要连续分布在30~130℃范围内,单峰分布,主峰在60~80℃。沥青包裹体和气包裹体的产状与油包裹体的产状也基本一致,常见在同一宿主矿物中共生分布(图9)。

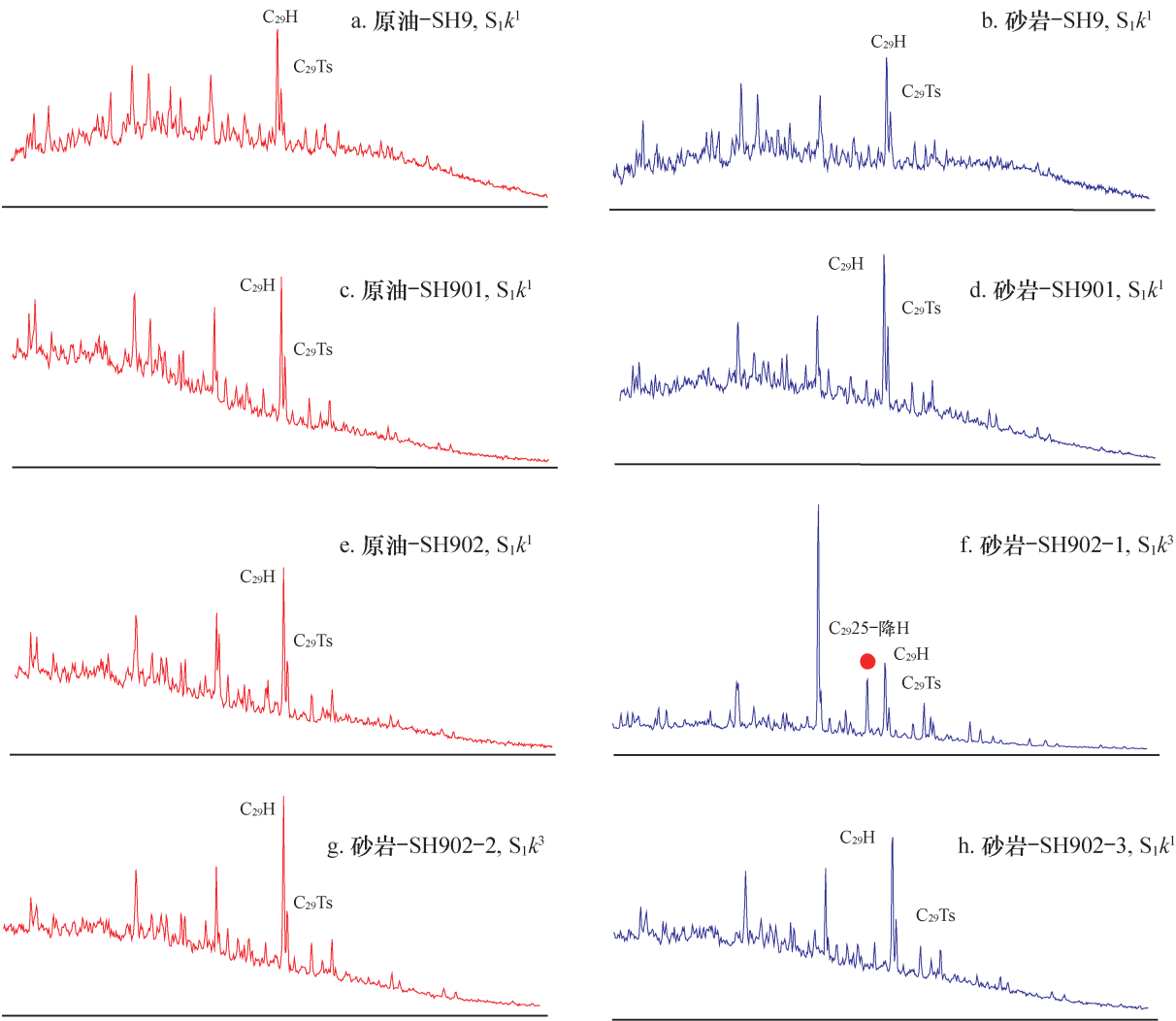


图 7 顺托果勒地区柯上段(S_1k^3)与柯下段(S_1k^1)原油、含油砂岩抽提物质量色谱(m/z 177)对比
Fig. 7 Mass chromatogram (m/z 177) of crude oil and oil-bearing sandstone extracts from the lower (S_1k^3) and upper (S_1k^1) members of the Kepingtage Formation in Shuntuoguole region
H. 藿烷; Ts. 新藿烷

表 1 顺托果勒地区柯上段(S_1k^3)与柯下段(S_1k^1)原油与含有砂岩抽提物碳同位素组成($\delta^{13}C$)
Table 1 Carbon isotopic compositions($\delta^{13}C$) of crude oil and oil-bearing sandstone extracts from the upper (S_1k^3) and lower (S_1k^1) members of the Kepingtage Formation in Shuntuoguole region

样品编号	层位	$\delta^{13}C/\text{‰}$				
		全油	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
砂岩 SH902-1	S_1k^3	-32.2	-32.2	-32.2	-32.1	-32.9
砂岩 SH902-2	S_1k^3	-31.6	-32.2	-32.2	-32.1	-32.9
砂岩 SH901	S_1k^3	-32.2	-31.7	-31.9	-31.4	-31.2
砂岩 SH902-3	S_1k^1	-31.3	-32.1	-32.2	-32.2	-32.6
砂岩 SH9	S_1k^1	-32.4	-32.6	-32.1	-31.7	-32.3
原油 SH9	S_1k^1	-31.6	-31.5	-31.8	-31.3	-32.2
原油 SH901	S_1k^1	-31.9	-31.9	-31.8	-31.5	-32.1
原油 SH902	S_1k^1	-32.3	-32.3	-31.8	-31.9	-32.1

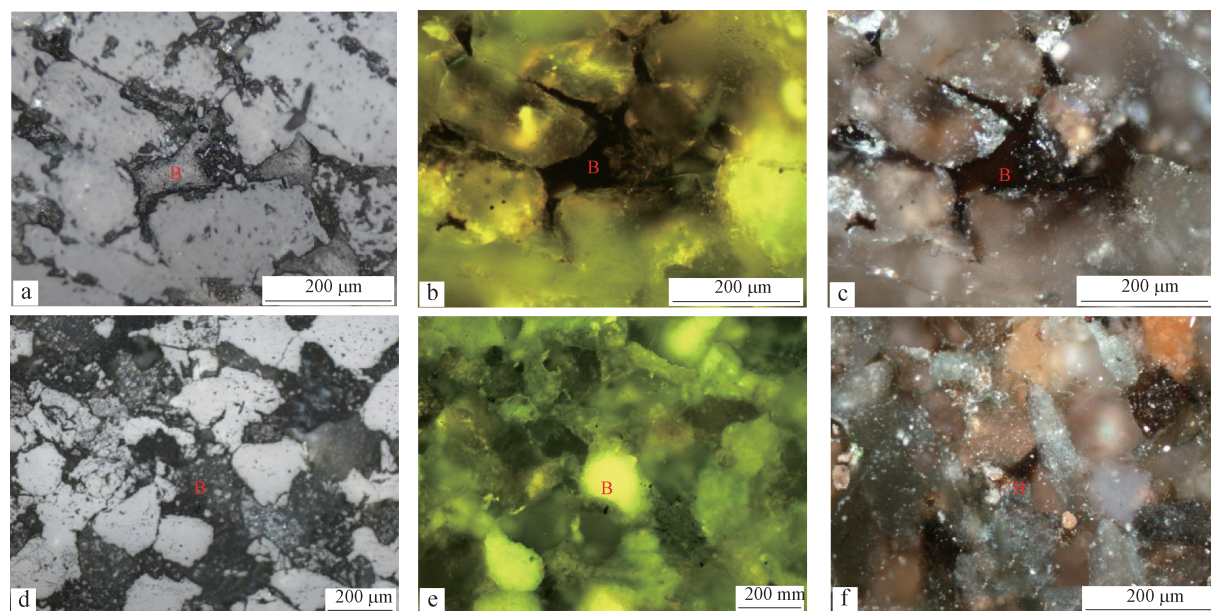


图8 顺托果勒地区顺9井柯上段(S_1k^3)与柯下段(S_1k^1)储层沥青(B)赋存特征与光性特征对比

Fig. 8 Occurrence characteristics and optical properties of reservoir bitumen(B) from the upper (S_1k^3) and lower (S_1k^1) members of the Kepingtage Formation in Well SH 9, Shuntuoguole region

a—c. 埋深5 336 m, S_1k^3 , a为反射光干物镜, b为反射荧光, c为反射光油浸物镜;

d—f. 埋深5 583 m, S_1k^1 , d为反射光干物镜, e为反射荧光, f为反射光油浸物镜

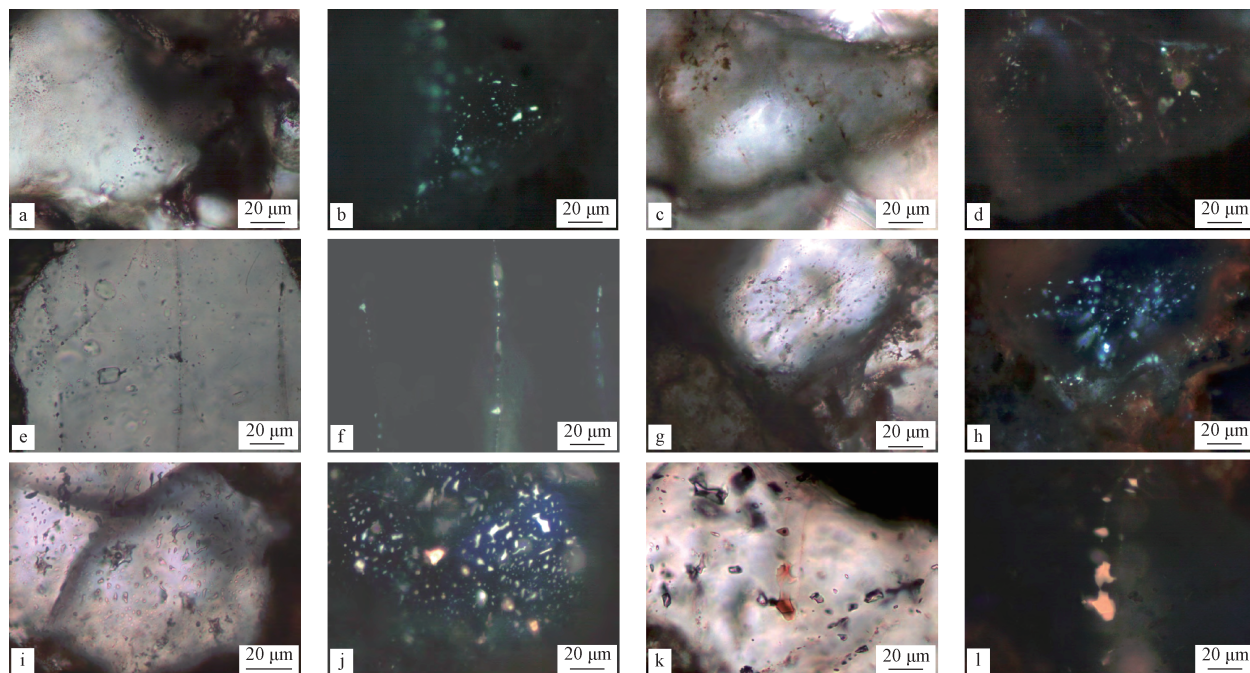


图9 顺托果勒地区顺9井柯上段(S_1k^3)与柯下段(S_1k^1)烃类包裹体赋存特征

Fig. 9 Occurrence characteristics of hydrocarbon fluid inclusions from the upper (S_1k^3) and lower (S_1k^1) of the Kepingtage Formation in Well SH 9, Shuntuoguole region

a, b. 埋深5 236.8 m, S_1k^3 , 细砂岩, 穿石英颗粒裂纹中见发蓝绿色荧光油包裹体, a为透射光, b为荧光; c, d. 埋深5 335.8 m, S_1k^3 , 细砂岩, 穿石英颗粒裂纹中见发蓝绿色和黄色荧光油包裹体, c为透射光, d为荧光; e, f. 埋深5 473.7 m, S_1k^3 , 油迹含沥青中砂岩, 穿石英颗粒裂纹中见发蓝绿色荧光油包裹体, e为透射光, f为荧光; g, h. 埋深5 580.8 m, S_1k^1 , 油浸细砂岩, 穿石英颗粒裂纹中见发蓝绿色荧光油包裹体, g为透射光, h为荧光; i, j. 埋深5 581.06 m, S_1k^1 , 油浸细砂岩, 穿石英颗粒裂纹中见发黄色和蓝绿色荧光油包裹体, i为透射光, j为荧光; k, l. 埋深5 585.75 m, S_1k^1 , 油浸细砂岩, 穿石英颗粒裂纹中见发黄色荧光油包裹体及不发荧光沥青包裹体, k为透射光, l为荧光

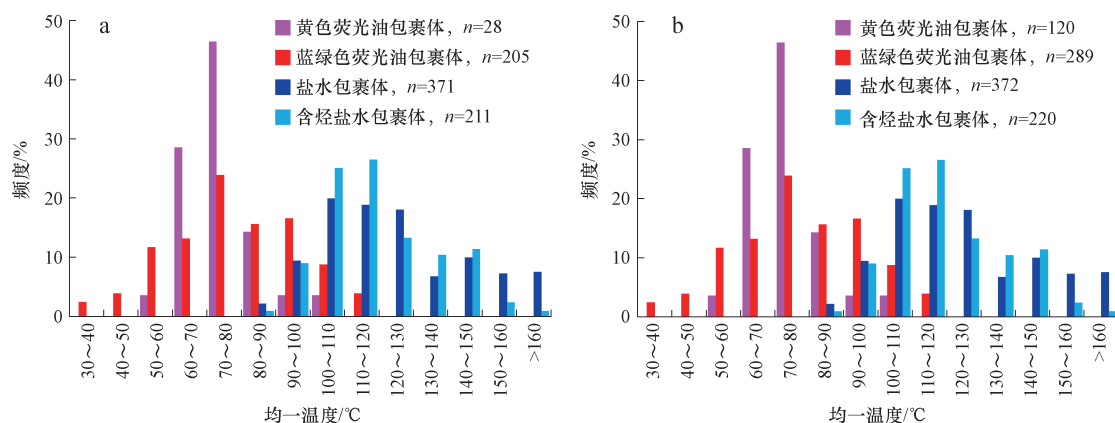


图10 顺托果勒地区顺9井柯上段(a)与柯下段(b)烃类包裹体均一温度对比

Fig. 10 Homogenization temperature distributions of hydrocarbon inclusions from the upper (a) and lower (b) members of the Kepingtage Formation in Well SH 9, Shuntuoguole region

柯上段与柯下段储层流体包裹体赋存特征及均一温度分布的一致性指示两个层段经历了一致的成藏过程,但顺9井油包裹体及盐水包裹体均一温度在不同宿主矿物中的分布没有明显差别,这给进一步确认成藏历史带来了困难。前期也有研究人员对该区储层流体包裹体开展过较为详细的研究^[16-18]。从前期研究报道的测试数据看,油包裹体及盐水包裹体均一温度分布范围宽,且较为连续,不同宿主矿物中包裹体均一温度的差异并不明显^[17-18]。本文基于对柯上段与柯下段油包裹体赋存特征、均一温度分布特征的对比认为,油包裹体及盐水包裹体在不同宿主矿物间宽范围连续分布的特征很难说明储层经历了多期成藏过程。顺9井油包裹体赋存特征指示,该区在储层成岩早期就发生了油气成藏过程;再经历后期的成岩进程,早期赋存在储层孔隙中的油气也有可能经过重新调整而被“记录”;如果后期没有大规模不同性质的油气再充注,则可能形成现今的流体包裹体赋存和均一温度分布面貌。因此,很难基于上述流体包裹体赋存及均一温度分布推定成藏期的古地温,进而确定成藏时间。

4 讨论与启示

1) 研究区柯上段与柯下段可动烃地球化学特征、储层沥青赋存和光性特征以及储层流体包裹体赋存特征的对比表明两个含油层段具有“一致成藏、差异改造”的特点。柯上段与柯下段主要经历了一期成藏和普遍的改造破坏。保存条件的差异造成了原生油藏改造破坏程度的不同,形成了现今两个层段含油气性的差异。柯上段与柯下段原生油藏改造破坏程度的差异与盖层条件密切相关。研究区柯中段泥岩质纯、连续

分布,厚度稳定。该套泥岩突破压力17.4~25.9 MPa,封盖能力强^[27],是一套优良的区域盖层,也是柯下段顶部油层的直接盖层。柯上段中泥岩亚段岩性主要为泥岩夹粉砂质泥岩、泥质粉砂以及少量细砂岩,泥岩横向分布不稳定,钻井间变化快;其作为柯上段下亚段的直接盖层,封盖条件整体较差。柯上段与柯下段在经历一致的成藏过程后,由于两套盖层封盖能力的差别,改造破坏程度不一,形成了现今含油气性质的差别。李宇平等(2002)曾基于塔中隆起区柯上段已发现油气藏的研究指出,加里东晚—海西早期的大规模原生油藏改造破坏造成了柯上段上亚段与下亚段油气性质差异^[8]。值得注意的是,研究区顺902井柯上段底部样含油砂岩(砂岩SH902-2)抽提物地化特征指示柯上段在研究区虽然保存条件整体较差,但仍存在局部保存条件良好的地区。

2) 研究区志留系油气原生油藏改造破坏最有可能发生在加里东晚期—海西早期。柯上段与柯下段原油及含油砂岩抽提物地化特征指示研究区原生油藏经历了普遍的生物降解作用。从地质历史分析,这样的改造和破坏过程最有可能发生在加里东晚期至海西早期。加里东晚期至海西早期构造运动中,研究区虽然地处塔中古隆起斜坡部位,但志留系—泥盆系也遭受了抬升剥蚀;此外,该时期也是北东向走滑断裂活动最为强烈的时期^[20-24]。研究区志留系和泥盆系的抬升剥蚀以及北东向走滑断裂的强烈活动可能造成埋藏较浅的原生油藏的普遍改造和破坏,或者在原生油气藏形成的同时遭受改造和破坏。在顺托果勒地区钻井揭示的储层沥青可能是加里东晚期—海西早期原生油藏遭受改造和破坏的产物;而原生油藏的形成应当在此之前或与之同期。由此推测顺9井柯下段轻质油藏是

早期形成、后期保存较好的古老原生油气藏。这与前期研究人员提出可动油主要形成于海西晚期或喜马拉雅期的研究认识有所不同^[15-18]。一方面,如上文所述,很难利用流体包裹体均一温度直接推定成藏期;另一方面,如果可动油成藏期主要发生在海西晚期或者喜马拉雅期,与钻井揭示的实际情况不符。研究区内顺1井、顺901井、顺902井钻揭石炭系储盖组合和低幅度构造圈闭,井区走滑断裂也断穿石炭系储盖组合;但钻井并未在石炭系见油气显示。顺9井柯上段与柯下段见沥青包裹体和气包裹体的存在,也可能指示晚期微弱的油气充注或者海西晚期与火山活动有关的调整和改造,这一方面尚需开展进一步的研究工作。

3) 基于上述顺托果勒地区柯上段与柯下段早期成藏、差异改造的研究认识,该区志留系仍然具有较大的勘探潜力,寻找保存较好的原生油藏仍然是重要的勘探方向。柯中段泥岩在塔中和塔北两大古隆起斜坡部位广泛分布,柯下段仍然是值得关注的重点层段。研究区柯上段保存条件差异大,应当进一步深化研究。本文研究表明,保存条件是控制志留系油气富集最为关键的因素之一。应当加强志留系沉积演化控制下的优质盖层空间展布研究,以进一步锁定勘探有利地区和层段。

5 结论

1) 顺9井区柯上段与柯下段原油及含油砂岩抽提物正构烷烃分布、甾萜烷分布以及碳同位素组成的一致性指示了两个含油层段可动液态烃的同源性,而原油及含油砂岩抽提物族组成与储层沥青特征的差异指示了两个含油层段经历了差异改造的过程。

2) 顺9井区柯上段与柯下段原油及含油砂岩抽提物饱和烃气相色谱图“UCM”峰的普遍存在与柯上段25-降藿烷系列化合物的检出,指示柯上段与柯下段经历过普遍的生物降解作用,但油藏遭受改造和破坏的程度有差异,柯下段油藏改造和破坏程度较弱。含油砂岩抽提物饱和烃气相色谱图“UCM”峰的普遍存在与多数样品正构烷烃较为完整的单峰分布同时也指示,研究区柯上段与柯下段主要经历过一期成藏过程。

3) 基于顺9井储层流体包裹体特征与构造演化史和钻井情况,推测顺托果勒地区志留系柯坪塔格组成藏及改造过程主要发生在加里东晚期—海西早期。顺9井轻质油藏可能是加里东晚期至海西早期形成的古老原生油气藏。

致谢:感谢王铁冠院士、陈红汉教授在研究和成文中的讨论、帮助和建议。

参 考 文 献

- [1] 汪同文,韩剑发,邹光辉,等.塔里木盆地塔中隆起断控复式油气聚集的差异性及主控因素[J].石油勘探与开发,2020,47(2):213-224.
Wang Tongwen, Han Jianfa, Wu Guanghui, et al. Differences and controlling factors of composite hydrocarbon accumulations in the Tazhong uplift, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(2): 213-224.
- [2] 张永贵,张忠民,冯兴强,等.塔河油田南部志留系油气成藏主控因素与成藏模式[J].石油学报,2011,32(5):767-774.
Zhang Yonggui, Zhang Zhongmin, Feng Xingqiang, et al. Main controlling factors and models of Silurian hydrocarbon accumulation in the southern Tahe Oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 767-774.
- [3] 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.
- [4] 胡健,王铁冠,陈建平,等.塔里木盆地志留系沥青砂油源及充注期次分析—来自生物标志化合物的证据[J].天然气地球科学,2015,26(5):930-941.
Hu Jian, Wang Tieguan, Chen Jianping, et al. Source recognition and charging analysis of oil in the Silurian bituminous sandstone in the Tarim Basin: Evidences from biomarker compounds [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(5): 930-941.
- [5] 池林贤,张志遥,朱光有,等.塔里木盆地塔中志留系油藏两期成藏的分子地球化学证据[J].天然气地球科学,2020,31(4):471-482.
Chi Linxian, Zhang Zhiyao, Zhu Guangyou, et al. The molecular geochemical evidence of two accumulation stages of the Silurian reservoirs in Tazhong Uplift, Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(4): 471-482.
- [6] 张鼎,张水昌,李新景,等.塔中117井储层烃包裹体研究及油气成藏史[J].岩石学报,2005,21(5):1473-1478.
Zhang Nai, Zhang Shuichang, Li Xinjing, et al. Integrated hydrocarbon inclusion studies and oil charge history in the Well Tazhong 117, Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(5): 1473-1478.
- [7] 鲁雪松,宋岩,柳少波,等.流体包裹体精细分析在塔中志留系油气成藏研究中的应用[J].中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(4):45-50,76.
Lu Xuesong, Song Yan, Liu Sjaobo, et al. Detailed analysis of fluid inclusions and its application in accumulation history research on Silurian reservoirs in Tazhong area, Tarim Basin [J]. Journal of China University of Petroleum, 2012, 36(4): 45-50, 76.
- [8] 李宇平,王勇,孙玉善,等.塔里木盆地中部地区志留系油藏两期成藏特征[J].地质科学,2002,37(增刊):45-50.
Li Yuping, Wang Yong, Sun Yushan, et al. Two accumulation stages of the Silurian hydrocarbon reservoirs in central area of the Tarim Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(supp.): 45-50.
- [9] 卢秀翔,樊奎海,赵凤云,等.塔里木盆地北部地区志留系油藏两期成藏特征[J].石油地质,2007,24:189-198.
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.

- [10] 刘洛夫,赵建章,张水昌,等.塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化[J].沉积学报,2000,18(3):475-479.
Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. Hydrocarbon filling ages and evolution of the Silurian asphalt sandstones in Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 475-479.
- [11] 彭丽,王振彪,阳建平,等.塔里木盆地塔中10号构造带志留系柯坪塔格组低渗储层特征及控制因素[J].石油实验地质,2019,41(3):355-362.
Peng Li, Wang Zhenbiao, Yang Jianping, et al. Characteristics and controlling factors of low-permeability reservoirs in Silurian Kepingtage Formation, 10th tectonic belt in the Tazhong area, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(3): 355-362.
- [12] 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(sup. II): 199-208.
- [13] 王显东,姜振学,庞雄奇,等.塔里木盆地志留系盖层综合评价[J].西安石油大学学报(自然科学版),2004,19(4):49-57, VIII.
Wang Xiandong, Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, et al. Comprehensive evaluation of sealing ability of Silurian cap rocks in Talimu Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2004, 19(4): 49-57, VIII.
- [14] 金晓辉,闫相宾,张峭楠,等.塔里木盆地志留系成藏条件与勘探方向探讨[J].西安石油大学学报:自然科学版,2006,21(2):1-4, 6.
Jin Xiaohui, Yan Xiangbin, Zhang Shaonan, et al. Discussion on oil reservoir forming conditions and exploration targets of the Silurian in Tarim Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2006, 21(2): 1-4, 6.
- [15] 马中远,黄苇,李婧婧,等.塔中北坡SH9井区柯坪塔格组下段原油地球化学特征[J].石油实验地质,2013,35(5):559-563.
Ma Zhongyuan, Huang Wei, Li Jingjing, et al. Geochemical characteristics of crude oil from lower Kalpintag Formation in SH9 well area, northern slope of middle Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(5): 559-563.
- [16] 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.
- [17] 吴悠,陈红汉,周玉涛,等.塔中地区北坡志留系晚期油气充注证据及控制因素[J].石油天然气地质,2017,38(2):292-301.
Wu You, Chen Honghan, Zhou Yutao, et al. Evidences and controlling factors of hydrocarbon charging in the Late Silurian in the north slope of the Tazhong Uplift, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(2): 292-301.
- [18] 王倩茹,陈红汉,赵玉涛,等.塔中北坡顺托果勒地区志留系油气成藏期差异性分析[J].地球科学,2018,43(2):577-593.
Wang Qianru, Chen Honghan, Zhao Yutao, et al. Difference of hydrocarbon accumulation periods in Silurian of Tazhong northern slope, Tarim Basin[J]. Earth Science, 2018, 43(2): 577-593.
- [19] 云金表,宋海明,冯兴强,等.塔里木盆地顺托果勒地区志留系油藏形成模式探讨[J].石油实验地质,2017,39(6):763-769.
Yun Jinbiao, Song Haiming, Feng Xingqiang, et al. Physical simulation and discussion of the formation mode of the Silurian oil reservoirs in the Shuntuoguole region, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(6): 763-769.
- [20] 邓尚,李慧莉,韩俊,等.塔里木盆地顺北5号走滑断裂中段活动特征及其地质意义[J].石油与天然气地质,2019,40(5):990-998.
Deng Shang, Li Huili, Han Jun, et al. Characteristics of the central segment of Shunbei 5 strike-slip fault zone in Tarim Basin and its geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(5): 990-998.
- [21] 邓尚,李慧莉,张仲培,等.塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系[J].石油与天然气地质,2018,39(5):878-888.
Deng Shang, Li Huili, Zhang Zhongpei, et al. Characteristics of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 878-888.
- [22] 张继标,张仲培,汪必峰,等.塔里木盆地顺南地区走滑断裂派生裂缝发育规律及预测[J].石油与天然气地质,2018,39(5):955-963.
Zhang Jibiao, Zhang Zhongpei, Wang Bifeng, et al. Development pattern and prediction of induced fractures from strike-slip faults in Shunnan area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 955-963.
- [23] 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.
- [24] 马庆佑,沙旭光,李玉兰,等.塔中顺托果勒区块走滑断裂特征及控油作用[J].石油实验地质,2012,34(2):120-124.
Ma Qingyou, Sha Xuguang, Li Yulan, et al. Characteristics of strike-slip fault and its controlling on oil in Shuntuoguole region, middle Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 120-124.
- [25] 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.
- [26] 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 Jiangnan Petroleum Institute), 2014, 36(6): 11-15.
- [27] 马中远,黄苇,张黎,等.塔中北坡柯坪塔格组泥岩盖层特征及控油作用[J].特种油气藏,2014,21(1):64-67.
Ma Zhongyuan, Huang Wei, Zhang Li, et al. Features of Kepingtage Formation mudstone cap rock and its oil controlling in Tazhong north slope[J]. Special Oil and Gas Reservoir, 2014, 21(1): 64-67.