

文章编号:0253-9985(2008)05-0632-07

塔河地区南部志留系柯坪塔格组油气藏形成条件

王毅,陈元壮

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:塔河地区南部志留系柯坪塔格组砂岩属于低孔、低渗储集岩,局部发育厚层滨岸相、三角洲分流河道、河口砂坝以及潮汐水道等优质储集岩,发育多套储盖组合。塔河地区南部寒武-奥陶系烃源岩形成的烃类,沿着断裂、裂隙、砂岩和不整合面经过上奥陶统桑塔木组泥岩运移到柯坪塔格组砂岩聚集成藏。柯坪塔格组油气藏以喜马拉雅期成藏为主,发育背斜、地层不整合遮挡、地层超覆、岩性以及构造-岩性复合型等5种油气藏类型,围绕塔河北部高部位志留系剥蚀尖灭线附近是地层不整合遮挡油气藏有利成藏区,往南是背斜、地层超覆及岩性、构造-岩性复合型油气藏有利成藏区。志留系砂岩具有深埋藏、大面积、低丰度、薄油气层、断层沟通、叠合连片的油气聚集特点,可能还存在致密砂岩气藏,油气资源潜力可观。

关键词:储集岩;油气藏类型;分布模式;油气资源潜力;志留系;塔河南部

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Conditions of hydrocarbon pooling in the Silurian Kepingtage Formation in the southern Tahe region of the Tarim Basin

Wang Yi, Chen Yuanzhuang

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on an integrated analysis of the conditions of hydrocarbon pooling, types and distribution of the reservoirs in the Lower Silurian Kepingtage Formation in the southern Tahe region of the Tarim basin, this paper focuses on the distribution patterns of the Silurian hydrocarbon reservoirs in the southern Tahe region and estimates the hydrocarbon potential in this area. The Kepingtage sandstones are reservoir rocks with low porosity and low permeability, but some of them are quality reservoirs, such as thick shoreside facies, distributary channels in delta, mouth bars and tidal channel. Several reservoir-seal combinations were developed in the Silurian. Hydrocarbons generated from the Cambro-Ordovician source rocks in the southern Tahe region migrated to and accumulated in the Kepingtage sandstones through Upper Ordovician Sangtamu mudstone via faults, fractures, sandstone layers and unconformities. Five types of reservoirs, including anticline, unconformity barrier, onlap, lithological and structural-lithological combination reservoirs, are recognized in the Kepingtage Formation and were mainly developed in the Himalayan period. The unconformity barrier reservoirs are mainly distributed around the denudation pinch-out line of the Silurian in the high of the northern Tahe area, while the anticline, onlap, lithological and structural-lithological combination reservoirs are mainly distributed in the southern Tahe area. The Silurian sandstone in the study area has the characteristics of deep burial, large area of distribution, low abundance, thin hydrocarbon-bearing layers, linkage via faults and overlapping of oil-bearing areas. The estimated oil reserves in the Silurian are about 160 million tons. Moreover, tight sands gas reservoirs may also occur in the study area.

收稿日期:2008-08-01。

第一作者简介:王毅(1960—),男,博士,教授,油气勘探。

Key words: reservoir rock; reservoir type; distribution pattern; hydrocarbon potential; Silurian; southern Tahe

塔河地区南部位于塔里木盆地沙雅隆起塔河油田南部。北邻塔河油气田,南部紧邻泥盆系、石炭系砂岩油气藏组成的哈得逊油气田。研究工区面积约2 000 km²,已钻遇志留系的探井约75%在志留系海相砂岩钻遇良好的油气显示,其中沙112-2井在志留系砂岩含油井段射孔测试,日产油约80 m³,气1 200 m³;塔河地区南部志留系已累计产油约8×10⁴ t,显示志留系具有良好的油气勘探潜力(图1)。塔河地区南部志留系划分为中志留统依木干他乌组和下志留统的塔塔埃尔塔格组和柯坪塔格组,油气显示集中在柯坪塔格组砂岩。由于受到加里东晚期构造抬升和风化剥蚀的影响,依木干他乌组、塔塔埃尔塔格组、柯坪塔格组均遭受不同程度的剥蚀,往北部塔河油田主体部位的方向,主要保存有柯坪塔格组,石炭系泥岩直接覆盖在柯坪塔格组上段砂岩上。往南部方向至托普2井,依木干他乌组、塔塔埃尔塔格组和柯坪塔格组保存相对较完整。

1 志留系柯坪塔格组沉积特征

塔河地区志留系测井、岩心和三维地震资料综合表明,可划分为中志留统依木干他乌组和下志留统的塔塔埃尔塔格组和柯坪塔格组。依据岩性变化的特点,塔塔埃尔塔格组划分为上、下2个岩性段,柯坪塔格组可划分为上、中、下3个岩性段(图2)。前人多将柯坪塔格组下段的时代划为上奥陶统,但塔河地区艾丁4井奥陶系桑塔木组泥灰岩不整合面上(井深6 362 m)发育厚度约20 m的柯坪塔格组下段的细粒、粗粒长石石英砂岩,与塔河地区志留系其他钻井对比,结合三维地震层序划分,都相应存在这一套砂岩沉积,研究表明,它们应该是奥陶系海退后,志留系早期海侵的沉积物。塔河地区南部柯坪塔格组砂岩岩心发育多种典型沉积构造,包括槽状交错层理、板状交错层理、冲洗层理、平行层理、羽状层理、波状层理、

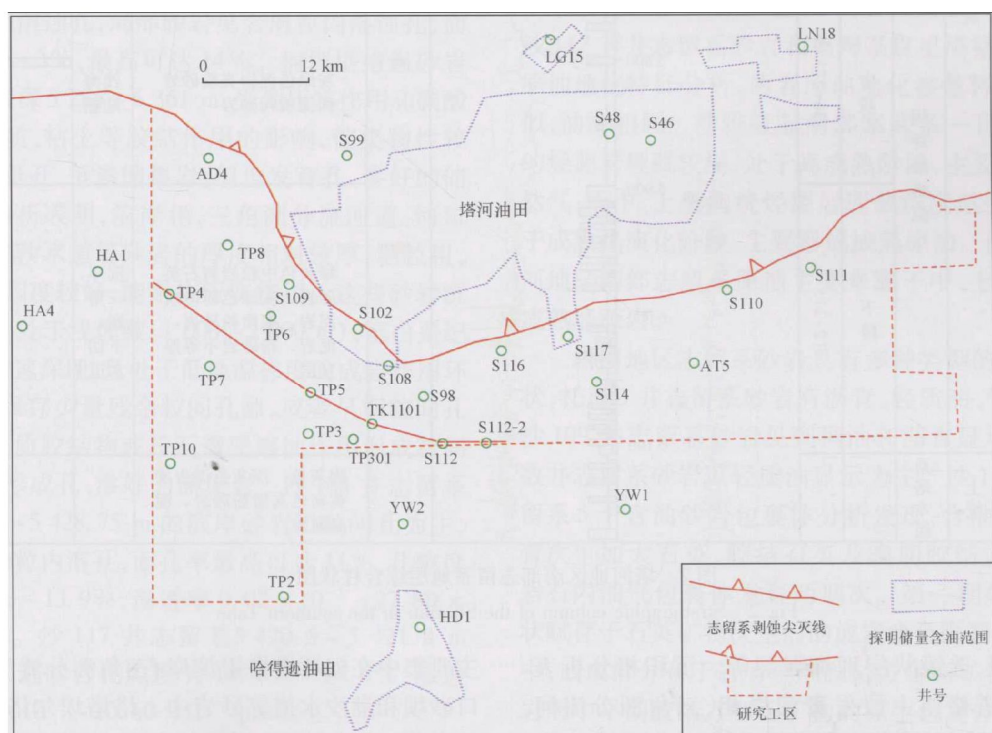


图1 塔里木盆地塔河油田南部志留系井位分布

Fig. 1 Locations of wells in the Silurian in the southern Tahe Oilfield, the Tarim Basin

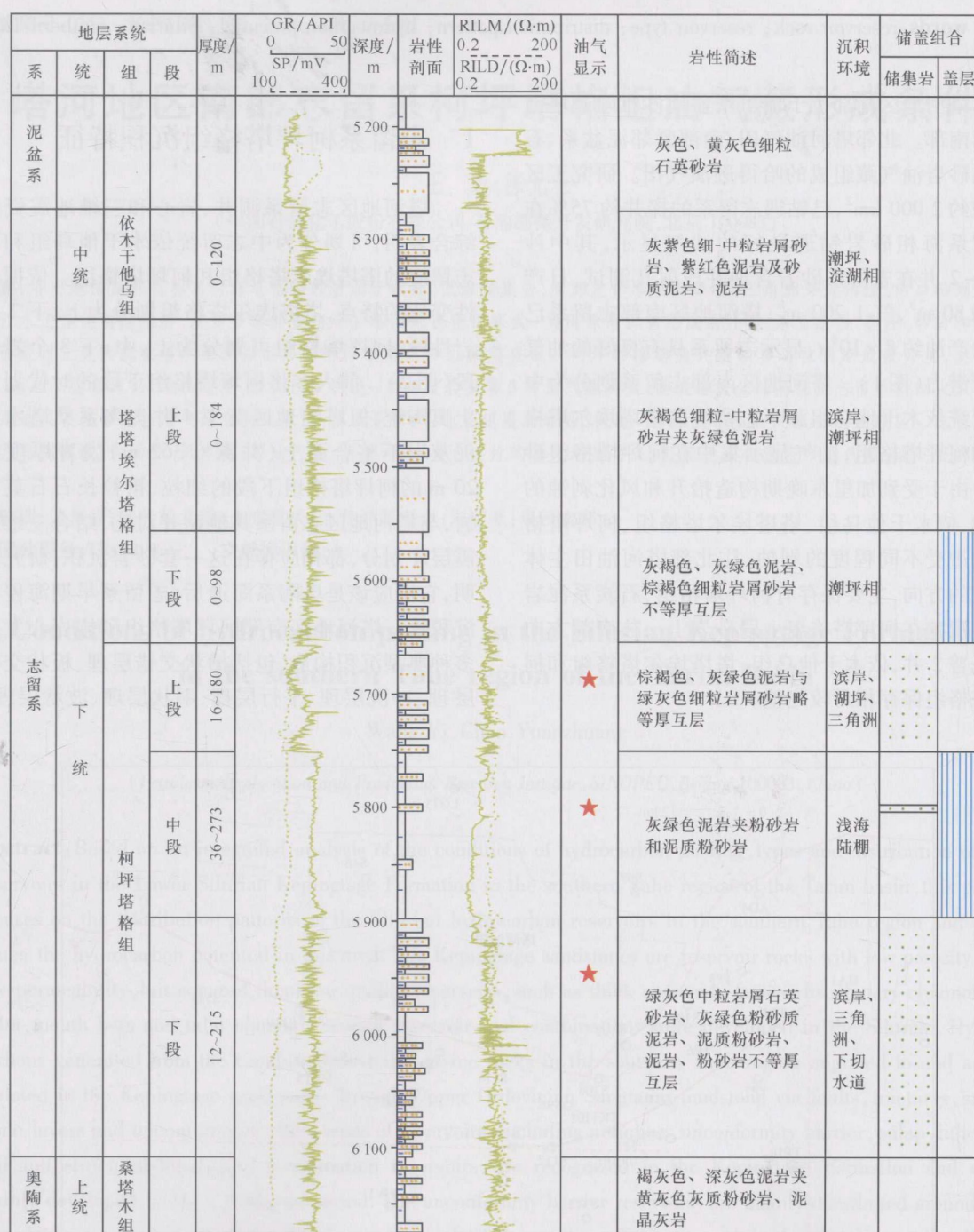


图2 塔河地区南部志留系地层综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of the Silurian in the southern Tahe

脉状层理、透镜状层理和泥裂等。沉积相分析表明,柯坪塔格组上段发育滨岸相、三角洲分流河道、河口砂坝以及潮汐水道等砂岩;中段发育浅海陆棚泥岩,局部发育砂坝及风暴沉积;下段发育滨岸相、下切水道和低位三角洲等砂岩。油气显示

主要集中在柯坪塔格组滨岸、三角洲分流河道、河口砂坝和潮汐水道等砂岩中。塔塔埃尔塔格组下段发育潮坪相沉积;塔塔埃尔塔格组上段发育潮坪及滨岸相沉积。依木干他乌组发育潮坪相及潟湖沉积。

2 油气藏形成条件

2.1 储盖组合

2.1.1 储集岩

塔河地区柯坪塔格组发育下切水道、滨岸、湖坪和三角洲等相带的砂泥岩互层沉积,砂岩厚度相对较薄,单层厚度一般为2~8 m。纵、横向相变化比较快,砂体迁移快、分布不稳定且连通性比较差。大量交错的薄砂层在空间上构成大面积分布、叠合连片的储集体。柯坪塔格组上、中、下段均发育有砂岩储层,储集岩埋藏深度5 285~6 361 m。柯坪塔格组岩石类型包括中粒石英砂岩、细粒长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩、长石石英砂岩以及岩屑石英砂岩。柯坪塔格组上段砂岩孔隙度为3.1%~15.6%,平均9.9%,渗透率 $0.001 \times 10^{-3} \sim 39.80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;中段砂岩孔隙度为5.6%~10.0%,平均8.4%,渗透率 $0.05 \times 10^{-3} \sim 0.44 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;下段砂岩孔隙度为0.9%~6.1%,平均4.5%,渗透率 $0.01 \times 10^{-3} \sim 1.97 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。铸体薄片资料统计,孔隙类型主要是残余的粒间孔隙和粒间溶蚀孔,局部砂岩见岩屑粒内溶蚀孔,面孔率1%~3%,最高可达14%。柯坪塔格组砂岩储集岩埋深5 285~6 361 m,受到压实作用和碳酸盐岩、硅质、粘土等胶结作用的影响,储集物性较差,属于低孔、低渗储集岩,但也发育孔、渗好的储集岩。分析表明,滨岸相、三角洲分流河道、河口砂坝和潮汐水道等砂岩的厚度相对较厚,颗粒粗,分选、磨圆度较好,能抵抗压实作用。这些砂岩沉积后长期处于浅埋藏(1 000~2 000 m),至白垩纪才开始快速深埋,且处于低地温梯度的成岩作用环境,容易保存少量残余粒间孔隙,或者早期粒间孔形成的钙质胶结物或长石遭受溶蚀作用形成粒间溶蚀孔,形成孔、渗好的储集岩。沙108井志留系5 408.22~5 428.75 m的滨岸砂岩以粒间孔为主,见微孔和粒内溶孔,面孔率最高可达11%,孔隙度为10.2%~13.9%,渗透率 $0.02 \times 10^{-3} \sim 27.80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。沙117井志留系5 420.5~5 421.8 m的潮汐水道砂岩孔隙度为10.2%~14.8%,渗透率 $1.44 \times 10^{-3} \sim 20.60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.1.2 盖层分布特征

塔河地区南部高部位的柯坪塔格组上段砂岩

上覆沉积了分布范围广、厚度稳定的石炭系膏盐岩和泥岩,厚60~180 m。塔塔埃尔塔格组下段红色泥岩局部地区还有保存,这两套盖层对柯坪塔格组上段砂岩油气聚集成藏起到控制作用。柯坪塔格中段为浅海陆棚沉积的暗色泥岩,厚36~273 m,分布范围广,是柯坪塔格下段砂岩有利的区域盖层。柯坪塔格组下段砂岩沉积在上奥陶统桑塔木组泥岩上,桑塔木组泥岩底封条件好,因此,柯坪塔格组下段砂岩油气保存条件优越,该区志留系存在2~3套储盖组合。

2.2 油气源及油气成藏期

根据塔河南部地区7口井25个柯坪塔格组中段暗色泥岩有机碳分析;有机碳含量0.02%~0.2%,一般小于0.1%,可见柯坪塔格组中段暗色泥岩属于非烃源岩。研究表明,轮南地区石炭系、哈得逊油田石炭系、塔河地区奥陶系等原油主要来源于中上奥陶统成熟烃源岩,气源是寒武系—下奥陶统高成熟烃源岩^[1-9]。研究工区内托普2、6、7、9等井在中奥陶统一间房组见到良好的油气显示,沙112、沙112-2和沙117等井在上奥陶统良里塔格组灰岩中也发现良好的油气显示。沙112、沙117等井志留系砂岩和奥陶系良里塔格组灰岩原油地化特征分析,两者原油地化参数特征相类似,油源相同。沙雅隆起南部寒武系—下奥陶统的烃源岩埋藏较深,处于高成熟阶段,主要形成天然气;而中、上奥陶统烃源岩埋藏深度适中,正处于成熟热演化阶段,主要形成成熟原油。因此,塔河地区南部志留系原油主要来源于中、上奥陶统成熟烃源岩。

塔河地区志留系砂岩具有多种类型的油气产状,托普3井志留系砂岩有沥青、轻质油、气显示,沙109井志留系砂岩见到稠油和沥青显示,但多数井志留系砂岩以轻质油显示为主。沙117井志留系5个含油砂岩包裹体分析发现,含油砂岩发育次生加大石英、胶结石英及晚期胶结方解石。岩石内油气包裹体发育两期次。第一期呈线/带状赋存于石英矿物次生前的成岩愈合微裂缝(面)中,或成群分布于岩屑早期胶结方解石矿物中,为岩屑中早期胶结方解石矿物的原生包裹体。包裹体中液烃呈灰褐色、淡黄色,显示弱黄色及较强的黄绿色荧光,气烃呈灰色。其中,液烃包裹体占40%,气液烃包裹体占40%,气烃包裹体占20%。

第二期包裹体呈线/带状赋存于切穿石英矿物的次生加大边的成岩愈合微裂缝(面)中,或呈孤立状及线状赋存于长石岩屑及晚期胶结方解石矿物中。第二期包裹体中液烃呈现淡黄色,显示强的浅黄色、黄白色、黄绿色及蓝色荧光;气烃呈现灰色。其中,液烃包裹体约占20%,气液烃包裹体约占80%。根据这5个岩样的均一温度统计,均一温度主要集中在100~120℃(图3)。南部约30 km处的哈得4油田泥盆系主体原油的充注时间在上新世库车期^[2]。可见,塔河地区南部志留系柯坪塔格组砂岩油气成藏期与哈得逊泥盆系东河砂岩油气成藏期基本一致,以喜马拉雅期为主。

2.3 输导条件

由于缺乏有效的烃源岩,柯坪塔格组油气主要来源于下伏寒武系-下奥陶统、中-上奥陶统两套烃源岩形成的烃类,输导体系类型包括断裂、不整合面、裂隙、孔隙和渗透性好的砂体。断裂是志留系最主要的疏导体系类型,在油气垂向运移过程中起到了重要的作用,砂体只有被断层沟通后才能充注油气。志留系砂岩油气主要分布在断层附近聚集藏,再通过横向砂体进行侧向运移而成藏。地震剖面揭示塔河地区南部古生界地层中高角度北西、北东、东西、南北向断层十分发育,形成油气垂向运移良好的输导体系,造成志留系含油砂岩丰富、纵向多层叠置的聚集特征。

3 油气藏类型和分布特征

塔河地区南部寒武-奥陶系烃源岩形成的烃类,沿着断裂、裂隙、砂岩和不整合面经过上奥陶

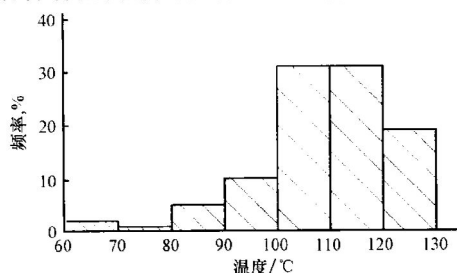


图3 塔河地区沙117井志留系砂岩包裹体均一温度分布

Fig. 3 Homogenization temperature of inclusions from the Silurian sandstone in Sha117 well in the southern Tahe

统桑塔木组泥岩运移到柯坪塔格组砂岩聚集成藏。根据塔河地区南部三维地震资料及柯坪塔格组油气层细分对比,柯坪塔格组主要发育5种油气藏类型,图4是根据钻井资料、测井解释成果以及构造解释编制成的塔河地区南部志留系各种油气藏在剖面上分布模式图。

3.1 背斜油气藏

志留-泥盆系沉积之后,在强烈挤压背景下产生升降剥蚀,基底断裂复活,志留系背斜构造就是在这种背景下形成的。沙雅隆起所发现的志留系背斜都具有古构造背景,主要发育在柯坪塔格组上段砂岩中,如沙112-2号断背斜油气藏受两条倾向相对的断裂控制。

3.2 地层超覆油气藏

从满加尔凹陷向沙雅隆起方向,志留系上超的沉积背景决定了在沙雅隆起南坡具备形成地层岩性圈闭的条件。柯坪塔格组下段滨岸砂岩超覆沉积在上奥陶统桑塔木组泥岩之上,随着早志留世的不断海侵,柯坪塔格组中段暗色泥岩继续超覆沉积在柯坪塔格组下段砂岩之上,厚度约36~273 m的浅海陆棚沉积的暗色泥岩成为柯坪塔格组下段砂岩良好的区域盖层。研究工区内已有托普2、托普3和沙109、沙116、沙117等井的柯坪塔格组下段砂岩见到良好油气显示或气测异常,这些井区可能存在地层超覆油气藏。

3.3 地层不整合遮挡油气藏

由于加里东晚期的构造抬升,沙雅隆起志留系遭受严重风化剥蚀,构造高部位志留系已被剥蚀夷尽,构造稍低部位的柯坪塔格组上段砂岩受到风化剥蚀形成高低不平的剥蚀地貌突起,储集岩的物性得到改善,被晚期的石炭系膏、泥岩所覆盖,形成地层不整合遮挡油气藏。沙117井区、沙112井区的柯坪塔格组上段砂岩油气藏属于这类油气藏。

3.4 岩性油气藏

塔河地区南部柯坪塔格组中段暗色泥岩主要为浅海陆棚沉积,发育厚度不等的砂岩。由于晚期构造的抬升,这些砂岩形成上倾尖灭岩性油气

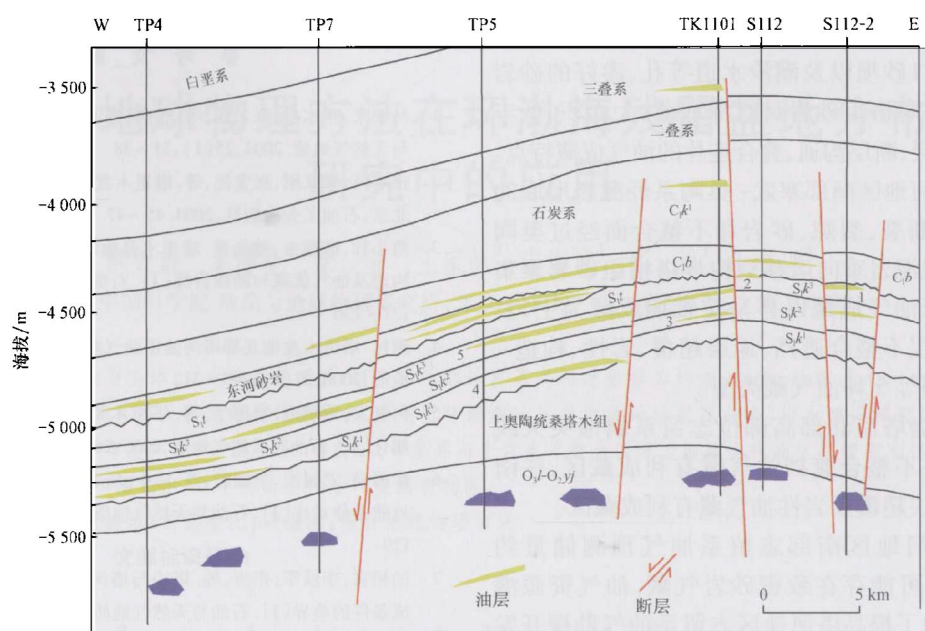


图4 塔河地区南部志留系油气成藏分布模式

Fig. 4 Distribution patterns of the reservoirs in the Silurian in the southern Tahe

(剖面位置见图1)

C₁k¹. 卡拉沙依组; C₁b. 巴楚组; S₁t. 塔塔埃尔塔格组; S₁k³. 柯坪塔格组上段; S₁k². 柯坪塔格组中段; S₁k¹. 柯坪塔格组下段

1. 背斜油气藏; 2. 地层不整合遮挡油气藏; 3. 岩性油气藏; 4. 地层超覆油气藏; 5. 构造-岩性复合型油气藏

藏。沙112-1、沙112-2、沙117井区柯坪塔格组中段砂岩见到良好的油气显示,可能形成岩性油气藏。

3.5 构造-岩性复合型油气藏

塔河南部地区志留系发育北西、北东、东西、南北等方向的高角度断层,这些断层容易与志留系砂岩储集层组合成构造-岩性复合型油气藏。在托普5至托普7井区的柯坪塔格组上段发育这类油气藏。

4 志留系油气资源潜力分析

塔河南部地区研究工区面积约2000 km²,已钻穿志留系的探井有40口,其中,28口探井在志留系砂岩钻遇良好的油气显示,油气显示钻遇率70%。柯坪塔格组上段砂岩钻遇油气显示有24口,柯坪塔格组中段砂岩钻遇油气显示5口,柯坪塔格组下段砂岩钻遇油气显示11口。28口探井志留系油气显示统计,合计油气显示105层共566.74 m,平均单井油气显示4层20.24 m,单层

厚度5.40 m,其中托普7井油气显示最多,共7层69.5 m。

塔河地区南部志留系油气层埋深最浅的井为S112-2井5285.0~5289.5 m,最深的井为艾丁4井6349.5~6636.1 m。志留系已有28口探井测井解释43层共279.6 m油气层。单层厚度在3~6 m之间,单层油气层厚度最厚可达19.5 m。落实志留系含油面积约500 km²,平均油层厚度7 m,平均孔隙度10%,含油饱和度57.0%,S117井原油密度0.844 2 g/cm³,计算油气预测储量约1.6×10⁸ t。塔河地区南部柯坪塔格组砂岩的油气聚集具有大面积、低丰度、薄油层、断层沟通、叠合连片的分布特点。

由于存在石炭系泥岩、膏岩和柯坪塔格组中段暗色泥岩等优质区域性盖层,低孔、低渗的柯坪塔格组砂岩容易捕获寒武-奥陶系高成熟烃源岩形成的天然气而形成致密低孔低渗的砂岩气藏。因此,柯坪塔格组致密砂岩气藏也具有一定勘探潜力。

5 结论和建议

1) 塔河地区南部志留系柯坪塔格组砂岩属于

低孔、低渗储集岩,但也发育厚层滨岸相、三角洲分流河道、河口砂坝以及潮汐水道等孔、渗好的砂岩储层。柯坪塔格组砂岩具有深埋藏、大面积、低丰度、薄油气层、断层沟通、叠合连片的油气成藏特点。

2) 塔河地区南部寒武-奥陶系烃源岩形成的烃类,沿着断裂、裂隙、砂岩和不整合面经过奥陶系桑塔木组泥岩垂向运移到柯坪塔格组砂岩聚集成藏。砂岩油气成藏以喜马拉雅期成藏为主,发育背斜、地层不整合遮挡、地层超覆、岩性、构造-岩性复合型等5种油气藏类型。

3) 围绕塔河北部高部位志留系剥蚀尖灭线南侧是地层不整合遮挡油气藏有利成藏区,往南是背斜、地层超覆及岩性油气藏有利成藏区。

4) 塔河地区南部志留系油气预测储量约 1.6×10^8 t,可能存在致密砂岩气藏,油气资源潜力可观。为了提高塔河地区志留系油气勘探开发效益,必须加强针对低孔、低渗透砂岩油气藏及体现产能的配套工艺攻关。

致谢:课题研究过程中,得到中国石化西北分公司研究院有关领导和工作人员的大力支持和热情帮助,在此向他们表示诚挚的谢意!

参 考 文 献

- 1 马安来,张水昌,张大江,等. 轮南、塔河稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31 ~ 38
- 2 张水昌,梁狄刚,张宝民,等. 塔里木盆地海相油气的生成[M]. 北京:石油工业出版社, 2004. 45 ~ 47
- 3 范小林,邱蕴玉,鲍新毅. 塔里木盆地轮南-阿克库勒地区地质构造及油气成藏与勘探目标[J]. 石油实验地质, 1996, 21(2): 132 ~ 136
- 4 顾忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 307 ~ 312
- 5 何登发,贾承造,李德生,等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64 ~ 77
- 6 徐国强,刘树根,李国蓉,等. 塔中、塔北古隆起形成演化及油气地质条件对比[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 114 ~ 119, 129
- 7 闫相宾,李铁军,张涛,等. 塔中与塔河地区奥陶系岩溶储层形成条件的差异[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 201 ~ 207
- 8 李江龙,黄孝特,张丽萍. 塔河油田4区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 630 ~ 633
- 9 康志江,李江龙,张冬丽,等. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏渗流特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 634 ~ 640, 673

(编辑 陈喜禄)

(上接第631页)

- 78 李军生,林春明,毕建国,等. 辽河盆地大民屯凹陷法哈牛构造太古界古潜山成藏特征研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(4): 27 ~ 30
- 79 姜培海. 辽西低凸起油气成藏的主要控制因素及勘探潜力[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(4): 24 ~ 27
- 80 王军,张强. 埕北30潜山太古宇储集层预测[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 57 ~ 59
- 81 杨凤丽,周祖翼,王永诗,等. 埕岛大油田形成机理与油气成藏模式[J]. 勘探家, 2000, 5(4): 16 ~ 18
- 82 袁静. 埕北30潜山带太古界储层特征及其影响因素[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 48 ~ 51
- 83 赵立晏. 大民屯凹陷古潜山裂缝特征及控制因素[J]. 地质科技情报, 2007, 26(4): 37 ~ 41
- 84 曾联波,任德生. 大民屯凹陷静52断块油藏裂缝参数研究[J]. 断块油田, 1998, 5(4): 29 ~ 32
- 85 吴永平,肖敦清,于俊利. 黄骅坳陷孔西潜山特殊油气藏的发现[J]. 特种油气藏, 1998, 5(1): 1 ~ 5, 9
- 86 付立新,周宝仙. 黄骅坳陷南区古生界天然气聚集的构造约束条件[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(4): 254 ~ 259
- 87 杨克绳,党晓春,戴福贵. 渤海湾盆地及周边的古生古储油气藏——以双洞背斜古油藏与刘其营、苏桥潜山油气藏为例[J]. 海相油气地质, 2007, 12(3): 27 ~ 32
- 88 陈国达,费宝生. 任丘潜山油田的基本地质特征及其形成的大地构造背景[J]. 石油实验地质, 1993, 5(4): 241 ~ 249
- 89 余家仁,雷怀玉,刘趁花. 试论海相碳酸盐岩储层发育的影响因素——以任丘油田雾迷山组为例[J]. 海相油气地质, 1998, 3(1): 39 ~ 48
- 90 马立驰,王永诗,吕建波. 济阳坳陷下古生界潜山内幕油气藏勘探[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 26 ~ 27
- 91 魏喜,祝永军,赵国春,等. 辽河坳陷曙光古潜山古生代储层储集空间特征及演化[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 467 ~ 471
- 92 李春林,刘立,王丽. 辽河坳陷东部凹陷火山岩构造裂缝形成机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(S1): 46 ~ 50
- 93 罗海炳,付秋萍. 辽河滩海燕南潜山带中生界火成岩储层预测及勘探潜力初探[J]. 海相油气地质, 2006, 11(1): 35 ~ 39
- 94 刘传虎,任建业. 济阳坳陷非碳酸盐岩潜山油气藏[M]. 北京:石油工业出版社, 2006. 87 ~ 108

(编辑 李 军)