

文章编号: 1001-6112(2007)03-0275-05

# 塔里木盆地孔雀河古斜坡成藏条件新认识

杨 铭<sup>1</sup>, 汤达祯<sup>1</sup>, 邢卫新<sup>1,2</sup>, 李小林<sup>3</sup>, 马新海<sup>4</sup>, 李 颖<sup>5</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石油化工股份有限公司 国际石油勘探开发公司, 北京 100083;

3. 广西地质勘查总院, 南宁 530023; 4. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163453;

5. 中国石化河南油田分公司 石油工程技术研究院, 河南 南阳 473132)

**摘要:** 尉犁 1 井是塔里木盆地东北缘第一口钻揭震旦系的井, 它的钻探分析对了解孔雀河古斜坡成藏条件、确定该区下一步有利勘探区具有重要的意义。对尉犁 1 井中、下寒武统的岩心观察、电子探针岩样成分分析、热解分析及单井的盆模综合研究, 确定塔里木盆地东北缘孔雀河古斜坡寒武系一下奥陶统烃源岩经历一次深埋热演化后, 其有机质演化产物已接近石墨, 不具备二次生烃的能力; 寒武系一下奥陶统中早期发育的裂缝和溶蚀孔洞是古油藏的主要储集空间。研究尉犁断鼻成藏史认为, 该区的成藏具有早期成藏、自生自储、一期破坏、二期调整的特点。最后根据尉犁 1 井失利原因讨论了孔雀河地区有利的勘探圈闭样式: 原生未被断层改造的下古生界的古背斜为有利油气圈闭; 其次是在古背斜上继承发育的断背斜圈闭; 最后为岩性圈闭和不整合面—岩性圈闭; 而古断鼻构造圈闭不是有利的油气圈闭。

**关键词:** 烃源岩; 二次生烃; 生烃潜力; 古油藏; 断背斜; 孔雀河古斜坡; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

## THE NEW RECOGNITION OF RESERVOIR-FORMING CONDITION OF KONGQUEHE PALAEO-SLOPE IN THE TARIM BASIN

Yang Ming<sup>1</sup>, Tang Dazhen<sup>1</sup>, Xing Weixin<sup>1,2</sup>, Li Xiaolin<sup>3</sup>, Ma Xinhai<sup>4</sup>, Li Ying<sup>5</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 10083, China;*

2. *International Exploration and Development Company, SINOPEC, Beijing 100083, China;*

3. *Guangxi Exploration Institute of Geology, Nanning, Guangxi 530023, China;*

4. *Exploration and Development Institute, Daqing Oilfield Company Limited, Daqing, Heilongjiang 163453, China;*

5. *Engineering Technology Institute, Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang, Henan 473132, China)*

**Abstract:** The Well Yuli 1 is the first well which drills through Sinian System on the northeast margin of the Tarim Basin. This is on the significance to know reservoir-forming condition and to determine the favourable exploration targets of the Kongquehe palaeoslope area by drilling consequent analysis of the Well Yuli 1. The results of observation of core, the analysis of the rock sample component by electron microprobe's method, the pyrogenation analysis and the basin modeling comprehensive research show that the thermal evolution of organic matter of Cambrian—Lower Ordovician source rocks in the Kongquehe palaeoslope approach coal and the Cambrian—Lower Ordovician source rocks are not the capability of secondary hydrocarbon generation after its experienced one buried depth in its burial history. The main reservoir space of Cambrian—Lower Ordovician paleo-reservoir is crack and corrosion hole which were formed early period. Reservoir-forming characteristic in the Kongquehe is early reservoir-forming, self-generating and self-storing, one stage destroying, tow stage adjusting. By discussing the favourable exploration trap in the Kongquehe area, we get the following conclusion: transverse nose-shaped trap is not favourable trap; the Lower Palaeozoic paleo-anticline is more better exploration trap and breaking-anticline; lithologic trap and unconformit trap is good exploration trap.

**Key words:** souce rock; secondary hydrocarbon generation; hydrocarbon generating potential; paleo-reservoir; breaking-anticline; the Kongquehe palaeoslope; the Tarim Basin

收稿日期: 2006-10-23; 修订日期: 2007-04-17。

作者简介: 杨 铭(1965—), 男(汉族), 河南南阳人, 高级开发地质工程师, 主要从事油田勘探开发地质研究工作。

孔雀河斜坡位于塔里木盆地东北缘,西接库勒鼻凸和草湖凹陷,东临英吉苏凹陷,属于库鲁克塔格断隆与满加尔凹陷之间的过渡区域,由早古生代形成的古斜坡长期继承性沉积发育而形成<sup>[1]</sup>(图 1)。前人研究认为:1)该区发育 3 套主力烃源岩:寒武系一下奥陶统海相腐泥型高丰度烃源岩,石炭—三叠系海陆交互相偏腐殖型中丰度烃源岩,侏罗系湖沼相腐殖型中—高丰度烃源岩。3 套烃源岩中以寒武系一下奥陶统烃源岩为主,这套烃源岩在北部库鲁克塔格山的露头 and 塔里木盆地其它构造区域的地球化学参数和热解分析表明,其具有有机质丰度高、成熟早、热演化程度高的特点,但在孔雀河构造区域这套烃源岩的成熟热演化程度究竟如何仍然不清楚;2)在草湖凹陷和英吉苏凹陷,新近纪以后下古生界烃源岩埋深超过先前热演化时的埋深,可能具有再次生烃的能力,但生烃潜力究竟有多大尚不清楚;3)前人推测下古生界这套成藏系统具有自生自储成藏组合模式,但由于寒武系一下奥陶统为一套半深海、大陆斜坡相的泥质岩及泥质碳酸盐岩,它是否具有储集性能一直遭到质疑<sup>[2]</sup>;4)该区主要以寻找构造圈闭为主,但什么样式的构造圈闭为最有利的圈闭,仍不明朗<sup>[1,3]</sup>。本文旨在分析孔雀河古斜坡区寒武系一下奥陶统烃源岩二次生烃潜力、有利圈闭类型及可能的储层。

### 1 地质概况

尉犁 1 井是位于孔雀河地区尉犁断鼻构造带

的一口预探井,尉犁断鼻带为孔雀河地区一个三级构造单元,属于下古生界的构造层,由一组北西走向的断层控制的一组断鼻构造,断鼻轴向方位为北东和南北走向。尉犁断鼻构造带地层缺失上古生界,发育下古生界、中生界和新生界地层。尉犁断鼻构造带形成于加里东早期拉张环境下的水下地隆,加里东中期在挤压环境下发展成古鼻凸,至海西早期(志留纪末)形成目前的断鼻构造带格局,到了喜山期构造基本定型。

尉犁 1 井是为了钻探下古生界断鼻构造圈闭,了解下古生界储集特性及寒武系一下奥陶统这套烃源岩的热演化状况。根据钻探结果,该井钻穿了整个下古生界,完钻层位为震旦系水泉组,为塔里木盆地东北缘第一口钻揭到震旦系的井,并分别在寒武系的突尔沙克塔格组、莫合尔山组、西大山组见到 204 m 共 19 层的气测异常显示。其取心井段主要为中寒武统的莫合山组,下寒武统的西大山组以及震旦系的水泉组共 34.89 m。莫合山组和西大山组岩性为灰色的泥质云岩、泥质灰岩、黑色泥岩和灰质泥岩,水泉组为硅质泥岩、粉砂质泥岩。

### 2 孔雀河古斜坡成藏条件及演化史

#### 2.1 尉犁 1 井岩心观察及岩心成分分析

尉犁 1 井中一下寒武统岩心观察显示,在岩心样品中垂直方向发育单个或多条相互切割的高角度平直裂缝、具有缝合线形状的压溶裂缝;水平方向发育溶蚀裂缝,在压溶裂缝路径上常发育岩石垮

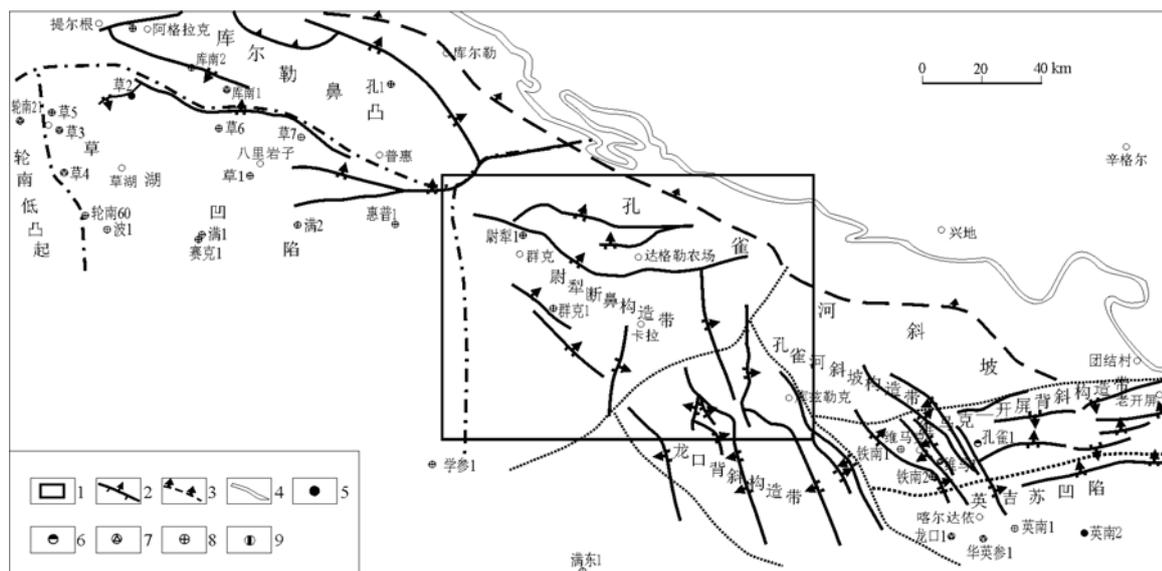


图 1 塔里木盆地孔雀河地区构造纲要

1. 研究区;2. 逆断层;3. 剥蚀线 4. 老山界;5. 工业油流井;6. 低产油流井;7. 油气显示井;8. 干井;9. 正钻井

Fig. 1 The structure outline map of Kongquehe area in the Tarim Basin

塌构造,表明早期发育的溶孔、溶洞被后期深埋或在构造应力作用下压垮。同时,裂缝发育井段和岩性有密切相关性,一般云质岩(或岩心样品电子探针成分显示低 Ga/Mg 值岩性)发育着高角度平直裂缝,也有部分井段发育水平裂缝,一般没有充填物,或者为方解石充填;灰质岩发育压溶裂缝,里面多被碳质沥青充填,颜色较深,表明早期烃类注入;而泥质岩颜色较浅。取心井段泥岩中多发育有黄铁矿结核,反映此套地层的还原沉积环境。岩心样品的电子探针成分中 Sr/Ba 比值较低(0~0.005),反映寒武纪时海水古盐度较低,为广阔的非闭塞大洋沉积环境。这些认识和整个区域沉积背景也是相符的,孔雀河古斜坡在早寒武世—早奥陶世时,为处于天山裂陷拉张背景控制下的半深海盆和大陆斜坡,此时沉积了一套半深海盆相和大陆斜坡相的富有机质岩层<sup>[4,5]</sup>。

## 2.2 烃源岩热演化史

对尉犁 1 井中一下寒武统取心段的样品进行热解分析表明,有机碳含量在 0.7%~6.9%,平均为 3.6%, $T_{\max}$  为 432~584 °C,平均为 507 °C。由于寒武系缺少镜质组,所以本次通过测定沥青的  $R_b$  值校正  $R_o$  值为 1.9%~2.2%,氢指数( $I_H$ )和氧指数( $I_o$ )交汇投点(图 2 中黑三角)主要聚集在 400 附近,说明该源岩演化接近石墨,指示这套地层具有高有机质丰度、高演化程度、再次生烃潜力微弱的特点。

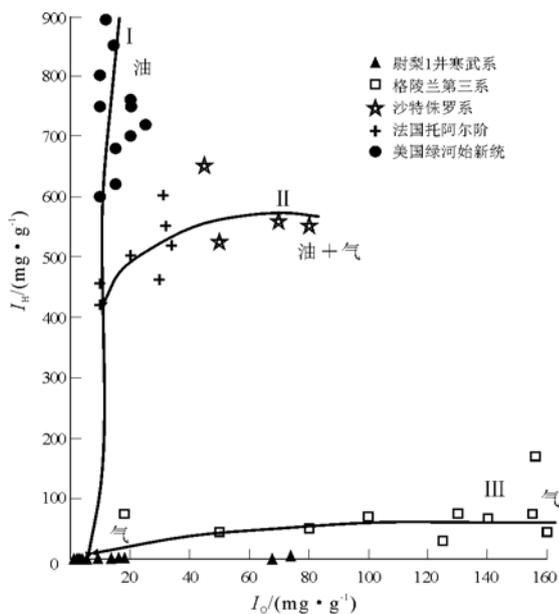


图 2 塔里木盆地孔雀河地区尉犁 1 井中一下寒武统取心样品氢指数( $I_H$ )—氧指数( $I_o$ )

Fig. 2  $I_H$ — $I_o$  plot of Lower—Middle Cambrian core in the Well Yuli 1 of Kongquehe area, the Tarim Basin

尉犁 1 井沉积埋藏史、有机质热演化史模拟显示尉犁鼻凸经历 5 个构造阶段:早期拉张环境下的水下低隆阶段;加里东早期挤压构造反转阶段,形成古鼻凸;加里东晚期—海西早期持续隆升地层遭受剥蚀阶段,鼻凸发展成断鼻;燕山—印支期构造再次调整阶段;喜山期构造定型阶段。寒武系一下奥陶统烃源岩成熟于晚奥陶世末,在上奥陶统快速深埋过程中迅速演化成熟,其生烃特点为生烃期短,生油少,生气量大。该烃源岩在一次深埋经历一次热演化后持续抬升,后期浅埋,但埋藏深度始终没有超过第一次深埋。该烃源岩在一次热演化后已经达到过成熟,地层中残留大量碳沥青也证实了这一点,碳沥青是早期聚集的烃高温裂解的产物;从氢指数和氧指数交汇结果也指示其热演化接近石墨,几乎丧失再次生烃的能力。可以推测,虽然在孔雀河地区的草湖和英吉苏凹陷地区这套源岩新近纪以后的埋深超过早期地层埋深,可能使得源岩再次开始热演化,但其后续的生烃能力是极其微弱的,基本不具备二次生烃的能力。

## 2.3 储盖特性分析

从尉犁 1 井的岩心观察结果来看,中一下寒武统发育的裂缝具有多样性且对岩性具有选择性,表明裂缝发育不同期。一般纯质泥岩不发育裂缝,裂缝发育多为云质和灰质岩中,其中云质岩发育高角度平直裂缝,指示是后期的构造应力作用下产生的,而水平的溶蚀缝则是早期产生的;灰质岩则多发育缝合线构造和垮塌构造,其成因为早期灰质岩发育的溶孔溶洞在后期应力作用下垮塌而形成的。从中一下寒武统取心段裂缝发育统计结果来看,具有裂缝发育井段的长度占整个取心段的 30%;裂缝发育方向多为与垂向成高角度,具有很强的非均质性。灰质岩的缝合线裂缝更为发育,在裂缝的路径上发育许多垮塌的溶蚀空洞;裂缝和溶蚀孔洞中充填大量的碳质沥青,说明了寒武系烃源岩自生自储的成藏特点。后期由于构造运动使得古油藏遭到破坏,烃类溢散殆尽。其储集性能对于油藏来说偏差,但对于气藏来说仍是较好的储层。

孔雀河古斜坡的中—上奥陶统为一套巨厚复理石建造的快速沉积的混杂岩,分选差,岩性主要为杂色泥岩和粉砂质泥岩,目前残余厚度为 1 500~5 000 m,恢复的原始地层厚度在 4 000~6 000 m 左右。该地区的中—上奥陶统既是促使寒武系一下奥陶统烃源岩快速深埋成熟演化的沉积盖层,也是下古生界自生自储的含油气系统的良好盖层<sup>[6,7]</sup>。

2.4 成藏史分析

从尉犁鼻凸成藏史分析来看,其具有早期成藏、后期调整、自生自储、下生上储、一期破坏、二期调整的特点;三个关键时刻分别在志留纪末、侏罗纪末和白垩纪末,这与整个区域地质构造运动期次是相一致的(图3)。

尉犁断鼻在早寒武世为一水下低隆,早一晚奥陶世逐渐发展为古鼻凸,此时寒武系一下奥陶统这套烃源岩层演化成熟并开始排烃,古鼻凸成为烃类运移的有利指向区。由于后期挤压构造反转作用,古鼻凸轴部成为应力集中区,常发育构造压溶裂缝,这是沟通地层灰质岩溶蚀孔洞的良好通道<sup>[4]</sup>,生成的油气沿着裂缝运聚至溶蚀孔洞里,在古鼻凸上形成古油藏。从单井热模拟结果可以看出,其生油期短,生气量大,加上深埋原油裂解生气,因此古油藏很可能为带气顶油藏,例如在孔雀河地区英吉苏凹陷的英南2井的油源对比显示,其凝析气藏主要来源于深部的石油裂解气。中—上奥陶统巨厚的混杂岩沉积成为寒武系一下奥陶统古油藏良好的盖层。志留纪末断裂活动加剧,寒武系一下奥陶统古油藏油气沿着断裂系统运移至志留系地层,形成一些断块、断鼻、断背斜油气藏,此时尉犁古鼻凸发展成断鼻,部分油气会沿控鼻断层运移至上面的储层成藏。志留纪之后该区持续抬升造成志留系地层被剥蚀殆尽,早期调整上去的油气藏已完全被破坏,寒武系一下奥陶统古油藏可能还有所残留。晚侏罗世区域构造活动使得前期形成的断裂再次活动,残留古油藏的油气沿着断层再次调整到上覆地层中形成油气藏,古油藏油气基本溢散殆尽。白垩纪末断层再次活动,其规模小于前2次<sup>[1,8,9]</sup>(图4)。

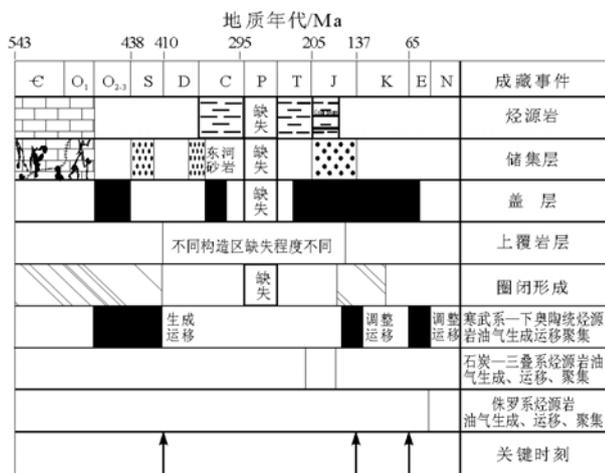


图3 塔里木盆地孔雀河地区尉犁鼻凸成藏演化史  
Fig. 3 The map of Yuli uplift petroleum accumulation evolution history in Kongquehe area, the Tarim Basin

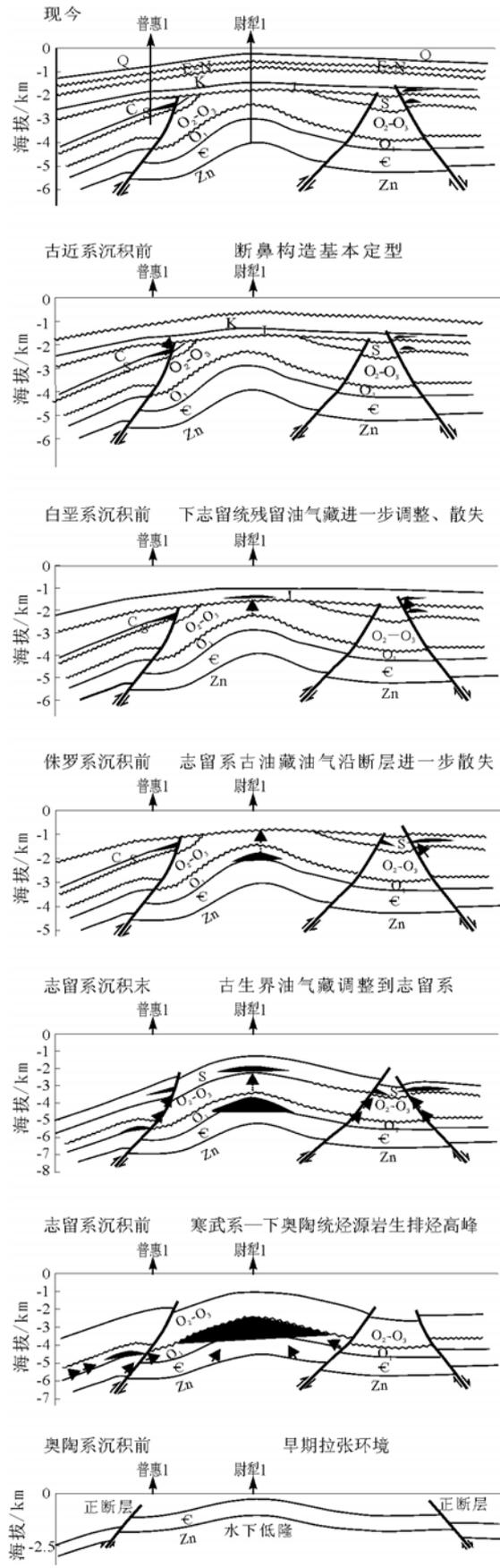


图4 塔里木盆地孔雀河地区尉犁鼻凸成藏关键事件  
Fig. 4 The map of Yuli uplift petroleum accumulation key-events in Kongquehe area, the Tarim Basin

### 3 有利勘探区圈闭类型分析

孔雀河地区生烃贡献主要以寒武系一下奥陶统烃源岩为主,其成藏期早,由于经历多期构造断裂活动,因此圈闭的保存条件优劣成为该区油气成藏的关键。在孔雀河古斜坡,海西期(志留纪末)的构造活动形成了该区主要的地质构造格局,目前的断鼻构造带和断背斜构造带多形成于该时期;后期的燕山—印支和喜山期构造活动对海西期构造格局进行了一定的调整,但总的格局并没有发生大的变化<sup>[10]</sup>。尉犁1井所钻探的圈闭为形成于晚古生代的断鼻构造,断鼻圈闭的高点是沿着断层,从成藏史分析可知,多期次构造运动使得控鼻断层多次活动,这就造成早期聚集的古油气藏的溢散和破坏(图5a),尉犁1井岩心裂缝中充填的碳质沥青证明了这一点。该地区断鼻构造形成期都较早,不利于油气后期保存,这也是尉犁1井失利的主要原因。

通过对孔雀河古斜坡的构造发育史分析,认为以下几种圈闭类型应为下一步勘探的有利圈闭区: 1)原生未被断层改造的古背斜、古鼻凸为勘探的最有利圈闭(图5b),其成藏模式为自生自储;圈闭的构造层形成于寒武系一下奥陶统,其上为巨厚的中—上奥陶统混杂岩盖层;圈闭一般埋深比较大,钻探成本较高;高幅度的古鼻凸多被后期断层所改造,加强该区的地震资料研究,寻找低幅的古背斜应为下步勘探的方向。2)古隆起之上继承发育的断背斜,此类圈闭既有断层作为通道,又有较好的圈闭保存条件;为下生上储成藏模式,断层切割背斜位置是控制含油气高度的关键(图5c);其分布

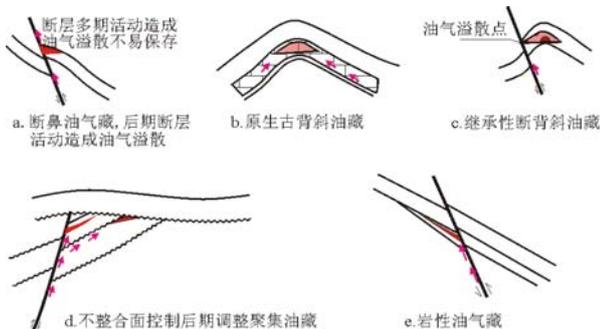


图5 塔里木盆地孔雀河地区有利勘探圈闭类型

Fig. 5 The Favorable exploration trap types in the Kongquehe area, the Tarim Basin

的构造层主要为中生界,深度适中,且储集层为河流三角洲沉积建造,储层物性好,是下一步勘探的重点圈闭类型,目前已发现油气的英南2和孔雀1井都属于此类圈闭<sup>[11]</sup>。3)岩性油气藏和不整合面油气藏,为下生上储成藏模式,分布在古生界以上的构造层和不整合面汇集的古鼻凸构造带上,但寻找和评价这类圈闭难度较大(图5d,e)。

### 4 结论及建议

1)孔雀河地区寒武系一下奥陶统烃源岩层在早古生代末的一次深埋中其热演化程度已达到过成熟,热演化产物接近石墨,基本不具备二次生烃的能力。

2)寒武系一下奥陶统不仅是优质烃源岩也具有较好的储集性能,其裂缝主要发育在云质岩和灰质岩中,溶蚀空洞发育在灰质岩中。

3)孔雀河古斜坡有利的勘探油气圈闭类型为原生未被断层改造的古生界背斜圈闭,继承型断背斜圈闭,岩性圈闭和不整合面—岩性圈闭;断鼻构造圈闭不是该区有利的油气圈闭。

#### 参考文献:

- 1 刘朝露,贾承造,夏 斌等. 塔东地区盆山耦合与油气成藏模式研究[J]. 天然气地球科学,2005,16(5):552~558
- 2 邱荣华,李永林,肖 学等. 塔里木盆地孔雀河区块石油地质条件与勘探前景[J]. 河南石油,2003,17(1):1~5
- 3 张克银,邵志兵,邹元荣. 塔里木盆地孔雀河地区复式油气系统[J]. 新疆石油地质,2004,25(2):122~124
- 4 高 岗. 缝合线对碳酸盐岩油气生排运聚的作用[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2000,15(4):32~34
- 5 高长林,叶德燎,黄泽光. 塔里木库鲁克塔格高原洋与地幔柱[J]. 石油实验地质,2004,26(2):161~168
- 6 焦志峰,吴 华,李 岩等. 塔里木盆地孔雀河地区寒武—奥陶系沉积相与沉积体系[J]. 新疆地质,2004,22(2):151~154
- 7 王恕一,黄继文,蒋小琼等. 塔里木盆地上奥陶统沉积及古地理特征[J]. 石油实验地质,2006,28(3):236~242
- 8 张照录,王 华,杨 红. 含油气盆地的疏导体系研究[J]. 石油与天然气地质,2000,21(2):133~135
- 9 尹 微,樊太亮,曾清波. 塔里木盆地巴楚地区输导体系类型及油气成藏[J]. 石油实验地质,2006,28(4):340~344
- 10 梁生正,孔丽萍,梁永梅等. 塔里木盆地东部大型碳酸盐岩油气藏勘探方向[J]. 石油实验地质,2005,27(2):151~158
- 11 赵增录,刘文汇,杨斌谊等. 孔雀河斜坡维马2号气藏形成机理[J]. 新疆石油地质,2003,24(6):549~551