

文章编号: 1000-0550(2012)06-1140-09

# 马朗凹陷断裂—烃源岩空间配置关系 与石油垂向运移特征<sup>①</sup>

马 剑<sup>1</sup> 黄志龙<sup>1</sup> 李华明<sup>2</sup> 吴红烛<sup>1</sup> 陈 旋<sup>2</sup> 文川江<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249; 2. 中国石油吐哈油田公司 新疆哈密 839000)

**摘 要:** 马朗凹陷的原油类型可以划分为3大类, I类原油来自二叠系芦草沟组, II类原油来自石炭系哈尔加乌组, III类原油为I与II类原油的混源油。通过断裂活动强度、垂向输导断裂与烃源岩的匹配关系的研究, 结合原油含氮化合物的分析资料, 分析了马朗凹陷油气的垂向运移特征。研究表明, 断层的断裂活动强度控制着油气的垂向运移能力, 垂向输导断裂与烃源岩相匹配时, 烃源岩生成的油气才能向上运移至上覆地层聚集成藏。二叠系芦草沟组烃源岩厚度中心附近的垂向输导断裂断穿侏罗系, 所以, 芦草沟组烃源岩生成的I类原油可以运移至侏罗系聚集成藏, 而石炭系哈尔加乌组烃源岩附近的断裂大都未断至二叠系和侏罗系, 所以哈尔加乌组烃源岩生成的II类原油未能运移到侏罗系聚集成藏, 而主要在石炭系成藏。与断裂输导分析相配合, 含氮化合物可以很好示踪油气的垂向运移方向, 沿断裂从深层到浅层, 原油含氮化合物总浓度逐渐降低,  $1-\delta\text{DMC}/1-3-\text{DMC}$  或  $1-\delta\text{DMC}/2-4-\text{DMC}$  值增大。

**关键词:** 输导断裂 油气运移方向示踪 含氮化合物 马朗凹陷

**第一作者简介:** 马 剑 女 1987年出生 硕士研究生 油气藏形成与分布 E-mail: 202majian@163.com

**中图分类号:** TE122.1 **文献标识码:** A

## 0 引言

三塘湖盆地马朗凹陷先后发现了牛圈湖和西峡沟含油气构造, 之后又发现了马中油田等含油气构造, 油气主要赋存于二叠系和侏罗系, 前人研究认为马朗凹陷主要的烃源岩是二叠系芦草沟组<sup>[1-4]</sup>。最近又在石炭系发现了良好的含油气性, 石炭系哈尔加乌组是其主要的烃源岩。烃源岩的分布具有较强的非均质性, 主要受控于有机质的类型、岩性及沉积相带, 这就决定了油气分布的不均一性。马朗凹陷侏罗系本身不具备很好的生成油气的烃源岩, 其中的油气主要来自下覆二叠系芦草沟组烃源岩, 但大部分地区几乎没有石炭系烃源岩生成的油气进入侏罗系。这一直是困扰大家的问题。那么, 二叠系芦草沟组生成的油气如何进入侏罗系成藏的呢? 以及石炭系生成的油气为何运移不到侏罗系成藏呢? 有人认为可能是断层的输导作用使油气向上运移<sup>[5, 6]</sup>, 但缺少对断层活动性的定量化研究。本文通过对马朗凹陷断裂的活动强度、垂向输导断裂与烃源岩的匹配关系的研究, 结合含氮化合物示踪油气运移方向来分析油气垂

向运移特征和侏罗系成藏的控制因素。

## 1 烃源岩分布特征与油气来源

马朗凹陷对油气生成有贡献的烃源岩主要有2套, 分别是二叠系芦草沟组和石炭系哈尔加乌组(图1)。芦草沟组岩性复杂, 主要的岩石类型为云岩、泥岩及它们的过渡岩石类型, 沉积于半咸水—咸水的陆相湖泊, 主要发育于缺氧的封闭性较好的还原环境, 陆源碎屑供给不足, 其中芦草沟组二段烃源岩生烃潜力最大。芦草沟组烃源岩整体处于低成熟—成熟演化阶段, 由于烃源岩具有较多的富氢组分, 在低演化阶段就开始生成大量的烃类。石炭系哈尔加乌组烃源岩以碳质泥岩为主, 兼有凝灰质泥岩及暗色泥岩。碳质泥岩有机质丰度高、生油能力强, 主要发育在沼泽化—湖沉积环境。重要的是石炭系烃源岩与火山岩共生, 烃源岩具有较强的非均质性, 分布局限, 形成多个源岩中心, 主要处于成熟演化阶段。

研究表明, 马朗凹陷原油类型可以划分为3类(表1)。I类原油正构烷烃系列呈单峰型, 主峰碳为 $n\text{C}_{21}$ 、 $n\text{C}_{23}$ 或 $n\text{C}_{25}$ ,  $\text{Pr}/\text{Ph} < 1.0$ , 具有高丰度 $\beta$ -胡萝卜

<sup>①</sup>国家重点基础研究发展规划(973)项目(编号:2011CB201105)和国土资源部“全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目“西北区页岩气资源调查评价与选区”子项目(编号:2009GYXQ15-09)资助。  
收稿日期:2011-08-10; 收修改稿日期:2011-12-20

烷和  $\gamma$ -蜡烷,低丰度三环萜烷的特点,规则甾烷  $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$  呈“/”型分布,这些特征与芦草沟组二段泥质岩抽提物生物标志物特征吻合,表明 I 原油来自芦草沟组二段泥质烃源岩。I 油主要分布在牛圈湖和马北地区的侏罗系,牛圈湖、马中和黑墩地区二叠系的条湖组和芦草沟组。II 类原油正构烷烃系列也呈单峰型,无  $\beta$ -胡萝卜烷和  $\gamma$ -蜡烷,  $Pr/Ph > 1.8$  (一般大于 2.0),规则甾烷  $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$  呈不对称“V”型

分布,这与马朗凹陷石炭系哈尔加乌组碳质泥岩抽提物生物标志物特征一致,另外,该类原油为成熟原油,与石炭系源岩成熟度特征吻合,说明该类原油来自石炭系烃源岩。II 类原油主要分布在牛东和马中地区的石炭系,在二叠系和侏罗系未见这类原油的聚集。III 类原油的谱图和众多生标参数介于芦草沟组泥质岩和石炭系碳质泥岩之间,此类原油为 I 和 II 类油的混源油,主要分布在西峡沟地区二叠系的条湖组和侏罗系。

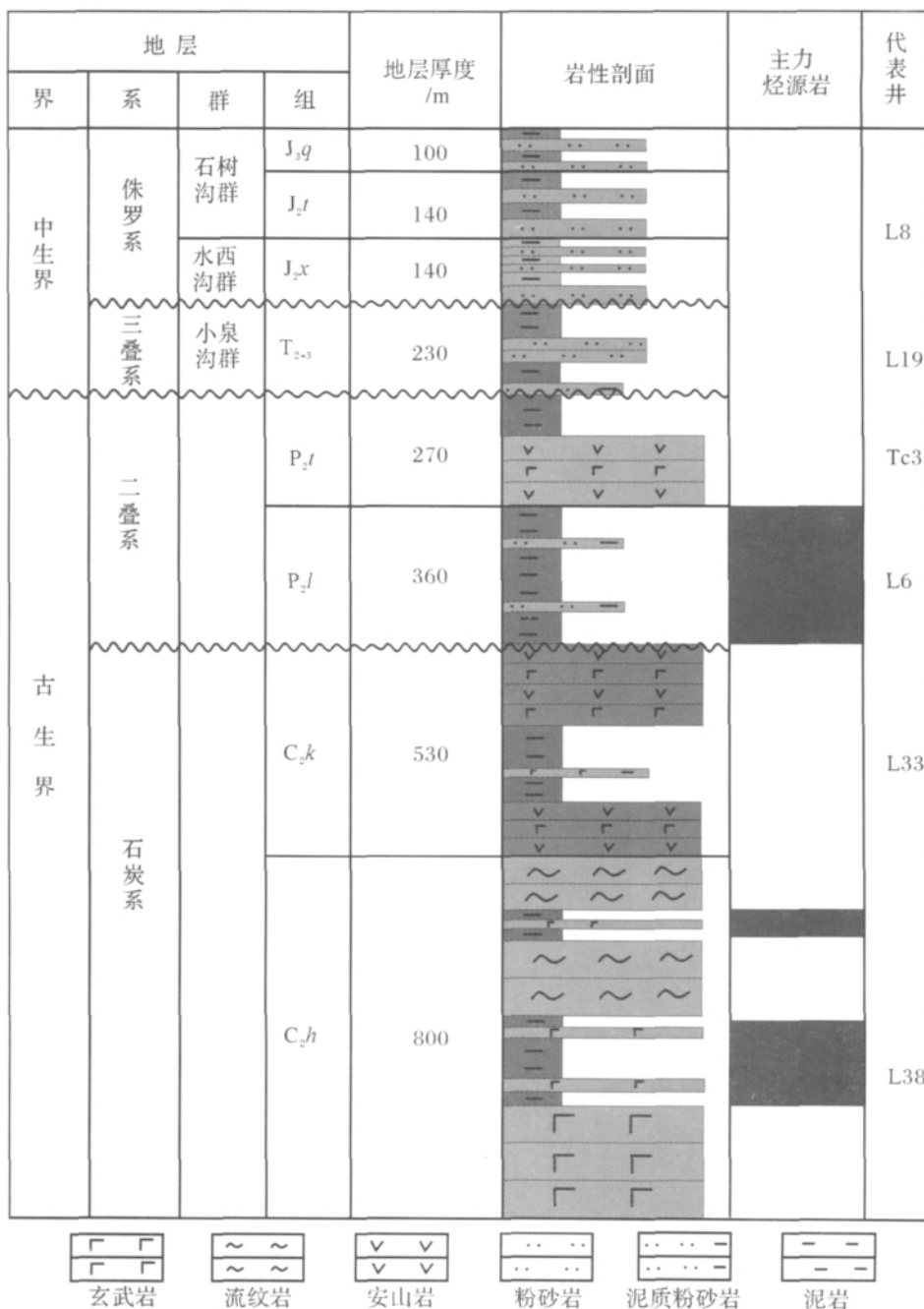
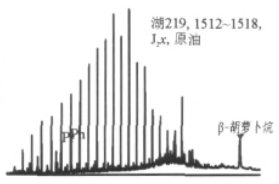
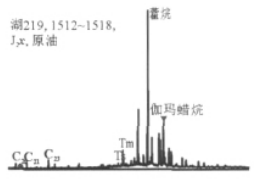
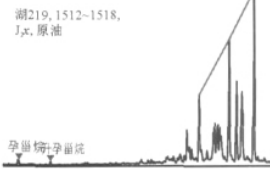
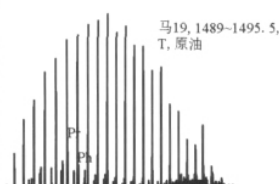
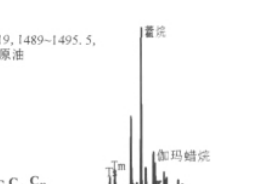
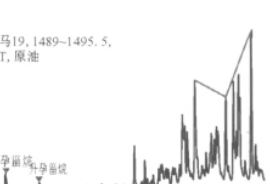
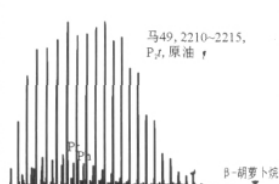
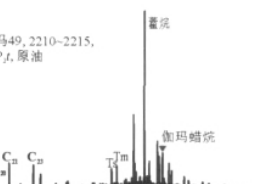
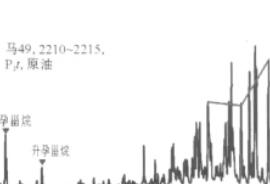
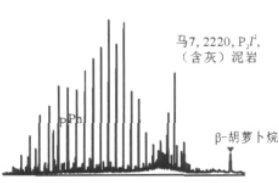
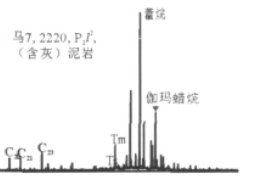
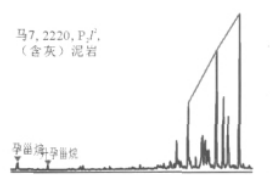
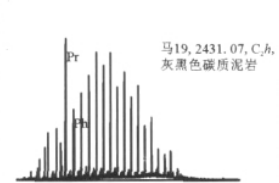
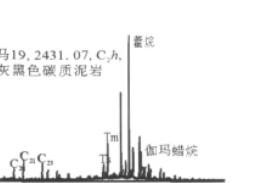
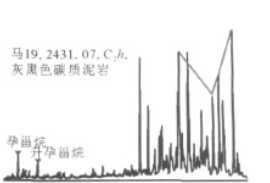


图 1 马朗凹陷地层综合柱状图

Fig. 1 Columnar section of the strata in the Malang sag

表1 马朗凹陷烃源岩与原油中生物标志物分布与组成特征的对比

Table 1 Comparison of distribution and composition of biomarkers in the source rock and crude oil in the Malang sag

	样品分布 (样品数)	典型谱图			特征描述
		TIC	<i>m/z</i> 191	<i>m/z</i> 217	
原油类型	I 牛圈湖、 马北J、 牛圈湖、 马中和 墩P <sub>2</sub> f、 P <sub>2</sub> f(25)				正构烷烃呈单峰型, Pr/Ph<1.0, 具有高丰度β-胡萝卜素和γ-蜡烷, 规则甾烷 <i>aaa</i> 20RC <sub>27</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>28</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>29</sub> 呈“/”型分布
	II 牛东、 马中C (23)				正构烷烃呈单峰型, Pr/Ph>1.8, 无β-胡萝卜素, γ-蜡烷丰度极低, 规则甾烷 <i>aaa</i> 20RC <sub>27</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>28</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>29</sub> 呈不对称“V”型分布
	III 西峡沟J、 P <sub>2</sub> f(8)				正构烷烃呈单峰型, Pr/Ph>1.0, β-胡萝卜素和γ-蜡烷丰度较低, 规则甾烷 <i>aaa</i> 20RC <sub>27</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>28</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>29</sub> 呈反“L”型或上升型分布
烃源岩	P <sub>2</sub> f 牛圈湖、 马中、 西峡沟 (20)				正构烷烃呈单峰型, Pr/Ph<1.0, 具有高丰度β-胡萝卜素和γ-蜡烷, 规则甾烷 <i>aaa</i> 20RC <sub>27</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>28</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>29</sub> 呈“/”型分布
	C <sub>2</sub> h 牛东、 西峡沟 (26)				正构烷烃呈单峰型, Pr/Ph>1.7, 无β-胡萝卜素, γ-蜡烷丰度极低, 规则甾烷 <i>aaa</i> 20RC <sub>27</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>28</sub> 、 <i>aaa</i> 20RC <sub>29</sub> 呈不对称“V”型分布

## 2 输导断裂烃源岩的空间配置与油气垂向运移关系

马朗凹陷二叠系条湖组和侏罗系的原油主要来自二叠系芦草沟组烃源岩,大部分地区二叠系条湖组

和侏罗系未见有来自石炭系烃源岩的II类原油,只有西峡沟地区二叠系条湖组和侏罗系见有石炭系生成原油的混入。原油的分布层位和部位与其对应的烃源岩分布及断裂的输导作用关系非常密切。马朗凹

陷断裂很发育,但不同断裂的断裂活动时间和强度差别很大,同一时期断裂活动强度也不一样。只有那种沟通下部烃源岩与上部二叠系条湖组和侏罗系,并且在烃源岩主要生烃期活动的断裂才能对油气的垂向运移起到输导作用,并对浅层的二叠系条湖组和侏罗系油气成藏做出贡献,把这种断裂称为垂向输导断裂。

### 2.1 断裂活动强度决定油气垂向运移能力

用来描述断裂活动性的方法主要有:断层生长指数法、断层落差法和断裂活动速率法<sup>[7,8]</sup>。由于断层生长指数法要求凹陷内不同部位、各时代的沉积速率一致,断层上下盘没有大的沉积间断;断层落差法又没有考虑时间的概念;断层活动速率为某一地质时期的断层落差与时间跨度的比值,该参数既保留了断层落差的优点,又能弥补断层生长指数由于缺少时间概念所带来的不足,所以能够更好的反映断层的活动特点。假定从  $t_1$  层沉积到  $t_2$  层所经历的时间为  $T$  (Ma), 落差为  $\Delta H$  (m), 其上、下盘的厚度分别为  $H_1$  (m) 和  $H_2$  (m), 则  $\Delta H = H_1 - H_2$ 。因此,断层活动速率( $v_f$ ) 可以用下式表示:

$$v_f = \Delta H / T = (H_1 - H_2) / T$$

鉴于断层活动对两盘地层所造成的沉积、剥蚀作用的差异性,针对不同类型的断层确定了不同的计算方法<sup>[9]</sup>:

1) 同沉积正断层,断层活动速率( $v_f$ ) = (上盘

沉积厚度 - 下盘沉积厚度) / 时间。

2) 边界正断层,断层活动速率( $v_f$ ) = (上盘沉积厚度 + 下盘剥蚀厚度) / 时间。

3) 逆断层,断层活动速率( $v_f$ ) = (上盘剥蚀厚度 + 下盘沉积厚度) / 时间。

研究表明,侏罗纪末—白垩纪是马朗凹陷油气成藏的主要时期<sup>[10,11]</sup>,因此,侏罗纪末—白垩纪时期的断裂活动速率,可以反映断裂对石油的垂向输导能力。马朗凹陷从印支期开始主要受区域挤压作用,普遍发育逆断层,计算了其中 4 条主要的沟通烃源岩的断层在侏罗纪末—白垩纪时期的断裂活动速率,其中西峡沟地区断裂①的断裂活动速率为 20 ~ 25 m/Ma, 牛圈湖地区断裂②的断裂活动速率为 15 ~ 25 m/Ma, 断裂③的断裂活动速率为 10 ~ 15 m/Ma, 马中地区断裂④的断裂活动速率为 8 ~ 12 m/Ma, 并且在断裂的不同部位断裂活动速率差别不大。这几条断裂均为垂向输导断裂,西峡沟、牛圈湖和马中地区侏罗系和二叠系条湖组的油气藏均与这几条断裂有关(图 2)。

### 2.2 垂向输导断裂与烃源岩的匹配控制油气分布

从垂向输导断裂和烃源岩分布图上可以看出,二叠系芦草沟组烃源岩厚度中心分布在牛圈湖和马中地区,石炭系哈尔加乌组烃源岩主要分布在牛东地区、牛圈湖的南部和西峡沟地区;沟通芦草沟组的垂

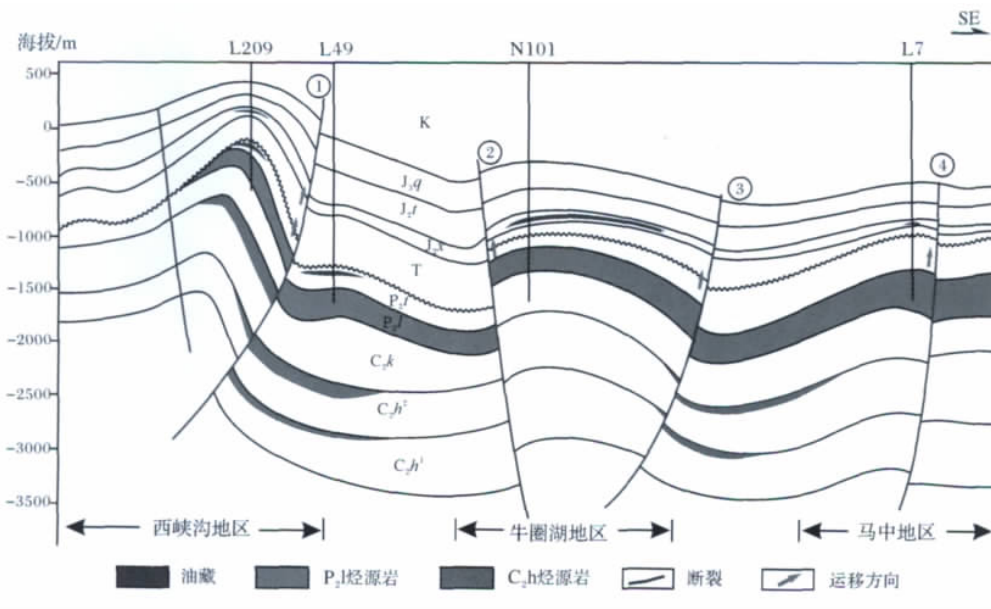


图 2 马朗凹陷侏罗系和二叠系条湖组油藏与输导断裂的关系

Fig. 2 The relationship between reservoirs of Jurassic and Permian Tiaohu Formation and transporting faults in the Malang sag

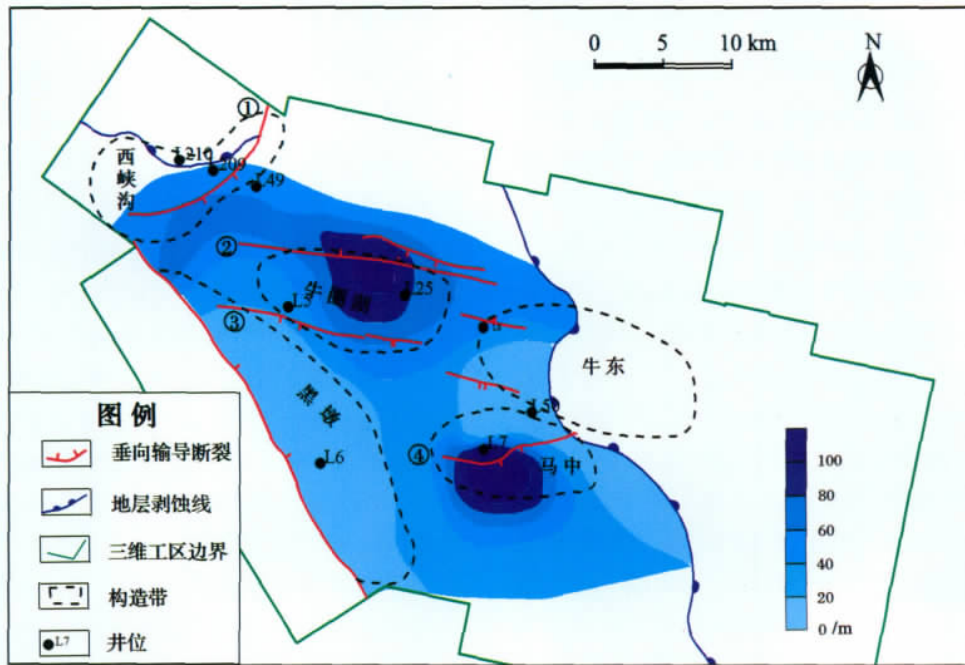
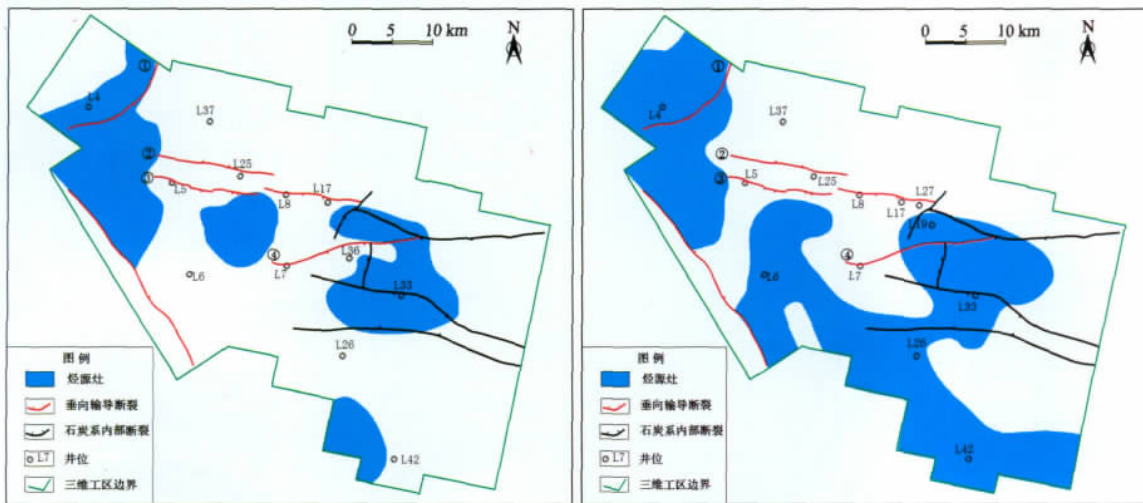


图3 马朗凹陷沟通二叠系和侏罗系的输导断裂与二叠系芦草沟组烃源岩分布图

Fig. 3 Distribution of transporting faults linking Permian and Jurassic and the source rock of Permian Lucaogou Formation in the Malang sag



左:石炭系哈尔加乌组上段(C<sub>2</sub>h<sup>2</sup>)

右:石炭系哈尔加乌组下段(C<sub>2</sub>h<sup>1</sup>)

图4 马朗凹陷石炭系内部输导断裂与石炭系烃源岩分布图

Fig. 4 Distribution of transporting faults and source rock of the Carboniferous in the Malang sag

向输导断裂分布在西峡沟、牛圈湖和马中地区(图3),发育在石炭系哈尔加乌组内部的断裂主要分布在牛东地区(图4)。平面上,西峡沟、牛圈湖、马中和牛东地区输导断裂与烃源岩的匹配性较好。

从断裂活动强度与烃源岩分布来看,断裂①附近既发育二叠系芦草沟组烃源岩,又发育石炭

系哈尔加乌组烃源岩,断裂活动速率最大,断裂活动性最强,在西峡沟地区深层芦草沟组和哈尔加乌组生成的油气均可以沿此断裂向上运移,在二叠系条湖组和侏罗系聚集成藏,所以该地区原油具有混源的特点。垂向输导断裂②和断裂③附近芦草沟组烃源岩厚度较大,但缺少石炭系烃源岩,所以在牛圈湖地区二叠系条湖组和侏罗系仅聚集



了 I 类原油。断裂④附近芦苇沟组烃源岩厚度也很大,但是断层活动速率相对较小,导致油气垂向运移受限制,所以在马中地区芦苇沟组的上覆地层中油气聚集相对较少。在牛东地区,哈尔加乌组烃源岩发育,并具有沟通烃源岩和石炭系火山岩储层的输导断裂,但这些断裂大都只发育在石炭系内部,都未断至侏罗系,所以石炭系烃源岩生成的油气主要在石炭系顶部和烃源岩附近的储层中聚集成藏,该地区的侏罗系甚至无油气显示。

所以,纵向上,烃源岩和垂向输导断裂匹配较好的地方,上覆地层中才有油气聚集。西峡沟地区二叠系条湖组和侏罗系的混源油,牛圈湖地区侏罗系的 I

类原油,以及牛东地区石炭系顶部的 II 类原油的分布均说明了在烃源岩和输导断裂都很发育的地方,油气才能够沿着输导断裂向上发生垂向运移,在上覆地层中聚集成藏(图 5)。

### 3 含氮化合物示踪油气垂向运移方向

近年来,很多学者利用含氮化合物资料对油气运移进行研究,揭示油气运移的方向和路径,并取得了较好的效果<sup>[12-14]</sup>。含氮化合物中,不同分子量、极性以及不同结构的化合物,在从源岩中排出或通过输导层的过程中,与周围介质进行有选择性的吸附或解吸附作用,运移分馏效应显著,可有效地指示油气运移

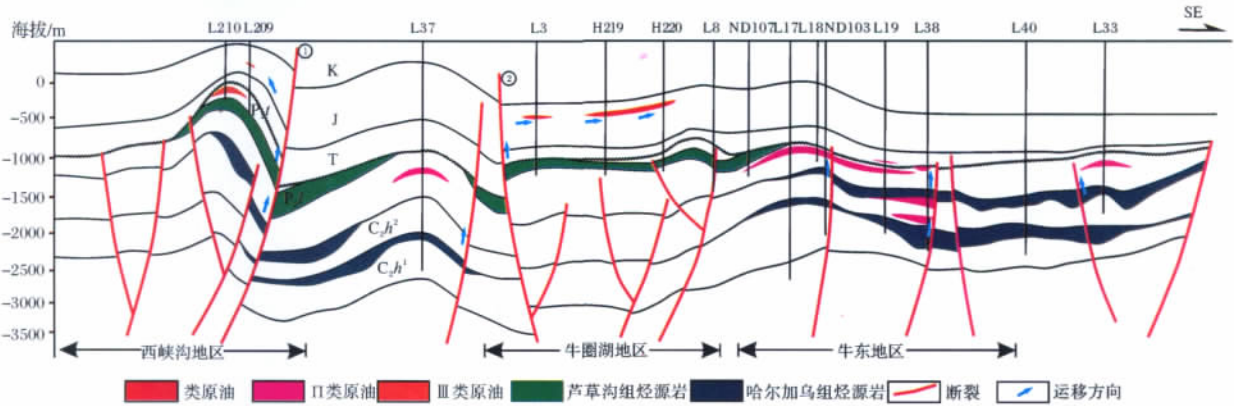


图 5 马朗凹陷西峡沟—牛圈湖—牛东地区烃源岩与不同原油类型油藏分布图

Fig. 5 Source rock and reservoirs of different types of oil from Xixiagou to Niuquanhu to Niudong in the Malang sag

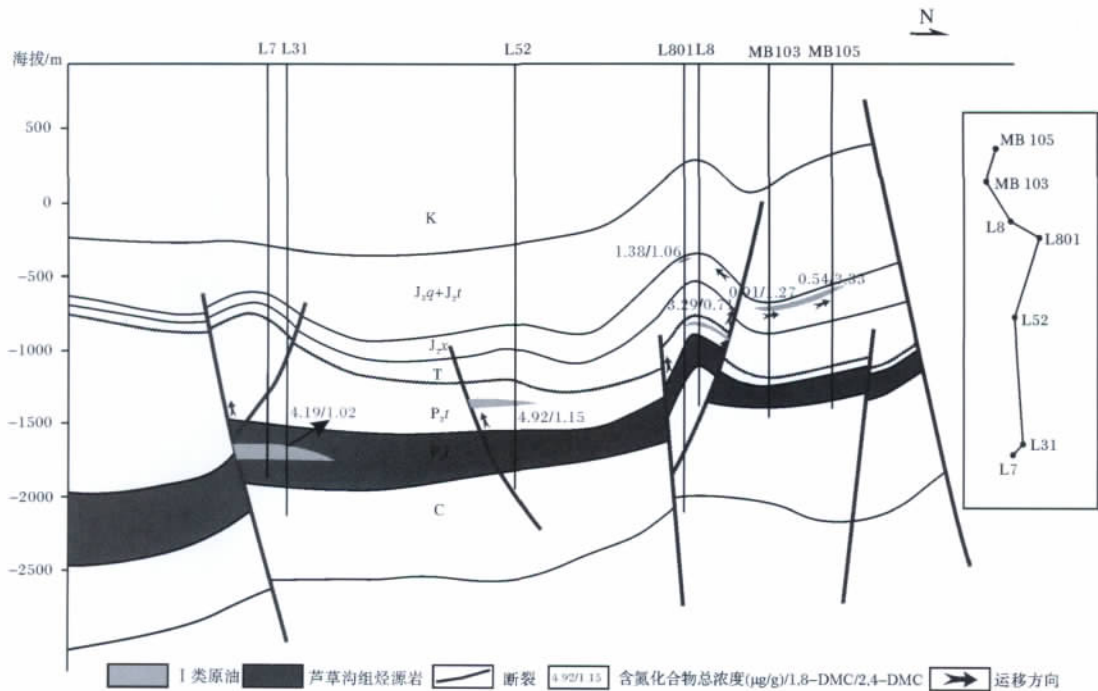


图 6 马中—马北地区含氮化合物示踪 I 类原油沿断裂的垂向运移

Fig. 6 Section of type I oil vertical migration through faults traced by nitrogen compounds in Mazhong-Mabei area

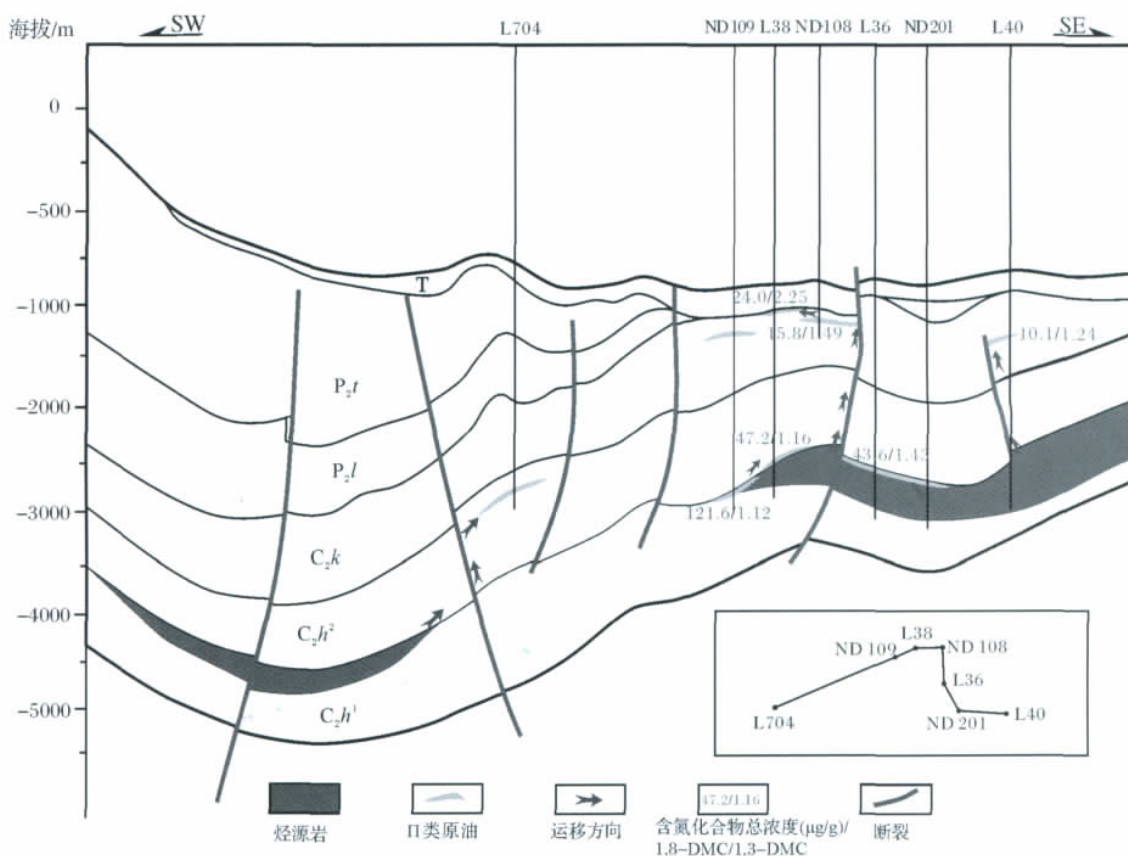


图7 马中—牛东地区含氮化合物示踪II类原油沿断裂的垂向运移

Fig. 7 Section of type II oil vertical migration through faults traced by nitrogen compounds in Mazhong-Niudong area

的方向<sup>[15-16]</sup>。并且该类化合物受母源、沉积环境及成熟度的影响可能相对较小,所以可以作为很好的油气运移示踪剂。

根据C-1、C-8位上烷基取代情况,可将烷基咪唑分为屏蔽型(C-1和C-8位均被烷基取代,如1,8-二甲基咪唑)、部分屏蔽型(C-1和C-8仅有一个烷基取代基,如1,3-二甲基咪唑等)、暴露型(C-1和C-8均未被烷基取代,如2,4-二甲咪唑)3种结构类型。在油气运移过程中随运移距离增加,不同结构类型的含氮化合物将发生运移分馏效应,使原油中含氮化合物总浓度下降,屏蔽型化合物含量相对富集,而部分屏蔽型、暴露型化合物含量逐渐降低。

马朗凹陷I类原油来自二叠系芦草沟组,从深层到浅层,含氮化合物总浓度呈降低趋势,1,8-DMC/2,4-DMC呈增大趋势,示踪原油沿断裂的垂向运移,向上运移后在二叠系条湖组及侏罗系聚集成藏(图6)。

马朗凹陷II类原油分布在石炭系,从深层到浅层随着运移距离的增加,含氮化合物总浓度逐渐降低,

1,8-DMC/2,4-DMC变化趋势不是很明显,但1,8-DMC相对于1,3-DMC更富集,即1,8-DMC/1,3-DMC比值增大,表明原油也是沿断裂向上运移,之后发生侧向运移,石炭系哈尔加乌组生成的油气最终能够在石炭系的顶部聚集成藏(图7)。

由此可见,断层的断裂活动强度控制了油气垂向运移能力,垂向输导断裂与烃源岩相匹配时,烃源岩生成的油气才能向上运移至上覆地层聚集成藏。

#### 4 结论

(1) 断层的断裂活动强度控制着油气垂向输导能力,垂向输导断裂与烃源岩的空间配置控制了石油的输导和聚集。二叠系芦草沟组烃源岩厚度中心附近的垂向输导断裂断至侏罗系,所以II类原油可以运移至侏罗系聚集成藏;而石炭系哈尔加乌组烃源岩厚度中心附近的垂向输导断裂未断至侏罗系,所以II类原油未能运移到侏罗系聚集成藏,仅在石炭系成藏;西峡沟地区垂向输导断裂沟通了二叠系芦草沟组和

石炭系哈尔加乌组两套烃源岩,所以,上覆地层聚集了混源油。

(2) 含氮化合物可以示踪油气沿断裂的垂向运移,无论是从二叠系芦草沟组到侏罗系的垂向运移,还是从石炭系哈尔加乌组到石炭系顶部的垂向运移,原油中含氮化合物都表现出总浓度降低、1- $\delta$ DMC/1-3-DMC 或 1- $\delta$ DMC/2- $\delta$ DMC 值增大的特点。

### 参考文献 (References)

- 伍新和,王成善,伊海生,等. 新疆三塘湖盆地烃源岩特征[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(5): 511-516 [Wu Xinhe, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. Characteristics of hydrocarbon source rock in the Santanghu Basin of Xinjiang, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2004, 31(5): 511-516]
- 杜宏宇,王鸿雁,徐宗谦. 马朗凹陷芦草沟组烃源岩地化特征[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(4): 302-305 [Du Hongyu, Wang Hongyan, Xu Zongqian. Geochemical characteristics of Lucaogou source rock in Malang sag, Santanghu Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(4): 302-305]
- 高岗,李华明,梁浩,等. 三塘湖盆地侏罗系油气来源与油气成藏模式[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 18-25 [Gao Gang, Li Huaming, Liang Hao, et al. Origin of Jurassic hydrocarbon and accumulation model in Santanghu Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 18-25]
- 张枝焕,关强. 新疆三塘湖盆地侏罗系油源分析[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1998, 22(5): 37-41 [Zhang Zhihuan, Guan Qiang. Analysis on oil and gas source of Jurassic in Santanghu Basin of Xinjiang area [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 1998, 22(5): 37-41]
- 张君峰. 输导体系对三塘湖盆地侏罗系油藏的控制作用[J]. 中国石油勘探, 2010, 4: 26-30 [Zhang Junfeng. Controlling of pathway system on hydrocarbon reservoir in Jurassic formation of Santanghu Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2010, 4: 26-30]
- 欧阳征健,周鼎武,冯娟萍. 新疆三塘湖盆地走滑构造特征与油气勘探[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 277-282 [Ouyang Zhengjian, Zhou Dingwu, Feng Juanping. Features of strike-slip tectonics and prospecting for hydrocarbon exploration in Santanghu Basin, Xinjiang [J]. Geoscience, 2006, 20(2): 277-282]
- 李琴英,罗凤芝,苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. 断块油气田, 2000, 7(2): 15-17 [Li Qinying, Luo Fengzhi, Miao Cui-zhi. Research on fault activity ratio and its application [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2000, 7(2): 15-17]
- 付宪弟,马世忠,孙雨,等. 松辽盆地南部孤店断层活动性分析及其控藏作用[J]. 大庆石油学院学报, 2010, 34(2): 21-25 [Fu Xian-di, Ma Shizhong, Sun Yu, et al. Analysis of the activity and its role in controlling reservoir accumulation of Gudian fault of southern Songliao Basin [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2010, 34(2): 21-25]
- 刘建国,刘延峰,黎有炎,等. 惠民凹陷西部断层活动性研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(4): 195-198 [Liu Jianguo, Liu Yanfeng, Li Youyan, et al. Research on fault activity in the west of Huimin depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(4): 195-198]
- 高岗,李华明,李川,等. 三塘湖盆地牛圈湖油田地质特征与成藏过程[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(5): 535-538 [Gao Gang, Li Huaming, Li Chuan, et al. The geologic feature and hydrocarbon accumulation of Niujianhu oilfield in Santanghu Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(5): 535-538]
- 赵泽辉,郭召杰,张臣,等. 新疆东部三塘湖盆地构造演化及其石油地质意义[J]. 北京大学学报: 地球科学版, 2003, 29(2): 219-228 [Zhao Zehui, Guo Zhaojie, Zhang Chen, et al. Tectonic evolution of the Santanghu Basin, east Xinjiang and its implication for the hydrocarbon accumulation [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2003, 29(2): 219-228]
- 吴向阳. 苏北盆地高邮凹陷北斜坡西部油气运移研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 281-287 [Wu Xiangyang. Study of hydrocarbon migration in the west of north slope in Gaoyou sag, the North Jiangsu Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(3): 281-287]
- 郑有恒,黄海平,文志刚,等. 根据原油的含氮化合物判断东营凹陷大芦湖油田油气运移方向[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6): 650-651 [Zheng Youheng, Huang Haiping, Wen Zhigang, et al. Oil migration direction of Daluhu oilfield in Dongying depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(6): 650-651]
- 王铁冠,李素梅,张爱云,等. 利用原油含氮化合物研究油气运移[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2000, 24(4): 83-86 [Wang Tieguan, Li Sumei, Zhang Aiyun, et al. Oil migration analysis with pyrrolic nitrogen compounds [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2000, 24(4): 83-86]
- 王海华,丁启光. 含氮化合物在东营凹陷南斜坡油气运移中的应用[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2009, 28(2): 17-21 [Wang Haihua, Ding Qiguang. Application of nitrogen compounds in tracing hydrocarbon migration in the south slope of Dongying sag [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2009, 28(2): 17-21]
- 王青春,朱扬明,贺萍,等. 中性含氮化合物的演化及地化意义[J]. 地质地球化学, 2002, 30(4): 15-19 [Wang Qingchun, Zhu Yangming, He Ping, et al. Evolution of nitrogen-containing compounds and geochemical significance [J]. Geology Geochemistry, 2002, 30(4): 15-19]



## Matching Relationship Between Faults and Source Rock and Vertical Migration Characteristics of the Oil in the Malang Sag

MA Jian<sup>1</sup> HUANG Zhi-long<sup>1</sup> LI Hua-ming<sup>2</sup> WU Hong-zhu<sup>1</sup>  
CHEN Xuan<sup>2</sup> WEN Chuan-jiang<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. Research Institute of Exploration and Development, Tuha Oilfield Company, PetroChina, Hami, Xinjiang 839000)

**Abstract:** There are three types of crude oil in the Malang sag, Santanghu Basin. Type I oil is from the source rocks of Permian Lucaogou Formation. Type II oil is from the source rocks of Carboniferous Haerjiawu Formation and type III oil is mixed source oil of type I oil and type II oil. Based on the study of the intensity of faults activity and the matching relationship between vertical transporting faults and the source rock, and then combined with the analysis data of nitrogen compounds, vertical migration characteristics of the oil in the Malang sag are studied in this paper. The research results are as follows. Firstly, the vertical migration ability of the oil is controlled by the intensity of faults activity, and the oil can accumulate in the overlying strata by migrating when the vertical transporting faults match the source rock well. When there are only vertical transporting faults or there is only source rock, oil can not accumulated in the overlying strata. The Jurassic was broken through by the vertical transporting faults nearby the thickness center of the Permian Lucaogou Formation source rock, so type I oil which was generated by the source rock of the Lucaogou Formation could accumulate in the Jurassic through migration. The Permian and Jurassic were not broken by most faults nearby the Carboniferous Haerjiawu Formation source rock, so type II oil which was generated by the source rock of the Carboniferous Haerjiawu Formation could not accumulate in the Permian and Jurassic, and it only accumulated at the top of Carboniferous. Besides, combined with the analysis of transporting faults, nitrogen compounds can trace hydrocarbon vertical migration well. The absolute concentration of nitrogen compounds in the crude oil is gradually reduced. And nitrogen-shielded isomers are more enriched than parts of nitrogen-shielded isomers and nitrogen-exposed isomers from the deep to the shallow strata. For example, the value of 1  $\delta$ DMC/1  $\beta$ -DMC and 1  $\delta$ DMC/2, 4-DMC both are increased from the deep to the shallow strata. These parameters all trace the hydrocarbon vertical migration through the transporting faults from the deep to the shallow strata well.

**Key words:** transporting fault; hydrocarbon migration tracing; nitrogen compounds; Malang sag