

# 三塘湖盆地火山岩油气藏油气 充注幕次及成藏年龄确定

李华明<sup>1,2</sup>, 陈红汉<sup>1</sup>, 赵艳军<sup>1</sup>

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国石油吐哈油田公司, 新疆哈密 839000

**摘要:** 油气藏油气充注幕次和成藏年龄确定一直是成藏过程研究的热点和核心问题. 通过 60 块流体包裹体系统分析, 结合单井埋藏史投影方法, 分析了三塘湖盆地火山岩油气藏的油气充注幕次和成藏期次, 确定了其成藏年龄, 从而对其油气成藏过程进行了研究, 认为三塘湖盆地火山岩油气藏经历了石炭纪以来三期油气运聚的成藏过程. 它们分别发生在 259~230 Ma、160~134 Ma 和 70~0 Ma, 其中早期(海西印支期)油气成藏对盆地深部油气勘探具有重要意义.

**关键词:** 三塘湖盆地; 火山岩油气藏; 流体包裹体; 油气充注幕次; 油气成藏年龄.

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2009)05-0785-07

收稿日期: 2008-12-20

## The Hydrocarbon Charging Events and Ages in the Volcanic Reservoir of Santanghu Basin

LI Hua-ming<sup>1,2</sup>, CHEN Hong-han<sup>1</sup>, ZHAO Yan-jun<sup>1</sup>

1. Department of Petroleum Geology, Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Tuha Oilfield Company, CNPC, Hami 839000, China

**Abstract** Studies of hydrocarbon charging events and ages have always been the hot and core issues of oil and gas migration and accumulation processes. In this research, systematic fluid inclusion analytical technology, such as fluorescent colors, micro-beam of fluorescent spectrum and the homogenization temperature (Th) of oil fluid inclusion, has been employed to find out that since the Carboniferous there are three hydrocarbon charging events in the igneous reservoirs of Santanghu basin, and their charging ages are determined by Th projection on burial history curves method as follows: the first event occurred during 259–230 Ma, the second event 160–134 Ma, and the third event 72–0 Ma respectively. The regional hydrocarbon migration directions indicated by oil inclusion maturities suggest that the deep igneous reservoirs in the basin may have accumulated the earliest hydrocarbon (the Hercynian), which may be the favorable site for the next exploration.

**Key words:** Santanghu basin; igneous reservoir; fluid inclusion; hydrocarbon charging events; hydrocarbon migration and accumulation ages.

油气充注幕次及成藏年龄确定是油气成藏过程研究核心内容之一,也是油气成藏模式建立的重要环节(陈红汉, 2007),特别是我国西部叠合盆地,油气成藏具有多期运聚、多期成藏和多期调整甚至破坏等复杂特点(贾承造, 2004; 康玉柱等, 2008). 精细划分油气成藏过程中充注幕次, 确定其成藏年龄, 对于认识油气聚集规律, 并指导勘探实践具有重要意义.

随着油气勘探不断深入, 火成岩油气藏日益成为世界油气勘探的一个重要领域(Petford and McCaffrey, 2003). 而有关火成岩储层成岩矿物和裂纹中的烃类包裹体研究则报道不多(李纯泉和陈红汉, 2007). 众所周知, 油气包裹体是其在运移和聚集成藏过程中被捕获的“油化石”, 能够为研究油气的生成、运移、聚集和散失等提供丰富的信息而备受国内

外同行的关注. 本文运用流体包裹体系统分析的技术和方法, 针对三塘湖盆地火成岩油气藏开展油气充注幕次及成藏年龄研究.

### 1 地质概况

三塘湖盆地是新疆境内几个已发现油气田的盆地中较小的盆地, 位于新疆维吾尔自治区巴里坤哈萨克自治县和伊吾县境内, 呈 NW-SE 向条带状, 夹持于莫钦乌拉山与苏海图山之间. 盆地位于西伯利亚板块南缘, 属活动边缘增生体系. 三塘湖盆地板内演化先后经历了伸展断陷盆地时期、前陆盆地发展时期、简单拗陷盆地时期和再生前陆盆地时期, 形成现今南北分带、东西分块, 中央拗陷带四凸五凹的构造格局(刘洪福和尹凤娟, 2001; 孙自明等, 2001; 刘学锋等, 2002; 赵泽辉等, 2003; 栗维民等, 2005). 盆地自基底形成后, 沉积盖层除下三叠统、上白垩统有缺失外, 其余地层发育比较齐全. 其中, 盆地在中晚石炭世至二叠纪时期火山活动频繁, 沉积物为陆相型沉积和火山岩互层. 随着油气勘探工作的深入, 该盆地石炭—二叠系火山岩储层逐渐受到重视, 仅在

2002 年对条 5 井 3 674. 5~3 692 m 段进行压裂改造, 获得了初期日产达 26 m<sup>3</sup> 的工业油流. 目前, 火山岩储层的油气勘探在马朗和条湖两个凹陷都取得进展(何国貌等, 2004).

三塘湖盆地共发育 3 套烃源岩: 中生界上三叠统和中一下侏罗统含煤系地层的烃源岩、古生界上二叠统湖相低熟烃源岩和石炭系湖相成熟烃源岩. 受构造运动影响, 盆地南部地层被逆掩推覆于南部断裂带之下, 北部地区中二叠统被强烈剥蚀. 目前认为二叠系烃源岩主要位于马朗凹陷及条湖凹陷南部, 是石炭—二叠系火山岩油气藏的主要烃源岩(图 1). 火山岩油气藏储集空间具有多样性, 按成因可以分为原生孔隙(气孔、粒间孔、晶间孔)、原生裂缝(冷凝收缩缝、炸裂缝)、次生孔隙(溶解孔隙)和次生裂缝(构造拱张裂缝和剪切缝、成岩脱水收缩缝、风化裂缝)等. 烃源岩中生成的油气经断裂、裂缝和不整合组成的输导体系向火成岩储层圈闭中运聚成藏(图 1).

### 2 储层流体包裹体研究

石油包裹体在透射光和紫外光下的颜色是石油

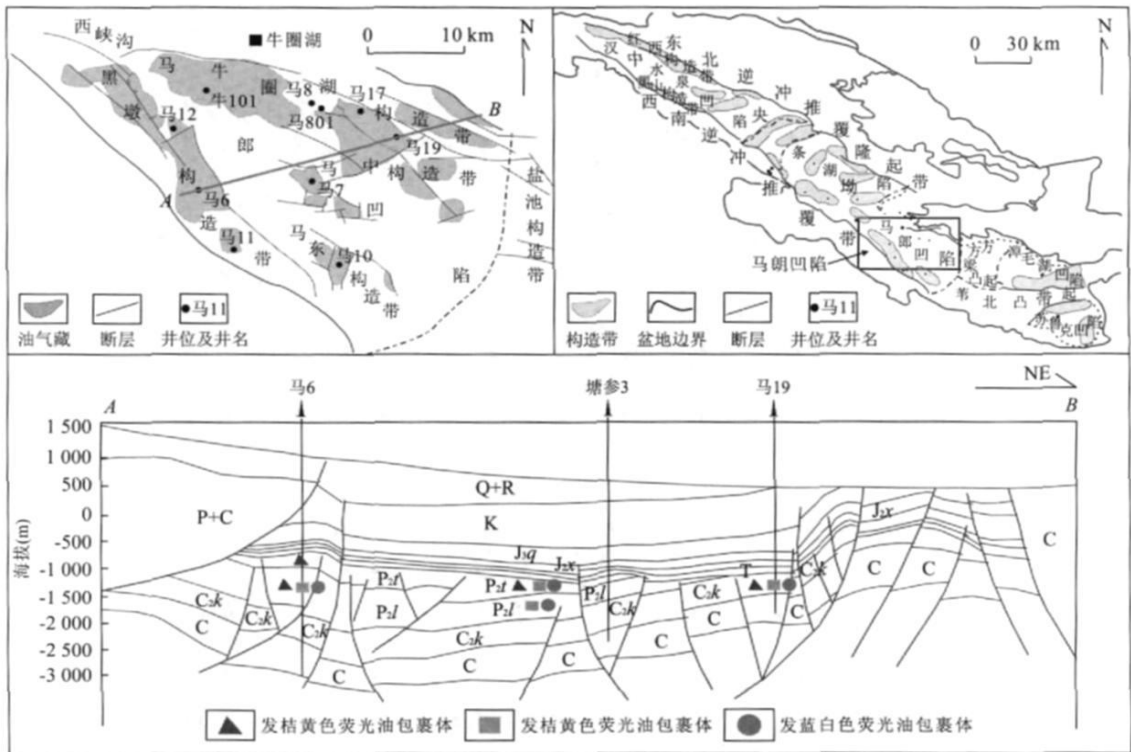


图 1 三塘湖盆地及马朗凹陷南北向地质剖面油包裹体荧光色分布

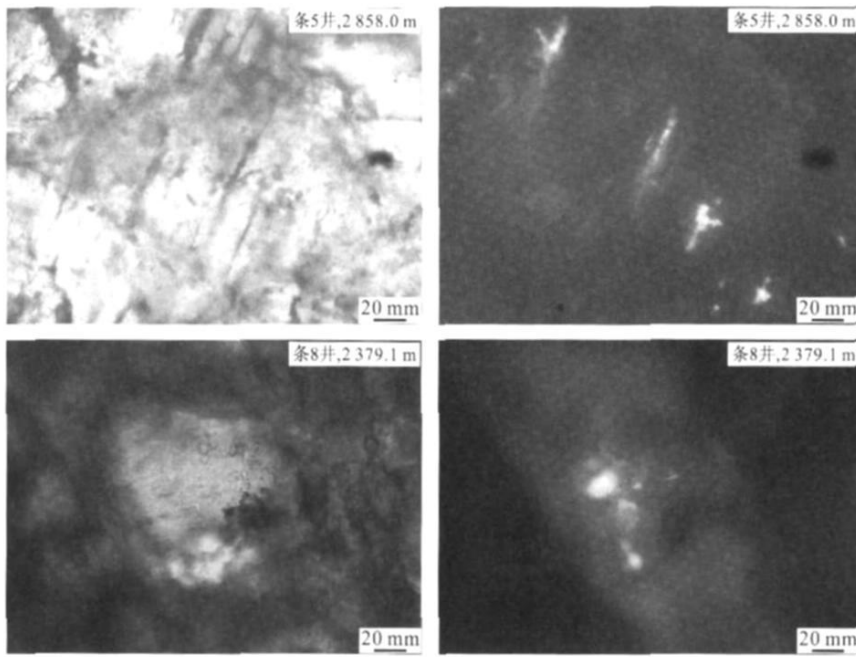


图 2 条湖凹陷条湖组方沸石脉和长石斑晶中的油包裹体(左为透射光, 右为荧光)

Fig. 2 Pictures showing the oil inclusion petrological occurrence in analcime veins and feldspar phenocrysts of Tiaohu Formation, Tiaohu depression

包裹体鉴定的基础, 也是推断包裹体所捕获烃流体类型的重要依据. 石油包裹体的产状、大小、气液相体积比、均一温度及其同期盐水包裹体的均一温度和盐度是石油包裹体研究的重要内容.

### 2.1 储层流体包裹体类型及特征

根据本次研究的目的, 共采集三塘湖盆地马朗凹陷 9 口井和条湖凹陷 2 口井共计 60 块流体包裹体样品, 并进行了相应的岩心描述、照相, 选取了主要井段泥岩样品进行了镜质体反射率分析. 样品的流体包裹体系统测试流程依次为: 取样、制片、素描、方解石和方沸石脉的期次分析、流体包裹体显微荧光观察、典型烃类包裹体照相、单个油包裹体光谱分析、包裹体测温、测盐. 本次测试工作所使用的仪器是紫外激发光波长为 330~380 nm 和配备 Lucia 微束( $\leq 2 \mu\text{m}$ )荧光光谱分析仪、Linkam THMS G600 冷/热台+100 倍 8 mm 长焦工作物镜的 E400 Nikon 双通道荧光显微镜.

在石炭—二叠系共计 11 口井 60 块样品中, 主要对玄武岩、安山岩、凝灰岩、泥岩和少量辉绿岩中的斑晶、杏仁体、晶洞和矿物脉中的流体包裹体进行系统检测. 检测到的流体包裹体类型有单一液相的石油包裹体、气液两相的石油包裹体、油水两相的包裹体、油气水三相的包裹体、单一气相的包裹体、纯

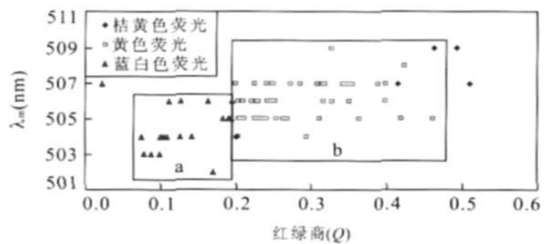


图 3 三塘湖盆地油包裹体荧光光谱红绿商(Q)和光谱主峰波长( $\lambda_m$ )分类(排除了发黄色荧光而红绿商值小于 0.2 的数据点)

Fig. 3 Classified diagram on the basis of the relationship between the wavelength of the highest peak ( $\lambda_m$ ) and the ratio (Q) of intensity of red fluorescence ( $I_{650}$ )/intensity of green fluorescence ( $I_{530}$ ) of oil inclusions in Santanghu basin

水溶液相的包裹体、含气相的水溶液包裹体以及含  $\text{CO}_2$  的水溶液包裹体. 包裹体主要赋存在沸石、方解石和长石等成岩矿物脉或晶洞中, 个体较大(2~10  $\mu\text{m}$ )且适合于进行包裹体均一温度测试的石油包裹体则主要发育于粗晶的沸石脉和方解石脉中, 这些脉石透明度好, 长短不一, 脉宽通常 1~6 mm, 有的甚至达到 9~10 mm. 在较早期发育的沸石脉和方解石脉中偶见油包裹体, 但主要以单一液相油包裹体为主, 包裹体较细小, 通常呈星点状分布.

### 2.2 石油包裹体的荧光特征

石油包裹体的荧光特征反映了有机质的成分特

表 1 三塘湖盆地火山岩油气藏流体包裹体系统分析均一温度数据统计

Table 1 Data of homogenization temperatures of fluid inclusions in the igneous reservoirs of Santanghu basin

井号	层位	无机(含烃盐水)包裹体均一温度平均值(°C)				有机(油)包裹体均一温度平均值(°C)			
		$T_{h1}$	$T_{h2}$	$T_{h3}$	$T_{h4}$	$T_{h1}$	$T_{h2}$	$T_{h3}$	$T_{h4}$
马 6	P <sub>2t</sub>		96.2/102.2		143.5				
马 6	P <sub>2l</sub>	73.6~93.9	106.8	120.3		59.9~86.6	93.1~9.5	128.3	
马 7	P <sub>2t</sub>	66.9~75.5	100.8~110.6	118.5~135.8		61.5~79.8	98.7~99.8	119.6	
马 7	P <sub>2l</sub>		109.9/100.0	136.6/130.2	151.3	63.5	92.0	136.7	171.1
马 8	C			119.7	152.9	64.6			
马 8	C <sub>2k</sub>	85.8	115.4			64.3	105.5		167.7
马 11	P <sub>2β</sub>		94.9						
马 17	C <sub>2k</sub>	86.8					111.7	144.4	
马 17	C			125.5			102.5		
马 19	C <sub>2k</sub>	67.1	93.1~108.8	130.8	160.9	68.6~81.6	113.5	156.7	174.5
牛 101	P <sub>2l</sub>					52.1~72.0	83.9~102.8		
条 5	P <sub>2t</sub> <sup>l</sup>	82.7				70.8			
条 8	P <sub>2t</sub>	67.8				47.2			

征及其热演化程度,即随着有机质从低成熟向高成熟演化,其荧光颜色由火红色→黄色→橙色→蓝色→蓝白色(蓝移)。油包裹体的荧光颜色及相关信息可以作为判断油气演化和期次分析的有效辅助工具(Goldstein and Reynolds, 1994; 余孝颖和施继锡, 1996; 邹海峰等, 2002; 刘文斌等, 2003; Przyjal-gowski *et al.*, 2005; 郝雪峰等, 2006; 赵艳军和陈红汉, 2008)。

经检测马朗凹陷二叠系芦草沟组(P<sub>2l</sub>)检测到桔黄色、黄色和蓝白色的油包裹体。其中马 6 井和牛 101 井中均检测到大量发蓝白色荧光的油包裹体,而马 7 井中仅见单个存在的极少数的发蓝白色荧光的油包裹体。芦草沟组马 8、马 9、马 10、马 11 样品中均未检测到发荧光的油包裹体。石炭系卡拉岗组(C<sub>2k</sub>)马 801 井、马 17 井方解石脉和长石脉中检测到发黄色荧光和蓝白色荧光的油包裹体,马 19 井方解石脉中检测到发桔黄色荧光、黄色荧光和蓝白色荧光的油包裹体。石炭系下部层段(C)马 8 井样品中检测到发黄色和黄白色荧光的油包裹体,马 17 井样品中检测到发黄色和蓝白色荧光的油包裹体,马 19 井样品中未检测到油包裹体。条湖凹陷条 5 井和条 8 井采集到条湖组(P<sub>2t</sub>)样品,检测到的油包裹体发黄色荧光(图 2)。

根据油包裹体发荧光机理以及油气差异聚集原理(Goldstein and Reynolds, 1994; 张厚福等, 1989),马 6 井芦草沟组发育大量蓝白色荧光油包裹体,而马 7 井则只见极少量单个存在的蓝白色油包裹体,所以马 6 井在芦草沟组可能有来自于推覆带深部高温高压条件下形成的较高成熟度的油。

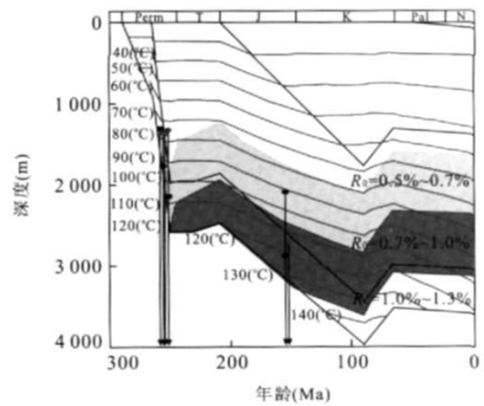


图 4 马 6 井埋藏史显示的烃源岩成熟史与各幕次充注油气的充注年龄

Fig. 4 Burial historic diagram of Ma 6 well showing the mature history of source rocks and the ages of each corresponding hydrocarbon charging events

在获得三塘湖盆地油包裹体荧光光谱数据的基础上,计算了油包裹体荧光光谱的红绿商( $Q$ 值= $I_{650}/I_{500}$ )并将其与光谱主峰宽 $\lambda_m$ 和荧光强度 $I$ 进行了相关性分析。在发黄色荧光油包裹体,其红绿商值位于0.046~0.2之间的点来自于石炭系(C)的为48%(马 17 井、马 19 井、马 801 井和马 8 井),来自马 6 井芦草沟组的为24%,来自条湖凹陷条 5 井和条 8 井的为19%,来自牛 101 井芦草沟组的共占9%。排除了发黄色荧光而红绿商值小于0.2的数据点后的红绿商与荧光强度的对比情况,总体上随着红绿商的增大,荧光强度减小,红绿商值对包裹体中油成分的变化有很好的指示作用(图 3)。

由此可以判断: I. 石炭系烃源岩和原油具有比

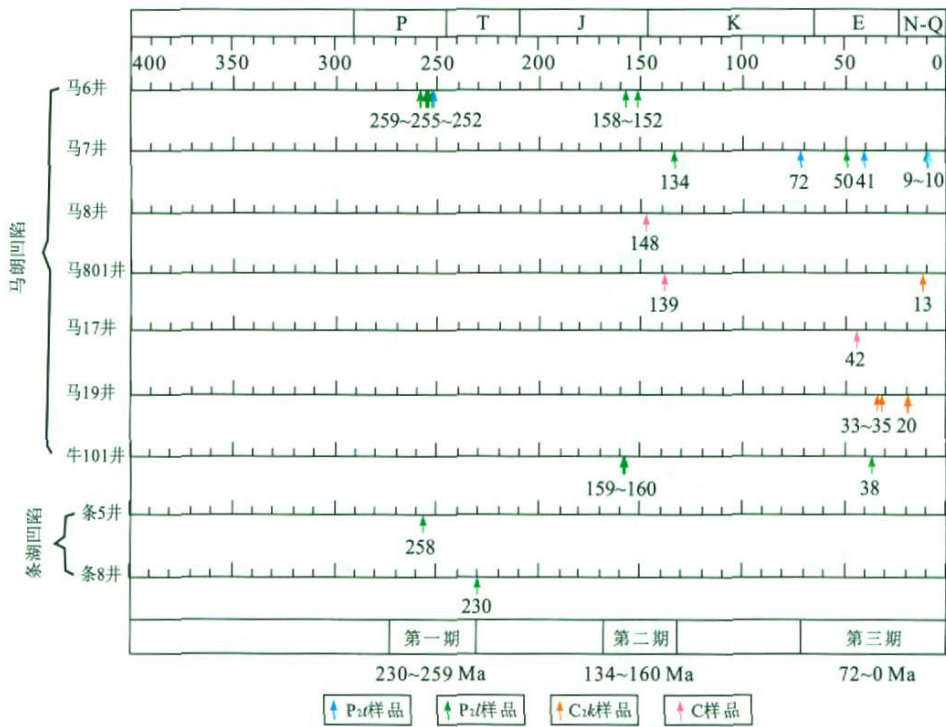


图 5 三塘湖盆地火山岩油气藏“投影法”确定的油气成藏时间

Fig. 5 Diagram for dating hydrocarbon migration and accumulation in the igneous reservoirs by the homogenization temperature projection method in Santanghu basin

其他层系更高的成熟度; II. 条湖凹陷原油成熟度整体上高于马朗凹陷; III. 马 6 井具有异常高的成熟度; IV. 盆地北部斜坡带二叠系储层中(马 17 井、马 19 井、马 8 井、马 801 井和牛 101 井)可能有石炭系的油源, 具有混源的特征, 显示了高的成熟度。

### 2.3 流体包裹体的均一温度

在烃类包裹体荧光观测基础之上, 结合流体包裹体显微镜下相态特征观察以及有机包裹体荧光观察, 进行了流体包裹体的均一温度测试, 并对测试均一温度进行了期次分析. 流体包裹体分期以具有相同产状和相似气液比的流体包裹体组合为主要原则. 对油包裹体分析其产状特征、荧光特征、油包裹体的均一温度以及与油包裹体同生的盐水包裹体的均一温度为依据进行综合判断. 分析表明, 三塘湖盆地马朗凹陷和条湖凹陷共发育四期盐水包裹体和四期包裹体(表 1).

## 3 油气充注幕次及成藏年龄确定

在同一均一条件下捕获的气液两相油包裹体的均一温度一般均低于同期的盐水包裹体均一温度, 因此笔者使用“包裹体均一温度—埋藏史投影图”

法, 研究油气成藏时间中选取的是油包裹体同期盐水包裹体的均一温度作为进行“投影法”而非油包裹体本身的均一温度. 流体包裹体的均一温度分期是相对的, 只有运用流体包裹体平均均一温度—埋藏史投影法, 统一到同一时间轴上可消除不同井深样品的影响, 由此确定的充注幕次才是真正的分期. 为此, 将各井各层位样品测定的与油包裹体同期的盐水包裹体的平均均一温度投影到各井埋藏史图上, 对应的时间轴上标定的时间即为充注年龄; 同时, 根据充注年龄分布来划分成藏期次.

以马 6 井为例, 运用 BasinMod 1D 模拟软件, 笔者得了马 6 井精细埋藏史和烃源岩成熟史. 将与各充注幕次烃类包裹体同期的盐水包裹体均一温度“投影”到该埋藏史图上, 对应的横坐标年龄即为该幕次油气的充注年龄(图 4). 其他井的情况按此原理以求得其充注年龄. 将各井的充注年龄统一标注到同一时间坐标轴上, 即可获得油气成藏期次和成藏时期(图 5).

三塘湖盆地石炭—二叠纪火山岩油气藏利用“投影法”确定的油气成藏期次和成藏时期如图 5 所示. 由此可见, 火山岩油气藏可划分为 3 个运移成藏期: 第一期发生在二叠纪末期—三叠纪早期的海西



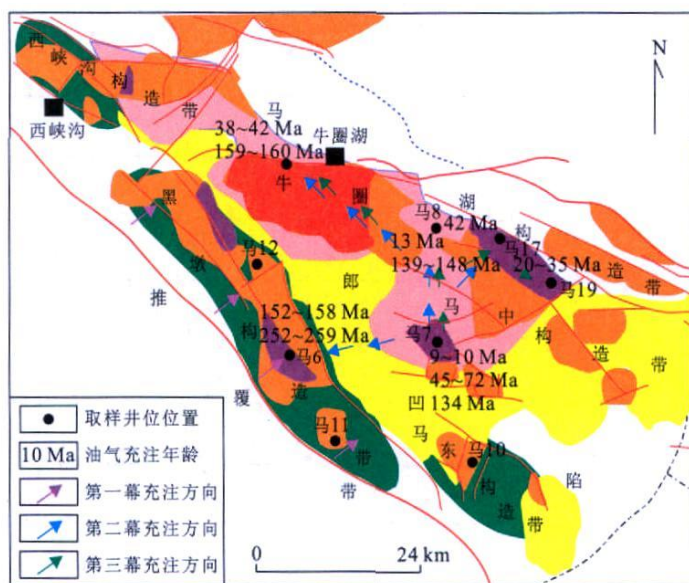


图 6 三塘湖盆地马朗凹陷各幕次油气充注年龄分布及充注方向示意图

Fig. 6 Distribution of hydrocarbon charging ages for each events and schematic migration directions in Malang depression of Santanghu basin

印支期(259 ~ 230 Ma); 第二期发生在侏罗纪末期的燕山期(160 ~ 134 Ma); 第三期发生在白垩纪晚期—第四纪的喜山期(72 ~ 0 Ma)。

从三期成藏时间的平面分布特征(图 6)来看, 第一期(即 259 ~ 230 Ma)主要分布于马 6 ~ 条 8 ~ 条 5 井区, 平面上呈狭长带状分布于西南逆冲推覆带东北侧。该期油气成藏的油源应该来自于早二叠世前, 在条湖凹陷和马朗凹陷南部及盆地西南逆冲推覆体下的炭质泥岩。该期油气充注局限于局部区域。第二期(即 160 ~ 134 Ma)油气成藏较前一期范围明显扩大。此时, 凹陷的生烃中心随着盆地的发展而向东北发展, 结合盆地主力烃源岩芦草沟组泥岩分布和各井的成藏时间来看, 该期油气以马 7 井附近为生烃凹陷中心向凹陷边缘运移。同理, 第三期(即 72 ~ 0 Ma)也是从西南部生烃凹陷中心向北部构造带运移, 是第二期成藏的延续和再调整。

## 4 结语

三塘湖盆地是一个具有叠合盆地性质的含油气盆地。通过对深部火山岩油气藏流体包裹体(油包裹体荧光和均一温度)分析, 认为盆地南缘推覆带可能存在有石炭系成熟度较高的烃源岩。

通过油气充注幕次和成藏年龄研究认为, 南缘推覆带在石炭—早二叠世沉积形成了具有一定生烃

能力的烃源岩, 随着盆地构造演化发展, 中晚石炭世由于板块的碰撞挤压作用, 盆地进入造山伸展转换期。二叠纪系末三塘湖盆地南缘推覆带发生早期油气运聚成藏(流体包裹体计算油气成藏时间为 252 ~ 259 Ma), 油气沿断裂向上运移, 与二叠系芦草沟组烃源岩生成的烃类混合, 为火山岩油气成藏提供充注的油源条件。因此, 盆地深部火山岩油气藏的勘探具有很好的前景。

## References

- Chen, H. H., 2007. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation. *Oil & Gas Geology*, 28(2): 143—150 (in Chinese with English abstract).
- Goldstein, R. H., Reynolds T. J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short Course*, 31: 69—85.
- Hao, X. F., Chen, H. H., Gao, Q. L., et al., 2006. Microcharging processes of hydrocarbon in the Niuzhuang lentoid sandy reservoirs, Dongying depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2): 182—190 (in Chinese with English abstract).
- He, G. M., Zhang, F., Wang, W. X., 2004. Analyses on characteristics and favorable forming conditions of volcanic reservoirs in Santanghu basin. *Tuohu Oil and Gas*, 9(4): 309—311 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., 2004. The plate tectonics and continental dynamics in Tarim basin. Petroleum Industry Press Beijing (in Chinese).

- Chinese).
- Kang Y. Z., Ling Z. H., Long X. B., et al., 2008. The petroleum system character in Xinjiang foreland basins. Xinjiang Science & Technology Press, Urumqi (in Chinese).
- Li C. Q., Chen H. H., 2007. Fluid inclusion from volcanic reservoirs in Xujiaweizi fault depression. *Natural Gas Industry*, 27(8): 20—22 (in Chinese with English abstract).
- Li W. M., Zhang K. W., Ren H., et al., 2005. Stress field characteristics of structures in Santanghu basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 26(1): 6—9 (in Chinese with English abstract).
- Liu H. F., Yin F. J., 2001. A discussion on the age of Kalagang Formation of the Santanghu basin in Xinjiang, China. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 31(6): 496—499 (in Chinese with English abstract).
- Liu W. B., Yao S. P., Hu W. X., et al., 2003. Application and research approaches of fluid inclusions. *Xinjiang Petroleum Geology*, 24(3): 264—267 (in Chinese with English abstract).
- Liu X. F., Liu S. P., Liu C. X., et al., 2002. Tectonic evolution and prototype basins of Santanghu basin. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 24(4): 13—17 (in Chinese with English abstract).
- Petford N., McCaffrey, K. J. W., 2003. Hydrocarbons in crystalline rocks. Geological Society Special Publication, No. 214, London.
- Przyjalowski, M. A., Ryder, A. G., Feely, M., 2005. Analysis of hydrocarbon-bearing fluid inclusions (HCFI) using time-resolved fluorescence spectroscopy. *Optical Sensing and Spectroscopy*, 5826: 173—184.
- Sun Z. M., Xiong B. X., Li Y. L., et al., 2001. Structural characteristics and favorable belt for hydrocarbon exploration in Santanghu basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 23(1): 23—26 (in Chinese with English abstract).
- Yu X. Y., Shi J. X., 1996. Infrared, ultraviolet and fluorescence analyses and their application in the study of organic inclusions. *Acta Mineralogica Sinica*, 16(2): 212—217 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H. F., 1989. Petroleum geology. Petroleum Industry Press, Beijing, 175—181 (in Chinese).
- Zhao, Y. J., Chen H. H., 2008. The relationship between fluorescence colors of oil inclusions and their maturities. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(1): 91—96 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. H., Guo, Z. J., Zhang, C., et al., 2003. Tectonic evolution of the Santanghu basin, East Xinjiang and its implication for the hydrocarbon accumulation. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 39(2): 219—227 (in Chinese with English abstract).
- Zou H. F., Xu X. C., Gao, F. H., 2002. Micro-fluorescence analysis and oil-gas migration, accumulation of Dagang exploration area. *World Geology*, 21(3): 247—250 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

- 陈红汉, 2007. 油气成藏年代学研究进展. 石油与天然气地质, 28(2): 143—150.
- 郝雪峰, 陈红汉, 高秋丽, 等, 2006. 东营凹陷牛庄砂岩透镜体油气藏微观充注机理. 地球科学——中国地质大学学报, 31(2): 182—190.
- 何国貌, 张峰, 王文霞, 2004. 三塘湖盆地火山岩油气藏特征及有利成藏条件. 吐哈油气, 9(4): 309—311.
- 贾承造, 2004. 塔里木盆地构造与大陆动力学. 北京: 石油工业出版社.
- 康玉柱, 凌支虎, 龙喜彬, 等, 2008. 新疆前陆盆地成油特征. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社.
- 李纯泉, 陈红汉, 2007. 徐家围子断陷火山岩储层流体包裹体研究. 天然气工业, 27(8): 20—22.
- 栗维民, 张考文, 任红, 等, 2005. 三塘湖盆地构造应力场特征. 新疆石油地质, 26(1): 6—9.
- 刘洪福, 尹凤娟, 2001. 新疆三塘湖盆地卡拉岗组时代问题商榷. 西北大学学报(自然科学版), 31(6): 496—499.
- 刘文斌, 姚素平, 胡文鑫, 等, 2003. 流体包裹体的研究方法及应用. 新疆石油地质, 24(3): 264—267.
- 刘学锋, 刘绍平, 刘成鑫, 等, 2002. 三塘湖盆地构造演化与原型盆地类型. 西南石油学院学报, 24(4): 13—17.
- 孙自明, 熊保贤, 李永林, 等, 2001. 三塘湖盆地构造特征与有利勘探方向. 石油实验地质, 23(1): 23—26.
- 余孝颖, 施继锡, 1996. 红外、紫外及荧光分析在有机包裹体研究中的应用. 矿物学报, 16(2): 212—217.
- 张厚福, 1989. 石油地质学. 北京: 石油工业出版社, 175—181.
- 赵艳军, 陈红汉, 2008. 油包裹体荧光颜色及其成熟度关系. 地球科学——中国地质大学学报, 33(1): 91—96.
- 赵泽辉, 郭召杰, 张臣, 等, 2003. 新疆东部三塘湖盆地构造演化及其石油地质意义. 北京大学学报, 39(2): 219—227.
- 邹海峰, 徐学纯, 高福红, 2002. 大港探区前第三系显微荧光分析及油气运聚特征研究. 世界地质, 21(3): 247—250.