

文章编号: 1001-6112(2007)05-0466-06

江汉盆地西南缘油气运移及其成藏模式

刘琼, 何生

(中国地质大学 资源学院, 武汉 430074)

摘要:对江汉盆地西南缘的油源对比和流体势分析表明,北部地区的原油主要来自梅槐桥—牛头岗洼陷高成熟度烃源岩,南部地区的原油与本地的低成熟度烃源岩具有亲缘关系,中部地区的原油则具有混源特征。该区的油气明显具有运移距离短、近源聚集的特点;其分布与聚集受到断层和圈闭类型等因素的影响。断层活动使上升盘储层与下降盘烃源岩对接,是新生古储型油气成藏的关键;断层的封闭性上部要优于下部,控制着油气富集的层位。圈闭类型以断鼻和断块为主,断鼻油气藏主要分布在断层的下降盘,而断块油气藏主要分布在断层的上升盘。根据油气聚集特点和储集层位的差异,将本区的油气藏划分为自生自储、新生古储和下生上储 3 种成藏模式。

关键词:油源对比;流体势;油气运移;成藏模式;江汉盆地西南缘

中图分类号:TE122

文献标识码:A

PETROLEUM MIGRATION AND POOL-FORMING MODELS OF THE SOUTHWEST MARGIN OF JIANGHAN BASIN

Liu Qiong, He Sheng

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: The results of oil and source rock correlation and fluid potential in the southwest margin of Jianghan Basin show that, the oils in the north primarily come from the high maturity source rock in the Meiguqiao—Niutougang Sag, and the oils in the south primarily come from the local low maturity source rock, and the oils in the medium are mixed. The distance of petroleum migration in this region is short. The distribution and accumulation of petroleum are controlled by some factors such as faults and the type of entrapment. The reservoir beds in uplifted wall being connected with the source beds in throw wall by fault was the key factor of forming the new-sourced and old-reservoired. The fault seals better in the upside than in the underlayer, fault-seal controlled the distribution of the better reservoirs. There are two important petroleum trap called fault-nose and fault-block, fault-nose locates in throw wall and fault-block locates in uplifted wall. According to the diversities of accumulation and reservoir, the petroleum pools are sorted out three different models which known as self-sourced and self-reservoired, new-sourced and old-reservoired and old-sourced and new-reservoired.

Key words: oil and source rock correlation; fluid potential; petroleum migration; pool-forming model; the southwest margin of Jianghan Basin

江汉盆地西南缘是指江陵凹陷西南部,跨江口次凹、复兴场—永固复式断阶带和江陵次凹等 3 个构造单元,面积约 480 km²。其中,江口次凹可划分成江口洼陷、采穴断块 2 个 III 级构造单元;复兴场—永固复式断阶带为复兴场断层和谢凤桥断层夹持的断块,以永固断层为界划分为复兴场断阶和永固断块 2 个 III 级构造单元,复兴场断阶以花园断

层为界分为北部的复兴场 I 号断块(简称复 I)和南部的复兴场 II 号断块(简称复 II);江陵次凹可划分为谢凤桥—八宝鼻状构造带、梅槐桥—牛头岗洼陷、南岗鼻状构造带和弥陀寺洼陷等 4 个 III 级构造单元(图 1)。从 1997 年至今该区已陆续发现多个油气藏和含油气构造,已建成年产能近万吨的油气工业基地。总的来说,该区勘探程度还较低,目

收稿日期:2006-04-19;修订日期:2007-08-13。

作者简介:刘琼(1981—),男(汉族),湖北宣恩人,博士生,主要从事石油地质及油气地球化学研究。

基金项目:中国石化科技部研究项目(P01047)。

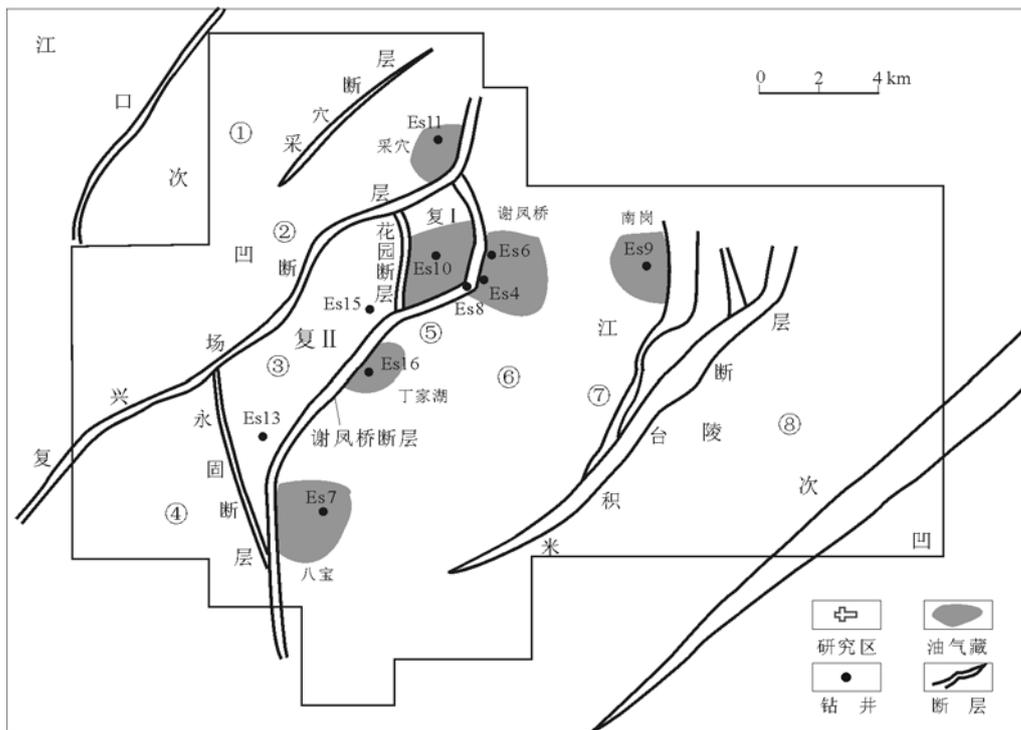


图1 江汉盆地西南缘构造单元划分及油气分布

①江口洼陷;②采穴断块;③复兴场断阶;④永固断块;⑤谢风桥—八宝鼻状构造带;
⑥梅槐桥—牛头岗洼陷;⑦南岗鼻状构造带;⑧弥陀寺洼陷

Fig.1 Tectonic division and petroleum distribution in the southwest margin of Jianghan Basin

前探明储量仅占区块资源量的8%，勘探潜力巨大。深入研究本区油气运移和聚集特征，对寻找有利的勘探目标具有重要的现实意义。

1 油气地质概况

江陵凹陷是在侏罗纪末期燕山变形褶皱基底上形成的晚白垩世—古近纪的凹陷背景下的断陷盆地^[1]。白垩系—第三系最大沉积厚度达8 000 m以上，自下而上分别为白垩系渔洋组(K₂y)，古近系沙市组(E_s)、新沟嘴组(E_x)、荆沙组(E_j)、潜江组(E_q)、荆河镇组(E_{jh})，新近系广华寺组(N_g)及第四系(Q)。新沟嘴组可分为上段(E_x⁺)和下段(E_x⁻)，上段自上而下细分为I油组(E_xI)、II油组(E_xII)、泥隔层和III油组(E_xIII)。

江陵凹陷自晚白垩世以来经历了断陷—坳陷2大构造旋回、6个构造演化阶段，即上白垩统一沙市组下段沉积的断陷期、沙市组上段—新沟嘴组沉积的坳陷期、荆沙组沉积的强烈断陷期、潜江组—荆河镇组沉积的坳陷期、荆河镇组沉积末的隆升剥蚀期和新近系广华寺组—第四系沉积的坳陷期^[2]。

本区发育沙市组上段—新沟嘴组下段和潜江组2套烃源岩。沙市组上段—新沟嘴组下段烃源

岩厚度一般为100~250 m，主要分布在梅槐桥—牛头岗洼陷，有机碳平均含量为0.7%，有机质类型以III型和II₂型为主，成熟度在0.6%~1.3%，为本区主力烃源岩。潜江组烃源岩埋藏较浅，镜质体反射率为0.3%~0.5%，处于未成熟阶段。

本区的主要储层为新沟嘴组下段、沙市组及渔洋组的陆相碎屑岩，岩性以细粉砂岩为主，整体表现为低孔、低渗特征。新沟嘴组和沙市组砂体以三角洲前缘—前三角洲沉积为主，砂体一般较薄，为2~3 m，横向变化大。沙市组砂岩储层的孔隙度为7.9%~8.3%，渗透率为(0.5~3.6)×10⁻³ μm²；新沟嘴组下段砂岩储层的孔隙度为6.19%~8.9%，渗透率在(0.05~4.39)×10⁻³ μm²之间。白垩系渔洋组为三角洲平原相沉积，砂体较发育，单层厚度较大，孔隙度为6.34%~10.93%，渗透率为(2.14~4.19)×10⁻³ μm²，储集性能较新沟嘴组和沙市组要好。

油藏类型以断鼻和断块为主，平面上油气沿着主要断层在断层两侧附近聚集，形成沿断层呈梳状分布的油气藏群^[3]。纵向上油气显示层位多，各目的层段油气富集程度不均，贫富差异明显，油气主要富集在白垩系渔洋组。

2 油源对比和油气运移

2.1 油源对比

关于江陵凹陷原油和烃源岩的地球化学特征,前人已作过较为详细的阐述^[4~7]。本次研究共采集原油样品 15 个,涉及到本区已发现的所有的油藏和含油气构造。通过对样品进行饱和烃色谱和色质谱分析,可将其大致归为 2 大类(图 2)。第一类原油的特征为:1)正构烷烃碳数分布为单峰态前峰型,Pr/Ph 比值较大;2)孕甾烷、升孕甾烷含量高,重排甾烷含量较高, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 甾烷 < $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 甾烷 \approx $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷;3)三环萜烷含量高,以 C_{23} 为主峰, T_s 高于 T_m , 伽马蜡烷含量低。该类原油主要分布在研究区北部采穴断块、复 I 断块、谢风桥断鼻和南岗断鼻。第二类原油的特征为:1)正构烷烃碳数分布为单峰态平峰型,Pr/Ph 比值小;2)孕甾烷、升孕甾烷含量低,重排甾烷含量低, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 甾烷 < $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 甾烷 \approx $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷;3)三环萜烷含量低,以 C_{23} 为主峰, T_s 低于 T_m , 伽马蜡烷含量高。该类原油主要分布在研究区中部丁家湖断鼻和南部的八宝断鼻。

2.1.1 北部地区

江汉盆地西南缘北部地区已发现采穴断块、复 I 断块、谢风桥断鼻和南岗断鼻等 4 个油气藏,产出层位分布在渔洋组、沙市组、新沟嘴组下段及荆沙组。不同层位的原油地球化学特征相似,成熟度高。(孕甾烷+升孕甾烷)/正常甾烷值为 0.19~0.41,重排甾烷/正常甾烷值为 0.30~0.44, $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 为 0.53~0.57, $C_{29} \beta/(\alpha\alpha+\beta)$ 为 0.61~0.63,接近异构化的终点^[8];三环萜烷/藿烷值为 1.82~4.69, $T_s/(T_s+T_m)$ 为 0.55~0.67,伽马蜡烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷值为 0.51~0.93。总体特征与谢风桥断鼻 Ex III 烃源岩相似,参数的吻合程度较高,但原油的成熟度更高。分析认为该区北部的原油主要来自梅槐桥—牛头岗洼陷深部的高成熟烃源岩,还有部分本地区内的成熟烃源岩的贡献。

2.1.2 中部地区

中部地区已发现丁家湖断鼻油藏和复 II 含油气构造。丁家湖断鼻原油与北部地区的原油相比成熟度要低,地球化学特征差异明显。(孕甾烷+升孕甾烷)/正常甾烷值为 0.06,重排甾烷/正常甾烷值为 0.20, $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 为 0.48, $C_{29} \beta/(\alpha\alpha+\beta)$ 为 0.51,三环萜烷/藿烷值为 0.52, $T_s/(T_s+T_m)$ 为 0.36,伽马蜡烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷值为 0.76,与本地地区的 Ex III 烃源岩特征部分相似,且烃源岩的成熟度低

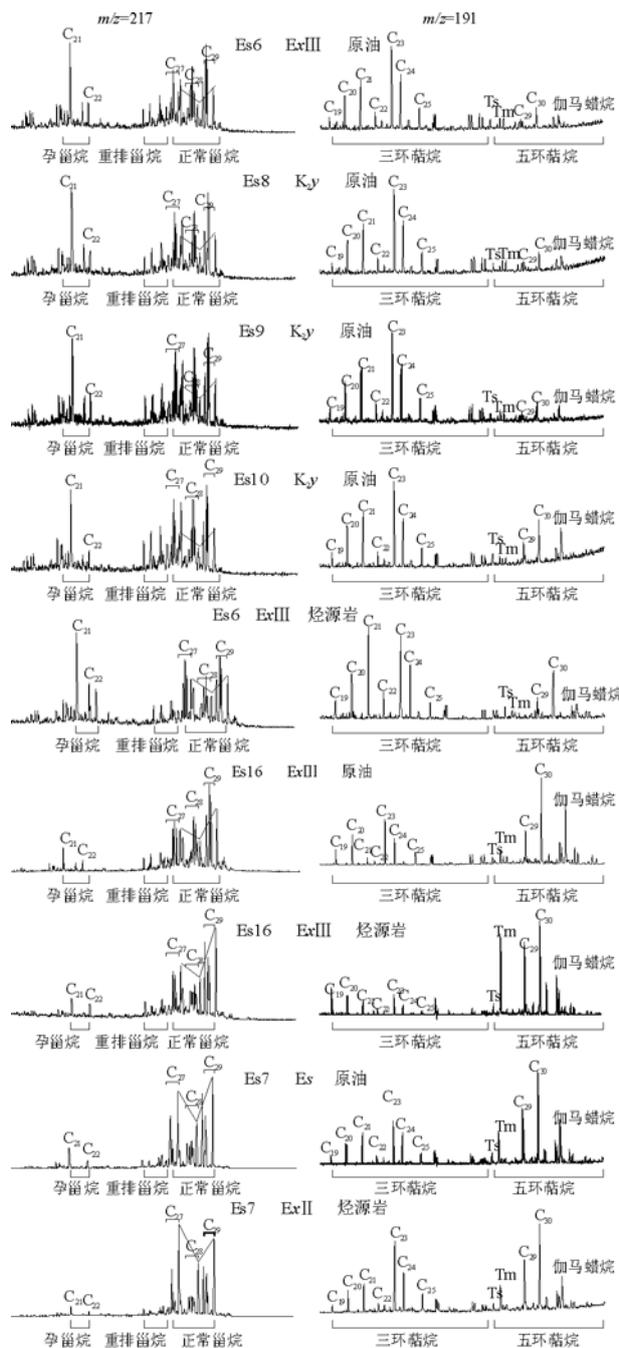


图 2 江汉盆地西南缘原油和烃源岩甾萜烷对比

Fig. 2 Mass chromatograms of crude oils and source rocks in the southwest margin of Jianghan Basin

于原油的成熟度。因此,对中部地区原油来说,梅槐桥—牛头岗洼陷深部的高成熟烃源岩的贡献降低,而本地区烃源岩的贡献有所提高。

2.1.3 南部地区

南部地区八宝构造获少量低产油流,原油成熟度在已发现原油中为最低, $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 为 0.46, $C_{29} \beta/(\alpha\alpha+\beta)$ 仅为 0.32。原油地球化学特征整体上与中部地区的原油相似,(孕甾烷+升孕甾烷)/正常甾烷为 0.06,重排甾烷/正常甾烷为 0.14,三

环萜烷/藿烷值为 0.50, $T_s/(T_s+T_m)$ 为 0.20, 伽马蜡烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷值为 0.46。与本地区的烃源岩特征具有明显的相似性, 反映出南部地区的原油与本地区较低成熟度烃源岩具有亲缘关系。

油源对比结果表明, 北部地区的原油与中、南部的原油地球化学特征具有明显的差异, 原油的成熟度由北向南依次降低。说明原油具有运移距离短、近源聚集^[9]的特征。

2.2 流体势分析

Hubbert^[10] 首先用流体势的概念阐述了地下流体的运动规律, 使流体势广泛应用于油气运移和聚集的研究中。根据流体势理论, 油气运移是从高势区向低势区, 而且运移方向总是沿着油气势能等值线的法线方向。按照流体势等值线形态, 可将油气运移归结为汇聚流运移、发散流运移和平行流运移 3 种型式^[11]。

江陵凹陷沙市组上段—新沟嘴组下段烃源岩在荆沙组沉积末期进入成熟阶段; 潜江组沉积末期处于高成熟阶段, 进入生油高峰期; 潜江组和荆河镇组沉积期为主要排烃期^[12]。应用 BasinMod 盆地模拟软件中 BasinFlow 模块, 对江汉盆地西南缘主要排烃期各输导层中油气势进行了计算, 计算过程中考虑到毛细管力作用的影响。

从江汉盆地西南缘主排烃期新沟嘴组油层流体势场分布图来看(图 3), 高势区主要位于梅槐桥—牛头岗洼陷, 向洼陷周边油势等值线依次降低, 反映出油气从洼陷中心向周边运移, 油气藏沿生油中心呈环带状分布。其中, 采穴断块、复 I 断块、谢凤桥断鼻和南岗断鼻分布在生油洼陷的周围, 且以汇聚流运移为主, 是该区油气运移的有利部位; 丁家湖断鼻距生油中心较远, 可能混入部分凹陷深部的高成熟原油; 而八宝构造远离生油中心, 原油来自本地较低成熟度烃源岩。这与油源对比的分析结果具有较好的对应关系。

3 油气成藏控制因素

多种因素的共同作用控制着江汉盆地西南缘油气的聚集成藏。关于烃源岩分布、储层物性、非均质性和沉积相带展布等因素对本区油气成藏的控制作用, 前人已作过较为深入的分析^[3]。下面主要讨论断裂和圈闭对油气成藏的控制作用。

3.1 断裂对油气成藏的控制

本区断裂比较发育, 现已发现大小断层 50 余条, 除红花庙为逆断层外, 其余断层均为正断层。按其走向可分为东北、北西和近南北向 3 组断裂。

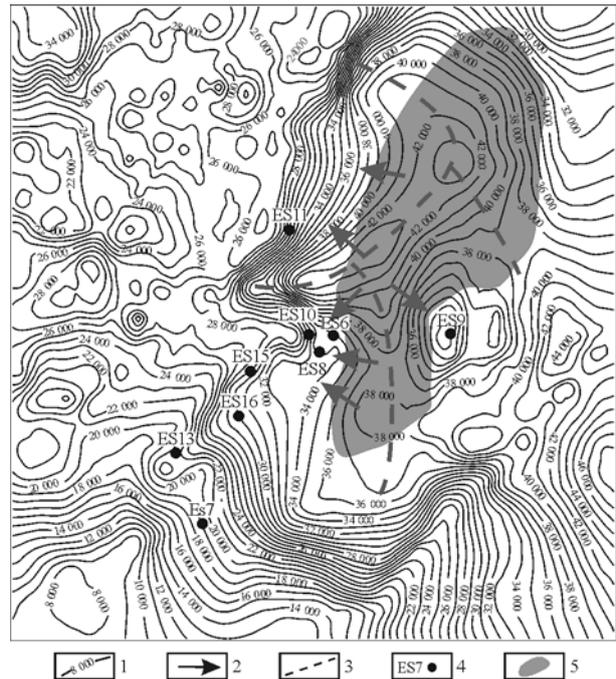


图 3 江汉盆地西南缘主排烃期新沟嘴组流体势场运移分隔槽及运聚单元划分

1. 流体势等值线, m^2/s^2 ; 2. 油气运移方向;
3. 分割槽; 4. 钻井; 5. 生油凹陷

Fig. 3 Division of fluid potentials compartmentation trough and petroleum accumulation in the southwest margin of Jianghan Basin

其中北东向断裂最为发育, 近南北向断裂次之, 北西向断裂相对欠发育。

断层规模大小不一, 各级断层对控制区内的构造形成演化和油气运聚的作用不同^[13]。复兴场和谢凤桥断层从晚白垩世早期开始活动, 持续时间长, 断距在 150~2 500 m, 延伸长度大于 10 km, 呈北东向展布, 控制着本区“隆凹相间”的构造格局和油气聚集。沿复兴场和谢凤桥断层两侧油气成梳状分布, 目前所发现的油气资源量占本区总探明储量的 85% 以上。采穴和南岗断层发育规模中等, 断距在 100~800 m, 延伸长度在 5~10 km, 北东向展布, 控制划分二级构造单元。花园、南岗和八宝断层呈南北向或北北东向展布, 切割复兴场断块、南岗断鼻和八宝构造, 控制着油气富集区块的形成。同时各断块内部层间小断层控制着各含油区块的油气富集程度。

由于断层两侧岩性及受力情况的差异导致在断层的不同部位活动强度存在着差异(表 1)。断层的剧烈活动导致上升盘储层与下降盘烃源岩配置情况差异, 对本区的白垩系渔洋组成藏具有重要影响(图 4)。以谢凤桥断层为例, 在断层的中段活动性较强, 导致断层上升盘渔洋组地层与下降盘的

表 1 江汉盆地西南缘谢凤桥断层生长指数

Tab. 1 Growth index of Xiefengqiao Fault in the southwest margin of Jianghan Basin

断层部位	生长指数			
	E _s	E _x ^F	E _x ^L	E _j
北段	2.25	1.35	1.38	1.88
中段	5.32	1.55	1.87	1.92
南段	2.15	1.56	1.26	1.74

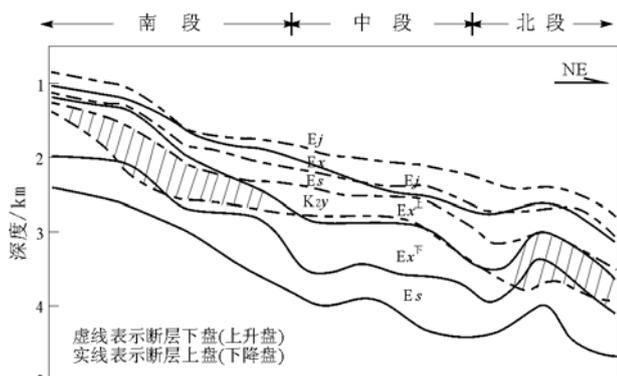


图 4 江汉盆地西南缘谢凤桥断层断面剖面
Fig. 4 Fault-plane section of Xiefengqiao Fault in the southwest margin of Jianghan Basin

新沟嘴组上段地层对接, 储源对接欠佳, 仅在下降盘丁家湖断鼻发现新沟嘴组油气藏。在断层的北段, 断层的活动强度相对较弱, 上升盘渔洋组储层与下降盘的新沟嘴组下段烃源岩对接, 烃源岩和储层在空间上的良好配置, 构成了本区新生古储型油气藏。在断层的南段, 虽然断层的活动强度使上升盘渔洋组储层与下降盘的新沟嘴组下段烃源岩对接, 但是由于烃源岩埋藏较浅, 生烃量有限, 对上升盘渔洋组成藏不利。

研究断层的封闭性对确定油气的勘探层位, 认清油气的分布规律, 寻找有利的油气藏具有重要的指导意义^[14]。对谢凤桥断层封闭性分析结果表明, 荆沙组以下地层的封闭性差到中等, 来自谢凤桥断层右侧生油洼陷的油气可以穿断层进行侧向运移。荆沙组地层封闭性好, 可以阻止油气通过断面垂向运移至上部地层中聚集。同时, 谢凤桥断层面所至上覆岩层载荷的正压力达到泥岩弹性极限和强度极限的深度^[15]分别为 1 020 m 和 3 200 m, 该深度范围内, 谢凤桥断层具有良好的垂向封闭性。受到断层封闭性的影响, 本区油藏的埋深主要限于 3 000 m 以下, 但由于封闭性的差异, 部分原油可由深部向上运移至荆沙组成藏。

3.2 圈闭类型对油气成藏的控制

本区油藏圈闭类型以断鼻和断块为主。断鼻

油气藏主要分布在断裂带的下降盘, 如谢凤桥—八宝鼻状构造带和南岗鼻状构造带。复兴场、谢凤桥和米积台断层继承性同生活动, 使得靠近断层的下降盘不断的接受沉积, 在断层活动和重力滑动作用下, 堆积的砂泥岩地层沿断层面下滑, 断层面附近的地层向下弯曲形成背斜构造, 构造走向与断裂带平行, 并呈串珠状成带分布^[16]。断鼻油气藏紧邻生油洼陷, 沙市组上段—新沟嘴组下段烃源岩生成的油气近源聚集在砂岩发育的新沟嘴组下段储层, 形成自生自储式油气藏。断块油气藏是指在断块圈闭中聚集的油气藏, 盆地内多组断层的相互切割, 可形成二、三面受断层围限的断块圈闭, 如位于谢凤桥断层上升盘的复 I 号断块。复 I 号断块属抬斜断块, 地层的转动方向与断层的倾向相反, 具备良好的圈闭条件^[17]。同时复 I 号断块位于断层的上升盘, 谢凤桥断层的强烈活动, 使上升盘渔洋组储层与下降盘的新沟嘴组下段烃源岩对接, 形成新生古储型油气藏。受到抬斜断块构造形态和断层封闭性的双重控制, 在断块的西南翼油气富聚, 而并未充满整个断块构造。相邻复 II 断块渔洋组的埋深较复 I 断块要浅, 砂岩储层对接不理想, 从而影响到复 II 断块的油气成藏。

4 油气成藏模式

根据油气聚集特点和储集层位的差异, 本区主要存在 3 种成藏模式(图 5)。

4.1 自生自储成藏模式

该类油气藏主要位于断层下降盘的谢凤桥—八宝鼻状构造带和南岗鼻状构造带。沙市组上段—新

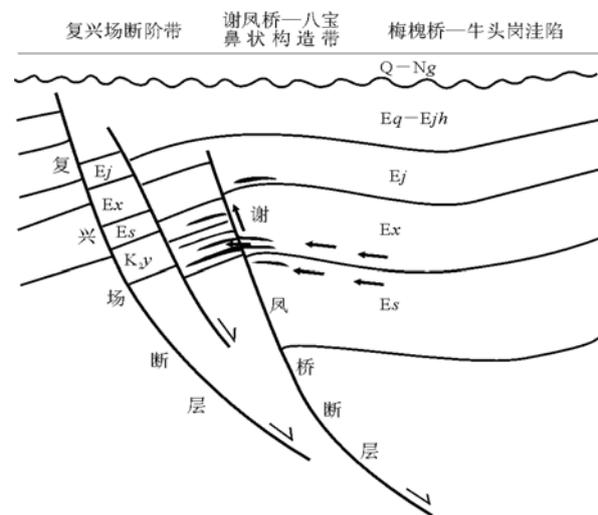


图 5 江汉盆地西南缘油气成藏模式示意
Fig. 5 Oil and gas pool-forming model of the southwest margin of Jianghan Basin

沟嘴组下段烃源岩生成的油气就近聚集在本层段内储集性能较好的砂岩层中,如谢凤桥油气藏、丁家湖油气藏、八宝油气藏和南岗油气藏。

4.2 新生古储成藏模式

该类油气藏主要分布在断层上升盘的白垩系渔洋组。继承性断层的剧烈活动,使得断层下降盘新沟嘴组下段主力烃源岩层与断层上升盘渔洋组储层对接,油气直接从烃源岩中排出穿断层侧向运移进入渔洋组储层和圈闭中,如复 I 断块油气藏。

4.3 下生上储成藏模式

该类油气藏分布范围较窄,仅限于谢凤桥断鼻荆沙组地层。油源对比表明,谢凤桥断鼻荆沙组原油与新沟嘴组原油是同源的。这说明虽然谢凤桥断层具有良好的垂向封闭性,但是仍有少量油气向上运移进入荆沙组储层。

5 结论

1)本区已发现的原油大致归为两大类,北部地区的原油与中、南部的原油地球化学特征具有明显的差异,原油的成熟度由北向南依次降低。油源对比结果表明,北部的原油主要来自梅槐桥—牛头岗洼陷深部的高成熟烃源岩,南部地区的原油与本地区较低成熟度烃源岩具有亲缘关系,中部地区的原油则具有混源特征。

2)流体势分析表明,向洼陷周边油势等值线依次降低,反映出油气从洼陷中心向周边运移。北部地区的采穴断块、复 I 断块、谢凤桥断鼻和南岗断鼻分布在生油洼陷的周围,且以汇聚流运移为主,是该区油气运移的有利部位。

3)断层的活动使上升盘渔洋组储层与下降盘的新沟嘴组下段烃源岩对接,成为本区新生古储型油气藏成藏的关键。断层的封闭性上部要优于下部,控制着油气富集的层位。

4)圈闭类型以断鼻和断块为主。断鼻油气藏主要分布在断裂带的下降盘,形成自生自储式油气藏;断块油气藏主要分布在断裂带的上升盘,构成

新生古储型油气藏。

5)根据油气聚集特点和储集层位的差异,将本区的油气藏划分为自生自储、新生古储和下生上储3种成藏模式。

参考文献:

- 1 杨长清,陈孔全,程志强等. 江陵凹陷形成演化与勘探潜力[J]. 天然气工业,2003,23(6):51~54
- 2 卢明国,王典敷,林畅松. 江陵凹陷层序地层充填与油气勘探[J]. 江汉石油学院学报,2003,25(1):19~20
- 3 刘中戎,王雪玲. 江陵凹陷西南部油气特征及油气富集规律分析[J]. 石油天然气学报,2005,27(1):21~23
- 4 朱扬明,金迪威,张春明等. 江陵凹陷原油的地化特征[J]. 江汉石油学院学报,1995,17(2):26~32
- 5 江荣沛,江继纲. 江陵凹陷下第三系两个含油系统油源岩的地化特征[J]. 沉积学报,1997,15(2):19~25
- 6 张青. 江陵凹陷下第三系两个含油层系的油源分析[J]. 中国海上油气(地质),2000,14(4):262~267
- 7 陈孔全,程志强,詹海军. 江陵凹陷西南缘新生古储型油气藏成藏条件[J]. 天然气工业,2004,24(2):33~36
- 8 彼得斯 K E,莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南:古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌译. 北京:石油工业出版社,1995. 168~169
- 9 王雪玲,刘中戎. 江汉盆地西南缘油气运移和成藏期次[J]. 石油实验地质,2006,28(2):142~146
- 10 Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic condition[J]. AAPG Bulletin,1953,37(8):1954~2026
- 11 庞雄奇. 地质过程定量模拟[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 300~301
- 12 卢明国,童小兰,王必金. 江汉盆地江陵凹陷油气成藏期次分析[J]. 石油实验地质,2004,26(1):28~30
- 13 罗群,白华新. 断裂控烃理论与实践:断裂活动与油气聚集研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1998. 14~19
- 14 王斌,袁月琴,周江羽等. 塔里木盆地雅—轮地区断层封堵性研究[J]. 石油实验地质,2006,28(5):434~439
- 15 付广,刘洪霞,段海风. 断层不同输导通道封闭机理及其研究方法[J]. 石油实验地质,2005,27(4):404~408
- 16 胡见义,黄第藩. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1991. 242~245
- 17 王燮培,费琪,张家骅. 石油勘探构造分析[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992. 63~65