

文章编号: 0253-9985(2006)04-0557-06

江汉盆地西南缘二次生烃及其对油气成藏的影响

陈波¹, 韩定坤², 罗明霞¹, 闫亮¹

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 荆州 434023)

(2. 中国石油化工股份有限公司中南分公司, 湖南 长沙 410117)

摘要: 江汉盆地西南缘地区谢风桥、复兴场、采穴等构造带的油气富集程度差别很大, 油气富集程度与早第三纪晚期构造抬升剥蚀和二次生烃潜力的大小有关。烃源岩晚期增熟、原油同源但成熟度不同以及流体包裹体等证据均证实研究区发生了二次生烃作用。研究区构造在盆地抬升前形成的油气藏在盆地抬升时部分或全部被破坏; 能捕获到二次生烃的构造, 油气富集程度相对较高。谢风桥构造捕获并保存了两次生成的油气, 油气富集程度最高。采穴构造和复兴场构造初次运聚的油气成藏后在盆地抬升时部分散失, 但采穴构造获得二次生烃供油, 油气富集程度较高, 而复兴场构造未获得二次生烃供油, 油气藏含油饱和度低, 油气富集程度差。

关键词: 烃源岩成熟度; 流体包裹体; 二次生烃; 埋藏史; 江汉盆地

中图分类号: TE112.322 文献标识码: A

Researches on secondary hydrocarbon generation in Southwest of Jianghan Basin and its effects on hydrocarbon accumulations

Chenbo¹, Han Dingkun², Luo Mingxia¹, Yanliang¹

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources (Yangtze University),

Ministry of Education, Jingzhou of Hubei province, Code 434023)

2. Zhongnan Petroleum Branch Of SinoPec, Changsha of Hunan province, Code 410117)

Abstract Hydrocarbon enrichment varies dramatically in such structural belts as Xie Fengqiao, Fu Xingchang and Caixue in the southwestern margin of Jianghan basin. The extent of hydrocarbon enrichment is found to be related to the uplift and erosion processes in the Late Eocene and the potentiality of secondary hydrocarbon generation. Evidences, such as the late mature of source rocks, crude with the same source but different maturities, and the fluid-inclusion analysis, all suggest a possibility of secondary hydrocarbon generation in the study area. The oil reservoirs that were formed before the rise of basin were partly or entirely destroyed with the rise of the basin, structures that could capture the secondary hydrocarbon generation have relatively high hydrocarbon enrichment. Xie Fengqiao structure had captured and preserved the primary and secondary hydrocarbons, thus its enrichment level is the highest. Caixue and Fu Xingchang belts suffered from great loss of their primary hydrocarbons in the process of rise of the basin. However, Caixue belt has a higher enrichment of hydrocarbons for having received a supply of second hydrocarbon generation, while Fu Xingchang without the process of secondary hydrocarbon generation, has a lower oil saturation and poor enrichment of hydrocarbons.

Key words maturity of source rocks, fluid inclusion, secondary hydrocarbon generation, burial history, Jianghan Basin

江汉盆地西南缘位于江汉盆地江陵凹陷西南部, 万城断层的南段 (图 1), 分为 5 个局部构

造单元, 即采穴构造、复兴场构造、谢风桥构造、南岗构造及梅槐桥洼陷, 万城断层是主要控凹断

收稿日期: 2005-01-09

第一作者简介: 陈波 (1967—), 男, 副教授, 层序地层学与油藏描述

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40472081) 资助

层,梅槐桥洼陷是主要的烃源岩发育区。构造和沉积演化经历了 5 个阶段^[1],即晚白垩世-沙市组沉积早、中期的第一断陷阶段;沙市组沉积晚期-新沟嘴组沉积的断坳阶段;荆沙组-潜江组沉积早期的第二强烈断陷阶段;潜江组沉积中、晚期-荆河镇组沉积时期的断坳阶段;荆河镇组沉积末期的隆升剥蚀阶段及晚第三纪盆地坳陷阶段。

近年来在江汉盆地西南缘勘探发现了一系列新生古储型油气藏^[2],分布在万城断裂带南段的上升盘,储层为晚白垩世渔洋组,油源来自下降盘

沙市组上段和新沟嘴组下段的暗色泥岩(图 2)。但勘探同时发现,沿万城断层带由北向南分布的采穴、谢凤桥、复兴场及东部的南岗构造带的油气富集程度差异很大^[3],其中谢凤桥和南岗构造带油气藏含油饱和度最高,采穴构造次之,复兴场构造带油气富集程度最差。通过对比分析^①,上述局部构造在油源、圈闭、储层及油气运聚条件基本相同,其差别主要在早第三纪晚期盆地整体抬升时各个构造遭受剥蚀程度不同及随后盆地整体沉降幅度不同,因此认为这种差异可能与构造运动造

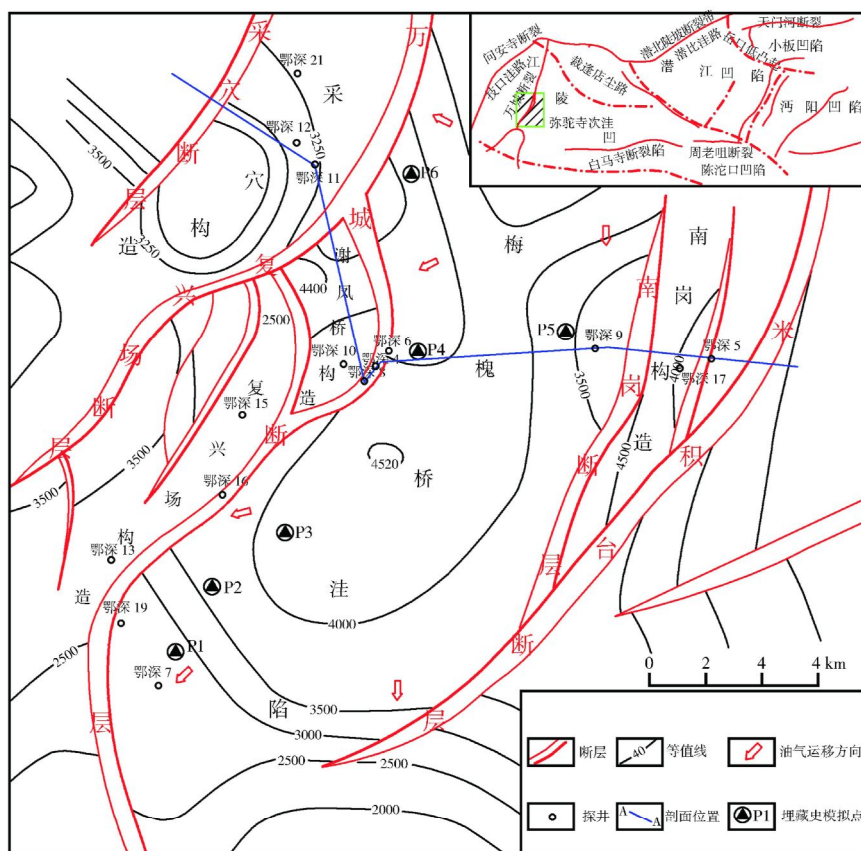


图 1 研究区位置

Fig. 1 Map showing the location of the study area

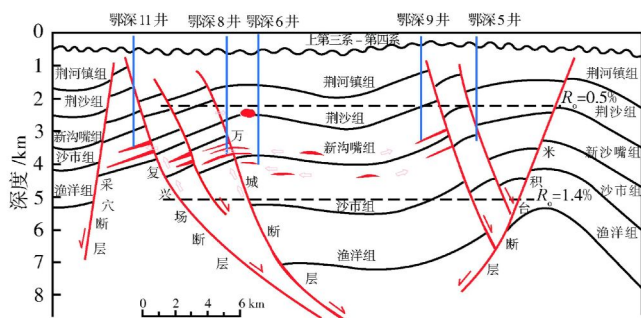


图 2 研究区油藏剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Profiles of oil reservoirs in the study area

成烃源岩二次生烃有关。

1 烃源岩特征

研究区主力烃源岩为万城断层下降盘梅槐桥洼陷沙市组上段-新沟嘴组下段的暗色泥岩,烃源岩特征为: 1) 烃源岩丰度具有“两低”的特点,即低有机碳和低氯仿沥青“A”。纵向上沙市组和新沟嘴组 II 油组的有机碳含量较高; 空间分布,烃源岩主要发育在万城断层下降盘的凹陷部位; 生烃灶为梅槐

① 陈波等. 江汉盆地西南缘油气成藏规律研究. 中国石化中南分公司研究报告, 2004

桥洼陷; 整体上属中等-较差的烃源岩; 2)干酪根类型以 II₁型和 II₂ 型为主; 有机质以混合来源为主, 略偏向与陆生高等植物; 3)烃源岩成熟度大都处于液态生油窗内, R_o 为 0.7% ~ 1.4%, 多为低成熟-中等成熟 (图 3), 现今烃源岩还处于主生油期内。

2 地层剥蚀厚度及埋藏史

江汉盆地在早第三纪荆河镇组沉积末期遭受强烈的挤压抬升, 其中在西南缘南部抬升幅度大, 遭受剥蚀程度高, 同时在晚第三纪盆地沉降时南部沉降幅度相对北部要小, 这种差异性的抬升和剥蚀可能造成梅槐桥洼陷烃源岩演化程度的差异。

2.1 剥蚀厚度恢复

恢复地层剥蚀厚度, 是正确认识和恢复烃源岩埋藏史和生烃史的关键。对于地层有强烈剥蚀的江汉盆地西南缘, 进行含油气系统研究首要的工作就是定量计算地层剥蚀厚度^[4]。

分析表明, 盆地在早第三纪荆河镇组沉积末期受到北东-南西向的较强烈的挤压或压扭变形; 从西向东, 形成多条剥蚀量较大的北西向展布的剥蚀带, 与区域性的北西向背斜、向斜构造带分布一致。利用声波时差法对研究区中 ES6 ES15 ES16 ES13 ES19 和 ES7 6 口井进行了剥蚀厚度

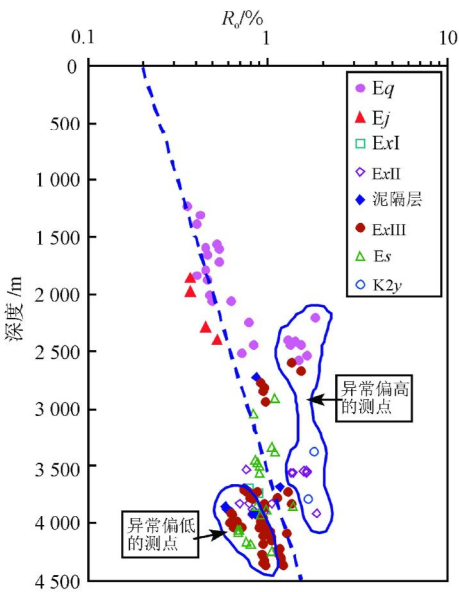


图 3 江汉盆地西南缘烃源岩 R_o 与古埋深的关系

Fig. 3 Vitrinite reflectance vs palaeo-depth of source rocks in the southwestern margin of Jianghan basin

表 1 江汉盆地西南缘剥蚀厚度
Table 1 Erosion thickness in the southwestern margin of Jianghan basin

井号	上第三系再沉降厚度 /m	下第三系剥蚀厚度 /m
ES6	626	591
ES15	626	1 154
ES16	684	1 200
ES13	575	1 521
ES19	637	1 269
ES7	560	1 400

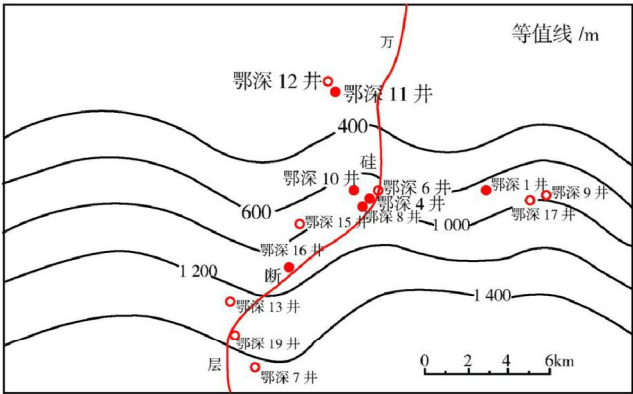


图 4 江汉盆地西南缘剥蚀厚度分布
Fig. 4 Distribution of erosion thickness in the southwestern margin of Jianghan basin

恢复 (表 1), 并结合盆地区域剥蚀规律编制研究区剥蚀厚度分布图 (图 4)。不同的构造其剥蚀量存在明显差异, 由南向北剥蚀程度逐渐减小, 而沉降量逐渐增加 (表 1)。

2.2 烃源岩埋藏史

由于探井钻于构造高部位, 不能真正反映烃源岩埋藏史, 为了准确反映烃源岩的埋藏史特征, 利用地震资料在烃源岩发育的梅槐桥洼陷选择了 6 个参数点 P1~P6 (图 1) 进行烃源岩埋藏史恢复 (图 5)。在荆河镇组末期 (27 Ma) 之前, 全区烃源岩均处于持续沉降阶段。之后全区经历了一期强烈的抬升过程, 地层普遍遭受剥蚀, 但各构造的抬升幅度各不相同, 由北向南地层剥蚀幅度逐渐增大, 由于地层抬升剥蚀, 烃源岩埋深减小, 温度降低, 烃源岩暂时停止生油。随后, 地层又开始缓慢沉降。但是由于各构造的抬升幅度不同, 其最终的埋深也有很大差异。

由图 5 还可知, P4、P5 和 P6 所在位置的最终

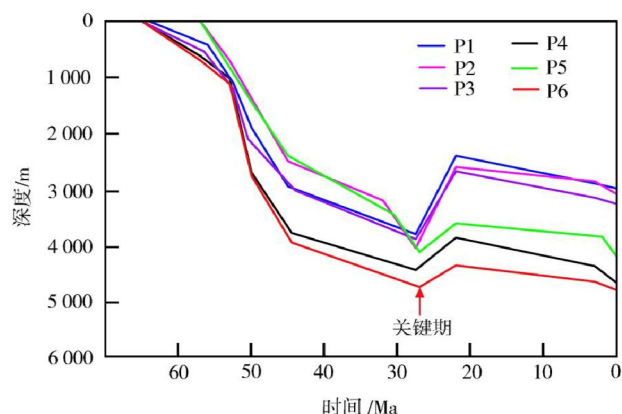


图 5 江汉盆地西南缘烃源岩埋藏史

Fig. 5 Burial history of source rocks in the Southwest margin of Jiangnan basin

埋深超过了在荆河镇组末期的最大埋深或与其相当,可能进入了二次生烃状态。而 P1~P3 所在的梅槐桥洼陷南部再沉降厚度远远小于剥蚀厚度,没有二次生烃的可能。

3 二次生烃特征

根据对烃源岩演化规律的研究,烃源岩的受热温度达到生油门限后,成岩阶段形成的干酪根便降解生油。如果烃源岩连续沉积,埋深不断增加,这个生烃过程就会持续下去,直至干酪根降解殆尽,即连续生烃或一次生烃。另一种情形是,如果烃源岩在生烃过程中由于构造抬升,烃源岩温度降低,生烃过程将停止,随着烃源岩的再次沉降,地温升高,当受热温度超过第一次埋深所经历的最高温度时,干酪根又重新生烃,即二次生

烃^[5,6]。

3.1 二次生烃的主要证据

3.1.1 地质依据

江汉盆地西南缘沙市组上段-新沟嘴组下段烃源岩,均经历了埋藏、抬升、再埋藏的 3 个发育阶段(图 5)。第一次埋藏作用一直持续到早第三纪末期。经过长期的沉降补偿,沙市组上段-新沟嘴组下段烃源岩埋深都大于 3 000 m,此时的 R_o 为 0.6% ~ 1.2%,具备了生烃条件,为第一次生烃。但早第三纪末期的构造运动,使江陵凹陷整体隆升遭受了不同程度的剥蚀,同时也使第一次生烃期形成的油气藏受到不同程度的破坏。晚第三纪至第四纪,江陵凹陷整体沉降,共沉积了 500~700 m 地层,部分构造第二次埋深比第一次大,烃源岩演化程度比第一次高。

3.1.2 烃源岩成熟度增加

江汉盆地西南缘沙市组上段-新沟嘴组下段烃源岩在荆河镇组末期地层抬升之前的 R_o 为 0.6% ~ 1.2%,而现今的 R_o 范围在 0.7% ~ 1.4%,成熟度有所增加^①,表明研究区烃源岩在晚第三纪至第四纪深埋发生了二次生烃作用。

3.1.3 原油成熟度差异

江汉盆地西南缘不同构造带的原油成熟度存在显著差异,谢风桥构造和采穴构造的原油成熟度明显高于复兴场构造(图 6)。依据前人的对比

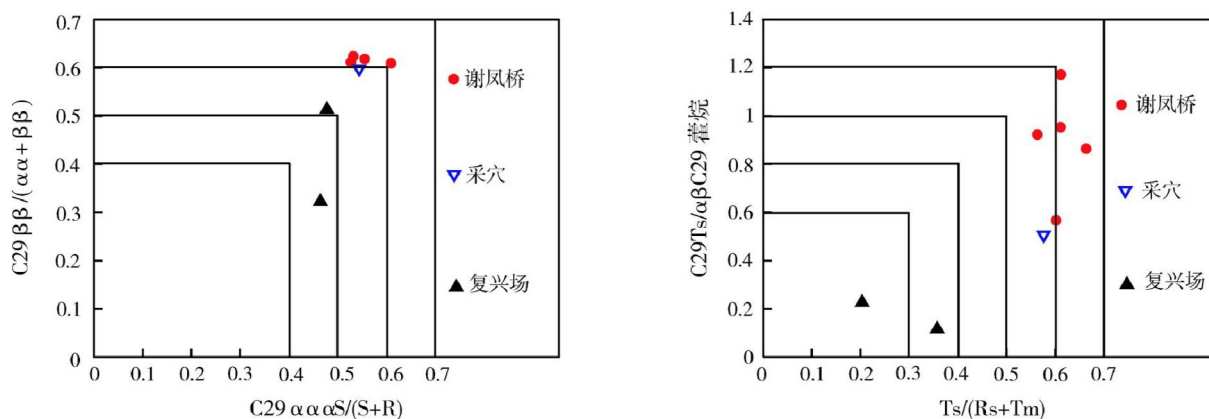


图 6 江汉盆地西南缘不同构造原油成熟度特征

Fig. 6 Oil maturity in different structures in southwest margin of Jiangnan basin

① 何生等. 江汉盆地西南缘油气运移和成藏关键期研究. 中国石化中南分公司研究报告, 2004

表 2 江汉盆地西南缘流体包裹体测温结果

Table 2 Measured temperature of fluid inclusion in the southwestern margin of Jiangnan basin

井号	宿主矿物	均一温度 /℃	期次	对应油气充注时期	生烃演化阶段
鄂深 6 井 (3 115 m)	方解石	93.0	第 1 期	荆沙组末期	一次生烃
		114.4	第 2 期	潜江组早期	一次生烃
		133.8	第 4 期	晚第三纪至第四纪	二次生烃
鄂深 9 井 (3 293 m)	芒硝	90.0	第 2 期	潜江组末期	一次生烃
		127.5	第 4 期	晚第三纪至第四纪	二次生烃
鄂深 11 井 (2 930 m)	石英、方解石	90.0	第 1 期	荆沙组末期	一次生烃
		121.0	第 2 期	潜江组晚期晚	一次生烃
		135.0	第 4 期	第三纪至第四纪	二次生烃
鄂深 13 井 (3 653.3 m)	石英	122.3	第 3 期	荆河镇组末期	一次生烃

分析,这三个构造的原油均来自万城断层下降盘梅槐桥洼陷的烃源岩,即研究区出现了两组同源但成熟度不同的原油。表明烃源岩存在“晚期增熟”现象,即二次生烃。

3.1.4 流体包裹体均一温度分析

流体包裹体(特别是有机包裹体)是油气生成、运移过程中残留的原始地质记录,通过对包裹体均一温度的测定,同时结合区域构造运动和埋藏史可以判断油气的充注历史^[7~12]。江汉盆地西南缘不同构造储层中有机包裹体的均一温度测定结果如表 2 所示。从中可以看出,谢凤桥、南岗、采穴 3 个构造在晚第三纪至第四纪均存在一期较大规模的油气运移,表明其发生了二次生烃作用;复兴场构造则只有一次生烃作用。

3.2 二次生烃潜力评价

二次生烃还存在一些控制因素,实验证实,二次生烃存在迟滞效应,当二次生烃的起始成熟度位于一次生烃的生油高峰时(即 R_o 为 1.0%),迟滞程度最低。同时,烃源岩二次生烃量的大小也受到二次生烃起始成熟度高低的影 响^[13~15]。其中,起始成熟度 R_o 处于 0.6%~0.9% 范围的烃源岩,二次生烃潜力最大^[13]。

研究区烃源岩在荆河镇组沉积末期最大埋深处的成熟度,即二次生烃起始成熟度 R_o 多分布在 0.6%~1.2%,依据上述理论,该成熟度范围极有利于二次生烃。此时,烃源岩的二次生烃迟滞程度相对最低,二次生烃潜力极大,因此二次生烃在

该区的油气成藏中起重要作用。

3.3 二次生烃对不同构造的贡献

如要精确了解烃源岩的生烃过程和生烃量,还必须在分析其沉降史的基础上对其进行生烃动力学分析和定量计算。通过拟合热解实验数据来获得地化参数,并将获得的参数应用在实际的地质条件下得到油气的生烃过程和生烃量,从而可以进行定量的和有效的油气资源预测。

根据关平等^①对采穴、谢凤桥、复兴场构造的定量分析(图 7),采穴构造和谢凤桥构造发生了两次油气生成过程,即在一次生烃的基础上又进行了二次生烃,这与埋藏史的演化一致。采穴构造二次生烃量为 13%,占总生烃量的百分比为 44.3%。谢凤桥构造二次生烃量为 7%,占总生烃量的 47.2%。而复兴场构造仅有一次生烃,在晚第三纪地层重新沉降后没有再次生烃。

4 二次生烃对油气成藏的影响

采穴构造处在研究区的北部,邻近梅槐桥洼陷具备二次生烃潜力区域。采穴构造带发育一系列断块构造圈闭,荆河镇组沉积末期的抬升剥蚀,使早期断块圈闭形成的油气藏部分被破坏,之后又捕获到了梅槐桥洼陷二次生烃的油气。因此,采穴构造现存的油气藏一部分来自第一次生烃成藏,另一部分来自二次生烃供油,各个油气藏的含油饱和度差别较大,油气富集程度一般。

①关平等. 江汉盆地西南缘采穴-复 1 断块白垩系有效储层特征与分布规律. 中国石化中南分公司研究报告, 2005

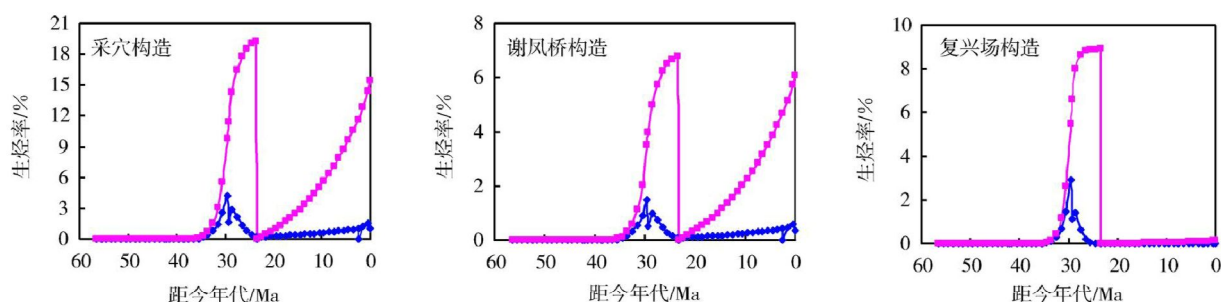


图 7 江汉盆地西南缘不同构造生烃动力学定量分析

Fig. 7 Quantitative analysis of hydrocarbon-generating dynamics of different structures in the southwestern margin of Jiangnan basin

粉红色线条代表生烃率, 蓝色线条代表反映速率

谢风桥构造带位于研究区的中部, 同样邻近梅槐桥洼陷具备二次生烃潜力区域。谢风桥构造与采穴构造不同, 为继承性断背斜构造, 背斜圈闭在盆地抬升过程中保存完好, 早期形成的油气藏得以保存, 同时捕获了两次生成的油气, 油气富集程度最高。

复兴场构造带位于万城断层南段, 与采穴构造一样, 发育一系列断块构造圈闭, 在盆地抬升剥蚀时断块圈闭形成的油气藏被破坏。由于复兴场构造滨临的烃源岩区在盆地抬升时剥蚀厚度大于再沉降厚度, 最终埋深小于荆河镇组沉积末期的最大埋深, 未能达到二次生烃的条件, 因此没有获得二次生烃供油, 油藏含油饱和度低, 油气富集程度差。

5 结论

1) 研究区烃源岩深埋-抬升-再深埋的构造演化及埋藏史、烃源岩晚期增熟现象和流体包裹体等证据均表明研究区存在二次生烃, 并且研究区二次生烃的潜力和空间分布不同。

2) 二次生烃的差异性影响了研究区主要构造的油气成藏和富集程度。采穴构造带的油气藏一部分来自第一次生成的油气, 一部分来自二次生烃供油, 油气富集程度一般; 谢风桥构造为继承性构造, 保存完好, 同时捕获和保存两次生成的油气, 油气富集程度高; 复兴场则主要是初次运聚成藏, 含油饱和度低, 油气富集程度差, 主要为无效圈闭。

3) 江汉盆地其他区块和中国东部中、新生代盆地具有相似的构造演化背景, 具有二次生烃的

可能并影响了大批构造的油气成藏, 应加强油气成藏期次研究。

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
Yang Changqing Chen Kongquan Chen Zhiqiang et al. Constituent evolution and exploration potential in Jiangling depression [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(6): 51~54
- 2 陈孔全. 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
Chen Kongquan. Conditions of forming new bed-generation and old bed-storing reservoirs in the southwest of Jiangling depression [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(2): 33~36
- 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
Liu Zhongrong Wang Xueling. Hydrocarbon characteristics and its enrichment rule in the southwest of Jiangling depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2005, 27(1): 21~23
- 4 于永生, 田世澄, 林小云, 等. 孙虎地区埋藏史分析及与油气关系研究 [J]. 现代地质, 2000, 14(1): 79~84
Yu Yongsheng Tian Shicheng Lin Xiaoyun et al. Burial history analysis and its relationship with hydrocarbon generation in Sunhu area [J]. Geoscience, 2000, 14(1): 79~84
- 5 解启来, 周中毅, 施继锡, 等. 塔里木盆地塔中地区下古生界二次生烃的类型及其特征 [J]. 地质评论, 2004, 50(4): 377~382
Jie Qilai Zhou Zhongyi Shi Jixi et al. Classification and characteristics of hydrocarbon regeneration from the lower Palaeozoic Group in Tazhong area of Tarim basin [J]. Geological Review, 2004, 50(4): 377~382
- 6 曾凡刚. 华北地区下古生界海相碳酸盐岩二次生烃作用机理研究 [J]. 地质地球化学, 1998, 26(3): 40~46
Zeng Fangang. Research on secondary hydrocarbon generating mechanism of lower Palaeozoic marine carbonate rocks in north China [J]. Geology-Geochemistry, 1998, 26(3): 40~46

(下转第 570 页)

- 17 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
He Zixin. The evolution of Ordos basin and its oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003
- 18 陈法正. 鄂尔多斯盆地北部古水文地质条件与铀成矿前景分析 [J]. 铀矿地质, 2002, 18(5): 287~294
Chen Fazheng. Analysis on paleohydrogeologic conditions and prospects of uranium metallogenesis in northern part of Ordos basin [J]. Uranium Geology, 2002, 18(5): 287~294
- 19 吴仁贵, 陈安平, 金达淦, 等. 沉积体系分析与河道砂岩型铀矿成矿条件讨论——以鄂尔多斯中生代盆地东胜地区为例 [J]. 铀矿地质, 2003, 19(2): 94~99
Wu Rengui, Chen Anping, Yu Dagan, et al. Analysis on depositional system and discussion on ore formation conditions of channel sandstone type uranium deposit taking Dongsheng area, Ordos Mesozoic-Cenozoic basin as an example [J]. Uranium Geology, 2003, 19(2): 94~99
- 20 杨明慧, 刘池阳. 陆相伸展盆地的层序类型、结构和序列与充填模式——以冀中坳陷下第三系为例 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 222~228
Yang Minghui, Liu Chiayang. Types, textures and series of the continental sequences and model of sedimentary basin-fill in rift basin: a case study from Jizhong basin, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 222~228
- 21 赵重远, 刘池洋. 华北克拉通中生代区域地质构造及含油气盆地的形成和演化 [A]. 见: 赵重远, 刘池洋. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存 [C]. 西安: 西北大学出版社, 1990, 10~21
Zhao Chongyuan, Liu Chiayang. Mesozoic-Cenozoic regional geological structure in the North China Craton and the formation and evolution of its petroliferous basins [A]. In: Zhao Chongyuan, Liu Chiayang, eds. Formation and evolution of North China craton sedimentary basin and its hydrocarbon occurrence [C]. Xi'an: Northwest University Press, 1990, 10~21
- 22 庄军. 鄂尔多斯盆地南部延安期成煤环境 [J]. 中国煤田地质, 1995, 7(2): 31~35
Zhuang Jun. Coal formation environment in Yan'an Period in the Southern Ordos basin [J]. Coal Geology of China, 1995, 7(2): 31~35
- 23 焦养泉, 陈安平, 杨琴, 等. 砂体非均质性是铀成矿的关键因素之一——鄂尔多斯盆地东北部铀成矿规律探讨 [J]. 铀矿地质, 2005, 21(1): 8~15
Jiao Yangquan, Chen Anping, Yang Qin, et al. Sand body heterogeneity: one of the key factors of uranium metallogenesis in Ordos basin [J]. Uranium Geology, 2005, 21(1): 8~15
- 24 施继锡, 余孝颖. 深盆地地质特征与研究意义——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(3): 171~173
Shi Jixi, Yu Xiaoyin. Geological characteristics of deep basin gas traps and their research significance: Ordos basin as example [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(3): 171~173

(编辑 高岩)

(上接第 562 页)

- 7 李明诚, 单秀芹, 马成华, 等. 油气成藏期探讨 [J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 587~591
Li Mingcheng, Shan Xiuqin, Ma Chenghua, et al. An approach to hydrocarbon accumulation period [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(5): 587~591
- 8 蒋有录, 刘华, 张乐, 等. 东营凹陷成藏期分析 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215~218, 259
Jiang Youlu, Liu Hua, Zhang Yue, et al. Analysis of petroleum accumulation phase in Dongying sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 215~218, 259
- 9 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社, 2004, 374~377
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Liquid including [M]. Beijing: Science Press, 2004, 374~377
- 10 李艳霞, 刘洪军, 袁东山, 等. 石油充注对储层成岩矿物演化的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 274~280, 295
Li Yanxia, Liu Hongjun, Yuan Dongshan, et al. Effect of oil charging on reservoirs diagenetic mineral evolution [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 274~280, 295
- 11 武明辉, 张刘平, 罗晓容, 等. 西峰油田延长组长 8 段储层流体作用期次分析 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 33~36
Wu Minghui, Zhang Luping, Luo Xiaorong, et al. Analysis of hydrocarbon migration stages in the 8th member of Yanchang Fm in Xifeng oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 33~36
- 12 George S C, Lisk M, Summons R E, et al. Constraining the oil charge history of the South Pepper oilfield from the analysis of oil-bearing fluid inclusions [J]. Organic Geochemistry, 1998, 2(9): 631~648
- 13 关德师, 王兆云, 秦勇, 等. 二次生烃迟滞性定量评价方法及其在渤海湾盆地中的应用 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 533~538
Guan Deshi, Wang Zhaoyun, Qin Yong, et al. Quantitative evaluation method of secondary generation and its application in Bohai Bay basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 533~538
- 14 张有生, 秦勇, 刘焕杰, 等. 沉积有机质二次生烃热模拟实验研究 [J]. 地球化学, 2005, 31(3): 273~282
Zhang Yousheng, Qin Yong, Liu Huanjie, et al. Investigation of hydrocarbon regeneration from sedimentary organic matters by pyrolytic simulation [J]. Geochemistry, 2005, 31(3): 273~282
- 15 秦勇, 朱炎铭. 沉积有机质二次生烃理论及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2001: 13~69
Qin Yong, Zhu Yanming. Theory on hydrocarbon regeneration of sedimentary organic matters and its application [M]. Beijing: Geology Press, 2001: 13~69

(编辑 陈喜禄)