

文章编号:0253-9985(2012)01-0037-08

储层沥青成因及其对油气运聚的影响

——以鄂尔多斯盆地华庆地区长8油层组1砂组为例

陈世加^{1,2},姚泾利³,路俊刚^{1,2},杨国平³,文延春¹,张纪智¹,石正灏¹

(1. 西南石油大学 资源与环境学院,四川 成都 610500;

2. 西南石油大学 四川省天然气地质重点实验室,四川 成都 610500;

3. 中国石油 长庆油田分公司,陕西 西安 710016)

摘要:鄂尔多斯盆地中部华庆地区三叠系延长组长8油层组1砂组储层孔隙中普遍见沥青,油水关系十分复杂。通过对储层抽提物和原油的地球化学特征分析,并结合含沥青岩心洗油前后储层物性对比实验和储层显微荧光分析,系统研究了该区储层沥青的成因及其对储层物性和油气运聚的影响。研究表明,储层沥青与原油成因不同,沥青成熟度低,且具有强烈生物降解特征。通过洗油实验,含沥青较多的岩心孔隙度和渗透率均有增加,且后期油主要分布在沥青充填后的残余孔隙中,指出沥青对储层物性和后期油气的运聚具有重要的控制作用。长8¹储层存在两期成藏,时间分别在中晚侏罗世和早白垩世末。早期成藏的成熟度较低的原油遭强烈生物降解形成沥青,与绿泥石和铁方解石一起充填在储层孔隙中,使储层变得更为致密,源岩后期生成的成熟原油只能进入被沥青等充填后的残余孔中或进入沥青少的储层孔隙中聚集成藏。

关键词:生物降解;沥青成因;储层物性;油气运聚;华庆地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Reservoir bitumen genesis and its impacts on hydrocarbon migration and accumulation: a case study from Chang 8¹ of Yangchang Formation in Huaqing area, the Ordos Basin

Chen Shijia^{1,2}, Yao Jingli³, Lu Jungang^{1,2}, Yang Guoping³, Wen Yanchun¹, Zhang Jizhi¹ and Shi Zhenghao¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. Natural Gas Geology Key Laboratory of Sichuan Province, Southwest Petroleum University, Chengdu,

Sichuan 610500, China; 3. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710016, China)

Abstract: Bitumen is common in the pores of Chang 8¹ pay zone of the Triassic Yangchang Formation in Huaqing area of the central part of Ordos Basin, and the oil-water relationship is very complicated. According to the analysis on the geochemical characteristics of reservoir extracts and crude oil, combining with comparative test on the reservoir physical property of cores containing bitumen before and after washing oil and the reservoir fluorescence analysis, authors studies in detail the reservoir bitumen genesis and its impact on reservoir physical property and hydrocarbon migration and accumulation in this area. The results show that the genesis of reservoir bitumen and crude oil are different, and the bitumen has lower maturity with strong biodegradation. Base on the experiment of washing oil, it is found that both the post-washing porosity and permeability of cores containing bitumen increase significantly, and the oil formed in late stage mainly distributes in the residual pore filled with bitumen. It is pointed out that bitumen has an important control on reservoir physical property and hydrocarbon migration and

收稿日期:2011-03-08;修订日期:2011-07-25。

第一作者简介:陈世加(1963—),男,博士、教授,油气地质与地球化学。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05001-001);国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2006CB202305)。

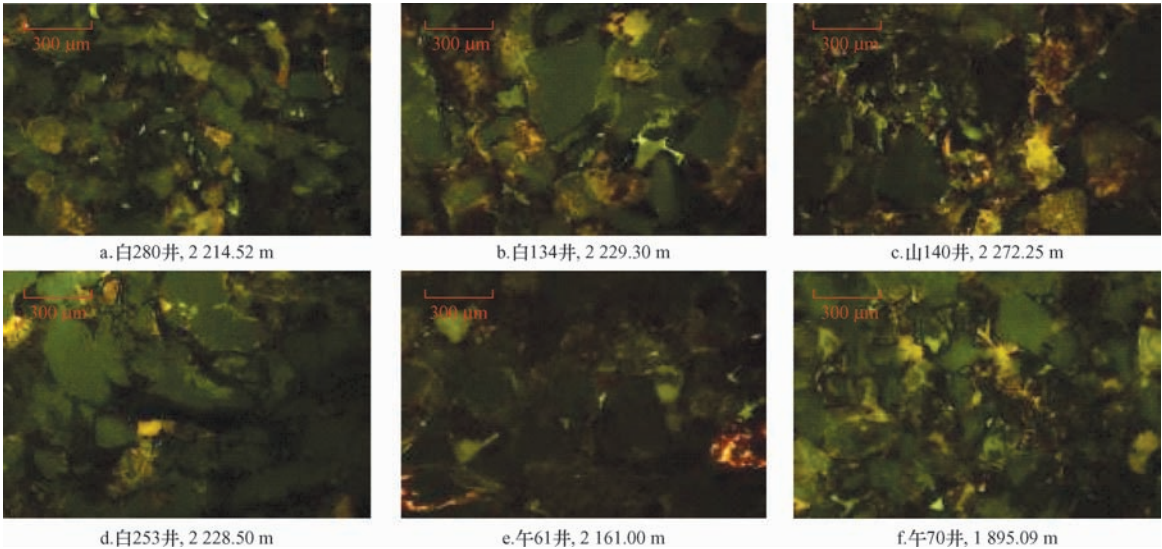


图 2 华庆地区长 8¹ 储层荧光照片

Fig. 2 Fluorescent photographs of the Chang 8¹ reservoir in Huaqing area
(颗粒间呈黑褐色的为沥青、绿泥石和铁方解石等物质)

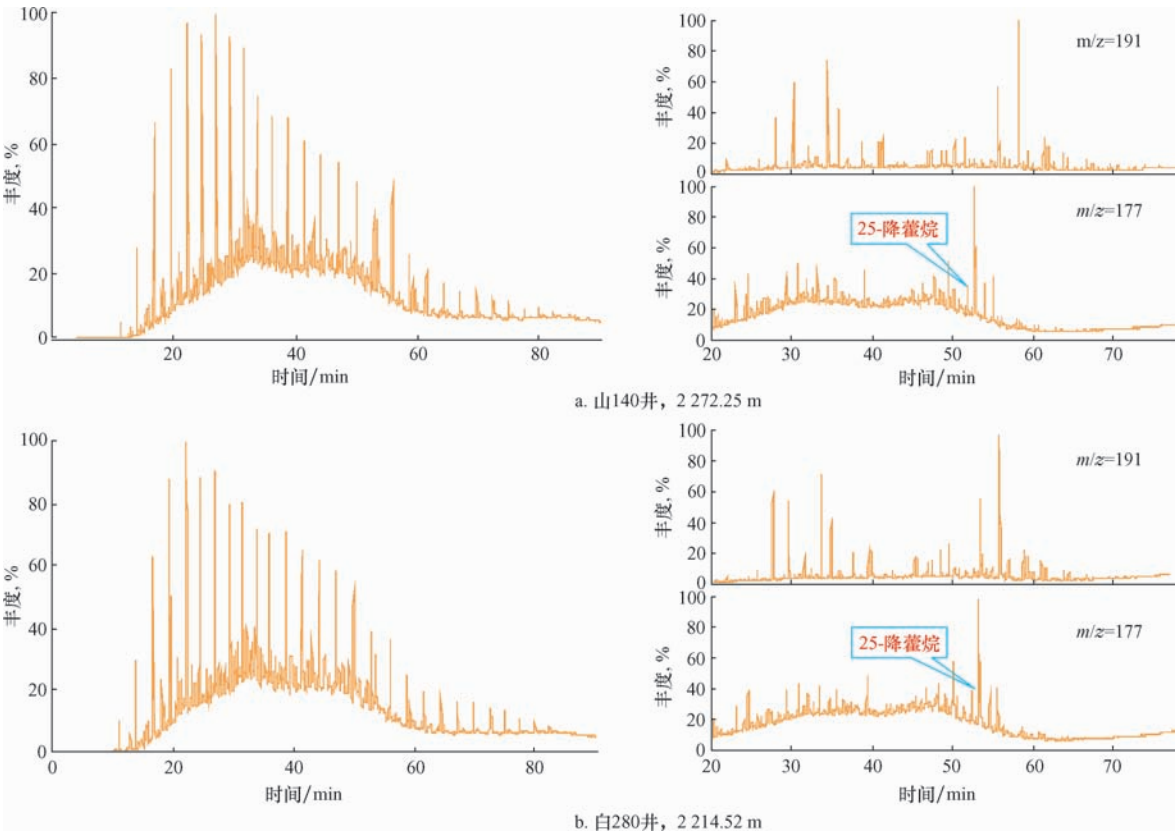


图 3 华庆地区长 8¹ 储层沥青抽提物饱和烃色谱和萘烷分布

Fig. 3 Chromatogram of saturated hydrocarbon and terpane distribution of reservoir extracts
from the Chang 8¹ reservoir in Huaqing area

但基线漂移,存在小“鼓包”,在 $m/z177$ 图谱上存在 25 - 降藿烷。

25 - 降藿烷是强烈生物降解油中一种典型的化合物。该化合物是由于细菌的作用,使规则藿烷在 C - 10 位失去一个甲基形成的,一般在降解程度到 6 级时才会出现,此时正构烷烃已遭降解^[12-13]。华庆地区长 8¹ 储层抽提物均存在 25 - 降藿烷,说明其生物降解程度已经达到 6 级或 6 级以上,油藏曾遭受过破坏。但抽提物的正构烷烃分布完整,表明后期有非生物降解油充注混入到该储层中,使得正构烷烃的分布完整,同时又存在 25 - 降藿烷,这说明长 8¹ 油藏存在两期成藏,与储层显微荧光观察的结果一致。

华庆地区长 8¹ 储层原油(测试过程中的流动油)没有遭生物降解,正构烷烃分布完整,基线平直,在 $m/z177$ 图谱上未发现 25 - 降藿烷(图 4),表明原油未曾遭受强烈的生物降解。

2.3 原油成熟度高于储层抽提物成熟度

从图 5 看出,原油甾烷 $C_{29}20S/(20S + 20R)$, $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 和 Ts/Tm 比值高于储层抽提物,

说明原油(流动油)的成熟度高于储层抽提物的成熟度,成熟度的差异说明储层中的沥青与流动原油不是同期的产物。从荧光薄片观察中还发现,沥青充填的残余孔中见发蓝色荧光的油,呈零星分布,因此储层抽提物实际上是沥青和后期充注油的混合物。储层抽提物的 $C_{29}20S/(20S + 20R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值分别为 0.30 ~ 0.41 和 0.39 ~ 0.49,而原油的上述比值分别为 0.49 ~ 0.52 和 0.62 ~ 0.66。由于储层抽提物存在后期原油混入,单纯沥青的成熟度比值应低于该值,因此认为储层中的沥青是源岩低演化阶段原油并遭强烈生物降解的产物。

3 沥青对储层物性的影响

长 8¹ 储层孔隙中见沥青,在镜下呈黑色。先对 6 个含沥青岩心柱进行储层岩石密度和储层物性分析。然后用氯仿、苯和酒精混合溶剂(混合比例 7:2:1)在常温下浸泡 20 天,再做储层物性分析实验,观察并分析浸泡前后储层物性的变化。

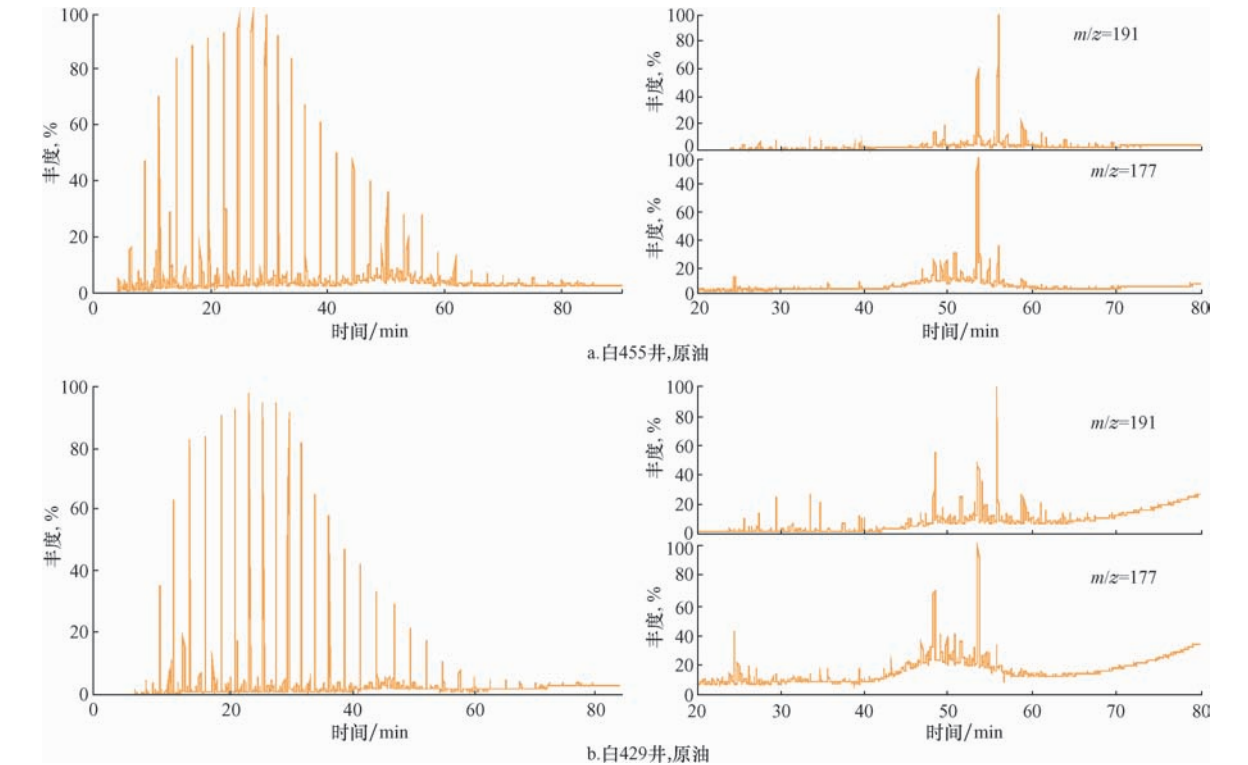


图 4 华庆地区长 8¹ 原油饱和烃色谱和藿烷分布

Fig. 4 Chromatogram of saturated hydrocarbon and terpane distribution of crude oil from the Chang 8¹ reservoir in Huaqing area

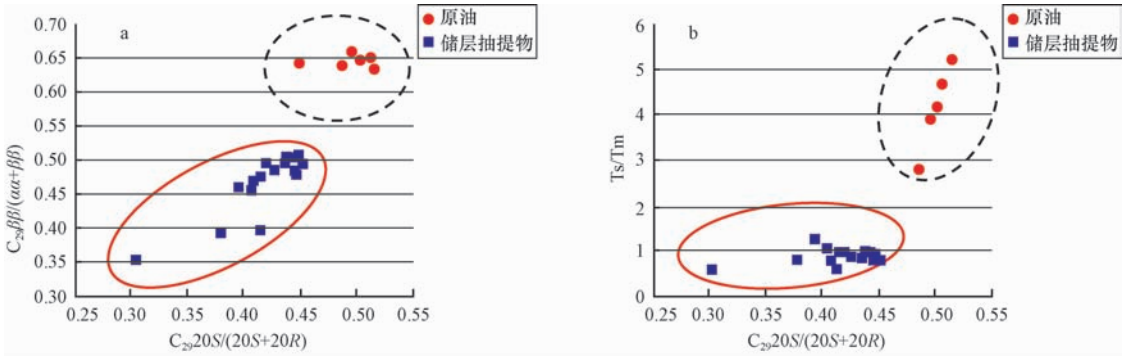


图5 华庆地区长8¹储层沥青抽提物与原油成熟度对比

Fig. 5 Maturity comparison between reservoir extracts and crude oils of the Chang 8¹ reservoir in Huaqing area

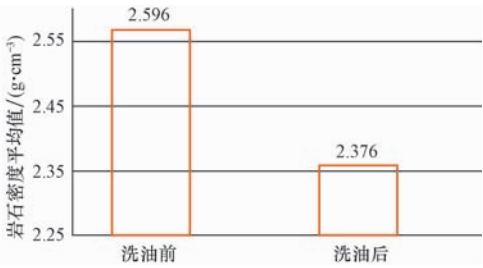


图6 华庆地区长8¹储层洗油前、后储层岩石密度对比

Fig. 6 Comparison diagram of rock density of Chang 8¹ reservoir before and after immersion test in Huaqing area

3.1 沥青溶解前后岩石密度的变化

6个样品沥青溶解前岩石密度平均值为2.596 g/cm³,洗油后岩石密度平均值为2.376 g/cm³,平均减小0.22 g/cm³(图6),这与洗油过程中储层沥青不断被溶解有关。

3.2 沥青溶解前后储层物性变化

洗油后孔隙度增加1.5%~5.6%,6个样品平均孔隙度增加2.6%(图7a)。渗透率变化相对较小,渗透率增加0.28×10⁻³~0.47×10⁻³ μm²,平均

值增加仅0.082×10⁻³ μm²(图7b),变化没有孔隙度明显,可能是只溶解孔隙中的沥青,而分布在吼道中的沥青由于后期成岩作用的影响,被粘土矿物吸附,没有或很少被溶解。洗油后铸体薄片的观察结果也表明,孔隙中还有部分沥青没有溶解,粘土矿物还吸附一些有机质(图8)。

4 储层沥青对油气运聚的影响

长8¹储层的上方为长7暗色泥岩,分布较为稳定,厚度30~40 m,有效烃源岩面积达3 944 km²。生油岩有机质丰度达高-极高级别,其中黑色泥、页岩的有机碳含量在2%~7%,油页岩段的有机碳含量在10%~20%,最高可达30%~40%,残留沥青“*A*”含量主要分布在0.4%~1.0%,最高可达2%以上,烃含量主要在0.3%~0.6%。盆地大范围内长7层组生油岩处于大量生油的成熟演化阶段(*R_o*为0.8%~1.05%)。可见长7层黑色泥(页)岩、油页岩是有机质高度富集的优质生油岩,是中生界油气的主要源岩^[14-17],更是长8储层油气的主要源岩。

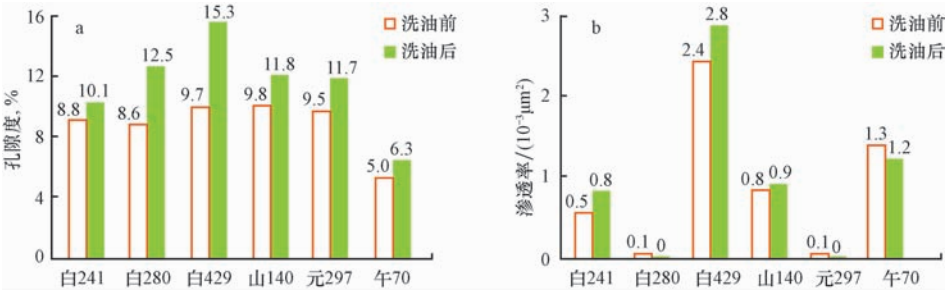


图7 华庆地区长8¹储层洗油前、后孔隙度和渗透率对比

Fig. 7 Comparison diagram of porosity and permeability of the Chang 8¹ reservoir before and after immersion test in Huaqing area

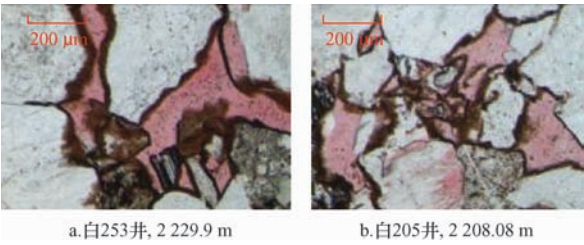


图8 华庆地区长8¹储层铸体薄片
Fig.8 Casting thin section photographs of the Chang 8¹ reservoir

根据张文正^[14-16]、席胜利^[18]等研究成果,长7源岩在中晚侏罗世进入生烃门限(图9), R_o 达到0.65%,此时储层尚未完全致密化,原生孔隙大量保存,源岩生成的成熟度较低的原油一部分向下运移到长8¹储层中(图10)。晚侏罗世,由于地层抬升剥蚀,此时长8¹储层埋深约1400 m,地层温度约60~65℃(图9),微生物大量繁殖^[19],致使先期进入储层的原油遭受强烈生物降解,形成沥青。沥青类似填隙物与后期成岩作用过程中形

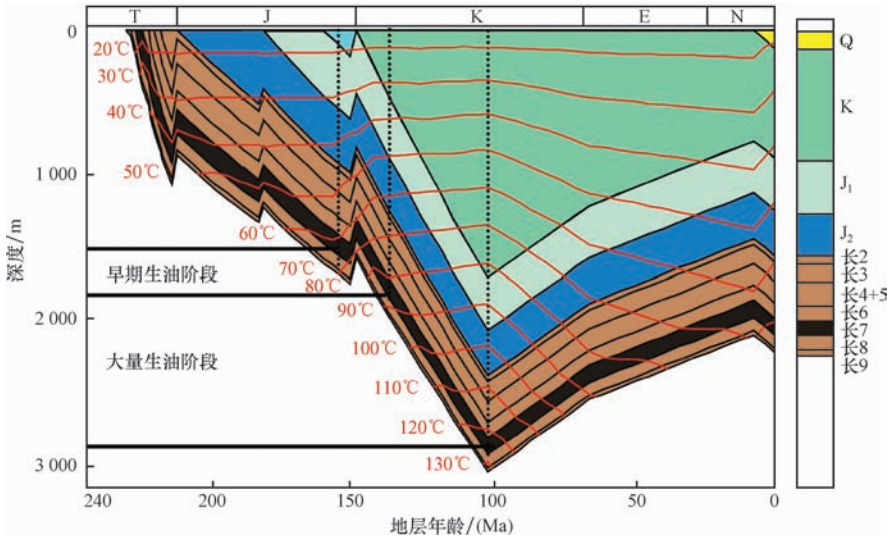


图9 华庆地区区长7源岩埋藏史
Fig.9 Burial history of the Chang 7 source rock in the Huaqing area

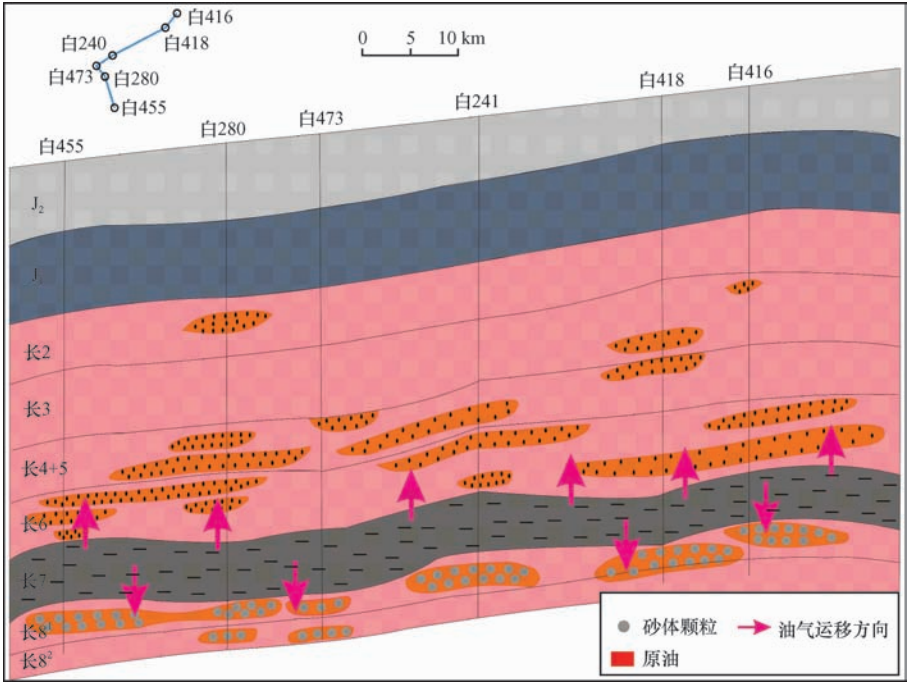


图10 华庆地区中、晚侏罗世油气运移示意图
Fig.10 Sketch map showing hydrocarbon migration in the Middle-Late Jurassic in Huaqing area

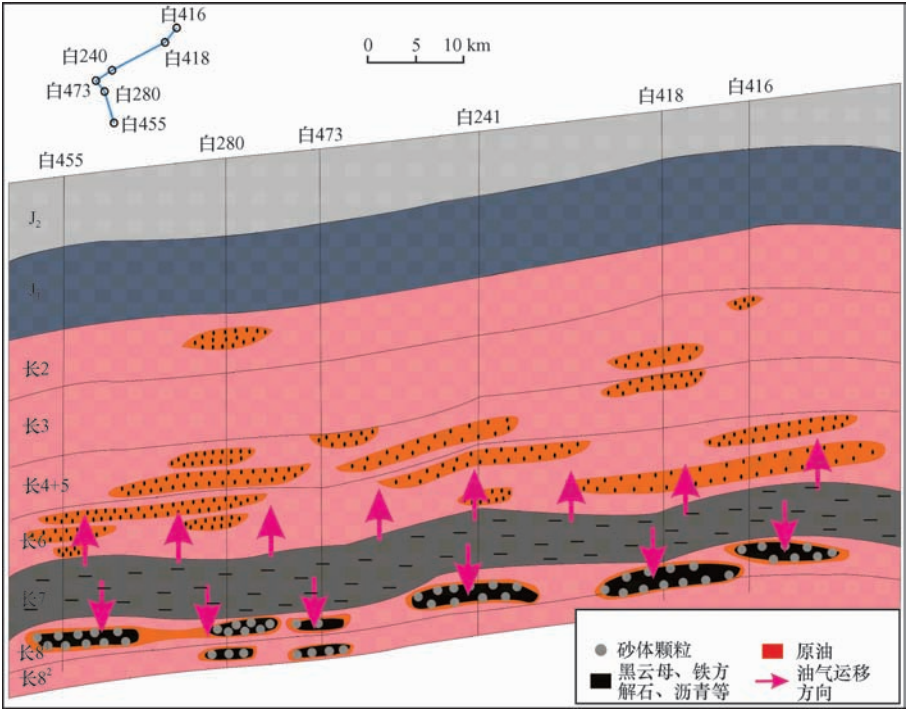


图 11 华庆地区大量生烃时(早白垩世末)油气运移示意图

Fig. 11 Sketch map showing hydrocarbon migration during peak hydrocarbon generation (end of K_1) in the Huaqing area

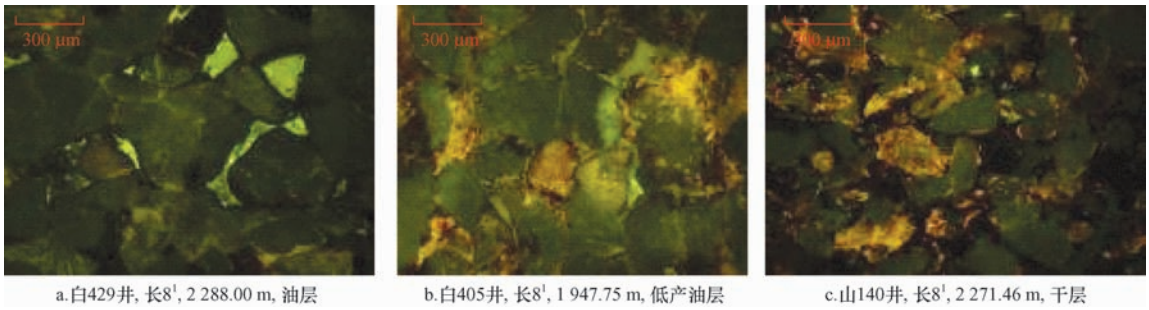


图 12 华庆地区油层、低产层和干层荧光照片

Fig. 12 Fluorescent photographs of pay zone, low production zone and dry zone in Huaqing area

成的含铁方解石、绿泥石等一起充填在孔隙中,致使储层严重致密化。至 K_1 晚期,长 7 源岩 R_o 达到 0.95%,开始进入大量生烃阶段,生成的成熟油主要运移到填隙物(沥青、铁方解石和绿泥石等)少或储层的残余孔中(图 11)。显微荧光观察结果表明,油层特别是高产油层,镜下未见沥青,如白 418 井(图 12a),而低产油层、水层和干层几乎全被沥青等黑色物质充填(图 12b,c)。

华庆地区长 8^1 砂层为水下分流河道沉积,不同砂体之间储层物性本身存在差异,加上沥青和成岩作用过程中形成的含铁方解石及绿泥石的充填,导致储层致密化程度不同,影响了后期油气运

移富集规律。后期生成的油主要进入沥青充填少或没有沥青充填的储层孔隙中。

5 结论

1) 华庆地区长 8^1 含沥青储层抽提物和原油地球化学特征存在差异。含沥青储层抽提物 m/z 177 图谱上存在 25 - 降藿烷,正构烷烃存在“鼓包”,且成熟度低于原油,为源岩低演化阶段产物,说明储层沥青是演化程度较低的油并遭强烈生物降解的产物。

2) 含沥青岩心洗油前后储层物性对比实验

表明,洗油后储层孔隙度增加 1.5%~5.6%,平均增加 2.6%;渗透率增加 $0.28 \times 10^{-3} \sim 0.47 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,说明沥青类似充填在孔隙中的填隙物,占据大量储集空间,对储层物性有较大的影响。

3) 长 8¹ 储层见两种不同颜色的荧光,且储层抽提物与原油成熟度不同,说明存在两期成藏。第一期成藏在中、晚侏罗世,由于地层抬升使成熟度较低的油遭强烈生物降解形成降解沥青,与绿泥石和铁方解石一起充填在储层的孔隙中,使储层变得更为致密,源岩后期生成的油(早白垩世末)只能进入被沥青等充填后的残余孔中或进入沥青少的储层孔隙中。

参 考 文 献

- [1] Wilhelms, A. Larter S R. Origin of tarmats in petroleum reservoirs Part II: fotation mechanisms for tarmats[J]. Mar and Petroleum Geology, 1994, 11: 442-456.
- [2] Hwang R J, Teerman S C, Carlson R M, et al. Geochemical comparison of reservoir solid bitumen with diverse origins[J]. Organic Geochemistry, 1998, 29: 505-517.
- [3] Wilhelms, A. Larter S R. Origin of tarmats in petroleum reservoirs Part I: introduction and cases[J]. Mar and Petroleum Geology, 1994, 11: 418-441.
- [4] Ian M. Head, D, Martin Jones, et al. Biological activity in the deep subsurface and the origin of heavy oil[J]. Nature, 2003, 20: 344-352.
- [5] 帅燕华, 宋娜娜, 张水昌, 等. 松辽盆地北部生物降解成因气及其成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 659-669.
Shuai Yanhua, Song Nana, Zhang Shuichang, et al. Gas of biodegradation origin and their pooling characteristics in northern Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32 (54): 659-669.
- [6] Moore L V. Significance, classification of asphaltic material in petroleum exploration[J]. Oil & Gas Journal. 1984, 82 (41): 109-112
- [7] Lomaodo, A. J. The influence of solid reservoir bitumen on reservoir quality I[J]. AAPG, 1992, 76(8): 1137-1152.
- [8] 纪友亮, 张世奇, 李红南, 等. 固态沥青对储层储集性能的影响[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 87-91.
Ji Youliang, Zhang Shiqi, Li Hongnan, et al. The effect of solid reservoir bitumen on reservoir quality [J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(4): 87-91.
- [9] 陈世加, 范小军, 路俊刚, 等. 沥青对储集层物性及油气富集的影响[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(1): 70-76.
Chen Shijia, Fan Xiaojun, Lu Jungang, et al. Impact of bitumen on reservior properties of and hydrocarbon accumulation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37 (1): 70-75.
- [10] 郭永华, 周心怀, 李建平, 等. 渤海海域新近系稠油油藏原油特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 375-379.
Guo Yonghua, Zhou Xinhui, Li Jiangping, et al. Crude features and origins of the Neogene heavy oil reservoirs in the Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 375-379.
- [11] Rogers M A. Mcalary J D. Bailey N J L. Significance of reservoir bitumen to thermal-alteration studies. WestCanada Basin [J]. AAPG, 1974, 58: 1806-1824.
- [12] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker gride: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments, prentice Hall[M]. New Jersey: Englewood Cliffs, 1993, 110-265.
- [13] Blanc, P., Connan, J., Origin and occurrence of 25-norhopanes: a statistical study[J]. Organic. Geochemistry, 1992, 18(6): 813-828.
- [14] 张文正, 李剑峰. 鄂尔多斯盆地油气源研究[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(4): 28-36.
Wenzheng, Li Jianfeng. Oil and gas source research in Ordos Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2001, 6(4): 28-36.
- [15] 杨华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长 7 段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 地质地球化学特征[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 147-154.
Yan Hua, Zhang Wenzheng. Leading effect of the Seventh Member high-quality source rock of Yanchang Formation in Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation: Geology and geochemistry [J]. Geochimica, 2005, 34(2): 147-154.
- [16] 张文正, 杨华, 李剑峰, 等. 论鄂尔多斯盆地长 7 段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用—强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293.
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, et al. Leading effect of high-class source rock of Chang 7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation—hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 289-293.
- [17] 李士祥, 刘显阳, 韩天佑, 等. 陕北地区延长组长 10 油层组成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 689-696.
Li Shixiang, Liu Xianyang, Han Tianyou, et al. Characteristics of hydrocarbon pooling in Chang-10 interval of the Yanchang Fm in the northern Shaanxi province [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 689-696.
- [18] 席胜利, 李文厚, 李荣西. 烃源岩生烃期次与油气成藏—以鄂尔多斯盆地西缘马家滩地区长 7 烃源岩为例[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(6): 657-663.
Xi Shengli, Li Wenhui, Li Rongxi, et al. Hydrocarbon generation and reservoir formation: A case from Chang 7 source rock in Majiatan area, west margin of Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(6): 657-663.
- [19] R. J. Pallasser, Recognising biodegradation in gas/oil accumulations through the $\delta^{13}\text{C}$ compositions of gas components[J]. Organic Geochemistry, 2000, 31: 363-373.