

原油热蚀变程度评价指标研究 ——以准噶尔盆地南缘霍尔果斯和呼图壁油气田为例

曹宏明^{1,2}, 巩卫芳², 张云献², 马练军²

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083
2. 中国石油化工股份有限公司中原油田分公司勘探开发研究院, 河南濮阳 457001

摘要 石油的次生变化对石油性质的改造有时会超过有机质来源和热成熟度作用的影响, 而热蚀变是地史时期地质体中一种较为常见的次生变化。本文选取准噶尔盆地南缘原油样品系统模拟热蚀变过程, 并进行数据分析, 从中筛选出相关性良好的菲/甲基菲(P/MP)比值和 $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ 比值两项指标, 它们能够很好地反映原油热变程度; 根据筛选出的这两项指标, 制作了判别原油热蚀变程度的图版。应用该图版分析准噶尔盆地南缘霍尔果斯和呼图壁油气田原油热蚀变程度, 结果显示, 霍尔果斯霍10井原油可能为原生油藏, 热变程度较低, 而霍浅1和霍002原油可能是由埋藏较深、热变程度高的原始油藏向上运移产生的次生油气藏; 准噶尔南缘的安5井、石南31井及呼图壁气田中的呼2井原油处于正常成熟阶段, 表明其所处油气藏基本上为原生油气藏。

关键词 原油次生变化; 热蚀变; 热模拟实验; 次生油气藏

中图分类号 P618.13

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.31.006

Assessment Parameters for the Thermal Alteration of Crude Oil: A Case Study in the Southern Margin of the Junggar Basin

CAO Hongming^{1,2}, GONG Weifang², ZHANG Yunxian², MA Lianjun²

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Zhongyuan Oil-Gas Field Company, Sinopec, Puyang 457001, Henan Province, China

Abstract The effects of secondary alterations on the characteristics of the crude oil are sometimes greater than those of the organic matter sources and the heat maturity. In the geological history, the thermal alteration is one type of common secondary alterations that occur in the subsurface. In this paper, by simulating in the laboratory the thermal alteration of the oil from the southern Junggar Basin and analyzing the obtained data, two indexes, P/MP and $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ are shown to have a good correlation with the thermal alteration. Moreover, a chart which can be used to identify the thermal alteration degree is proposed. With this chart, the relative thermal alterations of oils from Huoerguos and Hiutubu oil fields were identified based on the methyl phenanthrene composition. The crude oil from Well Huo10 in the Huoerguos oil field with a slight thermal alteration indicates that the oil field is most likely a native reservoir. However, the crude oil from Well Huoqian1 and Well Huo 002 with a severe thermal alteration shows that they are most likely secondary reservoirs migrated from deep buried reservoirs. The crude oil from Wells An5, Shinan31, and Hu2 with a normal maturity shows that they are native reservoirs.

Keywords crude oil secondary change; thermal alteration; simulated thermal alteration; secondary oil reservoir

0 引言

原油的组成是有机质来源、热成熟度、流体运移以及油

藏内部的各种次生变化综合作用的结果, 原油蚀变在判断原油组成中是不容忽视的。油藏埋藏深度增大、构造运动、岩浆

收稿日期: 2012-07-19; 修回日期: 2012-08-29

基金项目: 国家重点基础研究计划(973计划)项目(2007CB209503); 国家油气专项(2008ZX05007-01)

作者简介: 曹宏明, 博士研究生, 研究方向为石油地质与地球化学, 电子信箱: redbull88@163.com

岩体和某些地球化学反应释放的热能等在一定程度上可以提高油藏的温度^[1-5]。原油热蚀变程度,是指地质历史时期地质体中的原油在油藏温度超过烃源岩生成和排出这些石油物质温度的条件下原油发生进一步蚀变的程度^[6]。1982年,许化政^[7]描述了克拉玛依油区原油的蚀变现象;1994年,王屿涛等^[8]分析了准噶尔盆地西北缘稠油特性及蚀变作用类型;1996年,杨文宽等^[9]根据恒温 and 线性变温条件下一级反应方程的解析,讨论了石油热蚀变机理与结果,认为中国南方煤化沥青和变质沥青都是石油热蚀变的产物。1992年,包建平^[10]发现甲基菲(MP)比值与镜质体反射率及埋深之间的相关性优于甲基菲指数,应用MP比值研究原油(尤其是高熟的轻质油和凝析油)成熟度更为有效;2008年,朱东亚等^[11]利用多种地化参数分析异常热作用对塔里木盆地塔中18井油藏中原油的影响;2010年,陈琰等^[12]通过烃源岩热模拟实验,建立了柴北缘侏罗系烃源岩MP比值或指数与镜质体反射率之间的关系,并确定了原油的成熟度。综上所述,现有研究只是描述原油蚀变现象,或者用烃源岩进行模拟实验研究,并未直接用原油模拟实验验证热蚀变过程,本研究选取准噶尔盆地南缘原油样品,进行系统的实验模拟热蚀变过程,筛选出相关性良好的菲/甲基菲(P/MP)比值和(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)比值两项指标,它们可以很好地反映原油热蚀变程度,并据此制作成判别原油热蚀变程度的图版,为类似油气藏分析提供参考。

1 样品和实验条件

选取准噶尔盆地南缘齐34井(J)、安5井(E)、石南31井(E)原油,呼图壁和霍尔果斯油气田(E,N)原油及稠油,用SEG热解器、WEST-6100程序升温(升温速率:5°C/min),进行温度为350、550、650、750、850°C热模拟,残余油样进行族组分分离,分离后的饱和烃和芳烃进行色谱-质谱分析。

2 原油热蚀变程度的定性描述

原油热蚀变模拟实验中,随着原油热蚀变程度的增加,原油中不同组分的变化特征不同,这主要表现在3个方面:(1)长链系列化合物、环状烃类侧链较长的化合物随裂解程度的增加,化合物的链长由长变短,最终转化成C1—C5化合物;(2)多环芳烃系列化合物相对含量逐渐富集;(3)在芳烃同骨架类型化合物的分布中,随裂解程度的增加同系物中的脱烷基作用较为明显。这与包建平^[10]从井剖面研究原油地球化学特征所得结果^[10-13]类似。

3 原油裂解程度指标的选取

宋长玉等^[14-18]在研究甲基菲的分布特征时观察到,即使在成熟度很高的烃源岩中,(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)比值同样表现出连续增加的趋势。在原油裂解过程中,芳烃馏份的同系物中脱烷基作用较为明显。因此,选择多烷基与少

烷基或不带烷基侧链化合物的比值也能反映原油裂解程度的差异。在本次热解实验中,对齐34井原油热解后残余油进行芳烃气质分析,其原油裂解残余物中菲系列化合物质量色谱图如图1所示。从图1可以看出,在MP分布中,随着温度的增加,3-,2-甲基菲的相对含量逐渐增加,而9-,1-甲基菲相对含量逐渐减少。菲系列化合物相应比值与温度的关系如图2—图4所示。

从图2—图4可以看出,残余油中P/MP比值与温度之间有良好的相关性,(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)比值与温度

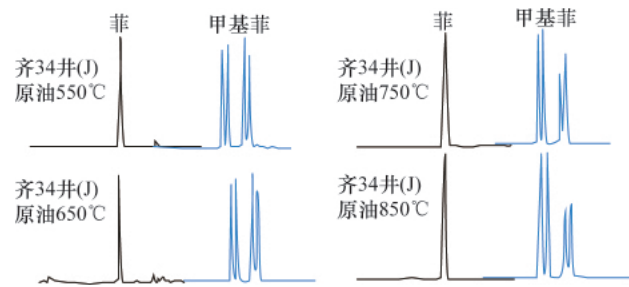


图1 齐34井(J)原油裂解残余物菲系列化合物质量色谱图
Fig. 1 Phenanthrene series mass chromatograms of residue cracked crude oil from Well Ji34

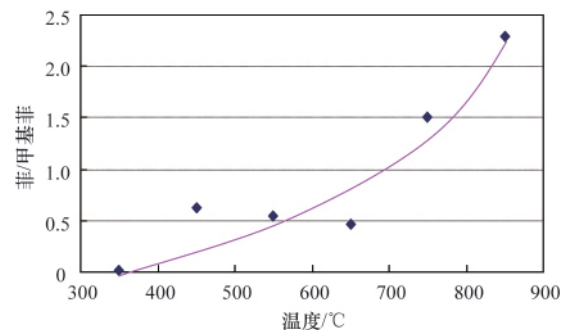


图2 齐34井热解残余油中P/MP比值与温度关系
Fig. 2 Relationship between phenanthrene/methylphenanthrene ratios from pyrolyzation oil and the temperature

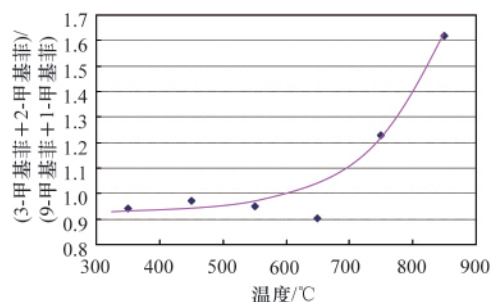


图3 (3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)比值与温度关系
Fig. 3 Relationship between (3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP) ratios from pyrolyzation oil and the temperature

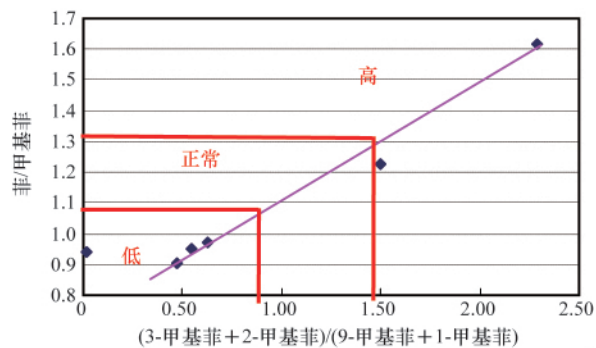


图4 P/MP 比值和 $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ 比值关系
Fig. 4 Relationship between P/MP and $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ ratios

之间有良好的相关关系, P/MP 比值和 $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ 比值之间呈非常好的正相关关系。因此, 选用 P/MP 比值和 $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ 比值两项指标可以很好地反映原油热变程度。根据原油热模拟温度不同点的上述两项比值分布的分段性, 可以将原油热变程度划分为低演化阶段 ($<650^{\circ}\text{C}$)、正常演化阶段 ($650-750^{\circ}\text{C}$)、高演化阶段 ($>750^{\circ}\text{C}$) 3 个阶段。

4 原油热变程度评价指标应用

根据选取的 P/MP 比值和 $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ 比值两项参数, 绘制判识原油热变程度的图版 (图 5)。

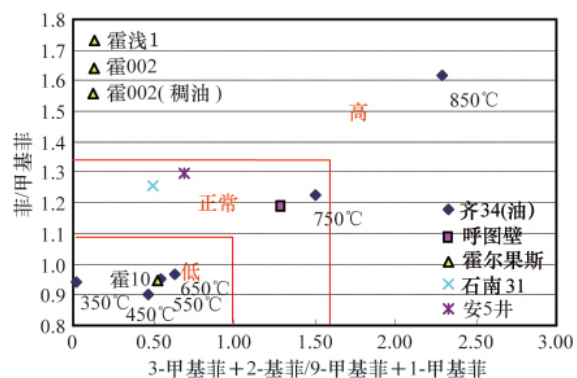


图5 菲系列化合物判识原油热变程度图版
Fig. 5 Cluster diagrams to find the thermal alteration degree of the general crude oil by phenanthrene isomers

结合该图版对取自呼图壁气田、霍尔果斯油气田及准噶尔南缘的安5井、石南31井的油样进行判识。呼图壁、霍尔果斯及准噶尔南缘的安5井、石南31井的油样芳烃菲系列化合物质量色谱图见图6。从色谱实验分析出 P/MP 比值和

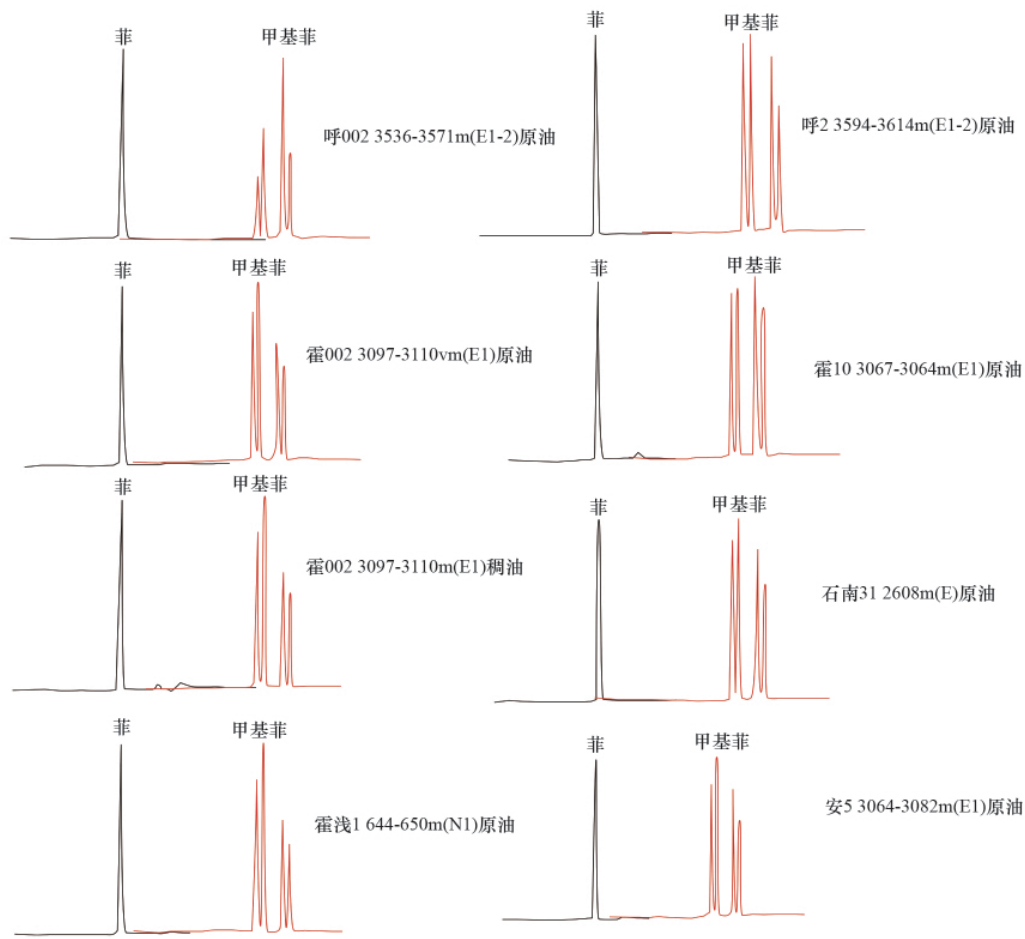


图6 准噶尔盆地南缘部分井油样菲系列化合物质量色谱图

Fig. 6 Phenanthrene isomers mass chromatograms in the selected oils from the part of the southern Junggar Basin

$(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ 比值。结果表明,霍尔果斯油气田霍 10 井原油热蚀变程度低,霍浅 1 和霍 002 较高,而呼图壁气田呼 2 井介于两者之间。据此推测,霍尔果斯油气田中,霍 10 井区原油可能为原生气藏,热变程度较低,而霍浅 1 和霍 002 原油可能是由埋藏较深、热变程度高的原始油藏向上运移产生的次生气藏;准噶尔南缘的安 5 井、石南 31 井及呼图壁气田中的呼 2 井原油样品处于正常成熟阶段,表明其所处油气藏基本上为原生气藏。

5 结论

根据模拟实验筛选出相关性良好的 P/MP 比值和 $(3-MP+2-MP)/(9-MP+1-MP)$ 比值两项指标,可以很好地反映原油热变程度,并据此制作成判别原油热变程度的图版。

应用该图版分析了淮南霍尔果斯和呼图壁油气田原油热蚀变程度,认为霍尔果斯霍 10 井原油可能为原生气藏,热变程度较低,而霍浅 1 和霍 002 原油可能是由埋藏较深、热变程度高的原始油藏向上运移产生的次生气藏;准噶尔南缘的安 5 井、石南 31 井以及呼图壁气田中的呼 2 井原油处于正常成熟阶段,表明其所处油气藏基本上为原生气藏。

参考文献 (References)

- [1] Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence: A new approach to oil and gas exploration [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1978: 60-80.
- [2] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 160-176.
Lu Shuangfang, Zhang Min. Petroleum geochemistry [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 160-176.
- [3] Rushdi A I, Simoneit B R T. Hydrothermal alteration of organic matter in sediments of the Northeastern Pacific Ocean: Part 1. Middle Valley, Juan de Fuca Ridge[J]. *Appl Geochem*, 2002, 17(11): 1401-1428.
- [4] Kawka O E, Simoneit B R T. Hydrothermal pyrolysis of organic matter in Guaymas Basin: I. Comparison of hydrocarbon distributions in subsurface sediments and seabed petroleum [J]. *Org Geochem*, 1994, 22 (6): 947-978.
- [5] Farrimond P, Bevan J C, Bishop A N. Hopanoid hydrocarbon maturation by igneous intrusion[J]. *Org Geochem*, 1996, 25(3-4): 149-164.
- [6] Radke M, Welte D H, Willsch H. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: Influence of the organic matter type [C]//Leythaeuser D, Rullkötter J. *Advances in Organic Geochemistry 1985*. Oxford: Pergamon Press, 1986: 51-63.
- [7] 许化政. 克拉玛依油区原油的变蚀现象 [J]. 大庆石油学院学报, 1982 (1): 26-35.
Xu Huazheng. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 1982(1): 26-35.
- [8] 王屿涛. 准噶尔盆地西北缘稠油特性及蚀变作用类型[J]. 石油实验地质, 1994, 16(1): 10-20.
Wang Yutao. *Experimental Petroleum Geology*, 1994, 16(1): 10-20.
- [9] 杨文宽, 游革新. 石油的热蚀变和煤化沥青的成因 [C]//油气成藏机理及油气资源评价国际研讨会论文集. 北京: 中国石油大学 (北京), 1996: 98-101.
Yang Wenkuan, You Gexin. Thermal alteration of oil and origin of coalification bitumen [C]//Proceedings of International Symposium on Hydrocarbon Accumulation Mechanism and Resources Evaluation. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 1996: 98-101.
- [10] 包建平, 王铁冠, 周玉琦, 等. 甲基菲比值与有机质热演化的关系[J]. 江汉石油学院学报, 1992, 14(4): 8-13.
Bao Jianpin, Wang Tieguan, Zhou Yuqi, et al. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 1992, 14(4): 8-13.
- [11] 朱东亚, 金之钧, 胡文, 等. 异常热作用对油藏中原油的影响—以塔里木盆地塔中 18 井为例 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(3): 294-306.
Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wen, et al. *Science in China, Series D: Earth Sciences*, 2008, 38(3): 294-306.
- [12] 陈琰, 包建平, 刘昭茜, 等. 甲基菲指数及甲基菲比值与有机质热演化关系—以柴达木盆地北缘地区为例[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37 (4): 508-512.
Chen Yan, Bao Jianpin, Liu Zhaoxi, et al. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(4): 508-512.
- [13] 黄海平, 张水昌, 苏爱国. 油气运移聚集过程中的地球化学作用[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 278-284.
Huang Haiping, Zhang Shuichang, Su Aiguo. *Experimental Petroleum Geology*, 2001, 23(3): 278-284.
- [14] Kvalheim O M, Christy A A, Telnaes N, et al. Maturity determination of organic matter in coals using the methyl phenanthrene distribution[J]. *Geochimica, Cosmochimica Acta*, 1987, 51(7): 1883-1888.
- [15] 宋长玉, 金洪蕊, 刘璇. 烃源岩中甲基菲的分布及对成熟度参数的影响[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 183-187.
Song Changyu, Jin Hongrui, Liu Xuan. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(4): 183-187.
- [16] Cassani F, Gallango O, Talukder S, et al. Methylphenanthrene maturity index of marine source rock extracts and crude oils from the Maracaibo Basin[J]. *Geochimica, Cosmochimica Acta*, 1988, 52(1-3): 73-80.
- [17] Strachan M G, Alexander R, Kagi R. Trimethylnaphthalenes in crude oils and sediments: Effects of source and maturity [J]. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 1988, 52(5): 1255-1264.
- [18] 朱扬明. 生油岩五环芳烃的热演化及成熟度参数 [J]. 地质地球化学, 1998, 26(1): 75-80.
Zhu Yangming. *Geology-Geochemistry*, 1998, 26(1): 75-80.

(责任编辑 马宇红, 朱宇)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。