

文章编号: 1001-6112(2010)02-0196-05

混源生物降解油源贡献率计算方法

赵春花, 王积宝, 朱扬明

(浙江大学 地球科学系, 杭州 310027)

摘要:通过数学论证及原油混合配比实验,建立了混源生物降解油生物标志物随混合比例变化的数学模型及油源贡献率计算方法,阐明了生物降解作用对混源油油源贡献率有一定的影响。对混源生物降解油,若以生物标志物绝对含量为参数,用未降解或降解程度低的原油作端元油,将高估生物标志物绝对含量高的原油油源贡献率;反之,则将低估油源贡献率,因此应采用降解程度相当的原油作端元油。若以生物标志物比值为参数,对由 2 种相同降解程度的原油组成的混源油,油源贡献率不受生物降解影响,因此可用未降解油作端元油;对由 2 种不同降解程度的原油组成的混源油,若用未降解油作端元油,则会高估或低估生物标志物比值高的原油油源贡献率,因此应采用 2 种相应降解程度的原油作端元油。

关键词:生物标志物;数学模型;生物降解;混源油;油源贡献率;渤海海域

中图分类号:TE122.11

文献标识码:A

THE CALCULATION METHOD FOR THE CONTRIBUTION RATE OF THE BIODEGRADED MIXED-SOURCE OILS

Zhao Chunhua, Wang Jibao, Zhu Yangming

(Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: The mathematical models of biodegraded mixed-source oils' biomarkers change along with the mixed proportion, and the calculation method for the contribution rate of oil sources were established by mathematical demonstration and artificial oil-mixing experiment, and in addition, the effect of biodegradation on the mixed proportion is illustrated. The research indicated: when the biomarkers content is used as a parameter, if we use normal crude oils or less biodegraded crude oils as end-member oils, instead of the biodegraded mixed-source oils, we will overestimate the contribution rate of the high biomarkers content crude oil, otherwise, we will underestimate the contribution rate of the high biomarkers content crude oil, so we should use considerable extent of biodegraded oils to calculate. When the biomarkers ratio is used as a parameter, as to biodegraded mixed-source oils in the same degree, biodegradation will have no effect on the mixed proportion, and we can use normal crude oils as end-member oils. However, the situation will appear more complicated if we use normal crude oils rather than biodegraded end-member oils in varying degrees, the contribution rate of crude oils of the high biomarkers ratio will be overestimated or underestimated. In this case, we should use the corresponding degree of biodegraded crude oils as end-member oils to calculate.

Key words: biomarker; mathematical model; biodegrade; mixed-source oils; contribution rate of oil sources; Bohai Sea area

在发育多套烃源岩的盆地中,普遍存在混源油气藏。查明混源油的油源构成及各油源贡献率,有利于确定主力烃源层,从而提高油气勘探成功率。目前,国内外对混源油的油源贡献率已进行了许多研究^[1-14],但很少涉及混源生物降解油源贡献率的计算,而生物降解作用是油藏中常见的原油次

生作用,几乎出现于各个含油气盆地中,在我国东部盆地中更是广泛存在。因而,探讨混源生物降解油的油源贡献率显得很必要。本文在参考前人的混源油油源贡献率计算数学模型^[15]基础上,通过数学论证和原油混合配比实验,阐明生物降解作用对混源油油源贡献率有一定影响,提出混源生物降

收稿日期: 2009-07-14; 修订日期: 2010-02-07。

作者简介: 赵春花(1984—),女,硕士研究生,主要从事有机地球化学研究工作。E-mail: shuyun1017@126.com。

基金项目: 863 国家高技术研究发展计划项目“海上油气地球化学快速探测技术”(2007AA09Z308)。

解油源贡献率的计算模式与方法,并用实际原油的实验结果加以证实。

1 样品与实验

本文人工混合配比实验的原油样品取自渤海油田。据相关研究^[15],渤海海域地区发育东营组、沙一段和沙三段 3 套主要生油岩,其生物标志物存在明显差异。东营组生油岩以低伽马蜡烷、低 4-甲基甾烷为特征;沙一段生油岩以较高的伽马蜡烷和中等量的 4-甲基甾烷为识别标志;沙三段则以高 4-甲基甾烷、低伽马蜡烷区别于前 2 套生油岩。依此,本研究选择具有相应生物标志物组成特征的 CFD12-1S-2 (2 094~2 108 m)、LD10-1-2 (1 549~1 570 m)、JX1-1E-3D (1 877~1 888.5 m) 井的油样分别代表东营组 (Ed)、沙一段 (Es₁) 和沙三段 (Es₃) 油源油的端元原油 (表 1)。

参考了有关原油配比实验的文献^[7,13,16],我们分别以 CFD12-1S-2 : LD10-1-2 和 LD10-1-2 : JX1-1E-3D 原油对,按原油质量比 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40, 40 : 60, 20 : 80, 0 : 100 称量,混合形成 12 个油样。每个油样总质量控制在 150~200 mg 左右。样品称量后,用少量二氯甲烷溶剂使其溶解,之后将油样置于超声波振荡器中振荡 5 min 左右,使其充分混合达到完全均匀。族组分分离前,在油样中加入 D14-胆甾烷和 D10-蒎分别作饱和烃生标和芳烃的内标。对分离得到的饱和烃和芳烃组分进行了 GC/MS 定量分析。分析结果表明,混合原油样品中各类生物标志物和有关芳烃化合物均呈现有规律的变化。

陈建平^[14]认为在原油混合配比实验中,混合油各类生物标志物的绝对含量与端元油的混入量呈线性相关关系,且不同的生物标志物随原油混入量的变化率明显不同;而生物标志物的比值参数随端元油的混入量呈非线性的变化趋势,且不同的参数也呈现不同的变化趋势。如图 1 所示,本实验结果证实了混合油中生物标志物的这些变化趋势。同时,本研究还对渤海海域地区 50 余个其它原油进

行了饱和烃和芳烃的 GC/MS 定量分析,以探讨生物降解作用对生物标志物组成与分布的影响。

2 以生物标志物绝对含量为计算参数的数学模型

混合油中生物标志物绝对含量和比值参数随混合比例呈有规律的变化趋势,是可用数学函数进行描述的,可建立起计算不同个数端元原油混合时各种原油贡献率的数学模型,应用于混源油不同油源贡献率大小的计算^[14]。如果设 2 个端元油为油 1 和油 2,两者的某一生物标志物绝对含量分别记为 c_1 和 c_2 ,油 2 与油 1 以 $x : (1-x)$ ($0 \leq x \leq 1$) 比例混合之后的该生物标志物绝对含量为 C 。则根

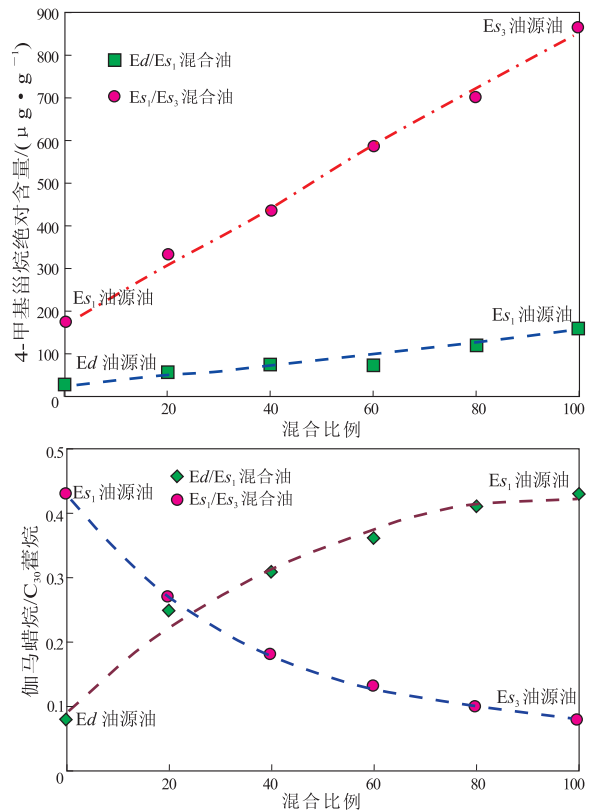


图 1 混合油样中部分生物标志物含量和比值随混合比例的变化

Fig. 1 Changes in mixed-source oils' biomarkers content and ratio along with the mixed proportion

表 1 渤海海域地区油源油的端元原油地球化学参数

Table 1 End-member oils' geochemical parameters in the Bohai Sea area

地区	井号	井段/m	层位	伽马蜡烷/C ₃₀ 藿烷	C ₂₇ 甾烷相对含量/%	C ₂₈ 甾烷相对含量/%	C ₂₉ 甾烷相对含量/%	4-甲基甾烷/C ₂₉ 规则甾烷	Pr/Ph	全油 δ ¹³ C
沙垒田	CFD12-1S-2	2 094~2 108	Ed	0.08	29.78	31.88	38.34	0.10	1.30	-28.06
辽西	LD10-1-2	1 549~1 570	Ed	0.43	28.27	31.14	40.58	0.32	1.20	-27.11
辽东	JX1-1E-3D	1 877~1 888.5	Es ₃	0.08	35.11	22.10	42.79	0.73	1.16	-25.08

据数学的比例关系有：

$$C = (c_2 - c_1)x + c_1 \quad (0 \leq x \leq 1) \quad (1)$$

式(1)为二元一次线性方程,其中 $(c_2 - c_1)$ 为斜率, c_1 为截距。此式描述了两原油混合时某生物标志物绝对含量的变化,直接可算出某一混合比例时的含量值。由式(1)可得:

$$x = (C - c_1) / (c_2 - c_1) \quad (2)$$

即可用式(2)根据两端元原油的某生物标志物原始绝对含量和两者混合后的绝对含量,计算出两者的混合比例。这是我们计算混源油油源贡献率的主要应用数学公式。

当原油遭受生物降解作用时,因生物标志物在原油中的浓度发生变化,上述这些关系式可能随之改变,因此不能直接应用于混源生物降解油的油源贡献率计算。下面先以生物标志物绝对含量计算两原油混合比例的线性函数式为例,探讨生物降解对其的影响。

为便于讨论,如果设定 $c_2 > c_1$,那么式(1)的图解即为图 2 中一直线。现设生物降解后的相同端元油油 2 和油 1 中生标物的原始绝对含量分别为 c'_2 和 c'_1 ,当它们以 $x : (1-x)$ $(0 \leq x \leq 1)$ 比例混合时,该生标物在混合油中的绝对含量(C')变化函数式为:

$$C' = (c'_2 - c'_1)x + c'_1 \quad (3)$$

当原油发生生物降解作用后,由于部分易降解的原油组分被细菌消耗,导致抗降解作用较强的生物标志物相对富集,使其在原油中的绝对含量升高

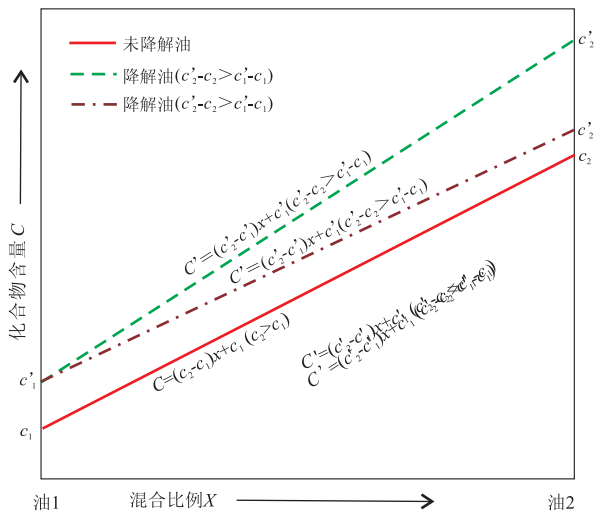


图 2 生物降解原油混合时生物标志物绝对含量随混入比例的变化模型

Fig. 2 The mathematical model on biomarkers and the mixed proportion of biodegraded mixed-source oils

(此处假定生物降解尚未达到影响这种化合物的程度)(图 3)。这样有: $c'_1 > c_1$ 和 $c'_2 > c_2$ 。当油 2 的降解程度高于(或相同于)油 1 时,即有: $c'_2 - c_2 > c'_1 - c_1$,变换之得: $c'_2 - c'_1 > c_2 - c_1$,也即在这种情况下,式(3)的斜率大于式(1);同时,式(3)截距 c'_1 大于式(1)截距 c_1 。相反,当油 2 的降解程度低于油 1,并达 $c'_2 - c_2 < c'_1 - c_1$ 状态时(因假定 $c_2 > c_1$,要达这种状态必须油 1 的降解程度远低于油 2),就应有 $c'_2 - c'_1 < c_2 - c_1$,此时,式(3)的斜率小于式(1)。发生这两种情况时,生标物在混合油中的含量(C')变化函数式的图解见图 2。这说明生物降解作用对混合原油中生物标志物绝对含量有影响,相应地影响了混源油油源贡献率计算。

在实际混源油油藏中最可能出现的 2 种生物降解情况,一是不同油源原油相继充注混合后才发生生物降解作用;二是一种油源油遭受过生物降解之后,另一种原油又充注进来与之混合再降解。前一种情况 2 种原油降解程度相同,当它们的原始生物标志物绝对含量不同时,其含量的变化遵循式(3) $(c'_2 - c_2 > c'_1 - c_1)$ 。后一种情况其含量变化比较复杂,如果生物标志物含量高的先降解,那么遵循式(3) $(c'_2 - c_2 > c'_1 - c_1)$;若生物标志物含量低的先降解,视降解程度可能先后出现式(3)的 $(c'_2 - c_2 > c'_1 - c_1)$ 和 $(c'_2 - c_2 < c'_1 - c_1)$ 2 种情形。从图 2 可以看出,若用未降解或降解程度低的原油混合配比的实验结果,来计算严重生物降解油的油源贡献率,则将高估生物标志物含量高的原油油源贡献率。反之,若用降解程度高的原油混合配比的实验结果,来计算降解程度低的或未降解的原油油源贡献率,

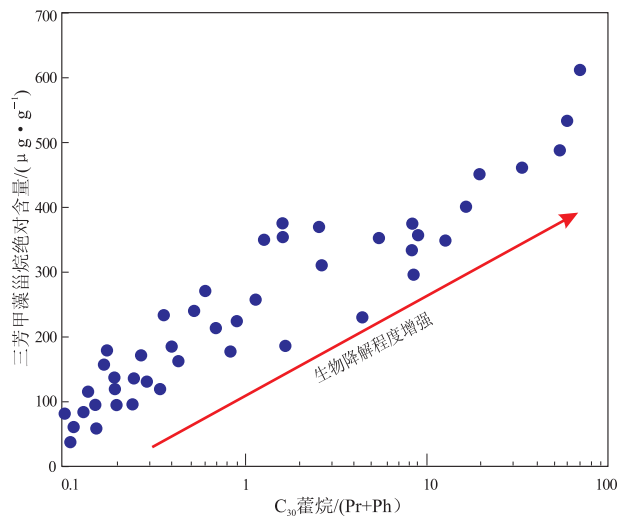


图 3 生物标志物绝对含量与生物降解关系

Fig. 3 The relationship between biomarkers content and biodegradation

则将低估生物标志物含量高的原油油源贡献率。为了减少这种误差,因此在实际应用时一定要尽可能选择相似降解程度的原油作端元油。

3 以生物标志物比值为计算参数的数学模型

两原油混合时两生物标志物比值的变化比较复杂,其变化趋势呈非线性曲线。在上述单生物标志物含量变化函数关系的论证基础上,可相应推导出其比值变化的函数关系式。

设两端元油油 1 和油 2 中两不同生物标志物为 a 和 b,油 1 和油 2 中它们的绝对含量分别记作为 c_{1a}, c_{1b} 和 c_{2a}, c_{2b} 。当油 2 与油 1 以 $x : (1-x)$ ($0 \leq x \leq 1$) 比例混合时,则混合油中生物标志物 a, b 的含量分别为: $C_a = (c_{2a} - c_{1a})x + c_{1a}, C_b = (c_{2b} - c_{1b})x + c_{1b}$ ($0 \leq x \leq 1$)。此时,两生物标志物的比值 R 为: $R = C_a / C_b = [(c_{2a} - c_{1a})x + c_{1a}] / [(c_{2b} - c_{1b})x + c_{1b}]$;

$$\text{即: } x = (c_{1a} - R c_{1b}) / [R(c_{2b} - c_{1b}) - (c_{2a} - c_{1a})] \quad (4)$$

将式(4)进一步变换可得:

$$\begin{aligned} [X + c_{1b} / (c_{2b} - c_{1b})][R - (c_{2a} - c_{1a}) / (c_{2b} - c_{1b})] \\ = (c_{1a}c_{2b} - c_{2a}c_{1b}) / (c_{2b} - c_{1b})^2 \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)是以 $[-c_{1b} / (c_{2b} - c_{1b}), (c_{2a} - c_{1a}) / (c_{2b} - c_{1b})]$ 为对称中心,以 $K = (c_{1a}c_{2b} - c_{2a}c_{1b}) / (c_{2b} - c_{1b})^2$ 为反比例系数的反比例函数,函数图像为双曲线。这样利用式(4)或式(5),根据某两生物标志物在端元油中的原始绝对含量和在混合油中的比值,可求得两端元油的混合比例。这是采用生物标志物比值参数计算混源油油源贡献率的另一数学公式。

为便于讨论,若设定 $c_{2a}/c_{2b} > c_{1a}/c_{1b}$ (即油 2 中某生物标志物比值高于油 1),根据函数对称中心、反比例系数数学性质及端元油实际情况,式(4)或式(5)的图解即为图 4 中两实线所示。现讨论原油发生生物降解作用时,上述函数的变化情形。设生物降解后相同端元油油 2 和油 1 中生标物 a, b 的含量分别为 c'_{2a}, c'_{2b} 和 c'_{1a}, c'_{1b} 。如前文所述,生物降解后生物标志物绝对含量增高,即 $c'_{2a} > c_{2a}, c'_{2b} > c_{2b}, c'_{1a} > c_{1a}, c'_{1b} > c_{1b}$ 。但对于抗生物降解作用强的生物标志物而言,可近似认为原油中其比值不受生物降解影响,即 $c'_{2a}/c'_{2b} = c_{2a}/c_{2b}, c'_{1a}/c'_{1b} = c_{1a}/c_{1b}$ 。现设遭受生物降解的端元油油 2 和

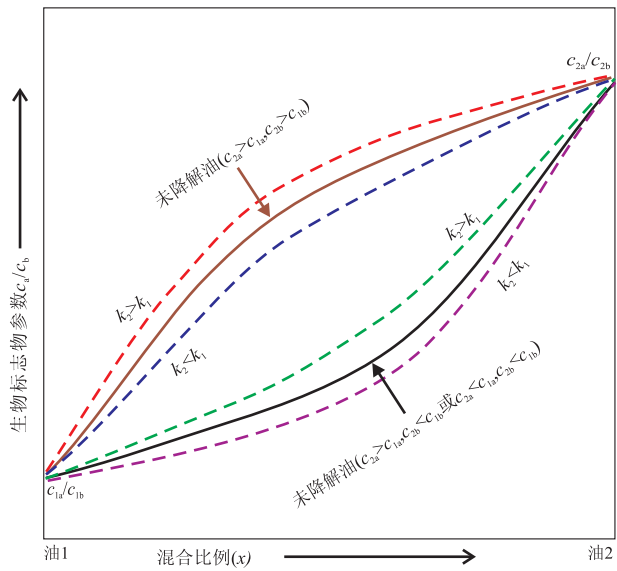


图 4 生物降解油混合时生物标志物参数随混合比例的可能变化模型

Fig. 4 The model on biomarkers ratio and the mixed proportion of biodegraded mixed-source oils

油 1 中相关生物标志物绝对含量分别比未降解油 2 和油 1 增加 k_2 和 k_1 倍,那么,混合降解油中此生物标志物比值变化的函数式为:

$$\begin{aligned} [X + k_1 c_{1b} / (k_2 c_{2b} - k_1 c_{1b})][R - (k_2 c_{2a} - k_1 c_{1a}) / \\ (k_2 c_{2b} - k_1 c_{1b})] = k_1 k_2 (c_{1a}c_{2b} - c_{2a}c_{1b}) / \\ (k_2 c_{2b} - k_1 c_{1b})^2 \end{aligned} \quad (6)$$

此时函数图像的对称中心为: $[-k_1 c_{1b} / (k_2 c_{2b} - k_1 c_{1b}), (k_2 c_{2a} - k_1 c_{1a}) / (k_2 c_{2b} - k_1 c_{1b})]$,反比例系数 $K' = k_1 k_2 (c_{1a}c_{2b} - c_{2a}c_{1b}) / (k_2 c_{2b} - k_1 c_{1b})^2$ 。

现讨论 k_1, k_2 不同时,该函数及其图像的变化情况:1)当 $k_1 = k_2$,即油 1 和油 2 遭受同等程度的生物降解情况下,可推导出生物降解前后该函数的对称中心和反比例系数都没有变化,式(6)与式(5)完全相同,因而此时原油的生物降解作用对其油源贡献率的计算没有影响;2)当 $k_1 > k_2$ 或 $k_1 < k_2$,即油 1 和油 2 遭受不同程度的生物降解情况下,则该函数图像的对称中心和反比例系数都将发生变化。根据原油中生物标志物含量的相对变化和函数图像随对称中心和反比例系数发生的相对位移关系,可推导出如图 4 所示的图像变化情况。

从图 4 可看出,当端元油 2 中 a, b 生物标志物绝对含量都高于端元油 1,且遭受生物降解后端元油 2 中生标物含量的增加倍数大于端元油 1 时,若用未降解或降解程度较低的原油混合配比的实验结果来计算严重生物降解油的油源贡献率,那么将

高估生物标志物比值参数高的原油油源贡献率;反之,若用降解原油混合配比实验结果来计算未降解油各油源贡献率,则会低估生标物比值参数高的原油油源贡献率。当端元油 2 中 a,b 生物标志物含量都高于端元油 1,但遭受生物降解后端元油 2 中生标物含量的增加倍数小于端元油 1 时,若用未降解或降解程度较低的原油混合配比的实验结果来计算严重生物降解油的油源贡献率,那么将低估生标物比值参数高的原油油源贡献率;反之,若用降解原油混合配比实验结果来计算未降解油油源贡献率,则会高估生标物比值参数高的原油油源贡献率。因此为了减少这种误差,实际应用时也应尽可能选相似降解程度的原油作端元油。当端元油 2 中 b 生物标志物含量小于端元油 1 时,用不同降解程度油作端元油,同样也可造成类似的计算误差。

4 计算实例与应用方法

为了用实验数据证实生物降解作用对混源油油源贡献率的影响,本研究以由渤海海域东营组与沙一段为油源组成的混源油为例,阐明用降解与未降解油作端元油所产生的计算误差。依据原油的生物标志物组成与分布情况,本研究分别选取了 CFD12-1S-2, QHD35-4-1 井原油为东营组油源端元油, LD10-1-2, BZ19-4N-2D 井原油为沙一段油源端元油。其中 CFD12-1S-2, LD10-1-2 原油为未降解油,而 QHD35-4-1, BZ19-4N-2D 为降解油。下面以伽马蜡烷绝对含量作参数,用这两组端元油计算 BZ19-4N-1 井混源油(生物降解)的混合比例。这些原油的伽马蜡烷含量列于表 2。

以 CFD12-1S-2 和 LD10-1-2 未降解油分别作东营组和沙一段油源端元油,按式(2)计算得两者在 BZ19-4N-1 井混源油中的贡献率分别为 22% 和 78%。而以 QHD35-4-1 和 BZ19-4N-2D 降解油为相应端元油,用式(3)进行计算,

表 2 混源油混合比例计算参数

Table 2 Parameters for mixed proportion calculation of mixed-source oils

地区	井号	原油类型	井段/m	降解情况	伽马蜡烷含量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
渤中	BZ19-4N-1	Ed/Es ₁	1 709.5~1 711.5	降解	333
沙垒田	CFD12-1S-2	Ed	2 094~2 108	未降解	96
石臼坨	QHD35-4-1	Ed	1 586~1 600	降解	146
辽西	LD10-1-2	Es ₁	1 549~1 570	未降解	399
渤中	BZ19-4N-2D	Es ₁	1 940~1 955	降解	453

则得两油源的贡献率分别为 39% 和 61%。从这些计算结果不难看出,对于混源生物降解油来说,如果用未降解油作端元油且以生物标志物绝对含量为参数进行油源贡献率计算的话,便高估了伽马蜡烷含量较高的沙一段油源的贡献率,与前文提出的数学模型相一致。因而,在这种情况下,应采用降解油作端元油的计算结果。

前已指出,应用生物标志物比值作混源生物降解油各油源贡献率计算参数时,在 2 种端元油降解程度相同的情况下,其计算结果不受生物降解作用影响,即用降解油和未降解油作端元油得到的计算结果相同。这是用生物标志物比值为计算参数不同于生物标志物绝对含量的一个优越性。但另一方面,用生物标志物比值作计算参数也存在一定的缺陷,从图 1 可观察到,在混合油中生物标志物比值在整个混合比例变化范围内变化幅度相差很大。在接近某一端元油(如图 1 右侧的油)时,变化曲线很平缓,此时若生物标志物比值稍有误差就会导致所计算的结果变化较大。在这点上,该方法不及生物标志物绝对含量作参数的计算结果。

如前所叙,当两端元油的降解程度不一致时,若不采用相应降解水平的原油作端元油,将影响计算结果的正确性。然而,在实际应用中鉴别混源生物降解油的 2 种端元油降解程度是否一致是非常困难的,只有一种特例在实践中可能遇见,这就是先期生物降解油藏中注入了后期正常原油的情况,在这种混源油中,其正构烷烃系列分布完整,而生物标志物中含有 25-降藿烷系列化合物。由于本次分析的原油中没有这种现象,因而无法以此为例说明上述认识。

参考文献:

[1] PETERS K E, CLUTSON M J, ROBERTSON G. Mixed marine and lacustrine input to an oil-cemented sandstone breccia from Brora, Scotland[J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30(4): 237-248.

[2] DZOU L I, HOLBA A G, RAMON J C, et al. Application of new diterpane biomarkers to source, biodegradation and mixing effects on Central Llanos Basin oils, Colombia[J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30(7): 515-534.

[3] PETERS K E, MOLDOWAN J M, DRISCOLE A R, et al. Origin of Beatrice oil by co-sourcing from Devonian and Middle Jurassic source rocks, Inner Moray Firth, United Kingdom[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(4): 454-471.

[4] 黄第藩,李晋超,张大江. 克拉玛依油田形成中石油运移的地球化学[J]. *中国科学 B 辑*, 1989, 19(2): 199-206.

5 494.0 m,为干层。而根据 QGF—E 荧光强度分析,5 459.3 m (S_{1k})层段为 S110 井可能残余油层段。该处样品 QGF 显示有油气包裹体捕获,光谱分析该处的油气包裹体类型应以轻质油为主。

根据 QGF—E 荧光强度分析,6 091.67 m (O_{3l})层段为 S110 井可能残余油层段。QGF 检测显示该样品中油气包裹体丰度最高,早期可能有大量油气充注,光谱分析该处的油气包裹体类型应以轻质油为主。奥陶系良里塔克组录井发现 4 层油迹,合计厚度 13.6 m,良里塔克组测井解释 II 类储层 1 层,厚度 6.5 m。

根据 QGF—E 荧光强度分析,6 256.4 m (O_{2y})层段为 S110 井可能残余油层段,QGF 检测显示该样品中油气包裹体丰度较低。一间房组发现油斑 3 层,合计厚度 53.18 m。一间房组测井解释 I 类储层 3 层,厚度 15.5 m,II 类储层 3 层,厚度 67.0 m,III 类储层 2 层,厚度 58.0 m。

根据 QGF—E 荧光强度分析,6 327.22 m (O_{1-2y})~6 350.7 m(O_{1-2y})层段为 S110 井主力产油层段,QGF 检测显示该样品中油气包裹体丰度较低。奥陶系鹰山组录井发现 9 层油气显示层,其中含油 1 层,厚度 3.87 m,油斑 5 层,合计厚度 16.52 m,油迹 3 层,合计厚度 4.99 m。

4 结论

QGF—E, QGF 技术是一种只需使用少量样品,能快速探测储层颗粒中油包裹体和颗粒表面吸

附烃,从而反映储层中油气包裹体丰度及油气的性质,识别油气运移通道和储层的有效手段^[6],这种分析技术相对经济并且不破坏样品。

QGF—E, QGF 技术在塔河地区 S110 井进一步分析应用表明,下志留统柯坪塔格组,奥陶系良里塔克组、一间房组为残余油层,鹰山组为油气储集层。另外样品 QGF 检测出的包裹体丰度与颗粒外吸附烃相关性不大,这可能跟储层岩性特征,油气充注速率和时间,油气性质及油气运移、聚集及演化有关系。

参考文献:

[1] 李素梅,庞雄奇,刘可禹,等. 一种快速检测油包裹体的新方法:颗粒包裹体烃定量荧光分析技术及其初步应用[J]. 石油实验地质,2006,28(4):386—390.

[2] LIU K, EADINGTON P. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge history[J]. Organic Geochemistry, 2005,36(6): 1023—1036.

[3] LIU K, FENTON S, BASTOW T, et al. Geochemical evidence of multiple hydrocarbon charge and long distance oil migration in the Vulcan Sub-basin[J]. Timor Sea, 2005, 45:1—18.

[4] 钱一雄,陈跃,马宏强,等. 新疆塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶洞、裂隙中方解石胶结物元素分析与成因[J]. 沉积学报, 2004,22(1):6—12.

[5] 康玉柱. 中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M]. 北京:地质出版社,1996:3—151.

[6] 陈东霞,庞雄奇,张俊,等. 应用定量颗粒荧光技术研究岩性油气藏的隐蔽疏导通道[J]. 地质学报,2007,81(2):250—254.

(编辑 黄娟)

~~~~~  
(上接第 200 页)

[5] 梁狄刚,黄第藩,马新华,等. 有机地球化学研究新进展[M]. 北京:石油工业出版社,2002:253—257.

[6] 王培荣,何文祥,席小应,等. 珠三坳陷油源及油气二次运移方法研究[C]//荆州:江汉石油学院地球化学研究中心,1999.

[7] 王文军,宋宁,姜乃煌,等. 未熟油与成熟油的混源实验、混源理论图版及其应用[J]. 石油勘探与开发,1999,26(4): 34—37.

[8] CHEN J P, DENG C P, TANG D G, et al. Mixed oils derived from multiple source rocks in the Cainan Oilfield, Junggar Basin, Northwest China. Part II: Artificial mixing experiments on typical crude oils and quantitative oil—source correlation [J]. Organic Geochemistry, 2003, 34 (7): 911—930.

[9] 李素梅,庞雄奇,姜振学,等. 东营凹陷岩性油气藏混源相对贡献及石油地质意义[J]. 石油实验地质,2009,31(3): 262—269.

[10] 李水福,何生,张刚庆,等. 混源油研究综述[J]. 地质科技情报,2008,27(1):77—79.

[11] 常象春,林玉祥,郭海花,等. 混合原油的地球化学特征及成藏贡献率[J]. 地质科技情报,2007,26(2):75—80.

[12] 梁宏斌,张敏,王东良,等. 冀中坳陷苏桥—文安地区混源油定量识别模式研究:典型原油混合实验及混源油识别模式[J]. 沉积学报,2004,22(4):689—693.

[13] 王铁冠,王春江,何发岐,等. 塔河油田奥陶系油藏两期成藏原油充注比例测算方法[J]. 石油实验地质,2004,26(1):74—80.

[14] 陈建平,邓春萍,宋孚庆,等. 用生物标志物定量计算混合原油油源的数学模型[J]. 地球化学,2007,36(2): 205—214.

[15] 姜培海,杨波,郑泽忠,等. 渤海海域第三系油气成藏特征[J]. 油气地质与采收率,2003,10(4):16—19.

[16] 宋孚庆,张大江,王培荣,等. 生物降解混源油混合比例估算方法[J]. 石油勘探与开发,2004,31(2):67—70.

(编辑 徐文明)