

文章编号:0253-9985(2008)04-0511-06

三维荧光分析技术在东濮凹陷西斜坡油源分析中的应用

邹伟^{1,2}

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083; 2. 中国地质大学,北京 100083)

摘要:采用三维荧光分析方法,结合芳烃馏分分析结果,对胡庆油田油藏中原油、油砂和烃源岩展开了对比研究。研究结果表明,油藏中原油和油砂的三维荧光光谱具有5种类型,烃源岩存在3种类型光谱特征,所有油藏的主波长低于Type C类烃源岩,而高于Type A和Type B类烃源岩。因此确定,广泛分布于胡庆油田二台阶不同断块带的原油是早期成烃旋回期间低成熟、成熟原油混合的结果。

关键词:三维荧光;指纹技术;油源;胡庆油田;东濮凹陷

中图分类号:TE135 **文献标识码:**A

Application of the 3-D fluorescence fingerprint technology to the analysis of oil sources in the western slope of the Dongpu Depression

Zou Wei^{1,2}

(1. SINOPEC Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: A correlative study was carried out on the crude, oil sands, and source rocks in Huqing oilfield by adopting the 3D fluorescence analysis method and integrating the analysis result of aromatic fractions of crude oil. The result shows that crudes in Huqing oilfield can be divided into 5 types and the source rocks can be classified into 3 types according to their spectrum characteristics. The dominant fluorescence wavelengths of the crude oil samples from all the reservoirs are lower than that of the type C source rocks, but higher than that of the type A and type B source rocks. It is therefore suggested that crudes widely distributed in various fault blocks of Huqing oilfield are the mixture of low-mature and mature oil generated during the early hydrocarbon generating cycle.

Key words: 3-D fluorescence spectrum; fingerprint technology; oil source; Huqing area; Dongpu Depression

三维荧光光谱是20世纪80年代发展起来的一种新的分析技术,它主要用于测定含芳烃类的物质,是测试芳烃类组分分布和浓度的有效手段^[1-6]。芳烃的环数愈多,其荧光的发射波长愈长。原油和生油岩中芳烃组分一般占总烃的10%~45%,由数百种化合物组成。因此,利用三维荧光指纹图谱特征,可以进行油-源和油-油对比^[7-9]以及油气运移研究^[10-12]。但这些研究,主要是单纯地基于特征荧光指纹的研究,缺少与之相对应的芳烃成分组成的对比研究,没有从芳烃

组成的角度对荧光光谱特征指纹进行必要的限定。

胡庆油田断阶带位于东濮凹陷西斜坡,钻探成果显示该区具有良好的勘探前景。但由于研究手段的限制,尤其是油源问题尚未得到解决,从而影响了该区的油气勘探开发进度。本文首次对胡庆油田油藏中原油、油砂和烃源岩的三维荧光光谱、芳烃馏分进行了对比研究,以期揭示油藏中油气的来源和成藏,为油气聚集方向分析与勘探部署提供可靠的地质依据。

收稿日期:2008-05-26。

作者简介:邹伟(1970—),男,高级工程师、博士后,石油地质。

1 原油和油砂的三维荧光光谱特征

样品来自于东濮凹陷西部斜坡带上的胡庆油田,样品类型有原油、油砂和代表性烃源岩。所有样品的三维荧光测试分析,由中国地质大学荧光光谱实验室完成。通过对原油和油砂的67个样进行三维荧光分析测试(图1),建立荧光光谱类型与油砂和原油的芳烃馏分相对含量映射关系(表1),据此将胡庆油田油藏中的原油和油砂分为5种光谱类型。

1) Type 1

该类型的原油,其激发波长小于270 nm,发射波长为367.9~377.4 nm。荧光强度主峰尖度 $K=0.01$;主、次峰荧光强度比值小于1.2,峰值不明显(图2)。芳烃馏分以含两种以上馏分为主,各馏分含量差别不大。对于三环芳烃及其同系物,其荧光光谱的激发波长和发射波长分别为252~272 nm和350~424 nm^[2]。Type 1油藏中的芳烃可能主要为三环芳烃及其同系物。这类原油成熟度中等,芳香甾烷发育,只在胡庆油田二台阶深切三级断层附近发现,属于油气运移通道残留油,不具代表性。

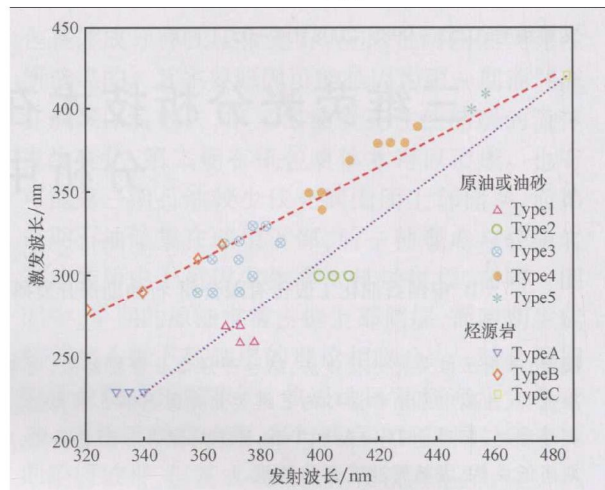


图1 油藏与烃源岩发射波长-激发波长散点图

Fig. 1 Scatter diagram of emission wavelength and excitation wavelength of crudes and source rocks

2) Type 2

该类型的原油,其发射波长位于400.9~410.4 nm,激发波长为300 nm,激发波长与发射波长差别很大(图3)。荧光强度主峰尖度 $K=0.01 \sim 0.02$;主、次峰荧光强度比值为1.0~4.5,除H5-62外,其余样品的主、次峰荧光强度比值介于1.00~1.43间。

表1 不同原油的芳香烃化合物与三维荧光特征的相关性(%)

Table 1 Correlation of aromatic compounds and 3-D fluorescent features of different crudes

名称	Type 2			Type 3		Type 4			Type 5	
	Q21-5	QC29	Q93	H109	H7-84	H108	H108-1	H122	Q11	H12-106
二环芳烃	36.33	29.74	35.32	14.79	25.73	40.04	14.57	23.80	12.42	49.78
三环芳烃	14.08	27.06	14.80	42.86	21.79	39.36	57.45	23.48	30.13	15.71
四环芳烃	2.45	4.47	2.65	41.91	4.09	14.46	25.43	4.81	7.48	2.53
三芳甾烷	39.33	31.40	40.13	0.00	42.18	0.38	1.21	45.06	45.47	24.81

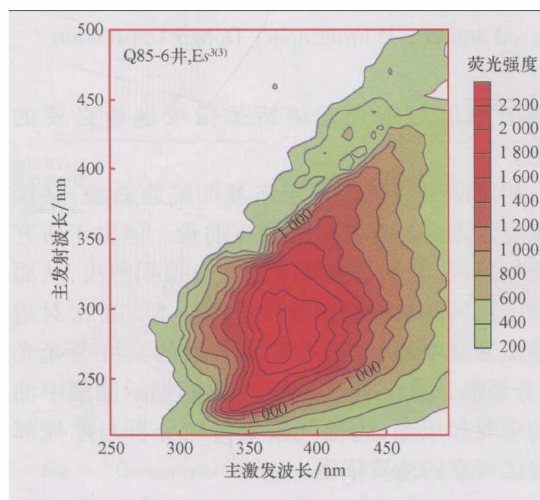


图2 Type 1型原油三维荧光图谱

Fig. 2 3-D fluorescent spectrum of Type 1 crude

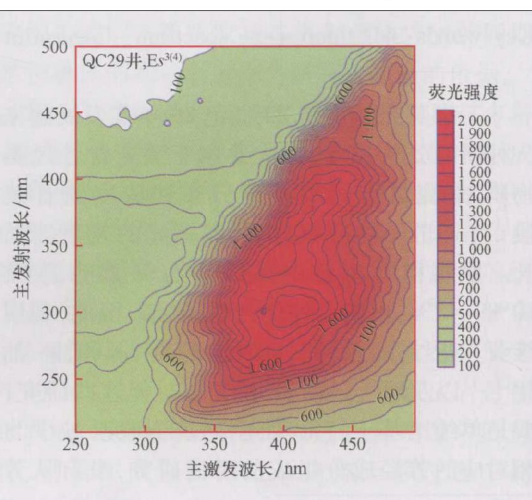


图3 Type 2型原油三维荧光图谱

Fig. 3 3-D fluorescent spectrum of Type 2 crude

3) Type 3

该类型的原油,其发射波长位于 360 ~ 390 nm,激发波长为 290 ~ 330 nm,激发波长与发射波长差别不大(图 1;表 1)。H96 块原油成熟度较高,荧光强度主峰尖度 $K=0.07$;其他断块区原油成熟度中等,荧光强度主峰尖度 $K=0.01 \sim 0.02$,主、次峰荧光强度比值为 1.0 ~ 1.4(图 4)。

4) Type 4

该类型的原油,其发射波长位于 390 ~ 435 nm,激发波长为 330 ~ 390 nm,激发波长与发射波长差别不大。荧光强度主峰尖度 $K=0.02 \sim 0.08$,主、次峰荧光强度比值为 1.0 ~ 4.5(图 5)。

5) Type 5

该类型的原油,其发射波长大于 450 nm,激发波长大于 400 nm,激发波长与发射波长差别不大(图 6)。

2 烃源岩样品的三维荧光光谱特征

分不同地区采集深色泥岩样本 18 份,进行三维荧光分析。根据相对荧光强度的主峰位置,将研究区烃源岩的荧光光谱类型分为 3 种(表 2)。

1) Type A

该类型烃源岩三维荧光光谱的发射波长小于 330.2 ~ 339.6 nm,激发波长均为 230 nm;荧光强度主峰尖度 $K=0.01 \sim 0.05$,主、次峰荧光强度比值为 1.0 ~ 2.0,峰值变化大(表 2)。典型的二环芳烃及其同系物荧光光谱的激发波长和发射波长分别在 230 nm 和 342 nm 附近^[2]。该类烃源岩的激发波长和发射波长与典型的二环芳烃及其同系物十分相近,表明该类烃源岩芳烃馏分以二环芳烃及其同系物为主。色-质分析表明,烃源岩成熟度为中等-成熟。Type A 烃源岩的三维荧光光谱特征指纹如图 7 所示,除了有一个明显的主峰 T_1 外,在其右正上方存在另一个次主峰 T_3 。该类烃源岩层位包括 $Es^{3(4)}$, $Es^{3(3)}$ 与 $Es^{3(2)}$ 。

2) Type B

该类型烃源岩的三维荧光光谱的发射波长小于 320 ~ 380 nm,激发波长均为 280 ~ 320 nm;荧光强度主峰尖度 $K=0.02 \sim 0.09$,主、次峰荧光强度比值为 2.6 ~ 13.5,峰值明显(表 2)。三维荧光光谱的特征指纹如图 8 所示,除了存在一个明显的

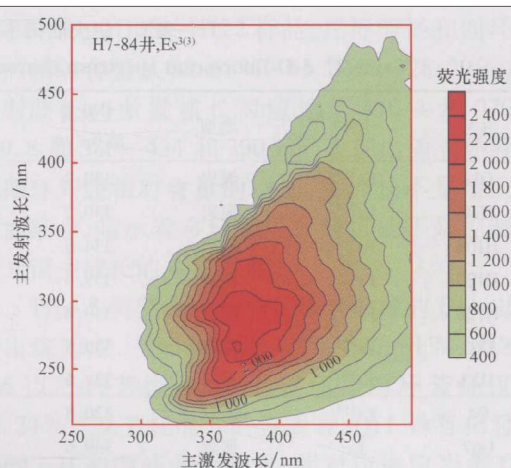


图4 Type 3 型原油三维荧光图谱

Fig. 4 3-D fluorescent spectrum of Type 3 crude

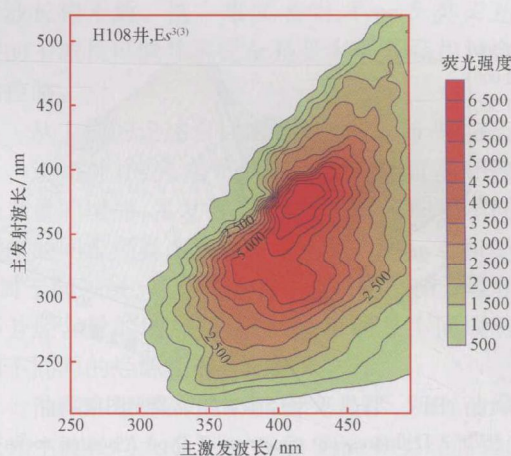


图5 Type 4 型原油三维荧光图谱

Fig. 5 3-D fluorescent spectrum of Type 4 crude

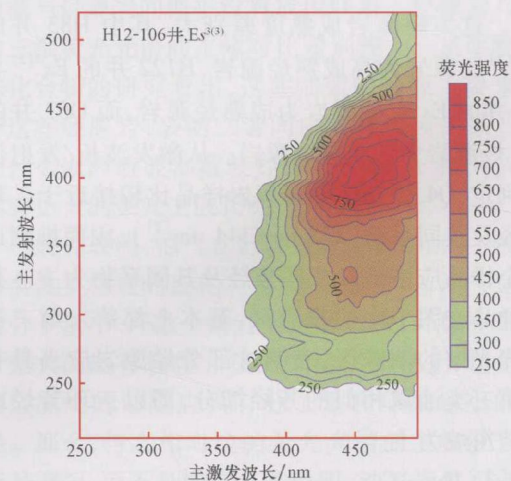


图6 Type 5 型原油三维荧光图谱

Fig. 6 3-D fluorescent spectrum of Type 5 crude

表2 胡庆油田不同源岩的三维荧光光谱特征

Table 2 3-D fluorescent spectrum characteristics of different source rocks in Huqing oilfield

井号	层位	类型	主发射 波长/nm	主激发 波长/nm	荧光强度 主峰值	主峰尖度	主、次峰 荧光强度比	三维荧光 光谱类型
Q11	Es ³⁽⁴⁾	泥岩	330.2	230	1 211.0	0.02	2.06	Type A
H40	Es ³⁽⁴⁾	泥岩	330.2	230	585.6	0.01	1.32	
H108	Es ³⁽³⁾	泥岩	334.9	230	1 556.4	0.05		
H120	Es ³⁽⁴⁾	泥岩	339.6	230	2 650.1	0.05	1.03	
H120	Es ³⁽⁴⁾	泥岩	339.6	230	1 163.7	0.02	1.17	
Q63	Es ³⁽⁴⁾	泥岩	339.6	230	1 277.0	0.02	1.37	
H25	Es ³⁽²⁾	泥岩	339.6	230	972.3	0.02	1.30	
Q4	Es ³⁽⁴⁾	泥岩	320.8	280	1 086.9	0.02	3.64	Type B
Q67	Es ¹	泥岩	339.6	290	4 530.2	0.06	13.47	
H122	Es ³⁽²⁾	泥岩	358.5	310	6 462.1	0.09	2.61	
H83	Es ³⁽²⁾	泥岩	367.9	320	6 585.3	0.08	7.22	
H81	Es ¹	泥岩	485.8	420	1 781.6	0.05		Type C

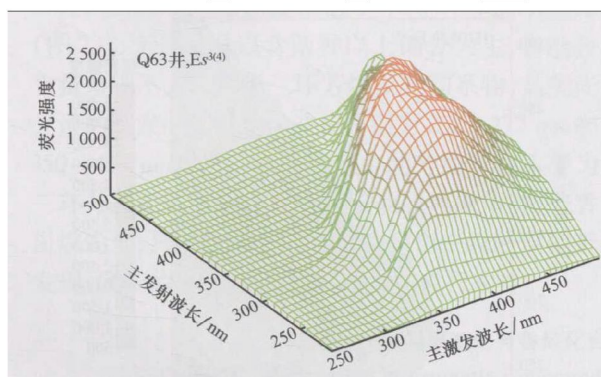


图7 Type A型烃源岩三维荧光图谱

Fig. 7 3-D fluorescent spectrum of Type A source rocks

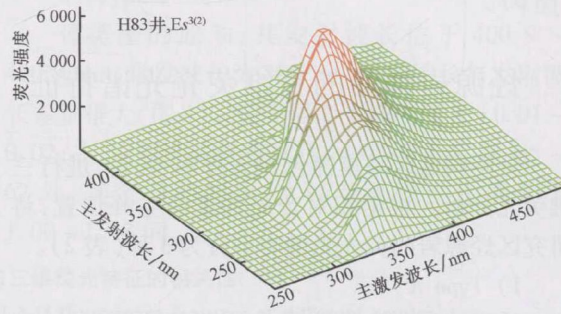


图8 Type B型烃源岩三维荧光图谱

Fig. 8 3-D fluorescent spectrum of Type B source rocks

主峰 T_1 外,还在其右上方和左上方分别存在两个 T_2 和 T_3 峰。烃源岩层位包括 $Es^{3(4)}$, $Es^{3(3)}$, $Es^{3(2)}$ 与 Es^1 。这类烃源岩成熟度差别大,其中 H83 井的 $Es^{3(3)}$ 烃源岩为高成熟烃源岩, H122 井的 $Es^{3(2)}$ 与 Q4 井的 $Es^{3(4)}$ 烃源岩为成熟烃源岩,而 Q67 井的 Es^1 烃源岩为低成熟烃源岩。从激发波长/发射波长判定, Q4 与 Q67 井烃源岩样品比较接近于二环芳烃及其同系物 ($275\text{ nm}/344\text{ nm}^{[2]}$), 因而推测这两个样品应当是以二环芳烃及其同系物为主。其余样品在图 1 中的投点区,基本上都落入第三类荧光光谱的油藏区,表明这部分烃源岩应当具有与第三类油藏相似的芳烃馏分,即以三环芳烃或三芳甾烷为主。

3) Type C

该类型烃源岩以 H81 井为代表,烃源岩来自 Es^1 泥岩。其发射波长为 485.8 nm , 激发波长为

420 nm ; 荧光强度主峰尖度 $K = 0.05$, 峰值明显 (表 2)。三维荧光光谱的特征指纹如图 9 所示,除了存在一个明显的主峰 T_1 外,还在其右正上方存在一个 T_3 峰。该类烃源岩在图 1 中的投点与 Type 5 类油藏的投点较接近,表明该类烃源岩的芳烃馏分可能主要以三芳甾烷或二环芳烃为主。烃源岩色-质分析表明, H81 井 Es^1 烃源岩为未成熟烃源岩,从成熟度限定了该烃源岩不可能以二环芳烃为主,更可能是以三芳甾烷为主。

综上所述,研究区烃源岩存在 3 种类型。Type A 和 Type B 的激发波长与发射波长比原油中明显要短,发射波长小于 380 nm , 位于 $320 \sim 380\text{ nm}$, 以三环芳烃 (或三芳甾烷) 和二环芳烃为主。Type C 的发射波长和激发波长明显高于所有油藏的激发波长和发射波长; 芳烃馏分可能主要以三芳甾烷为主。所有烃源岩的三维荧光特征指纹图,与油藏中原油或油砂的有明显的区别。

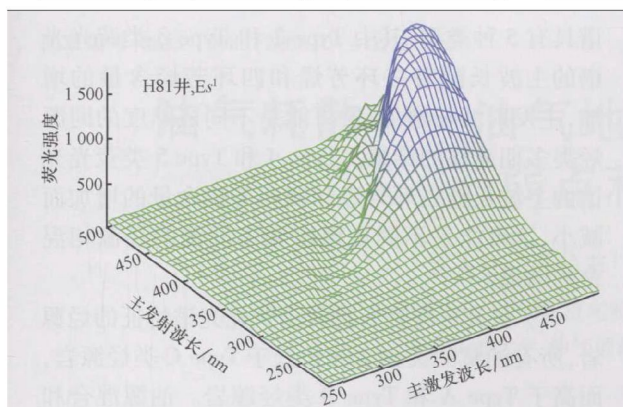


图9 Type C型烃源岩三维荧光图谱

Fig. 9 3-D fluorescent spectrum of Type C source rocks

3 讨论

研究表明,低环数芳烃含量越高,荧光光谱的主波长越短;相反,高环数芳烃含量越高,荧光光谱的主波长越长。

Type 2类荧光光谱的油藏中,芳烃馏分的相对含量为三芳甾烷>二环芳烃>三环芳烃,代表性样品中QC29, Q93, Q21-5的三环芳烃和四环芳烃相对含量分别为31.53%, 17.45%和16.53%。随着三环芳烃和四环芳烃相对含量的减少,激发波长保持不变,主发射波长从410.4—405.7—400.9 nm。即随着高环数芳烃含量的增加,主发射波长增加。Type 2原油激发波长一致,均为300 nm,发射波长位于400~410 nm,激发波长与发射波长差别很大,这可能是不同成熟度的同源烃类多期充注造成的。这类原油是胡庆油田的主要类型,广泛分布于胡庆油田二台阶不同断块带,为早期成烃旋回期间低成熟-成熟原油混合的结果。

Type 3类荧光光谱的代表性油藏中, H109中缺少三芳甾烷,主要以三环和四环芳烃为主(84.77%),主发射波长和激发波长分别为372.6和320 nm; H7-84中以三芳甾烷为主,三环芳烃和四环芳烃约占24.88%,主发射波长和激发波长分别为358.5和290 nm。Type 3表现出与Type 2相类似的演变规律,即随着高环数芳烃含量的增加,主发射波长增加,这可能也是不同成熟度的同源烃类多期充注的结果。

Type 4类荧光光谱的代表性油藏中,从

H108-1—H108—H122样品,三环芳烃和四环芳烃的相对含量从92.88%—53.83%—28.29%,主发射波长和激发波长对应地从410.4和370—419.8和380—434和390 nm,表现出随三环芳烃和四环芳烃相对含量的增加,主波长不是增大反而而减小,暗示着多环芳烃含量可能不是控制荧光光谱主波长的主控因素。

Type 5类荧光光谱的代表性油藏的Q11以三芳甾烷为主,三环和四环芳烃占37.61%; H12-106以二环芳烃为主,而三环和四环芳烃仅占18.24%。从芳烃馏分的组成看, Q11具有相对较高的三环和四环芳烃含量,相对应地应当是Q11的荧光光谱具有相对较长的主波长。这与实际观测到的H12-106具有相对较大的发射波长和激发波长相矛盾。这一事实表明, Type 5类荧光光谱的主波长可能并不完全是受多环芳烃相对含量的控制。

从上面的论述可以看出, Type 2和Type 3属于一组,它们的荧光光谱的主波长随着高环数芳烃含量的增加,主发射波长增加,这可能是不同成熟度的同源烃类多期充注的结果。Type 4和Type 5属于同一组,荧光光谱的主波长随三环芳烃和四环芳烃含量的增加而减小,这可能是不同成熟度和不同源的烃源相混合的结果。

油藏和烃源岩的对比研究显示,所有油藏的荧光主波长均大于Type A和Type B类烃源岩(表2),而小于Type C类烃源岩,油藏内原油和油砂与烃源岩的特征指纹也不相同。从表面上看来,油藏与烃源岩间似乎没有成因联系。烃源岩与油的三维荧光光谱的主峰对比差别较大。从生物标志化合物的研究看出,这些油藏的油源主要来自于这些烃源岩,表明二者间应具有成因关系。那是什么原因造成油藏较烃源岩Type A和Type B具有更大的荧光主波长呢?

研究表明,油气在运移过程中,荧光的主波长将会发生明显的变化^[10-12]。一般来讲,油气运移时分子量小、环数少的芳烃运移较快,环数多和分子量大的运移较慢。在油气运移路径上,越是远离烃源灶的油藏应具有分子量和环数越小的芳烃。那么,与之相对应的荧光光谱的主峰波长应当是缩短,而不是增加。这说明,油气运移可能不是造成油藏三维荧光主波长较Type A和Type B类烃源岩主波长长的根本原因。Type C类烃源岩

的荧光主波长较油藏的大。如果是来自于 Type C 类烃源岩的油藏,在运移过程中会造成油藏三维荧光主波长减小。但值得注意的一个事实就是,Type C 类烃源岩为低成熟,而油藏大多具有成熟或低成熟-成熟特征。由此也表明,油藏中的油不可能仅是来自于 Type C 类烃源岩,相应地运移也不是造成油藏荧光主波长低于 Type C 类烃源岩的直接原因。从前面的分析,使我们排除了油气运移对研究区荧光主波长会产生重要的影响。但是,如果油气在运移过程中发生分离和逸散,则有可能造成主荧光波长的增大。油气是从高势区向低势区方向运移,在运移路径中,随着埋深的减小,压力降低,低分子量和低环数的芳烃从油藏中快速逸出,在残留的油藏中保留下高分子量和高环数的芳烃,从而可使油藏的荧光主波长增大。

另一方面,如果将这些烃源岩与油藏中原油和油砂的主发射波长、激发波长均投入图1中,可以看出,Type 3 的一部分、Type 4 和 Type 5 类荧光光谱的原油和油砂大致位于 Type B 与 Type C 类荧光光谱的烃源岩的连线上,而 Type 1, Type 2 类和部分 Type 3 类的荧光光谱的原油和油砂大致位于 Type A 与 Type C 类荧光光谱的烃源岩的连线上(图1)。由此推测,部分 Type 3, Type 4 和 Type 5 类原油和油砂中的烃源,可能为来自 Type B 类烃源和低成熟的 Type C 类烃源相混合的结果,从而也可使这类油藏的主峰波长明显地高于 Type B 而低于 Type C 的主峰波长。而 Type 1, Type 2 和部分 Type 3 类油藏,则可能是 Type A 与 Type C 类油源相混合的结果,从而使它们的荧光光谱主波长明显地高于 Type A 而低于 Type C 类烃源岩。这也与生物标志化合物的研究成果大致相吻合,即研究区油藏具有混源或不同成熟度的原油相混合的特征。

上面的分析表明,油源混合和油藏运移过程中的逸散,可能会导致油藏的荧光主波长明显地高于 Type A 和 Type B 类烃源岩,而低于 Type C 类烃源岩。

4 结论

1) 研究区油藏中原油和油砂的三维荧光光

谱具有5种类型,其中 Type 2 和 Type 3 类荧光光谱的主波长随着三环芳烃和四环芳烃含量的增加,主发射波长增加,这可能是不同成熟度的同源烃类多期充注的结果。Type 4 和 Type 5 类荧光光谱的主波长随三环芳烃和四环芳烃含量的增加而减小,这可能是不同成熟度和不同源的烃源相混合的结果。

2) 研究区存在3种类型荧光光谱特征的烃源岩,所有油藏的荧光主波长低于 Type C 类烃源岩,而高于 Type A 和 Type B 类烃源岩。油源混合和油藏运移过程中的逸散,可能会导致油藏的荧光主波长明显地高于 Type A 和 Type B 类烃源岩,而低于 Type C 类烃源岩。因此确定,广泛分布于胡庆油田二台阶不同断块带的原油是早期成烃旋回期间低成熟、成熟原油混合的结果。

参 考 文 献

- 1 张学洪. 三维荧光光谱测试方法及其在油气化探中的应用[J]. 桂林工业学院学报, 1995, 15(2): 171~180
- 2 宋继梅, 吴杰颖, 王凌峰. 荧光分析方法在油气化探中的应用[J]. 物探与化探, 2002, 26(5): 347~349
- 3 汤玉平, 刘运黎, 赵耀伟, 等. 川西地区浅、中层天然气藏化探判别模型[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 530~536
- 4 何文琪, 路文初, 侯镜德. 三维荧光与油气化探[J]. 物探与化探, 1994, 18(6): 422~425
- 5 Brooks J M, Kennicutt M C. Three scanning fluorescence, Technical Report No1 [R]. Department of Oceanography, Texas A & M University, 1984
- 6 程军, 刘崇禧. 油气垂向微运移的证据及特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 236~240
- 7 李武, 雍克岗. 三维荧光光谱指纹技术应用研究[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(4): 32~34
- 8 侯镜德, 吴清洲, 陈汉林. 采用三维荧光光谱法进行塔里木盆地原油-源岩的对比研究[J]. 浙江大学学报, 1996, 30(6): 610~617
- 9 宋书君, 李献甫, 费琪. 三维荧光分析技术在东营凹陷丁家屋子油源分析中的应用[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 469~473
- 10 陈银节, 缪九军, 张宗元. 三维荧光光谱的油气指示意义[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 69~72
- 11 汤玉平, 唐艳玲, 胡斌, 等. 荧光光谱在烃类垂向微运移研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 370~371
- 12 李友川. 荧光方法用于油气运移研究初探[J]. 中国海上油气, 1997, 11(5): 320~324

(编辑 李 军)