

文章编号:1000-0747(2004)05-0017-04

# 鄂尔多斯盆地西峰油田原油含氮化合物 分布特征与油气运移

段毅, 张辉, 吴保祥, 郑朝阳, 王传远

(中国科学院兰州地质研究所)

基金项目:中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-128)

**摘要:**为了给鄂尔多斯盆地西峰油田进一步勘探决策提供油气运移方面的依据,根据对该油田延长组原油的中性含氮化合物研究探讨油气运移问题。结果表明,原油的中性含氮化合物在平面和剖面方向均存在着明显的运移分馏效应,但是长<sub>8</sub>油层组原油中咪唑类化合物的绝对丰度和异构体参数值变化较小,说明该油层组油气经历了短距离运移。根据含氮化合物的运移分馏特征认为,平面上长<sub>8</sub>油层组油气主要从北东方向注入并向南西运移,部分原油从南部西33井地区注入并向北部运移;纵向上长<sub>8</sub>油层组油气由上向下运移,研究区西部长<sub>8</sub>、长<sub>7</sub>和延<sub>8</sub>油层组油气则自下而上从长<sub>8</sub>油层组向延<sub>8</sub>油层组方向运移。这种油气运移方向与研究区流体压力的指向一致。依据油气运移途径推断,该区油气主要来自长<sub>8</sub>段油源层。图5表2参10

**关键词:**鄂尔多斯盆地;西峰油田;含氮化合物;油气运移

中图分类号:TE122.1 文献标识码:A

## 1 样品与分析

西峰油田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡次级构造单元的西南部,为近年发现的大型油田,岩性油藏是油藏的主要类型,岩性圈闭的分布主要受控于沉积微相。因此,目前对西峰油田油藏的研究集中在与储集层有关的沉积相方面,而对烃源岩和原油地球化学研究很少,特别是油气运移的地球化学研究还未见报道。为了给西峰油田进一步勘探决策提供油气运移方面的依据,本文对采集于西峰油田14口井3个层位的原油样品进行了含氮化合物的分析,运用含氮化合物技术研

究西峰油田原油充注点和运移途径。

原油样品采集于西峰油田,采样井井位分布和产层见表1和图1。

原油含氮化合物分离采用两步分析流程(见图2)。咪唑类化合物气相色谱-质谱分析(GC-MS)在Finnigan SSQ710型GC-MS仪器上进行。色谱柱为HP-5型弹性石英毛细管柱(30m×0.25mm i. d.,膜厚0.25μm),氮气作为载气。升温程序:始温80℃,以2℃/min速率升至150℃,然后以3℃/min的速率升至310℃,恒温25min。质谱仪采用多离子检测(MID),电子能量70eV。样品加入5μL氮-苯基咪唑作为内标。

表1 鄂尔多斯盆地西峰油田原油咪唑类化合物组成

井号	层位	深度 (m)	不同咪唑类化合物相对组成(%)					不同异构体相对组成(%)			W (μg/g)
			C	MC	DMC	TMC	BC	1,8-DMC	PSNs	ENs	
镇10-9	延 <sub>8</sub>	1601	2.3	7.7	49.0	40.4	0.6	14.4	63.2	22.4	63.1
镇28	长 <sub>8</sub>	1603	1.2	10.3	51.9	36.0	0.6	13.6	62.7	23.7	84.1
镇11	长 <sub>7</sub>	1637	1.1	9.1	49.5	39.8	0.4	14.2	63.3	22.5	49.3
镇20	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1893	1.5	11.7	51.2	35.1	0.6	12.5	62.8	24.7	110.6
西33-26	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1600	2.1	13.3	51.6	32.3	0.7	12.8	62.0	25.2	143.3
西35	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1328	2.8	14.6	49.8	32.1	0.9	14.0	63.1	22.9	56.1
西39	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1959	1.6	10.9	49.4	37.3	0.8	13.1	63.2	23.7	66.4
西33	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1463	1.3	10.0	49.3	38.6	0.9	11.4	62.1	26.5	77.8
西74	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1660	1.3	10.1	46.9	40.7	1.1	13.1	64.2	22.7	69.7
西27	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1817	2.1	11.6	46.6	38.8	0.9	17.7	64.5	17.7	35.2
西24-24	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1450	1.5	11.4	51.0	35.5	0.7	11.9	61.7	26.4	130.9
庄12	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1539	2.3	12.4	50.1	34.4	0.8	13.1	61.2	25.7	74.7
庄16	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1738	2.2	13.7	52.2	31.2	0.6	11.7	61.7	26.6	126.3
宁4	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>	1095	1.7	10.1	47.5	40.5	0.3	14.9	62.5	22.7	33.5

注:C—咪唑;MC—甲基咪唑;DMC—二甲基咪唑;TMC—三甲基咪唑(A+B+C);BC—苯并咪唑;1,8-DMC—1,8-二甲基咪唑;PSNs—部分屏蔽型;ENs—全暴露型;W—咪唑类化合物总的绝对丰度

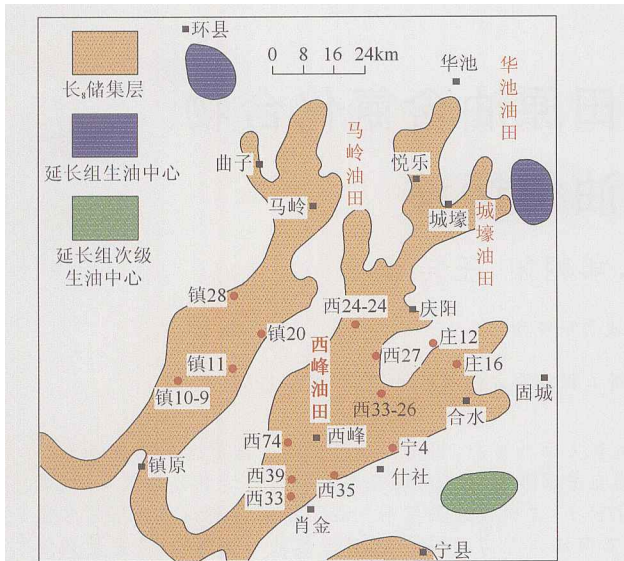


图1 西峰油田取样井井位、长8储集层、延长组生油中心分布

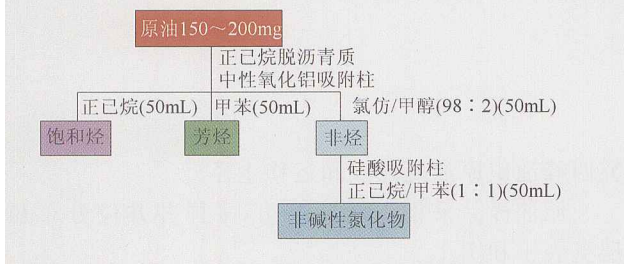


图2 含氮化合物分析流程示意图

## 2 结果与讨论

### 2.1 原油中咪唑类化合物的组成特征

西峰油田原油的咪唑类化合物总含量为 33.5~143.3 μg/g(见表1)。它们主要由咪唑、C<sub>1</sub>—C<sub>3</sub>-咪唑和苯并咪唑系列组成,并且以二甲基咪唑系列为主(占47.5%~52.2%),其次为三甲基咪唑系列(占31.2%~40.7%),甲基咪唑系列所占的比例也较高(占7.7%~14.6%),咪唑和苯并咪唑系列相对含量很低(分别占1.1%~2.8%和0.3%~1.1%)(见表1)。在二甲基咪唑系列中,半屏蔽异构体(PSNs)相对含量最高(占61.2%~64.5%),其次为暴露异构体(ENs)(占17.7%~26.6%),屏蔽异构体(1,8-DMC)相对含量最低(占11.4%~17.7%)。

原油中咪唑类化合物组成特征主要受油气运移过程中的分馏效应控制<sup>[1-5]</sup>,其次受成熟度影响<sup>[6,7]</sup>,母质性质和沉积环境对其影响还在探索之中。李素梅等研究认为<sup>[1]</sup>,高等植物输入较多的陆源原油可能相对富集烷基苯并咪唑;高盐和淡水环境中形成的原油,二者的甲基咪唑系列组成特征存在差异。西峰油田原油咪唑类化合物组成相似,说明它们的油源可能相同。

### 2.2 咪唑类化合物平面分布特征与油气平面运移

西峰油田原油来自单一的油源,其成熟度变化范围很小,C<sub>29</sub>甾烷 20S/(20S+20R)值为0.51~0.55,因此原油中咪唑类化合物分布受烃源岩性质和成熟度影响极小,主要受控于油气运移分馏作用。与上述不同含氮化合物在运移过程中分馏效应相一致,西峰油田不同原油样品中咪唑类化合物异构体分布表现出一定的分馏效应。长8油层组样品中这些咪唑类化合物异构体和高低取代同系物之间的比值在平面上沿两个方向变化,一个从北东部的西24-24井、庄12井和庄16井向南西方向增加,另一个由南部的西33井向北部增加(见图3)。

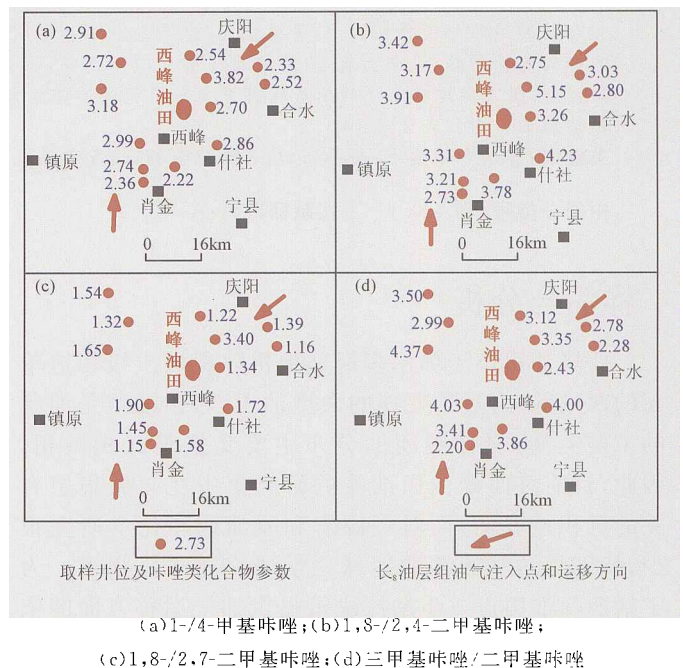


图3 西峰油田长8油层组原油的咪唑类化合物异构体参数分布

与咪唑类异构体分布一样,样品中咪唑类化合物的绝对丰度分布在平面上也有类似的变化方向。例如,长8油层组原油样品中这些化合物的绝对丰度由北东部的西24-24井和庄16井向南西方向及由南部的西33井向北部方向降低(见图4)。对于同一油源的原油,其含氮化合物绝对丰度的降低主要由油气运移的分馏效应所引起,因此长8油层组油气注入点主要在北东部,其次在南部。由图1可见长8储集层邻近北东部的生油中心,并与烃源岩呈犬牙状交错叠覆,排烃条件良好,使油气主要通过北东部有利排烃区注入长8储集层,然后向南西方向运移。这种运移的驱动力主要为区域地层过剩压力。以前的研究资料表明,研究区的地层过剩压力从北东向南西降低<sup>[8]</sup>,与含氮化合物指示的油气运移方向一致。长8储集层的另一个油气注

入点是南部的西 33 井地区,油气从这里注入后向北运移。该油气注入点接近研究区南部次级生油中心,油源充足。

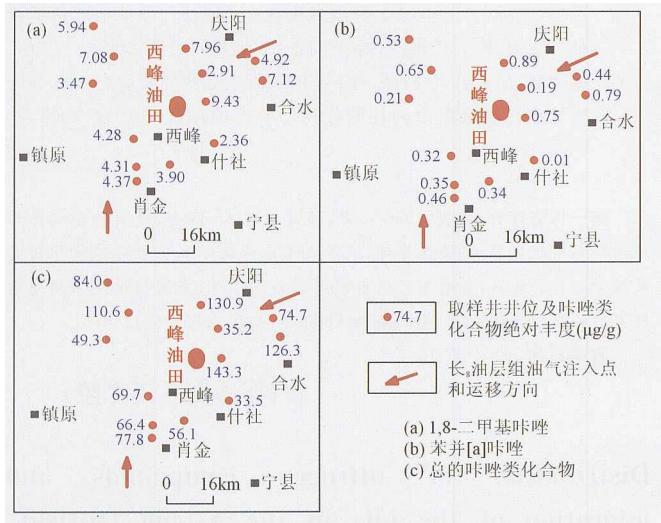


图 4 西峰油田长<sub>8</sub>油层组原油的咪唑类化合物绝对丰度分布

### 2.3 咪唑类化合物剖面分布特征与油气垂向运移

随着样品深度的增加,原油中总咪唑类化合物的绝对丰度降低(见图 5a)。同一油源和同一储集层中原油含氮化合物绝对丰度的这种变化,无疑与运移分馏作用有关。同时研究区 1-/4-甲基和 1,8-/2,7-二甲基咪唑比值参数都有随着深度增加而增大的趋势(见图 5b 和图 5c),反映了深处原油的咪唑类化合物中富集屏蔽化程度高的异构体,说明长<sub>8</sub>油层组中原油的运移方向是由上向下,其上覆的长<sub>7</sub>段是延长组主力油源层。

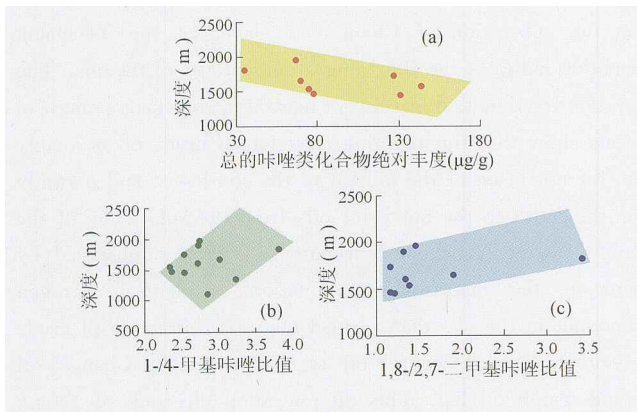


图 5 西峰油田长<sub>8</sub>油层组原油的咪唑类化合物绝对丰度、异构体参数与深度关系

西峰油田原油中性含氮化合物指示的油气运移方向与流体压力剖面分布特征一致。对研究区 8 口井的剖面过剩压力的研究表明,长<sub>7</sub>段均存在高过剩压力带(一般为 15~20MPa,有的大于 20 MPa),向下至长<sub>8</sub>油层组则变为低过剩压力带乃至正常压力带(扬旌,个人

通讯)。在这种过剩压力驱动下,长<sub>7</sub>段生成的油气在研究区北东部长<sub>8</sub>油层组与油源岩犬牙状接触带形成突破点注入长<sub>8</sub>储集层;西南部西 33 井地区存在较高过剩压力差,在这种情况下油气沿岩性纵横变化带注入长<sub>8</sub>储集层(见图 1)。另一方面,长<sub>8</sub>油层组反映油气运移的有关咪唑类化合物参数值变化范围较小,反映油气向下穿层运移的距离不会很大,这是因为过剩压力梯度向下较向上小,并且浮力对向下穿层运移也起阻力作用。

西峰油田西部原油样品来自 3 个油层组,从下向上为长<sub>8</sub><sup>1</sup>、长<sub>8</sub>和延<sub>8</sub>油层组,这些原油都来自三叠系油源岩<sup>[9]</sup>,特别是长<sub>7</sub>段油源岩。自下部长<sub>8</sub><sup>1</sup>至上部延<sub>8</sub>油层组,原油中咪唑类化合物地球化学参数具有下列变化特征(见表 2):①异构体比值都增加;②屏蔽型和半屏蔽型化合物相对含量增加,而暴露型化合物相对含量降低;③咪唑类化合物的绝对丰度都有减小的趋势,特别是 ΣMC、ΣDMC、PSNs、ENs 和 W 变化最为明显;④长<sub>8</sub>和延<sub>8</sub>油层组原油的所有咪唑类化合物参数值相差较小,但是它们与长<sub>8</sub><sup>1</sup>油层原油中的咪唑类化合物参数值相差很大。

表 2 西峰油田不同层位中原油咪唑类化合物绝对丰度和比值

样号	E-22	E-19	E-18
井号	镇 10-9	镇 11	镇 20
层位	延 <sub>8</sub>	长 <sub>8</sub>	长 <sub>8</sub> <sup>1</sup>
深度(m)	1601	1637	1893
1-/4-甲基咪唑	3.3	3.2	2.7
1,8-/1,5-二甲基咪唑	1.5	1.1	1.2
1,8-/2,4-二甲基咪唑	4	3.9	3.2
1,8-/2,7-二甲基咪唑	1.7	1.7	1.3
部分屏蔽型/全暴露型	2.8	2.8	2.5
1,8-二甲基咪唑(%)	14.1	14.2	12.5
部分屏蔽型(%)	63.2	63.3	62.8
全暴露型(%)	22.4	22.5	24.7
咪唑(μg/g)	1.5	0.5	1.6
Σ甲基咪唑(μg/g)	4.9	4.5	13
Σ二甲基咪唑(μg/g)	30.9	24.4	56.6
Σ三甲基咪唑(A+B+C)(μg/g)	25.5	19.6	38.7
Σ苯并咪唑(μg/g)	0.4	0.2	0.7
1,8-二甲基咪唑(μg/g)	4.5	3.5	7.1
部分屏蔽型(μg/g)	19.5	15.4	35.5
全暴露型(μg/g)	6.9	5.5	14
咪唑类化合物总的绝对丰度(μg/g)	63.1	49.3	110.6

长<sub>8</sub><sup>1</sup>、长<sub>8</sub>和延<sub>8</sub>油层组原油中咪唑类化合物参数值的这种变化,说明油气的运移方向是由下向上,并且长<sub>8</sub>油层组的原油更接近油源区,而长<sub>8</sub>和延<sub>8</sub>油层组的原油经历了较长距离的运移。从流体力学和运移通道来说,存在长<sub>7</sub>段生成的油气向上穿层远距离(纵向在 1km 以上;横向从生油中心计算,估计在 60~80km)运

移的条件,如前所述,长<sub>7</sub>段存在高过剩压力带,特别是镇 10-9 井至镇 20 井一带,这种高过剩压力与浮力一起推动油气,沿十分发育的构造裂隙<sup>[9,10]</sup>或岩性纵横变化带、或古河道切蚀带向上运移,在过剩压力逐渐消耗至全部消失后,油气还能在浮力作用下继续向上运移一段距离。

### 3 结论

鄂尔多斯盆地西峰油田原油含有丰富的中性含氮化合物,其含量分布为 33.5~143.3 μg/g,主要由咪唑、C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>-咪唑和苯并咪唑系列组成;所研究样品中咪唑类化合物组成特征都十分相似,可能反映它们油源相同。

原油中性含氮化合物的运移分馏效应都是明显的,表现为:①从北东向南西和从南向北,长<sub>8</sub>油层组原油含氮化合物绝对丰度变小,屏蔽化程度高的异构体和高分子同系物相对富集;②从上向下,长<sub>8</sub>油层组原油含氮化合物绝对总量变小,屏蔽化程度高的异构体相对富集;③对于研究区西部的长<sub>8</sub>、长<sub>3</sub>和延<sub>8</sub>油层组原油来说,众多含氮化合物参数反映了从长<sub>8</sub>油层组向上至延<sub>8</sub>油层组产生了显著的含氮化合物分馏作用。这些资料指示了西峰油田油气的注入和运移方向为:在横向,长<sub>8</sub>油层组油气由北东和南部注入;在纵向,长<sub>8</sub>油层组油气自上向下运移,西部长<sub>8</sub>、长<sub>3</sub>和延<sub>8</sub>油层组油气则自下向上运移。但是长<sub>8</sub>油层组原油中性含氮化合物绝对丰度和异构体参数值变化范围较小,说明它们经历了短距离运移。西峰油田原油这种注入和运移方向与其流体压力指向一致。根据油气运移途径,认为长<sub>7</sub>段为其主要油源岩。

#### 参考文献:

- [1] 李素梅,张爱云,王铁冠.原油中吡咯类含氮化合物的分布型式[J].石油与天然气地质,2000,21(2):118-122.
- [2] 熊英,程克明.中性含氮化合物在酒西盆地石油运移研究中的应用[J].石油勘探与开发,1999,26(5):27-29.
- [3] 黎茂稳.油气二次运移研究的基本思路和几个应用实例[J].石油勘探与开发,2000,27(4):11-19.
- [4] 李素梅,刘洛夫,王铁冠.生物标志化合物和含氮化合物作为油气运移指标有效性的对比研究[J].石油勘探与开发,2000,27(4):95-98.
- [5] 李伟,刘宝瑁,吕涛,等.酒西盆地老君庙构造带油气来源的探讨[J].石油勘探与开发,2003,30(2):30-32.
- [6] Li M W, Yao H X, Stasiuk L D, et al. Effect of maturity and petroleum expulsion on pyrrolic nitrogen compound yields and distribution in Duvernay formation petroleum source rocks in central Alberta, Canada[J]. Organic Geochemistry, 1997, 26: 731-744.

- [7] 李素梅,庞雄奇,黎茂稳,等.低熟油、烃源岩中含氮化合物分布规律及其地球化学意义[J].地球化学,2002,31(1):1-6.
- [8] 陈荷立,刘勇,宋国初.陕甘宁盆地延长组地下流体压力分布及油气运移条件研究[J].石油学报,1990,11(4):8-16.
- [9] 段毅,张辉,吴宝祥,等.鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征与成因[R].兰州:中国科学院兰州地质研究所,2004.
- [10] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.

第一作者简介:段毅(1956-),男,甘肃镇原人,博士,中国科学院兰州地质研究所研究员、博士生导师,从事油气地球化学和有机地球化学研究及教学工作。地址:甘肃省兰州市东岗西路324号,中国科学院兰州地质研究所油气综合研究室,邮政编码:730000;电话:(0931)8278667。

收稿日期:2004-07-19

(编辑、绘图 王孝陵)

### Distribution of nitrogen compounds and migration of the oils in the Xifeng Oilfield, Ordos Basin, NW China

DUAN Yi, ZHANG Hui, WU Bao-xiang, ZHENG Chao-yang, WANG Chuan-yuan (Lanzhou Institute of Geology, CAS, Gansu 730000, China)

**Abstract:** The Xifeng Oilfield is the largest new-discovered one in the Ordos Basin, NW China. Distribution of the nitrogen compounds in crude oils of the oilfield shows that the migration fractionation of neutral nitrogen compounds in the crude oils are present in the lateral and vertical directions of the oilfield. However, the small variance in the absolute concentration and isomer parameter values of neutral nitrogen compounds in oils from the subsection of Chang-8 oil layer of the Yanchang Formation indicates the short migration distance of the oils. The migration fractionation features of neutral nitrogen compounds in the oils show that the charging direction of crude oil is mainly from the northeast of the oilfield to the southwest and partially from the south to the north for oils from the subsection of the Chang-8 of the Yanchang Formation. It is also observed by means of the migration fractionation of neutral nitrogen compounds in the oils that vertical migration direction of crude oil is downward for Chang-8 oil leg and upward for Chang-3 oil leg and Yan-3 oil leg. This oil migration direction of Xifeng Oilfield is consistent with the distribution of subsurface fluid pressure of the studied area. These oil migration pathways suggest that the oils of Xifeng Oilfield are mainly derived from the subsection of Chang-7 of the Yanchang Formation.

**Key words:** Ordos Basin; Xifeng Oilfield; nitrogen compounds; oil migration