

焉耆盆地含氮化合物分布与油气运移特征

南红丽¹, 李永林¹, 赵德力¹, 田宏岭²

(1. 中国石化股份有限公司 河南油田分公司 勘探开发研究院, 河南 南阳 473132;

2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 利用含氮化合物作为油气运移示踪剂, 探讨了含氮化合物在焉耆盆地油气充注方向研究中的应用。盆地侏罗系油藏原油中含氮化合物存在一定的运移分馏作用, 表现为自生烃中心向外, 含氮化合物绝对含量由高到低, 屏蔽型化合物相对富集而暴露型化合物相对减少, 异构体参数 $[a]/[c]$ 的相对含量则由大变小。在同一构造带中, 随埋深的减小, 含氮化合物同样存在着运移分馏效应。研究表明, 宝浪油田油气注入方向在平面上自南向北, 在纵向上自深层向浅层运移聚集。

关键词: 含氮化合物; 油气运移; 油气成藏; 焉耆盆地

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

近年来, 随着油藏地球化学研究工作的不断深入, 人们对于油藏流体中含氮化合物的分布规律、绝对浓度和相对比值变化所蕴藏的地质- 地球化学信息日益关注。由于含氮化合物自身的立体结构特点以及在储层中与岩石或固相有机质之间的相互作用, 含氮化合物具有显著的运移分馏效应, 因此原油中含氮化合物的绝对浓度和异构体之间的相对比值可以作为一个充注方向的指标或石油运移范围的示踪标志^[1~4]。主要表现为, 随着油气运移距离的增加, 原油中含氮化合物的绝对丰度降低; 烷基咪唑相对于烷基苯并咪唑富集; 氮官能团遮蔽型异构体相对于暴露型异构体富集^[1,2,5,6]。本文以焉耆盆地为例, 论述含氮化合物分析在盆地油气充注方向研究中的应用。研究表明, 焉耆盆地含氮化合物的绝对丰度和一系列苯并咪唑参数的运移分馏效应较为明显, 且运移距离越远, 分馏效应越明显。

1 地质背景

焉耆盆地位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州境内, 坐落在南天山褶皱带之上, 处于塔里木盆地和吐哈盆地之间, 面积为 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 为一中新代叠合盆地, 具两坳一隆的构造格局, 自北而南为和静坳陷、焉耆隆起和博湖坳陷。其中, 博湖坳

陷为中生界侏罗系的沉积沉降中心, 也是现今侏罗系的主要残存分布区(图 1)。

盆地基底为前中生界, 沉积盖层为三叠系小泉沟群、侏罗系、第三系和第四系。侏罗系是盆地的主要勘探目的层系, 由八道湾组、三工河组和西山窑组构成, 为一套冲积扇- 辫状河三角洲(扇三角洲)- 湖泊相沉积的含煤碎屑岩系。目前已在博湖坳陷北部凹陷发现了宝浪油气田和本布图油田。

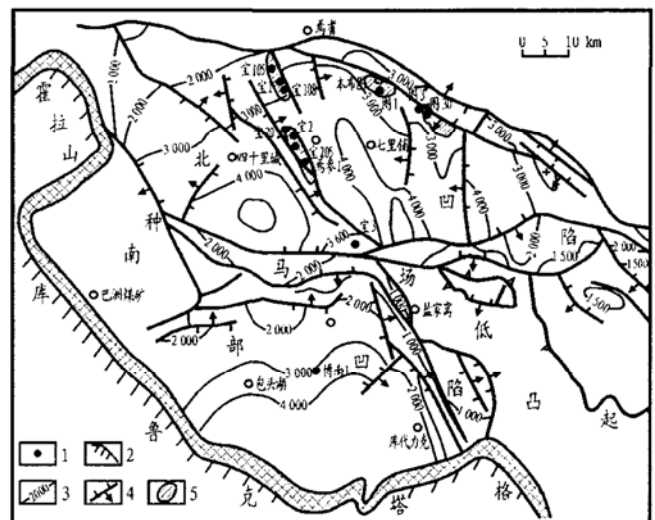


图 1 焉耆盆地构造区划及其主要样品井分布图

1. 井位; 2. 老山边界; 3. 等深线; 4. 断裂; 5. 含油区块

Fig. 1 Structural regionalism of the Yanqi Basin and location of main sampling wells

收稿日期: 2004- 06- 20; 修订日期: 2004- 08- 11.

基金项目: 中石化集团公司项目(P00014).

作者简介: 南红丽(1972-), 女(汉族), 河北保定人, 硕士生、工程师, 主要从事石油地质综合研究工作。

2 实验与分析结果

本研究采集了焉耆盆地 16 口井的 16 个原油样品, 其中 13 个属三工河组, 2 个属八道湾组, 1 个属西山窑组(图 1)。含氮化合物的色谱- 质谱分析在 TSQ- 70 气相色谱/ 质谱分析仪上进行, 色谱柱配置 HP- 5MS 弹性石英毛细柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)。升温程序: 初温 40 °C, 恒温 1 min 后以 4 °C/min 升温至 300 °C, 恒温 10 min。采用氦气载

气、电子轰击电离、MID 多离子方式检测。分析结果见表 1。

3 油气充注特点

3.1 含氮化合物平面变化特征与油气运移

3.1.1 含氮化合物平面总体分布特征与油气充注

根据不同构造带部分井原油样品中含氮化合物的含量分析, 焉耆盆地不同井区三工河组油层原油中的含氮化合物含量差别较大。图 2 反映了盆地不

表 1 焉耆盆地含氮化合物参数分布表

Table 1 Parameters of nitrogen compounds in the Yanqi Basin

构造	井号	层位	含氮化合物参数									
			Ca/ 1, 8	Ca/ 1- MC	Ca/ PE- DMC	4- MC/ 1- MC	[a]/[c]	Ca/[c]	1+ 2/ 3+ 4	PE- DMC/ 1, 8	NE/ 1, 8	总含量/ (μg·g ⁻¹)
	宝 8	J _{2x}		5.45		0.52	0.93	4.33	1.46	4.96	4.79	3.79
宝北	宝 1	J _{1s} ^上	1.23	1.06	0.34	0.34	1.07	7.18	2.11	3.6	2.01	7.98
	宝 105	J _{1s} ^上		4.38		0.47	0.77	8.79	1.37	4.19	5.10	2.95
	宝 103	J _{1s} ^上		4.11		0.49	0.61	6.41	1.32	4.7	4.29	3.18
	宝 108	J _{1s} ^上	2.91	2.76	0.78	0.46	0.73	5.68	1.41	3.75	2.63	4
	宝 101	J _{1s} ^上	1.32	1.07	0.34	0.37	0.56	3.55	1.57	3.89	2.00	4.7
	宝中	宝 202	J _{1s} ^中	4.23	2.52	0.72	0.41	0.87	6.59	1.42	5.87	3.04
宝 2219		J _{1s}	3.41	2.21	0.72	0.44	0.85	17.64	1.32	4.75	3.19	5.4
宝 203		J _{1s} ^上	2.56	1.97	0.65	0.39	1.04	7.9	1.40	3.92	2.69	5.84
宝 205		J _{1s} ^中	2.34	1.68	0.63	0.34	0.94	9.27	1.57	3.73	2.19	7.84
宝 2318		J _{1s}	2.08	1.64	0.544	0.314	0.86	9.86	1.66	3.82	2.24	9.394
宝南	宝 3	J _{2x}	1.67	1.28	0.43	0.34	0.95	4.76	1.71	3.91	1.97	8.62
本布图	图 1	J _{1s} ^上	2.77	2.17	0.67	0.35	0.62	5.38	1.74	4.15	2.60	3.24
	图 3	J _{1s} ^中	2.84	2.36	0.71	0.41	0.68	4.44	1.60	4.02	2.30	2.79
	图 301	J _{1b}	1.82	1.61	0.45	0.36	0.76	3.96	1.55	4.04	2.07	6.04
博南	博南 1	J _{1s} ^下	1.16	1.08	0.31	0.29	0.94	3.42	1.96	3.78	1.93	9.18

注: Ca——咔唑; 1, 8——1, 8- 二烷基咔唑; 1- MC——1- 烷基咔唑; PE- DMC——遮蔽的二烷基咔唑之和; 4- MC——4- 烷基咔唑; [a]——苯并[a]咔唑; [c]——苯并[c]咔唑; 1+ 2——1- 烷基咔唑+ 2- 烷基咔唑; 3+ 4——3- 烷基咔唑+ 4- 烷基咔唑; NE——暴露的烷基咔唑之和。

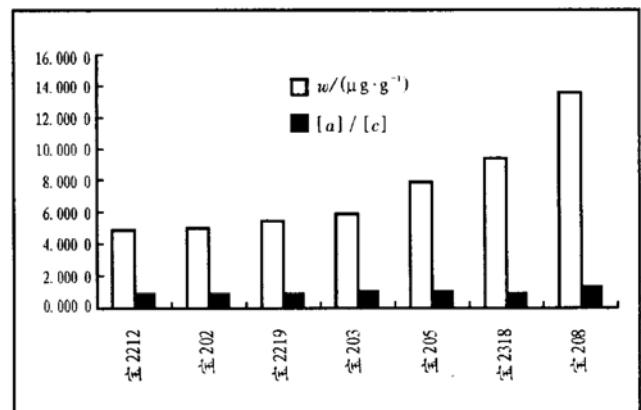
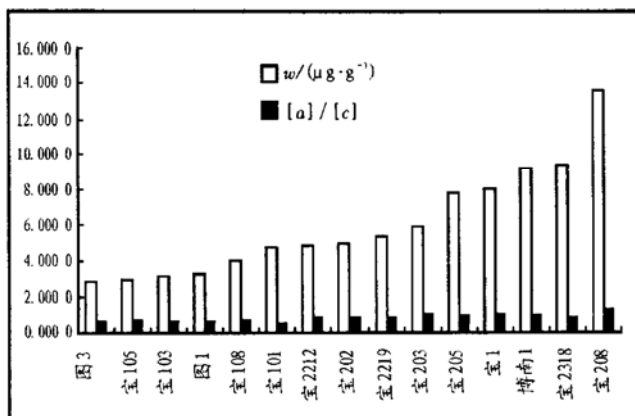


图 2 不同构造带三工河组原油中含氮化合物含量变化特征
图中[a]/[c]为苯并[a]咔唑与苯并[c]咔唑相对含量

图 3 宝中构造 J_{1s} 原油中含氮化合物含量变化特征
图中[a]/[c]为苯并[a]咔唑与苯并[c]咔唑相对含量

Fig. 2 Changing characters of nitrogen compound content in the crude oil of the Sangonghe Formation in different structural zones

Fig. 3 Changing characters of nitrogen compound content in the crude oil of J_{1s} in the Baozhong Structure

同构造带三工河组含氮化合物的含量平面变化特征。总的来看,宝中构造原油中含氮化合物的含量最高,平均为 6.7 $\mu\text{g/g}$; 其次为宝北构造,平均值为 4.6 $\mu\text{g/g}$; 而本布图构造原油中含氮化合物的含量最低,平均为 3.0 $\mu\text{g/g}$ 。异构体相对含量 $[a]/[c]$ 也呈现出类似的变化特征: 宝中平均为 0.912, 宝北平均为 0.748, 本布图平均为 0.65。这种含氮化合物参数从南向北逐渐降低的特征表明,原油是从宝中向宝北运移、从宝中进入宝北的; 原油经过一定距离的侧向运移; 不同构造带上原油运移的距离不同,宝中构造运移距离小,本布图构造运移距离最大。

3.1.2 宝浪油田含氮化合物平面分布特征与油气充注

从图 3 和图 4 可以看出,宝中构造三工河组原油从宝 208—宝 205—宝 203—宝 202 井含氮化合物含量依次降低,宝北构造三工河组原油从宝 101—宝 103—宝 105 井含氮化合物含量依次降低,推测宝北、宝中构造油气从南东向北西方向运移。

通过对宝中和宝北不同的油层原油样品含氮化合物的分析,作出了宝中和宝北区块含氮化合物含量变化的平面图(图 5, 6)。从含氮化合物含量的平面变化可以看出宝浪构造油气运移和充注的特征。

宝浪构造的油气充注点位于宝 2312 和宝 208 井一带,宝浪构造东侧断层是油气进入宝浪构造的主要通道。宝 2312 和宝 208 井原油含氮化合物的含量在整个宝浪构造是最高的,达到 10 $\mu\text{g/g}$ 以上; 并且这一带是宝中构造的断层发育区,断层沟通了八道湾组和三工河组,成为油气运移的主要通道,油气沿这些断层注入宝中构造,然后分别向南、向北运移。从注入点向构造两翼,原油含氮化合物含量迅速降低; 沿构造的长轴方向,含氮化合物的含量也是从注入点向南、北两个方向降低(图 5)。

宝北区块原油含氮化合物的平均含量和变化趋势与宝中明显不同(图 4)。首先,宝北区块原油含氮化合物的含量明显低于宝中区块,并且表现出从南向北逐渐降低的特征,说明原油是从宝中向宝北运移、从宝中进入宝北的; 第二,宝北区块原油含氮化合物含量的变化梯度要比宝中区块小得多,这可能说明了宝北和宝中具有不同的成藏过程。结合宝北构造的演化史,该构造在侏罗纪为鼻状构造,在第三纪形成圈闭,侏罗纪进入该构造的油气趋于向北散失,在此过程中储层已经吸附了大量的含氮化合物,当第三纪油气进入圈闭时,储层吸附含氮化合物的能力大大降低,从而造成沿运移路径含氮化合物变化梯度减小。

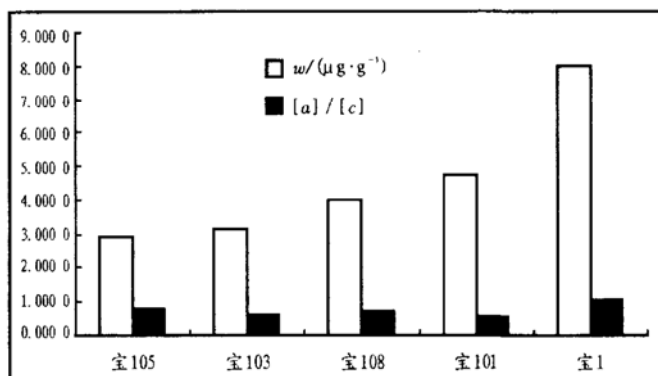


图 4 宝北构造 J_{1s} 原油中含氮化合物含量变化特征
图中 $[a]/[c]$ 为苯并 $[a]$ 咪唑与苯并 $[c]$ 咪唑相对含量

Fig. 4 Changing characters of nitrogen compound content in the crude oil of J_{1s} in the Baobei Structure

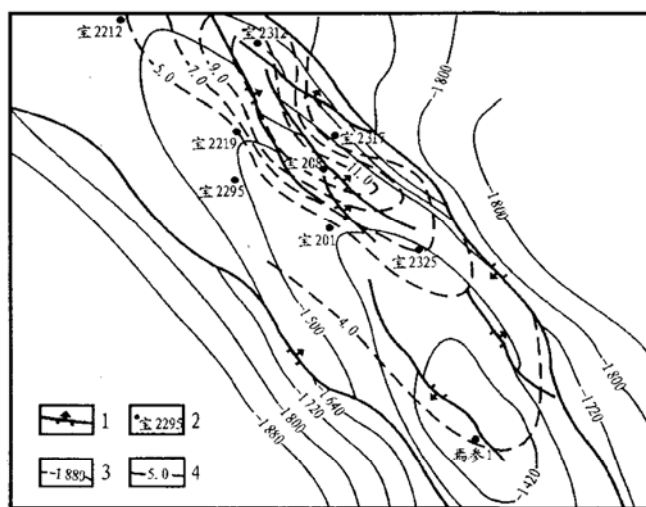


图 5 宝中区块含氮化合物含量平面变化图
1. 断层; 2. 井位; 3. 构造等值线; 4. 含氮化合物含量等值线

Fig. 5 Contour map of nitrogen compound content in the Baozhong District

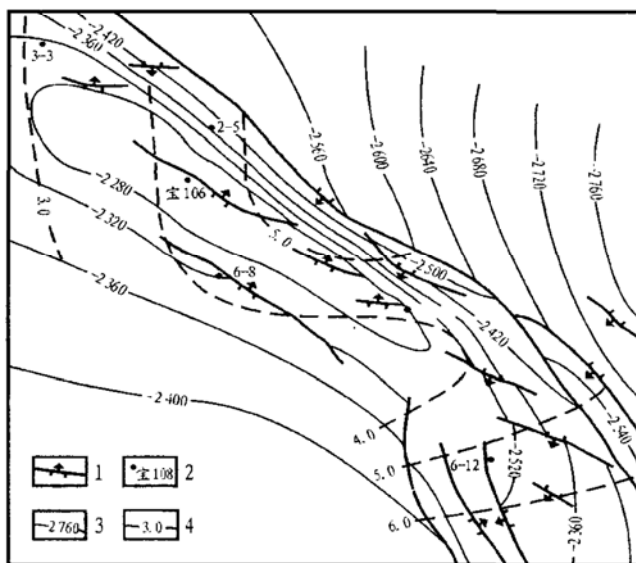


图 6 宝北区块含氮化合物含量平面变化图
1. 断层; 2. 井位; 3. 构造等值线; 4. 含氮化合物含量等值线

Fig. 6 Contour map of nitrogen compound content in the Baobei District

表2 宝浪构造带含氮化合物参数分布表

Table 2 Nitrogen compound parameters of the Baolang structural zone

层位	含氮化合物参数			
	含氮化合物含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	[a]/[c]	NE/1.8	(1,4+1,5)/1.8
J _{1s} ^上	4.92	0.82	3.13	1.85
J _{1s} ^中	6.38	0.90	2.62	1.64
J _{1s} ^下	11.37	1.13	1.75	1.60

注:[a]——苯并[a]吡啶;[c]——苯并[c]吡啶;NE——暴露的烷基吡啶之和;1,8——1,8-二烷基吡啶;1,4——1,4-二烷基吡啶;1,5——1,5-二烷基吡啶。

表3 本布图构造带含氮化合物参数分布表

Table 3 Nitrogen compound parameters of the Benbutu structural zone

层位	含氮化合物参数					
	含氮化合物含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	2+3/1.8	1,3/1.8	(2,7+1,2)/1.8	[a]/[c]	NE/1.8
J _{1s}	3.02	0.92	0.90	0.64	0.65	2.45
J _{1b}	6.04	1.22	1.12	0.63	0.76	2.07

注:2+3——2-烷基吡啶+3-烷基吡啶;1,8——1,8-二烷基吡啶;1,3——1,3-二烷基吡啶;2,7——2,7-二烷基吡啶;1,2——1,2-二烷基吡啶;[a]——苯并[a]吡啶;[c]——苯并[c]吡啶;NE——暴露的烷基吡啶之和。

3.2 含氮化合物纵向变化特征与油气运移

侏罗系纵向不同油层组中,原油含氮化合物含量差别较大。如宝浪油田自下向上含氮化合物含量逐渐降低;其它构造含氮化合物参数也有类似的变化特征(表2,3)。本布图构造带原油从八道湾组到三工河组含氮化合物含量也有变小的趋势,表明原油垂向运移作用明显,即从八道湾组依此向三工河组和西山窑组运移。

焉耆盆地原油物性特征反映出与此相同的成藏

信息。盆地各地区的轻质油密度随深度减小而减小,八道湾组原油密度较高而三工河组原油密度较低,这一特点在宝中、本布图地区最明显。轻质原油的粘度也表现出相似的特征,也反映原油垂向运移的趋势是从深部地层向浅部地层,从八道湾组向三工河组。正是由于运移过程中的分馏作用,轻质组分容易发生运移,重组分则较难运移,从而使浅部更富集轻组分。

4 结论

焉耆盆地含氮化合物的绝对浓度和异构体参数分析表明,油气具有一定的运移分馏作用。宝浪构造油气注入的方向在平面上是从南向北,从宝中向宝北运移;在纵向上是从深层向浅层运移,从八道湾组向三工河组、西山窑组运移聚集。油气充注点应位于宝中区块的宝2312、宝2318和宝208井一带。

参考文献:

- 1 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):96~98
- 2 王铁冠.利用原油含氮化合物研究油气运移[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(4):8~86
- 3 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):119~122
- 4 张敏,龙长河,张俊等.塔北地区三叠系油藏原油中性含氮化合物和烷基苯酚的运移分馏作用[J].沉积学报,2001,19(1):150~154
- 5 王传刚.应用吡咯类化合物探讨彩南油田油气运移——以彩南油田东块侏罗系西山窑组油藏为例[J].石油实验地质,2003,25(6):740~745
- 6 李贤庆,侯读杰,肖贤明,等.应用含氮化合物探讨油气运移和注入方向[J].石油实验地质,2004,26(2):200~205

DISTRIBUTION OF NITROGEN COMPOUNDS AND CHARACTERISTICS OF HYDROCARBON MIGRATION IN THE YANQI BASIN

NAN Hong-li¹, LI Yong-lin¹, ZHAO De-li¹, TIAN Hong-ling²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Henan Oilfield, SINOPEC, Nanyang, Henan 473132, China;

2. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Nitrogen compounds can be used as indexes indicating oil and gas migration. This paper discussed the application of nitrogen compound content to the migration of oil and gas in the Yanqi Basin. The results of analyses on some parameters of pyrrolic nitrogen compounds in the Yanqi Basin showed that there existed the migration fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in the Jurassic crude oil. From hydrocarbon generating centers outward, the concentration of nitrogen compounds changed from high to low. The migration fractionation effects of pyrrolic nitrogen also existed in the same structural zone. It was showed that the hydrocarbon of Baolang oilfield migrated from south to north on plane and from deep to shallow longitudinally.

Key words: nitrogen compound; hydrocarbon migration; oil and gas accumulation; the Yanqi Basin