

文章编号:1001-6112(2003)06-0740-06

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

王传刚^{1,2}, 王铁冠¹

(1. 石油大学 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102200;

2. 中国石化 石油勘探开发研究院 勘探所, 北京 100083)

摘要:吡咯类含氮化合物因其结构类型不同而具有明显的运移分馏效应,不失为一种研究油气运移方向的有效手段。彩南油田东区块西山窑组油藏原油属于同一组群类型,吡咯类含氮化合物组成以烷基咪唑为主,苯并咪唑含量低,烷基咪唑中又以 C₂-咪唑和 C₃-咪唑为主。对吡咯类运移分馏效应参数的分析表明,彩南油田东区块主要有西方、北方两个原油充注方向,油藏内部断裂对成藏过程起了重要的通道作用。白家海凸起西方的东道海子北凹陷侏罗系煤系地层可能是主要烃源灶,但也不排除凸起南方的阜康凹陷及其北斜坡供烃的可能性。

关键词:吡咯化合物; 油气运移; 侏罗系西山窑组; 彩南油田

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

近年来,非烃化合物(即含 N、S、O 的杂原子化合物)在石油勘探开发中的应用研究引起了国内外的广泛重视,特别是其中的吡咯类含氮化合物具有显著的分馏效应,被广泛地用于油气运移研究^[1-4]。吡咯类化合物的分布一定程度上受有机质来源及沉积演化过程的影响,但对于成因类型相同、热演化程度相似的原油而言,仍不失为研究油气运移的一种有效手段^[5,6]。

1 地质背景

彩南油田位于准噶尔盆地中央隆起带东端白家海凸起上,是一个受彩南背斜控制的构造型油田(图 1),被断层分割为两个独立的区块。其中东区块是彩南油田的主体,是一个轴线近东西向、顶部宽缓、向东倾伏的断鼻构造,具有中侏罗统西山窑组(J_{2x})与下侏罗统三工河组(J_{1s})两个砂岩油藏,油藏内发育北东向和北西西向两组断裂(图 2)。白家海凸起周围有五彩湾、东道海子北、阜康、吉木萨尔等凹陷(图 1),不同程度地发育有石炭系、二叠系、三叠系及侏罗系等有效烃源岩。长期以来,对彩南油田侏罗系油藏原油的来源有着不同的认识^[7-9]。本文

试图应用吡咯类含氮化合物示踪彩南油田东块侏罗系西山窑组(J_{2x})油藏原油的运移途径和充注点,为确定烃源灶方向和下一步勘探决策提供依据。

2 样品与实验

2.1 样品分布

彩南油田东区块中侏罗统西山窑组油藏(J_{2x})

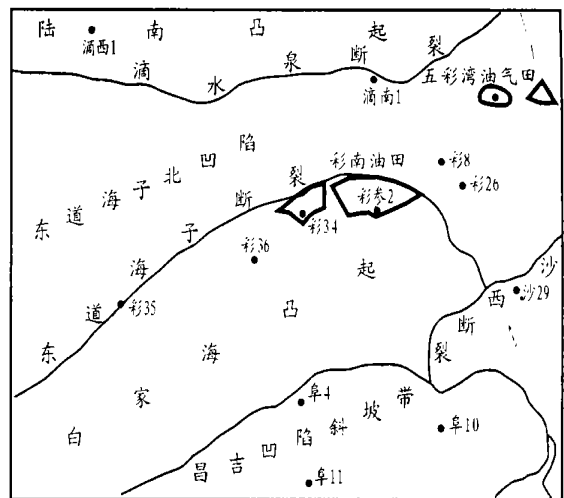


图 1 准噶尔盆地东部构造地理略图

Fig. 1 Schematic map showing the tectonics and geography of the East Junggar Basin

收稿日期:2003-06-11.

作者简介:王传刚(1970—),男(汉族),山东日照人,工程师、博士生,专向方向石油地质及石油地球化学。

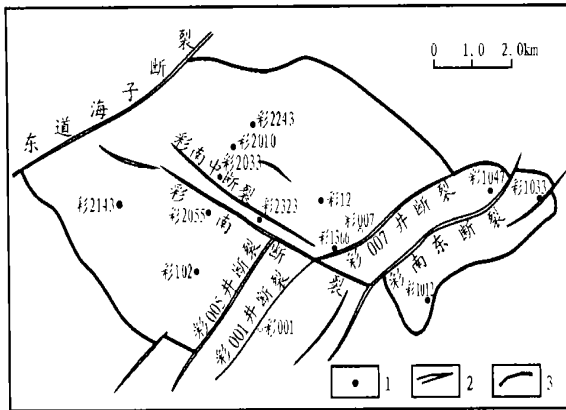


图2 彩南油田东区块 J_2x 油藏构造特征及样品分布

1. 原油采样井; 2. 正断层; 3. 西山窑组含油面积

Fig. 2 Tectonic characters and sample distribution of reservoir J_2x in the eastern district of Cainan oilfield

的12个油样的分布见图2,它们均源自煤系腐殖-腐泥型烃源岩,而且成熟度接近,属于同一族群的同一组群^[10]。可以利用吡咯类化合物的运移分馏效应研究原油二次运移规律。

2.2 实验

用二步液相色谱法分离吡咯类化合物^[11],吡咯类化合物的GC/MS检测在Finnigan公司的SSQ710型GC/MS仪器上进行,配置HP-5弹性石英毛细管柱(30m × 0.25mm × 0.25 μ m)。升温程序:初温80 $^{\circ}$ C,以7 $^{\circ}$ C/min升温至150 $^{\circ}$ C,再以3 $^{\circ}$ C/min升温至310 $^{\circ}$ C,恒温20min。以氮气为载气,电子轰击源。应用MID方式检测,分别用m/z167 + 14n、m/z217 + 14n和m/z267 + 14n(n = 0,为烷基碳数)检测烷基咪唑、烷基苯并咪唑和烷基二苯并咪唑3个同系物系列。化合物的定性依据见参考文献^[12],运用内标共注对化合物作定量分析。

3 结果与讨论

3.1 原油吡咯类含氮化合物的地球化学特征

在本研究样品中仅检测到了烷基咪唑系列和烷基苯并咪唑系列化合物,根据研究原油运移分馏效应的需要,本文只对 C_0 — C_3 咪唑类化合物和无烷基取代的苯并咪唑类化合物进行了定量,各类化合物的相对组成及有关参数值见表1。12个原油样品的共同特点是烷基咪唑和苯并咪唑的相对组成中以烷基咪唑占绝对优势,达到了93.96%~98.78%;烷基咪唑均以 C_2 -咪唑(42.2%~49.6%)和 C_3 -咪唑(25.8%~45.5%)为主, C_1 -咪唑(8.8%~17.1%)和咪唑(2.9%~11.5%)含量较低; C_2 -咪唑中不同结构类型的分布特征是 $G_2 > G_3 > G_1$ (G_1 、 G_2 、

G_3 的具体意义见表1后注释)。各样品的吡咯类化合物组成比较一致,应该具有相同的原油成因类型。同一组群原油,运移分馏效应是产生吡咯类含氮化合物具体差别的根本原因,这是运用吡咯类含氮化合物研究油气充注历史的必要前提。

3.2 吡咯类化合物运移分馏效应参数的选择

吡咯类化合物因为吡咯环上N-H官能团易于与地层中的固定相有机质或粘土矿物形成氢键而产生吸附作用。吡咯化合物烷基化程度越低,或者烷基取代碳位越远离N-H官能团(即N-H官能团越暴露),则化合物的极性越强。随着有效运移距离的增加,同一组群原油中的吡咯类化合物中应有下列变化:a)吡咯类化合物总量质量分数显著降低;b)烷基化程度较高(或烷基链较长)咪唑类与烷基化程度较低(或烷基链较短)咪唑类准同系物之相对比增加;c)烷基取代位靠近N-H官能团的化合物(如1,8-二甲基咪唑)与烷基取代位远离N-H官能团的化合物(如2,4-二甲基咪唑)之相对比增加;等等。考虑到吡咯类化合物总量质量分数受具体分离操作过程影响较大,本文暂不选取,而是选择1,8-/2,7-DMC、1,8-/NPE'S-DMC、A/C、GI/G3等参数来研究原油运移路径,对参数缩写的解释见表1附注。如图3,该4个参数间具有极好的相关关系,既证明了12个原油具有成因联系,又表明它们可以用于对彩南油田东区块油气充注方向的研究。1,8-DMC是N-H官能团全屏蔽型的,而2,7-DMC是N-H官能团全暴露型的,随着运移距离的增加,1,8-/2,7-DMC值应该增加,同样,1,8-/NPE'S-DMC、A/C、GI/G3等参数值都会增加。需要强调的是,图3中箭头指示吡咯类化合物在不同井间运移分馏效应的相对大小,并非原油运移的绝对路径。

3.3 对原油运移方向的分析

虽然样品数量有限,但在彩南油田东区块的东西、南北方向上都有分布。图4中,不同的含氮化合物运移分馏效应参数表现了近乎一致的规律,表明这些参数的选择是有效的,图4所展示的原油进入油藏后的运移规律客观存在。不同参数都表明彩南东区块侏罗系 J_2x 油藏主要的充注点有3个:西部在彩2055井附近;北部在彩2243井附近;而东部则在彩1033井附近。

原油从西部沿断鼻构造枢纽部位向东充注到达彩2055井后,继续向南、东、北3个方向倒灌式运移,分别到达彩2143、彩102、彩2323和彩2033等各井,彩南中断裂和彩南断裂(图2)可能起到了重

表 1 彩南油田东区块侏罗系 J₂x 油藏原油吡咯类化合物异构体组成及运移参数特征Table 1 Isomer compositional and migration parameter characteristics of pyrrolic compounds in the Jurassic J₂x reservoirs of the eastern district of Cainan oilfield

井号	井段/m	各类烷基吡啶相对组成/%				C ₂ -吡啶结构类型相对组成/%		
		吡啶	C ₁ -吡啶	C ₂ -吡啶	C ₃ -吡啶	G1	G2	G3
彩 2143	2 286~2 298	5.17	11.12	46.39	37.32	9.92	55.56	34.52
彩 2055	2 258~2 271	3.77	10.2	46.04	39.99	8.45	54.1	37.45
彩 2033	2 276~2 289	5.89	10.48	44.21	39.42	12.07	58.31	29.62
彩 2010	2 277~2 290	10.22	12.33	38.66	38.79	10.05	56.3	33.66
彩 2243	2 288~2 309	9.51	10.86	38.26	41.37	8.56	52.95	38.48
彩 2323	2 263~2 268	6.93	9.4	41.92	41.75	10.52	56.42	33.05
彩 1366	2 268~2 293	6.76	9.81	41.27	42.16	9.71	55.73	34.55
彩 102	2 273~2 291	3.27	11.18	49.04	36.51	10.99	53.79	35.22
彩 12	2 274~2 280	9.35	10.95	42.32	37.38	8.57	55.35	36.08
彩 1012	2 243~2 254	7.2	10.62	43.15	39.03	9.32	55.02	35.65
彩 1047	2 295~2 301	7.24	11.03	42.57	39.15	9.14	54.68	36.18
彩 1033	2 243~2 256	16.57	16.88	34.5	32.05	6.7	53.64	39.65
井号	井段/m	相对组成/%			运移参数			
		烷基吡啶	苯并吡啶	1,8-/2,7-DMC	1,8-/NPE'S-DMC	G1/G3	A/C	
彩 2143	2 286~2 298	98.78	1.22	1.38	0.33	0.29	3.15	
彩 2055	2 258~2 271	96.38	3.62	1.04	0.28	0.23	2.3	
彩 2033	2 276~2 289	94.9	5.1	2.11	0.39	0.41	9.77	
彩 2010	2 277~2 290	97.32	2.68	1.33	0.32	0.3	3.15	
彩 2243	2 288~2 309	94.19	5.81	1	0.28	0.22	2.92	
彩 2323	2 263~2 268	98.1	1.9	1.61	0.35	0.32	3.34	
彩 1366	2 268~2 293	98.72	1.28	1.3	0.31	0.28	3.21	
彩 102	2 273~2 291	97.01	2.99	1.46	0.4	0.31	5.33	
彩 12	2 274~2 280	96.86	3.14	1.16	0.28	0.24	2.54	
彩 1012	2 243~2 254	96.44	3.56	1.21	0.31	0.26	2.94	
彩 1047	2 295~2 301	95.88	4.12	1.21	0.3	0.25	2.86	
彩 1033	2 243~2 256	93.96	6.04	0.59	0.19	0.17	1.8	

附注: G1:吡咯环上 N-H 原子被 1,8 碳位上的烷基全屏蔽的 C₂-吡啶化合物;
 G2:吡咯环上 N-H 原子被 1(或 8)碳位上的烷基部分屏蔽的 C₂-吡啶化合物;
 G3:吡咯环上 N-H 原子完全暴露的 C₂-吡啶化合物;
 G1、G2、G3 三者总量按 100% 计。
 NPE'S:氮部分暴露型吡咯化合物;
 DMC:二甲基吡啶化合物;
 A:C3-吡啶(屏蔽型);
 C:C3-吡啶(暴露型)。
 以无烷基取代苯并吡啶代表烷基苯并吡啶,分析各样品烷基吡啶与烷基苯并吡啶含量变化规律,
 烷基吡啶与无烷基取代苯并吡啶之和按 100% 计。
 各类化合物的相对含量按质量色谱图上峰面积计算。

要的通道作用。北方来的原油从彩 2243 井附近进入油藏后继续向构造高部位运移,经过彩 2010 井而到达彩 2033 井附近,同时会向彩 2323、彩 12、彩 1366 等井附近运移。值得注意的是,虽然彩 2243 井到达彩 2323、彩 12、彩 1366 等井的距离较远,但各吡咯化合物运移分馏效应参数值差距却并非太大,因此,另外的一种可能是彩 2323、彩 12、彩 1366 等井的原油是从正北方充注来的,而不以彩 2243 井附近为充注点,但这种假设需要进一步证实。东方原油充注的路径非常明确,即原油以彩 1033 井附近

为充注点,向西运移到达彩 1047、彩 1012 甚至到达彩 1366 井附近。彩 007 断裂和彩南东断裂(图 2)对该方向的原油运移可能起到了通道作用。

根据对彩南油田侏罗系油藏原油成因类型的认识^[10],三工河组油藏原油应该来源于中、下侏罗统煤系地层的湖相烃源岩。白家海凸起西方的东道海子北凹陷和南方的阜康凹陷及其北部斜坡带(图 1)都存在有效的侏罗系煤系地层湖相泥岩烃源岩,东道海子北凹陷来的油气可以向东运移到达东道海子断裂而从彩南油田东区块的西部充注 J₂x 油藏,也

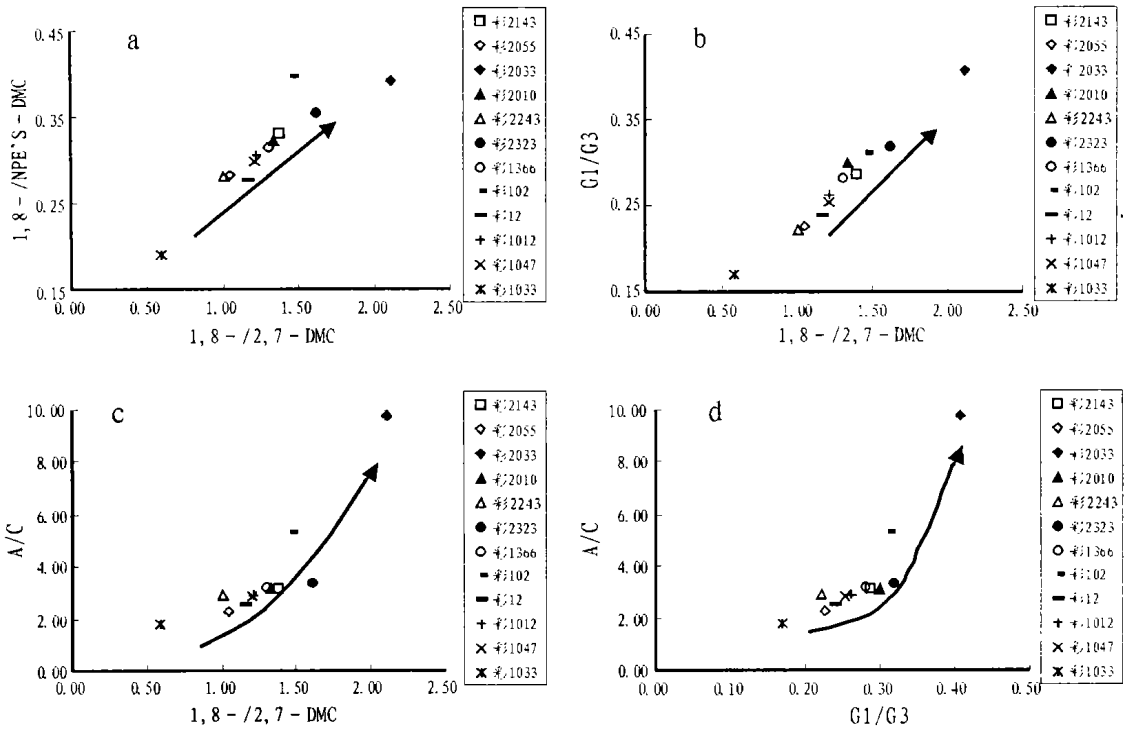


图 3 原油吡咯类化合物运移分馏效应参数相关性

(图中:箭头指示吡咯类化合物运移分馏效应增强的方向;G1、G3、A、C、DMC 见表 1 附注)

Fig. 3 Correlativities of parameters for the migration fractionation effects of pyrrolic compounds in crude oil

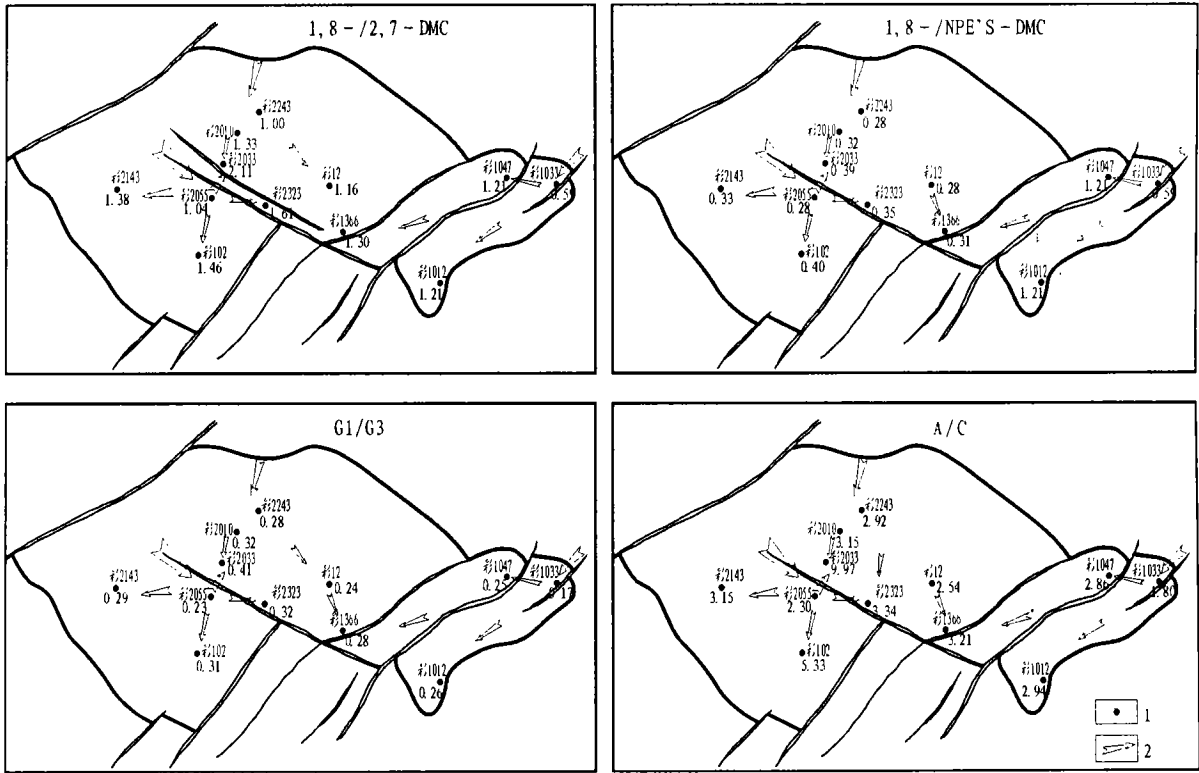


图 4 吡咯类含氮化合物参数示踪彩南油田东区块侏罗系 J_{2x} 油藏原油运移方向

Fig. 4 Migration directions of crude oil in the Jurassic J_{2x} reservoirs of the eastern district of Cainan oilfield traced by the parameters of pyrrolic nitrogen compounds

可以继续向东运移到达彩南油田东区块的正北方充注油藏。以彩 1033 井附近为充注点的、在油藏内部

自东向西的运移现象应该是北方充注原油进入油藏后的具体表现形式。当然,不能否认南方阜康凹陷

及其北部斜坡带来源的原油沿东道海子断裂充注彩南油田的可能性。

4 结论

a) 彩南油田东区块侏罗系 J_2x 油藏原油吡咯类含氮化合物组成以烷基咪唑和烷基苯并咪唑为主,二苯并咪唑含量极低。烷基咪唑中以 C_2 -咪唑和 C_3 -咪唑为主,其次是 C_1 -咪唑和无烷基取代咪唑。 C_2 -咪唑中, $G_2 > G_3 > G_1$ 。

b) 彩南东区块侏罗系 J_2x 油藏主要的充注点有 3 个:西部在彩 2055 井附近;北部在彩 2243 井附近;而东部则在彩 1033 井附近。西部充注原油沿构造枢纽部位到达彩 2055 井附近后,继续向不同方向运移。沿断鼻隆起轴部的断裂在原油充注、成藏过程中起到了重要的通道性作用。东道海子北凹陷来的油气向东运移到达东道海子断裂从彩南油田东区块的西部充注 J_2x 油藏,或者从北部向彩南油田充注的可能性非常大,但不能排除南方阜康凹陷及其北部斜坡带来源的原油沿东道海子断裂充注彩南油田的可能性。

c) 1,8- / 2,7-DMC、1,8- / NPE'S-DMC、 G_1/G_3 、A/C 等吡咯类运移分馏效应参数在比较具有相同来源、成熟度相近原油样品的运移分馏效应时非常有效。吡咯类含氮化合物在分析原油二次运移规律、判断烃源灶方位研究中展现了良好的应用前景。

参考文献:

- [1] Li M, Larter S R, Stoddart D, et al. Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in petroleum during migration: derivation of migration-related geochemical parameters[A]. Cubitt J M, England W A. The Geochemistry of Reservoirs[C]. Geological Society of London, 1995, Special Publication (86): 103 - 124.
- [2] Chen M. Response of pyrrolic and phenolic compounds to petroleum migration and in reservoir process [R]. UK: University of Newcastle upon Tyne, 1995. 32 - 140.
- [3] Yamamoto M. Fractionation of azarenes during oil migration[J]. Organic Geochemistry, 1992, 19:389 - 402.
- [4] 王铁冠,李素梅,张爱云,等. 应用含氮化合物探讨新疆轮南油田油气运移[J]. 地质学报, 2000, 74(1): 85 - 94.
- [5] Harrison E, Telnaes N, Withels A, et al. Maturity controls on carbazole distributions in coals and source rocks[A]. 18th International Meeting on Organic Geochemistry (Abstracts) [C]. 1997. 235 - 236.
- [6] Heather Clegg, Heinz Wilkes, De Metrio, et al. Influence of maturity on carbazole and benzocarbazole distributions in crude oils and source rocks from the Sonda de Campeche, Gulf of Mexico [A]. 18th International Meeting on Organic Geochemistry (Abstracts) [C]. 1997. 379 - 380.
- [7] 王屿涛,兰文芳. 彩南油田油气成因及勘探方向[J]. 新疆石油地质, 1994, 15(1).
- [8] 丁安娜,惠荣耀,张中宁. 准噶尔盆地白家海凸起湖相原油与烃源岩芳烃地球化学特征[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(3): 16 - 20.
- [9] 王绪龙,康素芳. 准噶尔盆地腹部及西北缘斜坡区原油成因分析[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(2): 108 - 112.
- [10] 王传刚,王铁冠,陈建平,等. 对准噶尔盆地东部彩南油田侏罗系油藏原油族(组)群类型的认识[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 183 - 189.
- [11] Li M, Larter S R, Stoddart D, et al. Practical liquid chromatographic separation schemes for pyrrolic and pyridinic nitrogen aromatic heterocycle fraction from crude oils suitable for rapid characterisation of geochemical samples [J]. Analytical Chemistry, 1992, 64:1337 - 1344.
- [12] Dorbon M, Schmitter J M, Garrigues P, et al. Distribution of carbazole derivatives in petroleum[J]. Organic Geochemistry, 1984, 7:111 - 120.

INVESTIGATION OF OIL SECONDARY MIGRATION IN CAINAN OILFIELD USING PYRROLIC NITROGEN COMPOUNDS —A CASE STUDY OF THE JURASSIC XISHAN YAO RESERVOIRS IN THE EASTERN DISTRICT OF CAINAN OILFIELD

WANG Chuan-gang^{1,2}, WANG Tie-guan¹

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Petroleum University, Beijing 102200, China;

2. Research Institute of Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: In recent years, pyrrolic nitrogen compounds were successfully utilized for the research of oil migration ways in the world. Oil samples from reservoir Xishanyao Group in the eastern district of Cainan oilfield are the

same oil family, in which pyrrolic compounds are dominated by alkyl-carbazole and C₂-, C₃-carbazoles constitute the main parts of alkyl-carbazole. The analyses of parameters for the migration fractionation effects of pyrrolic compounds indicated that there were two oil recharge directions including the north and the west, and the reservoir-inner faults may facilitate oil migration processes. The Jurassic coal-bearing strata in the North Dongdaihaizi Depression which lies to the west of the Baijiahai Uplift are probably the main hydrocarbon source kitchen. Furthermore, an other source kitchen in the Fukang Depression and its north slope which lie to the south of the Baijiahai Uplift is also undeniable.

Key words: pyrrolic nitrogen compound; oil migration; the Jurassic Xishanyao Formation; Cainan oilfield

(上接第 739 页)

[9] 房德权,宋岩,夏新宇.准噶尔盆地南缘西部天然气封盖层的有效性[J].石油实验地质,21(2):137-140.

[10] 张满郎,张琴,朱筱敏.准噶尔盆地侏罗系层序地层划分探

讨[J].石油实验地质,2000,22(3):236-240.

[11] 董万百.准噶尔盆地腹部及南缘水化学纵向变化规律[J].石油实验地质,2001,23(1):195-200.

HYDROCARBON ACCUMULATION CHARACTERISTICS OF COMBINATION TRAPS IN THE ABDOMEN OF JUNGGAR BASIN

WU Jircai^{1,2}, ZHANG Jiarrzhong², SHI Haor-guo², WANG Lir-chi², MENG Xian-long², ZHU Yur-hui²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Western Subdivision of Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract Junggar Basin is a highly explored basin, with few unexplored structural traps remaining. Thus the lithologic trap, and even the structural lithologic trap, have become the main target of oil-gas exploration. This is especially evident in the abdomen of Junggar Basin, where the weak structural movement resulted in less structural trap, making it more urgent to look for lithologic or structural lithologic combined traps. According to the sedimentary facies analysis with seismic stratigraphy and sequence stratigraphy, in the abdomen of Junggar Basin, the Jurassic Sangonghe formation and Bandaowan formation in the main target strata are mainly fluvial-delta-semi-deep lake facies. And the reservoirs are mainly composed of various kinds of channel sand and deltaic front sand. In accordance with the research on structural evolution, the suprastructure (Jurassic and overlying formation) in the abdomen of Junggar Basin is mainly monoclinical formation uplift to the north. This structural background, combined with various kinds of lithologic sand, forms combination trap. The complicated distribution of Jurassic and Cretaceous sand results in the complex relationship between oil and water in the study area, thereby makes the combination on accumulation quite complicated.

Key words: depositional system; combination trap; accumulation characteristics; reservoir types; abdomen of Junggar Basin