

陆相断块油藏正构烷烃分布模式及其意义

刘中云^{1,2}, 林玉祥², 曾庆辉³, 陈庆春³

(1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广东广州 510640;

2. 中国石化胜利油田股份公司, 山东东营 257015; 3. 中国石化胜利油田临盘采油厂, 山东临邑 251507)

摘要: 国内外研究合采井单层原油产量的专家大多使用饱和烃气相色谱法, 而且认为油藏内部正构烷烃组成及分布基本相似, 难以应用, 而异构烷烃应用效果较好。胜利油区临南油田成藏时间短、油源单一, 其异构烷烃极为相似, 而中、高碳数正构烷烃分布模式具有较为明显的区别, 可以用来有效地建立单层标准谱图和进行合采井单层原油贡献计算。中、高碳数正构烷烃分布模式区别明显的原因主要是陆相砂体变化大, 不同的矿物成份对同一原油具有不同的吸附能力, 其间可能的化学作用也不相同, 在高碳数范围正构烷烃图谱表现得尤为突出。断块油藏内部正构烷烃分布模式变化显著的特征, 使成分高度均一的油藏合采井计算单层贡献成为可能。

关键词: 临南油田; 断块油藏; 正构烷烃; 分布模式; 合采井单层贡献

第一作者简介: 刘中云, 男, 40岁, 教授级高级工程师(博士生), 采油工程

中图分类号: TE3.3 文献标识码: A

随着油藏开发工作的进行, 合采油层单层原油产量贡献分析技术^[1]成为提高采收率和降低开采成本的重要手段^[2,3]。该技术目前采用的分析方法较多^[3~5], 但以气相色谱法应用最广, 也最成熟。气相色谱技术主要根据饱和烃中-低碳数异构烷烃组成与分布来建立不同单油层特征谱图, 亦即单层指纹^[1]。

根据目前报道的实例分析^[4~12], 该项技术成功率很高, 即油藏内部不同层原油饱和烃中-低碳数异构烷烃之间具有明显的差异, 而同一油层原油饱和烃中-低碳数异构烷烃组成基本一致。即使国内报道的断块油藏的实例也是如此^[4~8]。临南油田由于油源单一, 成藏时期仅有一期而且成藏时间极短, 加之各单砂体孔渗性较为接近, 使充注的原油组成极为均一, 不同油层之间原油饱和烃中-低碳数异构烷烃组成几乎完全一致, 难以进行合采井单层产量计算。但通过对比不同油层原油色谱图发现, 中-高碳数正构烷烃组成(分布)存在明显的差异, 而且规律性和稳定性均较好, 可以用来进行单层产量贡献计算, 因此提出了正构烷烃分布模式的概念, 并应用于临南油田断块油藏的合采井单层产量计算, 取得了较好的效果。

1 地质及地球化学背景

临南油田石油来自临南洼陷沙河街组三段, 原油保存条件较好, 既未受到生物降解, 也未受到水洗作用。流体包裹体分析表明, 临南油田仅有晚期(中新世末)一期油气充注过程, 不同单层原油的异构烷烃组成非常相似, 正构烷烃组成存在明显的区别, 现以夏52块为例研究其变化规律。

临南油田夏52块位于夏口大断层下降盘的一扁平鼻状构造, 该构造被双丰1号断层切割成两个断块区, 西南断块即为夏52断块区。地层向北西倾, 构造相对平缓, 倾角 $4^{\circ} \sim 5^{\circ}$, 构造闭合度130 m, 区内断层很少。

夏52块沙河街组三段中亚段(以下简称沙三中亚段)为主力含油层系(图1)。以反韵律砂岩为

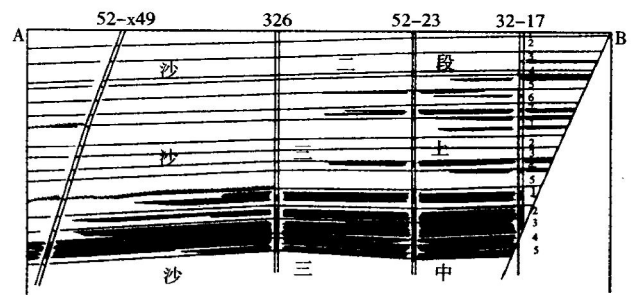


图1 临南油田夏52块含油层系示意图

Fig. 1 Sketch map showing the oil-bearing series in Xia-52 block in Linnan oilfield

主, 厚度 220~ 240 m。该含油层系可分为 5 个砂层组, 每个砂层组还可细分成若干小层(表 1)。

表 1 临南油田夏 52 块沙三中亚段含油层系划分
Table 1 Classification of E_{s3}^{2-} oil-bearing series
in Xia- 52 block in Linnan oilfield

砂层组 (小层个数)	地层厚度 /m	砂层厚度 /m	韵律性
1(4)	54~ 59	10.8~ 25.4	反序
2(5)	49.6~ 50.4	13.6~ 19	反序
3(5)	51~ 53.8	15.3~ 28.4	反序
4(1)	19~ 20.2	7~ 9	反序
5(5)	60~ 75.8	19.4~ 32.2	反序

2 中- 高碳数正构烷烃分布模式及其成因

2.1 分布模式

夏 52 块共采集到 19 个单层原油样品(表 2), 代表 9 个单层砂体。为避免不同时间取样造成的影响, 首先以 1999 年 8 月采集的样品(共 14 个, 代表 8 个单砂体)为例, 比较不同砂层原油中- 高碳

表 2 临南油田夏 52 块原油采样记录及作业措施
Table 2 Crude oil sampling records and operation measures
in Xia- 52 block in Linan oilfield

井号	层位	采样时间(年- 月)				作业措施情况
		1999- 01	1999- 08	2000- 04	2000- 10	
52- X203	$S_3^{中} 1^2$		+			无
52- 211	$S_3^{中} 1^3$			+		无
52- 201	$S_3^{中} 1^3$		+			无
52- 216	$S_3^{中} 1^3$		+			2000 年 11 月 下返 $S_3^{中} 3^1, 2^3$
52- 207	$S_3^{中} 2^3$		+	+		无
52- 217	$S_3^{中} 2^4$			+		无
52- 212	$S_3^{中} 3^1$		+	+		无
52- 21	$S_3^{中} 3^1$		+			无
52- 223	$S_3^{中} 3^1$		+			无
52- 35	$S_3^{中} 3^1$		+			无
52- 403	$S_3^{中} 3^3$		+			无
52- 27	$S_3^{中} 4$		+			无
52- X34	$S_3^{中} 4$		+			无
52- 213	$S_3^{中} 4$	+	+			无
52- 408	$S_3^{中} 4$			+		无
52- 311	$S_3^{中} 5^2$		+			无
52- 312	$S_3^{中} 5^2$		+		+	无
52- 404	$S_3^{中} 5^2$				+	2000 年 3 月 补孔 $S_3^{中} 3^5$
52- 422	$S_3^{中} 5^2$	+				2000 年 10 月 补孔 $S_3^{中} 5^2$

数饱和烃分布模式。考虑到低碳数(碳数 ≤ 7)正构烷烃易于挥发, 含量受多种因素影响不稳定, 因此从 C_8 开始, 作正构烷烃各谱峰顶部包络线, 作为其分布模式(图 2), 它表示了不同碳数正构烷烃含量相对大小, 不同的油层或同一油层不同位置的原油正构烷烃模式可能会有不同。

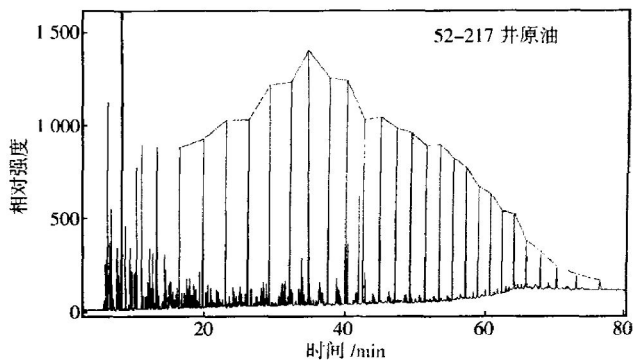


图 2 典型原油色谱图及中高碳数正构烷烃分布模式示意图

Fig. 2 Typical gas chromatograph charts of crude oil and distribution patterns of normal alkanes with moderate to high carbon numbers

为了将多个单层原油正构烷烃分布模式进行对比, 需要对其数值进行标准化。具体做法为, 以 nC_{17} 峰高为 100, 将其他各峰进行归一化处理, 将得到的相对峰高顶点连线作为正构烷烃分布模式, 其形态与标准化之前是完全相同的。将各单层原油色谱的正构烷烃分布模式叠合在一起(图 3), 可以发现不同单层原油的正构烷烃组成具有

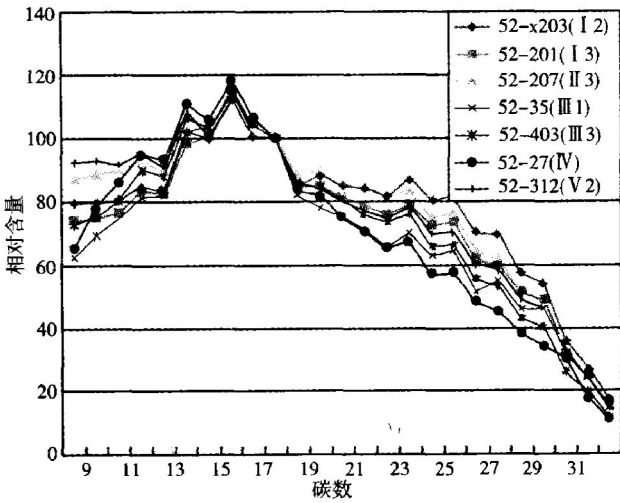


图 3 夏 52 块原油正构烷烃分布模式对比图
Fig. 3 Comparison diagram showing distribution patterns of normal alkanes in Xia-52 block

明显的差别,这从另一方面反映了油藏内部不同油层烃类组成的非均质性。

2.2 成因初探

2.2.1 储层物性

在同一油藏中,纵向上不同储层之间油气组成差别也是非常明显的。由于油气向储层充注次序是优质储层优先,因而先成藏,原油成熟度较低,而孔渗性较差的储层成藏较晚,油气成熟度较高。油层之间的这种原油组成的差异,由于储层之间存在隔层限制了原油的混合将存在相当长的时期,一般都会延续至今。例如夏52块夏52-x12井为沙三中亚段IV油层和V2油层合采井,通过分析单层原油得知,IV油层物性好、原油成熟度较低,成藏较早,而V2油层充注较晚,两油层原油迄今仍具有明显的成分差异。

2.2.2 成藏后生变化

油气藏处于不断运动变化之中。造成油气藏后生变化的因素很多,但都是在特定的地质条件下发生的物理、物理化学、化学或生物化学过程。例如分子扩散、热化学作用、有机-无机相互作用等。

2.2.3 油藏开发

油藏开发过程对油藏中流体的影响是非常明显的,特别是注水开发,明显改变了油藏原有的流体体系,从而促使油藏内流体发生一系列的变化。

在油藏开发过程中,原油中较易流动的组分例如饱和烃,可能会优先流入井筒,而胶质、沥青质等重组分则易于为岩石吸附,从而使油层中的剩余油密度越来越大,质量变差。因而随着开发程度提高,原油中轻质组分减少,高碳数重质组分明显增加。例如夏52-213井,1999年1月和1999年8月两次采样分析具有明显的变化,前者轻质组分较多,而后者高碳数重质组分含量增加。 $\sum(C_9 \sim C_{11}) / \sum(C_{17} \sim C_{19})$ 随着开发时间的增长而明显降低。同时该比值与综合含水的上升有较好的负相关关系。

开发过程除了引起原油组成成分外,为提高采收率而注入的各种化学物质也会影响原油成分,促使岩石-流体相互作用。例如开发中经常遇到的油藏酸化、岩石润湿性改变等均会加剧油藏流体的非均质性。

3 应用效果

利用正构烷烃分布模式来计算合采井单油层贡献的方法与有关文献记载的方法^[4~8]基本上是一致的,但本方法既可以选择特征指标,也可以使用所有C₈以上的正构烷烃。

根据夏52块的实际情况,主要研究沙三中亚段各砂层情况,单层划分以砂层组之下的砂层为标准,不再划分小层。在18口合采井中,2层合采井有11口,占61.1%,即夏52-413,夏52-415,夏52-21,夏52-31,夏52-11,夏52-221,夏52-224,夏52-202,夏52-108,夏52-218和夏32-17井。3层合采井2口,即夏52-x12和夏52-13。4层合采井2口,即夏52-411和夏52-x15。其余2口5层合采井,即夏52-409和夏52-2井。从合采井采油层位看,几乎覆盖了沙三中亚段5个砂层组的所有砂层,但有单层原油样品的层位不全,缺少V5、V4、V3、V1、II2、II5、II1和I1,因此有些合采井无法定量计算单层的产油贡献,只能进行一些定性推测。

例如两层合采井夏52-218井II3和II4砂层的贡献分别为81%和19%,夏52-218井II3和III砂层的贡献分别为34%和66%。通过对两口井产液剖面测量,计算结果误差小于6%,效果较为明显。

参 考 文 献

- 1 Larter S R, Aplin A C. 油藏地球化学:方法、应用与机遇[A]. 见:丘比特 J M, 英格兰 W A. 地球化学[C]. 王铁冠, 张枝焕, 译. 北京:石油工业出版社, 1997. 20~25
- 2 林壬子, 张敏, 编著. 油藏地球化学进展[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1996. 245~276
- 3 林壬子主编. 油气勘探与油藏地球化学[M]. 北京:石油工业出版社, 1998. 1~16; 126~131
- 4 邹宇铮, 马亨, 梅博文. 合采井原油产量分配计算的新技术——紫外光谱法[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 168~172
- 5 王振平, 付晓泰, 卢双舫, 等. 合采油井产量贡献液相色谱监测方法[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 297~301
- 6 付晓文, 吴刚. 原油指纹技术在陆梁油田产能监测中的应用[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(5): 4~6
- 7 何文祥, 呼舜兴. 一种新的测量产液剖面的方法研究——有机地化色谱指纹法[J]. 断块油气田, 1996, 3(5): 16~19
- 8 邹宇铮, 马亨. 如何消除应用于合采井原油产量分配计算的液相色谱指纹技术存在的缺陷[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 213~220

PATHWAY SYSTEM OF OIL AND GAS MIGRATION IN BACHU-MAIGAITI AREA

She Xiaoyu^{1,2} Shi Zejin¹ Liu Gaobo²

(1. *Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan*; 2. *Jingzhou Branch of New Area Exploration, Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Jingzhou, Hubei*)

Abstract: The pathways of oil and gas migration in Bachu–Maigaiti areas might consist mainly of faults, unconformity surfaces, as well as vugs, fissures and pores in reservoirs, which might have been connected with each other and constitute the delivery network of oil and gas. Among the 8 major unconformities, the T_6^0 and T_5^5 unconformity surfaces have been open in the whole area, the T_7^0 and T_5^4 unconformity surfaces have been open in the southern structural belt of Bachu uplift. Multiple tectonic movements have resulted in the opening of faults, pores, vugs and fissures, and became effective migration pathways of oil & gas. According to the dynamic theory of hydrocarbon migration and accumulation in late Caledonian–early Hercynian, the major pathway would be the pore–vug–fissure system in lower Cambrian dolomite that occurred in Awati sag and northeastern area of Bachu uplift; in late to last stage of Hercynian, the major pathway would include the boundary faults in the northeastern of Bachu uplift, T_6^0 unconformity surface and pore–vug–fissure system in lower Cambrian; in Himalayan period, the major pathway would be the T_6^0 , T_5^5 and T_5^4 unconformity surfaces and the fault belt on the southern boundary of Bachu uplift that occurred mainly in the area including the Maigaiti slope and southern boundary of Bachu uplift.

Key words: pathway; migration; unconformity surface; fault; system; dynamic reservoiring

(Continued from Page 334)

DISTRIBUTION PATTERNS OF NORMAL ALKANE AND THEIR SIGNIFICANCE IN CONTINENTAL FAULT–BLOCK OILFIELD

Liu Zhongyun^{1,2} Lin Yuxiang^{1,2} Zeng Qinghui³ Chen Qingchun³

(1. *Guangzhou Geochemistry Institute of China Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong*;
2. *Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong*;
3. *Linpan Oil Development Factory of Shengli Oilfield Company, Linzi, Shandong*)

Abstract: Gas chromatograph of saturated hydrocarbon is generally used in the study of single pay contribution in commingled producing wells both at home and abroad, because it is believed that the composition and distribution of normal alkane in the oil reservoirs are basically similar, and are very difficult to be used to solve the above problem; while the application of isoalkane, proves to be very effective. Through the research work made in Linan area, Shengli oilfield, it is found that the isoalkanes are very similar, since the reservoiring time is not long and the oil source is unitary, but the normal alkanes with moderate to high carbon numbers have apparent differences and can be used in establishing single pay's standard pattern of gas chromatogram, and in calculating the single pay's oil contribution in commingled producing well. There are several reasons that cause the different patterns of normal alkanes with moderate to high carbon numbers, for example, the large changes of continental sandstones and their different mineral compositions would have different absorbability and possible chemical reactions between oil and mineral. This phenomenon has important application value in calculation of oil contribution of single sandstone layer in commingled producing well in non-marine fault-block oilfield.

Key words: Linnan oilfield; fault-block oil reservoirs; normal alkane; distribution pattern; contribution of single sand layer in commingled producing well